



Volume 38 Number 1 January - February 2018

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2562

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 38 Number 1 January - February 2019



ปีที่ 38 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2562

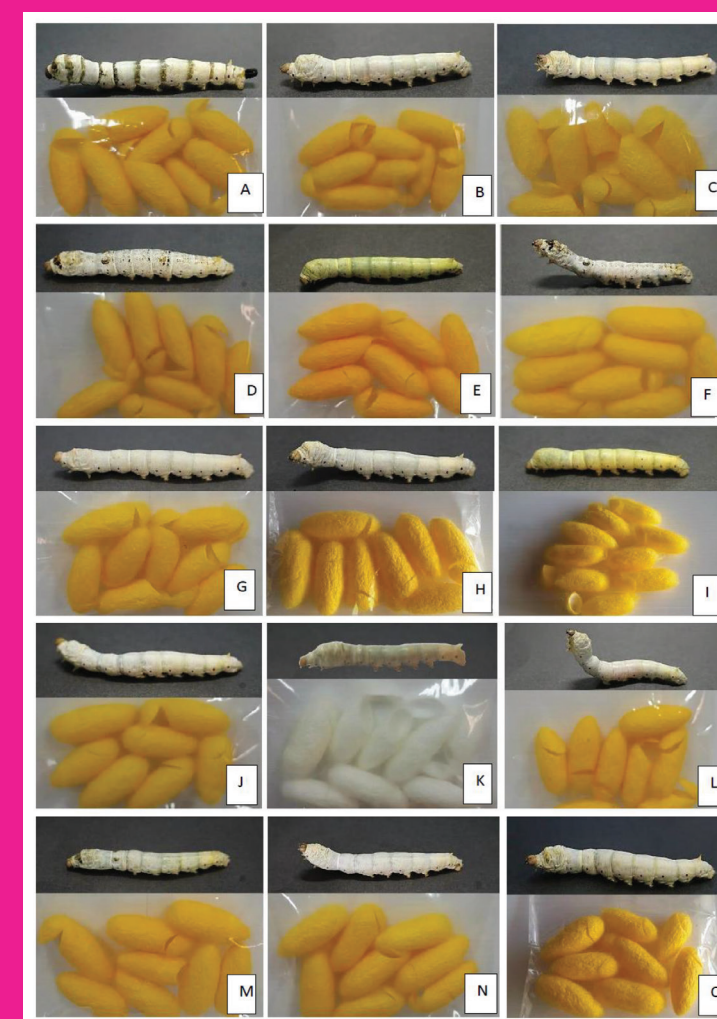
ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

We are listed in the Thai-Journal Citation Index Centre. (Tier 1)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่นำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อใหวารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมพรพรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรวรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดตพร รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษ์จินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พวงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทศรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสิ่ฤทธิ์

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม

Aim and Scope:

The MSU Journal of Science and Technology is published quarterly and dedicated to the promotion and dissemination of scientific knowledge in the disciplines of Bioscience, Physical Science and Engineering Articles and research papers to be published in the Journal of Science and Technology Maharakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Support and Development,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supanee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration

Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Mr.Paul Alexander Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January - February
Number 2 March - April
Number 3 May - June
Number 4 July - August
Number 5 September - October
Number 6 November - December

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 38 ฉบับ 1 เล่มนี้ ประกอบด้วยบทความวิจัยจำนวน 12 บทความ ซึ่งผ่านกระบวนการตรวจสอบ กลั่นกรอง ความถูกต้องของเนื้อหา โดยผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ บทความวิจัยในวารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความที่หลากหลายทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และคณิตศาสตร์

ในนามของกองบรรณาธิการ ใคร่ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงเนื้อหาบทความวิจัยให้มีความถูกต้อง เหมาะสม และมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น ขอขอบคุณเจ้าของบทความวิจัยทุกเรื่อง que เลือกและไว้วางใจวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยอันทรงคุณค่าของท่าน

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : การประเมินความต้านทานของหนอนไหมไทยต่อโรคแกรสเซอร์รี่

ภาพปก : สิริภักดิ์ สุระพร และคณะ. 2562, 8-16.

สารบัญ

Biological Science

การเก็บและรักษาสภาพของเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ 1

Preservation and maintenance of *Pseudomonas aeruginosa* for use in the laboratory

สุจิตรา ยาหอม, จิตรสุดา กุลวัฒน์, สุทธิวรรณ ธรรมวัตร

Sujitra Yahom, Jitsuda Kullawat, Sutthiwan Thammawat

การประเมินความต้านทานของหนอนไหมไทยต่อโรคแกรสเซอร์รี่ 8

Determination of the resistance to grassery of Thai silkworm, *Bombyx mori*

สิริภัก สุระพร

Siripuk Suraporn

ผลของกรดฟิวซาริกต่อการยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์และการออกจากซิสต์ของเชื้ออะแคนทามอบีบา 17

Effects of Fusaric Acid to Inhibit Encystment and Excystment of *Acanthamoeba* spp.

นฤมล บุญมั่น, จารุวรรณ ฉัตรทอง, ศิริพรรณ บุญศิลป์

Narumon Boonman, Jaruwan Chutrtong, Siriphan Boonsilp

Mathematics Science

สมบัติบางประการของปริภูมิใหญ่สุดย่อยแบบ sg ในปริภูมิโครงสร้างเล็กที่สุด 26

Some properties of sg-submaximal in minimal structure space

ณัฐวรรณ พิมพิลา, ดรุณี บุญชารี

Nuthawan Pimpila, Daruni Boonchari

การหาลำดับการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล 31

Optimal Production Scheduling using VBA on Microsoft Excel

พรรัตน์ ชำรงวุฒิ, นรา สมัตถภาพงศ์, พรศิริ จงกล

Pornrat Thumrongvut, Nara Samattapapong, Pornsiri Jongkol

การทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทยโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ 40

Prediction Efficiency of Thai Rice Exporting by Bayesian Belief Network

ธิปไตย พงษ์ศาสตร์, ธัญลักษณ์ คล้ายสงคราม, สุพัตรา ปัญญาคุณ

Tippatai Pongsart, Thanyalak Klaisongkhram, Supattra Panyakhun

Health Science

พฤติกรรมสุขภาพกับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม 47

Health Behavior and Quality of Life of the Elderly in Chiangyuen District, Mahasarakham Province

เขมิกา สมบัติโยธา, วิทยา อยู่สุข, นิรุวรรณ เทิร์นโบล

Kemika Sombateyotha, Witaya Yoosuk, Niruwan Turnbol

สารบัญ

- ผลของโปรแกรมการฝึกแบบสถานที่ที่มีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา
ในนักกีฬาฟุตบอล 60
**The Effects of circuit training program on Anaerobic Performance, Leg Muscle Strength
in Football Players**
ณภัทรวรรณ ธนาพงษ์อนันท์, สมชาติ บุญธรรม
Napatsawan Thanaphonganan, Somchakt Boonthum
- คอเลสเตอรอลในเลือดกับโรคหลอดเลือดสมองชนิดตีบหรืออุดตันเฉียบพลันในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 68
Blood Cholesterol and Acute Ischemic Stroke Among Type-2 Diabetic Patients
วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร, วันดี บุญราศรี, ชูเกียรติ วิวัฒน์วงศ์เกษม,
สุคนธา สิริ, วรากร เกรียงไกรศักดิ์ดา
Wisit Chaveepojnkamjorn, Wandee Boonrasri, Chukiat Viwatwongkasem,
Sukhontha Siri, Warakorn Kriengkaisakda
- Physical Science**
อุปกรณ์ลดแรงต้านเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงของรถบรรทุก 81
Drag Force Reduced Devices for Fuel Saving of Truck
ปรัชญา มุขดา
Prachya Mukda
- การวิเคราะห์การรบกวนทางควอนตัมสำหรับแอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์กำลังสี่ในแบบเทียบเท่านิวตัน 89
Perturbative analysis of Newton-equivalent quantum quartic anharmonic oscillators
ศุจิพัชร จันอุณ, พิเชฐ วณิชชาพงศ์เจริญ
Sujiphat Janaun, Pichet Vanichchajongjaroen
- สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 356 กับ 7075 102
ด้วยเทคนิคการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว
**Mechanical Properties and Metallurgical Structure of Semi-Solid Metal 356
Aluminum Alloy with Semi-Solid Metal 7075 Aluminum Alloy investigated using
a Transient Liquid Phase Bonding Technique**
ยงยุทธ ดุลยกุล, ชัยยุทธ มีงาม, เดช เหมือนขาว
Yongyuth Duniyakul, Chaiyoot Meengam, Dech Maunkhaw

การเก็บและรักษาสภาพของเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* เพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ Preservation and maintenance of *Pseudomonas aeruginosa* for use in the laboratory

สุจิตรา ยาหอม^{1*}, จิตรสุดา กุลวัฒน์¹, สุทธิวรรณ ธรรมวัตร¹

Sujitra Yahom^{1*}, Jitsuda Kullawat¹, Sutthiwan Thammawat¹

Received: 1 June 2018 ; Revised : 7 August 2018 ; Accepted: 15 August 2018

บทคัดย่อ

การรักษาเชื้อแบคทีเรียให้บริสุทธิ์ มีจุดประสงค์เพื่อเก็บรักษาและดูแลเชื้อบริสุทธิ์ให้อยู่ในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ โดยเมื่อนำกลับมาเพาะเลี้ยงแล้วเชื้อต้องมีคุณสมบัติเหมือนเชื้อดั้งเดิม ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่น โดยการเก็บรักษาแบคทีเรีย *Pseudomonas aeruginosa* สามารถเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นได้แค่ 2-3 สัปดาห์เท่านั้น จึงทำให้เกิดปัญหาต้องถ่ายเชื้อสู่อาหารเลี้ยงเชื้อบ่อย อาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและเกิดการปนเปื้อนระหว่างการถ่ายเชื้ออาจทำให้เชื้อไม่บริสุทธิ์ได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและทดลองโดยการเก็บรักษาเชื้อ 3 วิธี คือการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่ การเก็บรักษาเชื้อภายใต้ไขมันพาราฟินเหลวและแช่ตู้เย็น การเก็บรักษาเชื้อในกลีเซอรอล 15% และแช่แข็ง และการตรวจสอบชีวเคมีของเชื้อ ผลการทดลองพบว่าอาหารที่สามารถเก็บรักษาเชื้อได้นานที่สุดคือ Nutrient agar และ Luria Bertani agar โดยสามารถเก็บรักษาเชื้อได้เป็นเวลา 2 เดือน รองลงมาคือ Brain heart infusion agar และ Skim milk agar โดยสามารถเก็บรักษาเชื้อได้เพียง 1 เดือน ส่วนการเก็บรักษาภายใต้พาราฟินเหลวแช่เย็นและเก็บใน กลีเซอรอล 15% แช่แข็งที่ -20 กับ -80 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บรักษาเชื้อได้มากกว่า 12 เดือน ดังนั้นผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการเลือกวิธีการเก็บรักษาเชื้อเพื่อให้เหมาะสมกับแบคทีเรียได้

คำสำคัญ: การเก็บรักษา, ดูแลรักษาสภาพ *Pseudomonas aeruginosa*

Abstract

The purpose of preserving and maintaining bacterial cultures in a university setting is to ensure they remain viable for laboratory classes and research, and generate consistent laboratory test results over time. *Pseudomonas aeruginosa* can be preserved by refrigeration at 4°C, but this is only suitable for short-term storage (2-3 weeks). Longer-term storage can be achieved if the bacteria being stored at 4°C are periodically sub-cultured. This is known as the 'periodic transfer method', but it has the disadvantage of failing to prevent changes in the characteristics of the strain. Changes can arise due to genetic drift or contamination. In the present study, we investigated three categories of method for preserving *P. aeruginosa*: (a) periodic transfer to fresh media and refrigeration and (b) storage in mineral oil or liquid paraffin and refrigeration and (c) freezing with 15% (v/v) glycerol, followed by retrieval of bacterial culture from frozen stock. Biochemical tests were performed on recovered cultures. *P. aeruginosa* was found to remain viable for up to 2 months on nutrient agar and Luria-Bertani agar, but just 1 month on brain heart infusion agar and skimmed milk agar. By contrast, *P. aeruginosa* suspended in mineral oil or liquid paraffin and frozen with 15% (v/v) glycerol remained viable for over 12 months. Data presented here will help laboratorians make a more informed choice about how they preserve and maintain their bacterial cultures.

Keywords: Preservation, Maintenance, *Pseudomonas aeruginosa*

¹ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Maha Sarakham 44000, Thailand

* Corresponding author, Sujitra Yahom : sujitra.yahom@gmail.com

บทนำ

การรักษาเชื้อแบคทีเรียให้บริสุทธิ์ มีจุดประสงค์เพื่อเก็บรักษาเชื้อให้บริสุทธิ์ ในสภาพที่มีชีวิตอยู่ โดยมีคุณสมบัติเหมือนเดิม ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่น มักจะมีการเก็บรักษาไว้เพื่อให้มีชีวิตอยู่นาน ๆ เพื่อนำมาใช้ในงานประจำ การเรียนการสอน การวิจัยและงานอื่น ๆ โดยการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์จะมีวิธีการเก็บทั้งระยะสั้นและระยะยาว เช่น การเก็บรักษาในระยะสั้นโดยปกติในห้องปฏิบัติการจะมีการถ่ายเชื้อบริสุทธิ์ไปสู่อาหารใหม่ เลี้ยงให้เจริญเติบโตเพื่อถ่ายเชื้อใหม่ (subculturing) เมื่อเชื้อเจริญเติบโตแล้วนำไปเก็บที่ตู้แช่เย็น 4 องศาเซลเซียส¹ วิธีนี้ปกติจะใช้เก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ได้ในระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น เพราะเชื้อจุลินทรีย์ยังคงมีกิจกรรมเมตาบอลิซึมเป็นไปอย่างช้า ๆ มีการใช้สารอาหารและสร้างของเสียในอาหารเป็นผลให้เชื้อจุลินทรีย์ตายได้หลังจากนั้น² ข้อเสียของการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่หลายครั้งคือ อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ชนิดอื่นทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมของเชื้อบริสุทธิ์นั้น ๆ ได้ ส่วนการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ในระยะยาวสามารถเก็บรักษาได้หลายวิธี เช่น การเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ภายใต้พาราฟินเหลว (liquid paraffin) สามารถเก็บได้นาน 1-2 ปี³ วิธีการเก็บรักษาแบบแช่แข็งเชื้อจุลินทรีย์ (freezing) ซึ่งวิธีนี้จะผสมเซลล์ของจุลินทรีย์ร่วมกับกลีเซอรอลปลอดเชื้อ 15 % แล้วนำไปเก็บไว้ที่ตู้ - 80 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ 6 ปี⁴ นอกจากนี้ยังมีวิธีการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์อีกหลายวิธี เช่น การเก็บรักษาจุลินทรีย์ในน้ำและสารละลาย Phosphate Buffer Saline (PBS) โดยการนำสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อผสมกับเซลล์จุลินทรีย์ใส่ไว้ในหลอดเก็บเชื้อไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถอยู่ได้เป็นเวลานานถึง 4 ปี⁵ วิธี Freeze drying หรือ Lyophilization เป็นวิธีการทำให้แห้งและเย็นเยือกแข็งสามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้นานมาก แต่ข้อเสียคือ เครื่องมือแพงและขั้นตอนการเก็บค่อนข้างซับซ้อน^{6,7} วิธี Cryopreservation เป็นการเก็บรักษาตัวอย่างจุลินทรีย์ภายใต้อุณหภูมิต่ำตั้งแต่ -20 ถึง -85 องศาเซลเซียส วิธีที่ง่ายคือการแช่ลูกบดกระเบื้องที่มีรูพรุน (cryobeads) ลงไปในของเหลวที่ใช้ในการเก็บรักษาโดยการแช่แข็ง (cryopreservation fluid) เช่น กลีเซอรอล หลังจากบ่มเชื้อแล้วนำไปเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง⁸ และการเก็บเชื้อจุลินทรีย์ในไนโตรเจนเหลว เป็นการเก็บรักษาเชื้อไว้ในที่ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ -196 องศาเซลเซียส สามารถรักษาเชื้อได้เกือบทุกชนิด และสามารถเก็บรักษาเชื้อไว้ได้นานมากประมาณ 10-30 ปี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ แต่ข้อเสียคือ เครื่องมือและหลอดที่ใช้ในการเก็บราคาค่อนข้างสูงและสิ้นเปลืองไนโตรเจนเหลวเพราะระเหยตลอดเวลา⁹ เป็นต้น

แบคทีเรีย *P. aeruginosa* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ พบทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ดำรงชีวิตอย่างอิสระ สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและเจริญเติบโตได้หลายสภาวะและหลายอุณหภูมิ โดยจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสและสามารถเจริญเติบโตแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ในอาหารที่มีแหล่งคาร์บอนบวกกับไนเตรต¹⁰ *P. aeruginosa* สามารถสร้างรงควัตถุสีเขียวอมน้ำเงิน มีกลิ่นคล้ายอู่นหมักคอง เรียกว่าไพโอไซยานิน (pyocyanin) ซึ่งรงควัตถุนี้สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและยีสต์ *Candida* ได้อย่างสมบูรณ์และสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Salmonella Typhi* และ *Proteus mirabilis* ได้เล็กน้อย ส่วน *Klebsiella pneumoniae* และ *P. aeruginosa* ตั้ต่อรงควัตถุ pyocyanin¹¹ การทดสอบความไวของเชื้อต่อยาปฏิชีวนะมาตรฐาน พบว่ามีการต่อยาปฏิชีวนะ trimethoprim , ceftazidime และ gentamycin และมีความไวต่อยาปฏิชีวนะ penicillin¹² ซึ่งจากการเพาะเลี้ยงเชื้อ *P. aeruginosa* สำหรับใช้ในการเรียนในภาคปฏิบัติการพบปัญหาคือเชื้อ *P. aeruginosa* จะมีช่วงอายุในการเก็บรักษาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนที่สั้นกว่าแบคทีเรียชนิดอื่นที่สามารถเก็บเชื้อไว้ในตู้เย็น 4 องศาเซลเซียส ได้นาน 2-3 เดือน แต่เชื้อ *P. aeruginosa* สามารถเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นได้แค่ 2-3 สัปดาห์เท่านั้น จึงทำให้เกิดปัญหาต้องถ่ายเชื้อสู่อาหารเลี้ยงเชื้อบ่อย ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและเกิดการปนเปื้อนระหว่างการถ่ายเชื้อได้ อาจทำให้เชื้อไม่บริสุทธิ์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการจะศึกษาถึงวิธีการเก็บและรักษาเชื้อ *P. aeruginosa* เพื่อหาชนิดของอาหารและวิธีการเก็บรักษาสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรีย เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมและสามารถยืดอายุของเชื้อเพื่อใช้งานในห้องปฏิบัติการให้ได้นานขึ้นด้วย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ จะทดลองการเก็บรักษาเชื้อ *P. aeruginosa* ATCC27853 โดยการเลี้ยงเชื้อให้เจริญในอาหาร Nutrient broth เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นดูดเชื้อใส่ในหลอดสำหรับเตรียมเก็บรักษา หลอดละ 1 มิลลิลิตร โดยการเก็บรักษาเชื้อจะเก็บวิธีการละ 3 หลอดต่อเดือน จำนวน 12 เดือน และนำเชื้อไปเก็บรักษาทั้ง 3 วิธี ดังนี้ คือ การถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่และแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Transfer to fresh media and refrigeration) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ 4 ชนิด คือ Nutrient agar (Hi-media), Luria Bertani agar (TM-media), Brain heart infusion agar (Hi-media) และ skim milk agar (Hi-media) การเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ภายใต้ไขมันพาราฟินเหลวและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Liquid Paraffin

storage)¹ และการเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ในกลีเซอรอล 15% และแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 และ -80 องศาเซลเซียส (Freezing bacteria using sterile glycerol)¹⁰ จากนั้นนำเชื้อมาเพาะเลี้ยงใหม่เพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโตบนอาหาร Nutrient agar หลังการเก็บในแต่ละเดือนและบันทึกข้อมูลการทดลองโดยการสังเกตลักษณะของผิว สี กลิ่นของโคโลนีและประเมินการสร้างรงควัตถุของเชื้อและการตรวจสอบชีวเคมีของเชื้อก่อนการใช้งาน เช่น การสังเกตลักษณะโคโลนีของ *P. aeruginosa* ที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar การย้อมสีแกรม การทดสอบการเจริญในอาหาร TSI การทดสอบการเคลื่อนที่ในอาหาร Motile-Indole ทดสอบ Catalase ทดสอบใน Glucose Fermentation¹³ โดยทำการศึกษาในช่วงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561 การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของเชื้อ *P. aeruginosa* ทุก ๆ 1 เดือน บันทึกผลว่าเชื้อจุลินทรีย์ยังมีการเจริญเติบโตได้หรือไม่ แล้ว

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงบรรยายพรรณนาและสรุปถึงวิธีที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสายพันธุ์ เชื้อ *P. aeruginosa* ต่อไป โดยโครงการวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับสถาบัน จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เลขที่การรับรอง:IBC 004/2560

ผลการทดลอง

ในการทดลองการเก็บรักษาสายพันธุ์ของแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบ การถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่และแช่เย็น การเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ภายใต้ไขมันพาราฟินเหลวและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและการเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ใน 15% กลีเซอรอลและแช่แข็ง พบว่าการเก็บรักษาสายพันธุ์ของเชื้อในแต่ละวิธีจะสามารถเก็บรักษาสายพันธุ์ของ *P. aeruginosa* ได้เป็นระยะเวลาที่แตกต่างกัน ดังนี้

Table 1 Survival and pigmentation of *P. aeruginosa* from storage by transfer to fresh media and refrigeration method

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Media												
NA	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LBA	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BHA	+++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SMA	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NA: Nutrient agar, LBA: Luria bertani agar, BHA: Brain heart infusion agar, SMA: Skim milk agar

+ Growth, - No Growth, * Create a little pigment, ** Create a lot pigment

จาก Table 1 พบว่าการเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่ อาหารที่สามารถเก็บรักษาสายพันธุ์ของแบคทีเรียได้นานที่สุดคืออาหาร Nutrient agar และ Luria Bertani agar โดยสามารถเก็บรักษาแบคทีเรียได้เป็นเวลา 2 เดือน รองลงมาคือการเก็บรักษาในอาหาร Brain heart infusion agar และ Skim milk agar สามารถเก็บรักษาสายพันธุ์เชื้อแบคทีเรียได้เป็นเวลา 1 เดือน และพบว่าเมื่อมีการนำเชื้อ

ที่เก็บในอาหาร Skim milk agar กลับมาเพาะเลี้ยงใหม่ เชื้อยังสามารถเจริญเติบโตได้ แต่มีการเจริญเติบโตและสร้างรงควัตถุ pyocyanin ที่มีสีเขียวอมน้ำเงินได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาเชื้อในวิธีเดียวกันแต่เก็บในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar, Luria Bertani agar และ Brain heart infusion agar (Figure 1)

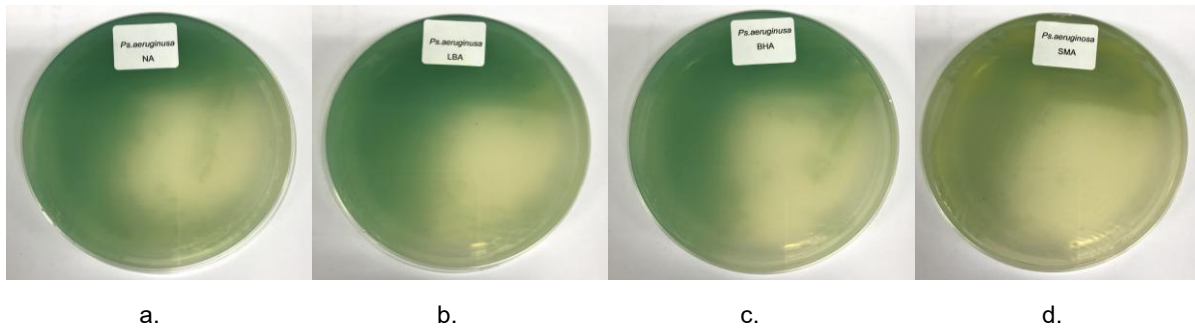


Figure 1 Growth and pigmentation on nutrient agar after collection by transfer to fresh media and refrigeration method (a.: Nutrient agar, b.: Luria bertani agar, c.: Brain heart infusion agar, d.: Skim milk agar)

Table 2 Survival and pigmentation of *P. aeruginosa* from storage by liquid paraffin and freezing bacteria using 15% glycerol method

	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Preserve													
Liquid paraffin 4 °C		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
15% Glycerol -20 °C		++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
15% Glycerol -80 °C		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

+ Growth, - No Growth , * Create a little pigment, ** Create a lot pigment

จาก Table 2 การเก็บรักษาเชื้อ *P. aeruginosa* ด้วยวิธีการเก็บในภายใต้พาราฟินเหลว พบว่าวิธีการเก็บภายใต้พาราฟินเหลวสามารถเก็บรักษาสายพันธุ์ของแบคทีเรียได้เป็นเวลามากกว่า 12 เดือน ซึ่งพบว่า การนำเชื้อกลับมาเพาะเลี้ยงใหม่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar เชื้อยังมีการเจริญเติบโตและยังสามารถสร้างรงควัตถุ pyocyanin ได้ตามปกติ ส่วนวิธีการเก็บในกลีเซอรอล 15 % แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 และ -80 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาแบคทีเรียได้เป็นเวลา

มากกว่า 12 เดือนเช่นกัน แต่ภายหลังจากการเก็บรักษาในกลีเซอรอล 15% และแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 เดือนขึ้นไป เมื่อมีการนำเชื้อกลับมาเพาะเลี้ยงใหม่พบว่าแบคทีเรียยังสามารถเจริญเติบโตได้ แต่มีการสร้างรงควัตถุ pyocyanin ได้ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาในกลีเซอรอล 15 % และแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาสายพันธุ์ภายใต้พาราฟินเหลวที่เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (Figure 2)

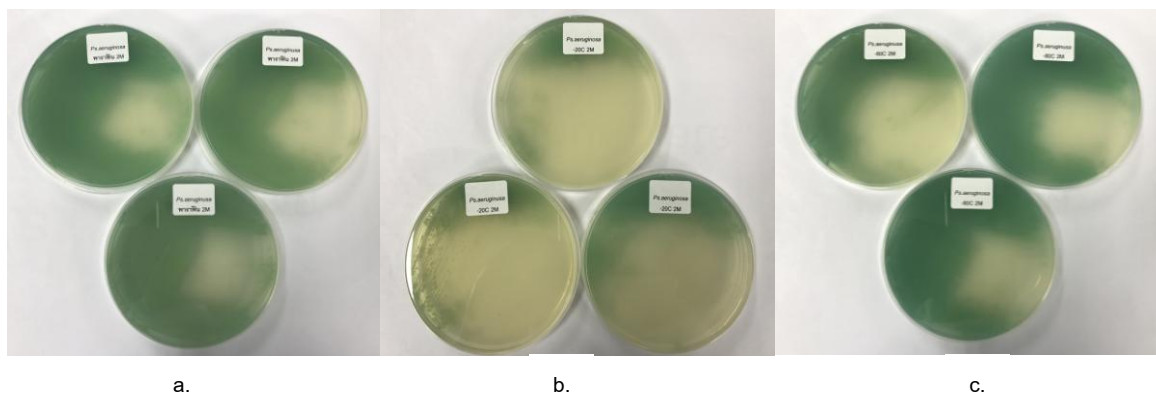


Figure 2 Growth and pigmentation on nutrient agar after collection by liquid paraffin storage and freezing bacteria using sterile glycerol (a.:Liquid paraffin 4 °C, b.:15% Glycerol -20 °C, c.:15% Glycerol -80 °C)

Table 3 Biochemical tests of *P. aeruginosa*

Characteristic	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Morphology on Nutrient agar	Irregular and spreading, Wavy, Glistening, Raised
Pigment	Blue - green (pyocyanin)
Gram's stain	Negative gram, Rod shape
Catalase test	Positive
TSI test	K/N
Motile test	Positive motile
Indole test	Negative
Glucose Fermentation test	Non fermentative

จาก Table 3 จากการทดสอบชีวเคมีของเชื้อ *P. aeruginosa* ที่ได้จากการเก็บรักษาสายพันธุ์โดยวิธีต่าง ๆ ผลการทดสอบพบว่าเชื้อแบคทีเรียมีผลชีวเคมีเหมือนกันในทุกวิธีการเก็บรักษา โดยการทดสอบการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่มีการเก็บรักษาทั้ง 3 วิธี เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงใหม่ จะมีการเจริญเติบโต โดยมีลักษณะของโคโลนีรูปร่างไม่แน่นอนแผ่กระจายเกือบทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ขอบของโคโลนีเป็นเส้นซ้อนกันเป็นคลื่น โคโลนีมีความหนาสูงชันมาจากผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อเล็กน้อย ผิวของโคโลนีสะท้อนแสงมันวาวโคโลนีมีสีเขียวอมน้ำเงิน มีกลิ่นคล้ายอู่นหมักดอง การทดสอบการย้อมสีแกรม พบว่าแบคทีเรียติดสี แกรมลบ เซลล์มีสีแดง รูปร่างเซลล์เป็นแบบแท่งยาว การทดสอบ Catalase มีผลเป็นบวก คือเมื่อมีการแตะเชื้อลงบนแผ่นสไลด์แล้วหยด H_2O_2 ลงไปบนจะเกิดฟองฟูเกิดขึ้น การทดสอบในอาหาร Triple sugar iron agar (TSI) ผลการทดสอบเป็น K/N โดยพบว่าเชื้อเจริญเติบโต โดยไม่มีการใช้น้ำตาลชนิดใดเลย คือ ส่วน slant เปลี่ยนเป็นสีแดงเข้ม (K) และส่วนของ butt ไม่มีการเปลี่ยนสี (N) การทดสอบการเคลื่อนที่ของเชื้อในอาหาร Motile-Indole-Lysine medium ผลการทดสอบเป็นบวก โดยพบว่าเชื้อมีการเคลื่อนที่รอบ ๆ รอยที่แทงลงในหลอดอาหารทดสอบด้วยเข็มเขี่ยปลายตรงบริเวณรอบ ๆ รอยที่แทงเชื้อลงไปมีความขุ่นเนื่องจากเชื้อมีการเจริญและมีการเคลื่อนที่ การทดสอบ Indole ผลเป็นลบคือสีของน้ำยาไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง รวมถึงการทดสอบ Glucose Fermentation เป็นการทดสอบความสามารถของเชื้อในการใช้น้ำตาล Glucose ผลการทดสอบพบว่าเป็นลบคือเชื้อมีการเจริญเติบโต โดยสังเกตจากอาหารที่ขุ่นขึ้น แต่เชื้อไม่มีการใช้น้ำตาลกลูโคส โดยพบว่าอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ทดสอบยังคงมีสีเขียวเหมือนเดิม

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้แตกต่างจากการทดลอง อื่น ๆ ที่ผ่านมามี คือ การทดลองในครั้งนี้จะมีการเพิ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นมา เช่น ชนิดของอาหารที่ใช้ในการเก็บรักษา วิธีการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารที่สามารถเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่ ได้นานที่สุดคือ อาหาร Nutrient agar และ Luria bertani agar โดยสามารถเก็บรักษาเชื้อได้เป็นเวลา 2 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเก็บรักษาเชื้อบริสุทธิ์ของแบคทีเรียที่สามารถเก็บรักษาในอาหาร Nutrient agar ได้หลายสัปดาห์จนถึง 2 เดือน¹ และอาหารเลี้ยงเชื้อที่สามารถเก็บเชื้อได้รองลงมาคืออาหาร Brain heart infusion agar และ อาหาร Skim milk agar ซึ่งสามารถเก็บเชื้อได้เพียง 1 เดือน เท่านั้น โดยการทดสอบการเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่ จะพบว่าเชื้อเลี้ยงเชื้อและเก็บรักษาเชื้อไว้ในอาหารทั้ง 4 ชนิด และเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้น หลังจากเวลาผ่านไป 1-2 เดือน เมื่อนำเชื้อกลับมาเพาะเลี้ยงใหม่ พบว่าเชื้อจะมีการเจริญเติบโตน้อยมากหรือในอาหารบางชนิดเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานกว่า 2 เดือน เมื่อนำเชื้อมาเพาะเลี้ยงใหม่ ไม่พบว่าการเจริญเติบโตเลย เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการอื่น นับว่าวิธีการนี้สามารถเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นระยะเวลาที่สั้นมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเก็บรักษาเชื้อโดยวิธีการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่และเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสนั้น เชื้อจุลินทรีย์ยังมีกิจกรรมเมตาบอลิซึม โดยไม่มีการหยุดการเจริญเติบโต แต่กลับมีการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ และมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีการใช้สารอาหารและปล่อยของเสียออกมาสู่อาหารที่ใช้ในการเก็บรักษา เป็นผลให้เชื้อจุลินทรีย์ตายในเวลาต่อมา² นอกจากนี้แล้วปัจจัยที่ส่งผลต่อ

การเก็บรักษาเชื้ออีกปัจจัยหนึ่งคือส่วนประกอบของอาหาร ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาของการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากส่วนประกอบบางอย่างในอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อและการปลดปล่อยของเสียออกมาอย่างรวดเร็ว จึงมีการลดส่วนประกอบบางอย่างในอาหารเพื่อให้เชื้อมีการเจริญเติบโตน้อยลงและปลดปล่อยของเสียออกมาน้อยลง เช่น ลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสให้น้อยลงเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสจะเพิ่มการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ทำให้สร้างกรดได้มากและทำให้เชื้อตายเร็ว ไม่มีโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต แต่จะประกอบด้วยเกลือแร่ต่าง ๆ หลายชนิดเพื่อรักษาความเป็นกรด-ต่าง¹⁴ เป็นต้น

การเก็บรักษาเชื้อแบคทีเรียโดยวิธีการเก็บรักษาในอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar ภายใต้พาราฟินเหลวแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่าหลังจากการเก็บรักษาเชื้อภายใต้พาราฟินเหลวเป็นเวลา 12 เดือน เมื่อนำเชื้อกลับมาเพาะเลี้ยงใหม่ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าเชื้อยังมีการเจริญเติบโตและสร้างรงควัตถุ pyocyanin ได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเก็บรักษาเชื้อ *Pseudomonas* ในอาหาร Yeast extract peptone ภายใต้พาราฟินเหลว พบว่าสามารถเก็บรักษาเชื้อได้นานกว่า 19 เดือน เมื่อนำเชื้อกลับมาเพาะเลี้ยงเชื้อยังสามารถเจริญเติบโตได้¹⁵ ซึ่งสาเหตุที่การเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีการเก็บรักษาด้วยการเก็บภายใต้พาราฟินเหลวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาเชื้อได้นานกว่าการเก็บรักษาเชื้อแบบการถ่ายสู่อาหารใหม่ เพราะว่ามีเพิ่มเติมพาราฟินเหลวปลอดเชื้อเพื่อปกป้องผิวหน้าของอาหารที่เชื้อเจริญอยู่เพื่อจำกัดการได้รับปริมาณออกซิเจนให้น้อยลง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ลดกิจกรรมเมตาบอลิซึมและลดการเจริญเติบโตในระหว่างการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์¹

การเก็บรักษาเชื้อแบคทีเรียในกลีเซอรอล 15% และแช่แข็ง เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือนขึ้นไป แล้วนำกลับมาเพาะเลี้ยงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าเชื้อมีการเจริญเติบโตและสร้างรงควัตถุ pyocyanin ได้ตามปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการเจริญและการเก็บรักษาแบคทีเรีย *P. aeruginosa* ซึ่งสามารถเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีนี้ได้ยาวนานกว่า 2 ปี ที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส¹⁰ แต่ควรหลีกเลี่ยงการเก็บรักษาเชื้อที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า เนื่องจากจะทำให้เซลล์เสียหาย ทำให้การเก็บรักษาจุลินทรีย์ทำได้ในระยะเวลาสั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วยังอุณหภูมิที่ยังสามารถเก็บรักษาเชื้อได้นานและยังมีความคงตัวทางพันธุกรรมสูง อุณหภูมิที่ดีที่สุดคืออุณหภูมิตั้งระหว่าง -30 ถึง -70 องศาเซลเซียส¹⁶ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานว่าการเก็บรักษาเชื้อด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ดีและสามารถเก็บรักษาเชื้อได้ทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา โดยการเติมกลีเซอรอล

จะช่วยรักษาเซลล์ภายใต้สภาวะการแช่แข็ง ซึ่งวิธีนี้สามารถเก็บรักษาเชื้อได้นาน 1-2 ปี ที่อุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียสหรือเก็บได้นานกว่า 2 ปี ที่ -80 องศาเซลเซียส¹ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเก็บรักษาคลังเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้ Skim milk เพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาแบคทีเรียที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส โดยสามารถเก็บรักษาสายพันธุ์แบคทีเรียได้นานกว่า 6 ปี¹⁴ วิธีการเก็บรักษาสายพันธุ์จุลินทรีย์ในกลีเซอรอลและแช่แข็ง สามารถเก็บรักษาสายพันธุ์แบคทีเรียได้เป็นระยะเวลานาน เนื่องจากมีกลีเซอรอลเป็นตัว protective agent มีการเกิดอิเล็กโตรไลซิสต่ำและไม่ละลายเป็นของเหลวได้ง่าย เซลล์ของจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะแช่แข็ง จุลินทรีย์จึงไม่มีการใช้สารอาหารและไม่เกิดกระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้นในขณะที่ที่จุลินทรีย์ถูกเก็บรักษาด้วยการแช่แข็ง มีการลดอัตราการเผาผลาญ (metabolism rate) ทำให้สามารถเก็บรักษาสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ได้เป็นเวลานาน¹⁶

ผลการทดสอบเพื่อยืนยันชนิดของแบคทีเรีย *P. aeruginosa* โดยการสังเกตลักษณะของโคโลนี การเจริญเติบโตและการสร้างรงควัตถุบนอาหารเลี้ยงเชื้อ การย้อมสีแกรม พบว่า การเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อจะพบโคโลนีใหญ่แบนและแผ่กระจายเกือบทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อ โคโลนีมีสีเขียวอมน้ำเงิน มีกลิ่นคล้ายองุ่นหมัก การย้อมสีแกรมเป็นแกรมลบ มีรูปร่างแบบแท่ง เรียงตัวเดี่ยว¹⁷ ส่วนการทดสอบทางชีวเคมีต่าง ๆ พบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาคุณลักษณะของแบคทีเรีย *P. aeruginosa* สายพันธุ์ DN1 คือ เมื่อมีการทดสอบ catalase test พบว่ามีผลเป็นบวก การทดสอบในอาหาร Triple sugar iron sugar ผลการทดสอบเป็น K/N¹³ และการทดสอบการหมักในอาหาร Glucose fermentation มีผลเป็นลบ¹⁸

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองจะพบว่าวิธีการเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ภายใต้พาราฟินเหลวแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและการเก็บในกลีเซอรอล 15% แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 และ -80 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษาเชื้อได้นานที่สุด ดังนั้นการเลือกใช้วิธีใดในการเก็บรักษาอยู่ที่ผู้ปฏิบัติงานจะเลือกใช้ โดยหากห้องปฏิบัติการที่มีวัสดุ ครุภัณฑ์ทุกอย่างพร้อม ควรเลือกเก็บรักษาในกลีเซอรอลและแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส แต่ในบางห้องปฏิบัติการที่ยังขาดเครื่องมือและครุภัณฑ์ที่มีราคาค่อนข้างสูง สามารถเลือกใช้วิธีการเก็บภายใต้พาราฟินเหลวและแช่เย็นในตู้เย็นแทนได้ ซึ่งสามารถเก็บรักษาสายพันธุ์จุลินทรีย์ได้เป็นเวลานานเช่นกัน แต่ในกรณีที่ต้องการใช้เชื้อจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น มีการใช้เชื้อเป็นประจำประมาณ 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง ควรมีการเก็บ

รักษาเชื้อโดยการถ่ายเชื้อสู่อาหารใหม่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar และ Luria bertani agar เพราะเชื้อยังสามารถเจริญและสร้างรงควัตถุได้ตามปกติ ซึ่งวิธีนี้เหมาะแก่การเก็บรักษาเชื้อระยะเวลายาว

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณทุนส่งเสริมและพัฒนาการวิจัยสำหรับบุคลากร ปีงบประมาณ 2560 และอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณคณะสาธารณสุขศาสตร์ ที่ให้อาหารอนุเคราะห์สถานที่ในการปฏิบัติงานวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Kumar S, Kashyap P.L., Singh S.,Srivastava A.k. Preservation and maintenance of microbial culture. Analyzing microbes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2013; 135-152
2. Tankeshwar A. Maintenance and preservation of pure culture of bacteria. Microbe online. 2010. Serch online : 2017 Aug 21 <https://microbeonline.com/maintenance-and-preservation-of-pure-cultures-of-bacteria/>
3. อรทัย ลีลาพจนานพร. การเก็บรักษา ดูแลจุลินทรีย์อ้างอิง. วารสาร พศ.สาร (BLPD Newsletter). 2555;4(48):1-4
4. William L.C., James W.W., David R.H., Kevin S.M., Kayla E.H., Ott C.M., Cheryl A.N., Michael J.S.. Skim milk enhances the preservation of thawed -80 °C bacterial stocks. J Microbiol Method. 2009; 75(1): 135-38
5. Liao C.H. and Shollenberger L.M.. Survivability and long-term preservation of bacteria in water and in phosphate-buffered saline. Letters in Applied Microbiology.2003;37:45-50
6. Morgan C.A., Herman H., White P.A., Vesey G.. Preservation of microorganism by drying ; A review. Journal of Microbiological Methods. 2006;66:183-193
7. Shinohara Y.M., Sukennobe J, Imaizumi T, Nakahara T. Survival curves for microbial species stored by freeze-drying. Cryobiology. 2006;52:27-32
8. Prakash O, Nimonkar Y, Shouch Y.S.. Practice and prospects of microbial preservation. FEMS Microbiol

Lett. 2013;339:1-9

9. Tedeschi R and Paoli P.D.. Collection and preservation of frozen microorganism. Methods in Biobanking. 2011;675:313-314
10. LaBauve A.E. , Matthew J.W.. Growth and laboratory maintenance of *Pseudomonas aeruginosa*. Curr Protoc Microbiol. 2015;1-11
11. El-Fouly M.Z., Sharaf A.M., Shahin A.A.M.,El-Bialy H.A., Omara A.M.A.. Biosynthesis of pyocyanin pigment by *Pseudomonas aeruginosa*. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2015;8: 36-48
12. Kanokporn C., Sonvanee T., Sutthiwan T. and Thotsapol C.. Antibiotic resistance of environmental isolates of *Pseudomonas aeruginosa* in mahasarakham province and nong bua lamphu province. J Sci Technol MSU. 2016; 35(2):174-181
13. Ningthoujam D.S. and Shovarani N.. Isolation and characterization of a *Pseudomonas aeruginosa* strain DN1 degrading p-nitrophenol. Res J Microbiol. 2008;3(5):345-351
14. นางลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. พิมพ์ครั้งที่ 2. อาหารเลี้ยงเชื้อและการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2541
15. Rhodes M.E.. The preservation of *Pseudomonas* under mineral oil. J appl Bact. 1957;20(1):108-118
16. รวิวรรณ อาจสำอาง. การเก็บรักษาเชื้ออ้างอิง (Maintenance and Preservation of reference cultures). [ออนไลน์]. [อ้างถึงวันที่, 21 กันยายน 2560] เข้าถึงข้อมูลได้จากอินเทอร์เน็ต : http://www.dss.go.th/images/starticle/bsp_7_25_45_reference_culturer.pdf
17. นางลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550:84
18. UK Standards for Microbiology Investigation. Identification of *Pseudomonas* species and other non-glucose fermenters. Standard Unit, Public Health England. 2013;17(3):9-10

การประเมินความต้านทานของหนอนไหมไทยต่อโรคแกรสเซอร์รี่

Determination of the resistance to grassery of Thai silkworm, *Bombyx mori*

สิริภักดิ์ สุระพร¹, เอกพจน์ ศรีฟ้า¹

Siripuk Suraporn¹, Akeapot Srifa¹

Received: 11 June 2018 ; Revised: 20 August 2018 ; Accepted: 18 September 2018

บทคัดย่อ

ปัญหาและอุปสรรคในการเลี้ยงไหมในประเทศไทยคือ โรคแกรสเซอร์รี่ ซึ่งมีสาเหตุจากไวรัส *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus (BmNPV) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้านทานของหนอนไหมไทยต่อโรคแกรสเซอร์รี่ ใช้ไหมทดลองจำนวน 15 สายพันธุ์ ได้แก่ นางลาย นางน้อย นางตุ้ย หัวฝ้าย สำโรง นางสีว นางเหลือง คอตั้ง กากี แพงพวย รอ.5 นค.04 สฟ.2 ปช. 21 และ นนค.8 ในขั้นแรกทำการทดสอบหาค่า LC₅₀ ของหนอนไหม สายพันธุ์นางลาย และสำโรง โดยการจุ่มใบหม่อนลงในสารแขวนลอย BmNPV ที่ความเข้มข้น 10⁵ 10⁶ 10⁷ 10⁸ 10⁹ ผลึกต่อมิลลิลิตร และวิเคราะห์หาค่า LC₅₀ โดยใช้โปรแกรม ToxRat Standard version 3.2.1 พบว่า ค่า LC₅₀ ต่อ BmNPV ของไหมนางลาย และสำโรง เท่ากับ 5.05x10⁷ และ 1.52x10⁷ ผลึกต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการประเมินความต้านทานของหนอนไหม 15 สายพันธุ์ต่อโรคแกรสเซอร์รี่ โดยให้หนอนไหมได้รับ BmNPV ที่ความเข้มข้น 10⁷ ผลึกต่อมิลลิลิตร (LC₅₀) และบันทึกอัตราการตายของไหมในแต่ละสายพันธุ์ โดยใช้ดัชนีอัตราการตายของหนอนไหม มาเป็นเกณฑ์ในการประเมินความต้านทานและอ่อนแอ 4 ระดับ คือ ต้านทานมาก ต้านทานปานกลาง อ่อนแอปานกลาง และอ่อนแอมาก ผลการทดลองพบว่าหนอนไหมพันธุ์ที่มีความต้านทานสูง ได้แก่ สำโรง นค.04 หัวฝ้าย นางลาย มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 12.66±1.20, 13.00±2.08, 14.66±0.33, 18.33±0.33 ตามลำดับ ระดับความต้านทานปานกลาง ได้แก่ นางสีว แพงพวย คอตั้ง กากี รอ.05 นางตุ้ย มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 30.33±1.45, 31.33±1.20, 32.00±1.15, 33.33±1.20, 34.33±2.96, 35.33±0.33 ตามลำดับ ระดับอ่อนแอปานกลาง ได้แก่ สฟ.2 นางน้อย ปช 21 มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 42.66±2.33, 43.33±0.88, 47.00±0.57 ตามลำดับ ระดับอ่อนแอมาก ได้แก่ นนค.8 และ นางเหลือง มีอัตราการตายเฉลี่ยเท่ากับ 52.00±2.64 และ 52.33±2.40 ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลเพื่อแนะนำเกษตรกรผู้เลี้ยงไหมในการปรับปรุงพันธุ์ให้ต้านทานต่อโรคแกรสเซอร์รี่ต่อไป

คำสำคัญ: หนอนไหม นิวคลีโอโพลีเฮโดรไวรัส ความต้านทานต่อแกรสเซอร์รี่

Abstract

The grassery caused by *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus (BmNPV) is the most severe disease in Thai sericultural practice. In this study, a resistance of Thai silkworm, *Bombyx mori* to grassery disease was determined. Fifteen Thai native strains, namely, Nang Lai, Nang Noi, Nang Tui, Sam Rong, Nang Seiw, Hua Fai, Nang Lueang, Kor Tung, Kaki, RE05, NK04, Pang Puay, SP2, PCh21, and NNK8, were investigated. The 3rd instar larvae of Nang Lai, and Sam Rong were used for the Lethal Concentration (LC₅₀) test. The mulberry leaves were dipped in suspensions of BmNPV at 10⁵, 10⁶, 10⁷, 10⁸, 10⁹ OBs/ml. LC₅₀ were analyzed by ToxRat Standard Program version 3.2.1. The result showed that the LC₅₀ values of Nang Lai and Sam Rong were at 5.05x10⁷ and 1.52x10⁷ OBs/ml, respectively. The resistance to grassery of all Thai silkworm strains mentioned above were determined at 10⁷ OBs/ml of BmNPV (LC₅₀). The mortality of grassery infected silkworm larvae was recorded and indicated. The results revealed that there were 4

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University

* Corresponding author; Assistant professor Siripuk Suraporn, Email: siripuk_s@yahoo.com

levels of resistance and susceptibility based on mean mortalities; highly resistant, medium resistant, medium susceptible, and highly susceptible. The highly resistant strains were Sam Rong, NK04, Hua Fai, Nang Lai; (12.66±1.20, 13.00±2.08, 14.66±0.33, 18.33±0.33, respectively) and the medium resistant strains were Nang Seiw, Pang Puay, Kor Tung, Kaki, RE05, Nang Tui; (30.33±1.45, 31.33±1.20, 32.00±1.15, 33.33±1.20, 34.33±2.96, 35.33±0.3, respectively). On the other hand, the medium susceptible strains were SP2, Nang Noi, PCh21; (42.66±2.33, 43.33±0.88, 47.00±0.57, respectively) and the highly susceptible strains were NNK8 and Nang Lueang; (52.00±2.64 and 52.33±2.40, respectively). The results of this study will be useful for the farmers to improve the grassery resistant silkworm strains.

Keywords: *Bombyx mori*, nucleopolyhedrovirus, grassery resistance

บทนำ

หนอนไหม (*Bombyx mori* Linn.) เป็นแมลงที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ผลผลิตจากไหม นำมาเป็นสิ่งทอผลิตเสื้อผ้าไหมที่สวยงาม เป็นเอกลักษณ์ของไหมไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้จัดการสร้างภาพยนตร์ที่ยิ่งใหญ่เรื่อง เบนเฮอร์ (Ben Hur) และ The King and I ได้สั่งผ้าไหมไทยจากบริษัท จิม ทอมป์สัน เพื่อตัดเป็นชุดแต่งตัวให้กับดาราที่แสดงเกือบทุกคน ซึ่งภาพยนตร์เรื่อง เบนเฮอร์ ได้รับรางวัลออสการ์ ถึง 11 รางวัล รวมทั้ง รางวัลออสการ์ออกแบบเครื่องแต่งกายยอดเยี่ยม¹ ยิ่งทำให้ผ้าไหมไทย เป็นที่รู้จักของคนทั่วโลกอย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ผลผลิตจากไหมนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง เวชภัณฑ์ทางยา และอาหารเสริมที่ผลิตจากราสกุล *Cordyceps* ที่เจริญได้ดิบดักแด้ไหม^{2,3} รังไหม มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบที่เรียกว่า เซริซิน (sericin) หรือ กาวไหม มีรายงานพบว่าไหมไทยพื้นบ้าน มีปริมาณเซริซินมากกว่า

ไหมสายพันธุ์ญี่ปุ่น⁴ ดังนั้นไหมไทยพันธุ์พื้นบ้านจึงมีข้อได้เปรียบในแง่ของการนำไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์อื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของไหมให้สูงขึ้นมากกว่าการนำไปทอเป็นผ้าไหมเพียงอย่างเดียว วัฏจักรของไหมประกอบด้วย ระยะไข่ ระยะหนอนไหม (วัย 1-วัย 5) ระยะดักแด้ และระยะผีเสื้อ วงชีวิตของไหมจากระยะไข่ไหมถึงระยะผีเสื้อ ประมาณ 40-45 วัน หนอนไหมกินพืชอาหารเพียงชนิดเดียว (monophagous insect) คือใบหม่อนเท่านั้น⁵

การปลูกหม่อนเลี้ยงไหมพบได้อย่างหนาแน่นในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีการเลี้ยงไหมมากที่สุด^{6,7} (Figure 1) ไหมที่นิยมเลี้ยงคือไหมพันธุ์ไทยพื้นบ้าน ซึ่งเป็นไหมประเภทที่ฟักออกเป็นตัวได้ตลอดทั้งปี (polyvoltine silkworm) จึงไม่จำเป็นต้องมีการใช้เทคโนโลยีในการฟักเทียมไข่ไหม

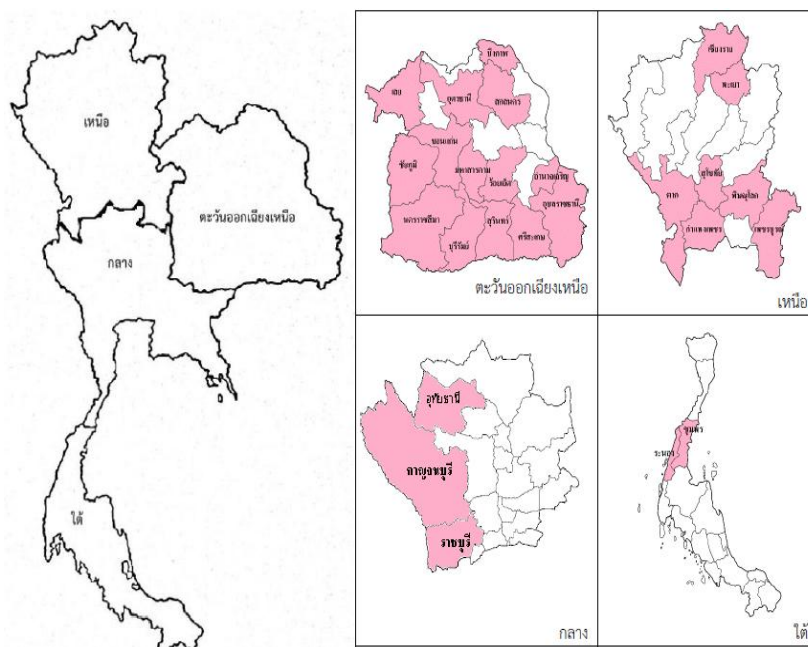


Figure 1 Map of Thailand and the Northeast region of Thailand, pink color: the sites where the silkworm, *Bombyx mori* were reared⁷.

