



Volume 34 Number 1 January - February 2015
ISSN : 1686-9664

Journal of
SCIENCE and TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
www.journal.msu.ac.th

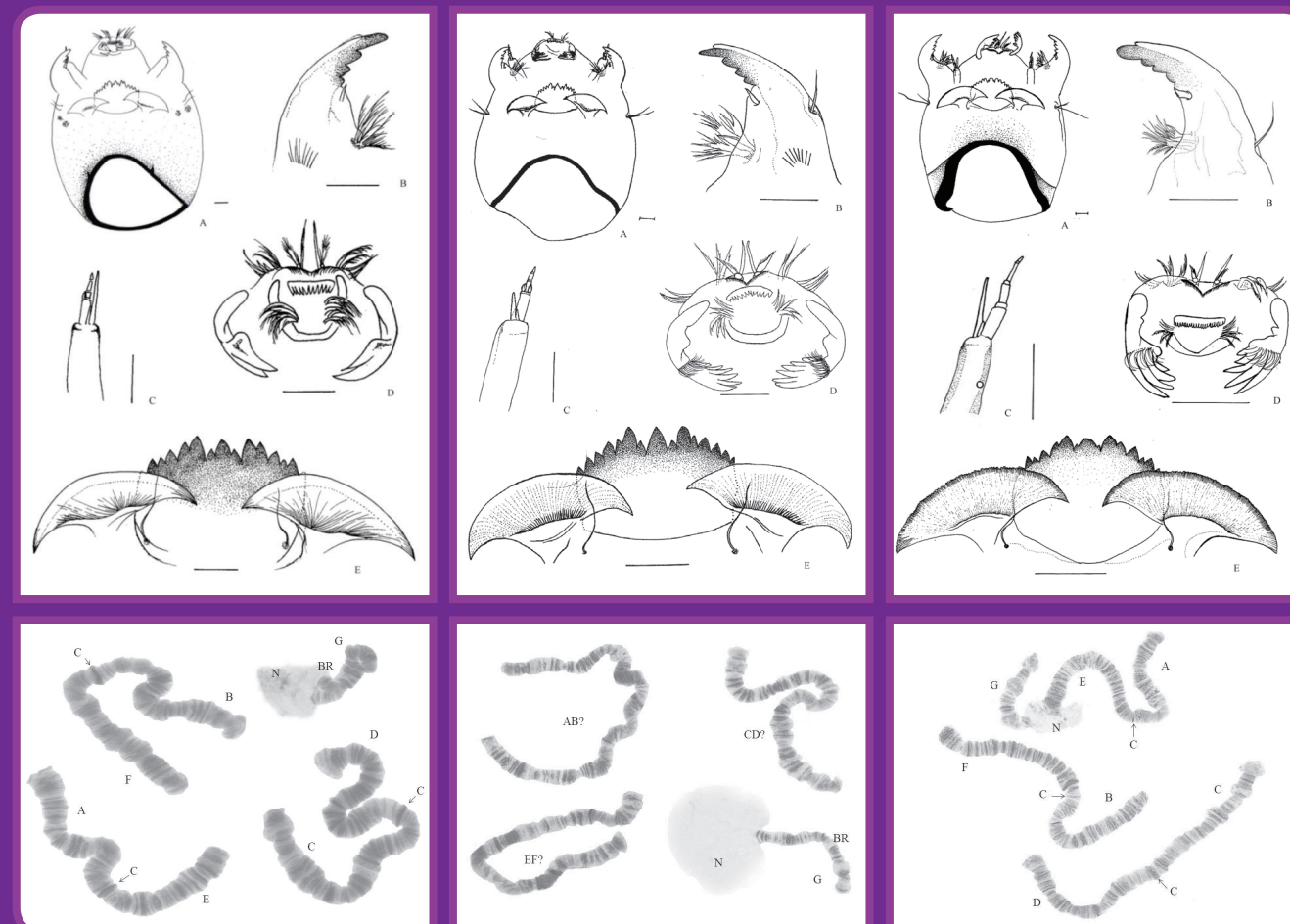
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2558



ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2558
ISSN : 1686-9664

วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
www.journal.msu.ac.th

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 34 Number 1 January - February 2015



วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่นำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อใหวารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754
โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ นพ.ดร.เรื่อน สมณะ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเปื้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐจารพ พิชัยณรงค์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล ธรรมเจริญ
มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณีดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขวาลิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ภูววรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บวรวัฒน์ ศรีชัยกุล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัชรา ปรสุพัฒนา
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
อาจารย์ ดร.เสกสรร สุชะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
อาจารย์ ดร.วัชระจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพิชยา โชติวรรณกุล

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสิฎุทธิ์
นางสาวพัทรวีไล จันทร์ลอย

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-distict, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich

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
Associate Professor Dr.Sampan Ritthidech
Maharakham University
Associate Professor Dr.Natchaporn Pichainanong
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamompun
Maharakham University
Associate Professor Dr. Ampon Dhamacharoen
Burapha 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.Niwat Sonoamuang
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 Dr.Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Buavaroon Srichaikul
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Bungon Kumphon
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Sirkasem Sirlak
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Supattra Porasuphatana
Khon Kaen University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Paul Dulfer
Maharakham University
Chaweewan Akkasesthang
Maharakham University

Secretary

Pichaya Chowtivannakul

Assistant secretary

Jirarat Puseerit
Phakwilai Janloy

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

“คำถามที่ต้องการคำตอบ”

รูปแบบการวิจัยของประเทศมีการเปลี่ยนแปลงมาโดยลำดับ ซึ่งมีหลายปัจจัยประกอบกัน เหตุผลหนึ่งที่ทำให้ทิศทางการวิจัยของประเทศเปลี่ยนแปลงจากอดีต คือ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและทิศทางการวิจัยตามแบบสากลที่กระจายไปทั่วโลก (Globalization) เมื่อพิจารณาพื้นฐานการวิจัยของนักวิจัยไทยจากการศึกษาตั้งแต่ชั้นประถมศึกษา มัธยมศึกษา ระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา ส่วนใหญ่มักสอนให้ผู้เรียนคิดค้นหรือวิจัย โดยมักมุ่งเน้นไปที่การวิจัยพื้นฐาน (Basic research) ตามรูปแบบหรือขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการตามสาขาวิชาที่เรียนมาแต่เดิมของอาจารย์ที่ปรึกษาและผลิตมหาบัณฑิตหรือดุษฎีบัณฑิตในสาขาที่ชำนาญ โดยมีความลุ่มลึกในเรื่องนั้นๆ เพิ่มขึ้นหรือสอดคล้องกับเทคโนโลยีใหม่ตามทิศทางการวิจัยสากล มีคำถามตามมว่างานวิจัยเหล่านั้นแก้ปัญหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับสังคมหรือประชาชนของประเทศได้หรือไม่? ทำแล้วงานวิจัยเหล่านี้จะเข้าไปมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาสำคัญๆ ของชาติอย่างไร? ทำวิจัยแล้วงานวิจัยนั้นคุ้มค่ากับการให้ทุนสนับสนุนหรือไม่? อย่างไร? คำถามเหล่านี้คงท้าทายทั้งแหล่งให้ทุนวิจัย สถาบันการศึกษาและตัวนักวิจัยเองพอสมควร