อย่างไรก็ตาม ปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญในการเลี้ยงไหมคือ โรคของหนอนไหมและโรคที่สำคัญที่สุดคือโรคแกรสเซอร์ (grassery) หรือที่เรียกตามภาษาพื้นบ้านว่าโรคเต๋อ โรคกระหิ หรือ โรคตัวเหลือง เกิดจากไวรัส *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus (BmNPV) เป็นไวรัสที่มีฝักโปรตีนห่อหุ้ม (occlusion body: OB) (Figure 2A) ภายในฝักโปรตีนนี้มีอนุภาคไวรัส (occlusion derived virus: ODV) อัดแน่นอยู่เป็น

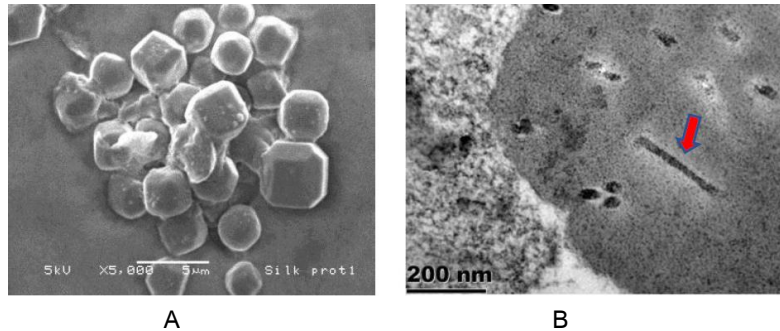


Figure 2 The structure of *Bombyx mori* nucleopolyhedrovirus (BmNPV); A) occlusion body (OB) observed under a light microscope, B) occlusion derived virus (ODV) observed under a transmission electron microscope¹⁰

จากปัญหาเรื่องโรคแกรสเซอร์ ถือว่าเป็นอุปสรรคในการผลิตไหมมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้านทานของไหมพันธุ์ไทย และเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ไหมที่ต้านทาน หรืออ่อนแอต่อการเกิดโรคแกรสเซอร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการแนะนำสายพันธุ์ไหมต่อเกษตรกรต่อไป พร้อมทั้งนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ไหมให้ต้านทานต่อโรคแกรสเซอร์ต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. แหล่งที่มาของไวรัส

ออกสำรวจการเกิดโรคแกรสเซอร์ในหนอนไหมตามหมู่บ้านที่เกษตรกรทำการเลี้ยงไหมในจังหวัดมหาสารคาม หมู่บ้านในเขตพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม กันทรวิชัย และเชียงยืน เมื่อพบหนอนไหมที่แสดงอาการของโรคแกรสเซอร์ นำหนอนไหมที่เป็นโรคใส่ขวดพลาสติกเพื่อนำมาแยก BmNPV สาเหตุโรคแกรสเซอร์ให้บริสุทธิ์ในห้องปฏิบัติการโรควิทยาของไหมและการตรวจวินิจฉัยโรค มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2. การเตรียมไวรัส BmNPV

บดหนอนไหมที่เป็นโรคให้ละเอียด นำของเหลวกรองผ่านสำลี 2-3 ชั้น ในกรวยกรอง ทำการเก็บสารแขวนลอย BmNPV แล้วนำมาเพิ่มปริมาณ โดยจุ่มใบหม่อนในสารแขวนลอย BmNPV ให้หนอนไหมกิน เมื่อหนอนไหมแสดงอาการของโรคแกรสเซอร์ ใช้กรรไกรตัดขาเทียมของหนอนไหม นำของเหลว (haemolymph) ไปตรวจหาผลึกโปรตีน

จำนวนมาก (Figure 2B) แกรสเซอร์ เป็นโรคที่ทำความเสียหายให้กับอุตสาหกรรมการเลี้ยงไหมมากที่สุด การระบาดของโรคเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในทุกฤดูของการเลี้ยงไหม และพบได้ทุกฤดูกาล หนอนไหมตายตอนวัย 5 ซึ่งเป็นระยะที่กำลังสร้างรังไหม ทำให้เกษตรกรเสียเวลาและแรงงานเลี้ยงหนอนไหม นอกจากนี้ในการเลี้ยงไหมบางรุ่นเกษตรกรไม่ได้รับผลผลิตเลย⁹

(occlusion body: OB) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 400 เท่า ทำการนับจำนวนผลึกโปรตีนด้วยเครื่องนับ (haemocytometer) เพื่อหาความเข้มข้นของสารแขวนลอยผลึกโปรตีนสำหรับการทดลองต่อไป

3. การเลี้ยงหนอนไหมเพื่อการทดลอง

จากวิจัยนี้ใช้หนอนไหมพันธุ์ไทย 15 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นางลาย นางน้อย นางตุ้ย หัวฝ้าย สำโรง นางลิ้นนางเหลือง คอตั้ง กากี้ แพงพวย รอ.5นค.04 สพ.2 ปช.21 และ นนค.8 โดยนำไข่ไหมมากที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 วัน เมื่อไหมฟักออกเป็นตัวอ่อนเข้าสู่ระยะหนอน เลี้ยงหนอนไหมด้วยใบหม่อนวันละ 3 ครั้ง นำหนอนไหมวัย 1-วัย 5 ในแต่ละสายพันธุ์ ทำการทดลองเพื่อประเมินหาความต้านทานต่อไป

3.1 การทดสอบค่า LC₅₀ ในหนอนไหมพันธุ์นางลาย และสำโรง

เตรียมสารแขวนลอยผลึกโปรตีน (OB) ทั้งหมด 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 10⁵, 10⁶, 10⁷, 10⁸, 10⁹ ฝักต่อมิลลิลิตร โดยทำการเจือจางสารแขวนลอยผลึกโปรตีน BmNPV ในน้ำกลั่นที่ผ่านการนิ่งมาเชื้อในหม้อหนึ่งความดันไอ ทำการตัดใบหม่อนให้เป็นสี่เหลี่ยมขนาด 2×2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปจุ่มลงในสารแขวนลอย BmNPV ที่ความเข้มข้น 10⁵, 10⁶, 10⁷, 10⁸, 10⁹ ฝักต่อมิลลิลิตร และนำไปให้หนอนไหมกิน เป็นการให้ BmNPV แก่หนอนไหม เพียง 1 ครั้งเท่านั้น

ให้หนอนไหมทดลองอดอาหารเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้หนอนไหมเกิดความอยากกินอาหาร ซึ่งจะทำให้หนอนไหมได้รับ BmNPV ได้อย่างเต็มที่ วางแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) โดยการแบ่งหนอนไปออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มควบคุมโดยให้หนอนไหมกินใบหม่อนจุ่มน้ำกลั่น ใช้หนอนไหมจำนวน 70 ตัว สำหรับกลุ่มทดลอง ใช้หนอนไหมจำนวน 35 ตัวต่อซ้ำ และทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ บันทึกหนอนไหมที่ตายจากสาเหตุโรคแกรสเซอร์รี่ ในระยะเวลา 12 วัน นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่า LC₅₀ โดยใช้โปรแกรม ToxRat Standard Version 3.2.1 (ToxRat Solutions GmbH, 2005)

3.2 การทดสอบความต้านทานต่อ BmNPV กับหนอนไหมไทย 15 สายพันธุ์

ทดสอบความต้านทานต่อ BmNPV ในหนอนไหมพันธุ์ไทย 15 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์นางลาย นางน้อย นางตุ้ย หัวฝาย สำโรง นางสีว นางเหลือง คอตั้ง กากี แพงพวย รว.5 นค.04 สพ.2 ปช.21 และ นนค.8 ที่ระดับความเข้มข้นของสารแขวนลอยผลึกโปรตีน 10⁷ ผลึกต่อมิลลิลิตร โดยเตรียม BmNPV ในรูปสารแขวนลอย ตามกรรมวิธีการทดลองในหัวข้อการทดสอบค่า LC₅₀ ตามที่ได้กล่าวมาในข้างต้น วางแผนแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยใช้หนอนไหมทดลอง จำนวน 300 ตัวต่อหนอนไหม 1 สายพันธุ์ และทำ 3 ซ้ำๆ ละ 100 ตัว

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอัตราการตายของหนอนไหมแต่ละสายพันธุ์ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมที่เลี้ยงด้วยใบหม่อนตามปกติ หากตรวจสอบพบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแล้วใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 16

ผลการทดลอง

1. ลักษณะของหนอนไหมพันธุ์ไทยที่ใช้ทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ไหมไทย ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมเลี้ยง เพราะมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และเป็นพันธุ์ที่หน่วยราชการส่งเสริมให้มีการเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง เพราะไหมไทย เป็นพันธุ์ที่สามารถฟักออกได้ตลอดปี เกษตรกรจึงเลี้ยงไหมได้ตลอดทั้งปี¹¹ ไหมไทยมีเอกลักษณ์ที่ชัดเจน โดดเด่นคือรังไหมสีเหลืองสด รังไหมมีขนาดเล็ก เส้นใยสั้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการเลี้ยงไหม

พันธุ์ไทยของ สมหญิง ชูประยูร และคณะ 2538¹² ลักษณะเฉพาะของไหมพันธุ์ไทยที่ได้จากผลการทดลองในครั้งนี้อาจมีจำนวน 15 สายพันธุ์ พันธุ์นางลายหนอนไหมมีลายขาวคาดดำตลอดลำตัว รังไหมสีเหลือง หัวบ้าน ท้ายแหลม อายุหนอนไหม 20 วัน และความยาวเส้นใยต่อรัง 258–313 เมตร (Figure 3A) นางน้อย หนอนไหมสีขาวนวล รังไหมสีเหลือง หัวบ้าน ท้ายแหลม อายุหนอนไหม 20 วัน และความยาวเส้นใยต่อรัง 312–410 เมตร (Figure 3B) นางตุ้ย หนอนไหมสีเหลือง รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม อายุหนอนไหม 21 วัน และความยาวเส้นใยต่อรัง 278 เมตร (Figure 3C) สำโรงหนอนไหมสีขาวลำตัวมีจุดประ (Mark) รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3D) นางสีวหนอนไหมมีลักษณะสีขาวอมเขียว รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม อายุหนอนไหม 22 วัน และความยาวเส้นใยต่อรัง 372 เมตร (Figure 3E) หัวฝายหนอนไหมลำตัวสีขาวมีจุดประ สีดำ รังสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3F) กากีหนอนไหมลำตัวสีขาว อายุหนอนไหม 20 วัน รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3G) แพงพวย หนอนไหมลำตัวขาวปลอด อายุหนอนไหม 20 วัน รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3H) นางเหลืองหนอนไหมมีลำตัวสีเหลือง อายุหนอนไหม 19 วัน รังสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3I) รว.5 หนอนไหมลำตัวขาว รังสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3J) นค.04 หนอนไหมลำตัวสีขาว นวล รังไหมสีขาว หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3K) คอตั้งตัวหนอนสีขาวนวล ขอบซुकอ รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3L) สพ.2 ลักษณะลำตัวสีขาวขุ่นหรือขาวอมเหลือง มีจุดประ สีดำ และรังไหมมีสีเหลือง (Figure 3M) ปช. 21 ลำตัวหนอนไหมสีขาวนวล รังสีเหลืองอ่อน หัว และท้ายบ้าน (Figure 3N) นนค.8 หนอนไหมลำตัวสีขาวนวล รังไหมสีเหลือง หัวบ้านท้ายแหลม (Figure 3O)

อาการของโรคแกรสเซอร์รี่ในไหมทดลอง 15 สายพันธุ์

หลังจากที่หนอนไหมได้รับ BmNPV จะแสดงอาการของโรคแกรสเซอร์รี่ กล่าวคือ มีอาการขีดเหลือง หรือเตื่อ กินใบหม่อนได้น้อย มีการเคลื่อนไหวช้า และป็นปลายขั้นสูงที่สูงหรือเรียกอาการนี้ว่า tree top disease¹³ มีนังลำตัวเปราะ บางเมื่อสะกิด มีของเหลวสีเหลืองขุ่นไหลออกมา เนื่องจากมีผลึกโปรตีนจำนวนมากอยู่ในน้ำเลือดหนอนไหม ซึ่งอาการดังกล่าวเกิดกับหนอนไหมทดลอง ทั้ง 15 สายพันธุ์ คือ นางลาย นางน้อย นางตุ้ย สำโรง นางสีว หัวฝาย นางเหลือง คอตั้ง กากี รว.05 นค.04 แพงพวย สพ.2 ปช.21 และ นนค.8 (Figure 4A-4O) ตามลำดับ

การทดสอบความรุนแรงของ BmNPV (LC_{50})

เพื่อศึกษาความรุนแรงของ BmNPV ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการหาค่า LC_{50} จากการทดสอบกับหนอนไหม พันธุ์นางลาย และ สำโรง โดยให้หนอนไหมวัย 3 ได้รับ BmNPV โดยการจุ่มใบหม่อนลงในสารแขวนลอย BmNPV ที่มีความเข้มข้น 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 , 10^9 ผลึกต่อมิลลิลิตร พบว่าหนอนไหมเริ่มแสดงอาการของโรคแกระสเซอร์ ภายใน 4-5 วัน การวัดค่า LC_{50} ทำโดยการจัดบันทึกข้อมูลจำนวนหนอนไหมที่ตาย (mortality) ในช่วง 12 วัน หลังจากได้รับ BmNPV ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง (รุ่น) พบว่าความเข้มข้นของ BmNPV ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อจำนวนการตายของหนอนไหมเพิ่มขึ้น พบอัตราการตายในหนอนไหม นางลายที่ความเข้มข้นของ BmNPV 10^5 10^6 10^7 10^8 10^9 ผลึกต่อมิลลิลิตร เป็นร้อยละ 6.15, 16.15, 23.35, 59.05 และ 82.35 ตามลำดับ ส่วนอัตราการตายของหนอนไหมพันธุ์สำโรงที่ความเข้มข้น ของ BmNPV 10^5 10^6 10^7 10^8 10^9 ผลึกต่อมิลลิลิตร เป็นร้อยละ 14.17, 23.80, 38.60, 67.70 และ 90.45 ตามลำดับ (Table 1)

การคำนวณหาค่า LC_{50} โดยโปรแกรม ToxRat Standard Version 3.2.1 พบว่าค่า LC_{50} ของ BmNPV ต่อหนอนไหมอยู่ที่ ระดับความเข้มข้น 10^7 ผลึกต่อมิลลิลิตร โดยหนอนไหมสายพันธุ์นางลาย มีค่า LC_{50} เท่ากับ 5.05×10^7 ผลึกต่อมิลลิลิตร และพันธุ์สำโรง เท่ากับ 1.52×10^7 ผลึกต่อมิลลิลิตร

ดังนั้นจึงนำ ค่า LC_{50} ของ BmNPV ที่ 10^7 ผลึกต่อมิลลิลิตร ไปประเมินความต้านทาน และอ่อนแอกับหนอนไหม 15 สายพันธุ์ เป็นลำดับต่อไป

การประเมินความต้านทานต่อ BmNPV สายพันธุ์โรคแกระสเซอร์

จากการทดสอบความต้านทานต่อ BmNPV ในหนอนไหมพันธุ์ไทย 15 สายพันธุ์ ได้แก่ นางลาย นางน้อย นางตุ้ย หัวฝาย สำโรง นางสีว นางเหลือง คอตั้ง กากี แพงพวย รอ.5 นค.04 สพ.2 ปช.21 และ นค.8 โดยแบ่งหนอนไหมออกเป็น 2 กลุ่มทดลอง คือ กลุ่มควบคุม เลี้ยงหนอนไหมโดยการให้กินใบหม่อนตามปกติ และกลุ่มหนอนไหมที่ได้รับสารแขวนลอย BmNPV ที่ระดับความเข้มข้น 10^7 ผลึกต่อมิลลิลิตร (LC_{50}) จากนั้นนับจำนวนหนอนไหมที่ตายในแต่ละวันจนถึงระยะหนอนไหมทำรัง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการตายและเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของความต้านทานต่อ BmNPV ในหนอนไหม 15 สายพันธุ์ (Table 3) สามารถประเมินความต้านทาน และอ่อนแอ ของหนอนไหมไทยต่อ BmNPV โดยใช้ค่าร้อยละการตายเฉลี่ยของหนอนไหม คือ ต้านทานมาก (highly resistance: 20-40%) ต้านทานปานกลาง (medium resistance: 41-60%) อ่อนแอปานกลาง (medium resistance: 61-80%) และอ่อนแอมาก (highly susceptible: 81-100%) โดยพบว่าหนอนไหมพันธุ์ที่มีความต้านทานสูง ได้แก่ สำโรง นค.04 หัวฝาย นางลาย เท่ากับ 12.66 ± 1.20 , 13.00 ± 2.08 , 14.66 ± 0.33 , 18.33 ± 0.33 , ตามลำดับ ระดับความต้านทานปานกลาง ได้แก่ นางสีว แพงพวย คอตั้ง กากี รอ.05 นางตุ้ย เท่ากับ 30.33 ± 1.45 , 31.33 ± 1.20 , 32.00 ± 1.15 , 33.33 ± 1.20 , 34.33 ± 2.96 , 35.33 ± 0.33 ตามลำดับ ระดับอ่อนแอปานกลาง ได้แก่ สพ.2 นางน้อย ปช 21 เท่ากับ 42.66 ± 2.33 , 43.33 ± 0.88 , 47.00 ± 0.57 ตามลำดับ ระดับอ่อนแอมาก ได้แก่ นค.8 และ นางเหลือง เท่ากับ 52.00 ± 2.64 และ 52.33 ± 2.40 ตามลำดับ

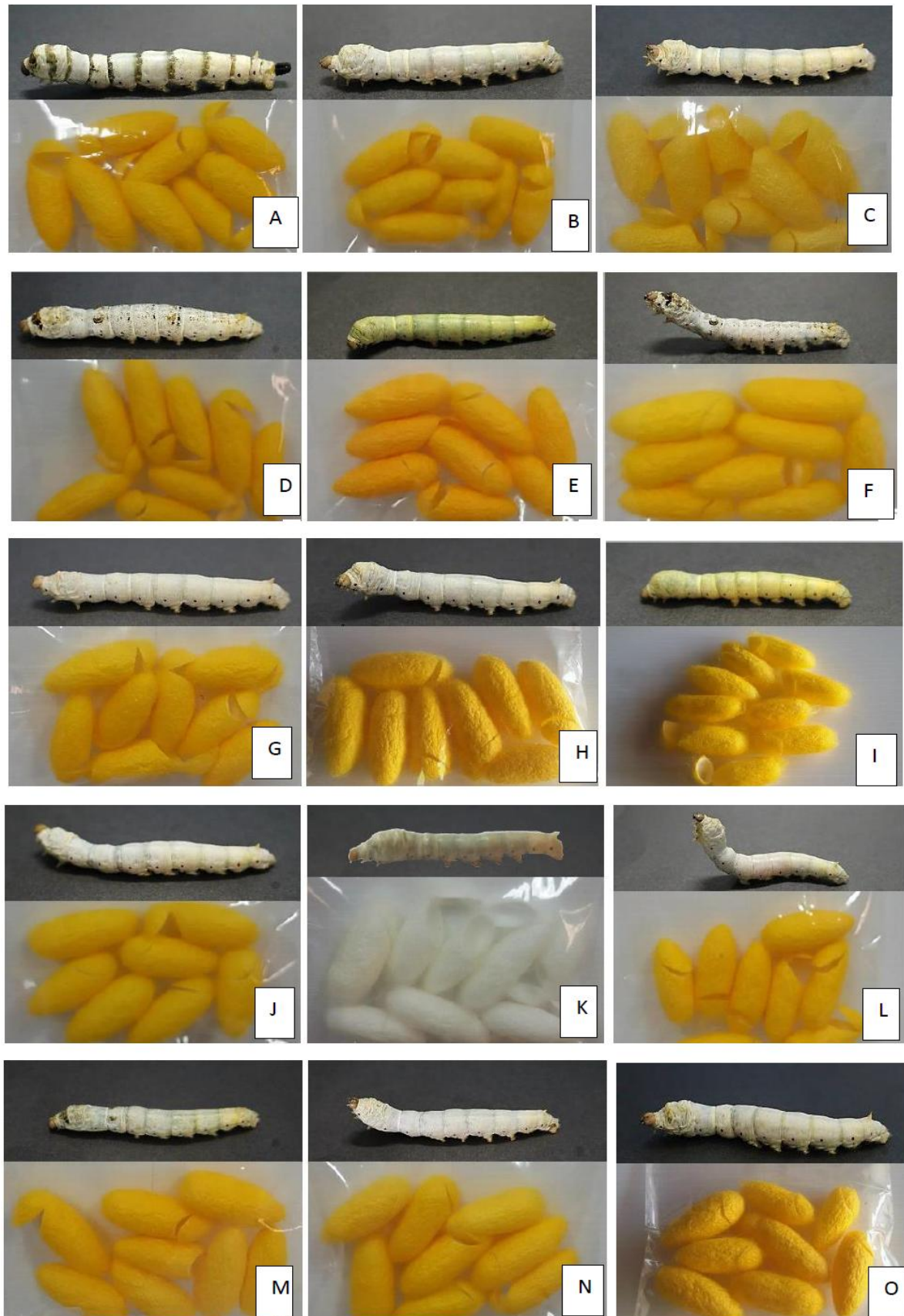


Figure 3 Thai silkworm, *Bombyx mori* strains, A; Nang Lai, B; Nang Noi, C; Nang Tui, D; Sam Rong, E; Nang Seiw, F; Hua Fai, G; Kaki, H; Pang Puay, I; Nang Leuang, J; RE05, K; NK04, L; Kor Tung, M; SP2, N; PCh21, O; NNK8



Figure 4. The grassery infected silkworm, *Bomyx mori* (lower) and healthy silkworm larvae (upper), A; Nang Lai, B; Nang Noi, C; Nang Tui, D; Sam Rong, E; Nang Seiw, F; Hua Fai, G; Nang Lueang, H; Kor Tung, I; Kaki, J; RE05, K; NK04, L; Pung Puay, M; SP2, N; PCh21, O; NNK8

วิจารณ์ผลการทดลองและสรุป

โรคแกรสเซอร์ มีสาเหตุจากนิวคลีโอโพลีอีโตรไวรัส เป็นโรคที่มีความรุนแรงทำให้ผลผลิตลดลงโดยเฉพาะพบในไหมประเภทที่ฟักออกได้ตลอดทั้งปี เช่น ในประเทศไทย และอินเดีย¹⁴ การระบาดของโรคพบได้ตลอดทั้งปี แต่ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน จะเกิดการระบาดของโรคมากที่สุด การเข้าทำลายและการเกิดโรคจะเป็นลักษณะแอบแฝง (latent infection)¹⁵ เมื่อหนอนไหมได้รับก่อโรคในระยะเริ่มแรก อาจไม่แสดงอาการของโรคให้ปรากฏ แต่จะแสดงอาการให้เห็นชัดเจนในระยะหนอนไหมทำรังคือหนอนไหมวัย 5

ในการประเมินหาความต้านทานของหนอนไหมไทยที่มีการเลี้ยงตลอดทั้งปีที่ศูนย์นวัตกรรมไหม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 15 สายพันธุ์ ต่อการต้านทานต่อโรคแกรสเซอร์ พบระดับการต้านทานต่อโรคมากที่สุด ลำโรง นค. 04 หัวฝาย และนางลาย ในขณะที่หนอนไหมสายพันธุ์ นค. 8 และนางเหลืองมีความอ่อนแอที่สุด ถึงแม้หนอนไหมที่นำมาทดลองจัดเป็นไหมประเภทฟักออกตลอดทั้งปี แต่ก็มีความต้านทาน และอ่อนแอต่อโรคแกรสเซอร์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการต้านทาน เช่น ระบบภูมิคุ้มกัน ค่าความเป็นกรด ต่างในกระเพาะอาหารของหนอนไหม ยีนที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานต่อ BmNPV สาเหตุโรคแกรสเซอร์แตกต่างกัน¹⁶

ดังนั้นข้อมูลที่ได้อาจการศึกษาในครั้งนี้นับว่าเป็นประโยชน์ และมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเลือกสายพันธุ์ที่มีความต้านทานต่อโรคแกรสเซอร์มาเลี้ยงเพื่อเพิ่มผลผลิตไหมให้ได้ปริมาณมาก และให้มีคุณภาพของเส้นไหมที่ดี รวมทั้งทำให้นักปรับปรุงพันธุ์ไหมนำข้อมูลความต้านทานและอ่อนแอของหนอนไหมไทย ต่อการเกิดโรคแกรสเซอร์นี้ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อให้ได้ไหมพันธุ์ไทยที่ต้านทานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ Professor Dr. Johannes Jehle, Institute of Biological Control, Darmstadt ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่ให้ความอนุเคราะห์วิเคราะห์โปรแกรม ToxRat Standard สำหรับหาค่า LC₅₀ งานวิจัยนี้เป็นผลงานวิจัยส่วนหนึ่งที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2559 (ว.ช 59)

เอกสารอ้างอิง

1. เพลิง ภูผา. แกะรอย จิม ทอมป์สัน ราชไหมไทย และเบื้องหลังตำนานอันยิ่งใหญ่ของเส้นทางไหมไทย สำนัก

- พิมพ์ไพลิน กรุงเทพฯ; 2544. 112 หน้า
2. สิริภัก สุระพร และ วันวิสาข์ ศิริวัฒน์เมฆานนท์. การเจริญของเชื้อรา *Cordyceps* sp. บนดักแด้ไหม วิทยาสาร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552; 7(1):1-9.
 3. ยอดหทัย เทพธารานนท์. รายงานวิจัยเรื่องสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเชื้อราแมลงสกุล *Cordyceps* ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรุงเทพฯ; 2545.
 4. Kawakuchi H. Structure and character of silk fiber. In General remarks of sericulture. Department of Engineering, Seian College of Art and Design. Kyoto, Japan; 1996.
 5. Tazima Y. The Silkworm: an Important Laboratory Tool. Kodansha Ltd., Tokyo. Japan; 1978.
 6. พรรณณา ศักดิ์สูง และชาญชัย ถาวรอนุกุลกิจ. วิเคราะห์อุปสรรค ปัญหา ในการพัฒนาหม่อนไหมศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรุงเทพฯ; 2540.
 7. วัชรพร บัตลา วันวิสาข์ ศิริวัฒน์เมฆานนท์ และ สิริภัก สุระพร. สันฐานวิทยาของ BmNPV ของหนอนไหมในประเทศไทย วารสารวิจัย มสธ. 2558; 8(1): 75-89.
 8. Kumpratueang S. Development of DNA probe for early detection of grassery disease of silkworm, *Bombyx mori*. M.S thesis. Kasetsart University, Bangkok, Thailand; 1998.
 9. ทิพย์วดี อรรถธรรม สุพัฒน์ อรรถธรรม มงคล อุดโท สิริภัก คำประเทือง. การสร้างตัวตรวจสอบสำหรับตรวจหาโรคแกรสเซอร์ในระยะเริ่มแรก งานประชุมสัมมนาวิชาการ ครั้งที่ 32 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน. 2538; 257-271.
 10. สิริภัก สุระพร. ปริศนาโรคต่อในไหมหนอนไหมไทย วารสารวิทยาศาสตร์หนองคาย มข. 2553; 5(1-2): 38-44.
 11. วิโรจน์ แก้วเรือง. หม่อนไหมพืชและสัตว์สารพัดประโยชน์. คณะกรรมการถ่ายทอดเทคโนโลยี สถาบันวิจัยหม่อนไหม กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ; 2540.
 12. สมหญิง ชูประยูร สถษดิพร ชูประยูร และพรทิพย์ สุคนธ์สิงห์. การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม เอกสารวิชาการที่ 13. กรมส่งเสริมการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด กรุงเทพฯ; 2538.
 13. ทิพย์วดี อรรถธรรม. ไวรัสของแมลง : นิวคลีโอโพลีอีโตรไวรัส. ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน กรุงเทพฯ; 2549.

14. Dandin S.B. Handbook of sericulture technologies. Central Silk Board. Bangalore. India; 2000.
15. Himeno M., Matsubara, F. and Hayashiya K. The occult virus of nuclear polyhedrosis virus of silkworm larvae, *Bombyx mori*. Journal of Invertebrate Pathology; 1973 . 22:436-445.
16. Buhroo Z.I. Disease resistance in silkworm. Asian Journal of Science and Technology. 2013,4(11):157-166.

ผลของกรดฟิวซาริกต่อการยับยั้งการเข้าสู่ซีสต์และการออกจากซีสต์ของเชื้ออะแคนทามีบา Effects of Fusaric Acid to Inhibit Encystment and Excystment of *Acanthamoeba* spp.

นฤมล บุญมัน^{1*}, จารุวรรณ ฉัตรทอง¹, ศิริพรรณ บุญศิลป์²

Narumon Boonman^{1*}, Jaruwan Chutrtong¹, Siriphan Boonsilp²

Received: 15 August 2018 ; Revised : 16 October 2018 ; Accepted: 2 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของกรดฟิวซาริกต่อการเข้าสู่ซีสต์และการออกจากซีสต์ของอะแคนทามีบา 4 ไอโซเลต คือ AS กับ AR ที่แยกได้จากผู้ป่วยกระจกตาอักเสบ และ S3 กับ S5 ซึ่งแยกได้จากตัวอย่างดิน โดย AS, AR และ S3 ถูกจัดจำแนกอยู่ในจีโนไทป์ T4 ส่วน S5 อยู่ในจีโนไทป์ T5 เมื่อทดสอบโทรโฟซอยต์ด้วยกรดฟิวซาริกที่ความเข้มข้นครึ่งหนึ่งของค่า IC_{50} พบว่าสามารถยับยั้งการเข้าสู่ซีสต์ของ AS ได้บางส่วน แต่ยับยั้งการเข้าสู่ซีสต์ของ AR, S3 และ S5 ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อทดสอบซีสต์ด้วยกรดฟิวซาริกที่ความเข้มข้น 4 เท่าและ 8 เท่าของค่า IC_{50} พบว่ายับยั้งการออกจากซีสต์ของอะแคนทามีบาจีโนไทป์ T4 ได้โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ในขณะที่จีโนไทป์ T5 มีความทนทานต่อกรด ฟิวซาริกมากกว่าเนื่องจากยับยั้งการออกจากซีสต์หลังจาก 48 ชั่วโมงโดยไม่ขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้ ดังนั้นการใช้กรด ฟิวซาริกร่วมกับสารต้านอะแคนทามีบาอื่นๆ อาจทำให้การควบคุมอะแคนทามีบามีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: อะแคนทามีบา กรดฟิวซาริก การเข้าสู่ซีสต์ การออกจากซีสต์

Abstract

This research examined effects of fusaric acid on encystment and excystment of 4 *Acanthamoeba* isolates including AS and AR isolated from the keratitis patients and S3 and S5 isolated from soil samples. AS, AR and S3 were classified as the genotype T4 whereas S5 was T5. Trophozoites were treated with fusaric acid at concentrations $0.5 \times IC_{50}$. The results showed that fusaric acid partially interfered with AS encystment but it completely inhibited the encystment of the remaining isolates. Cysts were treated with fusaric acid at concentrations $4 \times$ and $8 \times IC_{50}$. Fusaric acid potentially inhibited the excystment of T4 in concentration- and time-dependent manners. On the other hand, T5 was more resistant to fusaric acid since the inhibitory effect was observed after treatment for 48 hours and did not depend on concentration. Therefore, combination of fusaric acid with other anti-*Acanthamoeba* agents may improve *Acanthamoeba* control.

Keywords: *Acanthamoeba*, Fusaric acid, Encystment, Excystment

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

² คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

¹ Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Vajira, Dusit, Bangkok, 10300, Thailand

² Faculty of Medicine, Navamindradhiraj University, Vajira, Dusit, Bangkok, 10300, Thailand

* Corresponding author: Boonman N. Tel.: +66968561126 e-mail: narumon.bo@ssru.ac.th

บทนำ

อะแคนทามีบาเป็นโปรโตซัวที่ดำรงชีวิตอิสระในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำจืด น้ำทะเล น้ำประปา สระว่ายน้ำ ระบบเครื่องปรับอากาศ คอนแทคเลนส์และตลับเลนส์^{1, 2, 3} แต่เมื่อมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายคนจะก่อโรคระยะจกตาอักเสบที่มีความรุนแรงจนทำให้ตาบอดได้ นอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุของโรคสมองอักเสบแบบแกรนูโลมาตัส และการติดเชื้ออะมีบาแบบแพร่กระจาย เช่น ไชนัสอักเสบเรื้อรัง ปอดอักเสบเรื้อรัง และแผลเรื้อรังที่ผิวหนัง ซึ่งทำให้เสียชีวิตได้⁴ จึงมีความจำเป็นต้องมีการป้องกันและการรักษาโรคติดเชื้อ อะแคนทามีบาอย่างเหมาะสม แต่สารฆ่าอะแคนทา- มีบาที่ใช้ในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เนื่องจากเชื้อสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างกลับไปมาได้ระหว่างระยะโทรโพซอยต์และระยะซิสต์ เมื่อมีการใช้สารเคมี เช่น น้ำยาล้างคอนแทคเลนส์^{5, 6} หรือน้ำยาฆ่าเชื้อในระบบปรับอากาศ⁷ และการใช้ยาสำหรับรักษาการติดเชื้อ² อะแคนทามีบาจะเปลี่ยนจากโทรโพ-ซอยต์เข้าสู่ซิสต์ซึ่งมีผนังหุ้ม 2 ชั้นทำให้ทนทานต่อยาและสารเคมีต่างๆ ได้ดี เมื่อหยุดใช้ยาและสารเคมีเหล่านี้โทรโพซอยต์จะออกมาจากซิสต์ ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนและก่อโรคได้⁸ งานวิจัยก่อนหน้านี้ Boonman และคณะ⁹ พบว่าราเอนโดไฟต์ *Fusarium fujikuroi* species complex Tlau3 ที่แยกได้จากต้นรางจืดสามารถผลิตกรดฟิวซาริก ซึ่งออกฤทธิ์ฆ่าโทรโพซอยต์ของอะแคนทามีบาได้ โดยค่า IC₅₀ ต่อ AS, AR, S3 และ S5 เท่ากับ 0.31 ± 0.01, 0.33 ± 0.01, 0.33 ± 0.01 และ 0.66 ± 0.01 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ ซึ่งมีการออกฤทธิ์โดยรบกวนการทำงานของ คอนแทรกทโทลส์แควคูลอลจนทำให้เซลล์แตก ซึ่งกรด ฟิวซาริกอาจไปรบกวนการสร้างพลังงานหรือการเคลื่อนที่ของโครงสร้างภายในเซลล์จนคอนแทรกทโทลส์-แควคูลอลไม่สามารถทำงานตามปกติได้ ดังนั้นกรด ฟิวซาริกก็อาจส่งผลต่อการเข้าสู่ซิสต์และการออกจากซิสต์ของอะแคนทามีบาได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบฤทธิ์การยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์โดยใช้กรดฟิวซาริกในระดับความเข้มข้นต่ำกว่า IC₅₀ ทดสอบกับระยะโทรโพ-ซอยต์ และการยับยั้งการออกจากซิสต์โดยใช้กรด ฟิวซาริกในระดับความเข้มข้นสูงกว่า IC₅₀ ทดสอบกับระยะซิสต์

วิธีการศึกษา

การเพาะเลี้ยงอะแคนทามีบาระยะโทรโพ-ซอยต์
อะแคนทามีบาระยะโทรโพซอยต์เพาะเลี้ยงในภาชนะเพาะเลี้ยงเซลล์ (Tissue culture flask) ขนาด 25 ตร.ซม. ที่มีอาหาร PYG medium (Proteose peptone 8.8 กรัม, Yeast extract 0.88 กรัม, Amoeba saline solution (ASS) 400

มิลลิลิตรผสมกับ Glucose 1 โมลาร์ ในอัตราส่วน 9:1) ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บโทรโพซอยต์โดยนำไปแช่บนน้ำแข็ง เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้โทรโพซอยต์หลุดออกจากกันภาชนะ แล้วใช้ปิเปตดูดอาหารเลี้ยงเชื้อในภาชนะชะเบาๆ ให้โทรโพซอยต์หลุดออก แล้วใช้ปิเปตดูดสารแขวนลอยโทรโพซอยต์ประมาณ 2-3 หยดใส่ใน Hemocytometer chamber เพื่อนับจำนวนโทรโพซอยต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วปรับความหนาแน่นของโทรโพซอยต์ด้วย MgCl₂ 50 มิลลิ-โมลาร์ ให้ได้ 1.6 × 10⁵ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

การเพาะเลี้ยงอะแคนทามีบาระยะซิสต์

อะแคนทามีบาระยะโทรโพซอยต์เพาะเลี้ยงในจานเพาะเชื้อขนาด 60 มิลลิเมตรที่มี 2% Non-nutrient agar (NNA; Agar 2 กรัม และ ASS 100 มิลลิลิตร) บนผิวหน้าเกลี่ยด้วย *E. coli* ที่ถูกทำลายด้วยความร้อน เพื่อใช้เป็นอาหารให้กับอะแคนทามีบา จากนั้นหยดซิสต์ 1 หยดลงไปตรงกลาง พับพาราฟิล์มที่ขอบจาน ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ทำการเก็บซิสต์โดยเติม ASS ลงไป 1.5 มิลลิลิตร ใช้ ปิเปตดูด ASS ชะให้ทั่วผิวหน้า แล้วใช้ปิเปตปลายแบนชนิดที่ผิวหน้าวันเบาๆ เพื่อให้ซิสต์หลุดออก จากนั้นดูดสารแขวนลอยซิสต์ประมาณ 2-3 หยดใส่ใน Hemocytometer chamber เพื่อนับจำนวนซิสต์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ปั่นล้างซิสต์ด้วย ASS ที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วปรับความหนาแน่นของซิสต์ด้วย ASS ให้ได้ 1.6 × 10⁵ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

การทดสอบฤทธิ์ของกรดฟิวซาริกต่อการเข้าสู่ซิสต์

การทดสอบการยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์ได้พัฒนามาจากการทดสอบของ Dudley และคณะ¹⁰ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมทางลบ แต่ละกลุ่มทำ 3 ซ้ำ ดังนั้นกลุ่มทดลอง คือโทรโพซอยต์ที่ทดสอบกับกรดฟิวซาริก โดยเตรียมกรดฟิวซาริกละลายในเมทานอล ให้มีความเข้มข้น 0.5 × IC₅₀ (Table 1) ใส่ใน 96-well tissue culture plate หลุมละ 50 ไมโครลิตร ตั้งที่อุณหภูมิห้อง เปิดฝาทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อระเหยเมทานอลออกจนหมด เติม MgCl₂ 50 มิลลิ-โมลาร์ ลงไปหลุมละ 25 ไมโครลิตร จากนั้นใส่โทรโพ-ซอยต์ที่เตรียมไว้ลงไปหลุมละ 25 ไมโครลิตร ส่วนกลุ่มควบคุมทางลบใช้โทรโพซอยต์ที่อยู่ใน MgCl₂ โดยไม่มีกรดฟิวซาริก ทั้งสองกลุ่มถูกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ถ่ายรูปอะแคน

ทามีบาในแต่ละหลุมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับเพื่อ นับจำนวนอะแคนทามีบาทั้งระยะโทรโพซอยต์และซิสต์ จากนั้นใส่ Sodium dodecyl sulfate (SDS) ลงในแต่ละหลุมให้ได้ ความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.5% ทิ้งไว้ 2 นาที SDS จะทำลาย ระยะโทรโพซอยต์และซิสต์ที่ยังไม่สมบูรณ์ จึงเหลือเฉพาะซิสต์ ที่สมบูรณ์เท่านั้น ถ่ายรูปเพื่อับจำนวนซิสต์ที่เหลือ คำนวณ เปอร์เซนต์การเข้าสู่ซิสต์ (% Encystment) ดังนี้

$$\% \text{ Encystment} = \frac{\text{จำนวนซิสต์ที่สมบูรณ์}}{\text{จำนวนอะแคนทามีบาทั้งหมด}} \times 100$$

การทดสอบฤทธิ์ของกรดฟิวซาริกต่อการออก จากซิสต์

แบ่งการทดสอบเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง กลุ่ม ควบคุมทางลบ และกลุ่มควบคุมทางบวก แต่ละกลุ่มทำ 3 ซ้ำ โดยกลุ่มทดลองคือซิสต์ที่ทดสอบกับกรดฟิวซาริก ทำการเตรียมกรดฟิวซาริกละลายในเมทานอลให้ความเข้มข้น 4× และ 8×IC₅₀ (Table 1) ใส่ใน 96-well tissue culture plate หลุมละ 50 ไมโครลิตร ตั้งที่อุณหภูมิห้อง เปิดฝาทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อ ระบายเมทานอล ออกจนหมด เติม ASS ลงไปหลุมละ 25 ไมโครลิตร จากนั้นใส่ซิสต์ที่เตรียมไว้ลงไปหลุมละ 25 ไมโครลิตร สำหรับกลุ่มควบคุมทางลบใช้ซิสต์ที่อยู่ใน ASS โดยไม่มีกรดฟิวซาริก ส่วนกลุ่มควบคุมทางบวกใช้ซิสต์ที่อยู่ใน Polyhexamethylene biguanide (PHMB) 10 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร การทดสอบทั้งหมดถูกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบการออกจาก ซิสต์โดยปั่นล้างซิสต์ด้วย ASS 2 รอบ จากนั้นเพาะเลี้ยงซิสต์ เหล่านี้บน 2% NNA เกลี้ยผิวหน้าวันด้วย *E. coli* ที่ถูกทำลาย ด้วยความร้อน นับจำนวนซิสต์และโทรโพซอยต์ที่อยู่ในแต่ละ จาน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับทุกวันจนครบ 2 สัปดาห์ คำนวณเปอร์เซนต์การออกจากซิสต์ (% Excystment) ดังนี้

$$\% \text{ Excystment} = \frac{\text{จำนวนโทรโพซอยต์}}{\text{จำนวนอะแคนทามีบาทั้งหมด}} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ โปรแกรม IBM SPSS Statistics 23 ความแตกต่างของค่า เฉลี่ยเปอร์เซนต์การเข้าสู่ซิสต์ และความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เปอร์เซนต์การออกจาก ซิสต์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่ม

ควบคุมถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธี Independent samples *t*-test ซึ่งจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ *P*-value < 0.05

Table 1 Concentrations of fusaric acid treated with each *Acanthamoeba* isolate

Isolate	Concentrations of fusaric acid (µM)			
	IC ₅₀	0.5×IC ₅₀	4×IC ₅₀	8×IC ₅₀
AS	0.31	0.155	1.24	2.48
AR	0.33	0.165	1.32	2.64
S3	0.33	0.165	1.32	2.64
S5	0.66	0.33	2.64	5.28

ผลการศึกษา

ผลของกรดฟิวซาริกต่อการเข้าสู่ซิสต์

โดยปกติเมื่อเพาะเลี้ยงอะแคนทามีบาในอาหาร PYG Medium เชื้อจะอยู่ในระยะโทรโพซอยต์ แต่เมื่ออะแคนทามีบา อยู่ในสภาวะที่ไม่มีอาหารและมี MgCl₂ ชักนำให้อะแคนทามีบาสามารถเข้าสู่ระยะซิสต์ได้ โดยโทรโพซอยต์ของ AS ในกลุ่ม ควบคุมทางลบที่อยู่ใน MgCl₂ ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เป็น เวลา 24 ชั่วโมงสามารถเปลี่ยนเป็นระยะซิสต์ได้ถึง 87.333 ± 0.764 % และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 48 และ 72 ชั่วโมง มีจำนวนโทรโพซอยต์ที่เข้าสู่ระยะซิสต์เพิ่มขึ้นเป็น 90.000 ± 0.750 และ 90.333 ± 1.127 % ตามลำดับ แต่เมื่อโทรโพซอยต์ถูก ทดสอบด้วยกรด ฟิวซาริกที่ความเข้มข้น 0.5× IC₅₀ พบว่าไม่ ทำให้โทรโพซอยต์ตาย แต่มีเปอร์เซนต์การเข้าสู่ระยะ ซิสต์ ลดลงเหลือเพียง 18.000 ± 3.072 % ที่เวลา 24 ชั่วโมง แม้ว่า จำนวนซิสต์จะเพิ่มขึ้นเป็น 33.667 ± 0.878 และ 36.000 ± 1.250 % ที่เวลา 48 และ 72 ชั่วโมงตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การเข้าสู่ซิสต์ระหว่างกลุ่มควบคุม ทางลบและกลุ่มทดลองที่เวลาเท่ากันพบว่ามีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P* < 0.001) ดังแสดงใน Figure 1A โทรโพซอยต์ของ AR เมื่ออยู่ใน MgCl₂ เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมงสามารถเข้าสู่ซิสต์ได้ แต่มีจำนวนน้อยกว่าเชื้อ AS โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซนต์การเข้าสู่ซิสต์เท่ากับ 25.417 ± 0.144, 30.083 ± 0.764 และ 31.917 ± 0.629 % ตามลำดับ แต่โทรโพซอยต์ที่ถูกทดสอบด้วยกรดฟิวซาริกที่ความเข้มข้น 0.5× IC₅₀ ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นระยะซิสต์ได้ในทุกช่วงเวลา ที่ทดสอบ ซึ่งมีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมทางลบอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ (*P* < 0.001) ดังแสดงใน Figure 1B

โทรโพซอยต์ของ S3 ในกลุ่มควบคุมทางลบสามารถ เข้าสู่ระยะซิสต์ได้ค่อนข้างน้อย คือ 4.167 ± 0.520, 4.917 ± 0.382 และ 6.083 ± 0.382 % ที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง

ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเข้าสู่ซิสต์ยังคงแตกต่างจากกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.005$, $P = 0.002$ และ $P = 0.001$) เนื่องจากกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $0.5 \times IC_{50}$ ทำให้ S3 อยู่ในระยะเวลาโทรโพออยด์ทั้งหมด ไม่สามารถเข้าสู่ซิสต์ได้ ดังแสดงใน Figure 1C

การเข้าสู่ระยะซิสต์ของ S5 ในกลุ่มควบคุมทางลบมีความแตกต่างจากไอโซเลตอื่นๆ คือที่เวลา 24 ชั่วโมงมีจำนวนซิสต์เพียง 2.500 ± 0.433 % แต่ก็ยังแตกต่างจากกลุ่มทดลองที่อยู่ในกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $0.5 \times IC_{50}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.01$) เนื่องจากโทรโพออยด์ทั้งหมดไม่สามารถเปลี่ยนเป็นระยะซิสต์ได้ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 48 ชั่วโมงจำนวนซิสต์ในกลุ่มควบคุมทางลบเพิ่มขึ้นอย่างมากเป็น 67.583 ± 2.082 % และเพิ่มขึ้นอีกเป็น 91.750 ± 1.953 % ที่เวลา 72 ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามโทรโพออยด์ของ S5 ที่อยู่ในกลุ่มทดลองไม่สามารถเข้าสู่ซิสต์ได้ และยังคงอยู่ในระยะโทรโพออยด์ทั้งหมด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมทางลบ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 1D

ผลของกรดฟิวซารีคต่อการออกจากซิสต์

ซิสต์ของ AS, AR, S3 และ S5 ถูกทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง โดยใช้ซิสต์ใน ASS เป็นกลุ่มควบคุมทางลบ และซิสต์ที่อยู่ใน PHMB 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นกลุ่มควบคุมทางบวก จากการสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับพบว่ารูปร่างลักษณะซิสต์ของอะแคนทามีบาที่อยู่ใน ASS (Figure 2A, 2B) และซิสต์ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีค (Figure 2E, 2F, 2G, 2H) ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ซิสต์ที่อยู่ใน PHMB มีรูปร่างลักษณะของโครงสร้างภายในที่ถูกทำลาย (Figure 2C, 2D) และเมื่อนำมาเพาะเลี้ยงบน NNA ไม่พบโทรโพออยด์ออกมาแสดงว่า PHMB สามารถฆ่าซิสต์ได้ แต่กรดฟิวซารีคไม่ฆ่าซิสต์อย่างไรก็ตามหลังจากนำซิสต์ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคมาเพาะเลี้ยงบน NNA พบว่ามีโทรโพออยด์ออกมาจากซิสต์ได้เช่นเดียวกับซิสต์ที่อยู่ใน ASS ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมทางลบ แต่เปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบโทรโพออยด์ออกมาจากซิสต์ในวันแรกๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์เพิ่มขึ้นภายใน 7 วัน หลังจากนั้นลดลงเนื่องจากโทรโพออยด์บางส่วนเปลี่ยนกลับไปเป็นระยะซิสต์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจึงใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์ในวันที่มีค่าสูงสุดของกลุ่มควบคุมทางลบกับกลุ่มทดลอง

ซิสต์ของ AS ที่อยู่ใน ASS เป็นเวลา 24 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์สูงสุดในวันที่ 3 คือ 64.917 ± 2.765 % ส่วนซิสต์ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $4 \times IC_{50}$ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์สูงสุดในวันที่ 6 คือ 53.667 ± 1.041 % ซึ่งน้อยกว่าในกลุ่มควบคุมทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.003$) ส่วนซิสต์ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $8 \times IC_{50}$ มีโทรโพออยด์ออกมาจากซิสต์สูงสุดในวันที่ 2 คือ 14.500 ± 2.634 % ซึ่งน้อยกว่าซิสต์ในกลุ่มควบคุมทางลบและซิสต์ที่ถูกทดสอบด้วยกรดฟิวซารีค $4 \times IC_{50}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 3A ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ากรดฟิวซารีคสามารถยับยั้งการออกจากซิสต์ของเชื้อ AS ได้โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ เมื่อเพิ่มเวลาในการทดสอบเป็น 48 ชั่วโมงพบว่า AS ใน ASS มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์สูงสุดในวันที่ 3 คือ 65.250 ± 3.250 % ซึ่งใกล้เคียงกับผลที่ได้จากที่เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนซิสต์ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์สูงสุดในวันที่ 1 คือ 8.000 ± 1.146 % และ 10.583 ± 2.626 % ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มควบคุมทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 3B ซึ่งแสดงว่าการออกฤทธิ์ของกรดฟิวซารีคในการยับยั้งการออกจากซิสต์ขึ้นกับเวลาที่ใช้ทดสอบด้วย โดยเมื่อซิสต์อยู่ในกรดฟิวซารีคนานขึ้น การออกจากซิสต์ยิ่งน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้ความเข้มข้นเท่ากัน

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์ที่ได้จาก AR ในกลุ่มควบคุมทางลบและในกลุ่มที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $4 \times IC_{50}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.092$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64.833 ± 4.072 % และ 59.417 ± 1.233 % ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟิวซารีคเป็น $8 \times IC_{50}$ พบว่ามีค่าเท่ากับ 51.417 ± 3.394 % ซึ่งน้อยกว่าในกลุ่มควบคุมทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.012$) ดังแสดงใน Figure 3C ผลที่ได้สอดคล้องกับของเชื้อ AS ที่การออกฤทธิ์ยับยั้งการออกจากซิสต์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ นอกจากนี้ระยะเวลาในการทดสอบก็มีผลต่อการยับยั้งการออกจากซิสต์ด้วย โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์ของ AR ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซารีคที่ความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงมีค่าสูงสุดในวันที่ 7 คือ 55.083 ± 2.126 % และ 49.333 ± 2.126 % ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซิสต์ของกลุ่มควบคุมทางลบ คือ 66.583 ± 3.394 % อย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติโดยมีค่า $P = 0.008$ และ $P = 0.002$ ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 3D

การทดสอบกรดฟิวซาริกกับซีสต์ของ S3 ให้ผลในลักษณะเดียวกับ AR คือ เมื่อใช้ที่ระดับความเข้มข้น $4 \times IC_{50}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่สามารถยับยั้งการออกจากซีสต์ได้ เนื่องจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซีสต์สูงสุดคือ $81.750 \pm 2.411\%$ ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมทางลบ คือ $82.583 \pm 4.163\%$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า $P = 0.779$ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟิวซาริกเป็น $8 \times IC_{50}$ ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซีสต์ $25.083 \pm 1.942\%$ ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มควบคุมทางลบอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 3E และเมื่อใช้เวลาทดสอบเพิ่มขึ้นเป็น 48 ชั่วโมง กรดฟิวซาริกทั้งที่ความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ สามารถยับยั้งการออกจากซีสต์ของ S3 ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซีสต์เท่ากับ $26.500 \pm 2.947\%$ และ $24.083 \pm 4.072\%$ ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าผลที่ได้จากกลุ่มควบคุมทางลบ คือ $81.250 \pm 2.136\%$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 3F

ซีสต์ของ S5 มีความทนทานต่อการยับยั้งการออกจากซีสต์โดยกรดฟิวซาริกมากกว่า AS, AR และ S3 เนื่องจากการทดสอบด้วยกรดฟิวซาริกที่ระดับความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไม่สามารถยับยั้งการออกจากซีสต์ของ S5 ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซีสต์เท่ากับ $68.667 \pm 0.629\%$ และ $68.000 \pm 1.561\%$ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมทางลบ คือ $71.250 \pm 2.817\%$ อย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.250$ และ $P = 0.155$ ตามลำดับ) ดังแสดงใน Figure 3G แต่กรดฟิวซาริกสามารถยับยั้งการออกจากซีสต์ของ S5 ได้เมื่อเพิ่มเวลาเป็น 48 ชั่วโมง ซีสต์ที่ทดสอบด้วยกรดฟิวซาริกที่ระดับความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การออกจากซีสต์สูงสุดเท่ากับ $52.167 \pm 0.577\%$ และ $50.583 \pm 1.258\%$ ตามลำดับ แต่ซีสต์ที่อยู่ในกลุ่มควบคุมทางลบมีค่าเท่ากับ $70.667 \pm 1.665\%$ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ดังแสดงใน Figure 3H แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทดสอบด้วยกรดฟิวซาริกที่ระดับความเข้มข้น $4 \times$ และ $8 \times IC_{50}$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.119$) แสดงให้เห็นว่าการออกฤทธิ์ของกรดฟิวซาริกในการยับยั้งการออกจากซีสต์ของ S5 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่มากกว่าความเข้มข้นที่ใช้ทดสอบ

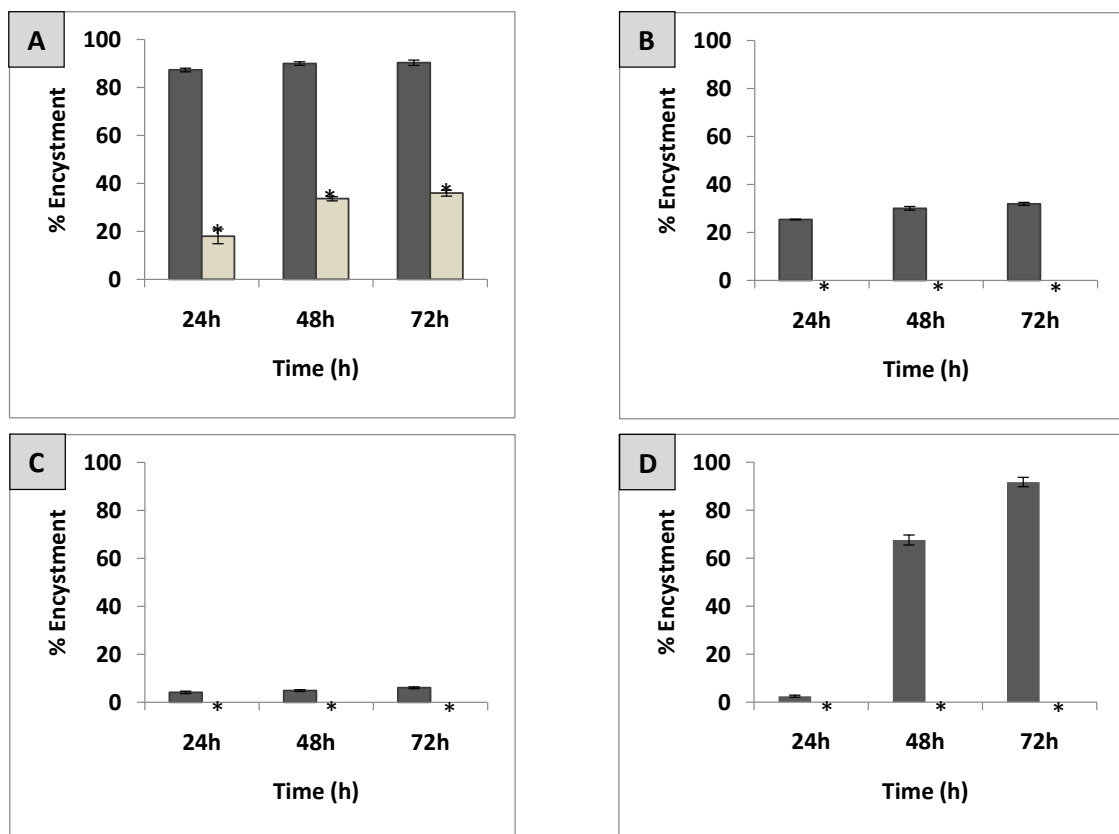


Figure 1 Average % Encystment of AS (A), AR (B), S3 (C) and S5 (D) trophozoites in negative control ■ and Fusaric acid treatment □ at 24, 48 and 72 hours (* means significant difference compared to the negative control at $P < 0.05$)

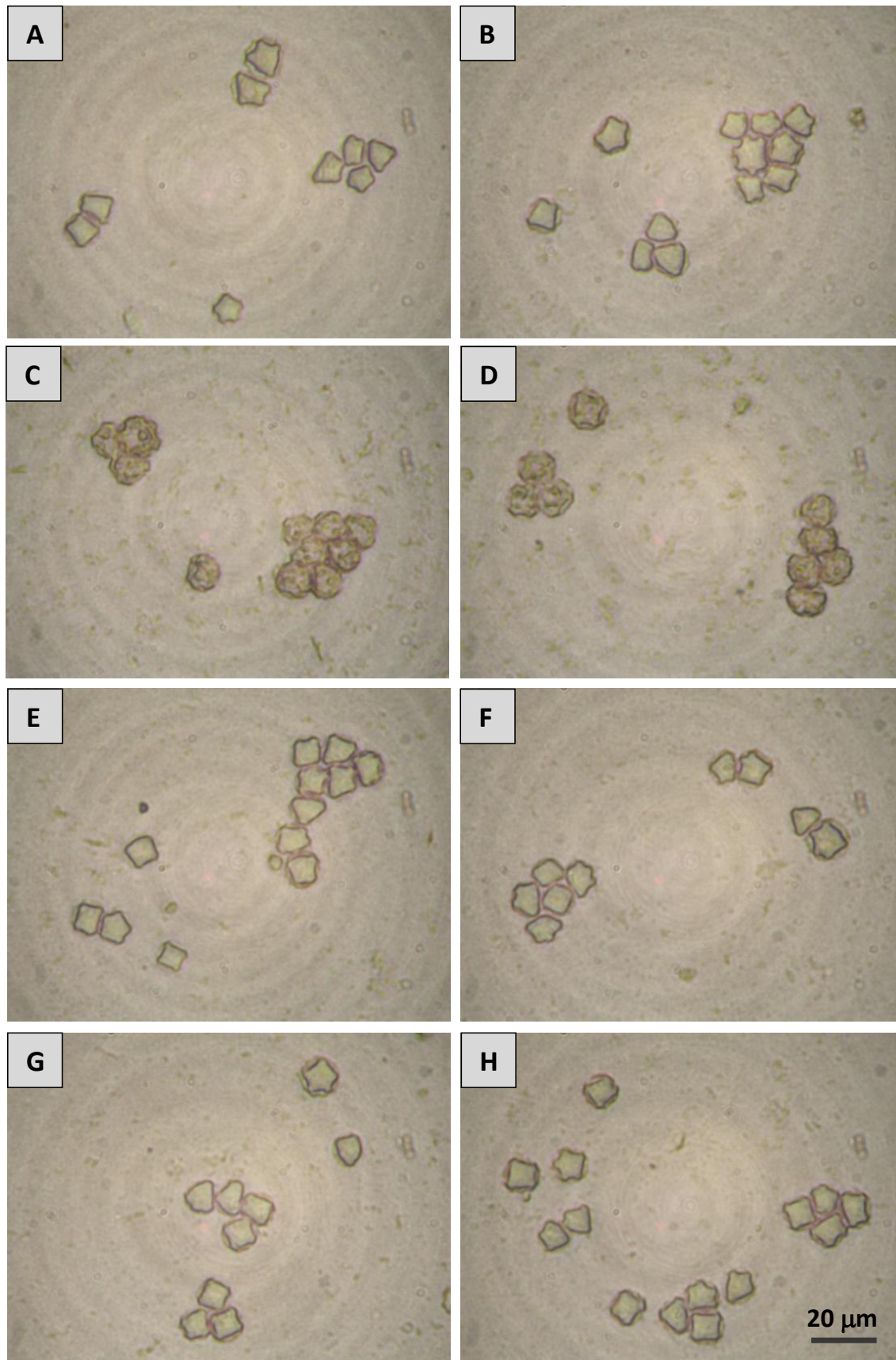


Figure 2 Morphological appearance of S3 cysts observed under inverted light microscope at 24 (A, C, E, G) and 48 (B, D, F, H) hours. The photographs show cysts in ASS (A, B), treated with PHMB (C, D), treated with fusaric acid at $4 \times IC_{50}$ (E, F) and $8 \times IC_{50}$ (G, H). The bar measures 20 μm .

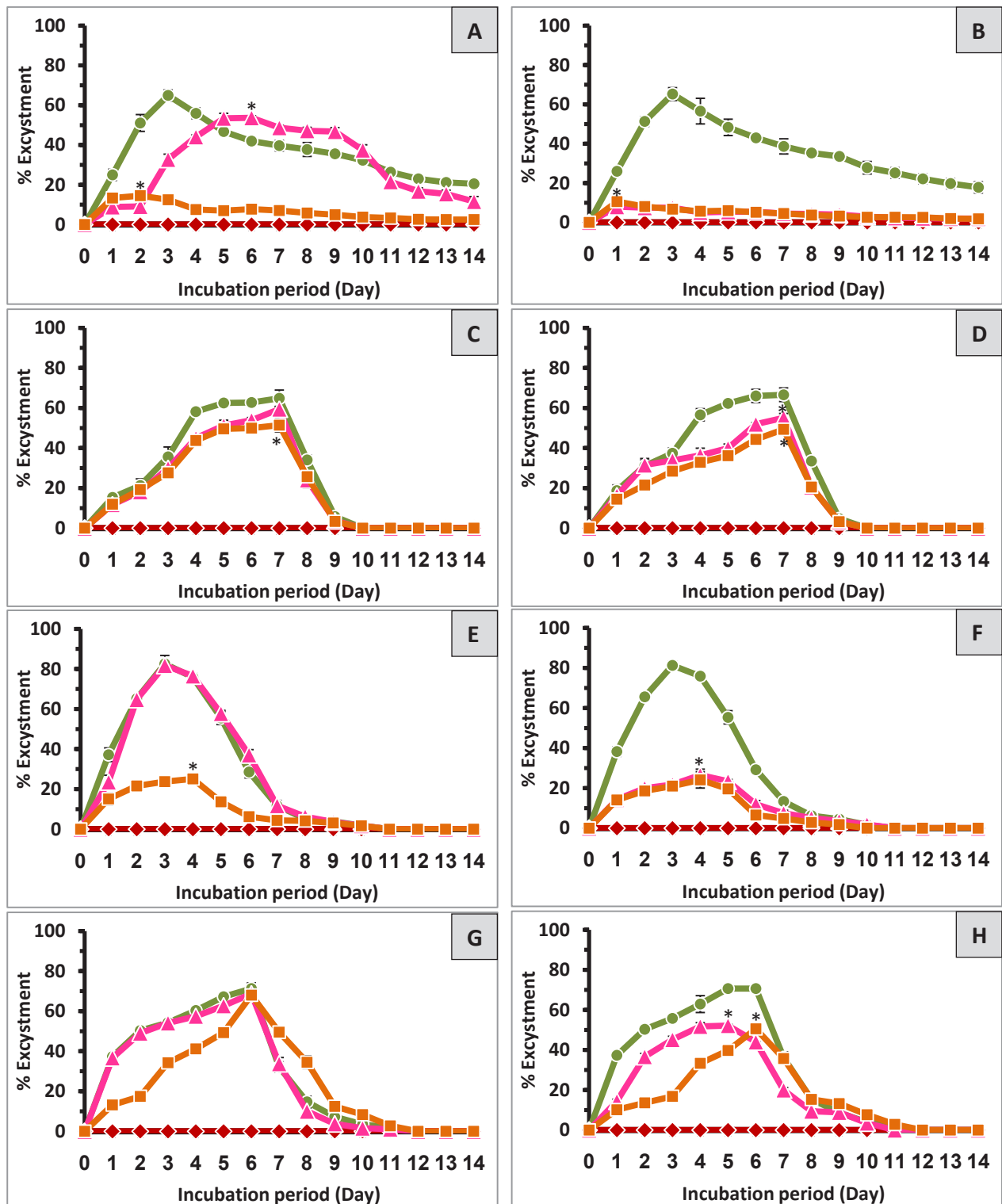


Figure 3 Average % Excystment of AS (A, B), AR (C, D), S3 (E, F) and S5 (G, H) cysts in ASS (green circles), PHMB (red diamonds), 4xIC₅₀ (pink triangles) and 8xIC₅₀ (orange squares) fusaric acid treatment at 24 (A, C, E, G) and 48 (B, D, F, H) hours. (* means significant difference compared to ASS at P < 0.05)

วิจารณ์และสรุปผล

อะแคนทามีบาสามารถเปลี่ยนรูปร่างไปมาระหว่างระยะโทรโพซอยต์ และระยะซิสต์ได้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยในสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตอะแคนทามีบาจะเข้าสู่ซิสต์ เป็นการปรับตัวเพื่อให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ ซึ่งทำให้การป้องกันและการรักษาการติดเชื้ออะแคนทามีบาได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร¹¹ มีการรายงานว่าน้ำยาล้างคอนแทคเลนส์บางชนิด นอกจากฆ่าโทรโพซอยต์ของอะแคนทามีบาไม่ได้แล้ว ยังชักนำให้เกิดการเข้าสู่ซิสต์ ทำให้อะแคนทามีบาถูกกำจัดยากยิ่งขึ้น⁶

ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจว่ากรดฟิวซารีคที่ระดับความเข้มข้นที่ไม่สามารถฆ่าโทรโพซอยต์ได้จะส่งผลอย่างไรต่อการเข้าสู่ซิสต์ งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบโทรโพซอยต์ของ AS, AR, S3 และ S5 ด้วยกรดฟิวซารีคที่ระดับความเข้มข้นครึ่งหนึ่งของค่า IC₅₀ พบว่าสามารถยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์ของ AS ได้บางส่วน แต่สำหรับ AR, S3 และ S5 การเข้าสู่ซิสต์ถูกยับยั้งอย่างสมบูรณ์ โดยอะแคนทามีบายังอยู่ในระยะโทรโพซอยต์ทั้งหมดไม่สามารถเข้าสู่ซิสต์ได้แม้จะผ่านไปนานถึง 72 ชั่วโมงก็ตาม แสดงให้เห็นว่ากรดฟิวซารีคออกฤทธิ์ยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์ของเชื้อจีโนไทป์ T4 (AS, AR และ S3) กับจีโนไทป์ T5 (S5) ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่ออะแคนทามีบาถูกยับยั้งไม่ให้เข้าสู่ซิสต์จะช่วยทำให้ทำลายเชื้อได้ง่ายขึ้นในการทดสอบกรดฟิวซารีคกับซิสต์ต้องใช้ความเข้มข้นมากขึ้น คือ 4 เท่าและ 8 เท่าของค่า IC₅₀ เนื่องจากซิสต์มีความทนทานต่อยาและสารเคมีมากกว่าโทรโพซอยต์ แม้ว่ากรดฟิวซารีคจะไม่สามารถฆ่าซิสต์ของอะแคนทามีบาได้ แต่ยับยั้งการออกจากซิสต์ได้ โดยการออกฤทธิ์ยับยั้งการออกจากซิสต์ของเชื้อจีโนไทป์ T4 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ แต่เชื้อจีโนไทป์ T5 มีความทนทานต่อกรดฟิวซารีคมากกว่า โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาเท่านั้น แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้ แสดงให้เห็นว่ากรดฟิวซารีคอาจเป็นประโยชน์ในการควบคุมอะแคนทามีบาที่อยู่ในระยะซิสต์ให้ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นโทรโพซอยต์ที่จะก่อโรคได้

แม้ว่า PHMB จะมีประสิทธิภาพในการทำละลายทั้งโทรโพซอยต์และซิสต์ได้ดี แต่ก็ยังเป็นพิษต่อเซลล์ของคนได้เช่นกัน¹² ในน้ำยาล้างคอนแทคเลนส์ส่วนใหญ่จะมี PHMB หรือ Chlorhexidine ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ แม้ว่าฆ่าแบคทีเรียได้แต่ไม่สามารถทำลายอะแคนทามีบาได้¹³ โดยเฉพาะระยะซิสต์ที่มีผนังหุ้ม 2 ชั้น จึงมีความทนทานต่อสารเคมีต่างๆ เนื่องจากเซลล์โลสเป็นส่วนประกอบหลักของผนังซิสต์ จึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาสารต้านอะแคนทามีบา Moon และคณะ¹² ได้ใช้สารยับยั้งการสร้างเซลล์โลส คือ 2,6-dichloro-benzonitrile ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ หรือ Isoxaben ที่ความเข้มข้น

10 ไมโครโมลาร์ พบว่าออกฤทธิ์ยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์ได้ แต่เมื่อใช้ร่วมกับ 0.00125% PHMB พบว่าสามารถทำลายอะแคนทามีบาได้มากกว่าการใช้สารเคมีแต่ละชนิดเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ Abjani และคณะ¹⁴ พบว่าการใช้เอนไซม์เซลลูเลส 50 หน่วยร่วมกับ Chlorhexidine ที่ความเข้มข้น 30 ไมโครโมลาร์ และน้ำยาล้างคอนแทคเลนส์ที่ขายตามท้องตลาดสามารถทำลายโทรโพซอยต์และซิสต์ได้มากขึ้น

แต่กลไกการออกฤทธิ์ของกรดฟิวซารีคต่ออะแคนทามีบาอาจจะไม่ได้มีเป้าหมายที่เซลล์โลส เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่ากรดฟิวซารีคสามารถออกฤทธิ์ได้หลากหลาย ได้แก่ 1) เปลี่ยนความสามารถในการเข้าออกของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ของรากและใบพืชชนิดต่างๆ 2) ยับยั้งกระบวนการหายใจภายในไมโทคอนเดรียทำให้จำนวน ATP ลดลง 3) ทำให้เกิดการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ 4) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์¹⁵⁻¹⁸ อาจเป็นไปได้ว่าการออกฤทธิ์ยับยั้งการเข้าสู่ซิสต์และการออกจากซิสต์ของอะแคนทามีบาเป็นผลมาจากการรบกวนกระบวนการหายใจภายในไมโทคอนเดรียจน ATP ภายในเซลล์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างระหว่างโทรโพซอยต์และซิสต์เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบและโครงสร้างภายในเซลล์อย่างมาก ซึ่งต้องอาศัยเอนไซม์หลายชนิด และใช้ ATP ในหลายขั้นตอน¹¹

ทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่าควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้กรดฟิวซารีคร่วมกับ PHMB หรือ Chlorhexidine และสารที่ออกฤทธิ์ต่อเซลล์โลสเป็นส่วนประกอบในน้ำยาล้างคอนแทคเลนส์หรือน้ำยาฆ่าเชื้อต่างๆ เพื่อเสริมฤทธิ์กันทำให้มีประสิทธิภาพควบคุมการแพร่กระจายของอะแคนทามีบาได้ดียิ่งขึ้น แต่หากใช้เพื่อรักษาการติดเชื้ออะแคนทามีบาต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง แม้โทรโพซอยต์จะถูกทำลายได้ง่ายกว่าซิสต์ แต่เป็นระยะก่อโรคจึงอาจทำให้ผู้ป่วยมีอาการของโรครุนแรงขึ้นได้ในช่วงก่อนที่โทรโพซอยต์จะถูกทำลาย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ประเภทงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558 และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

1. Marciano-Cabral F, Cabral G. *Acanthamoeba* spp. as agents of disease in humans, Clin Microbiol Rev. 2003;16(2):273-307

2. Khan NA. *Acanthamoeba*: biology and increasing importance in human health. FEMS Microbiol Rev. 2006;30(4):564-595
3. นฤมล บุญมั่น, เกล็ดดาว จันทรังษี, วิลาลินี อินทรินทร์, ศิริพรรณ บุญศิลป์, อารยา ชูสัตยานนท์. การตรวจพบอะแคนทามีบาจากตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์. ใน: เอกสารการประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 1. โรงแรม เดอะรอยัลริเวอร์. กรุงเทพฯ; 2557. หน้า 359-363
4. Martinez AJ, Visvesvara GS. Free-living, amphizoic and opportunistic amebas. Brain Pathol. 1997; 7(1):583-598
5. Johnston SP, Sriram R, Qvarnstrom Y, et al. Resistance of *Acanthamoeba* cysts to disinfection in multiple contact lens solutions. J Clin Microbiol. 2009;47(7):2040-2045
6. Lonnen J, Heaselgrave W, Nomachi M, et al. Disinfection efficacy and encystment rate of soft contact lens multipurpose solutions against *Acanthamoeba*. Eye Contact Lens. 2010;36(1): 26-32.
7. Srikanth S, Berk SG. Stimulatory effect of cooling tower biocides on amoebae. Appl Environ Microbiol. 1993;59(10):3245-3249.
8. Anwar A, Khan NA, Siddiqui R. Combating *Acanthamoeba* spp. cysts: what are the options?. Parasites & vectors. 2018;11(1):26
9. Boonman N, Prachya S, Boonmee A, et al. *In vitro* acanthamoebicidal activity of fusaric acid and dehydrofusaric acid from an endophytic fungus *Fusarium* sp. Tlau3. Planta Med. 2012;78:1562-1567
10. Dudley R, Matin A, Alsam S, Sissons J, Maghsood AH, Khan NA. *Acanthamoeba* isolates belonging to T1, T2, T3, T4 but not T7 encyst in response to increased osmolarity and cysts do not bind to human corneal epithelial cells. Acta tropica. 2005;95(2):100-108
11. Lloyd D. Encystment in *Acanthamoeba castellanii*: a review. Exp parasitol. 2014;145: S20-S27
12. Moon EK, Hong Y, Chung DI, Goo YK, Kong H H. Potential value of cellulose synthesis inhibitors combined with PHMB in the treatment of *Acanthamoeba* keratitis. Cornea. 2015;34(12): 1593-1598
13. Lakhundi S, Khan NA, Siddiqui R. Inefficacy of marketed contact lens disinfection solutions against keratitis-causing *Acanthamoeba castellanii* belonging to the T4 genotype. Exp parasitol. 2014;141:122-128
14. Abjani F, Khan NA, Yousuf FA, Siddiqui R. Targeting cyst wall is an effective strategy in improving the efficacy of marketed contact lens disinfecting solutions against *Acanthamoeba castellanii* cysts. Contact Lens and Anterior Eye 2016;39(3):239-243
15. Arias JA. Secretory organelle and mitochondrial alterations induced by fusaric acid in root cells of *Zea mays*. Physiol Plant Pathol. 1985;27:149-158.
16. D' Alton A, Etherton B. Effects of fusaric acid on tomato root hair membrane potentials and ATP levels. Plant Physiol. 1984;74:39-42
17. Marrè MT, Vergani P, Albergoni FG. Relationship between fusaric acid uptake and its binding to cell structures by leaves of *Egeria densa* and its toxic effects on membrane permeability and respiration. Physiol Mol Plant P. 1993;42:141-157
18. Pavlovkin J, Mistrik I, Prokop M. Some aspects of the phytotoxic action of fusaric acid on primary *Ricinus* roots. Plant Soil Environ. 2004;50:397-401

สมบัติบางประการของปริภูมิใหญ่สุดย่อยแบบ sg ในปริภูมิโครงสร้างเล็กสุดSome properties of sg -submaximal in minimal structure spaceณัฐวรรณ พิมพิลา¹, ดรุณี บุญชารี²Nuthawan Pimpila¹, Daruni Boonchari²

Received: 21 June 2018 ; Revised : 21 August 2018 ; Accepted: 24 August 2018

บทคัดย่อ

ในบทความนี้เราศึกษาคุณสมบัติของ เซตเปิด เซตปิด ตัวดำเนินการส่วนปิดคลุม ตัวดำเนินการภายใน บนปริภูมิโครงสร้างเล็กสุด เราได้ให้ลักษณะของปริภูมิใหญ่สุดย่อยแบบ sg โดยใช้เซตปิดและเซตเปิดชนิดต่างๆ

คำสำคัญ : หนาแน่นแบบ m_X , ไม่หนาแน่นแบบ m_X , ปริภูมิใหญ่สุดย่อยแบบ sg

Abstract

In this paper, we study the properties of open sets, closed sets, closure operator and interior operator on minimal structure space. We will provide characterization of sg -submaximal space by using various kinds of generalized closed sets and open sets.

Keywords : m_X -dense , m_X -codense, sg -Submaximal

Introduction

In the literature¹, Maki introduced the notion of minimal structure. Also Popa and Noiri², introduced the notion of m_X -open sets, m_X -closed sets and then characterized those sets using m_X -closure and m_X -interior operators, respectively. After that Popa and Noiri² and Cao et al.³, defined some new types of open sets and closed sets in topological space and obtained some results in topological space. Late⁴, Rosas introduced some new types of open set and closed set in minimal structure. The concept of relationships of generalized closed sets and some new characterizations of sg -submaximal were introduced by Gansteer⁵. In this paper, we study the minimal structure space and properties of open set, closed set, closure and interior in this space, including the relationship between every type of closed set. We provide the characterization of sg -submaximal space.

Preliminaries

First, we recall some concepts and definitions which are useful in the results.

Definition 2.1¹ Let X be a non-empty set and $P(X)$ the power set of X A subfamily m_X of $P(X)$ is called a *minimal structure* (briefly *m-structure*) on X if m_X contains \emptyset and X The pair (X, m_X) is called an *m-space*. Each member of m_X is said to be m_X -open set and the complement of m_X -open set is said to be m_X -closed set.

Definition 2.2² Let X be a non-empty set and m_X be an *m-structure* on X For a subset A of X the m_X -closure of A denoted by $mCl(A)$ and the m_X -interior of A denoted by $mInt(A)$ are defined as follows:

- (1) $mCl(A) = \bigcap \{B \subseteq X : X - B \in m_X \text{ and } A \subseteq B\}$,
- (2) $mInt(A) = \bigcup \{B \subseteq X : B \in m_X \text{ and } B \subseteq A\}$.

Lemma 2.3² Let X be a non-empty set and m_X be an *m-structure* on X . For $A, B \subseteq X$ the following

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อําเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master's Degree student, ² Assist. Prof., Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District Maha Sarakham 44150, Thailand,

* Corresponding author ; Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District Maha Sarakham 44150, Thailand, cake_nuthawon@hotmail.com, daruni.b@msu.ac.th

statements hold:

- (1) $mInt(A) \subseteq A$. If $A \in m_X$, then $mInt(A) = A$.
- (2) $A \subseteq mCl(A)$. If $X - A \in m_X$, then $mCl(A) = A$.
- (3) If $A \subseteq B$, then $mInt(A) \subseteq mInt(B)$ and $mCl(A) \subseteq mCl(B)$.
- (4) $mInt(A \cap B) \subseteq mInt(A) \cap mInt(B)$ and $mCl(A) \cup mCl(B) \subseteq mCl(A \cup B)$.
- (5) $mInt(mInt(A)) = mInt(A)$ and $mCl(mCl(A)) = mCl(A)$.
- (6) $X - mCl(A) = mInt(X - A)$ and $X - mInt(A) = mCl(X - A)$.
- (7) $mCl(\emptyset) = \emptyset$, $mCl(X) = X$, $mInt(\emptyset) = \emptyset$ and $mInt(X) = X$.

Definition 2.4^{6,7} Let (X, m_X) be an m -space and $A \subseteq X$.

Then A is called:

- (1) m_X -semi open set if $A \subseteq mCl(mInt(A))$,
- (2) m_X -pre open set if $A \subseteq mInt(mCl(A))$,
- (3) m_X -b open set if $A \subseteq mInt(mCl(A)) \cup mCl(mInt(A))$,
- (4) m_X - α open set if $A \subseteq mInt(mCl(mInt(A)))$,
- (5) m_X -regular open set if $A = mInt(mCl(A))$.

The complement of an m_X -semi open (resp. m_X -preopen, m_X -b open, m_X - α open, m_X -regular open) set is called an m_X -semi closed (resp. m_X -pre closed, m_X -b closed, m_X - α closed, m_X -regular closed) set. The collection of all m_X -semi open (resp. m_X -preopen, m_X -b open, m_X - α open, m_X -regular open) sets of X is denoted by $m_X SO(X)$ (resp. $m_X PO(X)$, $m_X BO(X)$, $m_X \alpha O(X)$, $m_X RO(X)$).

Definition 2.5^{6,7} Let (X, m_X) be an m -space and $A \subseteq X$. Then A is called:

- (1) $sCl(A) = \bigcap \{B \subseteq X : B \text{ is a } m_X\text{-semi closed set and } A \subseteq B\}$,
- (2) $pCl(A) = \bigcap \{B \subseteq X : B \text{ is a } m_X\text{-pre closed set and } A \subseteq B\}$,
- (3) $bCl(A) = \bigcap \{B \subseteq X : B \text{ is a } m_X\text{-b closed set and } A \subseteq B\}$.

Definition 2.6^{6,7} Let (X, m_X) be an m -space and $A \subseteq X$. Then A is called:

- (1) m_X - gb closed if $bCl(A) \subseteq U$ whenever $A \subseteq U$ and $U \in m_X$,

- (2) m_X - sg closed if $sCl(A) \subseteq U$ whenever $A \subseteq U$ and $U \in m_X SO(X)$,

- (3) m_X - gs closed if $sCl(A) \subseteq U$ whenever $A \subseteq U$ and $U \in m_X$,

- (4) m_X - gp closed if $pCl(A) \subseteq U$ whenever $A \subseteq U$ and $U \in m_X$.

The complement of an m_X - gb closed (resp. m_X - sg closed, m_X - gs closed, m_X - gp closed) set is called an m_X - gb open (resp. m_X - sg open, m_X - gs open, m_X - gp open) set.

Lemma 2.7⁴ Let (X, m_X) be an m -space and $A \subseteq X$. Then A is called:

- (1) $sCl(A) = A \cup mInt(mCl(A))$,
- (2) $pCl(A) = A \cup mCl(mInt(A))$.

Definition 2.8⁸ Let (X, m_X) be an m -space and $A \subseteq X$. Then A is called m_X -nowhere dense if and only if $mInt(mCl(A)) = \emptyset$.

Definition 2.9⁸ Let (X, m_X) be an m -space and $D \subseteq X$. Then D is called m_X -dense if and only if $mCl(D) = X$.

Definition 2.10⁴ Let (X, m_X) be an m -space and let $X_1, X_2 \subseteq X$ defined by $X_1 = \{x \in X : \{x\} \text{ is } m_X\text{-nowhere dense}\}$ and $X_2 = \{x \in X : \{x\} \text{ is } m_X\text{-preopen}\}$. It is easy to see that $\{X_1, X_2\}$ is a decomposition of X (i.e. $X = X_1 \cup X_2$).

We will give the definition of m_X -codense and m_X - sg closed, including study intersection and relationships of some types of closed set.

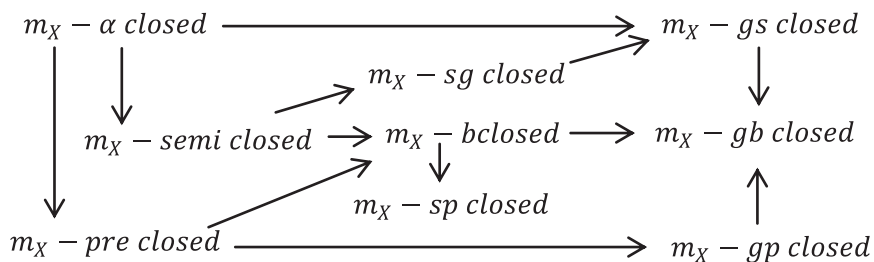
Definition 2.11 Let (X, m_X) be an m -space and $E \subseteq X$. Then E is called m_X -codense if and only if $mInt(E) = \emptyset$.

Definition 2.12 An m -space (X, m_X) is said to be sg -submaximal if every m_X -codense subset of X is m_X - sg closed.

Example 2.13 Let $X = \{a, b, c\}$. Define the m -structure on X by $m_X = \{\emptyset, \{c\}, \{a, b\}, X\}$. Then $\emptyset, \{a\}, \{b\}$ are m_X -codense. Moreover, we get $m_X SO(X) = \{\emptyset, \{c\}, \{a, b\}, X\}$. So $\emptyset, \{a\}, \{b\}$ are m_X - sg closed. Hence (X, m_X) is sg -submaximal of X .

It is not difficult to prove that the intersection of m_X -b closed (resp. m_X -semi closed, m_X -pre closed) is also m_X -b closed (resp. m_X -semi closed, m_X -pre closed).

The relationships between various types of generalized closed set have been summarized in the following diagram.



3. Results

First we will give a characterization of $m_X - sg$ closed in $m - space$.

Theorem 3.1 Let (X, m_X) be an $m - space$ and $A \subseteq X$. Then A is $m_X - sg$ closed if and only if $X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$.

Proof. (\Rightarrow) Let $x \in X_1 \cap sCl(A)$, then $\{x\}$ is an $m - space$. Assume that $x \notin A$ then $A \subseteq X - \{x\}$. Thus $sCl(A) \subseteq X - \{x\}$, a contradiction. Therefore $x \in A$ that is $X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$. (\Leftarrow) Suppose that $X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$. Let $U \in m_X SO(X)$ such that $A \subseteq U$ and let $x \in sCl(A)$. If $x \in X_1$ then $x \in X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$. So $sCl(A) \subseteq A$. Assume now $x \in X_2$. Suppose that $x \notin U$. This implies that $X - U$ is m_X -semi closed and $x \in X - U$. Since $\{x\}$ is m_X -pre open, we have

$$\begin{aligned} sCl(\{x\}) &= \{x\} \cup mInt(mCl(\{x\})) \\ &= mInt(mCl(\{x\})) \\ &\subseteq mInt(mCl(X - U)) \\ &\subseteq X - U. \end{aligned}$$

Since $\{x\}$ is m_X -preopen and we get that $mInt(mCl(\{x\})) \cap A \neq \emptyset$, then let $y \in mInt(mCl(\{x\})) \cap A$, we get that $y \in mInt(mCl(\{x\})) \cap A \subseteq (X - U) \cap U = \emptyset$, contradiction. Thus $x \in U$ and $sCl(A) \subseteq U$. Hence A is $m_X - sg$ closed.

Lemma 3.2 If A is m_X -regular open and $mInt(A)$ is m_X -open, then A is m_X -open.

Proof. Let A be m_X -regular open, then $A = mInt(mCl(A))$. Thus

$$\begin{aligned} mInt(A) &= mInt(mInt(mCl(A))) \\ &= mInt(mCl(A)) = A. \end{aligned}$$

It implies that A is m_X -open.

It implies that A is m_X -open.

Lemma 3.3 If A is an $m_X - sg$ closed set and let B be an m_X -closed sets, then $A \cup B$ is $m_X - sg$ closed.

Proof. Let A be an $m_X - sg$ closed set and let B be an m_X -closed set. Then $X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$. Consider, $X_1 \cap sCl(A \cup B) \subseteq X_1 \cap (sCl(A) \cup sCl(B)) = sCl(A) \cup (X_1 \cap sCl(B)) = (A \cup mInt(mCl(A))) \cup (X_1 \cap sCl(B)) = A \cup B$

therefore by Theorem 3.1, $A \cup B$ is $m_X - sg$ closed set.

Lemma 3.4 Let (X, m_X) be an $m - space$ and $A, B \subseteq X$. If A is an m_X -semi closed set and B is an $m_X - sg$ closed set, then $A \cap B$ is $m_X - sg$ closed set.

Proof. Let A be an m_X -semi closed set and B is $m_X - sg$ closed set, then $mInt(mCl(A)) \subseteq A$ and $X_1 \cap sCl(A) \subseteq A$. Consider, $X_1 \cap sCl(A \cap B) \subseteq X_1 \cap (sCl(A) \cap sCl(B)) = sCl(A) \cap (X_1 \cap sCl(B)) = (A \cup mInt(mCl(A))) \cap (X_1 \cap sCl(B)) = A \cap B$,

therefore by Theorem 3.1, $A \cap B$ is $m_X - sg$ closed set.

Lemma 3.5 Let (X, m_X) be an $m - space$ and $A \in X$. Then $bCl(A) = sCl(A) \cap pCl(A)$.

Proof. Consider, $bCl(A) = A \cup (mInt(mCl(A)) \cap mCl(mInt(A))) = (A \cup mInt(mCl(A))) \cap (A \cup mCl(mInt(A)))$,

by Lemma 2.7, $bCl(A) = sCl(A) \cap pCl(A)$.

We now consider the property of sg -submaximal. First we will give some elementary characterizations of sg -submaximal spaces.

Theorem 3.6 Let X be an m -space, the following properties are equivalent:

- (1) X is sg -submaximal,
- (2) For any subset A of X , $A = mCl(A) \cap G$ where G is an m_X - sg open subset of X ,
- (3) For any subset A of X , $A = mInt(A) \cup F$ where F is an m_X - sg closed subset of X ,
- (4) every m_X -codense subset A of X is m_X - sg closed,
- (5) $mCl(A) - A$ is m_X - sg closed for every subset A of X .

Proof. (1) \Rightarrow (2): Let $A \subseteq X$. We consider $mInt(mCl(A) - A)$
 $= mInt(mCl(A) \cap (X - A))$
 $\subseteq mInt(mCl(A)) \cap mInt(X - A)$
 $= mInt(mCl(A)) \cap [X - mCl(A)]$
 $\subseteq mCl(A) \cap [X - mCl(A)] = \emptyset$.

This implies that $mCl(A) - A$ is m_X -codense.

By (1) we get $mCl(A) - A$ is m_X - sg closed.

Then $(X - mCl(A)) \cup A$
 $= X - (mCl(A) \cap (X - A)) = X - (mCl(A) - A)$
 is m_X - sg open. Therefore $[(X - mCl(A)) \cup A] \cap mCl(A)$
 $= [(X - mCl(A)) \cap mCl(A)] \cup [A \cap mCl(A)]$
 $= A$. Hence we can conclude that (2) is true.

(2) \Rightarrow (3): Let $A \subseteq X$. Then there exists an m_X - sg open subset G of X such that $X - A = mCl(X - A) \cap G$. Thus $A = X - [X - A]$
 $= X - [mCl(X - A) \cap G]$
 $= (X - mCl(X - A)) \cup (X - G)$
 $= mInt(A) \cup (X - G)$. This implies that $= mInt(A) \cup (X - G)$. This implies that $X - G$ is an m_X - sg closed subset of X .

Hence the statement (3) is true.

(3) \Rightarrow (4): Let A be m_X -codense, that is $mInt(A) = \emptyset$. By (3), there exists an m_X - sg

closed subset F of X such that $A = mInt(A) \cup F$. Hence $A = mInt(A) \cup F = \emptyset \cup F = F$.

So A is m_X - sg closed.

(4) \Rightarrow (5): Let $A \subseteq X$. We consider,

$$\begin{aligned} & mInt(mCl(A) - A) \\ &= mInt(mCl(A) \cap (X - A)) \\ &\subseteq mInt(mCl(A)) \cap mInt(X - A) \\ &= mInt(mCl(A)) \cap [X - mCl(A)] \\ &\subseteq mCl(A) \cap [X - mCl(A)] = \emptyset. \end{aligned}$$

This implies that $mCl(A) - A$ is m_X -codense, therefore $mCl(A) - A$ is m_X - sg closed.

(5) \Rightarrow (1): Let A be m_X -codense of X , that is $mInt(A) = \emptyset$. By (5), we get that $mCl(X - A) - (X - A)$ is m_X - sg closed. We also have that $mCl(X - A) - (X - A) = mCl(X - A) \cap A$
 $= [X - mInt(A)] \cap A = X \cap A = A$.

Hence A is m_X - sg closed. Therefore X is sg -submaximal.

Example 3.7 Let $X = \{a, b, c\}$. Define the m -structure on X by $m_X = \{\emptyset, \{a\}, \{a, b\}, X\}$.

Then $\emptyset, \{c\}, \{b, c\}$ are m_X -codense. Moreover, we get $m_X SO(X) = \{\emptyset, \{a\}, \{a, b\}, \{a, c\}, X\}$.

So $\emptyset, \{c\}, \{b, c\}$ are m_X - sg closed. Hence (X, m_X) is sg -submaximal of X . It is clear that (1) and (4) are equivalent. For (2), (3), (5) it is not difficult to show how they are equivalent.

Theorem 3.8 Let X be an m -space, and let $mInt(E)$ be an open set when $E \subseteq X$, the following properties are equivalent:

- (1) every m_X -b closed set is m_X - sg closed,
- (2) every m_X -pre closed set is m_X - sg closed,
- (3) X is sg -submaximal.

Proof. (1) \Rightarrow (2): Let A be m_X -pre closed, that is $mCl(mInt(A)) \subseteq A$. Then

$$\begin{aligned} & mCl(mInt(A)) \cap mInt(mCl(A)) \\ &\subseteq mCl(mInt(A)) \cap mCl(mCl(A)) \\ &= mCl(mInt(A)) \cap mCl(A) \\ &\subseteq A \cap mCl(A) = A. \end{aligned}$$

This implies that A is m_X -b closed, therefore A is m_X - sg closed.

(2)⇒(1): Let A be m_X -b closed, then $A = bCl(A)$. By Lemma 3.5, we get $bCl(A) = sCl(A) \cap pCl(A)$. We can easily see that $sCl(A)$ is m_X -semi closed and $pCl(A)$ is m_X -pre closed. Therefore $pCl(A)$ is m_X -sg closed. By Lemma 3.4, implies that $A = bCl(A) = sCl(A) \cap pCl(A)$. Hence A is m_X -sg closed.

(2)⇒(3): Let A be m_X -codense, then $mInt(A) = \emptyset$. Since $mCl(mInt(A)) = mCl(A) = \emptyset \subseteq A$. Thus $mCl(mInt(A)) \subseteq A$, such that A is m_X -pre closed. Therefore A is m_X -sg closed. Hence X is sg-submaximal.

(3)⇒(2): Let A be m_X -pre closed, than $X - A$ is m_X -preopen and we will get $X - A \subseteq mInt(mCl(X - A))$.

Let $G = mInt(mCl(X - A))$. Then we get $mCl(X - A) \subseteq mCl(G)$. Consider $mCl(G) = mCl(mInt(mCl(X - A))) \subseteq mCl(X - A)$. Thus $mCl(G) = mCl(X - A)$. This implies that $G = mInt(mCl(G))$, i.e. G is m_X -regular open. Since $mCl(G) \subseteq X$, then $mInt(G)$ is open set. By Lemma 3.2, G is an open set.

Assume that $D = (X - A) \cup (X - G)$, then

$$\begin{aligned} mCl(D) &= mCl[(X - A) \cup (X - G)] \\ &= mCl(X - A) \cup mCl(X - G) \\ &= mCl(G) \cup X - G \\ &= mCl(X) = X, \end{aligned}$$

therefore D is m_X -dense. Consider,

$$\begin{aligned} D \cap G &= [(X - A) \cup (X - G)] \cap G \\ &= [(X - A) \cap G] \cup [(X - G) \cap G] \\ &= [(X - A) \cap G] \cup \emptyset = X - A, \end{aligned}$$

thus $A = (X - D) \cup (X - G)$. Consider $X - D$ we will get $mInt(X - D) = X - mCl(D) = X - X = \emptyset$, thus $X - D$ is m_X -codense. Since X is sg-submaximal, then $X - D$ is m_X -sg closed. Since $X - G$ is a closed set and by Lemma 3.3, $A = (X - D) \cup (X - G)$ is m_X -sg closed.

Example 3.9 Let $X = \{a, b, c\}$. Define the m-structure on X by $m_X = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, X\}$. Then $\emptyset, \{c\}$ are m_X -codense. Moreover, we can find that $m_X SC(X)$

$$\begin{aligned} &= \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, X\}, \\ &m_X BC(X) \\ &= \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, X\} \text{ and} \\ &m_X PC(X) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}, X\}. \text{ So } \emptyset, \\ &\{c\} \text{ are } m_X\text{-sg closed. Hence } (X, m_X) \text{ is sg-} \\ &\text{submaximal of } X \text{ and (1)-(3) are equivalent.} \end{aligned}$$

Conclusion

In conclusion, the concepts of minimal structure space which study open set, closed set, closure and interior in intersects on such. The results are properties characterizations of Sg-submaximal space in Theorem 3.6 and Theorem 3.8

References

1. Maki H, Rao KC, Nagoor GA. On generalizing semi-open and preopen sets, Pure Appl. Math. Sci. 1999;49:17-29
2. Popa V, Noiri T. On M-continuous functions, Anal. Univ. "Dunareade Jos" Galati, Ser. Mat. Fiz. Mec. Yeor. Fasc. II 2000;18(23): 31-41
3. Cao J, Ganster M, Reilly I. On generalized closed set, Topology and its Applications 2002;123:37-46
4. Rosas E, Rajesh N, Carpintero C. Some New Types of Open and Closed sets in Minimal Structure-I, International Mathematical Forum 2009;44(4):2169-2184
5. Ganster M. Preopen set and resolvable space, Kyungpook Math J. 1987;27:135-143
6. Rosas E, Rajesh N, Carpintero C. Some New Types of Open and Closed sets in Minimal Structure-II, International Mathematical Forum 2009;44(4):2185-2198
7. Parimelazhagan R, Balachandran K, Nagareni N. Weakly Generalized Closed Sets in Minimal Structure, Int. J. contemp. Math. Sciences 2009; 27(4): 1335-1343
8. Modak S. Dense Set in Weak Structure and Minimal Structure, Commun. Korean. Math. 2013;28(3):589-592

การหาลำดับการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล

Optimal Production Scheduling using VBA on Microsoft Excel

พรรัตน์ ฐำรงวุฒิ¹, นรา สมัตตภาพงศ์², พรศิริ จงกล³

Pornrat Thumrongvut¹, Nara Samattapapong², Pornsiri Jongkol³

Received: 14 August 2018 ; Revised : 19 September 2018 ; Accepted: 8 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการจัดลำดับการผลิตหลายงานแบบเครื่องจักรหลายเครื่อง และลดเวลาในการจัดตารางการผลิตของปัญหาในกรณีศึกษาโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล ปัญหาการจัดลำดับการผลิตเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เป็นการยากที่จะหาวิธีที่ดีที่สุดมาใช้ในแก้ไขปัญหาเหล่านี้เนื่องจากมีตัวแปรมากมายที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต อาทิเช่น ระยะเวลาการทำงาน เวลารอคอยงาน เวลาว่างของเครื่องจักร เป็นต้น ในกรณีศึกษาวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกระบวนการทำงานบนเครื่องจักรเท่านั้น ประกอบด้วยงานจำนวน 5 งาน และทำงานบนเครื่องจักรจำนวน 4 เครื่อง ในการวิเคราะห์ที่ตั้งสมมติฐานว่างานแต่ละประเภททำได้ที่เครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งครั้งละงานเท่านั้น เครื่องจักรทุกเครื่องมีความพร้อมในการปฏิบัติงานทุกเมื่อ และเครื่องจักรเครื่องนั้นจะพร้อมใช้กับงานอื่นถัดไปต่อเมื่องานก่อนหน้านั้นเสร็จแล้วเท่านั้น จากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และผลของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลพบว่า เป็นวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหการจัดลำดับการผลิตกับกรณีศึกษานี้ได้ และแสดงผลการคำนวณเวลาการทำงานที่ทุกขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ต่ำที่สุด (Makespan) มีค่าเท่ากับ 34 นาที ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมวีบีเอเป็นค่าที่ถูกต้อง และสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาประมาณ 12 นาที

คำสำคัญ: วีบีเอ ไมโครซอฟต์เอ็กเซล ลำดับการผลิต ตารางการผลิต

Abstract

The objectives of this research were to develop the sequence production for multiple machine-multiple job, and to reduce schedule production time in a case study problem using Visual Basic for Application (VBA) on Microsoft Excel. Generally, sequencing problems occur frequently and are important issues for manufacturing processes in industrial processes It is difficult to find the best method to solve these problems, since there are many variables that affect the manufacturing processes, such as processing time, queue time and idle time. This research studied especially manufacturing on machine including five jobs and four machines flow shop. The operating system for this analysis assumes that each machine can handle one job at a time, all machines are ready to perform and a machine will be available for the next job only when the previous job has been completed. Based on the information used in the study and results of analytical algorithm by using VBA on Microsoft Excel, it was found the best method to solve problems in sequence production with case studies, and presented the minimize makespan of 34 minutes. Finally, the results obtained from the VBA program are accurate and can be evaluated quickly in about 12 minutes of processing time.

Keywords: VBA, Microsoft Excel, Sequence production, Schedule production

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ²อาจารย์, ³รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Master degree student, ²Lecturer, ³Assoc. Prof., School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* Corresponding author; E-mail : pornratthum@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแต่ละภาคส่วนนั้นมีการแข่งขันกันสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency) และประสิทธิผล (Effectiveness) ให้องค์กร และการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้แทนแรงงานคน ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่องค์กรเล็งเห็นว่าเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญที่ทำให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้า เพราะงานที่ได้นั้นจะมีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง มีคุณภาพสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถผลิตได้จำนวนมากและรวดเร็ว ซึ่งในอดีตนั้น คนบางกลุ่มมีความเห็นว่าการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น การใช้เครื่องจักรกลต่าง ๆ หรือการใช้หุ่นยนต์นั้น จะทำลายการจ้างงานของแรงงาน จนกระทั่งเมื่อเวลาผ่านไปมีการพัฒนาเศรษฐกิจความเห็นว่านี่ก็ได้รับการพิสูจน์ว่าไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะเมื่อมีการนำเครื่องจักรมาใช้ในการผลิตภายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น แรงงานคนก็สามารถพัฒนายกระดับทักษะการทำงานให้สูงขึ้นเช่นกัน เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรได้ และยังคงก่อให้เกิดรายได้ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการพัฒนานี้เป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์ประเทศ นั่นคือการนำประเทศไทยไปสู่ยุคดิจิทัล ไทยแลนด์ 4.0 (Digital Thailand 4.0)

เมื่อมีการนำเครื่องจักรมาใช้ในกระบวนการผลิต สิ่งต่อไปที่ต้องคำนึงถึงคือ การจัดตารางการผลิต (Scheduling) และการจัดลำดับการผลิต (Sequencing) ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณาเพื่อนำมาสู่ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการผลิตภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ^{1, 2} เช่น ข้อจำกัดทางด้านเครื่องจักรและลำดับขั้นตอนการทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ในหลาย ๆ องค์กรมักไม่มีการวางแผนเกี่ยวกับการจัดการการผลิต ไม่ได้คำนึงถึงลำดับการผลิตก่อนหลัง หรืออาจมีลำดับการผลิตที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เครื่องจักรเกิดเวลาที่สูญเปล่า และงานล่าช้ากว่ากำหนดส่ง จึงกล่าวได้ว่าการจัดลำดับการผลิตและการจัดการตารางการผลิตนั้นเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อกระบวนการวางแผนการผลิต กล่าวคือ³ หากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนสูงชัน และอาจนำมาซึ่งปัญหาทางด้านการผลิตอีกมากมาย แต่หากจะทำให้การจัดลำดับการผลิตและการจัดการตารางการผลิตมีประสิทธิภาพสูงได้นั้น ไม่ใช่งานที่ทำได้โดยง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่กระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อน ดังนั้น ลำดับของการผลิตก่อนหลังในกระบวนการผลิตสินค้า (Precedence constraint) จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญในการจัดการตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิตและการจัดลำดับการผลิตเป็นเรื่องของการทำงาน (Job order) และการจัดลำดับงาน (Job sequencing)^{4, 5} โดยที่ต้องจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ เช่น แรงงาน เครื่องจักร และอุปกรณ์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้มีการ

ดำเนินการผลิตตามที่ได้รับมอบหมายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ การจัดการตารางการผลิตมีเป้าหมายหลัก คือต้องการลดจำนวนงานที่เสร็จช้ากว่ากำหนด ปัญหาในการจัดการตารางการผลิต (Job scheduling problem) เป็นปัญหาที่องค์กรต่าง ๆ ใช้เวลานานในการดำเนินงาน ซึ่งควรคำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาและความสามารถ รวมทั้งข้อจำกัดในด้านการผลิตที่มีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด เพื่อลดปัญหาในการจัดการตารางการผลิตและการจัดลำดับการผลิต⁷ ซึ่งการจัดการตารางการผลิตจะเริ่มต้นจากการวางแผนให้ชัดเจนว่า งานหรือกิจกรรมนี้ใครเป็นผู้รับผิดชอบ มีกำหนดระยะเวลาการดำเนินงานเท่าใด และในปริมาณเท่าไรเพื่อที่จะได้จัดเตรียมทรัพยากรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผนงานการดำเนินการจากการกำหนดแผนความต้องการวัสดุ (Material requirement planning) ในส่วนของการจัดลำดับการผลิตมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญ คือลดการสะสมของงานในระหว่างหน่วยงานต่อหน่วยงาน (In process inventory) ซึ่งเกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาโดยเน้นการวิเคราะห์เชิงปริมาณ⁸ เริ่มจากเปลี่ยนแปลงเป้าหมายการตัดสินใจและข้อจำกัดต่าง ๆ ไปเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) และข้อจำกัด (Constrain) จากความสำคัญที่กล่าวมานี้จึงเป็นเหตุผลให้นักวิจัยจำนวนมากมีความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับการจัดการตารางการผลิต เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ข้อจำกัดในระบบเครื่องจักรเดี่ยว⁹ ข้อจำกัดในการผลิตแบบตามงาน (Job shop production)^{10, 11} ข้อจำกัดในกระบวนการไหลเลื่อนยืดหยุ่น (Flexible flow shop)¹²⁻¹⁴ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ¹⁵ ดังงานวิจัยที่ถูกศึกษาโดย^{16, 17} แก้ปัญหาในเรื่องการจัดเส้นทางเดินรถ หรือการพัฒนาไปสู่ระบบปัญญาประดิษฐ์^{18, 19}

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาและแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วย การเขียน VBA ใน โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล เช่น Hong et al.¹⁷ ได้ทำการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาระบบไฟจราจรบนท้องถนนโดยใช้ VBA ในการเขียนชุดคำสั่งประมวลผล ซึ่งเป็นปัญหาที่มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งสามารถหาผลลัพธ์ได้รวดเร็วและใช้งานง่าย²⁰ ทำการเขียน VBA เพื่อนำมาหาจำนวนชุดของตัวแปรที่อาจจะเกิดขึ้นในสภาวะการณ์ที่แตกต่างกัน แล้วนำมาเป็นแนวทางแก้ปัญหาในอนาคต หรืองานที่เกี่ยวข้องกับสาขาอาชีพของวิศวกรรมเคมีที่นำเสนอโดย Wong and Barford²¹ ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เช่นกัน และในส่วนของจัดการตารางการผลิต และการจัดลำดับการผลิตนั้น มีงานวิจัยที่ศึกษา แก้ไขปัญหาด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งมีจุดประสงค์หลักคือ การเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ

กระบวนการผลิต เช่น ²²ได้ทำการพัฒนาวิธีวิธีวิสติกเพื่อแก้ไข ปัญหาในการจัดตารางการผลิต ในข้อจำกัดการผลิตแบบตาม งาน ที่มีเครื่องจักรหลายเครื่อง และกระบวนการทำงานบน เครื่องจักรมีความซับซ้อน โดยมีเป้าหมายคือ ต้องการลดเวลา ในการผลิตลง และผลที่ได้ก็สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเดิมร้อยละ 37.54 ²³นำเสนอการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิต ไหลเลื่อนแบบยืดหยุ่น โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม เพื่อ จัดลำดับงาน และจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสม ผลของการ จำลองสถานการณ์คือ สามารถได้ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่คำนึงถึงสมรรถนะและเสถียรภาพ ²⁴ นำขั้นตอนวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการจัดตาราง งานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ ขนาน เพื่อให้ได้ตารางการผลิตที่มีความเหมาะสมทำให้ระบบ การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือเพื่อศึกษาและเข้าใจ ถึงปัญหาของการวางแผนการจัดลำดับการผลิตและการจัด ตารางการผลิต แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการหาแนวทางหรือวิธี การดำเนินงานให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และเครื่องมือ ที่นำมาช่วยแก้ปัญหา คือ Visual Basic for Application (VBA) เป็นการเขียนคำสั่งด้วยวิซวลเบสิก เพื่อใช้สั่งงานโปรแกรม ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งาน (User inference) ลดงานที่ซ้ำซ้อนลงไป ได้ อีกทั้งงานที่ประมวลผลด้วย VBA นี้มีความรวดเร็วและถูก ต้องกว่าการคำนวณผลลัพธ์ที่เกิดจากคน เนื่องจากความซับซ้อน ตัวแปร และข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหาเหล่านั้น อาจเกิด ความผิดพลาดได้ ดังนั้นการที่นำ VBA มาใช้เป็นเครื่องมือใน การแก้ปัญหาสามารถช่วยลดระยะเวลาทำงานในการจัดตาราง การผลิตและช่วยให้การจัดลำดับการผลิตของงานแต่ละงานให้ มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หากเปรียบเทียบกับเครื่องมือ หรือ วิธีการแก้ปัญหาอื่น ๆ แล้วนั้น VBA นับว่าเป็นวิธีที่มีกระบวนการ หาคำตอบเป็นขั้นเป็นตอนชัดเจน ถูกต้อง และสามารถทวน สอบผลลัพธ์ได้ ผู้ใช้งานที่มีทักษะการเขียนภาษาวิซวลเบสิก นั้นสามารถพัฒนา หรือนำไปประยุกต์ใช้กับองค์กร หรือ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีการดำเนินงานในลักษณะ คล้ายคลึงกันได้ และในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพใน การประมวลผลมากขึ้น ทำให้การแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ หรือ มีความซับซ้อนมีความรวดเร็วมากขึ้นด้วย อีกทั้ง VBA เป็น ฟังก์ชันพื้นฐานที่ใช้ในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลโดยไม่ต้อง เสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานแต่อย่างใด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นใน

อุตสาหกรรม และในกระบวนการผลิตแล้วทำการวิเคราะห์ สาเหตุของปัญหา ศึกษาผลกระทบจากการจัดตารางผลิตและ จัดลำดับการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ แล้วจึงกำหนดขอบเขต และวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำงานวิจัยนี้ ศึกษาทฤษฎี งานวิจัย ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหา และทำการ ทดลองจัดลำดับการผลิตโดยใช้ภาษา VBA ซึ่งเป็นเครื่องมือ ชนิดหนึ่งของโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล และทำการ วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ หลังจากนั้นสรุปผลงานวิจัยเพื่อนำเสนอ เป็นแนวทางตัวอย่างกรณีศึกษาสำหรับปัญหาการจัดตาราง การผลิต และการจัดลำดับการผลิตอื่น ๆ ที่มีเงื่อนไขสอดคล้อง กับงานวิจัยนี้ โดยสรุปขั้นตอนการศึกษาที่ได้กล่าวมาสามารถ แสดงเป็นแผนภาพ (Flow chart) ได้ดังแสดงใน Figure 1

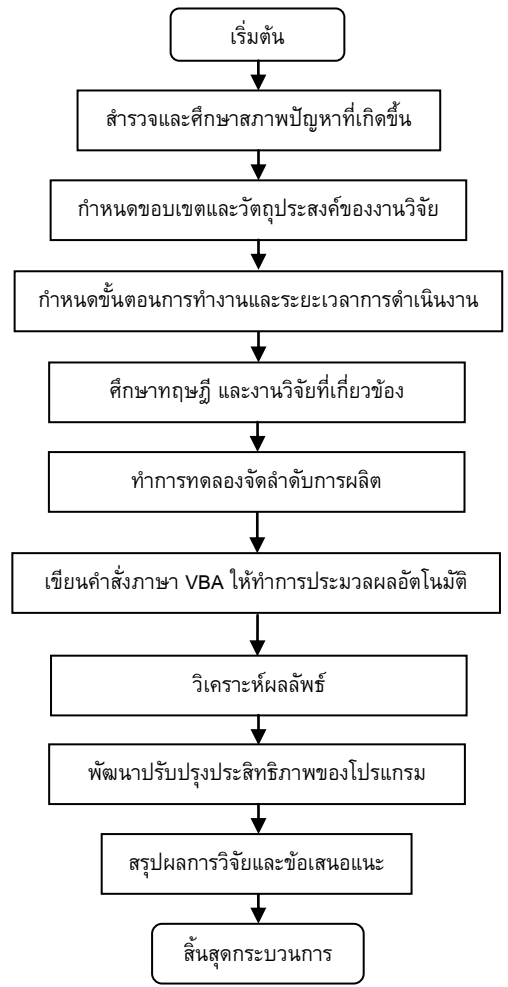


Figure 1 Flow chart

สำหรับข้อมูลที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้กำหนดให้มี 5 งาน เครื่องจักร 4 เครื่อง²⁵ ศึกษาเฉพาะกระบวนการทำงาน บนเครื่องจักรเท่านั้น เพื่อนำมาพิจารณาเป็นเงื่อนไขของการ วางแผนในการจัดลำดับการผลิตภายในเครื่องจักรนั้น ๆ โดย ขั้นตอนและลำดับการทำงานทั้งหมด 8 ขั้นตอน ได้แก่ T1, T2,

T3, ..., T8 ซึ่งแต่ละขั้นตอนใช้ระยะเวลาและเครื่องจักรที่แตกต่างกัน แสดงดัง Table 1 และมีขอบเขตงานวิจัย คือเครื่องจักรทุกเครื่องในระบบมีความพร้อมในการปฏิบัติงาน โดยงานแต่ละประเภททำได้ที่เครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งครั้งละงาน เครื่องจักรตัวนั้นจะพร้อมใช้กับงานอื่นถัดไปต่อเมื่องานก่อนหน้านั้นเสร็จแล้วเท่านั้น และงานแต่ละประเภท มีขั้นตอนงานและลำดับการทำงานที่แน่นอนด้วยเครื่องจักรที่กำหนด รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

- งานที่ 1 (A) มีขั้นตอนและลำดับการทำงาน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 (T1) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 1 (M1)
 - ขั้นตอนที่ 2 (T2) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 2 (M2)
 - ขั้นตอนที่ 3 (T3) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 4 (M4)
- งานที่ 2 (B) มีขั้นตอนและลำดับการทำงาน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 (T1) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 1 (M1)
 - ขั้นตอนที่ 2 (T4) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 3 (M3)
 - ขั้นตอนที่ 3 (T2) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 2 (M2)
 - ขั้นตอนที่ 4 (T3) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 4 (M4)
- งาน 3 (C) มีขั้นตอนและลำดับการทำงาน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 (T5) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 1 (M1)
 - ขั้นตอนที่ 2 (T6) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 2 (M2)
 - ขั้นตอนที่ 3 (T7) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 3 (M3)
- งาน 4 (D) มีขั้นตอนและลำดับการทำงาน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 (T5) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 1 (M1)
 - ขั้นตอนที่ 2 (T7) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 3 (M3)
- งาน 5 (E) มีขั้นตอนและลำดับการทำงาน คือ
- ขั้นตอนที่ 1 (T4) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 3 (M3)
 - ขั้นตอนที่ 2 (T8) ทำงานบนเครื่องจักรที่ 4 (M4)
- ขั้นตอนงาน T1 และ T5 ทำที่เครื่องจักรที่ 1 (M1)
 ขั้นตอนงาน T2 และ T6 ทำที่เครื่องจักรที่ 2 (M2)
 ขั้นตอนงาน T4 และ T7 ทำที่เครื่องจักรที่ 3 (M3)
 ขั้นตอนงาน T3 และ T8 ทำที่เครื่องจักรที่ 4 (M4)

วิธีการจัดลำดับการผลิตด้วย VBA เริ่มจากการสร้างอัลกอริทึมเพื่อลำดับความคิดขั้นตอนในการจัดลำดับการผลิต โดยการเขียน VBA เพื่อหาผลลัพธ์ โดยแบ่งขั้นตอนหลักออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. หาวิธีการจัดเรียงลำดับที่สามารถเป็นได้ทั้งหมด
 - 1.1 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดลำดับภายในเครื่องจักร ซึ่งหมายความว่าภายในกลุ่มของเครื่องจักรเดียวกันนั้นงานทุกงานสามารถสลับกันได้ เพื่อต้องการหาเวลาการผลิตที่มีค่าน้อยที่สุด พิจารณาจำแนกโดยการจัดกลุ่มจากเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละงาน เช่น เครื่องจักรที่

1 (M1) มีการทำงานของงานที่ 1 (A), งานที่ 2 (B), งานที่ 3 (C) และงานที่ 4 (D) เครื่องจักรที่ 2 (M2) มีการทำงานของงานที่ 1 (A), งานที่ 2 (B) และงานที่ 3 (C) และในเครื่องจักรอื่น ๆ ก็ทำเช่นเดียวกัน แสดงใน Table 2

Table 1 Process sequence and processing time

Jobs	Process	Processing time (minutes)	Machines
A	T1	8	M1
	T2	6	M2
	T3	6	M4
B	T1	8	M1
	T4	8	M3
	T2	8	M2
	T3	4	M4
C	T5	4	M1
	T6	1	M2
	T7	2	M3
D	T5	6	M1
	T7	8	M3
E	T4	6	M3
	T8	8	M4

Table 2 Group of defined variable for each job in each machine

Machines	Jobs	Group of variables
M1	A	ABCD
	B	
	C	
	D	
M2	A	ABC
	B	
	C	
M3	B	BCDE
	C	
	D	
	E	
M4	A	ABE
	B	
	E	

สร้างสมุดงาน (Worksheet model) ในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล แล้วทำการเขียนคำสั่ง VBA เพื่อหาผลลัพธ์ของวิธีการจัดเรียงที่เป็นได้ทั้งหมด โดยการกดปุ่ม Run จะได้วิธีการจัดเรียงทั้งหมด และแสดงค่าในคอลัมน์ B ยกตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้ดัง Figure 2 สำหรับปุ่ม Reset ใช้เพื่อ

ล้างค่าทั้งหมด สุดท้ายปุ่ม Home ใช้เพื่อไปที่หน้าแผนงาน Data ซึ่งเป็นแผนงานที่แสดงวิธีการคำนวณ จำนวนผลลัพธ์ของการจัดเรียงลำดับที่เป็นไปได้ทั้งหมดหาได้จากวิธีดังต่อไปนี้

เครื่องจักรที่ 1 มี ABCD จะได้ $4! = 24$ รูปแบบ เช่น ABCD CBDA BADC DACB เป็นต้น

เครื่องจักรที่ 2 มี ABC จะได้ $3! = 6$ รูปแบบ เช่น ABC CBA BCA เป็นต้น

เครื่องจักรที่ 3 มี BCDE จะได้ $4! = 24$ รูปแบบ เช่น BCDE EDCB DBEC CEDA เป็นต้น

เครื่องจักรที่ 4 มี ABE จะได้ $3! = 6$ รูปแบบ เช่น ABE EBA BEA เป็นต้น

ดังนั้น จำนวนผลลัพธ์ของการจัดเรียงลำดับที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $4! \times 3! \times 4! \times 3! = 20,736$ รูปแบบ

id	Seq. no	total time	A	B	C	D	E
1	ABCD ABC BCDE ABE						
2	ABCD ABC BCDE AEB						
3	ABCD ABC BCDE BAE						
4	ABCD ABC BCDE BEA						
5	ABCD ABC BCDE EAB						
6	ABCD ABC BCDE EBA						
7	ABCD ABC BCED ABE						
8	ABCD ABC BCED AEB						
9	ABCD ABC BCED BAE						
10	ABCD ABC BCED BEA						
11	ABCD ABC BCED EAB						
12	ABCD ABC BCED EBA						
13	ABCD ABC BDCE ABE						
14	ABCD ABC BDCE AEB						
15	ABCD ABC BDCE BAE						
16	ABCD ABC BDCE BEA						
17	ABCD ABC BDCE EAB						
18	ABCD ABC BDCE EBA						
19	ABCD ABC BDEC ABE						
20	ABCD ABC BDEC AEB						
21	ABCD ABC BDEC BAE						
22	ABCD ABC BDEC BEA						
23	ABCD ABC BDEC EAB						
24	ABCD ABC BDEC EBA						
25	ABCD ABC BECD ABE						
26	ABCD ABC BECD AEB						
27	ABCD ABC BECD BAE						
28	ABCD ABC BECD BEA						

Figure 2 Worksheet model

2.2 การใส่เงื่อนไขของปัญหาแล้วทำการประมวลผลเขียนคำสั่ง VBA โดยใส่เงื่อนไขต่าง ๆ ของงาน และเครื่องจักร แล้วทำการประมวลผลหาเวลาการผลิตในแต่ละงาน และเวลาการผลิตในทุกรูปแบบการจัดเรียงที่ได้จากข้อ 1.2 สามารถนำมาเขียนเป็นผังงานในการประมวลผลได้ดัง Figure 3

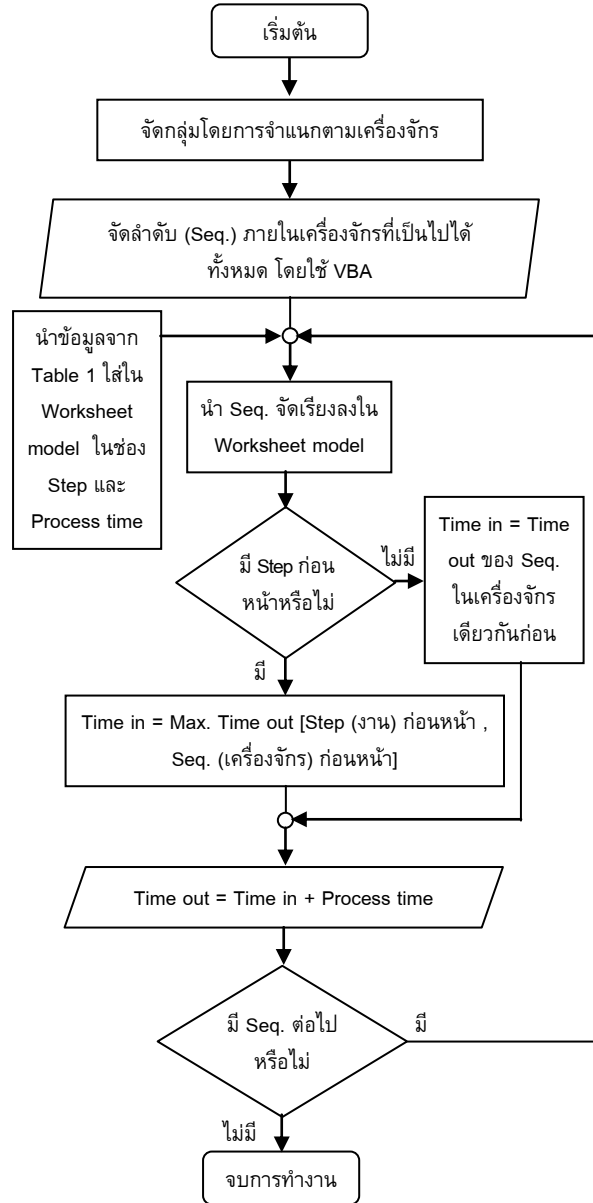


Figure 3 Flow chart for sequence using VBA

2.2 พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 2.1 ที่เวลาการผลิตที่น้อยที่สุด (Makespan) แล้ววิเคราะห์ผลที่ได้ของรูปแบบการจัดเรียงดังกล่าว

รูปแบบของการแสดงผลลัพธ์

การวางแผนในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการแสดงผลลำดับการทำงานภายในเครื่องจักรนั้น ๆ โดยลำดับของเครื่องจักรจะมาจากการพิจารณาจัดเรียงเวลาที่ทำให้ผลการคำนวณที่ต่ำที่สุด เมื่อมีการประมวลผลแล้วลักษณะของผลลัพธ์ในการวิจัยนี้จะนำเสนอในลักษณะตารางดำเนินการที่ได้จากการปรับปรุงและพัฒนาด้วย VBA ที่มีรูปแบบการจัดเรียงที่ให้ผลลัพธ์ของเวลาการผลิตของแต่ละงาน

ผลการวิจัย

การจัดลำดับการผลิตโดยใช้ VBA แบ่งขั้นตอนหลักเป็นสองส่วน ซึ่งแต่ละส่วนนั้นมีขั้นตอน และเป้าหมายที่แตกต่างกันไป แต่ทั้งนี้ทั้งสองขั้นตอนก็มีส่วนที่ต่อเนื่องกัน กล่าวคือ ผลที่ได้จากส่วนแรกมีความเกี่ยวข้องกับผลที่ได้ในส่วนที่สอง

วิธีการจัดเรียงลำดับที่เป็นไปได้ทั้งหมด

การเขียนคำสั่ง VBA เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการในขั้นตอนนี้ เป็นการจัดเรียงลำดับโดยคำนึงถึงตำแหน่งของลำดับงานภายในเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรเป็นสำคัญ (Permutation) จะได้จำนวนของวิธีการจัดเรียงทั้งหมด 20,736 รูปแบบ ซึ่งได้มาจากเครื่องจักรที่ 1 (A) มี 24 รูปแบบ เครื่องจักรที่ 2 (B) มี 6 รูปแบบ เครื่องจักรที่ 3 (C) มี 24 รูปแบบ และเครื่องจักรที่ 4 (D) มี 6 รูปแบบ จากนั้นนำรูปแบบทั้งหมดของทั้ง 4 เครื่องจักรมาคูณกันตามหลักคณิตศาสตร์ก็จะได้ผลลัพธ์ดังกล่าว และรูปแบบทั้งหมดจะแสดงที่สมุดงานในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลที่แผ่นงาน (Sheet) Output (Figure 2) โดยที่

คอลัมน์ A แสดงถึง ลำดับรูปแบบการจัดเรียง

คอลัมน์ B แสดงถึง รูปแบบการจัดเรียง

คอลัมน์ C แสดงถึง เวลารวมในเครื่องจักรทั้งหมด

ของกระบวนการผลิต

คอลัมน์ D แสดงถึง เวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่

1 (A)

คอลัมน์ E แสดงถึง เวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่

2 (B)

คอลัมน์ F แสดงถึง เวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่

3 (C)

คอลัมน์ G แสดงถึง เวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่

4 (D)

คอลัมน์ H แสดงถึง เวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่

5 (E)

การประมวลผลการจัดลำดับการผลิตโดยใช้ VBA

เมื่อมีการใส่ข้อมูลปัญหาของการวิจัย ข้อจำกัดในการผลิต ลำดับขั้นตอนของงาน เวลาของแต่ละขั้นตอน และลำดับเครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนงานนั้น ลงในสมุดงานในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลที่สร้างขึ้นมา แสดงดัง Figure 4 โดยที่เวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรจะถูกคำนวณแล้วปรากฏในเซลล์ I16

คอลัมน์ A แสดงถึง ลำดับการเรียงเลขที่แถวของกระบวนการผลิต

คอลัมน์ B แสดงถึง ชื่องาน คือ A, B, C, D และ E

คอลัมน์ C แสดงถึง ลำดับขั้นตอนของงานนั้น

คอลัมน์ D แสดงถึง หมายเลขของเครื่องจักร คือ เครื่องจักรที่ 1, 2, 3 และ 4

คอลัมน์ E แสดงถึง ระยะเวลาของขั้นตอนงานนั้น

คอลัมน์ F แสดงถึง ลำดับเครื่องจักรที่ต้องการจัดเรียง

คอลัมน์ G แสดงถึง เวลาที่ขั้นตอนของงานนั้น ๆ เริ่มทำ

คอลัมน์ H แสดงถึง เวลาที่ขั้นตอนของงานนั้น ๆ เสร็จ หรือ ได้จาก คอลัมน์ G + คอลัมน์ E

คอลัมน์ I แสดงถึง เวลาที่งานนั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว หรือ ได้จากคอลัมน์ H ที่ขั้นตอนสุดท้ายของงาน

แถวที่ 16 แสดงถึง เวลารวมของงานในเครื่องจักรทั้งหมดทุกเครื่องที่ทำงานเสร็จสมบูรณ์ทุกงาน

เซลล์ N9 แสดงถึง รูปแบบที่ให้ผลการคำนวณของเซลล์ I16 ที่มีค่าน้อยที่สุด

เซลล์ Q9 แสดงถึง เวลาของรูปแบบในเซลล์ N9

เซลล์ N11 แสดงถึง เมื่อมีการป้อนรูปแบบการจัดเรียงที่ต้องการทราบ จากนั้นกดปุ่ม Step จะทำให้รู้ถึงรายละเอียดของผลการประมวลผลรูปแบบนั้น ๆ