มีหลายแหล่งทุนวิจัยของประเทศเปลี่ยนแปลงทิศทางและรูปแบบการให้ทุนสำหรับงานวิจัย (ไม่นับแหล่งทุนวิจัยจากต่างประเทศซึ่งพัฒนารูปแบบการวิจัยไปไกลมากแล้ว) จากการวิจัยพื้นฐานเป็นการวิจัยแบบชุดโครงการที่เน้นการศึกษาครบวงจรทุกด้าน ตั้งแต่วิจัยพื้นฐาน การพัฒนารูปแบบและไปสิ้นสุดที่การถูกนำไปใช้ เป็นรูปแบบงานวิจัยแบบสหสาขาวิชา (Multidisciplinary) อย่างไรก็ตามการบริหารรูปแบบการวิจัยดังกล่าว ก็เป็นแต่เพียงการนำนักวิจัยที่ชำนาญในแต่ละเรื่องมาทำงานวิจัยตามกรอบแนวคิดของโครงการวิจัยในภาพใหญ่เพื่อที่จะนำมาต่อจิ๊กซอในชุดโครงการนั้นให้ครบ เพราะไม่สามารถที่จะให้นักวิจัยคนหนึ่งคนใดทำวิจัยในทุกเรื่องให้สำเร็จในโครงการวิจัยเดียวได้ แล้วค่อยพัฒนารูปแบบและวิธีการเพื่อนำไปใช้ในเชิงสาธารณะต่อไป

นั่นอาจเป็นเพียงก้าวอย่างที่สำคัญก้าวหนึ่งของงานวิจัยสำหรับประเทศ เมื่อทำการวิจัยทุกด้านและทุกสาขาแล้ว ก็มีคำถามตามมว่า งานวิจัยที่ทำมานั้นเกิดประโยชน์กับประชาชนแล้วหรือยังกับเงินลงทุนด้านการวิจัย มรรคผลของความรู้ที่ได้จากการวิจัยอยู่ที่ใด? จึงเริ่มมีการนำผลของความรู้หรือการวิจัยมาสังเคราะห์และหาผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมาร่วมกันหาทางออก จากนั้นจึงเริ่มเป็นการทำงานวิจัยในรูปแบบที่มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่ายมาทำงานร่วมกัน (Multi-stakeholders) ในการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องนั้นๆ มีทั้งนักวิจัยด้านต่างๆ ประชาชนเจ้าของปัญหา ภาคเอกชน เจ้าหน้าที่รัฐและอื่นๆ ทำงานไปด้วยกัน ซึ่งปัจจุบันนี้แหล่งให้ทุนวิจัยขนาดใหญ่ของประเทศก็เริ่มเปลี่ยนทิศทางการให้ทุนวิจัยมาในรูปแบบดังกล่าวนี้ทั้งสิ้น

เมื่อย้อนกลับไปยังย่อหน้าแรก ก็คงมีคำถามกลับมายังสถาบันการศึกษาซึ่งทำหน้าที่ผลิตนักวิจัย หลักสูตรการผลิตทั้งบัณฑิต มหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต อาจารย์ผู้รับผิดชอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ผู้สอนในมหาวิทยาลัย นิสิต นักศึกษาและนักวิจัยว่า เราจะปรับตัว (Adaptation) กับการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ได้อย่างไร? ทางออกอยู่ตรงไหน? เราจะผลิตนักวิจัยรูปแบบดังกล่าวให้ทันกับยุคสมัยของการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ได้อย่างไร?

รองศาสตราจารย์ น.สพ.ดร. วรพล เองวานิช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คำอธิบายภาพปก : จากบทความวิจัยเรื่อง Morphology, Cytogenetics and DNA barcode of the Chironomidae (Diptera) in Thailand.

ภาพปก : kusumart Simwisat *et al.* 2558, 74-85

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำลำปาว 1

The Application of Particle Swarm Optimization for Searching Optimal Rule Curve of Lampao Reservoir

วิรัตน์ นวนนุกูล, อนงศ์ฤทธิ์ แข็งแรง, รัตนา หอมวิเชียร

Wirat Nuannukul, Anongrit Kangrang, Rattana Hormwichian

การวิเคราะห์ปัญหาและการทดสอบความมั่นคงของเทคโนโลยีรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว 10

Problem Analysis and Security Testing of One Time Password Technology

ประพจน์ ธรรมศิริรักษ์, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

Prapot Thumsiraruk, Somnuk Puangpronpitag

การผลิตน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อความร้อนชนิดส้นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ 25

Water Heating from Waste Heat of Air-Conditioner using a Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves as a Heat Exchanger

พัฒนพล มีนา

Pattanapol Meena

การพัฒนาออนโทโลยีสำหรับระบบให้คำแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย 32

The development of Ontologies for Information Recommendation System in the Northeast of Thailand

อิสรา ชื่นตา, จารี ทองคำ, จิรัฐฐา ภูบุญอบ

Issara Chuenta, Jaree Thongkam, Jiratta Phuboon-ob

ผลของการใช้ต้นตอต่อลักษณะคุณภาพมะเขือเทศพันธุ์สีดา 45

Effect of Root stock on the Quality Characteristics of Tomato cv. Sida

ยศนันท์ ศรีวิจารย์, ประสิทธิ์ ชุติชูเดช, เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช

Yotsanon Sriwichan, Prasit Chutichudet, Benjawan Chutichudet

การผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูล 53

Biogas Production from Excreta

ศุภณัฐ รัฐเมือง, สุนันธา เลาววันย์ศิริ, กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา

Supanat Rathamuang, Sunantha Laowansiri, Kannika Chookietwattana

สารบัญ

คุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย Quality of Bottled Drinking Water Distributed in Kanchanaburi Province, Thailand สุบันทิต นิมรัตน์, พีรพัฒน์ สุพรรณพันธ์, วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย Subuntith Nimrat, Peeraphat Supannapan, Verapong Vuthiphandchai	63
สัณฐานวิทยา เซลล์พันธุศาสตร์ และดีเอ็นเอบาร์โค้ดของริ้น้ำจืด (Diptera) ในประเทศไทย Morphology, Cytogenetics and DNA barcode of the Chironomidae (Diptera) in Thailand กุสุมาศ สิมวิเศษ, พรชัย อุทรักษ์, ไพโรจน์ ประมวล Kusumart Simwisat, Pornchai Uttaruk, Pairot Pramual	74
การปรับปรุงคุณภาพสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวเพื่อเข้าสู่มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหาร กรณีศึกษา: แผงจำหน่ายเนื้อวัวในเขตตำบลเก็ง อำเภอมือง จังหวัดมหาสารคาม The Quality Improvement of Butcher Shops to Meet the Sanitary Standard: A Case Study of the Beef Distributors in Kerng Sub-district, Muang, Mahasarakham ณัชชลิดา ยุคะลัง, สงครามชัย ลีทองดี Nachalida Yukalang, Songkramchai Leethongdee	86
การพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 The Development of the Books to Support Reading Skill by Using Sarapanya Rhyme in Learning Science of Prathom Suksa 3 มลิวรรณ เขจรศาสตร์ Maliwan Khejonsart	95
บทความวิชาการ แอล-คาร์นิทีนกับการออกกำลังกาย L-Carnitine and exercises สุพัฒน์ ภาณุวาทกุล, ณภัทรวรรณ ธนาพงษ์อนันท์ Suphat Panuwatakul, Napatsawan Thanaponganan	105

การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำลำปาว

The Application of Particle Swarm Optimization for Searching Optimal Rule Curve of Lampao Reservoir

วิรัตน์ นวนนุกูล¹, อนงกริทธิ์ แข็งแรง², รัตนา หอมวิเชียร³

Wirat Nuannukul¹, Anongrit Kangrang², Rattana Hornwichian³

Received: 4 April 2014 ; Accepted: 31 July 2014

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบเพื่อปรับปรุงโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ปริมาณการขาดแคลนน้ำน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการค้นหาคำตอบ การศึกษาพิจารณาข้อมูลโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 - พ.ศ. 2554 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลอุทกวิทยา และข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำลำปาว นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจำนวน 100 ชุด เพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะแสดงผลเป็นสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น ในรูปแบบความถี่และช่วงเวลาของเหตุการณ์ ปริมาณน้ำเฉลี่ย และปริมาณน้ำสูงสุด ผลการศึกษาพบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบจำลองการเลียนแบบ มีรูปร่างคล้ายคลึงกับโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิม โดยโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่ เส้นล่างจะสูงกว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมในช่วงฤดูแล้งคือตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม เพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ส่วนโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่เส้นบนนั้นต่ำกว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ทำให้ต้องพร่องน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเพื่อลดความเสี่ยงโอกาสที่จะเกิดปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝน ผลดังกล่าวทำให้สามารถรองรับน้ำได้เพิ่มขึ้น ส่วนผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่ที่ได้พบว่า สถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้นมีค่าลดลงเล็กน้อย และเมื่อทดลองเพิ่มพื้นที่ชลประทานอีก 50,000 ไร่ พบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำใหม่นี้ยังสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำได้ และค่าขาดแคลนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 161 ล้านลูกบาศก์เมตร ในรอบ 44 ปี

คำสำคัญ: โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค การจัดการอ่างเก็บน้ำ การจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ

Abstract

This research aims to apply particle swarm optimization connected with a simulation model in order to improve the rule curves of a reservoir. The minimum average water shortage was used as the objective function for the searching procedure. Monthly rule curves of Lampao reservoir located in Kalasin province were considered in this study. The curves include average monthly inflows into the reservoir from years 1968 to 2011, net demand from the reservoir, hydrologic data and physical data of the Lampao reservoir. In addition, 100 samples of generated inflow data were used to evaluate the performance of the new rule curves. The results present situation of water shortage and overflow

¹ นิสิตปริญญาโท, ²รองศาสตราจารย์, ³อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master student, ²Associate professor, ³Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham, Thailand 44150, E-mail : anongrit.k@msu.ac.th

in term of frequency and duration, amount of average and maximum water. The results found that the pattern of the obtained rule curves from particle swarm optimization connected to a simulation model is similar to the existing rule curves. The new lower rule curve is higher than the existing rule curve during the dry season from December to May. Hence, water is stored to meet the demand. The new upper rule curve is lower than the existing rule curves during June to August. Hence, the stored water is released in order to get a free volume for reducing flood risk in the rainy season as well as maintaining flood volume. The results of the evaluation of the new rule curve found that the situation of water shortage and overflow decreased slightly. In a simulated case where increasing the irrigation area by 8,000 hectares, the new rule curve can be used as a basis for releasing water from the reservoir. Water shortage average amount 161 MCM in 44 years.

Keywords: Reservoir rule curves, Particles swarm optimization, Reservoir management, Reservoir operation simulation

บทนำ

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ทรัพยากรน้ำเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของประเทศ ปัญหาการขาดแคลนน้ำนั้นนับวันจะทวีความรุนแรง ซึ่งมีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมืองตามความเจริญเติบโตของประเทศ ตลอดจนการผันแปรของสภาพภูมิอากาศ การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำจึงต้องมีการจัดการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด คือ การจัดการน้ำต้นทุน หรือเรียกว่าการจัดการด้านอุปทาน (Supply Management) และการจัดการด้านความต้องการสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำ หรือที่เรียกว่าการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand Management)^[1] และปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยวิธีการจัดการอ่างเก็บน้ำอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและยังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างอื่นอีกจากธรรมชาติและมนุษย์โดยพิจารณาจากควมถี่และขนาดของการเกิดน้ำท่วมและการขาดน้ำในแต่ละปี กฎการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules) ปัญหาของการจัดการอ่างเก็บน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงและผันแปรของข้อมูลที่ใช้ในการจัดการอยู่ตลอดเวลา ไม่มีความแน่นอนตายตัว ซึ่งจะเป็นปัญหาแบบพลวัตและจะต้องจัดการอ่างเก็บน้ำแบบ บูรณาการ แนวทางหนึ่งสำหรับการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ คือการใช้โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve)^{[2][3]} โดยทั่วไปแล้วจะเน้นความสะดวกและการใช้งานโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจะประกอบด้วย เส้นกราฟสองเส้นคือ เส้นบน (Upper Rule Curve) และเส้นล่าง (Lower Rule Curve) โค้งทั้งสองเส้นนั้นเป็นเพียงขอบเขตบนและล่างของช่วงการควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเท่านั้น โดยจะพยายามควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ใกล้เคียงขอบเขตบนและล่างมากที่สุดในทุกฤดูฝนและฤดูแล้ง การศึกษาก่อนหน้านี้มีการใช้วิธีดิวเฟอเรนเชียลเอฟอลูชัน (Differential Evolution Algorithm, DE)^[4] และกระบวนการ

อาณานิคมมด (Ant Colony Optimization, ACO)^[5] เพื่อค้นหาโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม

อย่างไรก็ตามยังมีเทคนิคการหาความเหมาะสมสูงสุดอื่นที่น่าสนใจอีกคือ เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimizaton, PSO)^{[6][7][8]} เป็นการคำนวณเชิงวิวัฒนาการอีกกลุ่มหนึ่งและมีงานวิจัยต่าง ๆ นำมาทดสอบและปรับปรุง โดยนำมาจากพฤติกรรมทางสังคม การเคลื่อนย้ายของฝูงนกหรือปลาเพื่อค้นหาอาหาร PSO ใช้หลักการของแทนปัญหาในรูปประชากรที่คล้าย Genetic Algorithm^{[9][10]} หรือ GA ที่จำลองกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติที่มีการคัดเลือกทางธรรมชาติ และอาศัยพื้นฐานความคิดทางพันธุกรรมในการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ ไปยังรุ่นถัดไป ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาใช้ในการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาได้ ข้อดีคือใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ดี และมีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ลู่ว้าหาค่าตอบที่แท้จริงมากกว่าวิธีข้างต้นที่กล่าวมา แต่กระบวนการลู่ว้าหาค่าตอบค่อนข้างช้า แต่ PSO มีสิ่งที่เด่นกว่าและน่าสนใจตรงที่การแบ่งข้อมูลระหว่างประชากร เป็นข้อมูลที่เข้าร่วมกันเพื่อช่วยให้ประชากรสื่อสารกันในการค้นหาผลลัพธ์และแก้ปัญหาที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ จึงจะประยุกต์ใช้เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ในการปรับปรุงโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ โดยศึกษาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว อำเภอเมืองจังหวัดกาฬสินธุ์

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำ

ในการศึกษาสภาพสมดุลของลุ่มน้ำต่าง ๆ นั้น แบบจำลองที่นิยมใช้กันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันคือ HEC-3,

HEC-5^[9] และ HEC-RAS^[11] โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำ ใน การศึกษาครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองสภาพสมดุลของลุ่มน้ำขึ้น เองภายใต้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้ สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด แบบกลุ่มอนุภาคและการพัฒนาในอนาคต ซึ่งแบบจำลองที่ สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และ สถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) โดย ทั่วไปการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำและหลักการสมดุลของอ่าง เก็บน้ำ

ในการเริ่มต้นคำนวณสภาพสมดุลน้ำของแต่ละอ่าง จากโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ จะกำหนดให้ปริมาณเก็บกัก เริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือปริมาณเก็บกักสูงสุด (full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบาย จะหาได้ตามเกณฑ์การ ปล่อน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงใน Figure 1 และสมการที่ 1

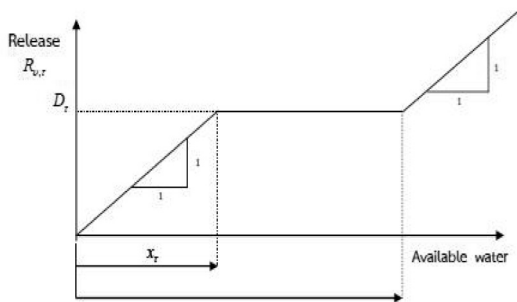


Figure 1 Standard Operating Rule

$$R_{v,\tau} = \begin{cases} D_{\tau} + W_{v,\tau} - y_{\tau}, & \text{for } W_{v,\tau} \geq y_{\tau} + D_{\tau} \\ D_{\tau}, & \text{for } x_{\tau} \leq W_{v,\tau} < y_{\tau} + D_{\tau} \\ D_{\tau} + W_{v,\tau} - x_{\tau}, & \text{for } x_{\tau} - D_{\tau} \leq W_{v,\tau} < x_{\tau} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $R_{v,\tau}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บ น้ำ(หน่วย ล้าน ลบ.ม.) ในช่วงปี v ของเดือน τ ($\tau = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_{τ} เป็นความต้องการ ใช้น้ำท้ายอ่างของเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), x_{τ} เป็น ขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน τ , y_{τ} เป็นขอบเขตบน ของโค้งควบคุมของเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ $W_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) จากนั้นคำนวณหาหน้าดินทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำใน เดือนถัดไป โดยใช้หลักสมการสมดุลน้ำดังสมการที่ 2

$$W_{v,\tau+1} = S_{v,\tau} + Q_{v,\tau} - R_{v,\tau} - E_{\tau} - DS \quad (2)$$

เมื่อ $S_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุด เดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), $Q_{v,\tau}$ เป็นปริมาณน้ำท่าราย เดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน τ ปี v (หน่วย ล้าน ลบ.ม.), E_{τ} เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) และ DS (dead storage) เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ τ (หน่วย ล้าน ลบ.ม.) เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้ แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำที่สร้างขึ้นจนครบ จำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว ก็จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกิน (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นก็ทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมี แนวคิดนำมากจากการศึกษาพฤติกรรมทางสังคมของสิ่ง มีชีวิต เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงนก ฝูงปลา โดยนกหรือ ปลาแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่ม เรียกว่า อนุภาค (particle) ในกรณี ฝูงนก นกแต่ละตัวทำหน้าที่บินค้นหาอาหารและอาศัยอยู่ที่อยู่ ไปด้วยพร้อมๆกัน จุดใดที่มีอาหารอยู่ สามารถพิกอาศัยได้หรือ เป็นจุดที่มีอันตราย นกจะสื่อสารกันในกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยน ข้อมูล (Sharing Information) ระหว่างกันการบินของนก หากมองเป็นพารามิเตอร์จะประกอบด้วยตำแหน่งที่นกบินอยู่ (position) และความเร็วของการเคลื่อนที่ (velocity) ดังนั้นใน หนึ่งอนุภาคเมื่อแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหาหนึ่งจะ ประกอบด้วยตัวแปร ดังสมการที่ 3

$$PK = \{X, V, \text{Fitness value}, Gbest, Pbest\} \quad (3)$$

โดยที่ P คือ อนุภาคประกอบด้วย $P = \{P1, P2, \dots, PK\}$
 K คือ จำนวนอนุภาค
 X คือ ตำแหน่งที่อนุภาคที่อยู่ในปัญหา เขียนในรูป $XD = \{x1, x2, \dots, xD\}$
 D คือ จำนวนมิติของปัญหา

V คือ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค ประกอบด้วยเวกเตอร์ตามขนาดของมิติของปัญหา $VD = \{v1, v2, \dots, vD\}$

Fitness value คือ ค่าความเหมาะสมของอนุภาคนั้น สามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งได้จาก *Fitness value = objective function (X)*

GbestD คือ ค่าตำแหน่งที่อนุภาคนั้นได้ค่าความ เหมาะสมสูงสุด โดย $GbestD = \{Gbest1, Gbest2, \dots, GbestD\}$