ID	Job_no	step	mc_no	prc_time	seq	time_in	time_out	cyt_time
1	A	1	1	8	2	8	16	28
2	A	2	2	6	1	16	22	28
3	A	3	4	6	2	22	28	28
4	B	1	1	8	1	0	8	34
5	B	3	2	8	2	22	30	34
6	B	2	3	8	2	8	16	34
7	B	4	4	4	3	30	34	34
8	C	1	1	4	4	22	26	33
9	C	2	2	1	3	30	31	33
10	C	3	3	2	4	31	33	33
11	D	1	1	6	3	16	22	30
12	D	2	3	8	3	22	30	30
13	E	1	3	6	1	0	6	34
14	E	2	4	8	1	6	14	34
Total Time on Machines								139

Figure 4 Worksheet model: sheet data

เนื่องจากการเขียนคำสั่ง VBA ทำให้การประมวลผลมีการทำงานแบบอัตโนมัติในการคำนวณซึ่งจะได้ค่าของผลลัพธ์สรุปดัง Table 3 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของแต่ละงานที่ทำงานบนเครื่องจักรในแต่ละเครื่องจักร ซึ่งมีรายละเอียดที่บ่งบอกว่างานใด ขั้นตอนไหนที่เท่าไร เริ่มเข้าระบบในเครื่องจักรใด และออกจากเครื่องจักรนั้นเมื่อเวลาเท่าไร โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตที่มีสินค้าหลายประเภท หลายเครื่องจักรหรือหลายขั้นตอนกระบวนการ สิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา คือ รอบเวลาการผลิต หรือเวลาการทำงานที่ทุกขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ต้องมีค่าที่ต่ำสุด เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิต ลดค่าใช้จ่าย และมีการส่งมอบที่ตรงเวลา เมื่อมีการนำ VBA มาใช้ในการจัดลำดับการผลิต รูปแบบที่ให้ค่าของเวลาการทำงานที่ทุกขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ คือการจัดเรียงแบบ BADC ABC EBDC EAB ดังแสดงใน Figure 5 และนำไปสร้างแผนภูมิแกนต์ได้ดัง Figure 6 รูปแบบการจัดเรียงนี้เป็นเพียงรูปแบบเดียวในทั้งหมด 20,736 รูปแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ เวลาการทำงานที่ทุกขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 34 นาที และเวลาที่ใช้ในการผลิต (Cycle time) ของแต่ละงานมีค่าดังต่อไปนี้

- เวลาที่ใช้ในการผลิตงาน A = 28 นาที
- เวลาที่ใช้ในการผลิตงาน B = 34 นาที
- เวลาที่ใช้ในการผลิตงาน C = 33 นาที
- เวลาที่ใช้ในการผลิตงาน D = 30 นาที
- เวลาที่ใช้ในการผลิตงาน E = 14 นาที

Table 3 Result of sequence using VBA

Jobs	M1		M2		M3		M4	
	Time in	Time out	Time in	Time out	Time in	Time out	Time in	Time out
A	8	16	16	22	-	-	22	28
B	0	8	22	30	8	16	30	34
C	22	26	30	31	31	33	-	-
D	16	22	-	-	22	30	-	-
E	-	-	-	-	0	6	6	14

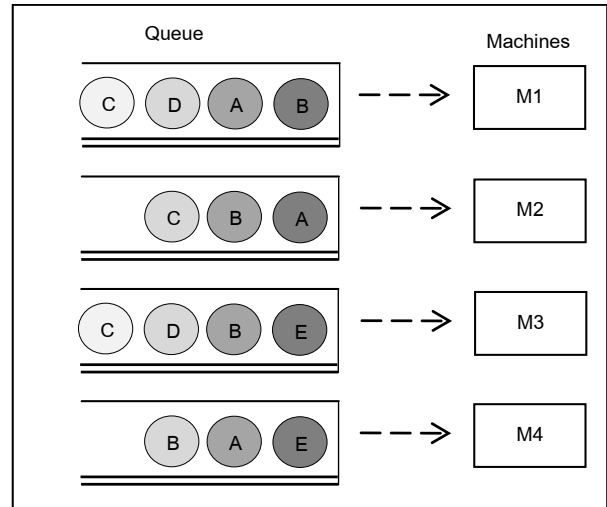


Figure 5 Job sequencing for each machine

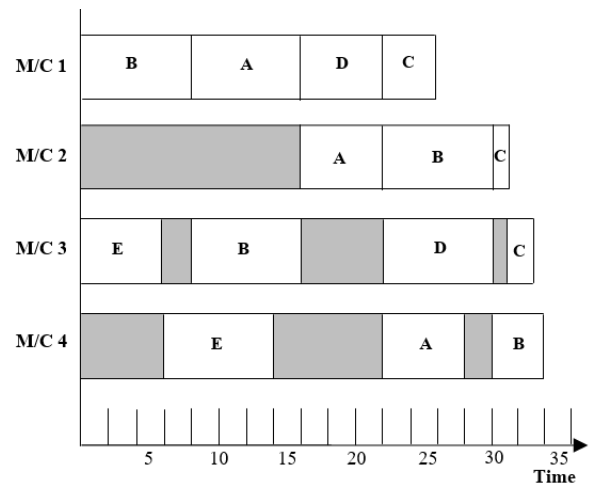


Figure 6 Gantt chart

หนึ่งในความสูญเสียในกระบวนการผลิต (Wastes) ที่อยู่ในรูปของต้นทุนซึ่งทำให้เกิดการเสียโอกาสในการผลิตสินค้า นั่นคือ เวลาที่สูญเปล่า หรือเวลารอคอย (Idle time) โดยแต่ละเครื่องจักรเกิดเวลาที่สูญเปล่า หรือเกิดเวลารอคอยงานเข้ามาในระบบ ดังต่อไปนี้

เวลาที่สูญเปล่าของเครื่องจักรที่ 1 = 34 - 26 = 8 นาที
 เวลาที่สูญเปล่าของเครื่องจักรที่ 2 = 16 + 3 = 19 นาที
 เวลาที่สูญเปล่าของเครื่องจักรที่ 3 = 2 + 6 + 1 + 1 = 10 นาที
 เวลาที่สูญเปล่าของเครื่องจักรที่ 4 = 6 + 8 + 2 = 16 นาที

ในกระบวนการผลิต สิ่งหนึ่งที่สามารถวัดประสิทธิภาพของระบบการผลิตได้นั้น คือการใช้เครื่องจักรได้เต็มสมรรถนะมากน้อยเพียงใด หรืออัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิต หาได้จาก

$$\frac{\text{Total Process Time of Machines}_j}{\text{Makespan}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ j คือ M1, M2, M3 และ M4

อัตราการใช้ประโยชน์ของแต่ละเครื่องจักร มีค่าดังต่อไปนี้

เครื่องจักรที่ 1;

Total Process Time = 8 + 8 + 4 + 6 = 26 นาที

Utilization of M1 = $(26/34) \times 100 = 76.47\%$

เครื่องจักรที่ 2;

Total Process Time = 6 + 8 + 1 = 15 นาที

Utilization of M2 = $(15/34) \times 100 = 44.12\%$

เครื่องจักรที่ 3;

Total Process Time = 8 + 2 + 8 + 6 = 24 นาที

Utilization of M3 = $(24/34) \times 100 = 70.59\%$

เครื่องจักรที่ 4;

Total Process Time = 6 + 4 + 8 = 18 นาที

Utilization of M4 = $(18/34) \times 100 = 52.94\%$

ถึงแม้ว่ารูปแบบการจัดเรียงนี้จะไม่สามารถทำให้เครื่องจักรทุกเครื่องในกระบวนการผลิตมีอัตราการใช้ประโยชน์ถึง 100% ก็ตาม แต่รูปแบบการจัดเรียงดังกล่าวสามารถให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรมากกว่าทุกรูปแบบการจัดเรียงทั้งหมด 20,736 รูปแบบ ซึ่งสัมพันธ์กับผลการคำนวณการเกิดเวลาที่สูญเปล่าในแต่ละเครื่องจักร กล่าวคือ หากอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรมีค่ามากขึ้น จะทำให้เวลาที่สูญเปล่าในแต่ละเครื่องจักรมีค่าน้อยลง สรุปได้ดัง Table 4

Table 4 Idle time and utilization

	M1	M2	M3	M4
Idle time (min)	8	19	10	16
Utilization (%)	76.47	44.12	70.59	52.94

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการจัดลำดับการผลิตที่มีกระบวนการทำงานบนเครื่องจักรเท่านั้น โดยใช้ VBA ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่ง

ของโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล จะได้เวลาการทำงานที่ทุกขั้นตอนเสร็จสมบูรณ์ที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 34 นาที และให้ค่าเวลารวมของงานในเครื่องจักรทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเท่ากับ 139 นาที โดยมีลำดับการจัดเรียงแบบ BADC ABC EBDC EAB มีอัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรมากกว่ารูปแบบเดิมในทุก ๆ เครื่องจักร และเกิดเวลาที่สูญเปล่าน้อยกว่ารูปแบบเดิมเช่นกัน อีกทั้งใช้เวลาในการประมวลผลค่าการคำนวณในรูปแบบการจัดเรียงลำดับทั้งหมด 20,736 รูปแบบในระยะเวลาเพียง 12 นาที

สำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป ควรมีการศึกษา และพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้นที่มีผลต่อการจัดลำดับการผลิต และการจัดตารางการผลิต เช่น เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time) เวลากำหนดส่งสินค้า (Delivery time) เวลาแถวคอย (Queue time) เป็นต้น เมื่อได้วิธีการหรือคำตอบที่ต้องการแล้วควรพิจารณา เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนที่ต้องเสียไป เนื่องจากงานบางงานที่เสร็จล่าช้ามาก อาจเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่างานที่เสร็จล่าช้าน้อยกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และพื้นที่สำหรับงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Vieira, G. E. and Favaretto, F. A new and practical heuristic for master production scheduling creation. *International Journal of Production Research* 2006;44(18-19):3607-25.
- Feng, K., Rao, U. S., and Raturi, A. Setting planned orders in master production scheduling under demand uncertainty. *International Journal of Production Research* 2011;49(13):4007-25.
- Lee, D. H., Wang, H. Q. and Miao, L. Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 2008;44(1):124-35.
- Baker, K. R. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. New York: John Wiley & Sons; 1974.
- Baker, K. R. and Trietsch, D. *Principles of Sequencing and Scheduling*. USA: John Wiley & Sons; 2009.
- Sarongkansiri, Ch. *Production Planning Control*. 22th Edition. Bangkok: Technology Promotion Association

- (Thailand – Japan); 2011.
7. Lopez, P. and Roubellat, F. Production Scheduling. USA: John Wiley & Sons; 2008.
 8. Pinedo, M. Scheduling Theory, Algorithms, and Systems (Second Edition). USA: Prentice Hall; 2002.
 9. Cowling, P. and Johansson, M. Using real time information for effective dynamic scheduling. *European Journal of Operational Research* 2002;139:230-44.
 10. Rangsaritratamee, R., Ferrell, Jr., W. G., and Kurz, M. B. Dynamic rescheduling that simultaneously considers efficiency and stability. *Computers & Industrial Engineering* 2004.;46:1-15.
 11. Pfeiffer, A., Kadar, B., and Monostori, L. Stability-oriented evaluation of rescheduling strategies, by using simulation. *Journal Computers in Industry* 2007;58(7):630-43.
 12. Hu, Y. H. and et al. Flow shop rescheduling problem under rush order. *Journal of Zhejiang University SCIENCE* 2005;6(10):1040-46.
 13. Guo, D. and Li, T. Rescheduling algorithm for steel-making continuous casting. In: *Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 23-25 May 2007. Harbin, China; 2007.
 14. Hatami, S., Ruiz, R. and Romano, C. A. Heuristics and metaheuristics for the distributed assembly permutation flowshop scheduling problem with sequence dependent setup times. *International Journal Production Economics* 2015;169:76-88.
 15. Jain, A., Jain, S. and Chande, P. K. Formulation of genetic algorithm to generate good quality course timetable. *International Journal of Innovation, Management and Technology* 2010;1(3):248-51.
 16. Suksiripattanapong, C. and et al. The study of suitable route for waste collection using genetic algorithm: a case study of thasala subdistrict administrative organization, Manchakiri District, Khonkean Province. *UBU Engineering Journal* 2016;9(2):30-37.
 17. Hong, J. D., Xie, Y. and Jeong K. Y. An efficient VBA spreadsheet algorithm and model for the system optimum traffic assignment. *International Journal of Applied Industrial Engineering* 2012;1(2): 36-62.
 18. Cinar, D., and et al. A priority-based genetic algorithm for a flexible job shop scheduling problem. *Journal of Industrial and Management Optimization* 2016;12(4):1391-415.
 19. Kurdi, M. An effective new island model genetic algorithm for job shop scheduling problem. *Journal Computers and Operations Research* 2016.;67:132-42.
 20. Zhang, D., and et al. An improved solution of local window parameters setting for local singularity analysis based on Excel VBA batch processing technology. *Journal Computers and Geosciences* 2016;88:54-66.
 21. Wong, K. W. W. and Barford J. P. Teaching Excel VBA as a problem solving tool for chemical engineering core courses. *Journal Education for Chemical Engineers* 2010;5:72-7.
 22. Ploydanai, K and and Mungwattana, A. Algorithm for solving job shop scheduling problem based on machine availability constraint. *International Journal on Computer Science and Engineering* 2010;2(5):1919-25.
 23. เกียรติขจร วรปรัชญา และ ทวีภัทร์ บูรณนิตติ. การจัดการตารางการผลิตใหม่ที่คำนึงถึงเสถียรภาพ สำหรับการกระบวนการหล่อเหล็กแผ่นแบบต่อเนื่อง. ใน: *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2551*; 24-25 กรกฎาคม 2551. หน้า 262-69.
 24. อาริต ธรรมโน และ อัจฉรา ภู่อ่าง. การจัดการตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ* 2556;2(1).
 25. Sooksumate, S. Optimization Modeling with Excel. Bangkok: SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED (SE-ED). (in Thai); 2014.

การทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทยโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์

Prediction Efficiency of Thai Rice Exporting by Bayesian Belief Network

ทิปไตย พงษ์ศาสตร์^{1*}, ธัญลักษณ์ คล้ายสงคราม², สุพัตรา ปัญญาคุณ²

Tippatai Pongsart^{1*}, Thanyalak Klaisongkham², Supattra Panyakhun²

Received: 12 September 2018 ; Revised : 2 November 2018 ; Accepted: 20 December 2018

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นสินค้าส่งออกหลักที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ละปีประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกข้าว นับแสนล้านบาทและส่งออกเป็นอันดับต้นๆของโลกมาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันการส่งออกข้าวในตลาดโลกมีการแข่งขันกันสูงโดยมีภาวะเศรษฐกิจเป็นหนึ่งตัวแปรสำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบในการทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวของประเทศไทยในแต่ละเดือนโดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยทางเศรษฐกิจ โดยนำเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ (Bayesian Belief Network) มาใช้ในการสร้างตัวแบบ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลของการส่งออกข้าวของไทยรายเดือน จำนวน 6 ชนิด ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2559 ประกอบด้วย ข้าวหอมปทุมธานี (ข้าวหอมไทย) ข้าวหอมมะลิ ข้าวเจ้าขาว ข้าวเหนียว ข้าวหนึ่ง และข้าวเปลือก จำนวนทั้งสิ้น 360 ชุดข้อมูล ทำการทดสอบประสิทธิภาพตัวแบบโดยใช้ Confusion Matrix โดยการแบ่งข้อมูลแบบสุ่มด้วยการแบ่งร้อยละ (percentage split) ผลการทดสอบพบว่า โดยการแบ่งข้อมูลแบบสุ่มร้อยละ 70:30 และ 80:20 ตัวแบบให้ผลการทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทยทั้ง 6 ชนิด โดยมีค่าความเที่ยงตรง (accuracy) คิดเป็นร้อยละ 87.74% และ 81.16% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการส่งออกข้าว การทำนาย เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์

Abstract

Rice exporting plays a major and long-term role in the Thailand economy with exports worth more than 100 billion baht per year. Nowadays, rice exporting on world markets is highly competitive and one of the crucial factors is the economic situation. This research aims to create a probabilistic model for predicting Thai rice exporting efficiency for each month focusing on economic factors by using Bayesian Belief Network. We examined exporting data of 6 types of rice: Thai Pathumthani fragrant rice, Thai Jasmine rice, non-glutinous rice, glutinous rice, parboiled rice and paddy rice. The data were collected during the years 2012 - 2016 with a total of 360 data points. The model efficiency was examined by using a Confusion Matrix and developed via percentage split method. The results showed that with percentage split 70:30 and 80:20, the models accuracy were 87.74% and 81.16%, respectively.

Keyword: Rice exporting efficiency, Prediction, Bayesian Belief Network

¹ อาจารย์, ²นิสิต, สาขาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

¹ Lecturer, ²Student, Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Mittraphap Road, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen, 40002, Thailand.

* Corresponding author: Tel: +66 087 2160087, E-mail: tippoo@kku.ac.th

บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยและเป็นรากฐานวิถีชีวิต วัฒนธรรม ประเพณี ภูมิปัญญา และเอกลักษณ์อันทรงคุณค่าของประเทศ นอกจากนี้ข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย เพราะนอกจากจะเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญที่สุดของเกษตรกรส่วนใหญ่แล้ว ยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก ประเทศไทยถือเป็นฐานการผลิตข้าวอันดับต้น ๆ ของโลก จากข้อมูลของสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทยพบว่าประเทศสองอันดับแรกที่ทำกาส่งออกข้าวปริมาณสูงสุดในระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2555-2560 คือ ประเทศอินเดียและประเทศไทย ซึ่งในไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่ง มีมูลค่าการส่งออกกว่า 44,099 ล้านบาท¹

อย่างไรก็ตาม มูลค่าการส่งออกหรือปริมาณความต้องการข้าวนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการที่ปริมาณการส่งออกข้าวเปลี่ยนแปลงไปนั้น อาจเป็นผลมาจากปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นด้านสภาพภูมิอากาศโลก ด้านศักยภาพในการแข่งขันกับประเทศคู่แข่งอื่น ด้านสังคม ด้านเศรษฐกิจ หรือแม้แต่เหตุการณ์ทางการเมือง² ที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดความผันผวนทางด้านปริมาณการส่งออก จากการศึกษาพบงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวของไทย ในงานวิจัยของชูเกียรติ ชัยบุญศรี³ ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยนที่มีต่อการส่งออกสินค้าเกษตรของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองตามแนวคิดของ Daniel H. Pick พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเสี่ยงของอัตราแลกเปลี่ยนเงินดอลลาร์ต่อเงินบาท มีผลทำให้ปริมาณการส่งออกข้าวไปยังสหรัฐอเมริกาลดลง งานวิจัยของวิยะดา ส่งเสริม⁴ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราแลกเปลี่ยนของเงินตรากับปริมาณการส่งออกสินค้าเกษตรหลักของไทย ไปยังประเทศคู่ค้าที่สำคัญของไทย 6 ราย คือกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) พบว่ามูลค่าของเงินบาทที่ต่ำลงเมื่อปี พ.ศ. 2540 เมื่อเปรียบเทียบกับเงินดอลลาร์สหรัฐมีผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าว และยังมีผลต่อการนำเข้าข้าวของประเทศคู่ค้าที่ในกลุ่มอาเซียน สุนทรวิจิตร⁵ ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยนที่แท้จริงที่มีต่อการส่งออกข้าวโดยตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวโดยอาศัยวิธีการทดสอบการร่วมไปด้วยกัน (Cointegration) พบว่าราคาส่งออกข้าวมีความสัมพันธ์ดุลยภาพระยะยาวกับอัตราแลกเปลี่ยนที่แท้จริง อรรถพงษ์ ลีลาธรรม⁶ ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2535 - 2550 โดยการ

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ การทดสอบความเหมาะสมของสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยโดยวิธีเพิ่มตัวแปร (Forward Selection) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการส่งออกข้าวของประเทศไทยมี 3 ปัจจัย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ อัตราดอกเบี้ย และราคาส่งออกข้าวของประเทศไทย งานวิจัยของ S. Sawaengkun⁶ ทำการศึกษาปัจจัยทางเศรษฐกิจหลักที่มีผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวของไทย เครื่องมือที่ใช้ประกอบไปด้วย การทดสอบการร่วมไปด้วยกัน การวิเคราะห์การถดถอย และการประยุกต์ใช้เทคนิค error correction model: ECM พบว่า อัตราแลกเปลี่ยนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการส่งออกข้าวของไทยในระยะยาว

มีงานวิจัยมากมายที่นำเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ (Bayesian Belief Network) มาสร้างตัวแบบเพื่อใช้ในการทำนาย อาทิ E.kita และคณะ⁷ ได้นำเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์มาสร้างตัวแบบเพื่อทำนายราคาหุ้นเฉลี่ยในตลาด NIKKEI ในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ปี พ.ศ.2552 ซึ่งค่าผิดพลาดสูงสุดจากการทำนายเป็น 30% ซึ่งน้อยกว่าการทำนายโดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา AR MA ARMA และ ARCH ในงานวิจัยของ S. Asadianfam และคณะ⁸ ได้ใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์สร้างตัวแบบเพื่อทำนายการเลือกเข้าศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นไปของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา โดยผลที่ได้จะนำมาแนะแนวทางที่เหมาะสมในการเลือกเข้าศึกษาต่อแก่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษา

ในบทความนี้ได้นำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวไทยจากงานวิจัยข้างต้น คือ อัตราดอกเบี้ยเงินบาทของธนาคารแห่งประเทศไทย อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ อัตราเงินเฟ้อ มาสร้างตัวแบบความน่าจะเป็นเพื่อทำนายประสิทธิภาพของการส่งออกข้าวของไทยในแต่ละเดือน โดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ในการกำหนดโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบในส่วนต่างๆของตัวแบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายจะชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มความสำเร็จของการส่งออกข้าวไทย นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติของเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ ยังสามารถอนุมานความน่าจะเป็นของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกได้เมื่อทราบค่าปัจจัยตัวอื่น ๆ ในตัวแบบการทำนาย ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเสี่ยงทางด้านกาส่งออก ใช้ในการวางแผนเพื่อกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด การผลิตข้าว รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุน การตัดสินใจ ตลอดจนการกำหนดนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจการค้าข้าวได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างตัวแบบความน่าจะเป็นโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ส์เพื่อทำนายประสิทธิภาพของการส่งออกข้าวรายเดือนของไทย จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมปทุมธานี (ข้าวหอมไทย) ข้าวหอมมะลิ ข้าวเจ้าขาว ข้าวเหนียว ข้าวหนึ่ง และข้าวเปลือก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบจำลองเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ส์ที่ใช้ในการทำนายเป็นแบบจำลองกราฟิก (graphical models) ประเภทหนึ่งที่อาศัยความน่าจะเป็น ที่เรียกว่า กราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง (Directed Acyclic Graph: DAG) โดยสามารถอธิบายความไม่ขึ้นต่อกันอย่างมีเงื่อนไขระหว่างตัวแปร และแสดงผลการคำนวณของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Distribution: JPD) ของเซตของตัวแปรสุ่มได้

ในบทความนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม MSBNx (Microsoft Windows Software Application for Bayesian Probability Models) ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สนับสนุนการสร้างการประเมินและพัฒนาข่ายงานเบย์ส์ ถูกพัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ (Microsoft) ซึ่งแบบจำลองจะแสดงเป็นไดอะแกรมหรือกราฟ และมีเส้นแสดงทิศทางระหว่างตัวแปร

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมข้อมูล การสร้างและทดสอบตัวแบบการทำนาย และการวัดค่าประสิทธิภาพของตัวแบบ

ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมตัวแปรจำนวน 13 ตัว แปรจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(แสดงใน Table 2) เพื่อนำมาสร้างตัวแบบในการทำนาย ในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2555 ถึงเดือนธันวาคม 2559 รวมระยะเวลา 60 เดือน จำนวน 360 ชุดข้อมูล รวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย ธนาคารแห่งประเทศไทย เป็นต้น ทำการตรวจสอบความถูกต้องและจัดการข้อมูลด้วยแนวคิดกระบวนการมาตรฐานอุตสาหกรรม (CRISP-DM: Cross-Industry Standard Process for Data Mining)⁹ นำข้อมูลที่ได้มาทำการแปลง

ค่าให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับป้อนให้กับตัวแบบ เพื่อที่สามารถนำชุดข้อมูล (data set) ใส่ให้กับตัวแบบที่สร้างขึ้นได้

ขั้นตอนที่ 2 : การสร้างและทดสอบตัวแบบการทำนาย

1. ขั้นแรกทำการออกแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร(โหนด)ในตัวแบบ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทำการสร้างตัวแบบโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ส์ และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีเส้นแสดงทิศทางดังใน Figure 1 และคำอธิบายแต่ละตัวแปรแสดงดังใน Table 2 โดยค่าความน่าจะเป็นของแต่ละตัวแปรทำการคำนวณได้จากสมการ

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1) \times P(A_2|A_1) \times \dots \times P(A_n|A_1, \dots, A_{n-1}) \quad (1)$$

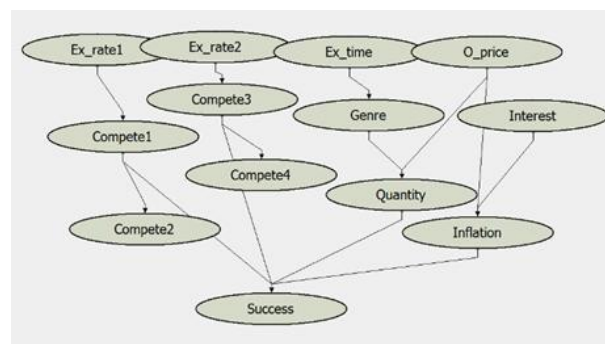


Figure 1 The relationship between nodes in Bayesian Belief Network model

2. ทำการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้คำนวณในตัวแบบ ปรับข้อมูลเชิงปริมาณบางตัวแปรที่เก็บรวบรวมมาให้อยู่ในช่วง และทำการกำหนดเลขรหัสของแต่ละช่วงเป็นตัวเลขหนึ่งหลัก เพื่อให้เหมาะสมต่อการป้อนข้อมูลให้กับตัวแบบ

จากการศึกษาข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวไทยจำนวน 6 ชนิด ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดประสิทธิภาพการส่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ดี ปานกลาง และน้อย สอดคล้องกับช่วงชั้นข้อมูลมูลค่าการส่งออกข้าวไทยที่ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นในแต่ละประเภท โดยความกว้างของแต่ละชั้นใช้เกณฑ์คำนวณจาก เมื่อ คือ มูลค่าการส่งออกข้าวที่สูงที่สุดระหว่างปี 2555-2559 และ คือ มูลค่าการส่งออกข้าวที่ต่ำที่สุดระหว่างปี 2555-2559 ดังปรากฏใน Table 2

Table 1 Criteria of classification of Thai rice exporting for each type of rice (extended lower bound and upper bound)

ประเภทของข้าว	มูลค่าการส่งออก (ล้านบาท)	ประสิทธิภาพการส่งออก
1. ข้าวหอมปทุมธานี	ต่ำกว่า 216	ดี
	216-342	ปานกลาง
	สูงกว่า 342	น้อย
2. ข้าวหอมมะลิ	ต่ำกว่า 4,571	ดี
	4,571- 5,838	ปานกลาง
	สูงกว่า 5,838	น้อย
3. ข้าวเจ้าขาว	ต่ำกว่า 4,749	ดี
	4,797- 7,903	ปานกลาง
	สูงกว่า 7,903	น้อย
4. ข้าวเหนียว	ต่ำกว่า 751.3	ดี
	751.3 - 1,231.3	ปานกลาง
	สูงกว่า 1,231.3	น้อย
5. ข้าวหนึ่ง	ต่ำกว่า 3,213.4	ดี
	3,213.4 - 5,221.4	ปานกลาง
	สูงกว่า 5,221.4	น้อย
6. ข้าวเปลือก	ต่ำกว่า 0.211	ดี
	0.211 – 0.421	ปานกลาง
	สูงกว่า 0.421	น้อย

ในส่วนของตัวแปรอื่นๆ ได้ทำการกำหนดค่าตั้งใน Table 2 ผลการทำนายจะมีประสิทธิภาพการส่งออกอยู่ในระดับใด พิจารณาได้จากค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นในตัวแปร Success ที่มีค่ามากที่สุดเมื่อทำการป้อนข้อมูลตัวแปรต่างๆ ลงในแบบจำลองที่ผ่านการเรียนรู้เรียบร้อยแล้ว

Table 2 List of variables and description in present study

Category	Name	Description	Measurement
ผลการส่งออกข้าวไทย	Success	สถานะของประสิทธิภาพอ้างอิงจากมูลค่าการส่งออกข้าวไทย ปี 2555 – 2559	- ดี - ปานกลาง - น้อย
	Genre	ประเภทของข้าวที่ส่งออกของประเทศไทย	1: ข้าวหอมปทุมธานี 2: ข้าวหอมมะลิ 3: ข้าวเจ้าขาว 4: ข้าวเหนียว 5: ข้าวหนึ่ง 6: ข้าวเปลือก
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าการส่งออกข้าวไทย	Ex_time	ปริมาณข้าวส่งออกของประเทศไทยในแต่ละเดือน ช่วงเวลาส่งออกข้าวไทย (ไตรมาส) ปริมาณการส่งออกข้าวของประเทศอินเดียแต่ละเดือน (กก.)	1: ปริมาณการส่งออกไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (9,244,620 กก.) 2: ปริมาณข้าวส่งออกน้อยกว่าค่าเฉลี่ย 1: ม.ค. – มี.ค. 2: เม.ย. – มิ.ย. 3: ก.ค. – ก.ย. 4: ต.ค. – ธ.ค.
	Compete3	มูลค่าการส่งออกข้าวของประเทศอินเดียแต่ละเดือน (ดอลลาร์สหรัฐ (USD))	1: ปริมาณการส่งออกไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (900,983,640) 0: ปริมาณการส่งออกน้อยกว่าค่าเฉลี่ย
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อมูลค่าการส่งออกข้าวไทย (ต่อ)	Compete4	ปริมาณการส่งออกข้าวของประเทศสหรัฐอเมริกาในแต่ละเดือน (กก.)	1: มูลค่าการส่งออกไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (558,648,192) 0: มูลค่าการส่งออกน้อยกว่าค่าเฉลี่ย
	O_price	มูลค่าการส่งออกข้าวของประเทศสหรัฐอเมริกาในแต่ละเดือน (USD) ราคาน้ำมันดีเซลใช้เป็นต้นทุนในการผลิตสินค้า (ลิตร) อัตราดอกเบี้ยนโยบายของธนาคารแห่งประเทศไทย	1: ปริมาณการส่งออกไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (313,043,616) 0: ปริมาณการส่งออกน้อยกว่าค่าเฉลี่ย (167,170,903)
Interest	Interest	ธนาคารแห่งประเทศไทย อัตราแลกเปลี่ยนเงินของประเทศไทยกับประเทศอินเดีย	0: มูลค่าการส่งออกไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย 1: ต่ำกว่า 24 บาท 2: 24–28 บาท 3: มากกว่า 28 บาท
	Ex_rate1 Ex_rate2	ประเทศไทยกับประเทศอินเดีย (บาท ต่อ 1 รูปี) อัตราแลกเปลี่ยนเงินของประเทศไทยกับประเทศ	1: ไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (2.13) 0: น้อยกว่าค่าเฉลี่ย
Inflation	Inflation	สหรัฐอเมริกา (บาท ต่อ 1 (USD)) อัตราเงินเฟ้อมีผลต่อมูลค่าการส่งออกข้าวไทย	1: ไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (0.5748) 0: น้อยกว่าค่าเฉลี่ย 1: ไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (32.9355) 0: น้อยกว่าค่าเฉลี่ย
			1: ไม่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (1.28) 0: น้อยกว่าค่าเฉลี่ย

3. การทดสอบตัวแบบการทำนาย ในขั้นนี้จะทำการแบ่งข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบโดยวิธีแบ่งข้อมูลแบบสุ่ม (Percentage split) 2 แบบ คือ 1. ข้อมูลชุดเรียนรู้ 70% (training data) ต่อ ข้อมูลชุดทดสอบ 30% (testing data) และ 2. ข้อมูลชุดเรียนรู้ 80% ต่อ ข้อมูลชุดทดสอบ 20% ทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของทุกตัวแปรในตัวแบบการทำนาย

ขั้นตอนที่ 3 : การวัดค่าประสิทธิภาพตัวแบบการทำนาย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการวัดค่าประสิทธิภาพของตัวแบบที่ได้จากชุดเรียนรู้มาทดสอบด้วยข้อมูลทดสอบ โดยการสร้าง Confusion Matrix ทำการคำนวณค่าความแม่นยำ (precision) ค่า recall ค่า F-Score และค่าความเที่ยงตรง (accuracy)

ผลการวิจัย

1. ผลการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของตัวแปรจำนวน 13 ตัวแปร ในตัวแบบการทำนายโดยวิธีแบ่งข้อมูลแบบ Percentage split 70:30 และ Percentage split 80:20 จากข้อมูลจำนวน 360 ชุดข้อมูล ทำให้ได้แบบจำลองเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ส์ดัง Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบแยกตามประเภทข้าวส่งออกเป็น 6 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 ข้าวหอมปทุมธานี ชนิดที่ 2 ข้าวหอมมะลิ ชนิดที่ 3 ข้าวเจ้าขาว ชนิดที่ 4 ข้าวเหนียว ชนิดที่ 5 ข้าวหนึ่ง ชนิดที่ 6 ข้าวเปลือก โดยแต่ละชนิดได้ทำการทดสอบโดยการแบ่ง Percentage split 70:30 และ Percentage split 80:20 จากข้อมูลข้าวชนิดละ 60 ชุดข้อมูล ได้ความถูกต้องและความผิดพลาดดังแสดงใน Table 3 และ Table 5 และผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบของข้าวรวม 6 ชนิดโดยใช้ Confusion Matrix โดยการแบ่ง Percentage split 70:30 และ Percentage split 80:20 ดังแสดงใน Table 4 และ Table 6 ตามลำดับ

Table 3 The results of predicting efficiency of Thai rice exporting with percentage split 70:30 (sort by type of rice)

ชนิดของข้าว	จำนวนข้อมูล	ความถูกต้อง	ร้อยละ	ความผิดพลาด	ร้อยละ
ชนิดที่ 1	18	13	72.22	5	27.78
ชนิดที่ 2	18	15	83.33	3	16.67
ชนิดที่ 3	16	14	87.50	2	12.50
ชนิดที่ 4	18	16	88.89	2	11.11
ชนิดที่ 5	18	16	88.89	2	11.11
ชนิดที่ 6	18	18	100.0	0	0.00

Table 4 Confusion Matrix of Thai rice exporting efficiency with percentage split 70:30

	Predicted			
	ดี	ปานกลาง	น้อย	
Actual	ดี	4	3	1
	ปานกลาง	0	13	5
	น้อย	0	4	76

จาก Table 4 พบว่าค่า precision สำหรับประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง” และ “น้อย” เป็น $4/4 = 100\%$, $13/20 = 65\%$ และ $76/82 = 92.68\%$ ตามลำดับ และพบว่าค่า recall สำหรับประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง” และ “น้อย” เป็น $4/8 = 50\%$, $13/18 = 72.22\%$ และ $76/80 = 95\%$ และค่า F-Score ของประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง” และ “น้อย” เป็น 66.67%, 68.42% และ 93.83% ตามลำดับ โดยตัวแบบมีค่า accuracy เป็น $93/(93+13) = 87.74\%$

Table 5 The results of predicting efficiency of Thai rice exporting with percentage split 80:20 (sort by type of rice)

ชนิดของข้าว	จำนวนข้อมูล	ความถูกต้อง	ร้อยละ	ความผิดพลาด	ร้อยละ
ชนิดที่ 1	10	8	80.00	2	20.00
ชนิดที่ 2	12	9	75.00	3	25.00
ชนิดที่ 3	12	9	75.00	3	25.00
ชนิดที่ 4	12	10	83.33	2	16.67
ชนิดที่ 5	12	9	75.00	3	25.00
ชนิดที่ 6	11	11	100.0	0	0.00

Table 6 Confusion Matrix of Thai rice exporting efficiency with percentage split 80:20

	Predicted			
	ดี	ปานกลาง	น้อย	
Actual	ดี	3	2	1
	ปานกลาง	0	7	6
	น้อย	0	4	46

จาก Table 6 พบว่าค่า precision สำหรับประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง” และ “น้อย” เป็น $3/3 = 100\%$, $7/13 = 53.85\%$ และ $46/53 = 86.79\%$ ตามลำดับ และพบว่าค่า recall สำหรับประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง”

และ “น้อย” เป็น $3/6 = 50\%$, $7/13 = 53.85\%$ และ $46/50 = 92\%$ และค่า F-Score ของประสิทธิภาพการส่งออก “ดี” “ปานกลาง” และ “น้อย” เป็น 66.67% , 53.85% และ 89.32% ตามลำดับ โดยตัวแบบมีค่า accuracy เป็น $56/(56+13) = 81.16\%$

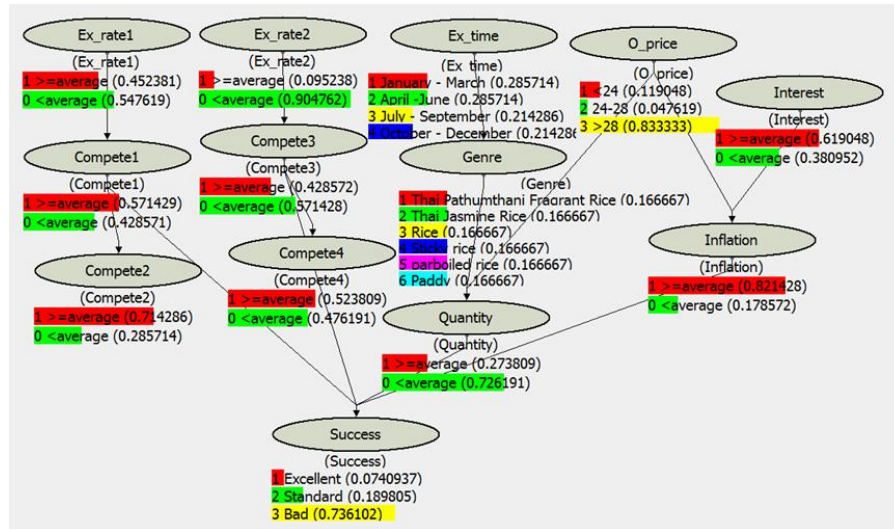


Figure 2 The probability in each node obtained by using Percentage split 70:30

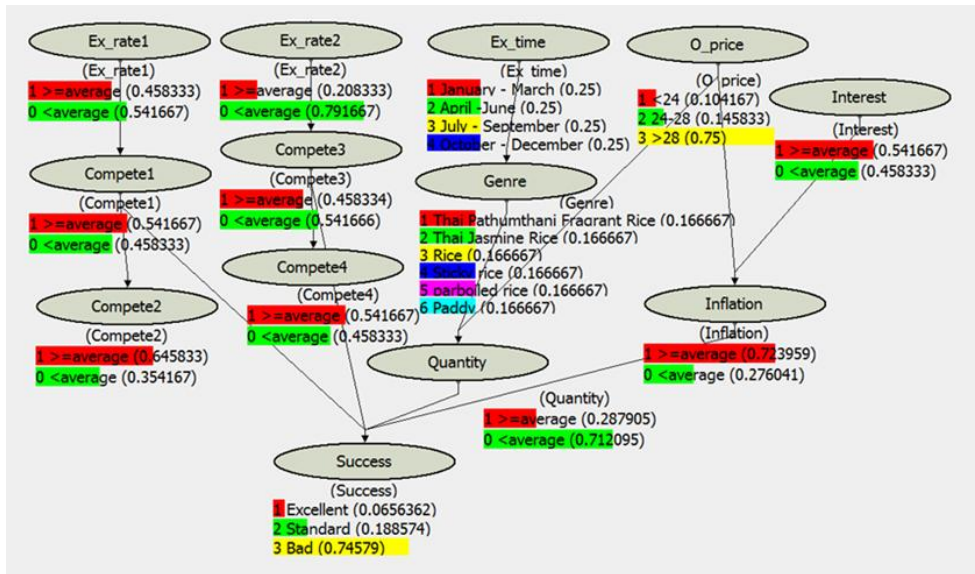


Figure 3 The probability in each node obtained by using Percentage split 80:20

วิจารณ์และสรุปผล

การทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทยโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์ ผลที่ได้จากการทำนายโดยแยกประเภทข้าวส่งออกเป็น 6 ชนิดปรากฏว่า วิธีการแบ่งข้อมูลแบบ 70:30 มีค่าความถูกต้องมากที่สุด เมื่อพิจารณาจาก Table 3 โดยมีค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ยทั้ง 6 ชนิด เป็น 86.81% จาก Table 5 พบว่าวิธีการแบ่งข้อมูลแบบ 80:20 มีค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ยทั้ง 6 ชนิด เป็น 81.39% เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบในการทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวรวมทั้ง

6 ชนิดโดยใช้ Confusion Matrix พบว่าวิธีการแบ่งข้อมูลแบบ 70:30 ให้ค่า accuracy เป็น 87.74% ส่วนวิธีการแบ่งข้อมูลแบบ 80:20 ให้ค่า accuracy เป็น 81.16% โดยมีปริมาณส่งออกข้าวของประเทศอินเดีย ปริมาณการส่งออกข้าวของสหรัฐอเมริกา ปริมาณข้าวส่งออกของประเทศไทย และอัตราเงินเฟ้อ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทย อย่างไรก็ตามยังคงต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอื่นร่วมด้วย (Table 2) เพื่อให้การส่งออกข้าวของไทยประสบผลสำเร็จสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง การทำนายประสิทธิภาพการส่งออกข้าวไทยโดยใช้เครือข่ายความเชื่อแบบเบย์สร้างขึ้นมาเพื่อทำนายความสำเร็จของการส่งออกข้าวไทยแต่ละเดือน ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงทางด้านธุรกิจการส่งออกข้าว ใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด การผลิต ตลอดจนการกำหนดนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจขององค์กรที่มีส่วนได้ส่วนเสียในการผลิตข้าว ตัวแบบสำหรับการทำนายโดยใช้วิธีเครือข่ายความเชื่อแบบเบย์นั้นสามารถพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นโดยเพิ่มข้อมูลชุดฝึกสอนให้มากขึ้น และทำการเพิ่มปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าการส่งออกข้าวไทยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปเป็นพื้นฐานเพื่อให้เกิดการศึกษาเพิ่มเติมในแง่มุมต่างๆ เกี่ยวกับการบริหารความเสี่ยงธุรกิจการค้าและการส่งออกข้าว นำไปสู่การพัฒนากระบวนการส่งออก การบริหารจัดการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในตลาดโลกต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. ข่าวสมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย ปีที่ 8 ฉบับที่ 4 ประจำเดือนเมษายน 2561. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 10 มิ.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thairiceexporters.or.th>.
- อรรถพงษ์ ลลิตาศรม. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการส่งออกข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2535 – พ.ศ. 2550. สาขาการเงิน คณะบริหารธุรกิจ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย; 2551
- ชูเกียรติ ชัยบุญศรี. ผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยนที่มีต่อการส่งออกสินค้าเกษตรของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2542
- วิยะดา ส่งเสริม. ผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราที่มีต่อการส่งออกสินค้าภาคเกษตรของไทย กรณีศึกษาข้าว ยางพารา และมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น; 2545
- สุนทร โขติวชิรา. ผลกระทบของอัตราแลกเปลี่ยนที่แท้จริงที่มีต่อการส่งออกข้าว ยางพารา และกุ้งแช่แข็งของไทยที่ส่งออกไปยังสหรัฐอเมริกา. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549
- S. Sawaengkun. Economic Factors affecting Rice Export of Thailand International Science Index, Economics and Management Engineering 2014;8(9) ; 2848-2851
- E. Kita, et al. Application of Bayesian Network to stock price prediction, Artificial Intelligence Research 2012 December;1(2): 171-184
- S. Asadianfam, et al. Predicting Academic Major of students using Bayesian Networks to The Case of Iran, International Journal of Computer-Aided Technologies 2015;2(3): 47-53
- Chapman, P. et al. CRISP-DM 1.0 -Step-by-step data mining guide. Technical report. The CRISP-DM Consortium; 2000
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 10 มิ.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www.oae.go.th>.
- การค้าไทย. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 22 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www2.ops3.moc.go.th>.
- กรมศุลกากร. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 22 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www.customs.go.th>.
- กองสารสนเทศและดัชนีเศรษฐกิจการค้า. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 20 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www.price.moc.go.th>.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 20 เม.ย. 2561]. เข้าถึงได้จาก <https://www.bot.or.th>.
- กรมศุลกากร. (ม.ป.ป.). อัตราแลกเปลี่ยน. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 22 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <https://goo.gl/uXV6oE>.
- กองสารสนเทศและดัชนีเศรษฐกิจการค้า. (ม.ป.ป.). ดัชนีเศรษฐกิจการค้า. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 20 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www.price.moc.go.th>.
- การค้าไทย. โครงสร้างการส่งออกสินค้าของไทย. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 20 เม.ย.2561]. เข้าถึงได้จาก <http://www2.ops3.moc.go.th>.

พฤติกรรมสุขภาพกับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม Health Behavior and Quality of Life of the Elderly in Chiangyuen District, Mahasarakham Province

เขมิกา สมบัติโยธา,^{1*} วิทยา อยู่สุข,² นิรุวรรณ เทิร์นโบล³

Kemika Sombateyotha,¹ Witaya Yoosuk,² Niruwan Turnbol³

Received: 22 May 2018 ; Revised : 24 August 2018 ; Accepted: 28 August 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อศึกษาพฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุ ด้านการบริโภคอาหาร การออกกำลังกาย การจัดการความเครียดกับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ จำนวน 1,636 คน โดยการสุ่มแบบหลายขั้นตอน ในอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เก็บข้อมูลโดยแบบสอบถาม และใช้สถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบไคสแควร์ และสถิติการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ภายใต้ระดับช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% CI ผลการศึกษา พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 66.8 อยู่ในกลุ่มผู้สูงอายุตอนต้น (อายุ 60-69 ปี) ร้อยละ 53.9 อาชีพเกษตรกร ร้อยละ 57.1 มีรายได้ต่ำกว่า 1,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 70.7 มีดัชนีมวลกายตามเกณฑ์ปกติ (18.50 ถึง 22.99 กก./ม.²) ร้อยละ 37.0 มีความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวานในระดับสูง ร้อยละ 69.4 และ ร้อยละ 77.5 ตามลำดับ มีการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการบริโภคอาหารที่ถูกต้องในระดับสูง ร้อยละ 77.4 มีระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายในระดับสูง ร้อยละ 44.6 ระดับพฤติกรรมด้านการผ่อนคลายความเครียดส่วนใหญ่ในระดับสูง ร้อยละ 65.2 พฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเองระดับสูง ร้อยละ 61.9 ส่วนปัจจัยที่สามารถพยากรณ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ มี 5 ตัวแปร คือ ความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูง ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน พฤติกรรมการบริโภค พฤติกรรมการออกกำลังกายและพฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนค่าสมการทำนาย ได้เป็น $Y=47.227+(0.377)+(0.333)+(0.463)+(0.155)+(0.175)X$ พบปัจจัยหลายอย่าง คือ พฤติกรรมการบริโภค พฤติกรรมการออกกำลังกายและพฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด ที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ดังนั้น ผู้ที่เกี่ยวข้องควรจะมีการประสานความร่วมมือกันเพื่อแก้ไขปัญหาและยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุให้สูงขึ้น

คำสำคัญ : พฤติกรรมสุขภาพ คุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

Abstract

This cross sectional survey aimed to reveal health behavior in terms of dietary consumption behavior, physical exercise, stress management and quality of life among 1,636 elderly people by multiple random sampling in Chiangyuen district, Mahasarakham province. The proven questionnaires were used as data collection tools. Data were analyzed by using descriptive and inferential statistics. The results found that most of the participants were female (66.8%), young-old age (60-69 years) (53.9%), farmers (57.1%) and had monthly income lower than 1,000 baht (70.7%) and had body

¹ อาจารย์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

² Assoc. Prof., Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

³ Assist. Prof., Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Correspondence to kemika Sombateyotha, Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: kemika_s@yahoo.com

mass index in normal range (18.50-22.99 kg/m²) (37.0%). The participants had high levels of knowledge in hypertension, and diabetes mellitus at 69.4% and 77.5% respectively. Moreover, the participants had high levels of dietary consumption behavior, physical exercise, stress management and self-care practice at 77.4%, 44.6%, 65.2% and 61.9% respectively. There were five variables, including knowledge of hypertension, knowledge of diabetes mellitus, dietary consumption behavior, physical exercise and stress management which were significantly predictable factors contributing to explain quality of life among the elderly as shown as the formulation of $Y=47.227+(0.377)+(0.333)+(0.463)+(0.155)+(0.175)X$. This study indicates that there are several or multiple factors that effect on quality of life of the elderly. Therefore, related health care agencies or providers should consider these factors and cooperate in helping for enhancing health behavior and quality of life of the elderly.

Keywords: health behavior, quality of life

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมสูงอายุอย่างเต็มรูปแบบมีการเพิ่มของประชากรผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว โดยก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) มาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2548 (ผู้สูงอายุมากกว่าร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด) และคาดว่าในปี พ.ศ. 2568 จะมีประชากรผู้สูงอายุมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด ซึ่งหมายถึงประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุแบบสมบูรณ์ (Aged Society) ประชากรผู้สูงอายุจึงเป็นกลุ่มที่สังคมควรให้การดูแล เนื่องจากช่วงวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงของร่างกายไปในทางเสื่อมถอยแต่หากผู้สูงอายุยังมีสุขภาพแข็งแรงก็จะเป็นพลังของครอบครัวของชุมชนและสังคมมากกว่าการเป็นภาระ¹

ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีประชากรสูงอายุ 60.5 ล้านคน มีจำนวนประชากรผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป เท่ากับ 9.4 ล้านคนหรือคิดเป็นร้อยละ 14.57 การเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้างประชากรของประเทศไทยที่ผ่านมาพบว่าสัดส่วนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ โดยในปี พ.ศ. 2553 มีสัดส่วนผู้สูงอายุอยู่ที่ร้อยละ 10.7 ของประชากรรวมหรือ 7.02 ล้านคน และในปี 2555 เป็นร้อยละ 12.8 ซึ่งเป็นสัดส่วนเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด² ปัญหาสุขภาพที่สำคัญของผู้สูงอายุจากรายงานของสำนักงานพัฒนาสุขภาพระหว่างประเทศ กระทรวงสาธารณสุข สำหรับประชากรไทยกลุ่มอายุ 60 ปีขึ้นไปพบว่า โรคที่ทำให้ผู้สูงอายุสูญเสียปีสุขภาวะ 5 ลำดับแรกในผู้ชาย ได้แก่ โรคหลอดเลือดสมอง ร้อยละ 10.6 โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ร้อยละ 8.1 โรคเบาหวาน ร้อยละ 6.2 โรคหัวใจขาดเลือด ร้อยละ 6.0 และโรคมะเร็งตับ ร้อยละ 4.9 และในเพศหญิงพบดังนี้ โรคหลอดเลือดสมอง ร้อยละ 12.0 โรคเบาหวาน ร้อยละ 10.7 โรคหัวใจขาดเลือด ร้อยละ 6.0 โรคต่อกระจากและโรคสมองเสื่อม ร้อยละ 5.4 เท่ากัน ตามลำดับ^{2,3}

สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข พบว่า อัตราตายด้วยโรคเบาหวานต่อ

ประชากรแสนคน ในภาพรวมของประเทศในปี 2556-2558 เท่ากับ 15.0, 17.5 และ 19.4 ตามลำดับ³ เห็นได้ว่าอัตราการตายด้วยโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นทุกปี และจากการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย ในประชากรไทยอายุ 15 ปีขึ้นไป ครั้งที่ 3, 4 และ 5 (ปี 2547, 2552 และ 2557) พบว่าความชุกของโรคเบาหวาน ของครั้งที่ 3⁴ ร้อยละ 7 ใกล้เคียงกับครั้งที่ 4⁵ ร้อยละ 6.9 ส่วน ครั้งที่ 5⁶ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8.9 ข้อมูลของสำนักงานพัฒนาสุขภาพระหว่างประเทศ รายงานภาวะโรคและการบาดเจ็บของประชากรไทยในปี พ.ศ. 2556 พบว่าโรคเบาหวานเป็นสาเหตุการตายของประชากรไทยในเพศชายเป็นอันดับที่เป็น 8 คิดเป็นร้อยละ 4.1 เพศหญิงอันดับที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 8.7 และการสูญเสียปีสุขภาวะของประชากรไทยจากโรคเบาหวาน³ ในเพศชายเป็นอันดับที่ 7 คิดเป็นร้อยละ 3.9 เพศหญิงอันดับที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 7.9 และข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในปี พ.ศ. 2551 พบว่าประเทศไทยมีค่าใช้จ่ายในการรักษาผู้ป่วยนอกโรคเบาหวานเฉลี่ย 1,172 บาทต่อราย ส่วนผู้ป่วยในค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเฉลี่ย 10,217 บาทต่อราย รวมค่ารักษาพยาบาลทั้งสิ้น 3,984 ล้านบาทต่อปี หากคนไทยรักษาพยาบาลทั้งสิ้นประมาณ 47,596 ล้านบาทปี³ และยังมีการรายงานการพบภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานในเพศชาย ร้อยละ 10.0 และเพศหญิง ร้อยละ 17.0⁴

ความดันโลหิตสูง เป็นโรคเรื้อรังรักษาไม่หายขาด และเป็นโรคที่พบได้บ่อยหากไม่ได้รับการรักษาควบคุมความดันโลหิตให้คงที่ ปัจจุบันคนทั่วโลกเป็นโรคความดันโลหิตสูง 1.5 พันล้านคน จากประชากรทั้งหมดประมาณ 6 พันล้านคน เสียชีวิตจากการเป็นโรคความดันโลหิตสูงถึง 7 ล้านคนในแต่ละปี ซึ่งประชากร 4 คนจะมี 1 คนที่มีภาวะความดันโลหิตสูง⁷ สำหรับสถานการณ์ในประเทศไทยพบอัตราการป่วยและเข้ารับการรักษาในสถานบริการสาธารณสุขด้วยโรคความดันโลหิตสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากรายงานข้อมูลกลุ่มเสี่ยง

ความดันโลหิตสูงปีงบประมาณ 2556 ซึ่งป่วยเป็นความดันโลหิตสูงในปีงบประมาณ 2557 พบว่าจากกลุ่มเสี่ยง 6,521,474 คน ป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูง 617,357 คน คิดเป็นร้อยละ 9.47 และ จากกลุ่มปกติ 15,891,970 คน ป่วยเป็นโรคความดันโลหิตสูง 653,533 คน คิดเป็นร้อยละ 4.11 หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างจริงจัง จะทำให้ประเทศต้องเผชิญปัญหาที่รุนแรงขึ้น^๑

จังหวัดมหาสารคามมีประชากรประมาณ 900,000 คน และจากประชากรทั้งหมดมีประชากรผู้สูงอายุถึง ประมาณ 90,200 คน เมื่อผู้สูงอายุมีจำนวนมากจึงจำเป็นต้องได้รับการดูแลจากหน่วยงานภาครัฐอย่างทั่วถึงจำเป็นต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก เช่นเดียวกับพื้นที่อำเภอเชียงยืน ซึ่งประกอบไปด้วย 8 ตำบล พบว่ามีจำนวนผู้สูงอายุจำนวน 8,733 คน^๑ จากรายงานด้านสุขภาพผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะพบโรคเรื้อรัง ได้แก่ ความดันโลหิตสูง (ช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 48.4 อายุ 70-79 ปี ร้อยละ 56.8 อายุ 80 ปี ขึ้นไป ร้อยละ 64.9) โรคเบาหวาน (ช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 19.2 อายุ 70-79 ปี ร้อยละ 18.8 อายุ 80 ปี ขึ้นไป ร้อยละ 11.8) ภาวะเมแทบอลิกซินโดรม (ช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 47.2 อายุ 70-79 ปี ร้อยละ 46.3 อายุ 80 ปี ขึ้นไป ร้อยละ 46.2) ไชมันคอลลเอสเตอรอลในเลือดสูง (TC>240 mg/dL ช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 20.4 อายุ 70-79 ปี ร้อยละ 18.2 อายุ 80 ปี ขึ้นไป ร้อยละ 15.1) โรคหลอดเลือดหัวใจหรือกล้ามเนื้อหัวใจตายที่เคยได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ (ช่วงอายุ 60-69 ปี ร้อยละ 3.7 อายุ 70-79 ปี ร้อยละ 6.1 อายุ 80 ปี ขึ้นไป ร้อยละ 6.3)^๑ ซึ่งต้องได้รับการดูแลจากผู้ใกล้ชิดเป็นอย่างดี และหากไม่มีการดูแลหรือถูกทอดทิ้ง ปัญหาตามมาก็คือ เกิดปัญหาผู้สูงอายุถูกทอดทิ้ง เกิดปัญหาสุขภาพจิต และเป็นภาระแก่หน่วยงานภาครัฐที่ต้องเข้ามาดูแลเสียงบประมาณในการดูแลรักษา¹⁰

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาพฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุรวมทั้งคุณภาพชีวิต เนื่องจากอัตราผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงสนใจศึกษาพฤติกรรมการบริโภค การออกกำลังกาย การคลายความเครียดและคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ

เพื่อนำไปวางแผนจัดการปัญหาดังกล่าวและวางแผนการดูแลช่วยเหลือผู้สูงอายุ ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้สูงอายุโดยตรง เพื่อส่งเสริมให้การดูแลสุขภาพให้ดีขึ้นและจะทำให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบริโภค การออกกำลังกาย และการคลายความเครียดของผู้สูงอายุ ในอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม
- 2) เพื่อประเมินคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม
- 3) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษารั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา (Descriptive Research)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) ที่สุขภาพดีและป่วยเป็นโรคเรื้อรัง (โรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง) ทั้ง 8 ตำบลของอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 8,733 คน และคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรการประมาณค่าสัดส่วนประชากร ($p=0.10$) ในกรณีที่ทราบจำนวนประชากร และกำหนดความคลาดเคลื่อนทางสถิติที่ระดับ ($p<0.05$) ได้ขนาดตัวอย่าง 1,636 คน รายละเอียดดัง Table 1

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรม การดูแลตนเองของผู้สูงอายุ ประกอบด้วย 1) ด้านการบริโภคอาหาร 2) ด้านการออกกำลังกาย 3) ด้านการจัดการความเครียด รวมทั้งด้านคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางประชากร ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย ระดับการศึกษา สถานภาพ อาชีพและรายได้

Table 1 Sample size by area

No.	Tambon	Number of elderly people	Sample size
1	Chiang Yuen	1,938	363
2	Nong Son	857	162
3	Phon Thong	777	146
4	Don Ngoen	1,041	195
5	Ku Thong	1,530	286
6	Na Thong	924	173
7	Suea Thao	1,083	203
8	Lao Bua Ban	583	108
	Total	8,733	1,636

ตอนที่ 2 ข้อมูลด้านความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูง ด้านความรู้เรื่องโรคเบาหวาน ด้านการบริโภคอาหาร ด้านการออกกำลังกาย ด้านการผ่อนคลายความเครียดและด้านความสามารถในการประกอบชีวิตประจำวัน ดัชนีบาร์เธล เอดีแอล (Barthel activities of daily living: ADL) ของผู้สูงอายุ

ตอนที่ 3 ข้อมูลด้านคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ผู้ศึกษาปรับปรุงเครื่องมือที่ได้จากเครื่องชี้วัดคุณภาพชีวิตขององค์กรอนามัยโลกชุดย่อฉบับภาษาไทย (WHOQOL-BREF-THAI) สำหรับผู้สูงอายุเนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวมีค่าความเชื่อมั่นสูง มีเนื้อหาครอบคลุมตามองค์ประกอบทั้ง 4 ด้าน คือ องค์ประกอบด้านร่างกาย ด้านจิตใจ ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม และด้านสภาพแวดล้อม¹¹

การแปลผลข้อมูลระดับคุณภาพชีวิต

คะแนนคุณภาพชีวิตโดยรวมมีคะแนน 26-130 คะแนน โดย คะแนน 26-60 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี คะแนน 61-95 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตปานกลาง คะแนน 96-130 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี (โดยด้านสุขภาพกาย 7 ข้อ คะแนน 7-16 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี คะแนน 17-26 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตปานกลาง คะแนน 27-35 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี ด้านจิตใจ 6 ข้อ คะแนน 6-14 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี คะแนน 15-22 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตปานกลาง คะแนน 23-30 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี ด้านสัมพันธภาพทางสังคม 3 ข้อ คะแนน 3-7 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี คะแนน 8-11 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตปานกลาง คะแนน 12-15 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี และด้านสิ่งแวดล้อม 8 ข้อ คะแนน 8-18 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพ

ชีวิตที่ไม่ดี คะแนน 19-29 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตปานกลาง คะแนน 30-40 คะแนน แสดงถึงการมีคุณภาพชีวิตที่ดี)

หาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือโดยนำไปทดลองใช้กับผู้สูงอายุ ตำบลหนองกุ้ง อำเภอชื่นชม จำนวน 30 คน คำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาช (Cronbach's Alpha Coefficient) ด้านพฤติกรรมในการดูแลตนเอง (การบริโภค การออกกำลังกายและการผ่อนคลายความเครียด) ของผู้สูงอายุและด้านคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ เท่ากับ 0.94 และ 0.91 ตามลำดับ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาในผู้สูงอายุที่อยู่ในเขตบริการสุขภาพ อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม โดยการสอบถามกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุ จำนวน 1,636 คน โดยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยที่ได้รับการอบรมอย่างดีแล้ว ในช่วงเดือนมิถุนายน -เดือนสิงหาคม 2560 ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับนายแพทย์สาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม เรื่องขออนุญาตเข้าพื้นที่ใน เขตบริการสุขภาพอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เพื่อทำการขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลวิจัย
2. ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยการใช้แบบสอบถามตามสัดส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ได้คำนวณไว้ โดยชี้แจงวัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิธีการในการเก็บข้อมูลแก่ผู้ช่วยวิจัย (นิสิตและอสม.) ที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูล
3. ตรวจสอบความครบถ้วนของแบบสอบถาม
4. ผู้ศึกษาทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอีกครั้งและบันทึกรหัสตามคู่มือการลงรหัสที่สร้างขึ้นเพื่อความพร้อมในการบันทึกข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยใช้คือสถิติเชิงพรรณนา ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคุณลักษณะทางประชากร ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และ สถิติเชิงอนุมาน ใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ได้แก่ การทดสอบไคสแควร์ (Chi-square) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Product Moment Coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Multiple Regression Coefficient) กำหนดระดับสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)¹² รายละเอียดการแปลค่าของระดับความสัมพันธ์ จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.81-1.00 มีระดับความสัมพันธ์มาก ค่า 0.51-0.80 มีระดับความสัมพันธ์ปานกลาง ค่า 0.21-0.50 มีระดับความสัมพันธ์น้อย ค่า 0-0.20 มีระดับความสัมพันธ์น้อยหรือแทบจะไม่มีเลย

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลด้านลักษณะทางประชากรของผู้สูงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อย 66.8 กลุ่มผู้สูงอายุตอนต้นอายุ (60-69 ปี) ร้อยละ 53.9 รองลงมาคือ ผู้สูงอายุตอนกลางอายุ (70-79 ปี) ร้อยละ 33.9 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ร้อยละ 57.1 รองลงมาคือไม่ได้ทำงาน ร้อยละ 31.2 ส่วนใหญ่มีรายได้ต่ำกว่า 1,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 70.7 มีค่าดัชนีมวลกายตามเกณฑ์ปกติ (18.50 - 22.99 กก./ม²) ร้อยละ 37.0 รองลงมาคือต่ำกว่าเกณฑ์ปกติ (ต่ำกว่า 18.5 กก./ม²) ร้อยละ 31.0 ผู้สูงอายุมีโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (โรคความดันโลหิตสูงหรือโรคเบาหวาน ร้อยละ 50.4) ดัง Table 2

Table 2 Frequency distribution of demographic characteristics

Characteristics	Number (n=1,636)	Percent
Sex		
Male	543	33.2
Female	1,093	66.8
Age group (years)		
The Young-old (60-69)	882	53.9
The Middle-aged old (70-79)	554	33.9
The Old-old (80 and more)	200	12.2
Occupation		
Farmer	934	57.1
Unemployed	511	31.2
Employee	87	5.3
Merchant	69	4.2
Pension	35	2.2
Income (baht per month)		
≤ 1,000	1,156	70.7
1,000 - 2,000	217	13.2
>2,000	263	16.1
Mean =1,360.81 S.D.=2,657.16 Min =0 Max = 30,600		

Table 2 Frequency distribution of demographic characteristics (cont.)

Characteristics	Number (n=1,636)	Percent
Body mass index (kg./m²)		
< 18.50 (Underweight)	508	31.0
18.50 - 22.99 (Normal, Healthy weight)	605	37.0
23.00 - 24.99 (Overweight)	227	13.9
25.00 - 29.99 (Pre-Obese)	250	15.3
≥ 30 (Obese)	46	2.8
Underlying disease (Chronic diseases)		
No	192	11.1
Yes	1,444	88.9
Diabetes mellitus	260	15.9
Hypertension	369	22.6
Diabetes mellitus and Hypertension	825	50.4

2. พฤติกรรมสุขภาพ คุณภาพชีวิตและข้อมูลด้านความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ดัชนีบาร์เรลของผู้สูงอายุ ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลด้านความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูงของผู้สูงอายุในเขตอำเภอเขียงยืน จังหวัดมหาสารคาม พบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูงในระดับสูง (>80%, >12 คะแนน) ร้อยละ 69.4 รองลงมาความรู้ระดับปานกลาง (60-79.9%, 9-11 คะแนน) ร้อยละ 18.3 และพบว่ารายช้อมีความรู้ที่ถูกต้องมากที่สุดคือ การต้มกาแฟทำให้ความดันโลหิตสูง ร้อยละ 92.5 รองลงมาคือ การออกกำลังกายโดยการวิ่งเหยาะ ๆ การเดินเร็วเป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ร้อยละ 86.2 รายช้อมีความรู้ที่ถูกต้องต่ำมากที่สุดคือ โรคความดันโลหิตสูงจำเป็นต้องรักษาอย่างต่อเนื่อง ร้อยละ 50.0

2.2 ข้อมูลด้านความรู้เรื่องโรคเบาหวานของผู้สูงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่มีความรู้เรื่องโรคเบาหวานในระดับสูง (>80%; > 12.8 ข้อ) ร้อยละ 77.5 รองลงมาคือ ความรู้ระดับปานกลาง (60-79.9%; 9.6-12.7 ข้อ) ร้อยละ 11.9 ความรู้รายช้อที่ตอบถูกมากที่สุดคือ การรับประทานยาผสมสเตียรอยด์ เช่น ยาซูด จะช่วยให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลง แต่ยาสเตียรอยด์มีผลเสียต่อร่างกาย ซึ่งอาจทำให้ภูมิคุ้มกันต้านทานลดลงและเป็นโรคกระดูกเปราะบางลง เป็นต้น ร้อยละ 96.2 รองลงมาคือ การออกกำลังกาย เช่น การเดินแอโรบิคอาจมีผลทำให้

หัวใจของผู้ป่วยเบาหวานทำงานมากเกินไป ร้อยละ 95.9 ความรู้ช้อที่ตอบถูกน้อยที่สุดคือ ผู้ป่วยเบาหวานที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงเป็นเวลานาน จะทำให้ปลายมือ ปลายเท้าชา ร้อยละ 39.7 รองลงมาคือ การออกกำลังกายทุกวันหรือวันเว้นวัน มีประโยชน์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ร้อยละ 42.4

2.3 ข้อมูลด้านการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการบริโภคอาหารของผู้สูงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่ผู้สูงอายุมีการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการบริโภคอาหารในระดับสูง (> 37 คะแนน) ร้อยละ 77.4 รองลงมาคือ มีการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการบริโภคอาหารในระดับปานกลาง (25-36 คะแนน) ร้อยละ 21.8 โดยพบว่าช้อที่มีการปฏิบัติตัวเป็นประจำ 5-7 วันต่อสัปดาห์มากที่สุดคือ ผู้สูงอายุรับประทานอาหารเช้าครบ 3 มื้อ ร้อยละ 85.6 รองลงมาคือ ผู้สูงอายุกินอาหารแต่ละมื้อในปริมาณพอเหมาะ ร้อยละ 83.5 ปฏิบัติเป็นบางครั้ง 3-4 วันต่อสัปดาห์มากที่สุดคือ ผู้สูงอายุกินอาหารที่ทอดด้วยน้ำมัน กะทิ เช่น ไก่ทอด ปาท่องโก๋ ร้อยละ 54.2 รองลงมาคือ ผู้สูงอายุกินอาหารหลากหลายไม่ซ้ำกัน ครบ 5 หมู่ ร้อยละ 51.3 การปฏิบัติน้อย 1-2 วันต่อสัปดาห์มากที่สุดคือ ผู้สูงอายุกินอาหารที่ทอดด้วยน้ำมัน กะทิ เช่น ไก่ทอด ปาท่องโก๋ ร้อยละ 24.3 รองลงมาคือ ผู้สูงอายุกินอาหารหลากหลายไม่ซ้ำกัน ครบ 5 หมู่ ร้อยละ 23.7 ช้อที่ผู้สูงอายุไม่เคยปฏิบัติเลยมากที่สุดคือ ผู้สูงอายุกินขนมที่มีรสหวานจัด เช่น ฝอยทอง ทองหยิบ เป็นต้น ร้อยละ 13.5

2.4 ข้อมูลด้านพฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ พบว่า ผู้สูงอายุมีระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายส่วนใหญ่ในระดับสูง (>34 คะแนน) ร้อยละ 44.6 รองลงมา คือ มีระดับพฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายในระดับปานกลาง (23-33 คะแนน) ร้อยละ 35.6 พฤติกรรมเกี่ยวกับการออกกำลังกายรายข้อ พบว่า ผู้สูงอายุมีระดับการปฏิบัติ 5-7 วันต่อสัปดาห์มากที่สุด คือ ผู้สูงอายุพักผ่อนเพียงพอหลังจากออกกำลังกาย ร้อยละ 59.7 รองลงมา คือ ผู้สูงอายุออกกำลังกายในอากาศที่ถ่ายเทสะดวก ร้อยละ 47.0 สำหรับการปฏิบัติ 3-4 วันต่อสัปดาห์มากที่สุด คือ ผู้สูงอายุออกกำลังกาย อย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 35.8 รองลงมาคือ ผู้สูงอายุออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขน ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ร้อยละ 32.4

2.5 ข้อมูลด้านพฤติกรรมเกี่ยวกับการผ่อนคลายความเครียดของผู้สูงอายุ พบว่า ผู้สูงอายุมีระดับพฤติกรรมด้านการผ่อนคลายความเครียดส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง (>37 คะแนน) ร้อยละ 65.2 รองลงมา มีระดับพฤติกรรมปานกลาง (25-36 คะแนน) ร้อยละ 32.9 โดยพบว่า ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ เมื่อมีเรื่องไม่สบายใจผู้สูงอายุผ่อนคลายความเครียดด้วยวิธี ใช้นานอนหลับ/ยาระงับประสาท (Mean=3.73 SD=0.76) ดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ (Mean=3.71 SD=0.77) และข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือผู้สูงอายุปลูกต้นไม้ (Mean=2.41 SD=1.13)

2.6 ข้อมูลด้านความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ดัชนีบาร์ธเอล เอดีแอล (Barthel Activities of Daily Living : ADL) ของผู้สูงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่ผู้สูงอายุมีความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ดัชนีบาร์ธเอล เอดีแอล (Barthel Activities of Daily Living : ADL) ระดับไม่เป็นการพึ่งพา (12-20 คะแนน) ร้อยละ 97.1 ภาวะพึ่งพากลาง (9-11 คะแนน) ร้อยละ 1.1 ภาวะพึ่งพารุนแรง (5-8 คะแนน) ร้อยละ 0.4 (ภาวะพึ่งพาโดยสมบูรณ์) (0-4 คะแนน) ร้อยละ 1.4 (Mean=18.84 SD=2.88 Min=0 Max=20)

2.7 ข้อมูลด้านคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ พบว่า ส่วนใหญ่ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตในระดับปานกลาง (61-95 คะแนน) ร้อยละ 71.5 คุณภาพชีวิตระดับดี (96-130 คะแนน) ร้อยละ 20.8 และระดับคุณภาพชีวิตระดับไม่ดี (26-60 คะแนน) ร้อยละ 7.7 โดยมีคุณภาพชีวิตในระดับดีคือด้านสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 62.5 ส่วนใหญ่มีคุณภาพชีวิตทั้งสามด้านในระดับปานกลาง เช่น ด้านร่างกาย ร้อยละ 71.0 ด้านจิตใจ ร้อยละ 66.4 ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม ร้อยละ 37.7 โดยมีค่าเฉลี่ยรายข้อสูงสุดคือด้านจิตใจ คือ ผู้สูงอายุรู้สึกพึงพอใจในชีวิต (เช่น มีความสุข ความสงบ มีความหวัง) มากน้อยเพียงใด (Mean=3.43 SD=1.69) รองลงมา ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม คือผู้สูงอายุรู้สึกพอใจมากน้อยแค่ไหนที่สามารถทำอะไร ๆ ผ่านไปได้ในแต่ละวัน (Mean=3.41 SD=1.12) และค่าเฉลี่ยรายข้อที่ต่ำที่สุด รายด้านภาพรวม คือ ผู้สูงอายุมีความรู้สึกไม่ดีเช่นรู้สึกเหงาเศร้าหดหู่มองหวังวิตกกังวลบ่อยแค่ไหน (Mean=2.70 SD=1.35) ดัง Table 3

Table 3 Levels of quality of life

Quality of life	Level of quality of life			
	Good Number (Percent)	Middle Number (Percent)	Low Number (Percent)	Total Number (Percent)
1. Physical component	306 (18.7)	1,162 (71.0)	168 (10.3)	1,636 (100.0)
Mean=22.24 SD=4.51 Min=8 Max=35				
2. Mental component	334 (20.4)	1,087 (66.4)	215 (8.2)	1,636 (100.0)
Mean=19.16 SD=4.09 Min=7 Max=62				
3. Social contact	596 (36.4)	617 (37.7)	423 (25.9)	1,636 (100.0)
Mean=9.87 SD=2.69 Min=3 Max=27				
4. Environmental component	1,023 (62.5)	478 (29.2)	135 (8.3)	1,636 (100.0)
Mean=25.55 SD=5.19 Min=8 Max=71				

3. การทดสอบความสัมพันธ์จากตัวแปรลักษณะทางประชากรกับตัวแปรพฤติกรรมการดูแลสุขภาพของตนเองของผู้สูงอายุ

3.1 จากการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรด้านลักษณะทางประชากร ตัวแปรด้านความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูงและโรคเบาหวาน เพื่อหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในการดูแลสุขภาพตนเองทั้งในด้านการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการบริโภคอาหาร พฤติกรรมการออกกำลังกาย และพฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด พบว่า ใน 5 ปัจจัย มี 2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ คือ ความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูงและความรู้เรื่องโรคเบาหวาน ($r=.142, p\text{-value}\leq.001$ และ $r=.099, p\text{-value}\leq.001$) ตามลำดับ ดัง Table 4

3.2 การศึกษาด้านข้อมูลทั่วไปกับความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพชีวิต พบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับระดับคุณภาพชีวิต ได้แก่ การประกอบอาชีพ ระดับความรู้เรื่องโรคความดันโลหิตสูง ระดับการปฏิบัติในการบริโภคอาหาร ระดับการปฏิบัติในการออกกำลังกาย ระดับการปฏิบัติในการผ่อนคลายความเครียด ดัง Table 5

3.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่สามารถพยากรณ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ในเขตอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) โดยใช้วิธีการ Stepwise ในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อที่จะนำไปสู่การคาดการณ์ หรือประมาณค่า

Table 4 Association between demographic characteristics and health behavior

Association between demographic characteristics and health behavior	Pearson's Product Moment Coefficient (r)	p – value
- Age	-.002	.923
- Income	.021	.433
- Body mass index	-.020	.556
- Knowledge about hypertension	.142	.001
- Knowledge about diabetes mellitus	.099	.001

Table 5 Association between socio-demographic characteristics and level of quality of life

Items	level of quality of life			Chi-square	p-value
	High Number	Middle Number	Low Number		
Sex					
Male	152	349	50	16.641	0.083
Female	212	766	107		
Body mass index (kg/m²)					
< 18.50-22.9	356	314	212	17.974	0.071
23.00->24.9	332	242	180		
Employment					
No	39	202	24	16.158	0.001
Yes	321	929	121		

Table 5 Association between socio-demographic characteristics and level of quality of life (cont.)

Items	level of quality of life			Chi-square	p-value
	High Number	Middle Number	Low Number		
Income (baht per month)					
≤ 1,000	248	764	118	4.004	0.406
1,000 -2,000	55	134	40		
≥2,000	77	155	45		
Level of knowledge about diabetes mellitus					
Low	35	135	29	8.134	0.087
Middle	90	299	46		
High	235	685	82		
Level of knowledge about hypertension					
Low	42	184	25	19.934	0.001
Middle	55	180	41		
High	267	751	91		
Level of dietary consumption behavior					
Low	6	16	8	14.304	0.006
Middle	60	222	43		
High	295	890	96		
Level of physical exercise					
Low	38	215	15	73.503	0.001
Middle	96	464	53		
High	226	452	77		
Level of stress management					
Low	13	35	10	49.488	0.001
Middle	83	431	34		
High	271	651	108		

สถิติวิเคราะห์ตัวแปรอิสระ (X) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) และระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระเพื่อเข้าสู่โมเดลการวิเคราะห์ในกรณีตัวแปรอิสระที่มีระดับการวัดเป็นนามบัญญัติ (Nominal Scale) ผู้ศึกษาได้ทำให้เป็นตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) และกำหนดค่าตัวแปรที่สนใจให้มีค่าเท่ากับ 1 และค่าตัวแปรที่ไม่สนใจให้มีค่าเท่ากับ 0 ก่อนการ

วิเคราะห์ พบว่า ปัจจัยที่สามารถทำนายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ร้อยละ 16.2 โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถเขียนสมการทำนาย คือ $Y=47.227+(0.377)+(0.333)+(0.463)+(0.155)+(0.175)X$ ผลการศึกษาได้ดังนี้

ความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูง ($B=.377$, $p\text{-value}=0.002$) พบว่า ความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูงและคุณภาพชีวิตมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .142 ร้อยละ 0.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุคือ $Y=47.227+(0.377)X$

ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน ($B=.333, p\text{-value}=0.017$) พบว่า ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานและคุณภาพชีวิตมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .099 ร้อยละ 0.4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุคือ $Y=47.227+(0.333)X$

พฤติกรรมการบริโภค ($B=.463, p\text{-value}=0.001$) พบว่า พฤติกรรมการบริโภคและคุณภาพชีวิตมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .177 ร้อยละ 1.9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 และสมการพยากรณ์

พฤติกรรมการออกกำลังกายคือ $Y=47.227+(0.463)X$

พฤติกรรมการออกกำลังกาย ($B=.155, p\text{-value}=0.001$) พบว่า พฤติกรรมการออกกำลังกาย และคุณภาพชีวิตมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .021 ร้อยละ 0.8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และสมการพยากรณ์สถานภาพสมรส คือ $Y=47.227+(0.155)X$

พฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด ($B=.175, p\text{-value}=0.008$) พบว่า พฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด และคุณภาพชีวิตมีความสัมพันธ์กันทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .032 ร้อยละ 0.4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 และสมการพยากรณ์พฤติกรรมการออกกำลังกายคือ $Y=47.227+(0.175)X$ ดัง Table 6

Table 6 Association between Factors and Quality of Life by Multiple Regression Coefficient

Items	R	R ²	B	Beta	t	p-value
Knowledge about hypertension	.079	.006	.377	.079	3.104	0.002
Knowledge about diabetes mellitus	.061	.004	.333	.061	2.398	0.017
Dietary consumption behavior	.136	.019	.463	.136	5.459	0.001
Physical exercise	.087	.008	.155	.087	3.479	0.001
Stress management	.067	.004	.175	.067	2.636	0.008
Constant			47.227			

วิจารณ์และสรุปผล

ปัจจัยพยากรณ์ที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ คือ ความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูง ความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน พฤติกรรมการบริโภค พฤติกรรมการออกกำลังกาย และพฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด

ด้านความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูงและเบาหวานมีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับคุณภาพชีวิต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา¹³ กลุ่มผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่มารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ที่พบว่าความรู้เกี่ยวกับโรคความดันโลหิตสูงมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเอง และการศึกษา¹⁴ กลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวาน อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษา¹⁵ ความรู้เรื่องโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง โดยรวมและความรู้แยกโรคไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับพฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเอง และการศึกษา

ในผู้ป่วยโรคเบาหวานและ/หรือความดันโลหิตสูงที่มารับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงรึกน้อย¹⁶ ที่พบว่าความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเอง และการศึกษา¹⁷ พบว่า โดยภาพรวมคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุอยู่ในระดับค่อนข้างดี เมื่อจำแนกตามรายด้าน พบว่า ด้านสิ่งแวดล้อม อยู่ในอันดับ 1 ด้านร่างกาย อยู่ในอันดับ 2 ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม อยู่ในอันดับ 3 และด้านจิตใจ อยู่ในอันดับ 4 ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ว่าความรู้ที่ดีในด้านการดูแลสุขภาพของตนเองจะเป็นโอกาสให้ผู้สูงอายุได้รับโอกาสที่ดีจากแหล่งต่างๆ เช่น การศึกษาของ¹⁸ พบว่า คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุหลังได้รับเบี้ยยังชีพใน 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านเศรษฐกิจ เบี้ยยังชีพของผู้สูงอายุที่ได้รับสามารถพัฒนาคุณภาพชีวิตได้เป็นอย่างมาก เพราะเป็นการช่วยลดภาระในด้านการพึ่งพาบุตร เบี้ยยังชีพในแต่ละเดือนหากใช้ไม่หมดก็มีการเก็บออมสำหรับใช้ในยามจำเป็น 2) ด้านสังคม การมีส่วนร่วมของผู้สูงอายุในชุมชนเพิ่มขึ้น ผู้สูงอายุส่วนมากต่างก็มีความสุขและให้ความร่วมมือกับ

กิจกรรมที่หน่วยงานต่างๆ ได้จัดขึ้น เช่น การจัดงานวันผู้สูงอายุ การจัดแข่งขันกีฬาผู้สูงอายุ 3) ด้านสุขภาพ ส่วนใหญ่มีโรคประจำตัว การรักษาเบื้องต้นก็อาศัยโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เบี้ยยังชีพที่ได้รับก็เอาไปซื้ออาหารที่จำเป็นเพื่อบำรุงร่างกาย

พฤติกรรมกรรมการบริโภค¹⁹ รายงานว่า อาหารความดันโลหิตสูง มีความสำคัญสำหรับการควบคุมความดันโลหิตในผู้สูงอายุ โดยพบว่า โปรแกรมเสริมพลังสี่ขั้นมีผลต่อการเพิ่มการรับรู้พลังตนเองในการบริโภคอาหารด้านความดันโลหิตสูง ($F = 48.49, p\text{-value} < .001$) และพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารด้านความดันโลหิตสูง ($F = 3.588, p\text{-value} < .031$) โดยหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 6 กลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยการรับรู้พลังตนเองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Mean difference = 3.22, $p\text{-value} < .001$) และคงที่ในระยะติดตามสัปดาห์ที่ 12 ขณะที่คะแนนเฉลี่ยพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารด้านความดันโลหิตสูงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญ (Mean difference = 0.36, $p\text{-value} < .001$) และคงที่ในระยะติดตามสัปดาห์ที่ 12 เช่นกัน สำหรับกลุ่มเปรียบเทียบไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

พฤติกรรมการออกกำลังกาย ซึ่งรายงาน²⁰⁻²³ พบว่าการออกกำลังกายมีผลดีต่อสุขภาพของผู้สูงอายุ ทำให้ระบบการหายใจดีขึ้น ทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อดีขึ้น มีผลดีต่อสุขภาพผู้สูงอายุโดยรวม และการศึกษา²⁴ รายงานว่าการออกกำลังกายมีประโยชน์มากต่อภาวะสุขภาพผู้สูงอายุ และการออกกำลังกายสามารถลดระดับความดันโลหิตได้ แต่ผู้สูงอายุโรคความดันโลหิตสูงก็ยังมีการออกกำลังกายน้อย ประมาณร้อยละ 60 ของผู้สูงอายุโรคความดันโลหิตสูงที่มีการออกกำลังกาย เพียงลำพังมักเลิกออกกำลังกายภายใน 6 เดือน ทั้งนี้อาจเพราะว่าผู้สูงอายุกลัวบาดเจ็บและกลัวหกล้ม เนื่องจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลดลง ขาดสมรรถนะแห่งตนหรือความเชื่อมั่นในความสามารถของตนที่จะออกกำลังกายสม่ำเสมอ การสนับสนุนจากสมาชิกในครอบครัว สามารถช่วยกระตุ้นสมรรถนะแห่งตนในการออกกำลังกาย พฤติกรรมการผ่อนคลายความเครียด สอดคล้องกับ²³ รายงานว่า พฤติกรรมการดูแลตนเองด้านสุขภาพจิตของผู้สูงอายุคือไปปฏิบัติกิจกรรมทางศาสนา ร้อยละ 39.7 และมีสัมพันธภาพร่วมกิจกรรมสังคมและกิจกรรมนันทนาการ ร้อยละ 20.0 ตามลำดับ ข้อเสนอแนะ ควรให้มีกิจกรรมที่ส่งเสริมสุขภาพจิตของผู้สูงอายุ เพื่อสนับสนุนให้ผู้สูงอายุมีความสามารถในการทำพฤติกรรมดูแลตนเองด้านสุขภาพจิตของตนเองและมีคุณภาพชีวิตที่ดีต่อไป

ฉะนั้นควรมีแนวทางในการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ ให้มีการปฏิบัติที่ดีในการบริโภคอาหาร รับประทานอาหารเพื่อสุขภาพ รวมทั้งอาหารที่ควรหลีกเลี่ยง ส่งเสริมให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายที่เหมาะสมและกระทำอย่างต่อเนื่องในผู้ที่ไม่มีข้อห้าม และการผ่อนคลายความเครียดที่เหมาะสมกับบริบทของผู้สูงอายุในแต่ละชุมชน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้ผู้สูงอายุดำเนินชีวิตได้อย่างเป็นสุขและมีคุณภาพชีวิตที่ดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนให้ทุนในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพสต.) ทุกแห่งของอำเภอเชียงยืนทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอขอบคุณนิสิตหลักสูตรสาขาภูมิศาสตร์พัฒนาเพื่อการจัดการทรัพยากร คณะมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 นิสิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์บัณฑิต ชั้นปีที่ 3 และนิสิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เป็นทั้งผู้ร่วมวิจัยและผู้เก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบคุณอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ทุกหมู่บ้านในเขตอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ผู้ที่ช่วยให้การรวบรวมข้อมูลการสัมภาษณ์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. รายงานสถิติการให้บริการทางการแพทย์ กรมการแพทย์. กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2558). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างสุขภาพ, 2558 <สืบค้นจาก http://www.dop.go.th/main/knowledge_lists.php?id=25 >, สืบค้นเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม 2560.
2. กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข. (2558). เครื่องมือชี้วัดคุณภาพชีวิต.<สืบค้นจาก <http://www.dmh.go.th/test/whoqol/> >, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2560.
3. สำนักพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ. การสูญเสียปีสุขภาวะ รายงานภาวะโรคและการบาดเจ็บของประชากรไทย พ.ศ. 2556. บริษัทเดอะกราฟิโกซิสเต็มส์ จำกัด. นนทบุรี 2558.
4. เยาวรัตน์ ปรปักษ์ขาม และพรพันธ์ บุญยรัตพันธ์. บรรณาธิการ. รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทย โดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2546-2547. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก ในพำราชมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ. 2549.

5. สำนักงานสำรวจสุขภาพประชาชนไทย สถาบันวิจัยระบบสุขภาพ. 2552. รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทย โดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2551-2. บริษัทเดอะกราฟิกโกซิสเต็มส์ จำกัด. นนทบุรี. 2558.
6. วิชัย เอกพลากร. บรรณาธิการ. รายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 5 พ.ศ. 2557. สถาบันวิจัยระบบสุขภาพ. สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนด์ดีไซน์. นนทบุรี. 2557.
7. World Health Organization. World Health Organization. Day 2011. [online]. URL: <http://www.worldhypertensionleague.org/pages/WHD.aspx>. Access: 20 August 2016.
8. สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค. (2558). รายงานประจำปี กองแผนงาน. URL: <http://plan.ddc.moph.go.th/km2016/Documents/annualreport58.pdf> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2560.
9. ข้อมูล HDC จังหวัดมหาสารคาม, 2559. https://mkm.hdc.moph.go.th/hdc/main/index_pk.php สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2560.
10. มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.) (2555). รายงานประจำปี สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2553. URL: <http://www.thaitgri.org/images/document/Elder-Situations/situationofthailandelderThai2553.pdf> สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2560.
11. กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข. (2541). คู่มือคลายเครียดสำหรับเจ้าหน้าที่กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร :โรงพิมพ์ บริษัทสยามแอนด์บีพีบลิสซิ่ง จำกัด.
12. นิรุวรรณ เทรินโบล. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้านสาธารณสุขและการเขียนรายงานการวิจัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2558.
13. ปฐญาภรณ์ ลาลูน, นภาพร มัชฌิมามกุล และอนันต์ มาลารัตน์. พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงที่มารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกอายุรกรรม โรงพยาบาลศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. วารสารการแพทย์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ. 2554; 18:(3):160-163.
14. กิตติคุณ แสงสุข, พงษ์เกียรติ์ เสรียมจิตต์ และเสนอ ภิมจิตร์ ผ่อง. พฤติกรรมการดูแลสุขภาพตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวาน อำเภอเดชอุดม จังหวัด อุบลราชธานี. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2557;3:(2): 88-99.
15. ดวงพร กัตัญญุตานนท์, วัชนีญ์ จันท์ปัญญา, สุทธิธิดา ปาเป้า, เสาวณี เป้าจันทาร, ธรรพร น้อยเปรม, สาวิกา พาลี และจันทร์เพ็ญ แสงจันทร์. พฤติกรรมดูแลสุขภาพตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง สถานีอนามัยแห่งหนึ่ง ในตำบลบางเมือง จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. กรกฎาคม-ธันวาคม. 2560;6:(2):53-62.
16. ดารารัตน์ อุ่มบางตลาด. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับต่อผลการดูแลตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวาน และ/หรือความดันโลหิตสูงที่มารับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเขียงรากน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย. 2557;4:(3): 194-207.
17. ปิยภรณ์ เลาบุตร. คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในชุมชน หมู่ 7 ตำบลพลูตาหลวง อำเภอสัตตหีบ จังหวัดชลบุรี. การศึกษาตามหลักสูตรรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการบริหารทั่วไป, วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา. 2557.
18. สิทธิชัย บัวขาว. เรื่องคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุหลังได้รับเงินเบี้ยยังชีพ ขององค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งเทิง อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยปทุมธานี. 2557.
19. ปิยพรรณ ตระกูลทิพย์, ภรณ์ วัฒนสมบูรณ์และวารภรณ์ เสถียรนพแก้ว. ศึกษาผลโปรแกรมเสริมพลังสี่ขั้นตอนต่อการบริโภคอาหารต้านความดันโลหิตสูงของผู้สูงอายุที่มีภาวะไขมันความดันโลหิตสูงในชมรมผู้สูงอายุ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. วารสารพยาบาลสาธารณสุข. 2559 มกราคม – เมษายน;30:(1).
20. Lima MG, Barros MB de A, César CLG, Goldbaum M, Carandina L, Alves MCGP. Health-related behavior and quality of life among the elderly: a population-based study. Rev. Saúde Pública São Paulo. 2011 June;45:(3) URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-8910201100030006 Access: 20 August 2016.
21. Selivanova A, Cramm JM. The relationship between healthy behaviors and health outcomes among older adults in Russia. BMC Public Health. 2014;14: 1183. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4251861/> Access: 20 August 2016.

23. Tse M, Chan KL, Wong A, Tam E, Fan E, Yip G. Health Supplement Consumption Behavior in the Older Adult Population: An Exploratory Study. *Front Public Health*. 2014;2:11. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3918729/> Access: 20 August 2016.
24. นริสา วงศ์พนารักษ์, สมเสาวนุช จมูศรี และบังอร กุมพล. ภาวะสุขภาพจิต ความหวังและพฤติกรรมการดูแลตนเอง ด้านสุขภาพจิตของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2556 มกราคม – มีนาคม;6:(1):141-50.
25. ยุพา จิวพัฒนกุล. การเสริมสร้างสมรรถนะแห่งตนในการออกกำลังกายของผู้สูงอายุโรคความดันโลหิตสูงบทบาทสมาชิกในครอบครัว. 2555. *J Nurse Sci* 2012 January-March;30:(1).

ผลของโปรแกรมการฝึกแบบสถานีที่มีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาในนักกีฬาฟุตบอล

The Effects of Circuit Training Program on Anaerobic Performance, Leg Muscle Strength in Football Players

ณภัทรวรรณ ธนาพงษ์อ่อนันท์^{1*}, สมชาติ บุญธรรม²

Napatsawan Thanaphonganan^{1*}, Somchakt Boonthum²

Received: 22 November 2017 ; Revised: 13 September 2018 ; Accepted: 17 September 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อน หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ของนักกีฬาฟุตบอลชาย ที่ฝึกโปรแกรมแบบสถานี ประชากร ได้แก่ อาสาสมัครนักกีฬาฟุตบอลชายที่มีอายุระหว่าง 16-18 ปี ที่กำลังศึกษาโรงเรียนในสังกัดสหวิทยาเขตสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ มี 8 โรงเรียน คือ โรงเรียนสะแกพิทยาคม โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัยบุรีรัมย์ โรงเรียนสตึก โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม โรงเรียนร่อนทองพิทยาคม โรงเรียนดงพลองพิทยาคม โรงเรียนแคนดงพิทยาคม และโรงเรียนสมเสมีตวิทยา จำนวน 45 คน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักกีฬาฟุตบอลชายโรงเรียนสะแกพิทยาคม อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ มีอายุ 16-18 ปี จำนวน 10 คน ที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้วยเครื่องมือวัดแรงเหยียดขา (Leg Dynamo meter) ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Sampling) ทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 วันคือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทดสอบสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) One-way repeated measure ANOVA หากพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ โดยใช้วิธีของ Bonferroni

ผลวิจัยพบว่านักกีฬาฟุตบอลชายที่ฝึกด้วยโปรแกรมแบบสถานี หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 มีสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาสูงกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 มีสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาสูงกว่าก่อนการฝึกที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.5

สรุปผลการวิจัย โปรแกรมการฝึกแบบสถานีส่งผลดีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาโดยสามารถนำไปใช้เป็นทางเลือกในการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาฟุตบอลต่อไป

คำสำคัญ : โปรแกรมการฝึกแบบสถานี สมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

Abstract

The purposes of this study were to compare the differences in anaerobic performance and the strength of leg muscles before and after the 4th week and after the 8th week of the men's soccer training. The population is composed of male football players aged 16-18, who are currently studying at United School, Satuk Campus, Satuk District, Buriram Province. There were 45 football players from eighth schools; Sakae Pittayakom School Chulabhorn College of Technology, Buriram School Ruangthong Pittayakom School, Dongpongittayakom School, Canon Pittayakom School,

¹ อาจารย์, ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา, คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ครูชำนาญการพิเศษ (ค.ศ. 3) โรงเรียนสะแกพิทยาคม

¹ Lecturer, Department of Health and Sport Science, Faculty of Education, Mahasarakham University E-mail: napatsawan.t@msu.ac.th

² Senior Professional Level Teachers (K 3 Teachers) Sakaepitthayakhom School

* Corresponding author; napatsawan.t@msu.ac.th

and Sam Samet Witthaya School. The samples in this research were male football players of Sakae Pittayakom School, Satuk district, Buriram province. There were 10 subjects aged 16-18 who were passed leg muscular strength test with leg dynamo meter with similar results. The simple random sampling method was performed for choosing the subjects. Subjects were practiced 3 days a week, Monday, Wednesday, and Friday for eight weeks. Anaerobic performance test and leg dynamo meter test were done before and after the 4th week and after the 8th week. The data was collected and analyzed by the mean, standard deviation (SD), F-test, and the one-way analysis of variance with repeated measure at .05 point of statistical significance. IF there were significant differences, Bonferroni's method would be performed to compare the differences.

The results were found that male football players who practiced with circuit training programs for the 8th week had better anaerobic performance and higher leg muscular strength when compared to before and after the 4th training, and after the 4th week training, the anaerobic performance and leg muscular strength were significantly higher than before training ($p=.05$)

It was concluded that circuit training program had effects on anaerobic performance the leg muscles strength. The circuit training can be used as an alternative training to develop the potential football players.

Keywords: circuit training program, anaerobic performance, leg muscular strength

บทนำ

การสร้างสมรรถภาพทางกายมีหลายแบบและมีความแตกต่างกันในด้านการฝึก เช่น การฝึกโดยใช้น้ำหนัก (Weight training) การฝึกแบบฟาร์ลอค (Fartlek training) การฝึกแบบหนักสลับเบา (Interval training) และการฝึกแบบสถานี (Circuit training) การออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายไม่ว่าจะเป็นการออกกำลังกายด้วยวิธีใด ๆ ก็ตามที่กระตุ้นการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ ระบบโครงร่าง ระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจ หากได้มีการออกแบบให้สอดคล้องกับแบบแผนการเจริญเติบโตตามปกติของวัยต่าง ๆ ก็จะช่วยให้มีการพัฒนาทางกายที่ดีขึ้น กิจกรรมการออกกำลังกายมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความเหมาะสม¹

การฝึกแบบสถานีเป็นการฝึกโดยมีการวางแผนอย่างดีเพื่อพัฒนาองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกาย เช่น ความแข็งแรง (strength) ความอดทน(endurance) ความสามารถของข้อต่อ (flexibility) ความคล่องตัวในการเปลี่ยนทิศทาง การเคลื่อนไหว (agility) องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้จะมีการพัฒนาไปพร้อมๆ กัน โดยการจัดฝึกเป็นสถานี และหมุนเวียนไปจนครบทุกสถานี โดยมีข้อกำหนดว่าทุกคนจะต้องทำเวลาได้ดีขึ้นหรือทำงานได้มากกว่าในเวลาเท่าเดิมหลังจากมีการฝึกไปแล้วช่วงหนึ่ง ในแต่ละสถานีจะมีประเภทของการออกกำลังกายที่มุ่งพัฒนาส่วนต่างๆ ของร่างกายแตกต่างกัน สอดคล้องกับธรรมชาติ นาเคะพันธ์ (2557)² ที่ทำการฝึกแบบสถานีพบว่า หลังการฝึกนักกีฬาฟุตบอลมีความสามารถในการเลี้ยงลูกชกแซกดีกว่าก่อนการฝึก อีกทั้งการฝึกแบบสถานีเป็นการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ คือ การใช้วิธีฝึกให้กล้ามเนื้อต้อง

รับน้ำหนักต้านทานหรือน้ำหนักมากขึ้น โดยการฝึกเพิ่มแรงต้านขึ้นทีละน้อยเป็นเวลานาน วิธีการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงมีหลายแบบ แต่การฝึกควรมุ่งฝึกกลุ่มกล้ามเนื้อเฉพาะจึงจะเกิดประโยชน์สูงสุด กีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่ต้องใช้ระยะเวลาแข่งขันที่ยาวนาน มีการเคลื่อนที่โดยการเดิน การกระโดด การสไลด์ การพุ่ง การวิ่งตลอดเวลา รวมถึงการปะทะ ดังนั้นนักกีฬาฟุตบอลจึงต้องอาศัยสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ในการชิงความได้เปรียบคู่แข่งชั้น³ สมรรถภาพทางแอนแอโรบิกเป็นความสามารถสูงสุดในการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงระยะเวลาสั้นๆ โดยใช้พลังงานที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อเป็นหลัก⁴ สอดคล้องกับ สมหมาย แดงสกุล (2541)⁵ กล่าวว่าไว้ว่าสมรรถภาพการทำงานแบบแอนแอโรบิกเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทนทำงานต่อไปได้ในภาวะที่กล้ามเนื้อไม่ใช้ออกซิเจนอย่างเพียงพอ มีปริมาณกรดแลคติกมาก ความอดทนชนิดนี้จะมีค่าสำคัญมากในการทำงานระยะสั้นๆ ซึ่งสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกจะส่งผลถึงความสามารถในการสร้างกำลังงานของระบบพลังงานแบบเฉียบพลันที่เรียกว่า กำลังสูงสุด (Maximum Power) กำลังต่ำสุด (Minimum Power) กำลังเฉลี่ย (Average Power) และดัชนีความล้า (Fatigue Index) หรือความสามารถที่ลดลงในระหว่างการออกกำลังกาย⁶ กล่าวว่า สมรรถภาพอนาการศนิยม คือ การผลิตพลังงานของร่างกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เป็นการแสดงออกทางด้านการทำงานของกล้ามเนื้อเฉพาะบุคคลสอดคล้องกับ McArdle et al.(2001)⁷ สรุปว่า สมรรถภาพอนาการศนิยมหรือกำลังเฉลี่ยนั้น เป็นการแสดงถึงความสามารถในการใช้

พลังงานแบบไกลโคไลติก ซึ่งสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญ และมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลาย ๆ ประเภท โดยเฉพาะกีฬาที่มีการแข่งขันที่ต้องใช้ความสามารถสูงสุดหรือกำลังความเร็วสูงสุดเป็นระยะเวลานาน เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล รักบี้ฟุตบอล เทนนิส เป็นต้น ดังนั้นสมรรถภาพอนาerobic นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในกีฬาฟุตบอล ดังที่ Reilly. (1996)^๑ ได้กล่าวไว้ว่ากิจกรรมส่วนมากในเกมกีฬาฟุตบอลจะมีความหนักเบาผสมผสานกันไป ซึ่งจะมีการวิ่งไปกลับ การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดทุก ๆ 30 วินาที และมีการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดเพียงอย่างเดียวทุก ๆ 90 วินาที ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นการใช้พลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับ Matkovic et al.(1991)^๑ ได้กล่าวไว้ว่า การเคลื่อนไหวในเกมกีฬาฟุตบอลประกอบด้วย การเคลื่อนไหวหลายลักษณะ โดยส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนไหวระยะสั้น ๆ มากกว่าการเคลื่อนไหวระยะยาว เช่นการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด การกระโดด

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลก่อนการฝึกแบบสถานีที่มีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อน ระหว่างและหลังการฝึกของนักกีฬาฟุตบอลชาย
2. เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนการฝึกแบบสถานีที่มีต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อน ระหว่างและหลังการฝึกของนักกีฬาฟุตบอลชาย

สมมติฐานการวิจัย

หลังการฝึกโปรแกรมการฝึกแบบสถานีในสัปดาห์ที่ 8 นักกีฬาฟุตบอลชายมีสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา สูงกว่าหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และก่อนการฝึก

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

รูปแบบการศึกษา ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) ที่มีการทดสอบก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร คือ อาสาสมัครนักกีฬาฟุตบอลชายที่มีอายุระหว่าง 16-18 ปี ที่กำลังศึกษาอยู่โรงเรียนในสังกัดสหวิทยาเขตสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ มี 8 โรงเรียน คือ โรงเรียนสะแกพิทยาคม โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยบุรีรัมย์

โรงเรียนสตึก โรงเรียนเมืองแกพิทยาคม โรงเรียนร่อนทองพิทยาคม โรงเรียนดงพลองพิทยาคม โรงเรียนแคนดงพิทยาคม และโรงเรียนสมเสมีตวิทยา จำนวน 45 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครที่เป็นนักกีฬาฟุตบอลชายมีอายุระหว่าง 16-18 ปี จำนวน 10 คน โดยใช้โรงเรียนเป็นหน่วยของการสุ่มตัวอย่างและทำการสุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีการจับฉลาก ได้โรงเรียนสะแกพิทยาคม อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ ทำการทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาด้วยเครื่องมือวัดแรงเหยียดขา (Leg Dynamometer)

เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

เกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย (Inclusion criteria) มีดังนี้

1. นักกีฬาฟุตบอลชาย ที่มีอายุระหว่าง 16 – 18 ปี กำลังศึกษาอยู่โรงเรียนในสังกัดสหวิทยาเขตสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์
2. มีสุขภาพและสมรรถภาพทางด้านร่างกาย สมบูรณ์แข็งแรง

3. มีอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ชีพจรขณะพัก และสมรรถภาพทางกายอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน
4. มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และยินดีลงนามในใบยินยอมการเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion criteria) มีดังนี้

1. มีโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น
2. มีอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และสมรรถภาพทางกายอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกันมาก
3. อยู่ในภาวะที่เจ็บป่วยที่เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังกาย
4. ไม่สามารถเข้าร่วมการทดลองตลอด 8 สัปดาห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรมการออกกำลังกายที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วย

โปรแกรมการฝึกแบบสถานี (Circuit training) เป็นโปรแกรมการออกกำลังกายตามจุดฝึกเป็นสถานี โดยหมุนเวียนฝึกจนครบทุกจุดอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาการฝึก 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เวลา 17.00 – 18.30 น. โดยมีขั้นตอนการฝึก ดังนี้

1. การอบอุ่นร่างกาย (warm up) ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (stretching muscle) ใช้เวลา 10 นาที
2. โปรแกรมการฝึกแบบวงจร มี 4 จุดฝึกหรือ 4 สถานี โดยแต่ละสถานีกำหนดความหนักของการฝึกที่ 75 – 85 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เปรียบเทียบกับเวลา แล้วใช้เวลาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดความหนักและใช้เวลาพักระหว่างสถานีด้วยการเดินทำการฝึก 6 เทียว แต่ละเทียวพัก 10 วินาที
3. การคลายอุ่น (cool down) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (stretching muscle) ใช้เวลา 10 นาที

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. แบบทดสอบสมรรถภาพแบบแอนโรบิก
2. เครื่องทดสอบแรงเหยียดขา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป และแบบบันทึกการประเมินสุขภาพ
2. แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (PAR-Q)
3. แบบบันทึกผลการหาค่าสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก
4. แบบบันทึกผลการหาค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือในการวิจัย

ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือดังนี้

1. ศึกษาเอกสารหนังสือตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโปรแกรมการฝึกแบบสถานี
2. สร้างโปรแกรมการฝึกแบบสถานี และนำโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความสอดคล้องของแบบฝึกในแต่ละข้อและให้คะแนนดังนี้
ให้คะแนนเป็น +1 เมื่อเห็นว่าเหมาะสมและสอดคล้อง
ให้คะแนนเป็น 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าเหมาะสมและสอดคล้อง
ให้คะแนนเป็น -1 เมื่อแน่ใจว่าไม่เหมาะสมและสอดคล้อง

แล้วนำคะแนนที่ได้มาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC โดยเลือกโปรแกรมการฝึกแบบทดสอบที่มีค่า .05 ขึ้นไป จึงจะใช้ได้¹⁰

3. ดำเนินการขอหนังสืออนุเคราะห์การใช้สถานที่และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการฝึกและการทดสอบพร้อมทั้งนำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบบบันทึกการประเมินสุขภาพ แบบบันทึกการหาค่าสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และเวลายืนระยะการออกกำลังกาย รวมทั้งกำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบข้อแนะนำและการขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่าง รวมไปถึงปฏิทินการทดลองและการทดสอบของกลุ่มตัวอย่างไปอธิบายแก่ผู้ช่วยวิจัยและกลุ่มตัวอย่างทราบ

4. การพิทักษ์สิทธิของผู้เข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่างโดยชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้ มีหนังสือยินยอมจากผู้ปกครองในการเข้าร่วมโครงการวิจัยและนำเสนอข้อมูลในภาพรวมของสมรรถภาพทางกายที่ทดสอบ รวมทั้งรักษาความลับข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างไม่นำไปเผยแพร่ในช่องทางอื่นๆ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง
2. อธิบายวิธีการทดลองพร้อมอธิบายซักซ้อมเพื่อความเข้าใจถึงรายละเอียดต่างๆแก่ผู้ช่วยวิจัยให้ทราบโดยการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลองและเป็นผู้ช่วยวิจัยชุดเดิมรวมไปถึงสถานที่อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัยจากแหล่งเดียวกัน
3. ชี้แจงกลุ่มตัวอย่างเรื่องระเบียบปฏิบัติในระหว่างเวลาของการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. ก่อนทำการทดลองผู้วิจัยและผู้ช่วยชี้แจงจุดประสงค์ของการฝึกโปรแกรมการฝึกแบบสถานีพร้อมสาธิตวิธีการฝึกให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจโดยแบ่งขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้
 - 4.1 กลุ่มตัวอย่างมารายงานตัวเวลา 16.00 น หลีกเลี้ยงการออกกำลังกายอย่างหนักก่อนที่จะมาทำการทดลอง จากนั้นนำนักกีฬาที่สมัครใจทั้งหมดทำการวัดลักษณะทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วยน้ำหนักตัว และส่วนสูง
 - 4.2 กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบก่อนการฝึก (Pre-test) ทดสอบสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก (Anaerobic Performance) โดยทดสอบ RAST และ ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาโดยเครื่องวัดแรงเหยียดขา (Leg Dynamo meter) นำผลที่ได้จากก่อนการทดสอบบันทึกไว้

4.3 กลุ่มตัวอย่างทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 วัน คือ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ใช้เวลาทำการฝึกช่วงเย็นเวลา 17.00–18.30 น.

5. ทดสอบสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8

6. บันทึกและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8

3. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ 8 โดยใช้สถิติ one - way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา เมื่อพบว่ามีความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของ Bonferroni

ผลการวิจัย

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ของนักฟุตบอล Table 1

2. สมรรถภาพทางแอนแอโรบิกและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) Table 2

Table 1 Comparison of Mean (\bar{x}) and Standard Deviation (SD) of Anaerobic Performance and leg muscle strength

variable	Before $\bar{x}\pm SD$	4 th week $\bar{x}\pm SD$	8 th week $\bar{x}\pm SD$
1. Anaerobic Performance			
1.1 maximal power	524.04±62.15	568.77±64.46	587.28±60.77
1.2 minimal power	317.00±67.37	334.17±67.28	364.88±60.14
1.3 average power	420.74±59.47	446.52±60.95	475.18±60.40
1.4 fatigue index	6.75±2.14	5.75±1.74	5.05±1.31
2. leg muscle strength	3.00±0.50	3.42±0.41	3.83±0.35

Table 2 Comparison of the difference in anaerobic performance and leg muscular strength before post-exercise training, after the 4th week and the 8th week

Variable/Time	$\bar{x}\pm SD$	F	p-value
minimal power		134.102	.000*
before post-exercise	316.998± 67.371		
4 th week	334.171± 67.284		
8 th week	364.881± 60.144		
maximal power		43.314	.000*
before post-exercise	542.038± 62.153		
4 th week	568.774± 64.465		
8 th week	587.282± 60.767		

Table 2 Comparison of the difference in anaerobic performance and leg muscular strength before post-exercise training, after the 4th week and the 8th week (cont.)

Variable/Time	$\bar{x}\pm SD$	F	p-value
average power		93.054	.000*
before post-exercise	420.743 \pm 59.573		
4 th week	446.518 \pm 60.952		
8 th week	475.18 \pm 60.40		
leg muscular strength		103.570	.000*
before post-exercise	3.00 \pm 0.50		
4 th week	3.42 \pm 0.41		
8 th week	3.83 \pm 0.35		

*p-value < 0.05

การอภิปรายผล

หลังการฝึกด้วยโปรแกรมแบบสถานี 8 สัปดาห์พบว่า มีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. โปรแกรมการฝึกแบบสถานีเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถภาพเนื่องจากประกอบไปด้วยรูปแบบการฝึกที่หลากหลายจึงมีส่วนในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อและความสามารถของสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ซึ่งมีทั้งการฝึกแบบวิธีเคลื่อนที่ (Dynamic) และวิธีอยู่กับที่ (Static) จัดเป็นสถานีฝึก 8-12 สถานี โดยแต่ละสถานีจัดทำจุดฝึกและอุปกรณ์สำหรับส่วนต่างๆ ที่ต้องใช้ในการฝึกซ้อม ซึ่งนักกีฬาต้องทำการฝึกแต่ละสถานีด้วยความเร็วสูงสุดแล้วย้ายไปทำสถานีใหม่จนครบทุกสถานีโดยไม่มีการหยุดพัก สอดคล้องกับธีรวรรณ สุธรรม และ ฅณัฏฐวรรณ ธนาพงษ์อ่อนันท์ (2559)¹¹ ที่สรุปว่า สมรรถภาพทางกายประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สุขสมรรถนะ (health-related physical fitness) ทักษะสมรรถนะ (skill related fitness) และสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสรีรวิทยา (physiologic fitness) ทางด้านสุขสมรรถนะนั้น ช่วยส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคส่วนทักษะสมรรถนะ มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับนักกีฬา ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาฟุตบอลในระดับโรงเรียนเมื่อได้ฝึกตามโปรแกรมแบบสถานีจะช่วยให้สมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้น

2. การฝึกซ้อม นักกีฬาที่มีการฝึกซ้อมเป็นประจำส่งผลต่อความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนได้ American Academy of Orthopedic Surgeons (1991)¹² ระบุว่าโปรแกรมการฝึกซ้อม (Training program) น่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเพิ่มความแข็งแรง (strength) กำลัง (power)

และความทนทาน (endurance) ความเร็ว (speed) รวมไปถึงเวลายืนระยะการออกกำลังกาย (endurance time) ซึ่งมีความสำคัญสำหรับนักกีฬาฟุตบอลทุกคนโปรแกรมการฝึกเน้นเฉพาะด้าน (specific training program) ที่จะเสริมสร้างพัฒนาสมรรถภาพทางกายให้เกิดขึ้นกับนักกีฬา ย่อมส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และเวลายืนระยะการออกกำลังกาย

3. ปริมาณและความหนัก ในการฝึกซ้อมของนักกีฬาฟุตบอลโรงเรียนสะแกพิทยาคม อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์นั้น การฝึกสมรรถภาพทางกายให้ครบทุกด้าน เน้นการฝึกสมรรถภาพแบบต่อเนื่อง (continuous training) หรือโปรแกรมการฝึกแบบวงจร (Circuit training) ทดสอบด้วยแบบทดสอบเพื่อดูสมรรถภาพที่เพิ่มขึ้นของนักกีฬา ซึ่งสอดคล้องกับชุมพล ปานเกตุ¹³ ที่สรุปว่าปริมาณและความหนักในการฝึกจะต้องมากพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อและระบบการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายโดยสามารถสร้างและพัฒนาได้อย่างต่อเนื่องเป็นสัดส่วนกับปริมาณและความหนักในการฝึกการเพิ่มหรือการเปลี่ยนแปลงปริมาณงานหรือความหนักในการฝึกจะต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กับพัฒนาการทางด้านร่างกายเพื่อป้องกันการบาดเจ็บและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับนักกีฬา

4. การพักผ่อน พบว่าส่งผลต่อสมรรถภาพทางแอนแอโรบิกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและเวลายืนระยะการออกกำลังกาย ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างมาเข้าค่ายเก็บตัวตลอดการทดลอง มีการดูแล ควบคุมอย่างใกล้ชิดโดยเฉพาะการนอนหลับพักผ่อนอย่างเพียงพอ 6-8 ชั่วโมง ทำการฝึก 3 ต่อสัปดาห์ วันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ซึ่งสอดคล้องกับ วุฒิพงษ์ ปรมัต

ถาวรและอารี ปรมัตถการ (2542)¹⁴ สรุปไว้ว่าหากการออกกำลังกายดำเนินไปรวดเร็วเป็นเวลานานโดยไม่มีการหยุดพักจะทำให้กำลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อค่อยๆลดลงเนื่องจากแหล่งพลังงานที่จำเป็นสำหรับการทำงานเริ่มลดลงในขณะที่ของเสียเริ่มมีมาก ดังนั้นหากเราให้เวลาแก่ระบบไหลเวียนบ้าง โดยการหยุดพักเพื่อจะได้มีเวลาในการกำจัดของเสียออกจากกล้ามเนื้อ จะทำให้กำลังในการหดตัวของกล้ามเนื้อรักษาความแข็งแรงไปได้อีกนาน

ข้อเสนอแนะของการวิจัย

1. จากการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการฝึกในสนามกีฬาฟุตบอล ซึ่งเป็นพื้นคอนกรีตเพื่อให้เหมาะสมกับกลุ่มตัวอย่างที่นำไปใช้ในการทดสอบ แต่ห้วงของการฝึกอยู่ในช่วงฤดูฝนเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคต่อการฝึกควรจัดสถานที่สำรองที่เป็นลานกว้าง ซึ่งอาจเป็นพื้นคอนกรีต หรือพื้นปูนซีเมนต์ที่มีพื้นที่ให้กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้ทำการฝึก เช่น อาคารพลศึกษาหรือโรงยิมที่มีขนาดใหญ่ เป็นสัดส่วนและมีอากาศถ่ายเทสะดวก เสมือนกับที่ฝึกในสภาพจริงของการฝึกโปรแกรมการฝึกแบบสถานี

2. โปรแกรมการฝึกแบบสถานีที่มีความสลับซับซ้อนในเรื่องท่าการฝึกตามจุดฝึกแต่ละสถานี ต้องหมั่นเวียนฝึกจนครบทุกจุดอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับมีการกำหนดด้วยเวลาและความหนักที่ 75 – 85 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ดังนั้นจึงควรมีอุปกรณ์ที่มีการทดสอบความเที่ยงตรงที่มีจำนวนเพียงพอให้กับกลุ่มตัวอย่าง

3. การทดสอบสมรรถภาพทางแอนแอโรบิก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ควรมีการสลับหมุนเวียน ตำแหน่งและอันดับ เพื่อให้หลีกเลี่ยงผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นจากการวัดและประเมินผลจากการทดสอบ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

โปรแกรมการฝึกแบบสถานีมีรูปแบบการฝึกที่ส่งผลต่อสมรรถภาพหลายด้าน ดังนั้นจึงควรเพิ่มตัวแปรสมรรถภาพทางกายที่หลากหลาย เช่น ความอดทน ความเร็ว และความคล่องตัว

ควรพัฒนาโปรแกรมการฝึกแบบอื่นควบคู่ไปกับโปรแกรมการฝึกแบบสถานี เช่น การฝึกด้วยน้ำหนักในบางสถานีที่ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ การฝึกแบบพลัยโอเมตริก เป็นต้น

กลุ่มตัวอย่างควรมีความหลากหลายเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการฝึก เช่น เพศ อายุ จำนวนของกลุ่มตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ตลอดจนระยะเวลาในการเก็บข้อมูลควรเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. รัตพงษ์ ฤกษ์ไชโย และ ภักดิ์ธรียา ลาสุนนท์. ผลการฝึกแบบวงจรที่มีต่อสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของนักศึกษาหญิงสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ครั้งที่ 5: 2558 “การพัฒนางานวิจัยรากฐานสำคัญของไทย ก้าวไกลสู่เวทีสากล” “Developing the Quality of Thai Research to the International Standards” 2558.
2. ธรรมชาติ นาคะพันธุ์. ผลของโปรแกรมการฝึกแบบสถานีที่มีต่อความสามารถในการเลี้ยงลูกฟุตบอลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาสุขศึกษาและพลศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2557.
3. Merle, L. and others. Better Training for Distance Runner. 2nd ed. U.S.A: Human Kinetics, 2006.
4. Medbo JI, Burgers S. Effect of training on the anaerobic capacity. Med Sci Sports Exerc. 22(4): 501–7. 1990.
5. สมหมาย แดงสกุล. สรีรวิทยาการออกกำลังกายระดับสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, 2541.
6. Elliott, W. J., Bakris, G. L., & Black, H. R. Hypertension: Epidemiology, thophysiology, diagnosis, and treatment (11th ed.). In V. Fuster., R. W. Alexander., & R. A. O'rourke (Eds.), Hurst's the heart (pp. 1531-1565). The United States of America: McGraw-Hill.2004.
7. McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. Exercise physiology energy, nutrition and human performance. 5th Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2001
8. Reilly, T. (ed.) Science and Soccer. London: E. & F.N. Spon. 1996.
9. Matkovic et al. Gallium prevents adjuvant arthritis in rats and interferes with macrophage/T-cell function in the immune esponse. Curr Ther Res 50:255–267: 1991
10. ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน. การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กภาพสินธุ์:
11. ชีววรรณ สุธรรม และ ฅณภัสวรรณ ธนาพงษ์อนันท์. ผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อสุขสมรรถนะของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินมาตรฐาน. วารสารวิทยบริการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2559), 27(3), 73-88.

12. American Academy of Orthopedic Surgeons. Athletic Training and Sport medicine. 2nd ed. Chicago : Lippincott Williams and Wilkins, 1991.
13. ชุมพล ปานเกตุ. การฝึกสอนกรีฑาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรีนติ้งเฮ้าส์, 2540.
14. วุฒิพงษ์ ปรมัตถากรและอารี ปรมัตถากร. วิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, 2542.