Pbest คือ ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดที่กลุ่มอนุภาครุ่น ปัจจุบันได้มา

การประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเข้ากับแบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลงาน

การคำนวณหาค่าโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคโดยกำหนดค่าเริ่มต้น ประกอบด้วยจำนวนฝูงนกในการทำงานเป็นตัวแปรตาม โดยฝูงนกแต่ละฝูงทำหน้าที่อย่างอิสระในการเลือกอาหารซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจ (ค่าปริมาณการเก็บกักควบคุมแต่ละเดือนทั้ง 12 เดือน จำนวน 24 ค่า) เป็นการสร้างค่าโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเริ่มต้น หลังจากนั้นนำค่าโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้มาดำเนินการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ(Reservoir Operation Simulation) โดยมีปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุด เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งแสดงดังสมการที่ 4

$$Min(Aver) = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \tag{4}$$

เมื่อ n เป็นความยาวของชุดข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน Sh_v ปริมาณน้ำที่ขาดในปี v (ปริมาณน้ำที่ปล่อยน้อยกว่าเป้าหมายความต้องการใช้น้ำ)

จากนั้นเข้าสู่กระบวนการตัดสินใจ หากค้นพบโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมแล้วแบบจำลองจะหยุดการทำงาน นำค่าคำตอบของโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นเหล่านี้ไปใช้เป็นค่าของโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำอ่างในแบบจำลองการศึกษาเลียนแบบ แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำชุดนี้เพื่อนำไปประเมินสถานการณ์น้ำขาดแคลนตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการค้นหาคำตอบ และถ้ายังไม่พบโคงกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมแบบจำลองก็จะดำเนินการทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยการทำงานของอัลกอริทึมจะเป็นแบบวนซ้ำ ซึ่งกระบวนการทำซ้ำนั้นจะมีการเชื่อมต่อกับแบบจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ในการหยุดทำงานของแบบจำลองจะอาศัย 2 เงื่อนไข ได้แก่

- 1) กำหนดจำนวนรอบให้แก่แบบจำลองแล้วนำมาพิจารณาค่าที่ได้ว่าให้ค่าที่เหมาะสมหรือไม่
- 2) พิจารณาความแตกต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแต่ละรอบเทียบกับรอบถัดไป หากมีความแตกต่างน้อยมากหรือมีค่าเข้าสู่ค่าคงที่ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด(Near Optimum) ดังแสดงใน Figure 2

ข้อจำกัดของการจัดการน้ำ (Constraints)

- ก) ข้อจำกัดด้านความจุอ่างที่ระดับเก็บกัก และระดับต่ำสุด

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{max}$$

เมื่อ S_{max} = ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด 1,981 ล้าน ลบ.ม.
 S_{min} = ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด 100 ล้าน ลบ.ม.

- ข) ข้อจำกัดด้านการรักษาสมดุลงานในเขตรักษาพันธุ์สัตว์น้ำ โดยกำหนดให้ต้องมีการปล่อยน้ำอย่างน้อย 5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ 13 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

- ค) ข้อจำกัดด้านการระบายน้ำ เนื่องจากสามารถระบายน้ำด้านท้ายน้ำไม่เกิน 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือไม่เกิน 518 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน

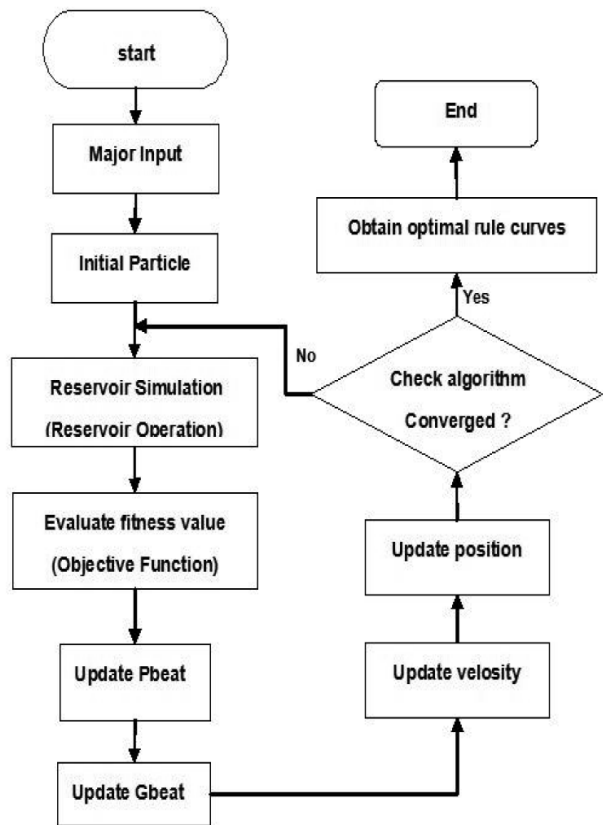


Figure 2 Schematic Diagram of PSO and Simulation Model

การศึกษาใช้เทคนิคที่เสนอกับอ่างเก็บน้ำลำปาว

ในการศึกษานี้เลือกใช้กับอ่างเก็บน้ำลำปาวเป็นลำน้ำสาขาสำคัญของแม่น้ำชีมีต้นน้ำอยู่ที่หนองหาน อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี แล้วไหลลงมารวมกับแม่น้ำชีที่อำเภอกมลาไสย จังหวัดกาฬสินธุ์ ดังแสดงใน Figure 3 ลักษณะก่อนปรับปรุงตัวเชื่อมความจุอ่างเก็บกักปกติ 1,430

ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำเก็บกักปกติ 162 ม.(ร.ท.ก.) ครอบคลุมพื้นที่ชลประทานทั้งสิ้น 502.4 ตารางกิโลเมตร ต่อมาเมื่อปี พ.ศ.2551 ได้มีการปรับปรุงเพิ่มความจุอ่างเก็บน้ำเป็น 1,981 ล้าน ลบ.ม.ระดับน้ำเก็บกักปกติ 164 ม.(ร.ท.ก.)^[12]