คอเลสเตอรอลในเลือดกับโรคหลอดเลือดสมองชนิดตีบหรืออุดตันเฉียบพลันในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

Blood Cholesterol and Acute Ischemic Stroke Among Type-2 Diabetic Patients

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร^{1*}, วันดี บุญราศรี², ชุกเกียรติ วิวัฒน์วงศ์เกษม³, สุขอนธา สิริ⁴, วรากร เกรียงไกรศักดิ์⁵
 Wisit Chaveepojnkamjorn^{1*}, Wandee Boonrasri², Chukiat Viwatwongkasem³, Sukhontha Siri⁴,
 Warakorn Kriengkaisakda⁵

Received: 11 June 2018 ; Revised : 17 October 2018 ; Accepted: 2 November 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับคอเลสเตอรอลในเลือดกับโรคหลอดเลือดสมองชนิดตีบหรืออุดตันเฉียบพลัน (acute ischemic stroke: AIS) ในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่เข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลพุทธโสธร จ.ฉะเชิงเทรา แบ่งออกเป็นผู้ป่วย AIS 100 ราย และผู้ที่ไม่ได้เป็นโรคดังกล่าวจำนวน 300 ราย จับคู่ตามปัจจัย เพศ อายุ ภูมิภาค และระยะเวลาที่รักษา ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 โดยใช้แบบสอบถามซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลด้านประชากร และส่วนที่ 2 ข้อมูลเฉพาะ ด้านการแพทย์และคลินิก โดยทำการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการวิเคราะห์แบบพหุคูณดิซันนอลโลจิสติกเมื่อควบคุมตัวแปรรบกวน พบว่า กลุ่มที่มีระดับคอเลสเตอรอลรวม ระหว่าง 241-280 และสูงกว่า 280 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เสี่ยงที่จะเป็น AIS สูงถึง 4.3 และ 7.7 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีระดับคอเลสเตอรอล น้อยกว่า 200 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ($OR_{adj} = 4.3$, $95\%CI = 1.4-13.7$; $OR_{adj} = 7.7$, $95\%CI = 1.1-57.5$) ฉะนั้นการเฝ้าระวังระดับคอเลสเตอรอลในเลือดในกลุ่มเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดสมอง จะต้องดำเนินการร่วมควบคู่กับการให้ความรู้ถึงการควบคุมคอเลสเตอรอลและการป้องกันโรคหลอดเลือดสมองในกลุ่มเสี่ยง เป็นมาตรการหนึ่งที่จะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดสมองลงได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ : คอเลสเตอรอลในเลือด โรคหลอดเลือดสมองชนิดตีบหรืออุดตันเฉียบพลัน ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

Abstract

The objective of this research was to determine the relationship between blood cholesterol and acute ischemic stroke (AIS) among type-2 diabetic patients (TDP). A case-control study was conducted among TDP attending the Bhuddasothorn hospital in Chachoengsao, with 100 cases and 300 controls in 2013-2016. Cases and controls were matched by gender, age, residential area, and duration of attendance. Data were collected with a questionnaire

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

² นักวิชาการสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24130

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

⁵ นักวิชาการสาธารณสุข โรงพยาบาลพุทธโสธร อ.เมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

¹ Assoc. Prof., Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

² Public Health Scholar, Bangpakong health office, Bangpakong district, Chachoengsao 44150, Thailand.

³ Assoc. Prof., Department of Biostatistics, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

⁴ Asst. Prof., Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

⁵ Public Health Scholar, Bhuddasothorn Hospital, Mueng district, Chachoengsao 24000, Thailand.

* Correspondence to: Wisit Chaveepojnkamjorn, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand, 10400.

E-mail: wisitchar@yahoo.com

comprising 2 parts: part 1 demographic characteristics, and part 2 clinical and health data. The obtained data were analyzed using descriptive statistics and analytic statistics with a computerized statistical package. Multivariable conditional logistic regression analysis, controlling for possible confounding factors, revealed that a total cholesterol of 241-280 and > 280 mg/dl increased the risk of AIS by a factor of 4.3 and 7.7 times, respectively (OR=4.3, 95%CI =1.4-13.7; OR=7.7, 95%CI =1.1-57.5). A surveillance system monitoring blood cholesterol among risk groups should be conducted in cooperation with information regarding cholesterol control and stroke prevention among TDP as an essential measure to reduce AIS risk.

Keywords : Blood cholesterol, Acute ischemic stroke, Type-2 diabetic patients

บทนำ

โรคหลอดเลือดสมองเป็นสาเหตุการเสียชีวิตสูงสุดอันดับสอง รองจากโรคหัวใจขาดเลือด (ischemic heart disease)^{1,2} และ คาดว่าแนวโน้มของโรคหลอดเลือดสมองจะเพิ่มภาระแก่ ครอบครัวและสังคมจาก 38 ล้านคนในปี 1990 เพิ่มขึ้นเป็น 61 ล้านคนในปี 2020³ ในปี 2010 การศึกษาภาระโรค การบาดเจ็บ และปัจจัยเสี่ยง (the Global Burden of Disease, Injuries, and Risk factors Study: GBD 2010) ได้รายงานจำนวนผู้ป่วยใหม่โรคหลอดเลือดสมอง โดยรวมทุกสาเหตุมีประมาณ 16.9 ล้านคน⁴ ซึ่งส่วนมากเป็นชนิดตีบหรืออุดตัน (ischemic stroke) ราว 11.6 ล้านคน (ร้อยละ 68.3) และเสียชีวิต จำนวน 2.8 ล้านคน รองลงมาคือชนิดเลือดออกในสมอง (hemorrhagic stroke) มีจำนวน 5.3 ล้านคน และเสียชีวิต ประมาณ 3 ล้านคน⁴⁻⁷ โดยร้อยละ 70 ของผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือด สมอง เกิดขึ้นในประเทศที่มีรายได้ต่ำและปานกลาง⁷ และ คาดการณ์ว่าในปี 2030 จะมีผู้เสียชีวิตจากโรคหลอดเลือด สมอง จำนวนถึง 12 ล้านคน และกว่า 200 ล้านคนจะมีคุณภาพ

ชีวิตที่สูญเสียไป (DALYS lost) จากโรคดังกล่าว⁴

สำหรับประเทศไทย โรคหลอดเลือดสมอง จัดเป็น สาเหตุการตายอันดับหนึ่งในผู้สูงอายุ⁸ และพบว่าหลอดเลือด สมองชนิดตีบหรืออุดตัน เป็นชนิดที่พบมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือโรคหลอดเลือดสมองชนิดเลือดออกในสมอง โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2553 มี รายงานอัตราป่วยด้วยโรคหลอดเลือดสมองชนิดตีบหรืออุดตัน เท่ากับ 100.8 ต่อประชากรพันคน และเพิ่มขึ้นเป็น 154.3 ต่อ ประชากรพันคนในปี พ.ศ. 2558 ขณะที่อัตราป่วยด้วยโรค หลอดเลือดสมองชนิดเลือดออกในสมอง เท่ากับ 62.7 ต่อ ประชากรพันคน และเพิ่มขึ้นเป็น 82.1 ต่อประชากรพันคนในปี พ.ศ. 2558^{9,10} ในด้านความรุนแรงของโรค กระทรวง สาธารณสุขได้รายงานการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคหลอดเลือด สมองโดยรวม ปี พ.ศ 2549-2558^{9,10} โดยวิเคราะห์จากใบ มรณบัตร พบว่า แนวโน้มของการเสียชีวิตจากโรคหลอดเลือด สมองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดัง (Figure 1)

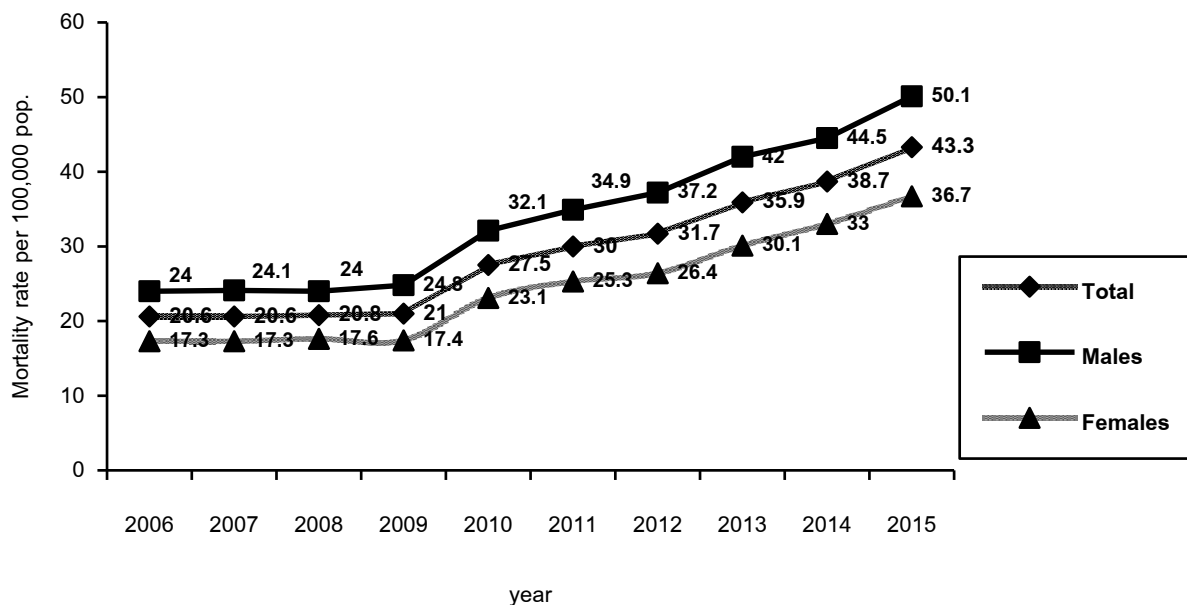


Figure 1 Mortality rates of stroke, Thailand, 2006-2015.

Source: Bureau of Policy and Strategy, Ministry of Public Health^{9,10}

ภาวะคอเลสเทอรอลในเลือดสูง เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษา โดยมีหลายงานวิจัยพบว่า ปัจจัยดังกล่าวจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคนี้¹¹⁻¹⁵ สำหรับการศึกษาในประเทศไทย งานวิจัยที่ผ่านมาในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ยังไม่มีหลักฐานมากพอที่บ่งถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคอเลสเทอรอลในเลือดกับการเกิด AIS ในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2

นิยามศัพท์ (variable definitions)

AIS คือ ภาวะที่มีความผิดปกติของระบบหลอดเลือดสมองที่เกิดขึ้นทันทีทันใด เป็นเหตุให้สมองบางส่วนหรือทั้งหมดทำงานผิดปกติ ก่อให้เกิดอาการและอาการแสดงนานกว่า 24 ชั่วโมง สาเหตุอาจเกิดจากการอุดตันของหลอดเลือดในสมอง หรือหลอดเลือดแดงใหญ่บริเวณคอที่ส่งเลือดมาเลี้ยงสมอง ทำให้เกิดภาวะขาดเลือดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อระบบประสาทส่วนกลาง (infarction of central nervous system tissue) หรืออาจเกิดจากมีลิ่มเลือดหลุดจากที่อื่นมาอุดตันหลอดเลือดสมอง โดยเฉพาะผู้ที่มีโรคหัวใจบางชนิด ได้แก่ โรคลิ้นหัวใจพิการ โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และหัวใจเต้นผิดจังหวะ เป็นต้น¹⁶⁻²³

วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัย ใช้รูปแบบการศึกษาแบบเคสคอนโทรลแบบจับคู่ (matched case-control) โดยควบคุมปัจจัยด้านเพศ อายุ (± 5 ปี) ภูมิลำเนา และระยะเวลาที่เข้ารักษาให้มีลักษณะเหมือนกัน

ประชากร ขนาดตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 (cases) ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็น AIS โดยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT scan) ยืนยัน กลุ่มควบคุม (controls) เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่รับบริการรักษา และไม่ได้ป่วยเป็น AIS การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษาแบบเคสคอนโทรลจับคู่ 1 ต่อ 3 โดยใช้โปรแกรม Stata 12 (โปรแกรมนี้ใช้สูตรของ Dupont, 1988)²⁴ กำหนดให้ $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ที่ $\alpha = 0.05$ $Z_{\beta} = 0.84$ ที่ $\beta = 0.20$ $P_0 =$ สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มควบคุม $= 0.04$ ²⁵; $P_1 =$ สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มผู้ป่วย $= 0.138$ ²⁵ จากการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรดังกล่าว จะได้นิยามตัวอย่าง cases จำนวน 91 ราย และ controls จำนวน 273 ราย ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างทั้งสิ้น จำนวน 400 ราย แบ่งเป็น cases จำนวน 100 ราย และ controls จำนวน 300 ราย

สถานที่ทำการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการวิจัย คือ โรงพยาบาลพุทธโสธร จ.ฉะเชิงเทรา เป็นผู้ช่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่เข้ามารักษา ระหว่างเดือน มกราคม 2556 – ธันวาคม 2559

เกณฑ์การคัดเลือก (inclusion criteria)

กลุ่มผู้ป่วย (cases) เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ขึ้นทะเบียนคลินิกเบาหวานของเครือข่ายบริการสุขภาพ จ.ฉะเชิงเทรา และได้รับการวินิจฉัยยืนยันว่าเป็น AIS

กลุ่มควบคุม (controls) เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่ขึ้นทะเบียนคลินิกเบาหวานของเครือข่ายบริการสุขภาพ จ.ฉะเชิงเทรา และไม่เป็น AIS

สัญชาติไทย มีอายุระหว่าง 35-80 ปี

มีภูมิลำเนาในจังหวัดฉะเชิงเทรา

เกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria)

ได้รับการวินิจฉัยโรคว่าเป็น AIS จากโรงพยาบาลอื่น

ไม่มีประวัติการรักษาโรคเบาหวาน

มีประวัติเป็นโรคหลอดเลือดสมองชนิดขาดเลือดไปเลี้ยงชั่วคราว (transient ischemic attack: TIA) โรคหลอดเลือดสมองจากการขาดเลือดจากอุบัติเหตุ โรคหัวใจแต่กำเนิด โรคกระแทกโดยรวม และเนื้องอก โรคไตโรคหนึ่ง

การพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัย ผ่านการพิจารณาเห็นชอบตามมาตรฐานการดำเนินการของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (171/2557) คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา (PH_CCO_REC 004/58) และคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน โรงพยาบาลพุทธโสธร จังหวัดฉะเชิงเทรา (BSH-IRB 005/2558)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษา ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ด้านประชากรและสังคม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเฉพาะด้านการแพทย์ (medical data) ประกอบด้วย ข้อมูลด้านคลินิก ชีวเคมี และพฤติกรรมสุขภาพ

การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดขอบเขต และโครงสร้างของแบบสอบถามที่จะใช้ในงานวิจัย

พัฒนาเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลด้านประชากร และแบบบันทึกด้านการแพทย์จากเวชระเบียน

ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ได้แก่ ความชัดเจนของภาษาจากผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำเครื่องมือไปใช้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถาม

2. ทำหนังสือถึงสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา และผู้อำนวยการโรงพยาบาลพุทธโสธรที่จะทำการวิจัย เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงรายละเอียดในการเก็บข้อมูล

3. หลังจากผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ให้ผู้วิจัยทำการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะดำเนินการเก็บข้อมูลจากเวชระเบียน โรงพยาบาลพุทธโสธร โดยผ่านศูนย์ข้อมูล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดฉะเชิงเทรา ระหว่างเดือนมกราคม 2556 - ธันวาคม 2559

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาตรวจสอบความเรียบร้อย ความสมบูรณ์ ความครบถ้วนของข้อมูล และประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา บรรยายลักษณะของประชากรที่ศึกษา และปัจจัยด้านการแพทย์ ด้วยความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น และสถิติวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบคอนดิชันนอลลอจิสติก (multivariable conditional logistic regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ของคอเลสเตอรอลในเลือดกับการเกิด AIS

ผลการศึกษา

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา จำนวน 400 ราย แบ่งออกเป็น ผู้ป่วยโรค AIS (cases) จำนวน 100 ราย และกลุ่มควบคุมที่ไม่ป่วยด้วยโรค AIS จำนวน 300 ราย ส่วนใหญ่มีอายุ ≥ 70 ปี (ร้อยละ 43 และ 43.3) เพศหญิง (ร้อยละ 68) และระยะเวลาที่ป่วยเป็นเบาหวาน ระหว่าง 5-10 ปี (ร้อยละ 68 และ 63.7) เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าวระหว่าง cases และ controls ที่ระดับ $p < 0.05$ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง Table 1

Table 1 General characteristics of cases and controls.

Characteristics	Cases (n=100)		Controls (n=300)		p-value ^a
	n	%	n	%	
Age gr. (yrs)					1.000
< 50	7	7.0	21	7.0	
50-59	21	21.0	62	20.7	
60-69	29	29.0	87	29.0	
≥ 70	43	43.0	130	43.3	
Mean (SD)	66.9 (11.1)		66.9 (10.9)		
Min-Max	42-90		43-89		
Gender					1.000
Male	32	32.0	96	32.0	
Female	68	68.0	204	68.0	
Duration of DM (yrs)					0.584
<5	20	20.0	75	25.0	
5-10	68	68.0	191	63.7	
>10	12	12.0	34	11.3	

^aChi-square test

ปัจจัยด้านการแพทย์ กับ AIS

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างหยาบระหว่างปัจจัยด้านการแพทย์ กับ AIS พบว่า ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะชนิด atrial fibrillation ความดันโลหิตสูงชนิด diastolic และ systolic ระดับ HbA1c ประวัติเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (CVD) ระดับ น้ำตาลในเลือด (fasting plasma glucose:FPG) ระดับ คอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol) และ ระดับครีเอตินิน (creatinine) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ AIS ($p < 0.05$) ดัง (Table 2) และเมื่อทำการวิเคราะห์ถดถอยคอนดิชันนัลลอจิสติกแบบหลายตัวแปร (multivariable conditional logistic regression analysis) โดยควบคุมปัจจัยภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะชนิด atrial fibrillation ความดันโลหิตสูง

ชนิด diastolic และ systolic ระดับ HbA1c ประวัติเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ระดับ FPG และระดับครีเอตินิน พบว่า ปัจจัยด้านระดับคอเลสเตอรอลรวม ยังคงมีความสัมพันธ์กับ AIS โดยกลุ่มที่มีระดับคอเลสเตอรอลรวม ระหว่าง 241-280 และสูงกว่า 280 มก/ดล เสี่ยงที่จะเป็น AIS เป็น 4.3 เท่า และ 7.7 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ระดับคอเลสเตอรอลรวม < 200 มก/ดล ($p < 0.05$) สำหรับปัจจัยด้านระดับแอลดีแอลคอเลสเตอรอล ระหว่าง 160-189 และสูงกว่า 190 มก/ดล เสี่ยงที่จะเป็น AIS เป็น 2.6 เท่า และ 5.0 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ระดับแอลดีแอลคอเลสเตอรอล < 100 มก/ดล แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดัง Table 3

Table 2 Univariable conditional logistic regression analysis of characteristics associated with AIS patients.

Characteristics	Cases		Controls		OR _c	95%CI	p-value ^a
	n	%	n	%			
History of AF							
No	94	94.0	299	99.7	1		
Yes	6	6.0	1	0.3	17.9	2.2-149.5	0.001*
Diastolic BP (mmHg)							
<90	87	87.0	293	97.7	1		
≥90	13	13.0	7	2.3	7.1	2.5-20.1	< 0.001*
Systolic BP (mmHg)							
<140	62	62.0	231	77.0	1		
≥140	38	38.0	69	23.0	2.2	1.3-3.8	0.003*
HbA1c (%)							
<7.0	15	15.0	139	46.3	1		
7.0-7.9	15	15.0	65	21.7	2.2	1.0-4.9	0.070
8.0-8.9	26	26.0	48	16.0	5.6	2.6-12.0	< 0.001*
≥9	44	44.0	48	16.0	9.5	4.6-19.8	< 0.001*
History of CVD							
No	93	93.0	294	98.0	1		
Yes	7	7.0	137	2.0	3.5	1.2-10.4	0.024*
FPG (mg/dl)							
<126	22	22.0	127	42.3	1		
≥126	78	78.0	173	57.7	3.4	1.9-6.3	< 0.001*

Table 2 Univariable conditional logistic regression analysis of characteristics associated with AIS patients (cont.)

Characteristic	Cases		Controls		OR _c ^a	95%CI	p-value
	n	%	n	%			
Total Cholesterol (mg/dl)							
<200	70	70.0	233	77.7	1		
200-239	7	7.0	53	17.7	0.4	0.2-1.0	0.060
240-279	18	18.0	12	4.0	5.9	2.7-12.9	< 0.001*
>280	5	5.0	2	0.6	8.2	1.5-43.7	0.013*
HDL Cholesterol (mg/dl)							
>60	5	5.0	29	9.7	1		
41-59	36	36.0	97	32.3	2.1	0.8-5.6	0.159
≤40	59	59.0	174	58.0	1.9	0.7-5.2	0.216
LDL Cholesterol (mg/dl)							
<100	42	42.0	126	42.0	1		
100-129	23	32.0	105	35.0	0.7	0.4-1.2	0.213
130-159	12	12.0	49	16.4	0.8	0.4-1.7	0.531
160-189	17	17.0	16	5.3	3.1	1.4-6.8	0.006*
>190	6	6.0	4	1.3	5.7	1.3-24.6	0.020*
Triglyceride (mg/dl)							
<150	52	52.0	187	62.3	1		
150-199	26	26.0	58	19.3	1.6	0.9-2.9	0.084
≥200	22	22.0	55	18.3	1.5	0.8-2.7	0.196
Creatinine (mg/dl)							
≤1	48	48.0	177	59.0	1		
>1	52	52.0	123	41.0	1.7	1.0-2.8	0.037*
Active smoking							
No	86	86.0	273	91.0	1		
Yes	14	14.0	27	9.0	1.9	0.9-4.5	0.108
Alcohol consumption							
No	96	96.0	297	99.0	1		
Yes	4	4.0	3	1.0	4.0	0.9-17.9	0.070
Microvascular complications							
No	64	64.0	212	70.7	1		
1	22	22.0	68	22.7	1.1	0.6-1.9	0.741
>1	14	14.0	20	6.6	2.4	1.1-5.2	0.024*
Body mass index (kg/m ²)							
18.5-22.9	34	34.0	88	29.3	1		
23.0-24.9	23	23.0	55	18.3	1.0	0.6-1.9	0.903

Table 2 Univariable conditional logistic regression analysis of characteristics associated with AIS patients (cont.)

Characteristic	Cases		Controls		OR _c ^a	95%CI	p-value
	n	%	n	%			
25.0-29.9	29	29.0	107	35.7	0.7	0.4-1.2	0.198
≥30.0	12	12.0	44	14.7	0.7	0.3-1.5	0.316
<18.5	2	2.0	6	2.0	0.9	0.2-4.6	0.892

^a Univariable conditional logistic regression analysis performed on 100 matched pairs, AIS=Acute ischemic stroke, AF= atrial fibrillation, BP= blood pressure, HbA1c= hemoglobin A1c, CVD= cardiovascular disease, FPG= fasting plasma glucose, OR_c= crude odds ratio, CI= confidence interval

*Significant at p-value < 0.05

Table 3 Multivariable conditional logistic regression analysis of cholesterol associated with AIS patients.

Variables	OR _c	95%CI	p-value	OR _{adj}	95%CI	p-value
Total Cholesterol (mg/dl)						
<200	1			1		
200-239	0.4	0.2-1.0	0.060	0.8	0.4-1.7	0.069
240-279	5.9	2.7-12.9	<0.001*	4.3	1.4-13.7	0.013*
≥280	8.2	1.5-43.7	0.013*	7.7	1.1-57.5	0.045*
LDL Cholesterol (mg/dl)						
<100	1			1		
100-129	0.7	0.4-1.2	0.213	0.7	0.4-1.5	0.409
130-159	0.8	0.4-1.7	0.531	0.5	0.2-1.3	0.153
160-189	3.1	1.4-6.8	0.006*	2.6	0.9-6.7	0.055
≥190	5.7	1.3-24.6	0.020*	5.0	0.7-33.8	0.097

OR_c = crude odds ratio, AIS=acute ischemic stroke, CI=confidence interval

OR_{adj} = adjusted odds ratio for history of AF, diastolic BP, systolic BP, HbA1c, history of CVD, FPG, creatinine, and microvascular complications

*Significant at p-value < 0.05

ข้อมูลผู้ป่วย AIS

Cases เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 และป่วยเป็น AIS ที่ได้รับการตรวจวินิจฉัยยืนยันด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ระหว่างเดือน มกราคม 2556 – ธันวาคม 2559

ส่วนใหญ่ มีน้ำหนัก 55-64 กิโลกรัม (ร้อยละ 31) และมีส่วนสูงระหว่าง 150-159 เซนติเมตร (ร้อยละ 51) เมื่อพิจารณาขนาดรูปร่างโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะน้ำหนักเกิน และภาวะอ้วน (ร้อยละ 64) ดัง Table 4

Table 4 Characteristics of the studied cases.

Variables	Cases (n=100)	
	No.	%
Weight (kg)		
<45	2	2.0
45-54	27	27.0
55-64	31	31.0
65-74	25	25.0
≥75	15	15.0
Mean (SD)	62.7 (11.4)	
Height (cm)		
<150	4	4.0
150-159	51	51.0
160-169	38	38.0
≥170	7	7.0
Mean (SD)	158.8 (7.9)	
Body size		
Normal	34	34.0
Overweight	23	23.0
Obese I	29	29.0
Obese II	12	12.0
Underweight	2	2.0

วิจารณ์และสรุปผล

ประชากรที่ศึกษา เป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่มารับบริการที่โรงพยาบาลพุทธโสธร จ.ฉะเชิงเทรา ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 68) และมีอายุ ≥70 ปี (ร้อยละ 43) เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านประชากร พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายคลึงกันทั้งด้านอายุ เพศ และระยะเวลาที่เป็นเบาหวาน เมื่อควบคุมปัจจัยด้านการแพทย์ ได้แก่ ประวัติการเต้นหัวใจ ความดันโลหิตสูงทั้งชนิดซิสโตลิก และไดแอสโตลิก ระดับน้ำตาล HbA1c ประวัติโรคหัวใจ ระดับน้ำตาล FPG ระดับครีเอตินิน และภาวะแทรกซ้อนของหลอดเลือดขนาดเล็กที่สัมพันธ์กับ AIS พบว่ากลุ่มที่มีระดับโคเลสเตอรอลรวม > 240 มก/ดล.เสี่ยงที่จะเกิด AIS สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา²⁶⁻²⁸ ในขณะที่บางงานวิจัย

ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว^{29,30} สำหรับในงานวิจัยนี้ ผู้ป่วยเบาหวานที่มีระดับโคเลสเตอรอล > 240 มก/ดล. พบร้อยละ 9.25 และเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดเฉพาะผู้ป่วยเบาหวานที่เป็น AIS สูงถึงร้อยละ 23

การที่ระดับไขมันในเลือดโดยเฉพาะคอเลสเตอรอลส่งผลกระทบต่อโรคหลอดเลือดสมอง สามารถอธิบายได้ว่า ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดที่สูง เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) โดยมีการสะสมของคราบไขมันในผนังด้านในหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดตีบแคบลง และถ้าเลือดไปเลี้ยงสมองไม่เพียงพอ จะทำให้เซลล์สมองตาย จนเกิดภาวะสมองขาดเลือด ดัง Figure 2

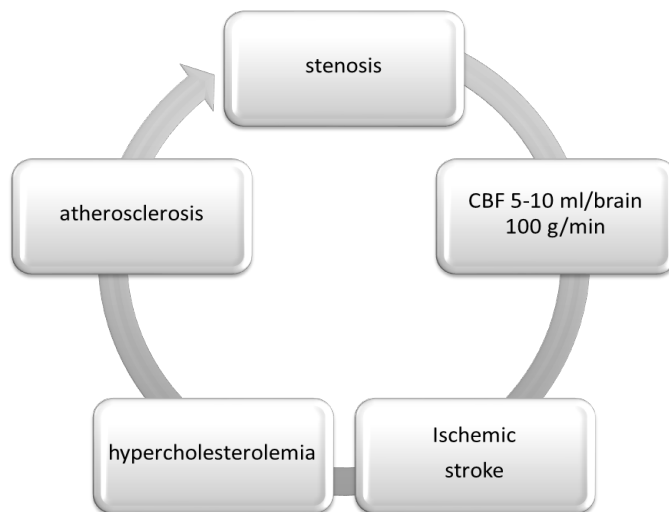


Figure 2 Schematic flow diagram model 1

นอกจากนี้อาจเกิดจากอุดตันเฉียบพลันของหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงสมอง โดยอธิบายได้ว่า เมื่อเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง เกิดภาวะเสื่อมของหลอดเลือด และมีการอักเสบที่ผนังด้านในของหลอดเลือด ทำให้คราบไขมันที่เกาะตามผนังหลอดเลือด เกิดปริและกระเทาะออกมา ซึ่งกระตุ้นให้เกิด

เลือดมาเกาะรวมตัวในบริเวณที่เกิดพยาธิสภาพ ทำให้เกิดลิ่มเลือดอุดตันหลอดเลือดอย่างเฉียบพลัน³¹⁻³⁴ ขาดเลือดที่จะหล่อเลี้ยงสมอง ทำให้เซลล์สมองตาย และทำให้เกิดภาวะสมองขาดเลือดในที่สุด³⁵⁻³⁸ ดัง Figure 3

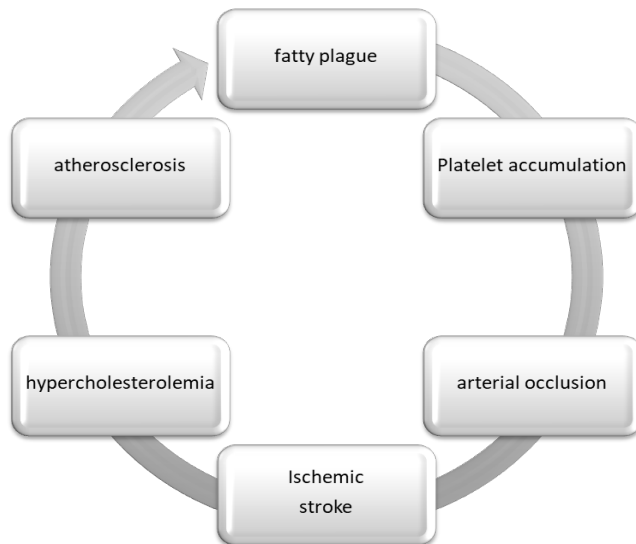


Figure 3 Schematic flow diagram model 2

งานวิจัยนี้ พบว่าระดับ LDL-C ในเลือดที่สูงกว่า 160 มก/ดล จะเพิ่มความเสี่ยงต่อ AIS สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา²⁹ ระดับ LDL-C ในเลือดที่มากเกินไป ส่งผลต่อการเกิด AIS สามารถอธิบายได้ว่า LDL จะพาคอเลสเตอรอลเข้าสู่หลอดเลือดแดง และนำ คอเลสเตอรอลไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ เพื่อสะสมในเซลล์ กระบวนการ oxidation ทำให้เกิด oxidized LDL และถูก macrophage จับกิน จนเกิด foam cell ขึ้นสะสมที่บริเวณผนังชั้นในของหลอดเลือดแดงที่ไปเลี้ยงสมอง และทำให้เกิด

คราบไขมันสะสมจนกลายเป็นก้อนไขมันในเวลาต่อมา ทำให้บริเวณนั้นตีบแคบลง ส่งผลให้เลือดไปเลี้ยงสมองน้อยลง ทำให้เกิดภาวะขาดเลือด และการตายของเนื้อเยื่อตามมา³¹

การป้องกัน ได้แก่ ควบคุมการบริโภคอาหารให้เหมาะสม การปรับอาหารประเภท DASH (dietary approaches to stop hypertension)^{39,40} ซึ่งประกอบด้วย ธัญพืช ผัก ผลไม้ และอาหารนมเนยไขมันต่ำ ทานอาหารที่มีไขมันรวมต่ำ และมีไขมัน HDL และ LDL ในปริมาณที่สมดุล ทานผักผล

ไม่ในปริมาณมาก (9 ส่วน/วัน โดย 1 ส่วน เท่ากับ ส้ม 1 ผล หรือผัก ครึ่งถ้วยตวง) และทานโปรตีนพอประมาณ (20-30%ของแคลอรี) และมีการควบคุมโซเดียมน้อยกว่า 1,500 มก/วัน องค์การอนามัยโลก กำหนดให้ ใน 1 วัน ไม่ควรบริโภคไขมันมากกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 15 ของพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน หลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีไขมันทรานส์เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากส่งผลให้เกิดหลอดเลือดแดงแข็ง ควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวาน จะเป็นกลุ่มเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดตมอง^{44,41,42} ภาวะที่มีน้ำตาลในเลือดสูงจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด ทั้งหลอดเลือดขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ (microvascular and macrovascular changes) ได้แก่ เกิดการอักเสบของหลอดเลือด (systemic inflammation) หลอดเลือดแข็ง (arterial stiffness) และผนังหลอดเลือดสูญเสียหน้าที่ (endothelial dysfunction) นำไปสู่ภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (atherosclerosis) และโรคหลอดเลือดตมอง^{44,45} ฉะนั้นการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ จะช่วยลดความเสี่ยงต่อ AIS นอกจากนี้ผู้ป่วยเบาหวาน มักมีภาวะความดันโลหิตสูงร่วมด้วย ฉะนั้นการควบคุมระดับความดันโลหิต จึงมีความสำคัญ เนื่องจากปัจจัยนี้ เป็นสาเหตุหลักของโรคหลอดเลือดตมอง⁴⁵ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดตมองลงได้⁴⁶⁻⁴⁹ ในผู้ที่เคยเป็นโรคหลอดเลือดตมองโดยทั่วไป เราสามารถประเมินตนเองได้ว่า เราเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดตมองหรือไม่ จากเครื่องมือที่มีการพัฒนา ได้แก่ Stroke Risk Calculator⁵⁰ Stroke Risk Quiz ของ American Heart Association/American Stroke Association⁵¹ National Institute of Health Stroke Scale (NIHSS) Neurologic Examination⁵² และ ABCD² score⁵³ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยใช้แบบประเมินความเสี่ยงที่เรียกว่า Thai CV risk score⁵⁴ กำหนดให้ใช้กับคนไทย อายุ 35-70 ปี และไม่เป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด

ฉะนั้น โดยสรุป จึงควรมีมาตรการการเฝ้าระวังโรคหลอดเลือดตมอง โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง หรือผู้ที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดตมอง ดำเนินการให้ความรู้ในการป้องกันด้วยตนเองก่อนที่จะเกิดโรคได้อย่างถูกต้อง รวมถึงรณรงค์ส่งเสริมปัจจัยป้องกัน ได้แก่ การออกกำลังกายที่เหมาะสมอย่างสม่ำเสมอ (moderate physical activity) การบริโภคอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพ (healthy diet) การควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (ดัชนีมวลกาย < 25 กก/ม²) การหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่สามารถป้องกันได้ ได้แก่ การไม่สูบบุหรี่ และควบคุมการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เป็นต้น และวิธีการเบื้องต้นในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ (healthy

lifestyle) ในกลุ่มเสี่ยง จะช่วยป้องกันและลดอุบัติการณ์ของโรคหลอดเลือดตมองลงได้ในระดับหนึ่ง⁵⁵⁻⁵⁷

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Strong K, Mathers CD, Bonita R. Preventing stroke: saving lives around the world. *Lancet Neurol* 2007;6:182-7.
- Johnston SC, Mendis S, Mathers CD. Global variation in stroke burden and mortality: estimates from monitoring, surveillance, and modelling. *Lancet Neurol* 2009;8:345-54.
- Mackay J, Mensah GA. The atlas of heart disease and stroke. Geneva: World Health Organization;2004.
- Feigin VL, Krishnamurthi R. Epidemiology and risk factors: global burden of stroke. In: Grotta JC, Albers GW, Broderick JP, et al, eds. *Stroke: pathophysiology, diagnosis and management*. 6th ed. China: Elsevier;2016. p.165-206.
- Murray CJ, Ezzati M, Flaxman AD, et al. GBD 2010: design, definitions, and metrics. *Lancet* 2012;380(9859):2063-6.
- Bennett DA. Methodology of the global and regional burden of stroke study. *Neuroepidemiology* 2012;38(1):30-40.
- Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, et al. Global and regional burden of stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2014;383(9913):245-54.
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. การสาธารณสุขไทย 2554-2558. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก;2559.
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2553. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก;2553.
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2558. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์สามเจริญพาณิชย์(กรุงเทพ);2559.
- Suwanwela NC. Stroke epidemiology in Thailand. *J*

- Stroke 2014;16:1-7.
12. Nilanont Y, Nidhinandana S, Suwanwela NC, Hanchaiphibookkul S, Pimpak T, Tatsanavivat P, et al. Quality of acute ischemic stroke care in Thailand: a prospective multicenter countrywide cohort study. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2014;23:213–9.
 13. Hanchaiphibookkul S, Puthkhao P, Towanabut S, Tantirittisak T, Wangphonphatthanasiri K, Termglicnchan T, et al. Factors predicting high estimated 10-year stroke risk: Thai Epidemiology Stroke study. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2014;23:1969-74.
 14. Dhamasaroja P. Baseline characteristics of patients with acute ischemic stroke in suburban area of Thailand. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2008;17:82-5.
 15. Hanchaiphibookkul S, Pougvarin N, Nidhinandana S, Suwanwelan NC, Puthkhao P, Towanabut S, et al. Prevalence of stroke and stroke risk factors in Thailand: Thai Epidemiology Stroke (TES) study. *J Med Assoc Thai* 2011;94:427-36.
 16. Grotta JC, Albers GW, Broderick JP, Kasner SE, Lo EH, Mendelow AD, Sacco RL, Wong LKS. *Stroke: pathology, diagnosis, and management*. 6th ed. China: Elsevier, 2016.
 17. Adams HP, Bendixen BH, Kappelle LJ, et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. *Stroke* 1993;24:35-41.
 18. World Health Organization Meeting on Community Control of Stroke and Hypertension. *Control of Stroke in the community : methodological considerations and protocol of WHO stroke register*. CVD/s/73.6 Geneva: WHO, 1973.
 19. Furie KL, Lev MH, Koroshetz WJ. Evaluation of acute stroke etiologies. In Greer DM, editor. *Acute ischemic stroke: an evidence-based approach*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2007. p. 197-212.
 20. Ay H, Furie KL, Singhal A, Smith WS, Sorensen AG, Koroshetz WJ. An evidence-based causative classification system for acute ischemic stroke. *Ann Neurol* 2005;58:688-97.
 21. Ay H, Benner T, Arsava EM, Furie KL, Jensen MB, et al. A computerized algorithm for etiologic classification of ischemic stroke: the causative classification of stroke system. *Stroke* 2007;38:2979-84.
 22. Ay H. Classification of ischemic stroke. In Grotta JC, Albers GW, Broderick JP, Kasner SE, Lo EH, Mendelow AD, Sacco RL, Wong LKS, editors. *Stroke: pathology, diagnosis, and management*. 6th ed. China: Elsevier; 2016. p. 295-307.
 23. Hossman KA, Heiss WD. Neuropathology and pathophysiology of stroke. In: Brainin M, Heiss WD, editors. *Textbook of stroke medicine*. 1st ed. New York: Cambridge University Press; 2010. p. 1-27.
 24. Dupont WD. Power calculations for matched case-control studies. *Biometrics* 1988;44:1157-68.
 25. Sacco RL, Shi T, Zamanillo MC, Kargman DE. Predictors of mortality and recurrence after hospitalized cerebral infarction in an urban community: the Northern Manhattan Stroke Study. *Neurology*. 1994;44: 626–34.
 26. Iso H, Jacobs DR Jr, Wentworth D, et al. Serum cholesterol levels and six-year mortality from stroke in 350,977 men screened for the multiple risk factor intervention trial. *New Engl J Med* 1989;320:904-10.
 27. Benfante R, Yano K, Hwang LJ, et al. Elevated serum cholesterol is a risk factor for both coronary heart disease and thromboembolic stroke in Hawaiian Japanese men. Implications of shared risk. *Stroke* 1994;25:814-20.
 28. Lewington S, Whitlock G, Clarke R, Sherliker P, Emberson J, Halsey J, et al. Prospective studies collaboration. Blood cholesterol and vascular mortality by age, sex, and blood pressure: a meta-analysis of individual data from 61 prospective studies with 55,000 vascular deaths. *Lancet* 2007;370:1829-39.
 29. Sharhar E, Chambless LE, Rosamond WD, Boland LL, Ballantyne CM, McGovern PG, et al. Atherosclerosis risk in communities study. Plasma lipid profile and incident ischemic stroke: the atherosclerosis risk in communities (ARIC) study. *Stroke* 2003;34:623-31.
 30. Cholesterol, diastolic blood pressure and stroke: 13,000 strokes in 450,000 people in 45 prospective cohorts. Prospective studies collaboration. *Lancet* 1995;346:1647-53.

31. It0 MK. Dyslipidemia. In Chishalm-Buens M, Schwinghammer T, Wells B, Malone P, Kolesar J, Dipiro J, editors. *Pharmacotherapy principles & practice*. 2nd ed., Philadelphia: McGraw-Hill; 2010. p. 229-48.
32. Epidemiology and pathophysiology. In Durring P, Sniderman A, editors. *Hyperlipidemia*. 2nd ed., Oxford: Health Press, 2002. p. 20-33.
33. Tabert RL. Dyslipidemia. In Dipiro JT, Talbert RL, Yee GC, Matzke GR, Wells BG, Posey LM. *Pharmacotherapy a pathophysiologic approach*. 8th ed., Philadelphia: McGrawHill, 2011. p. 365-88.
34. Marenah CB. Lipid metabolism, hyper- and hypolipidaemias. In Marshall WJ, Bangert SK. *Clinical biochemistry metabolic and clinical aspect*. 2nd ed., Sydney: Churchill Livingstone Elsevier, 2008. p. 749-82.
35. Faxon DP, Fuster V, Libby P, Beckman JA, Hiatt WR, Thompson RW, et al. Atherosclerotic vascular disease conference: writing group III: pathophysiology. *Circulation* 2004;109:2617-25.
36. Zazulia AR, Markham J, Powers WJ. Cerebral blood flow and metabolism in human cerebrovascular disease. In: Mohr JP, Choi DW, Grotta JC, Weir B, Wolf PA, editors. *Stroke: pathophysiology, diagnosis, and management*. 4th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2004. 799-820.
37. Auer RN. Histopathology of cerebral ischemia. In: Mohr JP, Choi DW, Grotta JC, Weir B, Wolf PA, editors. *Stroke: pathophysiology, diagnosis, and management*. 4th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2004. 821-8.
38. Powers WJ. Cerebral blood flow and metabolism: regulation and pathophysiology in cerebrovascular disease. In Grotta JC, Albers GW, Broderick JP, Kasner SE, Lo EH, Mendelow AD, Sacco RL, Wong LKS, editors. *Stroke: pathology, diagnosis, and management*. 6th ed. China: Elsevier;2016. p. 28-46.
39. Bazzano LA, Green T, Harrison TN, Reynolds K. Dietary Approaches to Prevent Hypertension. *Curr Hypertens Rep* 2013; 15: 694-702.
40. Sacks FM, Svetkey LP, Vollmer WM, Appel LJ, Bray GA, Harsha D, et al. DASH-Sodium Collaborative Research Group. Effects on blood pressure reduced dietary sodium and the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet. *DASH-Sodium Collaborative Research Group. N Engl J Med* 2001;344:3-10.
41. O'Donnell MJ, Xavier D, Liu L, Zhang H, Chin SL, Rao-Melacini P, et al. Risk factors for ischemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. *Lancet* 2010; 376: 112-23.
42. Shah SMA, Shah SMS, Khan S, et al. Addressing the impact of stroke risk in a case control study in tertiary care hospitals: a case-control study in tertiary care hospitals of Peshawar, Khyber Phukhtoonkhwa (KPK) Pakistan. *BMC Res Notes* 2013; 6: 268.
43. Tunn NN, Arunagirinathan G, Munchi SK, Pappachan JM. Diabetes mellitus and stroke: a clinical update. *World J Diabetes* 2017; 8: 235-48.
44. Chen R, Ovbiagele B, Feng W. Diabetes and stroke: Epidemiology, pathophysiology, pharmaceuticals and outcomes. *Am J Med Sci* 2016; 351: 380-6.
45. Seshadri S, Wolf PA. Modifiable risk factors and determinants of stroke. In Grotta JC, Albers GW, Broderick JP, Kasner SE, Lo EH, Mendelow AD, Sacco RL, Wong LKS, editors. *Stroke: pathology, diagnosis, and management*. 6th ed. China: Elsevier;2016. p. 217-33.
46. UK Prospective Diabetes Study Group. Tight blood pressure control and risk of macrovascular complications in type 2 diabetes: UKPDS 33. *BMJ* 1998;317:703-13.
47. Holman RR, Paul SK, Bethel MA, et al. Long-term follow-up after tight control of blood pressure in type 2 diabetes. *N Engl J Med* 2008;359:1565-76.
48. Curb JD, Pressel SL, Cutler JA, et al. Effect of diuretic-based antihypertensive treatment on cardiovascular disease risk in older diabetic patients with isolated systolic hypertension. *Systolic Hypertension in the Elderly Program Cooperative Research Group. JAMA* 1996;276:1886-92.
49. Meschia JF, Bushnell C, Boden-Albala R, et al. Guidelines for the primary prevention of stroke. *Stroke* 2014;45:3754-832.

50. Stroke Risk Calculator (Accessed 29 January 2018, at <http://stroke.ucla.edu/stroke-risk-calculator>).
51. Furie KL, Kasner SE, Adams RJ, Albers GW, Bush RL, Fagan SC, et al. Guidelines for prevention of stroke in patients with ischemic stroke or transient ischemic attack. A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association council on stroke. *Stroke* 2011; 42: 227-76.
52. Lyden P, Raman R, Liu L, Grotta J, Broderick J, Olson S, et al. NIHSS training and certification using a new digital video disk in reliable. *Stroke* 2005; 36: 2446-9.
53. Johnston SC, Rothwell PM, Nguyen Huynh MN, Giles MF, Elkins JS, Bernstein AL, et al. Validation and refinement of scores to predict very early stroke risk after transient ischemic attack. *Lancet* 2007; 369: 283-92.
54. Thai CV risk score (Accessed 29 January 2018, at https://med.mahidol.ac.th/cardio_vascular_risk/thai_cv_risk_score/).
55. Strong K, Mathers C, Bonita R. Preventing stroke: saving lives around the world. *Lancet Neurol* 2007; 6: 183-87.
56. Kurth T, Moore S, Gaziano J, Kase C, Stampfer M, Berger K, Buring J. Health lifestyle and the risk of stroke in women. *Arch Intern Med* 2006;166:1403-9.
57. Chiuve SE, Rexrode KM, Spiegelman D, Logroscino G, Manson JE, Rimm EB. Primary prevention of stroke by health lifestyle. *Circulation* 2008;118:947-54.

อุปกรณ์ลดแรงต้านเพื่อประหยัดเชื้อเพลิงของรถบรรทุก

Drag Force Reduced Devices for Fuel Saving of Truck

ปรัชญา มุขดา

Prachya Mukda

Received: 17 April 2018 ; Revised : 21 August 2018 ; Accepted: 5 October 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบอุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุก โดยแบ่งการตรวจสอบเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการออกแบบอุปกรณ์เสริมด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD) เพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) โดยใช้กรณี (a) รถบรรทุกปกติ ซึ่งถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นดังต่อไปนี้คือ กรณี (b) ติดตั้งอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ กรณี (c) เพิ่มอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ กรณี (d) เพิ่มอุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ และ (e) เพิ่มอุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลงจากกรณี (a) คือ 0.04, 0.08, 0.11 และ 0.14 ตามลำดับ ขั้นตอนที่สอง คือการสร้าง ติดตั้ง และทดสอบกับรถบรรทุกจริง เพื่อตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลงจากกรณีปกติคือ 1.40, 2.00, 3.60 และ 4.60 ลิตร/100 กิโลเมตร ตามลำดับ จากผลแสดงให้เห็นว่า ผลของสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) และผลทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันมีค่าที่สอดคล้องกัน สามารถยืนยันได้ว่า การใช้วิธีจำลองเชิงตัวเลขนั้น สามารถนำมาออกแบบอุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุกได้อย่างถูกต้อง สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ของรถประเภทอื่นได้ต่อไป

คำสำคัญ: อากาศพลศาสตร์ วิธีจำลองเชิงตัวเลข สัมประสิทธิ์แรงต้าน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

Abstract

This research investigated the design of aerodynamic accessories of trucks using two methods. The first method designed accessories by computational fluid dynamics (CFD) to investigate the drag coefficient (C_D). Case (a) was an unmodified truck which was used to compare with other cases. These cases were (b) addition of a bottom deflector, (c) addition of a roof deflector, (d) addition of a cover-gap and (e) addition of a closed-box. In case (a), the drag coefficient values decreases were 0.04, 0.08, 0.11 and 0.14 respectively. In the second method, real aerodynamic devices were constructed, setup, and tested to investigate fuel consumption. In case (a) the fuel consumption decreases were 1.40, 2.00, 3.60 and 4.60 Liters/100 km respectively. The results show that the drag coefficients and the fuel consumptions correspond together. It confirms that computational fluid dynamics can be conducted to accurately design aerodynamic accessories of trucks and can be applied to the design of other accessories in the future.

Keywords: Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics, Drag Coefficient, Fuel Consumption

บทนำ

การขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ เป็นตัวแปรที่มีผลทำให้เกิดวิกฤตด้านพลังงานของประเทศไทย เพราะพลังงานเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบเศรษฐกิจสามารถขับเคลื่อน ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2557 (Figure 1) แสดงให้เห็นว่า การขนส่งมีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด เทียบเท่ากับการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

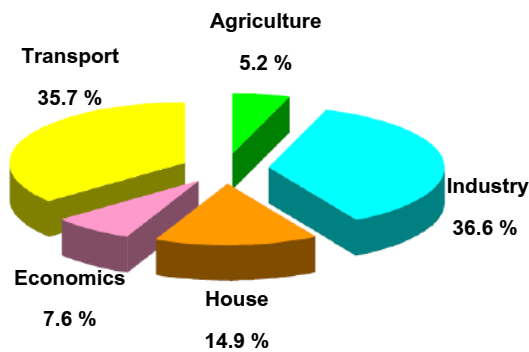


Figure 1 Proportion of energy using in Thailand¹

Table 1 Energy proportion of transportation in Thailand¹

Type of Transportation	Pure oil (Ton billion)	Percentages
Truck	17,684	75.96 %
Train	104	0.45 %
Ship	1,645	7.07 %
Airline	3,847	16.52%

ซึ่งการขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ จำเป็นต้องใช้ยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่เพื่อความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น รถไฟ เรือ หรือเครื่องบินแต่เนื่องจากระบบการจัดการขนส่งสินค้าภายในประเทศยังไม่มีพัฒนาที่ดีพอกับการคมนาคมขนส่งของยานพาหนะดังกล่าว รถบรรทุกขนาดใหญ่ หรือรถบรรทุกที่มีขนาดมากกว่า 10 ตัน จึงเป็นยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งภายในประเทศมากที่สุด ตาม Table 1 เพราะความเหมาะสมกับสภาพถนน สภาพภูมิประเทศ และต้นทุนในการขนส่ง ดังนั้นในภาครัฐจึงต้องมีมาตรการลดการใช้พลังงานของรถบรรทุกให้มากที่สุด

การส่งเสริมการใช้รถบรรทุกประหยัดพลังงาน ก็เป็นนโยบายหนึ่งของมาตรการ ซึ่งภาคอุตสาหกรรมการผลิตและนักวิจัย จึงพยายามคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ที่สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกให้มากที่สุด อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น การใช้

พลังงานทดแทน การใช้เครื่องยนต์พลังงานแบบผสม (Hybrid engine) ก็เป็นหนทางหนึ่ง ที่จะทำให้มาตรการนั้นประสบผลสำเร็จ แต่ที่สำคัญไม่น้อยกว่าเรื่องของเครื่องยนต์ก็คือ การลดแรงต้านอากาศซึ่งยังไม่มีการศึกษาในเชิงออกแบบอุปกรณ์เสริมเพื่อลดแรงต้าน หรือพัฒนามากนักการพัฒนาอุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ที่มีอิทธิพลโดยตรงกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากนัก โดยเฉพาะอุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งมากับทิศทางการไหลของอากาศ และยื่นออกจากตัวรถ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เพิ่มแรงต้านอากาศ (Pressure drag) โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะดูดซับพลังงานส่วนเสถียร ความดัน และเสถียรความเร็ว ของอากาศเมื่อปะทะกับรถ เช่น กันชนรถยนต์, อุปกรณ์บังแสงแดดด้านข้างกระจก, อุปกรณ์สำหรับวางของบนหลังคา เป็นต้น และสาเหตุการเกิดแรงต้านที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศผ่านรถยนต์นั้น ยังมีแรงต้านเนื่องจากการไหลของอากาศเข้าสู่ภายในรถยนต์ (Internal flow loss) โดยอากาศสามารถไหลเข้าผ่านช่องว่างระหว่างส่วนประกอบของชิ้นส่วนรถยนต์ ทำให้เกิดการหมุนวนภายใน ซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับช่วงห่างระหว่างห้องผู้โดยสารกับส่วนท้าย กระบะของรถบรรทุก ตามสัดส่วนของแรงต้านใน Figure 2²

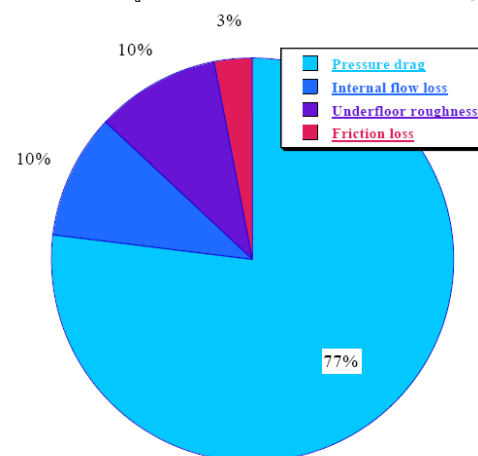


Figure 2 Drag proportion of car²

จากผลการวิจัยที่ผ่านมา ได้นำความรู้เรื่องอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุกขนาด 10 ตัน มาศึกษาสัมประสิทธิ์แรงต้าน และแรงต้านอากาศ โดยทำการศึกษาทั้งการทดลองและด้านการจำลองโดยใช้โปรแกรมการจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ซึ่งแบบจำลองเชิงตัวเลขของไหลพลศาสตร์ (Modeling) นั้นได้ผ่านการยืนยันผลกับการทดลอง (Validation) ระหว่างการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถด้วยอุโมงค์ลม ซึ่งได้ผลต่างไม่เกิน 5 % ซึ่งรูปแบบเงื่อนไขของการจำลองเชิงตัวเลข แสดงไว้ Table 3³

Table 2 Condition for computation fluid dynamics³

GAMBIT 3D	
Inlet boundary condition	Velocity inlet
Outlet boundary condition	Pressure outlet
Grid	728,644 cell ³
FLUENT 3D	
Solve	Segregated Solver
Linearization	Implicit method
Turbulent model	Standard k-epsilon
Near-wall treatment method	Standard wall function
Velocity testing	10 – 25 m/s

หลังจากนั้น ตรวจสอบสัมประสิทธิ์แรงต้านมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่างๆ เปรียบเทียบกันทั้งหมด 5 กรณี เพื่อคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่แสดงใน Table 3⁴ โดยใช้ทฤษฎีของ Leuschen J and Cooper KR.⁵

Table 3 Fuel consumption to average velocities⁴

Case studies	Liters / 100 km	Percentage
(1) Non-modified truck	-	-
(2) Closed-dump box	2.33	7.76 %
(3) Opened-dump box	-2.59	-8.63 %
(4) Dump box equipped with flat plate at the end rear	-3.82	-12.73 %
(5) Dump box equipped with ellipsoid shape at rear end	-6.56	-21.86 %

ผลจากงานวิจัยดังกล่าว ทำให้ทราบถึงแนวทางในการลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เสริมที่สามารถทำให้ลดสัมประสิทธิ์แรงต้าน ที่เกิดมาจากความแตกต่างของแรงดันด้านหน้าและด้านหลังยานนั้นลดลง ตามสมการที่ (1)

$$F_D = \int_{front} p \cos \theta dA - \int_{back} p \cos \theta dA \quad (1)$$

เมื่อ F_D คือแรงต้านรวมของรถ (N), p คือค่าแรงดันอากาศ (N/m²), A คือพื้นที่หน้าตัด ด้านหน้าและด้านหลังของรถ

ดังนั้น จากเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นแนวทางที่สำคัญที่นำมาต่อยอดในงานวิจัยนี้ ด้วยการออกแบบอุปกรณ์เสริมติดตั้งและทดสอบจริง

การดำเนินงานวิจัยและผลการทดสอบ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการออกแบบ สร้างอุปกรณ์เสริมต้นแบบ เพื่อติดตั้งและทดสอบจริง กับรถบรรทุกยี่ห้อ ISUZU DECA รุ่น FXZ 240 โดยทำการตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้ง 2 วิธี คือวิธีจำลองเชิงตัวเลข และการติดตั้งและทดสอบจริง เพื่อยืนยันความถูกต้อง และการอภิปรายผล โดยอุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมด 4 อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้คือ

- (1) รถบรรทุกปกติ (Non-modified truck)
 - (2) อุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ (Bottom deflector)
 - (3) อุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคารถ (Roof deflector)
 - (4) อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ (Cover-gap)
 - (5) อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก (Closed-box)
- ซึ่งการทดสอบนั้นจะเริ่มต้นจากกรณี (a) ปกติ (ซึ่งเป็นกรณีใช้เปรียบเทียบ) จากนั้นกรณี (b), (c), (d) และ (e) เป็นการติดตั้งเพิ่มขึ้นทีละอุปกรณ์ตามกรณีการทดสอบที่เพิ่มขึ้น

1. การออกแบบด้วยวิธีจำลองเชิงตัวเลข (CFD)

ขั้นตอนแรก ด้วยการใช่วิธีจำลองเชิงตัวเลข ด้วยการใช้เงื่อนไขที่ผ่านการยืนยันผลแล้ว (Validation) จากงานวิจัยที่ผ่านมา ตาม Table 2 นำมาจำลองเพื่อออกแบบอุปกรณ์เสริมด้วยการเปลี่ยนแปลงรัศมีโค้ง และการปรับมุมที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านรวมที่น้อยที่สุด ใช้ความเร็วในการทดสอบในช่วง 36 – 126 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อุปกรณ์ดังกล่าว แสดงใน Figure 3

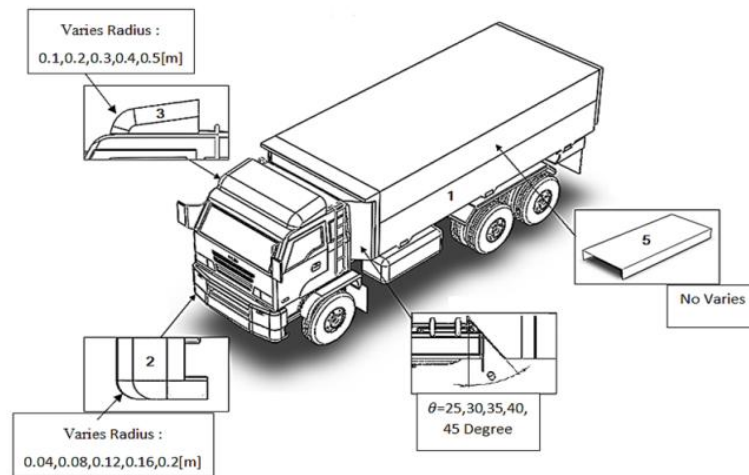


Figure 3 Study cases for CFD design

2. การติดตั้งและทดสอบจริง

หลังจากการจำลองสัมประสิทธิ์แรงต้านของอุปกรณ์เสริม ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการออกแบบที่ใช้ติดตั้งเพื่อทดสอบจริงกับรถบรรทุกทั้ง 5 กรณีตาม Figure 4 รายละเอียดดังนี้คือ

- (1) รถบรรทุกปกติที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม
- (2) ค่ารัศมีของอุปกรณ์เสริมด้านหน้ารถบรรทุกที่เหมาะสม คือ 0.20 m
- (3) ค่ารัศมีของอุปกรณ์เสริมผิวโค้งบริเวณหลังคาที่เหมาะสม คือ 0.50 m
- (4) ค่าของมุมอุปกรณ์เสริมปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระเบื้องที่เหมาะสม คือ 35 องศา
- (5) ปิดกระเบื้องบรรทุกด้วยผ้าใบครอบกระเบื้องบรรทุกทั้งหมด

ในการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ ISUZU DECA รุ่น FXZ 240 น้ำหนัก 13 ตัน 360 แรงม้า 9,839 ซีซี ความจุถังเชื้อเพลิง 370 ลิตร ในการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงวิ่งทดสอบจาก บริษัท พรอส เพอร์ตี คอนกรีต จำกัด ไปยัง บริษัท สโตนวัน จำกัด มหาชน ทดสอบวิ่งปกติในช่วงความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะทางที่ใช้ในการทดสอบแต่ละรอบโดยเฉลี่ยแล้วเท่ากับ 50 กิโลเมตร วันละ 8 รอบ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบเก็บผล 1 เดือน โดยใช้รถคันเดียวในการทดสอบ