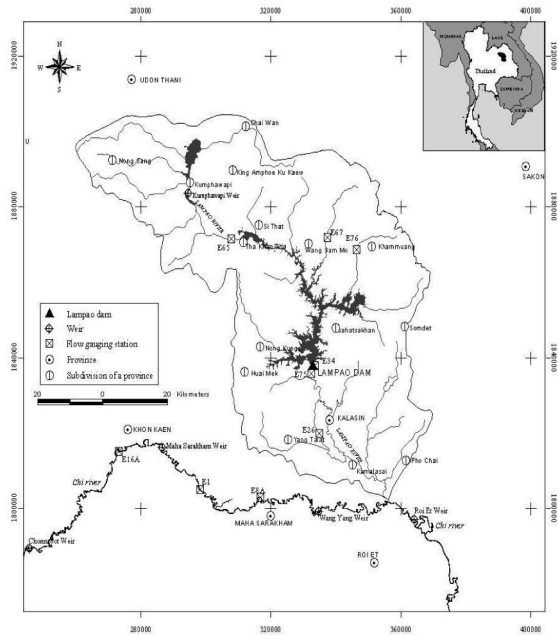


Figure 3 Location of the Lampao Reservoir

แผนผังการไหลของกลุ่มน้ำลำปาวดังแสดงใน Figure 4 ประกอบด้วยฝนเฉลี่ยรายปี 1,400 มม./ปี ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำประมาณ 2,230 ล้าน ลบ.ม.และปริมาณน้ำไหลหลากในรอบ 500 ปี คือ 5,482 ลบ.ม./วินาที โดยใช้ข้อมูลน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในอดีตตั้งแต่ พ.ศ.2511 - 2554 จำนวน 44 ปี ดังแสดงใน Figure 5(a)

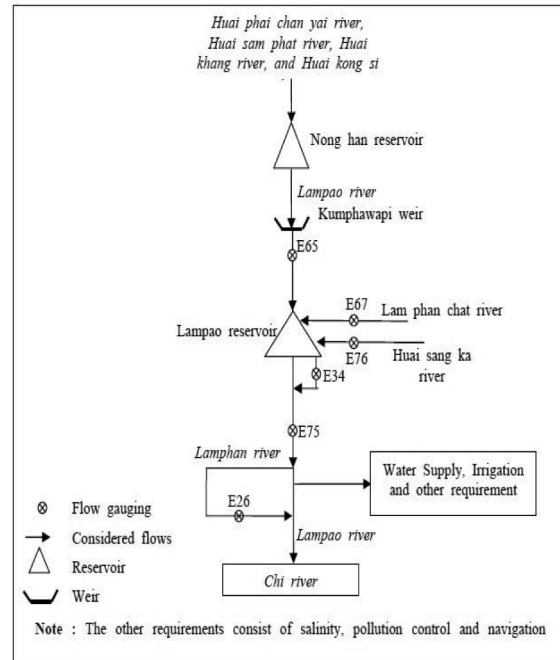
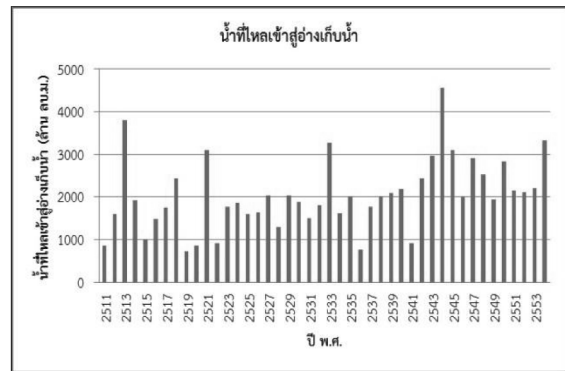
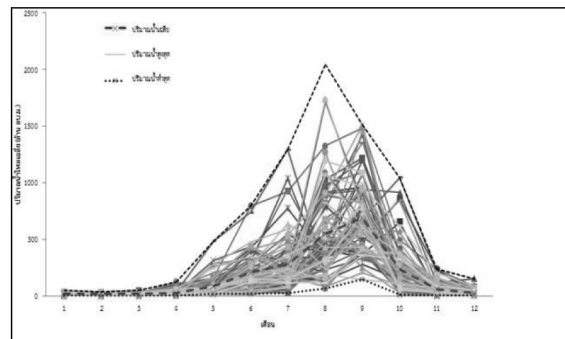


Figure 4 Schematic diagram of flow in the Lampao river basin



(a)



(b)

Figure 5 Historic inflows to the Lampao Reservoir

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจะดำเนินการโดยนำโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา 100 ชุดข้อมูล จากข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 44 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2511 – 2554 ดังแสดงใน Figure 5(b) ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้รวมถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นผ่านมาทำการจำลองสภาพการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยดำเนินการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุม แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมี 2 กรณี คือ กรณีความต้องการใช้น้ำปกติและกรณีความต้องการใช้น้ำปกติและเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่

ผลการทดลอง

ผลการสร้างโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ที่อ่างมีปริมาณน้ำเก็บกัก 1,981 ล้าน ลบ.ม. มีลักษณะดังนี้

โค้งควบคุมเส้นล่าง (Lower Rule Curve, LRC) ลักษณะเส้นโค้งมีทิศทางสอดคล้องกับเส้นโค้งเดิมมีค่าระดับน้ำสูงกว่าเส้นโค้งเดิมเพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคมและมีค่าระดับสูงกว่าเส้นโค้งเดิมในฤดูฝนเพื่อเก็บกักน้ำรักษาปริมาณน้ำในช่วงเดือนมิถุนายน - พฤศจิกายน จากนั้นแนวโน้มของเดือนธันวาคมจะพร่องน้ำในส่วนปริมาณน้ำส่วนเกินเก็บกักน้ำไว้ในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเพียงพอสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องลดปัญหาการขาดแคลนน้ำ

โค้งควบคุมเส้นบน (Upper Rule Curve, URC) ลักษณะเส้นโค้งมีทิศทางสอดคล้องกับเส้นโค้งเดิมมีค่าระดับน้ำสูงกว่าเส้นโค้งเดิมเพื่อเก็บกักน้ำไว้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานในช่วงต้นฤดูฝนจากนั้นเส้นโค้งจะต่ำกว่าเส้นโค้งเดิมช่วงเดือนมิถุนายน - สิงหาคมเพื่อลดปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำลดความเสี่ยงโอกาสที่จะเกิดปัญหาน้ำท่วมในฤดูฝนตลอดจนสามารถรับน้ำได้เพิ่มขึ้น

ซึ่งพบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค มีค่าความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเท่ากับ

0.864 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 161.068 ล้านลบ.ม. และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี มีค่าเท่ากับ 7.600 ปีตามลำดับ ส่วนสถานการณ์การไหลล้นพบว่ามีความถี่ของการไหลล้นเท่ากับ 0.864 ครั้ง/ปี การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 667.446 ล้านลบ.ม. และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี มีค่าเท่ากับ 6.333 ปี

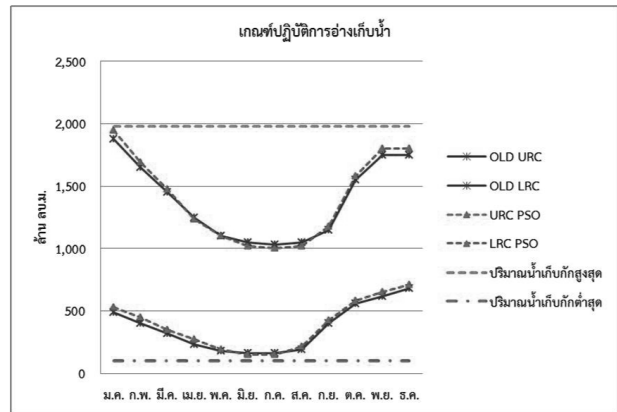


Figure 6 Optimal rule curves of the Lampao Reservoir (new and existing system)

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจะดำเนินการโดยนำโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เพื่อประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้น

Table 1 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อความต้องการใช้น้ำปกติเพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น โดยทำการพิจารณาความถี่ของการเกิดสถานการณ์ ปริมาณน้ำ ช่วงเวลาการเกิด ตามวัตถุประสงค์พบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ 44 ปี พ.ศ. 2511 – 2554 สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าการเกิดความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเท่ากับ 0.794 ± 0.047 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 105.678 ± 13.029 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี ของ 100 ชุดข้อมูล มีค่าเท่ากับ 4.608 ± 1.176 ปี ส่วนสถานการณ์การไหลล้น พบว่าความถี่ของการไหลล้นเท่ากับ 0.904 ± 0.039 ครั้ง/ปี การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 796.841 ± 51.506 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี ของ 100 ชุดข้อมูล มีค่าเท่ากับ 10.639 ± 4.995 ปี

Table 2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อความต้องการใช้น้ำปกติ และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 50,000 ไร่ เพื่อประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ การไหลล้น โดยทำการพิจารณาความถี่ของการเกิดสถานการณ์ ปริมาณน้ำช่วงเวลาการเกิด ตามวัตถุประสงค์ พบว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่ได้จากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ 44 ปี พ.ศ. 2511 – 2554 สถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเท่ากับ 0.802 ± 0.048 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 161.090 ± 16.195 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี ของ 100 ชุดข้อมูล มีค่าเท่ากับ 4.859 ± 1.214 ปี ส่วนสถานการณ์การไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้นเท่ากับ 0.899 ± 0.042 การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 742.770 ± 50.892 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วง

เวลา 44 ปี ของ 100 ชุดข้อมูล มีค่าเท่ากับ 9.861 ± 4.339 ปี จากการจำลองเหตุการณ์ปริมาณน้ำเก็บกัก 1,981 ล้าน ลบ.ม. พบว่า โค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่คำนวณได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค มีความเหมาะสมสามารถควบคุมการบริหารจัดการน้ำบรรเทาการขาดแคลนน้ำ ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ มีปริมาณน้ำเพียงพอ ลดปัญหาอุทกภัยด้านท้ายน้ำได้ดีกว่าโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมเท่ากับ 32.153 ล้าน ลบ.ม.

Table 3 แสดงการเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่คำนวณจากแบบจำลองเทคนิคต่างๆ กับเทคนิคที่นำเสนอ ผลที่ได้คือโค้งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลอง HEC-3 ที่ใช้งานอยู่จริง

Table 1 Situations of water shortage and excess release of the systems.

Situations		Frequency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
		(times/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Water Shortage	μ	0.794	105.678	451.430	4.608	10.600
	σ	0.047	13.029	88.942	1.176	3.094
Excess release water	μ	0.904	796.841	2535.833	10.639	19.680
	σ	0.039	51.506	384.512	4.995	7.346

Note : m= mean,s= standard deviation

Table 2 Situations of water shortage and excess release of the systems for additional irrigation area 8,000 hectares.

Situations		Frequency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
		(times/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Water Shortage	μ	0.802	161.090	592.570	4.859	11.220
	σ	0.048	16.195	91.251	1.214	3.305
Excess release water	μ	0.899	742.770	2430.072	9.861	18.850
	σ	0.042	50.892	370.394	4.339	6.640

Note : m= mean,s= standard deviation

Table 3 Situations of water shortage and excess release of the systems. Compare simulation model other

Situations	Rule Curve		Frequency	Magnitude (MCM/year)		Duration (year)	
			(times/year)	Average	Maximum	Average	Maximum
Water Shortage	Existing-HEC-3	μ	0.814	120.738	433.890	4.856	9.340
		σ	0.061	16.347	88.922	1.619	2.818
	ACO	μ	0.733	61.124	199.460	3.661	7.370
		σ	0.092	13.641	71.958	1.428	2.692
	PSO	μ	0.794	105.768	451.430	4.608	10.600
		σ	0.047	13.029	88.942	1.176	3.094
Excess release water	Existing-HEC-3	μ	0.914	828.994	2,322.352	9.748	14.100
		σ	0.049	23.501	373.856	5.337	4.446
	ACO	μ	0.901	757.604	2,349.301	9.659	14.330
		σ	0.057	25.483	364.931	4.858	4.325
	PSO	μ	0.904	796.841	2535.833	10.639	19.680
		σ	0.039	51.506	384.512	4.995	7.346

Note : m= mean,s= standard deviation

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

โด่งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำถือว่าเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้เพื่อพิจารณาตัดสินใจว่าควรเก็บกักหรือปล่อยน้ำเป็นปริมาณเท่าใดในแต่ละเดือน ดังนั้นงานวิจัยนี้เสนอเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลน้ำ และใช้ปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยน้อยที่สุดเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สำหรับค้นหาโด่งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ผลการศึกษาสรุปได้ว่าแบบจำลองที่นำเสนอให้โด่งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับโด่งกฎปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเดิมและสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ พบว่าความถี่ของปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเท่ากับ 0.864 ครั้ง/ปี ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนเฉลี่ยเท่ากับ 161.068 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการขาดแคลนเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี มีค่าเท่ากับ 7.600 ปี ส่วนสถานการณ์ไหลล้น พบว่า ความถี่ของการไหลล้นเท่ากับ 0.864 ครั้ง/ปี การไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 667.446 ล้าน ลบ.ม. และช่วงเวลาการไหลล้นจากอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในช่วงเวลา 44 ปี มีค่าเท่ากับ 6.333 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และขอบคุณห้องวิจัยแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] เจษฎา แก้วกัลยา. (2535). เอกสารประกอบการเรียนวิชา Water Management. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.(EGAT), 2545. "คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์"
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (EGAT), 2547. "คู่มือปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำภูมิพลและสิริกิติ์"
- [4] Hormwichian R. &Kangrang A. (2012) Coupled-operationsmodel and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. International Journal of Physical Sciences, 7(42), 5701–5710.