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน เก็บข้อมูลโดยการเติมน้ำมันเต็มถังทำการวิ่งทดสอบ และกลับมาเติมน้ำมันเต็มถังอีกครั้งหนึ่งเพื่อตรวจสอบน้ำมันที่ใช้ไปของแต่ละรอบ ทุกๆกรณีทดสอบทั้ง 5 กรณี



(a) (1)



(b) (1) + (2)



(c) (1) + (2) + (3)



(d) (1) + (2) + (3) + (4)



(e) (1) + (2) + (3) + (4) + (5)

Figure 4 accessory devices set up of every case

ผลและการวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบนั้นสัมประสิทธิ์แรงต้านจะลดลงหรือเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของความดันและความแปรปรวนของอากาศรอบบริเวณของรถบรรทุกโดยหลักการของการออกแบบคือเพื่อลดความแปรปรวนของอากาศหรือลดความแตกต่างของความดันด้านหน้า และด้านหลังจากการปะทะของอากาศกับรถบรรทุกโดยสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ (1)

กรณี (a) รถบรรทุกปกติ ขนาดของแรงต้านจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก คือ ผลต่างของการกระจายตัวของความดันรอบๆบริเวณตัวรถและความแปรปรวนของอากาศที่ผ่านตัวรถ หากพิจารณาจาก Figure 5 (a) สามารถแบ่งความแตกต่างของความดันออกเป็น 3 บริเวณความดันคือ บริเวณห้องโดยสาร บริเวณกระบะบรรทุก และบริเวณท้ายรถ ซึ่งทั้ง 3 บริเวณนี้แตกต่างของความดันอย่างชัดเจน โดยที่บริเวณห้องโดยสารจะมีความดันสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ส่วนบริเวณกระบะบรรทุกและบริเวณท้ายรถจะมีความดันลดลง ผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการไหลย้อนกลับ หรือการหมุนวนของอากาศ อากาศที่หมุนวนแสดงถึงสภาวะที่มีความดันต่ำเนื่องจากอัตราเร็วของอากาศมีความต่างกันสูง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเส้นระดับแถบสีความดันแล้ว หากต้องการลดค่าของสัมประสิทธิ์แรงต้านของรถบรรทุกจะต้องลดค่าผลต่างของความดันบริเวณรอบๆตัวรถลงหรือลดความแปรปรวนของอากาศผ่านตัวรถ ดังนั้นจึงได้มีการปรับแต่งและติดตั้งอุปกรณ์เสริมขึ้นเพื่อต้องการลดแรงต้านของรถบรรทุกดังนี้คือ

กรณี (b) ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ

การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เสริมนี้ เป็นผลพวงมาจากกรณี (a) คือแนวคิดในการออกแบบเกี่ยวกับแรงต้านที่เกิดขึ้นกับของภาคตัดขวางของรถ (Frontal Area) ซึ่งจะมีอิทธิพลมากที่สุดกับสัมประสิทธิ์แรงต้าน หรือแรงต้านที่เกิดขึ้นกับตัวรถ ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นอุปกรณ์เสริมด้านล่างหน้ารถ จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนช่วยลดแรงดันอากาศด้านหน้า เนื่องจากอากาศที่ปะทะด้านหน้านั้นมีค่าที่สูงมาก ส่วนโค้งด้านล่างนี้ จะทำให้อากาศที่เข้าปะทะเกิดการลู่เข้าสู่ด้านล่างของตัวรถ และทำให้พื้นที่ของการไหลของอากาศใต้ท้องรถลดลง ทำให้ความเร็วสูงขึ้น (เหมือนกับการไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดเล็ก) อากาศที่ไหลผ่านนี้ จะมีส่วนช่วยให้แรงดันด้านท้ายสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียแรงดันที่เกิดจากการปะทะด้านหน้าลดลง แปลงเป็นเฮดของความเร็ว ทำให้เกิดความสมดุลของอากาศระหว่างด้านหน้าและด้านหลังมากขึ้น (สังเกตจากอากาศที่หมุนวนมีขนาดเล็ก

ลง Figure 5 (b) ทำให้แรงต้าน และสัมประสิทธิ์แรงต้านลดลง จากกรณี (a)

กรณี (c) ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างรถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถ แนวคิดการออกแบบอุปกรณ์เสริมนี้ เนื่องจากมาจากกรณี (a) บริเวณส่วนห้องผู้โดยสารด้านบน เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดการแยกตัวของอากาศอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ และความต่างของแรงดันที่สูง เนื่องจากบริเวณหัวรถด้านบนมีรูปร่างเป็นเหลี่ยม ค่า

สัมประสิทธิ์แรงต้านโดยรวมจึงมีค่าสูง ดังนั้น รูปทรงลักษณะ หยอดน้ำแบ่งครึ่ง (Streamline Half-Body at a Ground Plane) จะสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงต้านได้ ซึ่งรูปทรงนี้หากมี ลักษณะที่เรียวยาวที่เหมาะสม ก็จะสามารถช่วยลดอากาศที่ หมุนวนได้ แต่อย่างไรก็ตาม แรงดูดของบริเวณผิวสัมผัสรูป ทรงของหยดน้ำที่ยาวเกินไป ก็จะทำให้มีผลกับความหนืดของ อากาศเกิดแรงต้านจากแรงเสียดทานของอากาศ (Friction force) หรือความยาวที่สั้นเกินไป

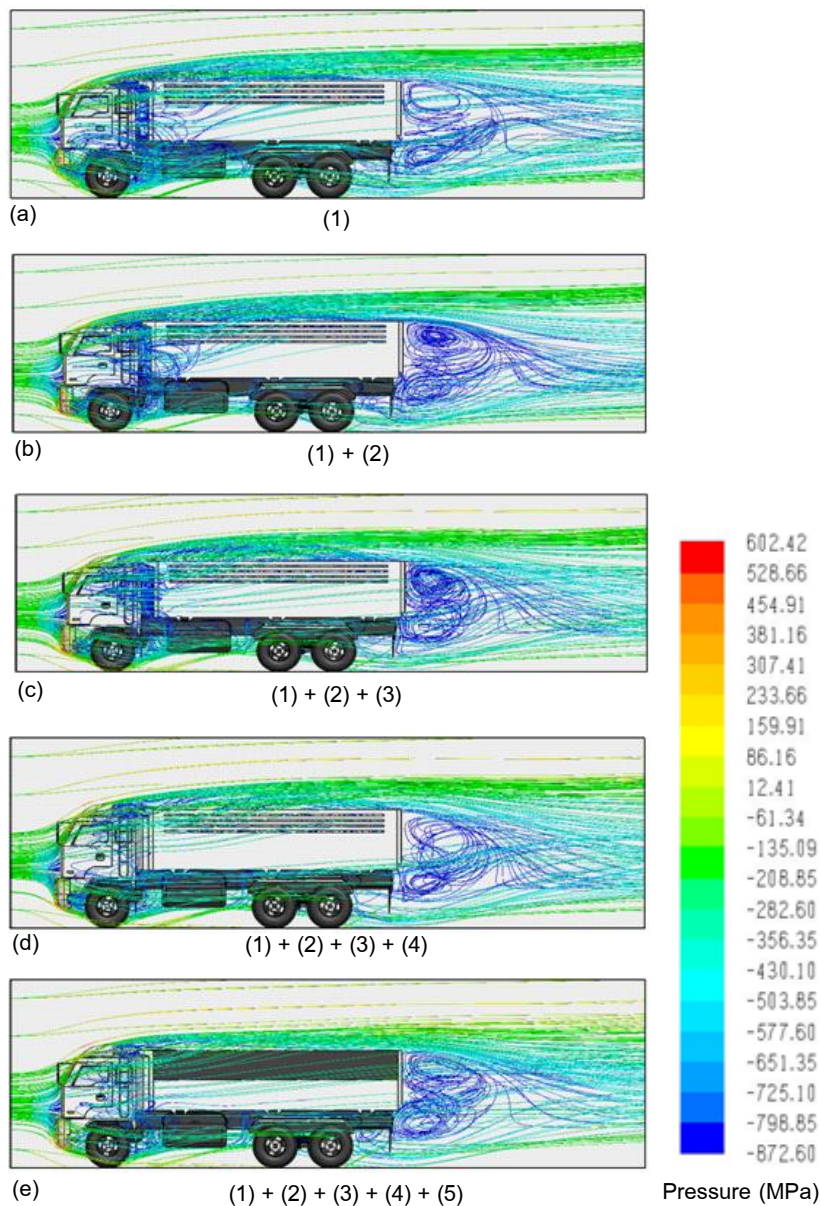


Figure 5 Pressure pathline of each case

อากาศหมุนวนบริเวณส่วนท้ายมาก ก็จะเกิดแรงต้านเหนี่ยวนำเช่นเดียวกัน (Induction force) ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับพื้นที่ของบริเวณรถ ซึ่งเป็นรูปทรงที่ดีที่สุด พิจารณาจาก Figure 5 (c) ลักษณะการไหลสมมูลกันมากขึ้น ความดันแตกต่างส่วนท้ายของรถให้มีความใกล้เคียงกับความดันส่วนหน้ามากที่สุดความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหลังการมีความเร็วสูงกว่าส่วนล่างของรถลักษณะการไหลแยกตัวของอากาศบริเวณส่วนต่างๆ ตั้งแต่บริเวณห้องโดยสาร บริเวณปิดกระบะบรรทุก และบริเวณท้ายรถน้อยลง มีความสมดุลของการไหลมากขึ้น ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านกรณีนี้ต่ำลงอีก

กรณี (d) ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างรถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ จากกรณีที่ 1 แรงต้านอีกอย่างหนึ่งที่สังเกตเห็นคือ แรงต้านอากาศที่เกิดจากการไหลเข้าภายในรถยนต์ (Internal flow loss) เป็นแรงต้านที่อากาศไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างระหว่างห้องผู้โดยสารกับส่วนกระบะบรรทุก แรงต้านประเภทนี้จะมีค่าน้อยกว่าแรงต้านที่เกิดขึ้นปัจจัยอื่น แต่ก็มีผลในเชิงทฤษฎีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นการริเริ่มแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์เสริมนี้ ซึ่งจาก Figure 4 (d) จะสังเกตเห็นการลดลงของแรงดัน และความเร็วของอากาศ ตรงบริเวณดังกล่าว เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านตัว โดยเฉพาะด้านข้างรถนั้นอากาศไม่สามารถที่จะไหลเข้าสู่ช่องว่างบริเวณส่วนหัวกับส่วนกระบะบรรทุกได้ จึงมีส่วนช่วยให้อากาศที่หมุนวนโดยรวมมีค่าต่ำลงอีก

กรณี (d) ติดอุปกรณ์เสริมด้านล่างรถ + อุปกรณ์เสริมผิวโค้งหลังคารถ + อุปกรณ์ปิดช่องว่างบริเวณรอยต่อกระบะ + อุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุก

จากกรณี (a) ส่วนบริเวณห้องผู้โดยสาร และบริเวณกระบะบรรทุก จะมีผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นสูง ทำให้เกิดการไหลย้อนกลับเรียกว่าการแยกตัว (Separation) สูงมาก และผลต่างของความดันทั้งสองบริเวณนี้ จะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศบริเวณห้องกระบะ และเกิดการปะทะกันระหว่างอากาศกับฝาท้ายกระบะบรรทุกจึงเพิ่มแรงต้านอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นการปิดกระบะบรรทุกจึงจะสามารถลดแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะรถบรรทุกที่บรรทุกสินค้าหรือบรรทุกของที่มีน้ำหนักเบา จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีอุปกรณ์นี้ เพื่อเป็นตัวช่วยในการปกปิดสินค้าที่มีผลกับสภาพบรรยากาศ และให้ถูกต้องตามกฎหมายกับการล่องหนของสินค้า ซึ่งจาก Figure 5 (e) เมื่อนำอุปกรณ์ปิดกระบะบรรทุกพร้อมกับอุปกรณ์เสริมอย่างอื่นแล้ว ทำให้สภาพอากาศที่ไหล

ผ่านตัวรถ มีความสมดุลมากขึ้น และผลในเชิงตัวเลข จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่ต่ำที่สุดหากติดตั้งอุปกรณ์เสริมรวมกันทุกตัว

ดังนั้น Table 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมกับรถบรรทุก ทำให้สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมลดลงจากเดิม และลดลงตามลำดับเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยกรณี (b), (c), (d) และ (e) ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (ΔC_D) คือ - 0.04, - 0.08, - 0.11 และ - 0.14 หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าการทดสอบจริง ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับคือ -1.4, -2.0, -3.6 และ -4.6 ลิตรต่อหนึ่งร้อยกิโลเมตร

Table 4 Drag coefficient (ΔC_D), Fuel consumption change (Δu) by comparison with (a) case

Study cases	ΔC_D	Δu Liters/100 km
(a) 1	-	-
(b) 1+2	- 0.04	- 1.40
(c) 1+2+3	- 0.08	- 2.00
(d) 1+2+3+4	- 0.11	- 3.60
(e) 1+2+3+4+5	- 0.14	- 4.60

สรุปผล

โครงการวิจัยนี้ คือการออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และทดสอบจริงของอุปกรณ์เสริมด้านอากาศพลศาสตร์ของรถบรรทุก โดยนำวิธีจำลองเชิงตัวเลขเป็นเครื่องมือในการออกแบบ ด้วยการจำลองการไหลพลศาสตร์ของอากาศผ่านตัวรถและอุปกรณ์เสริมทั้ง 4 อุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงมุม รัศมีโค้ง เพื่อหาค่าที่ให้สัมประสิทธิ์แรงต้านรวมที่ต่ำที่สุด ก่อนที่จะนำมาสร้างจริงและทดสอบจริง โดยใช้กรณี (a) เป็นกรณีเปรียบเทียบ จากผลแสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (C_D) จากวิธีจำลองเชิงตัวเลขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Δu) จากการทดสอบจริงมีแนวโน้มที่ลดลงและสอดคล้องกันตามลำดับ จึงสามารถยืนยันผลลัพธ์ของอุปกรณ์เสริม เพื่อนำไปสร้างและใช้จริงต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนกับโครงการวิจัยนี้ จาก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามมติคณะรัฐมนตรี

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยปี 2560
2. Hucho, W.H. Aerodynamics of road vehicles. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 94, 334-361, 2006.
3. ปรัชญา มุขดา และอนุชา สายสร้อย. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันกับลักษณะอากาศพลศาสตร์ของรถกระบะ ที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริมแบบต่าง ๆ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2554; 13(4):42-51.
4. Leuschen J, Cooper KR. Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers. SAE 2006.
5. ปรัชญา มุขดา “อิทธิพลของอุปกรณ์ต้านอากาศพลศาสตร์กับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถบรรทุก,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2558

การวิเคราะห์การรบกวนทางควอนตัมสำหรับแอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์กำลังสี่ในแบบเทียบเท่านิวตัน

Perturbative analysis of Newton-equivalent quantum quartic anharmonic oscillators

ศุจิพัชร จันอุณ¹, พิเชฐ วณิชชาพงศ์เจริญ^{2*}

Sujiphat Janaun¹, Pichet Vanichchajaroen^{2*}

Received: 29 August 2018 ; Revised : 1 November 2018 ; Accepted: 12 December 2018

บทคัดย่อ

ฮามิลโทเนียนแบบเทียบเท่านิวตันคือฮามิลโทเนียนที่พลวัตคลาสสิกตรงกับของฮามิลโทเนียนแบบมาตรฐาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้หาค่าสเปกตรัมและฟังก์ชันคลื่นของระบบเชิงควอนตัมในแบบเทียบเท่านิวตันสำหรับศักย์แอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์กำลังสี่ในงานวิจัยได้แสดงผลตัวอย่างของการรบกวนในอันดับต่ำๆ ซึ่งในอันดับที่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการทำให้ ผลการรบกวนในลิมิตที่ความเป็นแอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์เป็นศูนย์นั้นสอดคล้องกับผลของฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์แบบเทียบเท่านิวตันที่วิเคราะห์โดย Degasperis และ Ruijsenaars ในปี 2001 นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ศึกษาฮามิลโทเนียนของแอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์แบบเทียบเท่านิวตันซึ่งมีการจัดลำดับตัวดำเนินการในรูปแบบอื่นๆ และแสดงผลการรบกวนซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์เชื่อมโยง ซึ่งอยู่ในกรอบความคิดที่กำหนดให้โดย Sasaki และ Odake ในปี 2009 และ 2011 ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของระดับชั้นพลังงานสำหรับฮามิลโทเนียนที่มีการจัดลำดับตัวดำเนินการในรูปแบบต่างๆ

คำสำคัญ: ทฤษฎีการรบกวน แอนฮาร์โมนิกออสซิลเลเตอร์ สเปกตรัมและฟังก์ชันคลื่น ฮามิลโทเนียนแบบเทียบเท่านิวตัน ความสัมพันธ์เชื่อมโยง

Abstract

Newton-equivalent Hamiltonians are Hamiltonians whose classical dynamics agree with those from the standard Hamiltonian. In this work, we perturbatively work out energy spectra and wavefunctions of quantum mechanical Newton-equivalent Hamiltonians with quartic-anharmonicity anharmonic oscillator potentials. We show example results for low order perturbations. Higher orders can also be obtained using further iterations. Our perturbative results in the limit of zero anharmonicity are consistent with the exact results of a Newton-equivalent simple harmonic oscillator analyzed by Degasperis and Ruijsenaars in 2001. We also study other orderings of the Newton-equivalent anharmonic oscillator Hamiltonians and show that our perturbative results are consistent with the intertwining relations, which are in the framework given by Sasaki and Odake in 2009 and in 2011, relating eigenenergies of different orderings of the Hamiltonians.

Keywords: Perturbation theory, anharmonic oscillator, energy spectra and wavefunctions, Newton-equivalent Hamiltonian, intertwining relations

¹ นิสิตระดับปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และวิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน “สถาบันสำนักเรียนท่าโพธิ์ชัย” มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน “สถาบันสำนักเรียนท่าโพธิ์ชัย” มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

^{*} Master Student, Department of Physics, Faculty of Science, and The Institute for Fundamental Study, “The Tah Poe Academia Institute”, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

Introduction

In Hamiltonian analysis, the dynamics of a classical point particle of mass m moving in one dimension subject to an external potential $V(x)$ is usually described by starting from the Hamiltonian

$$H_E(x, p) = \frac{p^2}{2m} + V(x). \tag{1}$$

One type of alternative Hamiltonian giving the same dynamics was obtained by Degasperis and Ruijsenaars¹. Such Hamiltonians would be called Newton-equivalent Hamiltonians. The idea of the construction was to look for the Hamiltonian as a product of a function of p and a function of x . This results in a one-parameter family of Hamiltonians:

$$H_c = 4mc^2 \cosh\left(\frac{p}{2mc}\right) \left(1 + \frac{V(x)}{2mc^2}\right)^{1/2}, \tag{2}$$

where the parameter c was interpreted as the speed of light. Since c is a parameter, different c corresponds to different Hamiltonians, and hence describes different systems. In the limit $c \rightarrow \infty$, the Hamiltonian H_c reduce to H_E :

$$\lim_{c \rightarrow \infty} (H_c - 4mc^2) = H_E. \tag{3}$$

Note that the interpretation that c is the speed of light is given only by Degasperis and Ruijsenaars¹. However, throughout our work, we are not going to follow this interpretation. This is because c can take any value, and is not just limited to 3×10^8 m/s. By “any values” we mean that c can be anything from 0 m/s to ∞ m/s. For the Hamiltonians in eq. (2), different c corresponds to different Hamiltonians. For example, the Hamiltonian H_c with $c = 3 \times 10^8$ m/s is differed from H_c with $c = 2.4 \times 10^3$ m/s, and both of them are differed from H_c with $c = 9 \times 10^{10}$ m/s, etc.

Another reason we are not going to view as the speed of light is that the theories that we discuss in this paper are non-relativistic. All the Hamiltonians in eq. (2) with any value of give rise, via Hamilton’s equation, to the usual Newton’s equation, which is exactly the same

as that obtained from the Hamiltonian H_E in eq. (1). Note that Newton’s equation is non-relativistic, and that the parameter c does not appear anywhere. So the Hamiltonians in eq. (2) are not relativistic Hamiltonians.

Based on these reasons, we have made clear that we do not interpret c as a speed of light as in Degasperis and Ruijsenaars¹. So it should not raise any concern when c takes values different from 3×10^8 m/s. For us, we only view c as a parameter which happens to have the same symbol as speed of light and happens to have the unit m/s. Having commented on this point, let us now proceed.

The system for eq. (2) with a simple harmonic oscillator (SHO) potential as well as its quantization was investigated by Degasperis and Ruijsenaars¹. Let us call this system a Newton-equivalent simple harmonic oscillator (NESHO). The complete energy spectra and wavefunctions were studied and determined. The result suggests that although classically, the whole family of Newton-equivalent Hamiltonians describe the same dynamics, the quantum version does not need to agree. This observation is further confirmed by an investigation of Calogero and Degasperis².

There are several paths to generalize or give alternative viewpoints. Let us spell out some of them. The first one³⁻⁴ discussed quantization of Newton-equivalent Hamiltonian which is also essentially of the form in eq. (2), but with an alternative operator ordering. In addition, Newton-equivalent Hamiltonian whose classical version takes the form⁴, after an appropriate rescaling,

$$\tilde{H}_c = 4mc^2 \times \sqrt{\left(1 + \frac{V(x)}{2mc^2}\right) \frac{p^2}{4m^2c^2} + \frac{1}{1 - \frac{V(x)}{2mc^2}}} \tag{4}$$

was investigated. In contrast to eq. (2), the dependencies on x and p are not separated. This Hamiltonian also connects to the standard one in the limit $c \rightarrow \infty$, in the same way as that of eq. (3). The quantization of the Hamiltonian in eq. (4) with simple harmonic potential was discussed. The energy spectra and wavefunctions were obtained.

For the second path¹, NESHO is in fact linked to Wigner quantum mechanics⁵, which is considered a noncanonical quantization. A generalization of Degasperis and Ruijsenaars¹ in this framework is given in Blasiak, Horzela and Kapuscik⁶.

In the third path⁷⁻¹⁰, the idea is that quantum Hamiltonian obtained in Degasperis and Ruijsenaars¹ can be put in the form of discrete quantum mechanics. The analysis in this framework gives interesting consequences. As an example, this gives intertwining relations which allows one to obtain energy spectra of alternative orderings of some given Hamiltonians. Another example is that new orthogonal polynomials have to be used in order to write down wavefunctions.

In the fourth path¹¹⁻¹³, procedures to generate classes of Newton-equivalent Hamiltonians were developed and example Hamiltonians were generated. This path is developed quite recently, and so far only the classical aspects are discussed.

In this paper, we focus on a development which is mostly related to the third path. Although within the third path the procedure was already given in order to generate energy spectra and wavefunctions of some given classes of Hamiltonians, there is no guarantee that these can be given in closed forms. For example, even by using the standard Hamiltonian (the quantization of eq. (1)), quantum anharmonic oscillator needed to be solved using perturbation theory. So it is natural to expect that its Newton-equivalent version, called Newton-equivalent anharmonic oscillator (NEAHO), would also need assistances from perturbation theory. It is therefore our goal to study this. In fact, the only NEAHO that we are going to study in this paper are the ones with quartic anharmonicity. Nevertheless, we would still call this specific system as NEAHO.

Review of NESHO and its energy spectrum

Let us first review the construction of classical and quantum mechanical NESHO and their analyses¹.

By introducing $\beta = (2mc)^{-1}$ the Hamiltonian (2) becomes, after subtracted by a constant shift $1/(m\beta^2)$,

$$H_\beta(x, p) = \frac{1}{m\beta^2} \cosh(\beta p) (1 + 2m\beta^2 V(x))^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{m\beta^2}. \quad (5)$$

The potential for a simple harmonic oscillator is given by

$$V(x) = \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 \quad (6)$$

In this case, the Hamiltonian reads

$$H_\beta(x, p) = \frac{1}{m\beta^2} \cosh(\beta p) \times (1 + \beta^2 m^2 \omega^2 x^2)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{m\beta^2}. \quad (7)$$

This is the Hamiltonian for the classical NESHO. One recovers the SHO Hamiltonian in the limit $\beta \rightarrow 0$.

By construction, the Newton's equation obtained from the classical NESHO Hamiltonian coincides with that from the standard SHO Hamiltonian. Therefore, the dynamics do not depend on the parameter β . In this sense, the whole family of the Hamiltonian (7) are equivalent.

Let us now turn to the quantum NESHO. The canonical quantization, by promoting $p \rightarrow \hat{p}$, $x \rightarrow \hat{x}$, of the Hamiltonian (7) is ambiguous as \hat{p} and \hat{x} no longer commute. The resulting Hamiltonians based on different ordering of the operators \hat{p} and \hat{x} could lead to a different theory. However, let us ignore an extensive discussion of this problem and simply focus on a particular choice of ordering. Consider a choice made by Degasperis and Ruijsenaars¹ which is based on physical insight of Ruijsenaars¹⁴. In this case, the NESHO Hamiltonian reads

$$\hat{H}_\beta \equiv \frac{1}{2\beta^2 m} \left(\hat{B}_+ \exp(\beta \hat{p}) \hat{B}_- + (i \rightarrow -i) \right) - \frac{1}{\beta^2 m} + \frac{1}{2} \hbar \omega, \quad (8)$$

where $\hat{B}_+ = (1 + i\beta m \omega \hat{x})^{\frac{1}{2}}$, $\hat{B}_- = (1 - i\beta m \omega \hat{x})^{\frac{1}{2}}$.

The terms in the second line of eq. (8) were not considered by Degasperis and Ruijsenaars¹. However, we include them in order that the NESHO Hamiltonian reduces to the standard quantum mechanical SHO

Hamiltonian in the limit $\beta \rightarrow 0$. These terms simply provide a constant shift to the Hamiltonian, and hence it is safe to introduce them. The energy spectrum and wavefunctions of NESHO were also obtained by Degasperis and Ruijsenaars¹. For this, the ladder operators were used. The idea is to start from the expression of lowering operator in terms of \hat{x} and \hat{p} , and then replace \hat{p} by $-im[\hat{x}, \hat{H}_\beta]/\hbar$. This gives

$$\begin{aligned} \hat{A}_\beta &\equiv \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} + \frac{1}{\hbar\omega} [\hat{x}, \hat{H}_\beta] \right) \\ &= \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}} \left(\hat{x} + \frac{i}{2\beta m\omega} (\hat{B}_+ e^{\beta\hat{p}} \hat{B}_- - (i \rightarrow -i)) \right). \end{aligned} \tag{9}$$

It satisfies the following commutation relations

$$\begin{aligned} [\hat{A}_\beta, \hat{H}_\beta] &= \hbar\omega \hat{A}_\beta, \quad [\hat{A}_\beta^\dagger, \hat{H}_\beta] = -\hbar\omega \hat{A}_\beta^\dagger, \\ [\hat{A}_\beta, \hat{A}_\beta^\dagger] &= \beta^2 m \left(\hat{H}_\beta - \frac{1}{\beta^2 m} + \frac{1}{2} \hbar\omega \right). \end{aligned} \tag{10}$$

So \hat{A}_β and \hat{A}_β^\dagger are indeed ladder operators. The ground state wavefunction can be obtained from solving

$$\langle x | \hat{A}_\beta | \psi_0^{(\beta)} \rangle = 0, \tag{11}$$

whose solution is given by

$$\begin{aligned} \langle x | \psi_0^{(\beta)} \rangle &= \psi_0^{(\beta)}(x) \\ &= \sqrt{\Gamma\left(\frac{1}{\beta^2 m \hbar \omega} + \frac{ix}{\hbar \beta}\right) \Gamma\left(\frac{1}{\beta^2 m \hbar \omega} - \frac{ix}{\hbar \beta}\right)}. \end{aligned} \tag{12}$$

The energy $E_0^{(\beta)}$ of the ground state can be obtained from $\langle x | \hat{H}_\beta | \psi_0^{(\beta)} \rangle = E_0^{(\beta)} \psi_0^{(\beta)}(x)$. By using the second equality of eq. (10), it can be seen that energies for the excited states $|\psi_n^{(\beta)}\rangle = (\hat{A}_\beta^\dagger)^n |\psi_0^{(\beta)}\rangle$, are given by

$$E_n^{(\beta)} = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega. \tag{13}$$

The wavefunctions obtained are yet to be normalized. For this, it is convenient to make use of dimensionless quantities. More explicitly, we define

$$y = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} x, \quad \tilde{\beta} = \beta \sqrt{m\hbar\omega}. \tag{14}$$

The outcome is that the normalized wavefunctions are given by

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_n^{(\tilde{\beta})(DR)}(y) &= p_n^{(\tilde{\beta})}(y) \sqrt{\frac{\Gamma(\tilde{\beta}^{-2} + i\tilde{\beta}^{-1}y)\Gamma(\tilde{\beta}^{-2} - i\tilde{\beta}^{-1}y)}{2^{1-2n} \tilde{\beta}^{-2} n! \pi \tilde{\beta}^{2n+1} \Gamma(n + 2/\tilde{\beta}^2)}}, \end{aligned} \tag{15}$$

where $p_n^{(\tilde{\beta})}(y)$ satisfies the recurrence relation

$$\begin{aligned} p_{n+1}^{(\tilde{\beta})}(y) &+ \frac{\tilde{\beta}^2 n}{4} \left(n + \frac{2}{\tilde{\beta}^2} - 1 \right) p_{n-1}^{(\tilde{\beta})}(y) \\ &= y p_n^{(\tilde{\beta})}(y) \end{aligned} \tag{16}$$

for with $n = 2, 3, 4, \dots$, with $p_0^{(\tilde{\beta})}(y) = 1, p_1^{(\tilde{\beta})}(y) = y$.

The wavefunctions (15) provide a good testing ground for the perturbative analyses to be carried out in this paper, where for NESHO we will expand the Hamiltonian in small β . In the next section, we will write down the perturbation theory in the form which will be suitable for the study of multi-parameter Hamiltonians.

Extensions of time-independent non-degenerate perturbation theory

Standard Rayleigh-Schrödinger perturbation theory

In the standard Rayleigh-Schrödinger perturbation theory, one considers a Hamiltonian:

$$\hat{H} = \hat{H}^0 + \hat{H}^1, \tag{17}$$

which is a perturbed Hamiltonian of \hat{H}^0 with small \hat{H}^1 . Suppose that all eigenstates and corresponding energy eigenvalues for \hat{H}^0 are known. One introduces a parameter λ and rewrite the perturbed Hamiltonian as

$$\hat{H} = \hat{H}^0 + \lambda \hat{H}^1. \tag{18}$$

The idea is to treat λ as a small parameter, perturbatively compute eigenstates and eigenenergies up to as many orders as required, and finally set $\lambda = 1$ at the end of the calculation.

Let $\{|\psi_n^0\rangle\}$ and $\{E_n^0\}$ be eigenstates and eigenenergies, respectively, for \hat{H}^0 . Let us focus on the case where energies are non-degenerate, and n is a discrete label of the states. Then, time-independent Schrödinger's equation is

$$\hat{H}^0 |\psi_n^0\rangle = E_n^0 |\psi_n^0\rangle. \tag{19}$$

Similarly, let $\{|\varphi_n\rangle\}$ and $\{E_n\}$ be eigenstates and eigenenergies, respectively, for \hat{H} . Then

$$(\hat{H}^0 + \lambda \hat{H}^1) |\varphi_n\rangle = E_n |\varphi_n\rangle. \tag{20}$$

Applying $\langle \psi_m^0 |$ on this equation gives

$$E_m^0 \langle \psi_m^0 | \varphi_n \rangle + \lambda \langle \psi_m^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n \rangle = E_n \langle \psi_m^0 | \varphi_n \rangle. \tag{21}$$

There is a freedom to fix the normalization for $|\varphi_n\rangle$. So let us define

$$|\varphi_n\rangle = \frac{|\psi_n\rangle}{\langle \psi_n^0 | \psi_n \rangle}, \tag{22}$$

and consistently,

$$|\varphi_n^0\rangle = \frac{|\psi_n^0\rangle}{\langle \psi_n^0 | \psi_n^0 \rangle} = |\psi_n^0\rangle. \tag{23}$$

Therefore, $\langle \varphi_n^0 | \varphi_n \rangle = 1$. With these definitions, eq. (21) becomes

$$E_m^0 \langle \varphi_m^0 | \varphi_n \rangle + \lambda \langle \varphi_m^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n \rangle = E_n \langle \varphi_m^0 | \varphi_n \rangle. \tag{24}$$

It is convenient to separately consider the cases $m = n$ and $m \neq n$, giving

$$E_n = E_n^0 + \lambda \langle \varphi_n^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n \rangle, \tag{25}$$

and

$$E_m^0 \langle \varphi_m^0 | \varphi_n \rangle + \lambda \langle \varphi_m^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n \rangle = E_n \langle \varphi_m^0 | \varphi_n \rangle, \tag{26}$$

where $m \neq n$. By expanding these two equations using

$$|\varphi_n\rangle = \sum_{\mu=0}^{\infty} \lambda^{\mu} |\varphi_n^{\mu}\rangle, \quad E_n = \sum_{\mu=0}^{\infty} \lambda^{\mu} E_n^{\mu}, \tag{27}$$

and comparing coefficients of λ , one obtains, for $\mu = 1, 2, 3, \dots$,

$$E_n^{\mu} = \langle \varphi_n^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n^{\mu-1} \rangle, \tag{28}$$

$$|\varphi_n^{\mu}\rangle = \sum_{m \neq n} \frac{|\varphi_m^0\rangle}{E_m^0 - E_n^0}$$

$$\times \left(\sum_{\nu=1}^{\mu-1} E_n^{\nu} \langle \varphi_m^0 | \varphi_n^{\mu-\nu} \rangle - \langle \varphi_m^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n^{\mu-1} \rangle \right), \tag{29}$$

which should be solved recursively, starting from lower values of μ .

Perturbation theory for multi-parameter Hamiltonian

Instead of the Hamiltonian in the form of eq. (18), let us now turn to the case where the Hamiltonian has r parameters and is given as

$$\hat{H} = \sum_{\mu_1=0}^{\infty} \sum_{\mu_2=0}^{\infty} \dots \sum_{\mu_r=0}^{\infty} \lambda_1^{\mu_1} \lambda_2^{\mu_2} \dots \lambda_r^{\mu_r} \hat{H}^{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r}, \tag{30}$$

where $\hat{H}^{0,0,\dots,0}$ is the unperturbed Hamiltonian with known eigenenergies $E_n^{0,0,\dots,0}$ and eigenstates $|\psi_n^{0,0,\dots,0}\rangle$. Hamiltonians to be analyzed later have this form with $r = 1, 2$. So it is useful to give the analysis for perturbation theory on this kind of Hamiltonian with general r . Before proceeding, let us make use of multi-index notation $\vec{\mu} \equiv (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_r)$, whose properties are

- $|\vec{\mu}| \equiv (\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_r)$,
- $\vec{\mu} \pm \vec{\nu} \equiv (\mu_1 \pm \nu_1, \mu_2 \pm \nu_2, \dots, \mu_r \pm \nu_r)$,
- $\vec{\mu} > \vec{\nu} \Leftrightarrow \mu_i > \nu_i; 1 \leq i \leq r$,
- $\Lambda^{\vec{\mu}} \equiv \lambda_1^{\mu_1} \lambda_2^{\mu_2} \dots \lambda_r^{\mu_r}$.

So the Hamiltonian can be rewritten as

$$\hat{H} = \sum_{\vec{\mu} \geq \vec{0}} \Lambda^{\vec{\mu}} \hat{H}^{\vec{\mu}}. \tag{31}$$

Let E_n and $|\psi_n\rangle$ be eigenenergies and eigenstates for \hat{H} . We obtain

$$E_n = \langle \varphi_n^{\bar{0}} | \hat{H} | \varphi_n \rangle, \tag{32}$$

and

$$(E_m^{\bar{0}} - E_n) \langle \varphi_m^{\bar{0}} | \varphi_n \rangle + \sum_{\bar{\mu} > \bar{0}} \langle \varphi_m^{\bar{0}} | \Lambda^{\bar{\mu}} \hat{H}^{\bar{\mu}} | \varphi_n \rangle = 0 \tag{33}$$

where $m \neq n$, and

$$|\varphi_n \rangle \equiv \frac{|\psi_n \rangle}{\langle \psi_n^{\bar{0}} | \psi_n \rangle}, \quad |\varphi_n^{\bar{0}} \rangle \equiv |\psi_n^{\bar{0}} \rangle. \tag{34}$$

By Expanding eigenenergies and scaled eigenstates as

$$E_n = \sum_{\bar{\mu} \geq \bar{0}} \Lambda^{\bar{\mu}} E_n^{\bar{\mu}}, \quad |\varphi_n \rangle = \sum_{\bar{\mu} \geq \bar{0}} \Lambda^{\bar{\mu}} |\varphi_n^{\bar{\mu}} \rangle, \tag{35}$$

the equations (32)-(33) imply, for $\bar{\mu} \neq 0$,

$$E_n^{\bar{\mu}} = \sum_{0 < \bar{v} \leq \bar{\mu}} \langle \varphi_n^{\bar{0}} | \hat{H}^{\bar{v}} | \varphi_n^{\bar{\mu}-\bar{v}} \rangle, \tag{36}$$

$$|\varphi_n^{\bar{\mu}} \rangle = \sum_{m \neq n} \sum_{0 < \bar{v} \leq \bar{\mu}} \frac{\langle \varphi_m^{\bar{0}} | (\hat{H}^{\bar{v}} - E_n^{\bar{v}}) | \varphi_n^{\bar{\mu}-\bar{v}} \rangle}{E_n^{\bar{0}} - E_m^{\bar{0}}} |\varphi_m^{\bar{0}} \rangle.$$

These two equations are solved recursively starting from smaller values of $|\bar{\mu}|$, and stops when the desired precision is achieved.

The main analyses in this paper make use of one-parameter and two-parameter Hamiltonians. So the cases $r = 1, 2$ will be useful for later presentations in this paper. Let us thus write down the results for these cases for convenience.

One-parameter Hamiltonian

Let us consider a Hamiltonian with one parameter λ :

$$\hat{H} = \sum_{\mu=0}^{\infty} \lambda^{\mu} \hat{H}^{\mu}, \tag{37}$$

where \hat{H}^0 is the Hamiltonian whose normalized eigenstates $|\varphi_n^0 \rangle$ and eigenenergies E_n^0 are known. The energies and eigenstates of \hat{H} are given by

$$E_n = \sum_{\mu=0}^{\infty} \lambda^{\mu} E_n^{\mu}, \quad |\varphi_n \rangle = \sum_{\mu=0}^{\infty} \lambda^{\mu} |\varphi_n^{\mu} \rangle, \tag{38}$$

whose coefficients for each order of λ can be obtained from the recurrence relations

$$E_n^{\mu} = \sum_{v=1}^{\mu} \langle \varphi_n^0 | \hat{H}^v | \varphi_n^{\mu-v} \rangle, \tag{39}$$

$$|\varphi_n^{\mu} \rangle = \sum_{v=1}^{\mu} \sum_{m \neq n} \frac{\langle \varphi_m^0 | \hat{H}^v - E_n^v | \varphi_n^{\mu-v} \rangle}{E_n^0 - E_m^0} |\varphi_m^0 \rangle,$$

where $\mu = 1, 2, 3, \dots$.

Two-parameter Hamiltonian

Let us now turn to the Hamiltonian

$$\hat{H} = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{v=0}^{\infty} \lambda_1^{\mu} \lambda_2^v \hat{H}^{\mu,v}, \tag{40}$$

where λ_1 , and λ_2 are parameters. In this case, the unperturbed Hamiltonian is written as $\hat{H}^{0,0}$ with known eigenenergies $E_n^{0,0}$, and normalized eigenstates $|\varphi_n^{0,0} \rangle$. The eigenenergies and eigenstates of H are given by

$$E_n = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{v=0}^{\infty} \lambda_1^{\mu} \lambda_2^v E_n^{\mu,v}, \tag{41}$$

$$|\varphi_n \rangle = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{v=0}^{\infty} \lambda_1^{\mu} \lambda_2^v |\varphi_n^{\mu,v} \rangle,$$

where, for $(\mu, v) \neq (0, 0)$,

$$E_n^{\mu,v} = \sum_{\rho=0}^{\mu} \sum_{\eta=0}^v \langle \varphi_n^{0,0} | \hat{H}^{\rho,\eta} | \varphi_n^{\mu-\rho,v-\eta} \rangle, \tag{42}$$

$$|\varphi_n^{\mu,v} \rangle = \sum_{\rho=0}^{\mu} \sum_{\eta=0}^v \sum_{m \neq n} \frac{\langle \varphi_m^{0,0} | \hat{H}^{\rho,\eta} - E_n^{\rho,\eta} | \varphi_n^{\mu-\rho,v-\eta} \rangle}{E_n^{0,0} - E_m^{0,0}} |\varphi_m^{0,0} \rangle.$$

Energy spectrum of NEAHO from perturbation theory

As a direct extension to NESHO, let us turn to NEAHO. That is, we consider a Hamiltonian whose Hamilton's equations of its classical version agree with Newton's equation for a system with Hamiltonian

$$H_c^0 = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2x^2 + \frac{1}{4}\alpha x^4. \tag{44}$$

From eq. (2), we see that the classical version of the required Hamiltonian is given by

$$H_c = \frac{\cosh \beta p}{\beta^2 m} \times \sqrt{1 + 2m \left(\frac{1}{2}m\omega^2x^2 + \frac{1}{4}\alpha x^4 \right) \beta^2 - \frac{1}{\beta^2 m}}. \tag{45}$$

Let us canonically quantize this Hamiltonian by choosing the operator ordering in the spirit of Degasperis and Ruijsenaars¹. This gives

$$\langle x | \hat{H}_A | \phi \rangle = \left(\left(C_+ \frac{e^{-i\hbar\beta\partial_x}}{2\beta^2 m} C_- + (i \rightarrow -i) - \frac{1}{\beta^2 m} + \frac{1}{2}\hbar\omega \right) \phi(x), \tag{46}$$

where $C_{\pm} = \left(1 \pm i\beta\sqrt{2mV(x)}\right)^{\frac{1}{2}}$, ∂_x acts on everything on its right, and

$$V(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2 + \frac{1}{4}\alpha x^4. \tag{47}$$

Before presenting the analysis of NEAHO, it is a good idea to revisit NESHO, but using perturbation theory this time. This is in order to make sure that we have the technique under control.

The analysis of NESHO using perturbation theory

The Hamiltonian for NESHO, acting on a wavefunction $\phi(x)$, is given by

$$\langle x | \hat{H} | \phi \rangle = \left(\left(\hat{B}_+ \frac{e^{-i\hbar\beta\partial_x}}{2\beta^2 m} \hat{B}_- + (i \rightarrow -i) - \frac{1}{\beta^2 m} + \frac{1}{2}\hbar\omega \right) \phi(x). \tag{48}$$

Let us define the y - space representation accordingly by using eq. (14) and denote wavefunctions in y - space representation as hatted notations, whereas those in x - space as unhatted ones. For example,

$$\phi(x) \equiv \langle x | \phi \rangle, \tag{49}$$

whereas

$$\hat{\phi}(y) \equiv \langle y | \phi \rangle. \tag{50}$$

The hatted wavefunctions should not be confused with the operators. By using dimensionless quantities, the equation (48) reads

$$\langle y | \hat{H} | \phi \rangle = \left(\left(\tilde{B}_+ \frac{e^{-i\tilde{\beta}\partial_y}}{2\tilde{\beta}^2} \tilde{B}_- + (i \rightarrow -i) - \frac{1}{\tilde{\beta}^2} + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega \hat{\phi}(y), \tag{51}$$

where $\tilde{B}_+ = (1 + i\tilde{\beta}y)^{\frac{1}{2}}$, $\tilde{B}_- = (1 - i\tilde{\beta}y)^{\frac{1}{2}}$.

Expanding gives \hat{H} as given in eq. (37), where $\lambda = \tilde{\beta}^2$. Eigenstates for standard SHO Hamiltonian are given by

$$\hat{\varphi}_n^0(y) = \sqrt{\frac{m\omega}{\hbar}} \left(\frac{m\omega}{\pi\hbar} \right)^{1/4} \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} T_n(y) e^{-y^2/2}, \tag{52}$$

where

$$T_n(y) = (-1)^n e^{y^2} \frac{d^n}{dy^n} e^{-y^2} \tag{53}$$

are the (physicists') Hermite polynomials. The eigenstates $\hat{\varphi}_n^0(y)$ satisfy

$$\int dy \left(\frac{\hbar}{m\omega} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\hat{\varphi}_l^0(y) \right)^* \hat{\varphi}_n^0(y) = \delta_{ln}. \tag{54}$$

These setups allow us to compute the eigenenergies and eigenstates. To demonstrate the calculation steps, let us show intermediate results up to order λ^2 .

First consider

$$\begin{aligned} \frac{\langle y | \hat{H}^1 | \varphi_n^0 \rangle}{\hbar\omega} &= -\frac{1}{12} \sqrt{(n)_4} \hat{\varphi}_{n-4}^0(y) \\ &\quad - \frac{1}{6} (n-2) \sqrt{(n)_2} \hat{\varphi}_{n-2}^0(y) \\ &\quad - \frac{1}{6} n \sqrt{(n+2)_2} \hat{\varphi}_{n+2}^0(y) \\ &\quad - \frac{1}{12} \sqrt{(n+4)_4} \hat{\varphi}_{n+4}^0(y), \end{aligned} \tag{55}$$

where $(x)_k = \frac{x!}{(x-k)!}$ is the Pochhammer symbol.

So

$$\begin{aligned} \frac{\langle \varphi_m^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n^0 \rangle}{\hbar\omega} = & -\frac{1}{12} \sqrt{(n)_4} \delta_{m,n-4} \\ & -\frac{1}{6} (n-2) \sqrt{(n)_2} \delta_{m,n-2} \\ & -\frac{1}{6} n \sqrt{(n+2)_2} \delta_{m,n+2} \\ & -\frac{1}{12} \sqrt{(n+4)_4} \delta_{m,n+4}. \end{aligned} \quad (56)$$

So by using (39), we obtain

$$E_n^1 = 0. \quad (57)$$

Next, by using eq.(56) for $m \neq n$, we obtain

$$\begin{aligned} \hat{\varphi}_n^1(y) = & -\frac{1}{48} \sqrt{(n)_4} \hat{\varphi}_{n-4}^0(y) \\ & -\frac{1}{12} (n-2) \sqrt{(n)_2} \hat{\varphi}_{n-2}^0(y) \\ & +\frac{1}{12} n \sqrt{(n+2)_2} \hat{\varphi}_{n+2}^0(y) \\ & +\frac{1}{48} \sqrt{(n+4)_4} \hat{\varphi}_{n+4}^0(y). \end{aligned} \quad (58)$$

To rewrite this more compactly, let us define

$$\check{\varphi}_{n+k}^0(y) \equiv \hat{\varphi}_{n+k}^0(y) \frac{\sqrt{\left(n + \frac{k+|k|}{2}\right) |k|}}{k^2}, \quad (59)$$

and the bracket

$$\begin{aligned} [f(n) \check{\varphi}_{n+k}^0(y)]_{\pm} \equiv & f(n) \check{\varphi}_{n+k}^0(y) \\ & \pm f(n-k) \check{\varphi}_{n-k}^0(y). \end{aligned} \quad (60)$$

So eq. (58) is rewritten as

$$\hat{\varphi}_n^1(y) = \frac{1}{3} [\check{\varphi}_{n+4}^0(y) + n \check{\varphi}_{n+2}^0(y)]_{-}. \quad (61)$$

Let us now turn to the second order. Using eq. (56), we obtain

$$\langle \varphi_n^0 | \hat{H}^2 | \varphi_n^1 \rangle = -\frac{\hbar\omega}{72} (10n^3 - 3n^2 + 11n + 3), \quad (62)$$

and

$$\langle \varphi_n^0 | \hat{H}^2 | \varphi_n^0 \rangle = \frac{\hbar\omega}{72} (10n^3 - 3n^2 + 11n + 3). \quad (63)$$

Inserting eq. (62) and eq. (63) into eq. (39) gives

$$\begin{aligned} E_n^2 = & \langle \varphi_n^0 | \hat{H}^1 | \varphi_n^1 \rangle + \langle \varphi_n^0 | \hat{H}^2 | \varphi_n^0 \rangle \\ = & 0. \end{aligned} \quad (64)$$

Next, using eq. (39) we obtain

$$\begin{aligned} \hat{\varphi}_n^2(y) = & \left[\frac{1}{72} \check{\varphi}_{n+8}^0(y) + \frac{n+2}{16} \check{\varphi}_{n+6}^0(y) \right. \\ & + \frac{n(n+2)}{18} \check{\varphi}_{n+4}^0(y) \\ & \left. - \frac{(n+1)(n^2+2n+12)}{144} \check{\varphi}_{n+2}^0(y) \right]_{+} \\ & - \left[\frac{3}{20} \check{\varphi}_{n+6}^0(y) + \frac{1}{60} (14n+15) \check{\varphi}_{n+4}^0(y) \right. \\ & \left. + \frac{1}{24} (2n+1)n \check{\varphi}_{n+2}^0(y) \right]_{-}. \end{aligned} \quad (65)$$

We have followed the steps outlined above up to order λ^5 . The results are

$$E_n = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2} \right) + \mathcal{O}(\lambda^6), \quad (66)$$

$$\hat{\varphi}_n(y) = \sum_{\mu=0}^5 \lambda^{\mu} \hat{\varphi}_n^{\mu}(y) + \mathcal{O}(\lambda^6), \quad (67)$$

where $\hat{\varphi}_n^0(y)$, $\hat{\varphi}_n^1(y)$, and $\hat{\varphi}_n^2(y)$ are respectively as given in eq. (52), (58), and (65) while $\hat{\varphi}_n^3(y)$, $\hat{\varphi}_n^4(y)$, and $\hat{\varphi}_n^5(y)$ are given by long expressions which we choose not to write down as they do not give much insights. In fact, it is more important to verify or justify that the perturbative method we used is working as expected. For this, we will present the check our perturbative expansion against the exact result¹.

As discussed earlier, the energy spectrum for NESHO Hamiltonian¹ is, after a suitable shift using a constant, as given by eq. (13). So it can immediately be seen that our perturbative result in eq. (66) agrees with that of Degasperis and Ruijsenaars¹ for any n and up to order λ^5 , or in terms of β , order β^{10} .

Next, let us check the eigenstates. In fact, eq. (67) is not yet suitable to compare with Degasperis and Ruijsenaars¹ as it needs to be normalized in the same way. More explicitly, we compute

$$\tilde{\varphi}_n(y) = \frac{\hat{\varphi}_n(y)}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} dy |\hat{\varphi}_n(y)|^2}} + \mathcal{O}(\lambda^6), \quad (68)$$

which is Taylor expanded around $\lambda = 0$ up to order λ^5 . We compare this with the exact result of

Degasperis and Ruijsenaars¹. This is as given by eq. (18). Let us relabel the wavefunctions $\tilde{\varphi}_n^{(\tilde{\beta})(DR)}(y)$ as $\tilde{\varphi}_n^{(DR)}(y)$ in order to make the notations less cluttered. Then make an expansion around $\tilde{\beta} = 0$ up to order at least $\tilde{\beta}^{10}$, and then write in terms of $\lambda = \tilde{\beta}^2$. The expansion can be carried out by making use of Stirling's series, which is the asymptotic expansion for large of

$$\Gamma(N + 1) \sim \sqrt{2\pi N} \left(\frac{N}{e}\right)^N \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a_k}{N^k}, \quad (69)$$

with¹⁵

$$\begin{aligned} a_k = & \frac{(2k)!}{2^k k!} \sum_{i=0}^{2k} \binom{k+i-\frac{1}{2}}{i} \binom{3k+\frac{1}{2}}{2k-i} 2^i \\ & \times \sum_{j=0}^i \binom{i}{j} \frac{(-1)^j}{(2k+i+j)!} \\ & \times \sum_{l=0}^j (-1)^l \binom{j}{l} (j-l)^{2k+i+j}, \end{aligned} \quad (70)$$

and $a_0 = 1$. For example, by using the above prescriptions, the expansion of the ground state wavefunction reads

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_0^{(DR)}(y) = & \frac{e^{-\frac{y^2}{2}}}{\pi^{\frac{1}{4}}} \\ & \times \left(1 + \frac{3 - 12y^2 + 4y^4}{48} \lambda + \dots \right), \end{aligned} \quad (71)$$

where ... are higher orders in λ which can be computed to any desired order. This result is checked against ours in eq. (68) for $n = 0$, and is shown to agree to order λ^5 . In fact, we have explicitly verified the expression

$$\tilde{\varphi}_n(y) = \tilde{\varphi}_n^{(DR)}(y) + \mathcal{O}(\lambda^6) \quad (72)$$

for $n = 0, 1, 2, \dots, 8$. Higher values of n can also be checked, and we expect that the expression remains true for these cases. Although we do not have an explicit proof that this is indeed valid for any given n the result should be sufficient to convince that perturbative calculation is working as expected. Let us then proceed to perturbatively analyze Newton-equivalent Hamiltonians for anharmonic oscillator.

The analysis of NEAHO using perturbation theory

NEAHO Hamiltonian, acting on a wavefunction $\phi(x)$, is given by

$$\begin{aligned} \langle x | \hat{H}_A | \phi \rangle = & \left(\left(C_+ \frac{e^{-i\hbar\beta\partial_x}}{2\beta^2 m} C_- + (i \rightarrow -i) \right) \right. \\ & \left. - \frac{1}{\beta^2 m} + \frac{1}{2} \hbar\omega \right) \phi(x), \end{aligned} \quad (73)$$

Note that in the limit of $\beta \rightarrow 0$, the equation (73) becomes

$$\begin{aligned} \langle x | \hat{H}_A | \phi \rangle \rightarrow & \left(\frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2} m\omega^2 x^2 + \frac{1}{4} \alpha x^4 + \frac{\omega\hbar}{2} \right. \\ & \left. - \frac{\hbar(m\omega^2 + \alpha x^2)}{\sqrt{2m(2m\omega^2 + \alpha x^2)}} \right) \phi(x), \end{aligned} \quad (74)$$

which is differed from the standard Hamiltonian of anharmonic oscillator with potential in eq. (47). In fact, the extra terms are artefacts from the choice of operator ordering, which is considered a quantum effect. If one sets $\hbar \rightarrow 0$, thus turning off the quantum effect, then the Hamiltonian (81) is reduced to the expected classical Hamiltonian for anharmonic oscillator.

By using dimensionless quantities, the equation (74) becomes

$$\begin{aligned} \langle y | \hat{H}_A | \phi \rangle = & \left(\left(D_+ \frac{e^{-i\tilde{\beta}\partial_y}}{2\tilde{\beta}^2} D_- + (i \rightarrow -i) \right) \right. \\ & \left. - \frac{1}{\tilde{\beta}^2} + \frac{1}{2} \right) \hbar\omega \hat{\phi}(y), \end{aligned} \quad (75)$$

where $D_{\pm} = \left(1 \pm i\tilde{\beta}\sqrt{y^2 + \tilde{\alpha}y^4} \right)^{\pm\frac{1}{2}}$, $\tilde{\alpha} = \frac{\hbar}{2m^2\omega^3} \alpha$.

By expanding in $\tilde{\alpha}$ and $\tilde{\beta}$, the equation (75) takes the form

$$\langle y | \hat{H}_A | \phi \rangle = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{\nu=0}^{\infty} \lambda_1^{\mu} \lambda_2^{\nu} \langle y | \hat{H}_A^{\mu,\nu} | \phi \rangle, \quad (76)$$

where $\lambda_1 = \tilde{\alpha}$, $\lambda_2 = \tilde{\beta}^2$, and

$$\frac{\langle y | \hat{H}_A^{0,0} | \phi \rangle}{\hbar\omega} = \left(\frac{y^2}{2} - \frac{\partial_y^2}{2} \right) \hat{\phi}(y), \quad (77)$$

$$\frac{\langle y | \hat{H}_A^{0,1} | \phi \rangle}{\hbar\omega} = \frac{1}{24} (-6(y^2 - 1)\partial_y^2 + \partial_y^4 - 12y\partial_y - 3(y^2 - 1)^2)\hat{\phi}(y), \tag{78}$$

$$\frac{\langle y | \hat{H}_A^{1,0} | \phi \rangle}{\hbar\omega} = \left(\frac{y^4}{2} - \frac{3y^2}{4} \right) \hat{\phi}(y), \tag{79}$$

$$\frac{\langle y | \hat{H}_A^{1,1} | \phi \rangle}{\hbar\omega} = \frac{1}{8} (y^4(5 - 2\partial_y^2) - 8y^3\partial_y + 3y^2(\partial_y^2 - 3) + 6y\partial_y - 2y^6 + 2)\hat{\phi}(y), \tag{80}$$

etc.

By using eq. (41)-(43), with $E_n^{(0,0)}$ and $|\varphi_n^{0,0}\rangle$ being eigenenergies and eigenstates for the standard simple harmonic oscillator Hamiltonian, we obtain the eigenenergies for NEAHO Hamiltonian (75) as

$$\frac{E_{An}}{\hbar\omega} = n + \frac{1}{2} + E_{An}^{(1)}\tilde{\alpha} + E_{An}^{(2)}\tilde{\alpha}^2 + \mathcal{O}(\tilde{\alpha}^3), \tag{81}$$

where

$$\begin{aligned} E_{An}^{(1)} &= \frac{3n^2}{4} + \frac{1}{4}n^3\tilde{\beta}^2 + \mathcal{O}(\tilde{\beta}^8), \\ E_{An}^{(2)} &= -\frac{17}{32}(n + 2n^3) - \frac{3n^2}{64}(17 + 25n^2)\tilde{\beta}^2 \\ &\quad - \frac{n^3}{64}(17 + 9n^2)\tilde{\beta}^4 + \mathcal{O}(\tilde{\beta}^8), \end{aligned}$$

and obtain the wavefunctions for NEAHO Hamiltonian (75) as

$$\tilde{\varphi}_n(y) = \sum_{\mu=0}^{\infty} \sum_{\nu=0}^{\infty} \tilde{\varphi}_n^{\mu,\nu}(y)\tilde{\alpha}^\mu\tilde{\beta}^{2\nu}, \tag{82}$$

with

$$\left(\frac{m\omega}{\hbar}\right)^{\frac{3}{4}}\tilde{\varphi}_n^{0,0}(y) = \hat{\varphi}_n^0(y), \tag{83}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{m\omega}{\hbar}\right)^{\frac{3}{4}}\tilde{\varphi}_n^{0,1}(y) \\ = \frac{1}{3}[\check{\varphi}_{n+4}^0(y) + n\check{\varphi}_{n+2}^0(y)]_-, \end{aligned} \tag{84}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{m\omega}{\hbar}\right)^{\frac{3}{4}}\tilde{\varphi}_n^{1,0}(y) \\ = -\left[\frac{1}{2}\check{\varphi}_{n+4}^0(y) + \frac{1}{4}(4n + 3)\check{\varphi}_{n+2}^0(y)\right]_-, \end{aligned} \tag{85}$$

etc.

$$\begin{aligned} \left(\frac{m\omega}{\hbar}\right)^{\frac{3}{4}}\tilde{\varphi}_n^{1,1}(y) &= \frac{1}{256}(11n^4 - 2n^3 \\ &\quad + 61n^2 + 2n + 4)\hat{\varphi}_n^0(y) \\ &\quad + \left[-\frac{1}{24}\check{\varphi}_{n+8}^0(y) - \frac{9}{64}(2n + 5)\check{\varphi}_{n+6}^0(y) \right. \\ &\quad - \frac{4n^2 + 11n + 3}{2n^3 + 7n^2 + 31n + 30}\check{\varphi}_{n+4}^0(y) \\ &\quad \left. + \frac{12}{64}\check{\varphi}_{n+2}^0(y)\right]_+ \\ &\quad + \left[\frac{9}{16}\check{\varphi}_{n+6}^0(y) + \frac{n+1}{2}\check{\varphi}_{n+4}^0(y) \right. \\ &\quad \left. - \frac{6n^2 + 14n + 9}{32}\check{\varphi}_{n+2}^0(y)\right]_-, \end{aligned} \tag{86}$$

Note that the trend for the eigenenergies in eq. (81) suggests that the terms of the form for $\beta^l\lambda^k$ for $l > 2k$ do not appear. This result is non-trivial, and it is worth investigating further whether this pattern persists through higher orders. If this is the case, it would be interesting to investigate even further to look for reasons behind this.

Perturbative NEAHO Hamiltonian from intertwining relations

NEAHO Hamiltonian can be put in the context of discrete quantum mechanics^{10,16}. Let us rename \hat{H}_A from eq. (75) as $\hat{H}_A^{[0]}$. In the context of discrete quantum mechanics, but using our notation, eq. (75) can be written as

$$\frac{\hat{H}_A^{[0]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{H}}^{[0]} + \frac{1}{2} = \hat{\mathcal{A}}^{[0]\dagger}\hat{\mathcal{A}}^{[0]} + \frac{1}{2}, \tag{87}$$

where

$$\begin{aligned} \hat{\mathcal{A}}^{[0]} &= i \left(e^{-\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}} \sqrt{W^{[0]*}(y)} \right. \\ &\quad \left. - e^{\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}} \sqrt{W^{[0]}(y)} \right), \end{aligned} \tag{88}$$

$$W^{[0]}(y) = \frac{1 + i\tilde{\beta}\sqrt{y^2 + \tilde{\alpha}y^4}}{2\tilde{\beta}^2}, \tag{89}$$

and in this subsection we have chosen not to distinguish operators from their \mathcal{Y} -space representations (this is in the same spirit as writing $\hat{p} = -i\hbar\partial_x$ as a shorthand for $\langle x | \hat{p} = -i\hbar\partial_x \langle x |$). The Hamiltonian is put in the form which allows the use of intertwining relations^{10,16}, which generate iso-spectral Hamiltonians from appropriate change of operator ordering. The first one from the family is

$$\frac{\hat{H}_A^{[1]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{A}}^{[0]}\hat{\mathcal{A}}^{[0]\dagger} - \frac{1}{2}, \tag{90}$$

and the constant shift $-\hbar\omega/2$ is introduced in order that $\hat{H}_A^{[1]}$ reduces, in the limit $\beta \rightarrow 0, \hbar \rightarrow 0$, to standard classical AHO Hamiltonian (44). In order to find the next Hamiltonian, one first computes

$$W^{[1]}(y) \equiv \sqrt{W^{[0]}\left(1 - \frac{i\tilde{\beta}}{2}\right)W^{[0]*}\left(1 - \frac{i\tilde{\beta}}{2}\right)} \times \frac{\varphi_0^{[1]}(y - i\tilde{\beta})}{\varphi_0^{[1]}(y)}, \tag{91}$$

where $\varphi_0^{[1]}(y)$ is the ground state of Hamiltonian (90). We expect that $\varphi_0^{[1]}(y)$ do not have a closed form. So let us compute this expression perturbatively in $\lambda_1 \equiv \tilde{\alpha}, \lambda_2 \equiv \tilde{\beta}^2$ keeping orders $\Lambda^{\vec{\mu}} \equiv \lambda_1^{\mu_1}\lambda_2^{\mu_2}$ with $\vec{\mu} = (\mu_1, \mu_2) \leq (2,2)$, and such that the unperturbed Hamiltonian is taken to be the standard SHO. Instead of showing the perturbative result for $\varphi_0^{[1]}(y)$, let us directly present

$$W_{(1)}^{[1]}(y) = \frac{1}{4} + \frac{iy}{2\tilde{\beta}} + \frac{1}{2\tilde{\beta}^2} + W_{(1)}^{[1]}(y)\tilde{\alpha} + W_{(2)}^{[1]}(y)\tilde{\alpha}^2 + \mathcal{O}(\Lambda^{\vec{\mu}\neq(2,2)}), \tag{92}$$

where

$$W_{(1)}^{[1]}(y) = \left(\frac{3iy}{4} + \frac{iy^3}{4}\right)\frac{1}{\tilde{\beta}} + \frac{3}{8} - \frac{3y^2}{8} + \frac{9iy\tilde{\beta}}{16} + \frac{5\tilde{\beta}^2}{32},$$

$$W_{(2)}^{[1]}(y) = \left(-\frac{51iy}{32} - \frac{11iy^3}{16} - \frac{iy^5}{16}\right)\frac{1}{\tilde{\beta}} - \frac{51}{64} + \frac{5y^4}{32} - \frac{1}{192}i(321y + 198y^3)\tilde{\beta} + \left(-\frac{3}{4} - \frac{5y^2}{64}\right)\tilde{\beta}^2 - \frac{153}{256}iy\tilde{\beta}^3 - \frac{103\tilde{\beta}^4}{512}.$$

In order to obtain $W^{[1]*}(y)$, we set $i \rightarrow -i$ in the expression of $W^{[1]}(y)$. Note that we choose the choice $\vec{\mu} \leq (2,2)$ of truncation simply to give a demonstration of the procedure. The extension to higher order can easily be obtained also by using eq. (42)-(43). With $W^{[1]}(y)$ obtained, one can rewrite as $\hat{H}_A^{[1]}$

$$\frac{\hat{H}_A^{[1]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{A}}^{[1]\dagger}\hat{\mathcal{A}}^{[1]} + \frac{E_{A1}}{\hbar\omega} - 1, \tag{93}$$

where

$$\hat{\mathcal{A}}^{[1]} = i\left(e^{-\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}}\sqrt{W^{[1]*}(y)} - e^{\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}}\sqrt{W^{[1]}(y)}\right), \tag{94}$$

and E_{A1} is as given in eq. (81). Note that since $W^{[1]*}$ was obtained for $\vec{\mu} \leq (2,2)$, the Hamiltonian (93) has to be truncated correspondingly. One can then check that, up to this order, it indeed agrees with its alternative form (90).

One can then obtain another alternative ordering of NEAHO Hamiltonian:

$$\frac{\hat{H}_A^{[2]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{A}}^{[1]}\hat{\mathcal{A}}^{[1]\dagger} + \frac{E_{A1}}{\hbar\omega} - 2. \tag{95}$$

Then one perturbatively computes the ground state wave function $\varphi_0^{[2]}(y)$, and

$$W^{[2]}(y) \equiv \sqrt{W^{[1]}\left(1 - \frac{i\tilde{\beta}}{2}\right)W^{[1]*}\left(1 - \frac{i\tilde{\beta}}{2}\right)} \times \frac{\varphi_0^{[2]}(y - i\tilde{\beta})}{\varphi_0^{[2]}(y)} \tag{96}$$

$$= \frac{1}{2} + \frac{iy}{2\tilde{\beta}} + \frac{1}{2\tilde{\beta}^2} + W_{(1)}^{[2]}(y)\tilde{\alpha} + W_{(2)}^{[2]}(y)\tilde{\alpha}^2 + \mathcal{O}(\Lambda^{\vec{\mu}\neq(2,2)}),$$

where

$$W_{(1)}^{[2]}(y) = \left(\frac{3iy}{2} + \frac{iy^3}{4}\right)\frac{1}{\tilde{\beta}} + \frac{9}{8} - \frac{3y^2}{4} + \frac{15iy\tilde{\beta}}{8}$$

Then is alternatively given as

$$\begin{aligned} & + \frac{7\tilde{\beta}^2}{8}, \\ \gamma_{(2)}^{[2]}(y) = & \left(-\frac{51iy}{8} - \frac{11iy^3}{8} - \frac{iy^5}{16}\right)\frac{1}{\tilde{\beta}} - \frac{255}{64} \\ & + \frac{33y^2}{32} + \frac{5y^4}{16} - \frac{1}{192}i(2361y + 630y^3)\tilde{\beta} \\ & + \left(-\frac{207}{32} - \frac{37y^2}{32}\right)\tilde{\beta}^2 - \frac{459}{64}iy\tilde{\beta}^3 - \frac{199\tilde{\beta}^4}{64}. \end{aligned}$$

Then $\hat{H}_A^{[2]}$ is alternatively given as

$$\frac{\hat{H}_A^{[2]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{A}}^{[2]\dagger} \hat{\mathcal{A}}^{[2]} + \frac{E_{A2}}{\hbar\omega} - 2 \tag{97}$$

where

$$\hat{\mathcal{A}}^{[2]} = i \left(e^{\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}} \sqrt{W^{[2]*}(y)} - e^{\frac{i\tilde{\beta}\partial_y}{2}} \sqrt{W^{[2]}(y)} \right), \tag{98}$$

Next, one can obtain another alternative ordering:

$$\frac{\hat{H}_A^{[3]}}{\hbar\omega} = \hat{\mathcal{A}}^{[2]} \hat{\mathcal{A}}^{[2]\dagger} + \frac{E_{A2}}{\hbar\omega} - 3. \tag{99}$$

This should be sufficient to demonstrate the procedure. One may then wish to keep working to obtain also $\hat{H}_A^{[4]}, \hat{H}_A^{[5]}, \hat{H}_A^{[6]}$, etc. Let us now present the energy spectrum that we obtain. For each Hamiltonian, the lowest energy level is labelled by index and subsequent levels are by subsequent numbers. Let us label energy for as $\hat{H}_A^{[s]}$ as $E_n^{[s]}$. Then

$$E_n^{[0]} = E_{An}, \tag{100}$$

where E_{An} is as given in eq.(81). We obtain the relationship

$$\begin{aligned} E_n^{[1]} &= E_{n+1}^{[0]} - \hbar\omega, & E_n^{[2]} &= E_{n+1}^{[1]} - \hbar\omega, \\ E_n^{[3]} &= E_{n+1}^{[2]} - \hbar\omega, \end{aligned} \tag{101}$$

which is so far consistent with the general consideration^{10,16}. We expect that this pattern should persist.

Discussion and Conclusion

In this paper, we analyzed NEAHO whose classical potential is of the form eq. (47). We started by making sure that the perturbation method we introduced gives the expected result. This is by comparing the known analysis of NESHO. Then we proceeded by analyzing the NEAHO Hamiltonian (73) by giving a perturbative result of eigenenergies (81) and wavefunctions (82)-(86). We went further by analyzing other orderings of the NEAHO Hamiltonian. These orderings are obtained^{10,16} by the application of the iterative procedure. We found, as should

be expected, that the eigenenergies for Hamiltonians in the sequence $\hat{H}^{[0]}, \hat{H}^{[1]}, \hat{H}^{[2]}, \dots$ are related.

It is important to note that although the iterative procedure was already given, obtaining the Hamiltonians in the closed form is not guaranteed. This is because one needs to know the ground state wavefunctions, which do not have a closed form. So perturbation theory provides a way to proceed the analysis. Based on the analysis of the Hamiltonians in our demonstration, the results suggest that the perturbative analysis that we made use is working correctly. So as a future work, one may wish to proceed by using the perturbative analysis to analyze more complicated NEAHO Hamiltonians, for example those whose potentials are of the form

$$\begin{aligned} V(x) &= \frac{1}{2}m\omega^2x^2 + \frac{1}{4}\alpha_1x^4 + \frac{1}{6}\alpha_2x^6 \\ &+ \frac{1}{8}\alpha_3x^8 + \dots \end{aligned} \tag{102}$$

Eigenenergies and wavefunctions for NEAHO corresponding to this potential can be obtained by using multi-parameter perturbation theory, i.e. by iteratively applying eq. (36).

Acknowledgements

We are grateful to Sikarin Yoo-Kong for introducing us to the topic of Newton-equivalent Hamiltonians. S.J.is supported by the Research Professional Development Project Under the Science Achievement Scholarship of Thailand (SAST).

References

1. Degasperis A, Ruijsenaars SNM. Newton-equivalent Hamiltonians for the harmonic oscillator. *Annals of Physics*. 2001;293(1):92-109.
2. Calogero F, Degasperis A. On the quantization of Newton-equivalent Hamiltonians. *American journal of physics*. 2004;72:1202–03.
3. Cislo J, Lopuszanski J. To what extent do the classical equations of motion determine the quantization scheme? *J Math Phys*. 2001;42:5163-76.
4. Cislo J, Lopuszanski J. Quantum harmonic oscillator presented in a nonorthodox approach. *Reports on*

- Mathematical Physics. 2003;52(1):35–41.
5. Wigner EP. Do the equations of motion determine the quantum mechanical commutation relations? *Physical Review*. 1950;77(5):711-2.
 6. Blasiak P, Horzela A, Kapuscik E. Alternative Hamiltonians and Wigner quantization. *J Opt*. 2003; B5:S245–S260.
 7. Sasaki R. New Quasi Exactly Solvable Difference Equation. *J Nonlin Mathematical Phys*. 2008;15:373-84.
 8. Odake S, Sasaki R. Infinitely many shape invariant discrete quantum mechanical systems and new exceptional orthogonal polynomials related to the Wilson and Askey-Wilson polynomials. *Phys Lett*. 2009;B682:130–6.
 9. Odake S, Sasaki R. Exactly Solvable Quantum Mechanics and Infinite Families of Multi-indexed Orthogonal Polynomials. *Phys Lett*. 2011;B702:164–70.
 10. Odake S, Sasaki R. Discrete Quantum Mechanics. *J Phys*. 2011;A44:353001.
 11. Surawuttinack K, Yoo-Kong S, Tanasittikosol M. Multiplicative form of the Lagrangian. *Theoretical and Mathematical Physics*. 2016 Dec;189:1693–1711.
 12. Srisuksorn S, Surawuttinack K, Yoo-Kong S. The multiplicative Hamiltonian and its hierarchy. In: *Journal of Physics Conference Series*. vol. 901 of *Journal of Physics Conference Series*; 2017. p.012167.
 13. Srisuksorn S, Ratanaphupha K, Yoo-Kong S. Hamiltonian Zoo for the system with one degree of freedom. *ArXiv e-prints*. 2018 Feb;.
 14. Ruijsenaars SNM. Complete Integrability of Relativistic Calogero-moser Systems and Elliptic Function Identities. *Commun Math Phys*. 1987;110:191-213.
 15. Nemes G. On the coefficients of the asymptotic expansion of $n!$ *Journal of Integer Sequences*. 2010 Mar;13(6):1-5.
 16. Odake S, Sasaki R. Crum's Theorem for 'Discrete' Quantum Mechanics. *Prog Theor Phys*. 2010;122: 1067–79.

สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 356 กับ 7075 ด้วยเทคนิคการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว

Mechanical Properties and Metallurgical Structure of Semi-Solid Metal 356 Aluminum Alloy with Semi-Solid Metal 7075 Aluminum Alloy investigated using a Transient Liquid Phase Bonding Technique

ยงยุทธ ดุญกุล,^{1*} ชัยยุทธ มีงาม,² เดช เหมือนหา¹

Yongyuth Donyakul,^{1*} Chaiyoot Meengam,² Dech Maunkhaw¹

Received: 7 September 2018 ; Revised : 8 November 2018 ; Accepted: 4 January 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 356 และเกรด 7075 ด้วยวิธีการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว โดยใช้สังกะสีผสม เกรด ZA 27 เป็นวัสดุประสาน ชิ้นงานอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็งเตรียมเป็นรูปทรงกระบอก เป็นการเชื่อมแบบต่อชน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ความยาว 45 มิลลิเมตร และสังกะสีผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตรหนา 0.25 มิลลิเมตร ตัวแปรในการเชื่อมแพร่ผ่านเฟสของเหลว ได้แก่ เวลาในการกดแช่ 60 นาที และ 120 นาที อุณหภูมิในการเชื่อม 450, 500 และ 550 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แรงกด 4 MPa อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนปกคลุม 4 ลิตร/นาที จากการประเมินผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังการเชื่อมยึดติดได้ดีทุกการทดลอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างเดิมของวัสดุ แสดงให้เห็นว่าขนาดของเกรนโตขึ้น เพราะอิทธิพลของความร้อน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิเชื่อม 550 องศาเซลเซียส ที่เวลาเชื่อม 120 นาที แสดงให้เห็นว่ามีโพรงอากาศเกิดขึ้นหลังจากการเชื่อม การทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานเกิดการขาดบริเวณรอยต่อทุกการทดลอง โดยอุณหภูมิเชื่อม 500 องศาเซลเซียส ที่เวลาเชื่อม 60 นาที มีค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดที่ 103.06 MPa และผลของการทดสอบความแข็งแรงพบว่าบริเวณรอยต่อมีแนวโน้มที่ให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณอื่นของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามเทคนิคการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวสามารถลดเวลาในกระบวนการเชื่อมแพร่ได้

คำสำคัญ: อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 356 อะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง 7075 สมบัติทางกล การเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว

Abstract

In this paper, factors affecting mechanical properties and metallurgical structure of semi-solid aluminum alloy grades 356 and 7075 were investigated by a transient liquid-phase bonding method. ZA 27 zinc alloys were used as coagulants (solders) in a liquid state during the welding process. Semi-rigid aluminum castings with butt joints were prepared as a cylindrical shape 12 mm in diameter, 45 mm length and ZA 27 zinc alloys were 12 mm in diameter, and 0.25 mm thick. Variables in this transient liquid-phase bonding method included 60 minutes and 120 minutes welding time, welding temperatures at 450, 500 and 550 degrees Celsius, compression pressure at 4 MPa, and the flow rate of argon gas atmosphere at 4 liters/min. According to the results, the physical characteristics of all samples

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

² อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

¹ Assist. Prof., ³Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

² Lecture, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, 90000

* Corresponding author; Dyongyuth@gmail.com

were well bonded. The microstructure in the bond line showed that size of the grain had grown because of the heat during transient liquid-phase bonding. However, at temperature 550°C and compressive holding time for 60 minutes some porosities showed after welding, and the tensile strength of all samples were broken in the bonded line. However, at temperature 500°C and compressive holding time 60 minutes, the maximum average tensile strength at 103.06 MPa was in the bonded line area where the hardness properties were higher than in other areas. In short, transient liquid-phase bonding technique could reduce welding time when compared to the diffusion bonding process.

Keywords: Semi-Solid 356 Aluminum Alloy, Semi-Solid 7075 Aluminum Alloy, Mechanical Properties, Transient Liquid-Phase Bonding

บทนำ

การเชื่อมแพร่ (Diffusion Bonding: DB) เป็นการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid State) ที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมอากาศยาน (Aircraft Industry) โดยเฉพาะทั่วไปใช้เชื่อมต่อกับเชื้อเพลิงของเครื่องบิน¹ (Fuel Tank) เนื่องจากรอยต่อเชื่อมมีคุณภาพสูงและสามารถกำจัดจุดบกพร่องจากการเชื่อมได้ดี (Defect) นอกจากนี้ยังมีความสามารถที่ดีในการเชื่อมวัสดุต่างชนิดกัน (Dissimilar Welding) การเชื่อมแพร่อาศัยการยึดติดกันของชิ้นงานด้วยกลไกการแพร่ แลกเปลี่ยนกันของอะตอมภายในเนื้อวัสดุ ทั้งแพร่แบบแทรกที่และแบบแทนที่ระหว่างอะตอม ความร้อนในขณะที่เชื่อมจะเป็นพลังงานกระตุ้นให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่ (Movement of Atom) เมื่อเวลาในการเชื่อมเหมาะสมอะตอมที่เคลื่อนที่จะกำจัดช่องว่าง ส่งผลให้ชิ้นงานยึดติดกัน² (Bonded) อย่างไรก็ตามการเชื่อมแพร่วัสดุกลุ่มอะลูมิเนียมมักจะไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากวัสดุกลุ่มอะลูมิเนียมมีออกไซด์ฟิล์ม (Al_2O_3) เคลือบอยู่ที่ผิวของวัสดุ อะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มมีจุดหลอมเหลวที่สูง (Melting Point) ทำให้ขัดขวางการแพร่ของอะตอม ดังนั้นการเชื่อมต่ออะลูมิเนียมเข้าด้วยกันจึงทำได้ยาก³ นอกจากนี้การเชื่อมแพร่ยังมีข้อจำกัดในการเชื่อม โดยเฉพาะการใช้เวลาในการเชื่อมที่ยาวนาน (Long Time of Welding) เพราะต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของอะตอมอย่างช้าๆ⁴ ในขณะเดียวกัน ปัจจุบันเทคโนโลยีการขึ้นรูปของอะลูมิเนียมถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยการขึ้นรูปด้วยการหล่อในสถานะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal, SSM) ซึ่งการหล่อกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีการพ่นพองแก๊สเฉื่อยมีความน่าสนใจ (GISS Method) เนื่องจากให้สมบัติทางกลของวัสดุที่ดี (Mechanical properties) สามารถลดต้นทุนในการหล่อชิ้นงานได้ (Reduce Cost) และยังให้โครงสร้างจุลภาคแบบก้อนกลม⁵ (Globular Microstructures) อะลูมิเนียมหล่อผสม เกรด 7075 และอะลูมิเนียมหล่อผสม เกรด 356 มีการใช้งานทั่วไปในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบิน ก็นิยมขึ้นรูปด้วยการหล่อกึ่งของแข็ง เพราะต้องการเพิ่มสมบัติทางกลให้สูงขึ้น (Joint Materials) การเชื่อมอะลูมิเนียม

ด้วยการแพร่จึงควรเพิ่มเทคนิคในการเชื่อม เพื่อให้เกิดการกำจัดอะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มและยังคงสมบัติทางกลหลังการเชื่อมที่ดี การเชื่อมแพร่ด้วยเทคนิคผ่านเฟสของเหลว (Transient Liquid Phase Bonding) เป็นการเชื่อมที่ใช้วัสดุประสานระหว่างชิ้นงานเชื่อมทั้งสองชิ้น โดยให้วัสดุประสานมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าวัสดุเชื่อม ซึ่งในขณะที่เชื่อมจะทำให้วัสดุประสานอยู่ในสถานะของเหลว (Liquid State) แต่วัสดุเชื่อมยังอยู่ในสถานะของแข็ง⁶ ส่งผลให้อะตอมวัสดุประสานเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เพราะอยู่ในสถานะของเหลว การเกิดสถานะของเหลวเฉพาะบริเวณรอยต่อของชิ้นงานในขณะที่เชื่อมจะทำให้เกิดการละลายอะลูมิเนียมมีออกไซด์ฟิล์ม นำไปสู่การยึดติดที่ดีของชิ้นงานหลังการเชื่อม⁷

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 356 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 โดยใช้สังกะสี เกรด ZA27 เป็นวัสดุประสาน โดยศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อ สมบัติทางด้านแรงดึง และสมบัติทางด้านความแข็งแรงจากการทดลองจะถูกประเมินผล (Evaluation of result) และสรุปผลการทดลองต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณรอยต่อของชิ้นงานเชื่อมและสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการเชื่อม ซึ่งสนใจศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อ (Bonded Line) จากการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว

ระเบียบวิธีวิจัย

วัสดุ

การวิจัยนี้ใช้อะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 356 มีซิลิกอนเป็นส่วนผสมหลักทางเคมี ชิ้นงานเชื่อมแบบให้ต่อชน (Butt Joint) กับอะลูมิเนียมผสมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075

มีสังกะสีเป็นส่วนผสมทางเคมีหลัก โดยวัสดุทั้งสองมีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงใน Table 1 อะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และ 7075 ผ่านการหล่อขึ้นรูปแบบอัด (Squeeze Casting) ซึ่งการหล่ออยู่ในสถานะกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีแบบการหล่อกิ่งของแข็งแบบปล่อยฟองก๊าซ (Gas Induce Semi-Solid; GISS) ด้วยการสนับสนุนโดยบริษัททิสโก จำกัด สำหรับวัสดุประสานใช้สังกะสี เกรด ZA 27 มีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงใน Table 2

Table 1 Chemical composition of aluminum alloy (mass fraction %)⁸

Materials	Element (Wt%)			
	Si	Fe	Cu	Mn
SSM356	7.74	0.57	0.05	0.06
	Mg	Zn	Ti	Al
	0.02	0.05	0.31	Bal.
SSM7075	Zn	Fe	Cu	Mg
	6.08	0.46	1.93	2.50
	Al			
	Bal.			

Table 2 Chemical composition of zinc alloy (mass fraction %)⁹

Materials	Element (Wt%)			
	Al	Fe	Cu	Mn
ZA27	4.20	0.01	3.22	0.82
	Mg	Si	Ni	Zn
	0.91	0.81	0.05	Bal.

วิธีการทดลอง

อะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และอะลูมิเนียมผสมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 ถูกเตรียมรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร ที่ความยาว 45 มิลลิเมตร ในขณะที่เดียวกันสังกะสีผสม เกรด ZA 27 ถูกเตรียมเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 12 มิลลิเมตร ความหนา 2.5 ไมโครเมตร วัสดุทดลองก่อนการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวจะผ่านการขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายหยาบ เบอร์ 220 และทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำอะซิโตน (Acetones) เป็นเวลา 60 วินาที เพื่อทำความสะอาดผิวงานเชื่อมจากคราบสกปรกและคราบไขมันที่ติดผิวงาน จากนั้นใช้ลมเป่าจนผิวชิ้นงานแห้ง นำชิ้นงานเข้าเตาอบเพื่อเชื่อมแพร่

แบบผ่านเฟสของเหลว ดังแสดงใน Figure 1 การศึกษาเบื้องต้นจะกำหนดให้ชิ้นงานด้านบนเป็นอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 ชิ้นงานจะอยู่ด้านล่าง โดยใช้สังกะสีผสม เกรด ZA 27 เป็นชิ้นงานประสานตรงกลางระหว่างชิ้นงานเชื่อมทั้งสองชิ้น โดยสังกะสีผสม เกรด ZA 27 จะเกิดการหลอมละลายเมื่ออุณหภูมิเชื่อมสูงเกิน 399 องศาเซลเซียส แต่อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 จะไม่เกิดการหลอมละลาย เนื่องจากมีอุณหภูมิหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส ดังแสดงตัวแปรในการทดลองใน Table 3

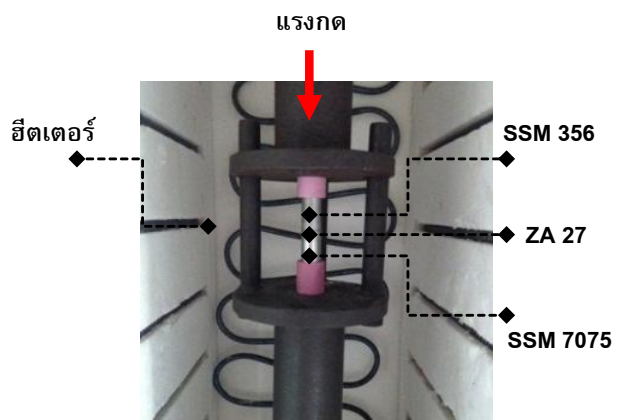


Figure 1 Shows the principle of transient liquid-phase bonding process using ZA27 Zinc Alloy Interlayer

Table 3 Parameters of the transient liquid-phase bonding process

Parameters	Level		
	450	500	550
Temperature (°C)	450	500	550
Time (minute)	60	120	
Contract pressure (MPa)	4		
Argon flow rate (liter per minute)	4		

การเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวอาศัยการยึดติดของชิ้นงานจากการแพร่ของอะตอมภายในเนื้อวัสดุทั้งสองชนิด ส่งผลให้อุณหภูมิเชื่อม มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอะตอม ดังนั้นการให้ความร้อนในขณะที่เชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวได้กำหนดขั้นตอนการให้ความร้อน ดังแสดงใน Figure 2 สำหรับการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวจะทดลองตัวแปรละ 6 ชิ้นงาน เพื่อนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

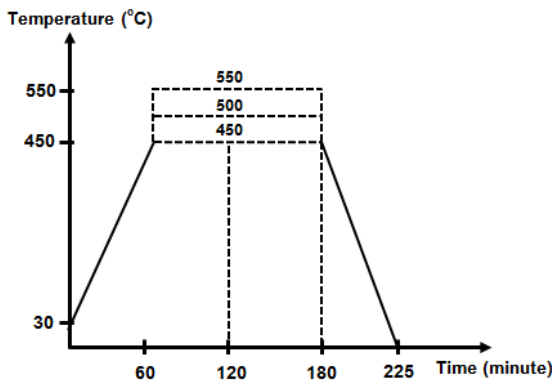


Figure 2 Stages of temperature control for transient liquid-phase bonding process

การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

ชิ้นงานหลังการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวบางส่วนถูกนำมาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา โดยมีการเตรียมชิ้นงานให้เหลือครึ่งหนึ่งของชิ้นงานรูปทรงกระบอก เพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยต่อ ชิ้นงานถูกการทำเรือนครอบด้วยการหล่อเรซินแล้วใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เรซินเกิดการแข็งตัวครอบชิ้นงานในอัตราส่วน 10: 1 (เรซิน 10 ส่วน ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 1 ส่วน) จากนั้นขัดผิวหน้าของชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบ เบอร์ 220, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ ขัดละเอียดด้วยการขัดบนจานหมุนที่หุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยมีน้ำผสมผงอะลูมินา ที่มีขนาดอนุภาค 5.0, 1.0 และ 0.3 ไมโครเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกแบบคลื่นความถี่ เป็นเวลา 3 นาที แล้วนำชิ้นงานไปกัดผิวหน้าด้วยสารละลายคิลเลอร์ (Keller's reagent) ซึ่งประกอบด้วยน้ำ (H₂O) ไฮโดรคลอริก (HCL) ไนตริก (HNO) และไฮโดรฟลูออริก (HF) ผสมในสัดส่วน 190: 3: 5: 2 ส่วน เป็นระยะเวลา 5-10 วินาที แล้วนำผิวหน้ารอยต่อของชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

การทดสอบสมบัติทางกล

ทำการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM A310-10 (American Society of Testing and Materials)¹⁰ รูปร่างของชิ้นงานถูกกำหนดเป็นชิ้นงานทดสอบแบบทรงกระบอก การทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึง 1.67×10^{-2} มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงใน Figure 3

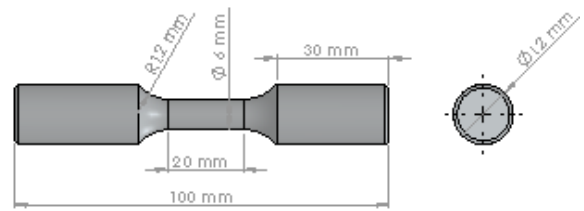


Figure 3 The specimens follow ASTM A310-10 standard

ทำการทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ด้วยเครื่องทดสอบวิกเกอร์ (Vickers) โดยใส่น้ำหนักกดของหัวกดคงที่ (Load Fixed) ไว้ที่ 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที วัดค่าความแข็งตามยาวชิ้นงานเชื่อมจำนวน 7 ตำแหน่ง (ตามแนวขวางของรอยต่อ) โดยระยะห่างระหว่างรอยกดในแต่ละตำแหน่งกดที่ 2 มิลลิเมตร

ผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานเชื่อม

การเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวระหว่างอะลูมิเนียมหล่อแข็งเกรด 356 กับอะลูมิเนียมหล่อแข็งเกรด 7075 โดยใช้สังกะสีผสมเกรด ZA 27 เป็นตัววัสดุประสานพบว่า ตัวแปรในการทดลองส่งผลต่อการเสีรูปร่างของชิ้นงานเชื่อม โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเชื่อมและเวลาในการเชื่อมที่สูง มีแนวโน้มที่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวเกิดการเสีรูปร่างอย่างถาวร¹¹ (Plastic deformation) ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิเชื่อม 450 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อม 60 นาที ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ ในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มอุณหภูมิเชื่อมเป็น 550 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อม 120 นาที ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานหลังการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยสังเกตได้ว่าการโก่งงอ (Buckling) และการบวมบริเวณรอยต่อ (Bloat) และปลายของชิ้นงานเชื่อม ในขณะที่เดียวกันการเสีรูปร่างของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวอาจส่งผลต่อการนำชิ้นงานเชื่อมไปใช้งาน ดังนั้นอุณหภูมิเชื่อม 550 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อม 120 นาที จึงเป็นตัวแปรสูงสุดที่ได้นำมาศึกษาวิจัยครั้งนี้ สำหรับลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานของตัวแปรอื่นๆ ดังแสดงใน Figure 4

ลักษณะโครงสร้างมหภาค

ผลการศึกษาโครงสร้างมหภาคบริเวณรอยต่อของตัวแปรต่างๆ แสดงดัง Figure 5 พบว่าอิทธิพลของความร้อนส่งผลให้ชิ้นงานยึดติดกัน ซึ่งสามารถสรุปได้จากลักษณะ

โครงสร้างมหภาคของทุกตัวแปรในการทดลอง คือ ชิ้นงานหลังการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวมีการยึดติดของชิ้นงานทุกการทดลอง อย่างไรก็ตามความร้อนที่เกิดจากตัวแปรในการทดลองยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน โครงสร้างมหภาคบริเวณรอยต่อที่อุณหภูมิเชื่อม 450 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อม 60 นาที มีเส้นรอยต่อ (Bond Line) แสดงอย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเชื่อมและเวลาในการเชื่อมส่งผลให้เส้นรอยต่อมีขนาดที่เล็กลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้เกิดพลังงานกระตุ้น (Activity Energy) ในอะตอมที่สูงด้วย¹² ทำให้อะตอม

มีอิสระในการแพร่ (Freedom of Diffuse) ในขณะเดียวกัน การเพิ่มเวลาในการเชื่อมส่งผลให้มีเวลาในการกำจัดช่องว่างที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของชิ้นงาน (Eliminations of Voids) อย่างไรก็ตาม อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 จะเกิดการบวมบริเวณรอยต่อสูงกว่าอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 เพราะอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 สัมประสิทธิ์ทางความร้อนที่ดีกว่าอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 จึงมีความสามารถในการรับความร้อนที่ดี¹³ ส่งผลให้เกิดการเสียรูปแบบบวมได้ง่าย







Parameters		Characteristics of samples
Temperature (°C)	Time (minute)	
450	60	
500		
550		
450	120	
500		
550		

Figure 4 Physical characteristics of samples after transient liquid-phase bonding process

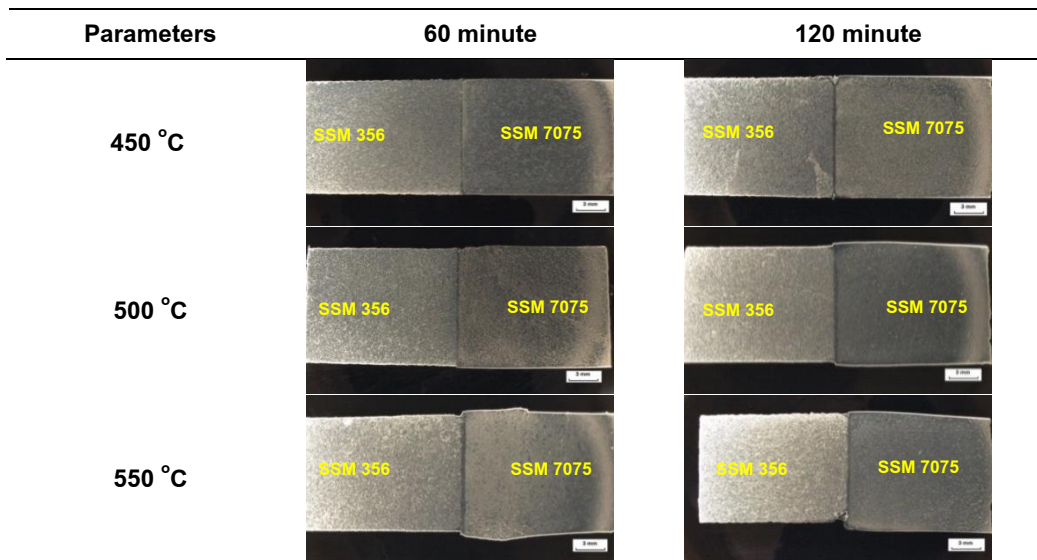


Figure 5 Macro structure of the samples after transient liquid-phase bonding process

ลักษณะโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จะตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างบริเวณรอยต่อของชิ้นงาน ตรวจสอบจุดบกพร่อง (Defect) และความสมบูรณ์ของรอยต่อในแต่ละตัวแปรของการทดลอง โดยได้กำหนดตำแหน่งในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคไว้บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงาน เพราะเป็นบริเวณที่ความร้อนแผ่เข้าไปได้ช้าที่สุด เนื่องจากอยู่ในบริเวณด้านในสุดของวัสดุ ดังนั้นบริเวณนี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดจุดบกพร่องและความไม่สมบูรณ์ของชิ้นงานได้ง่าย ตำแหน่งในการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ดังแสดงใน Figure 6

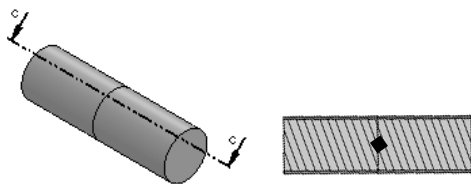


Figure 6 The area where the microstructure was inspected

โครงสร้างจุลภาคจากการทดลองแสดงดัง Figure 7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่โลหะเดิมของอะลูมิเนียมหล่อ กิ่งแข็ง เกรด 356 ประกอบไปด้วย เฟสแอลฟา (α -Al) แบบก่อนกลมผสมกับเฟสยูเทคติก (Eutectic; Mg_2Si) และอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 ก็มีธาตุผสมคล้ายๆ กัน ซึ่งประกอบไปด้วย เฟสแอลฟา (α -Al) แบบก่อนกลมผสม

กับเฟสยูเทคติก (Eutectic; $MgZn_2$) เมื่อได้รับอิทธิพลของความร้อนจากการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว ก็ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่โลหะเดิมของวัสดุเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยความร้อนจะส่งผลให้อะตอมของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็งทั้งสองเกรด เกิดการแลกเปลี่ยนอะตอมแบบแทนที่ (Surrogate of Atom) เนื่องจากขนาดของอะตอมทั้งสองมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน นำไปสู่การเติบโตของขนาดเกรน (Grain Growth) อย่างไรก็ตาม สิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 จะเป็นพลังงานกระตุ้นอะตอมของอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และ เกรด 7075 เพราะสิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 ที่อุณหภูมิเชื่อม 450-550 องศาเซลเซียส อยู่ในสถานะของเหลวทั้งหมด (สิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 มีจุดหลอมเหลวที่ 339 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดการแพร่ของอะตอมได้อย่างมีอิสระ โดยในสถานะของเหลว อะตอมมีความสามารถในการแพร่ที่ดีกว่าในสถานะของแข็ง¹⁴ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นได้จากอุณหภูมิเชื่อม 550 องศาเซลเซียส เกิดการแพร่ของอะตอมสิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 ไปยังอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 และ เกรด 7075 อย่างชัดเจน ในทางตรงกันข้าม อุณหภูมิเชื่อม 450 องศาเซลเซียส ช่วงการแพร่ของอะตอมสิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 มีช่วงที่แคบ เนื่องจากพลังงานกระตุ้นไม่สูงพอ ให้อะตอมสิ่งก่อกวน เกรด ZA 27 แพร่ไปยังวัสดุเชื่อม

อย่างไรก็ตามบริเวณรอยต่อและข้างๆ เกิดโพรงอากาศ (Porosity) ที่อุณหภูมิเชื่อม 550 องศาเซลเซียส เนื่องจากในสถานะของเหลวความชื้นในอากาศแทรกตัวได้ง่าย เมื่อเกิดการเย็นตัวของชิ้นงานหลังการเชื่อม ความชื้นไม่สามารถออกมาได้ทัน จึงฝังตัวเป็นโพรงอากาศในรอยต่อชิ้นงาน นอกจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมแพร่แบบผ่าน

เฟสของเหลวส่งผลให้ชิ้นงานหลังการเชื่อมมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากชิ้นงานเชื่อมทั้งชิ้นได้รับอิทธิพลของความร้อน โดยความแข็งที่เพิ่มขึ้นมาจากการตกตะกอนของเฟสยูเทคติกในเนื้อวัสดุ (Precipitation hardening) และอีกสาเหตุส่งผลมาจากความเค้น จากการกดชิ้นงานในขณะที่เชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว

ลักษณะการขาดของผิวรอยต่อ

ลักษณะการขาดของผิวรอยต่อจะขึ้นกับลักษณะของการยึดติดของผิวงานเชื่อม ดังแสดงใน Figure 8 ชิ้นงานที่ผิวยึดติดดีจะเกิดการแลกเปลี่ยนเนื้อวัสดุกัน ส่งผลให้ลักษณะ

ของผิวรอยต่อเป็นร่องลึก ในทางตรงกันข้ามชิ้นงานที่ผิวรอยต่อยึดติดไม่ดี ลักษณะการขาดของผิวรอยต่อจะเป็นแบบผิวเรียบและพบรอยขีดจากกระดาษทราย การยึดติดของชิ้นงานจะเริ่มจากขอบผิวชิ้นงานด้านนอก เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่ การเพิ่มอุณหภูมิในการเชื่อมส่งเสริมต่อการยึดติดของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที การยึดติดไม่ดี ดังแสดงจากภาพลักษณะการขาดของผิวรอยต่อชิ้นงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมที่สูงขึ้นเป็นอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที พบว่าลักษณะของผิวรอยต่อแสดงการยึดติดดีขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของผิวรอยต่อขรุขระขึ้น

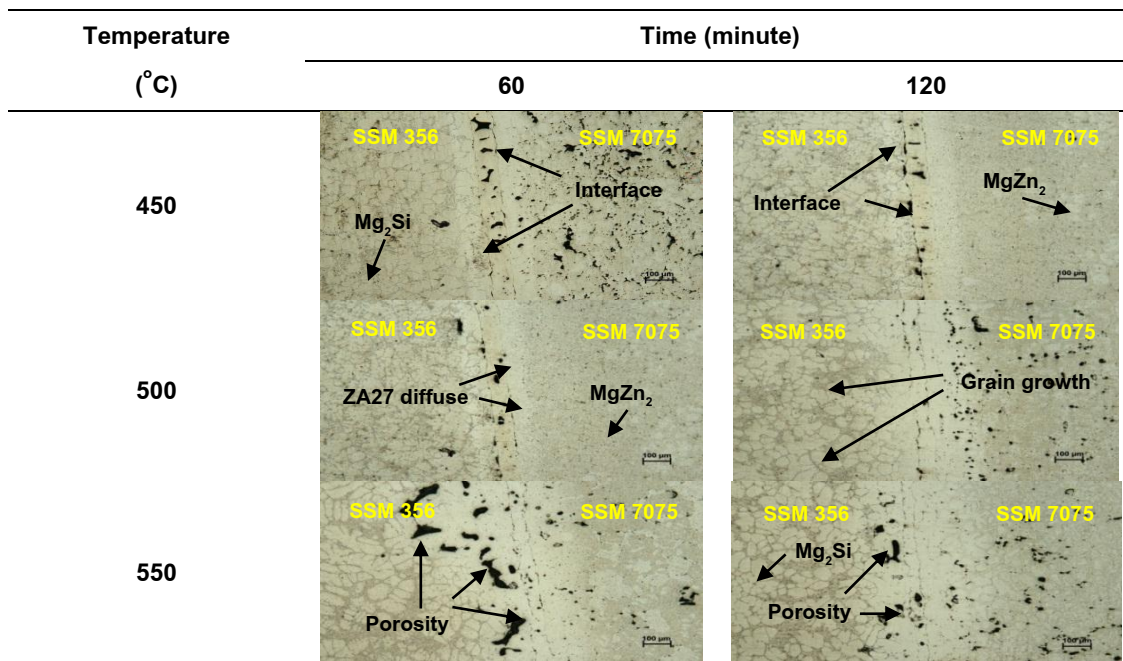


Figure 7 Characteristics of the interface structure after transient liquid-phase bonding

จาก Figure 8 พบว่าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 120 นาที ลักษณะของผิวรอยต่อขรุขระมากที่สุด คาดว่าเกิดจากการแลกเปลี่ยนของเนื้อวัสดุได้ดี แต่บริเวณรอยต่อพบโพรงอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งโพรงอากาศขนาดใหญ่เหล่านี้จะ

ส่งผลให้สมบัติทางด้านแรงดึงของชิ้นงานลดลง¹⁵ อย่างไรก็ตาม ตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวจะนำไปสู่สมบัติทางกลที่ดีของชิ้นงานหลังจากการเชื่อม

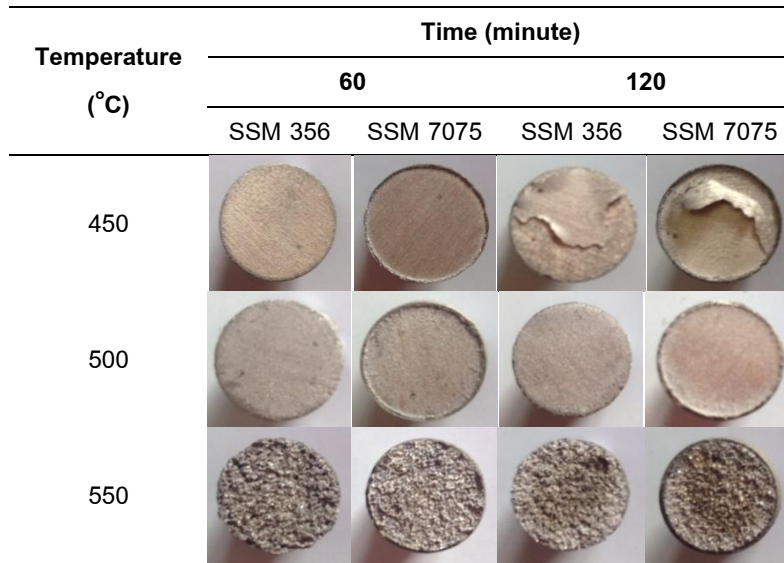


Figure 8 Characteristics of the fracture surface after transient liquid-phase bonding

ผลการทดสอบความแข็งแรงดึง

Figure 9 แสดงผลการทดสอบแรงดึง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานหลังจากการเชื่อมทุกการทดลองมีค่าแรงดึงต่ำกว่าเนื้อโลหะเดิมของวัสดุ (Base Materials) โดยอะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 356 มีค่าแรงดึง 156 MPa ในขณะที่อะลูมิเนียมหล่อกิ่งแข็ง เกรด 7075 มีค่าแรงดึง 210 MPa โดยผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิเชื่อมอื่นๆ โดยที่เวลาในการเชื่อม 60 นาที มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 103.06 MPa ซึ่งเป็นค่าแรงดึงสูงสุด และเวลาในการเชื่อม 120 นาที มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 80.14 MPa ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ทั้งเวลาในการเชื่อมที่ 60 และ 120 นาที พบว่าค่าแรงดึงมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรในการทดลอง

อื่นๆ โดยที่เวลาในการเชื่อมที่ 60 นาที ค่าแรงดึงเฉลี่ย 47.51 MPa ซึ่งเป็นค่าแรงดึงที่น้อยสุดจากการทดลอง และเวลาในการเชื่อมที่ 120 นาที มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 54.32 MPa ตามลำดับสาเหตุที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ชิ้นงานหลังการเชื่อมมีความต้านทานแรงดึงต่ำ เกิดจากการเกิดโพรงอากาศบริเวณผิวรอยต่อของชิ้นงาน ส่งผลให้ค่าแรงดึงลดลง¹⁶ อีกสาเหตุมาจากการเสีรูปร่างของชิ้นงานจากความร้อนและเวลาในขณะเชื่อมที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดแรงกดของชิ้นงานไม่อยู่ในแนวแกนเกิดการโก่งงอของชิ้นงานเชื่อมในขณะที่ยุณหภูมิสูง ทำให้ชิ้นงานยึดติดกันไม่ได้ดี ดังนั้นตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมแพร์แบบผ่านเฟสของเหลวจึงมีความสำคัญในการเชื่อมเพื่อรักษาสมบัติทางกลที่ดีและชิ้นงานหลังจากการเชื่อมไม่เกิดความเสียหายจากการเชื่อม⁷

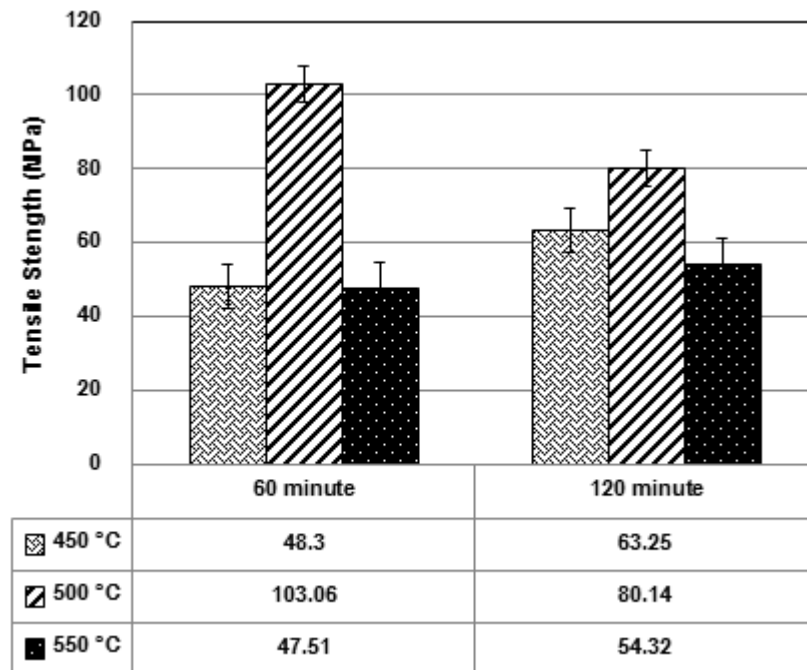


Figure 9 Shows tensile strength of aluminum alloy after transient liquid-phase bonding

ผลการทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งของชิ้นงานหลังการเชื่อม ดังแสดงใน Figure 10 ผลการทดสอบพบว่าที่เวลาในการเชื่อม 60 นาที บริเวณรอยต่อมีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ของชิ้นงาน โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 88.22 HV เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค โดยความร้อนจะส่งผลให้ธาตุผสม (Alloys) ในวัสดุเกิดเป็นสารประกอบใหม่ (New Intermetallic compound) เมื่อชิ้นงานเกิดการเย็นตัว ส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยธาตุสังกะสีในวัสดุเกรด ZA 27 จะสนับสนุนความแข็งของชิ้นงานให้เพิ่มขึ้น² จากการทดลองสังเกตได้ว่าอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 7075 มีส่วนผสมทางเคมีของธาตุสังกะสีที่สูง จึงมีความแข็งมากกว่าชิ้นงานด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 356

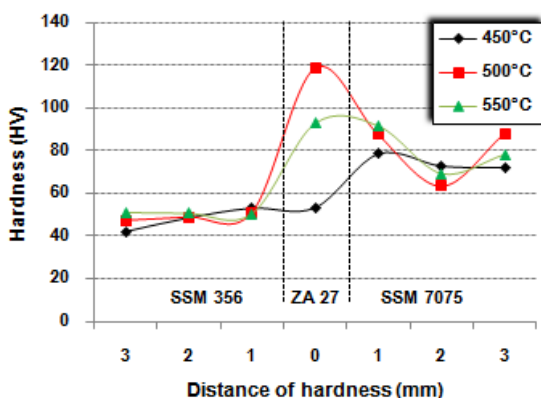


Figure 10 Hardness values of the interface specimens at 60 minutes

Figure 11 แสดงผลของการทดสอบความแข็งของเวลาในการเชื่อม 120 นาที ทั้ง 3 ระดับของอุณหภูมิเชื่อม ผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาในการเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค โดยค่าความแข็งด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 7075 มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความแข็งเฉลี่ย 90.47 HV สาเหตุมาจากการตกตะกอน (Precipitation) ของเฟส $MgZn_2$ ในขณะที่เดียวกันด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 356 มีผลการทดลองไปในทำนองเดียวกัน เฟส Mg_2Si ก็เกิดการตกตะกอนอิมัตว์เช่นกัน⁸ มีค่าความแข็งเฉลี่ย 45.83 HV

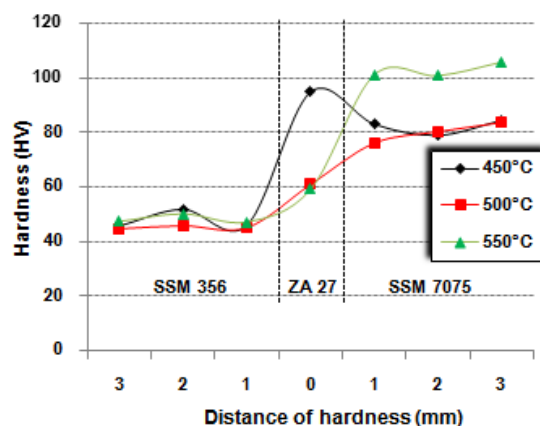


Figure 11 Hardness values of the interface specimens at 120 minutes

อย่างไรก็ตามบริเวณรอยต่อจะมีค่าความแข็งอยู่ระหว่างอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 7075 กับอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 356 ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ย 71.57 HV ตามลำดับ

อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์เวลาในการเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบกับ การเชื่อมแบบเดิม จะเห็นได้ว่าเทคนิคการเชื่อมผ่านเฟสของเหลวทำให้เวลาในการเชื่อมแพร่เร็วขึ้น เนื่องจากวัสดุประสานอยู่ในสถานะของเหลว ส่งผลให้อะตอมมีพลังงานกระตุ้นมากขึ้น ทำให้กลไกการแพร่ของวัสดุรวดเร็วขึ้นด้วย⁹ นอกจากนี้ผลการประเมินสมบัติทางกลหลังการเชื่อมมีแนวโน้มที่ดี อย่างไรก็ตามวัสดุประสานเป็นเทคนิคสำคัญในการเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลว ซึ่งจะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับวัสดุที่นำมาเชื่อมต่อ และต้องมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าวัสดุเชื่อมด้วยเช่นกันจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในการเชื่อมได้ สำหรับกลไกการเชื่อมจะช้าหรือเร็วจะขึ้นอยู่กับ การเกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มในขณะเชื่อม โดยเฉพาะการเชื่อมต่อวัสดุกลุ่มอะลูมิเนียมที่มักเกิดอะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มผิวหน้ารอยเชื่อมในขณะเชื่อม ส่งผลให้อะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มขัดขวางการแพร่ของอะตอมภายในเนื้อวัสดุและนำไปสู่การเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์¹⁰ แต่การเชื่อมผ่านเฟสของเหลวยังมีข้อดีในการเชื่อมวัสดุกลุ่มอะลูมิเนียม เพราะเฟสของเหลวที่ละลายในขณะเชื่อมจะกำจัดอะลูมิเนียมออกไซด์ฟิล์มได้ อย่างไรก็ตามควรระวังความเสี่ยงจากการเกิดจุดบกพร่องหลังจากการเชื่อมผ่านเฟสของเหลว โดยจุดบกพร่องที่พบจะเป็นโพรงอากาศ ซึ่งเกิดจากการแทรกตัวของอากาศในขณะเชื่อม เมื่อรอยต่อเกิดการเย็นตัวอากาศเหล่านั้นไม่สามารถออกมาได้ทัน ส่งผลให้เกิดเป็นโพรงอากาศภายในชิ้นงานหรือการแตกร้าวจากความร้อน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วหลังจากการเชื่อม อีกจุดบกพร่องที่พบจะเป็นการเสียรูปของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมผ่านเฟสของเหลว ทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอ เสียรูปอย่างถาวร ซึ่งการเกิดจุดบกพร่องเหล่านี้ส่งผลให้สมบัติทางกลของชิ้นงานลดลง¹²

สรุปผล

การเชื่อมแพร่แบบผ่านเฟสของเหลวของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็งของเกรด SSM356 กับ SSM7075 โดยใช้สังกะสี เกรด ZA27 เป็นวัสดุประสาน หลังการเชื่อมยึดติดกันในทุกการทดลอง ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแพร่ผ่านเฟสของเหลวมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจากการตกตะกอนจากความร้อนในขณะเชื่อม เกรนหลังการเชื่อม

มีขนาดที่โตเกรนขึ้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

(1) ค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการเชื่อมที่เวลาในการเชื่อม 60 นาที บริเวณรอยต่อมีค่าความแข็งสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ของชิ้นงาน มีค่าความแข็งเฉลี่ยที่ 88.22 HV และเวลาในการเชื่อม 120 นาที พบว่าด้านอะลูมิเนียมหล่อกึ่งแข็ง เกรด 7075 มีค่าความแข็งสูงสุด มีค่าความแข็งเฉลี่ย 90.47 HV

(2) ผลการทดสอบแรงดึงพบว่าอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อม 60 นาที มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 103.06 MPa ซึ่งเป็นค่าแรงดึงสูงสุด และอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลาในการเชื่อมที่ 60 นาที ค่าแรงดึงเฉลี่ย 47.51 MPa ซึ่งเป็นค่าแรงดึงที่น้อยสุด

(3) อิทธิพลของความร้อนและเวลาในการเชื่อมที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาค โดยอุณหภูมิเชื่อม 550 องศาเซลเซียส เวลาเชื่อม 120 นาที เกิดโพรงอากาศเกิดขึ้นหลังจากการเชื่อมมากกว่าตัวแปรการทดลองอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดลองวิจัยจากโปรแกรมวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการตรวจสอบสมบัติทางกลจากสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการตรวจสอบทางโลหะวิทยา ซึ่งทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ โอกาสนี้ด้วย

บรรณานุกรม

1. M. Mazar Atabaki and J. Idris, "Low-temperature partial transient liquid phase diffusion bonding of Al/Mg₂Si metal matrix composite to AZ91D using Al-based interlayer," *Materials and Design*, pp.832-841, 2011.
2. Y.J. Jin and T.I. Khan, "Effect of bonding time on microstructure and mechanical properties of transient liquid phase bonded magnesium AZ31 alloy," *Materials and Design*, pp.32-37, 2012.
3. H. Nami, A. Halvae and H. Adgi, "Transient liquid phase diffusion bonding of Al/Mg₂Si metal matrix composite," *Materials and Design*, pp.3957-3965, 2011.

4. J. Maity, T.K. Pal and R. Maiti, "Transient liquid phase diffusion bonding of 6061-15 wt% SiCp in argon environment. *journal of materials processing technology*," pp.3568-3580, 2009.
5. R. Burapa, S. Janudom, T. Chucheeep, R. Canyook, and J. Wannasin, "Effects of primary phase morphology on mechanical properties of Al-Si-Mg-Fe alloy in semi-solid slurry casting process," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, pp.s857–s861, 2010.
6. O.Dezellus, J. Andrieux, F. Bosselet, M. Sacerdote-Peronnet, T. Baffie, F. Hodaj, N. Eustathopoulos and J.C. Viala, "Transient liquid phase bonding of titanium to aluminium nitride," *Materials Science and Engineering A*, pp. 254-258, 2008.
7. N.S. Bosco and F.W. Zok, "Strength of joints produced by transient liquid phase bonding in the Cu–Sn system," *Acta Materialia*, pp.2019–2027, 2005.
8. Yongyuth Donyakul, Chaiyoot Meengam, Dech Maunkhaw and Suppachai Chainarong, "Evaluation of Microstructure and Mechanical Properties in Dissimilar Joint of SSM7075 with SSM356 Aluminum Alloy using Diffusion Bonding," *ENGINEERING JOURNAL*, pp.135–144, 2015.
9. Yao hua Zhu, "General Rule of Phase Decomposition in Zn-Al Based Alloys (II) On Effects of External Stresses on Phase Transformation," *Materials Transactions*, pp. 3083-3097, 2004.
10. Chaiyoot Meengam, Prapas Muangjunburee, and Jessada Wannasin, "Diffusion Bonding of Semi-Solid (SSM 356) Cast Aluminum Alloy," *International Journal of Modern Engineering Research*, pp.5-11, 2014.
11. M.S. Kenevisi and S.M. Mousavi Khoie, "An investigation on microstructure and mechanical properties of Al7075 to Ti–6Al–4V Transient Liquid Phase (TLP) bonded joint," *Materials and Design*, pp.19-25, 2012.
12. V. Jalilvand, H. Omidvar, M.R. Rahimpour and H.R. Shakeri, "Influence of bonding variables on transient liquid phase bonding behavior of nickel based super-alloy IN-738LC," *Materials and Design*, pp.36-46, 2013.
13. S.S. Sayyedain, H.R. Salimijazi, M.R. Toroghinejad and F. Karimzadeh, "Microstructure and mechanical properties of transient liquid phase bonding of Al₂O₃/Al nanocomposite using copper interlayer," *Materials and Design*, pp.275-282, 2014.
14. L.Z. Zhao, Y. Jiao, M.J. Zhao, and J. Zhang, "Investigation on in situ Al_{0.5}FeSi_{0.5}/Al composites prepared by transient liquid phase sintering," *Materials and Design*, pp.70-75, 2014.
15. Guifeng Zhang, Jianxun Zhang, Yi Pei, Siyu Li, and Donglang Chai, "Joining of Al₂O₃p/Al composites by transient liquid phase (TLP) bonding and a novel process of active-transient liquid phase (A-TLP) bonding," *Materials Science and Engineering A*, pp.146-156, 2008.
16. Majid SAMAVATIAN, Ayoub HALVAEE, Ahmad Ali AMADEH, and Alireza KHODABANDEH, "Transient liquid phase bonding of Al 2024 to Ti–6Al–4V alloy using Cu–Zn interlayer," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, pp.770-775. 2015.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt.** ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt.** ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt.** ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt.** ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt.** ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด **12 pt.** ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรู้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

1. การอ้างอิงหนังสือ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. p 22-5. (ชื่อชุด; vol 288).

ตัวอย่าง: Getqen,TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; voll 288).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppell AL, Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppell AL Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. In: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.
พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะเนงศักดิ์ มณีวรรณ, พongam เดชคาร์ณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูดของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

รูปแบบ: ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. The Washington Post 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมั่นใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

3. Browallia font type is required with font size as follows:

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. If the information is complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

1. Manuscripts should be submitted through the Thai Jo Manuscripts submission system at www.journal.msu.ac.th.
2. The uncorrected manuscripts will be rejected by the editorial board.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ส่งจ่ายผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาทำขออนุญาตมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ science.msu@hotmail.com หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150