- [5] Kangrang A. & Lokham C. (2013). "Optimal Reservoir Rule Curves Considering Conditional Ant Colony Optimization with Simulation Model". *American Journal of Applied Sciences*, 13(1), 154–160
- [6] Kennedy, J.; & Eberhart, R.C. (1995). Particle Swarm Optimization. In *IEEE International Conference on Neural Network*. pp. 1942-1948. New Jersey: n.p.
- [7] Kennedy, J. (1999). Small Worlds and Mega-minds: Effects of Neighborhood Topology on Particle Swarm Performance. In *Congress on Evolutionary Computation*. pp. 1931-1938. New York: n.p.
- [8] Xie, X.F.; Zhang, W.J.; & Yang, Z.L. (2002). A Dissipative Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation*. pp. 1456-1461. Honolulu: n.p.
- [9] Chang C.L. & Yang C.C. (2002). Optimizing the Rule Curve for Multi-Reservoir Operations Using a Genetic Algorithm and HEC-5. *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, 20(1), 59-75.
- [10] Chang J.F., Chen L. & Chang C.L. (2005). Optimizing Reservoir Operating Rule Curves By Genetic Algorithms. *Hydrological Processes*, 19, pp 2277–2289.
- [11] Leticia B. Rodriguez . (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream-aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353, 129–142.
- [12] กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

การวิเคราะห์ปัญหาและการทดสอบความมั่นคงของเทคโนโลยีรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว

Problem Analysis and Security Testing of One Time Password Technology

ประพจน์ ธรรมศิริรักษ์,¹ สมนึก พ่วงพรพิทักษ์²

Prapot Thumsiraruk,¹ Somnuk Puangpronpitag²

Received: 5 April 2014 ; Accepted: 14 August 2014

บทคัดย่อ

รหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว (OTP: One Time Password) ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับระบบการยืนยันตัวตนทั้งหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับระบบธนาคารออนไลน์ ซึ่ง OTP มักจะถูกใช้ในการรักษาความมั่นคงเป็นชั้นที่สองเพื่อปกป้องระบบหากมีการรั่วไหลของรหัสผ่านหลัก อย่างไรก็ตาม OTP เองก็ยังมีช่องโหว่อยู่ เมื่อเร็วๆ นี้มีข่าวและรายงานเกี่ยวกับการโจมตีระบบธนาคารออนไลน์ออกมาเป็นจำนวนมาก แม้จะมีการใช้ OTP แล้วก็ตาม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาของ OTP ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ (1) วิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของ OTP แต่ละชนิดที่ถูกนำไปใช้งานจริง ได้แก่ Email OTP, SMS OTP, Token OTP และ Mobile OTP (2) วิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของ Algorithm ที่ใช้ในการสร้างและจัดการ OTP ได้แก่ Counter-based OTP, Time-based OTP และ Challenge-Response OTP นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดลองในระบบเครือข่ายสำหรับการทดสอบ เพื่อศึกษาการโจมตีที่อาจเกิดขึ้นกับ OTP และสุดท้ายนี้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวความคิดการแก้ปัญหาและการปรับปรุงประสิทธิภาพของ OTP

คำสำคัญ: รหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว การโจมตีระบบธนาคารออนไลน์ การยืนยันตัวตนแบบพหุปัจจัย

Abstract

One Time Password (OTP) is an important component in several authentication systems, particularly for online banking systems. It is generally deployed as the second security layer to protect a system in case the main password has been compromised. However, OTP itself has a few vulnerabilities. Recently, there have been several news reports of attacks on online banking systems, even with the OTPs. Hence, in this paper, we analyze the potential problems of various OTPs. The analysis focuses on: (1) the pros/cons of each OTP type (i.e., Email OTP, SMS OTP, Token OTP and Mobile OTP), (2) the strength and weakness of OTP algorithms (such as Counter-based OTP, Time-based OTP and Challenge-Response OTP). Furthermore, testbed experiments have been done to study the potential attacks of OTPs. Finally, we present our solutions to solve the problems, and how to improve the OTPs.

Keywords: One Time Password (OTP), Online Banking Attack, Multiple Factor Authentication (MFA)

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master's degree student, ² Lecturer, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Somnuk Puangpronpitag, Lecturer, Department of Computer Science, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. somnuk.p@msu.ac.th

บทนำ

รหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว¹ (OTP: One Time Password) ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยแก้ปัญหาการรั่วไหลของรหัสผ่านแบบ User Knowledge ที่มีจุดอ่อนอยู่หลายประการ เช่น รหัสผ่านรั่วไหลจากการถูกดักจับข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ดักจับข้อมูล ในขณะที่ข้อมูลถูกส่งผ่านบนระบบเครือข่าย เช่น โปรแกรม Wireshark และ Cain & Abel รหัสผ่านรั่วไหลได้โดยการบอกต่อผู้อื่น รหัสผ่านรั่วไหลได้จากการตั้งรหัสผ่านที่ง่ายต่อการคาดเดา หรือจากการลืมหรหัสผ่านของตัวเอง ในปัจจุบัน OTP นิยมนำมาใช้เป็นปัจจัยที่สองร่วมกับรหัสผ่านแบบปกติ เพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นคงในการยืนยันตัวตนเข้าใช้งานระบบ

ในระบบ Online Banking ได้นำ OTP ไปใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ซึ่งล้วนแล้วแต่ยังมีปัญหาอยู่ ได้แก่ (1) Email OTP ปัจจุบันไม่ค่อยถูกนำมาใช้งานแล้ว เนื่องจากมีช่องโหว่มากมาย เช่น การถูกโจมตีด้วยวิธีการปลอมแปลง Email ไปหลอกลวงเหยื่อ (Email spoofing) เพื่อให้เหยื่อหลงเชื่อคลิกเข้าเว็บปลอม แล้วกรอกข้อมูล Username/Password ให้ ซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่า Phishing² (2) SMS OTP เป็นรูปแบบที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ได้เริ่มมีข่าวตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมามี SMS OTP โดนโจมตีด้วยวิธีการปลอมแปลง SMS ไปหลอกลวง (SMS spoofing) ให้เหยื่อคลิกลิงค์ที่ส่งมาให้ เพื่อติดตั้ง Malware² โดยแอบอ้างว่าเป็น SMS ที่ส่งมาจากธนาคาร เมื่อเหยื่อหลงเชื่อและติดตั้ง Malware ดังกล่าวแล้ว เหยื่อคนนั้นก็จะไม่ได้รับ SMS อีกเลย เนื่องจาก SMS จะถูกส่งต่อไปยังเครื่อง Hacker แทนที่ (3) Token OTP เป็นรูปแบบที่มีความมั่นคงที่สุดในขณะนี้ แต่ปัญหาคือการลงทุนที่สูงมากจากการสั่งซื้ออุปกรณ์มาใช้ ทำให้ธนาคารหรือบริษัทหลายแห่งยังไม่ค่อยกล้าเสี่ยงที่จะเปลี่ยนมาใช้รูปแบบนี้ (4) Mobile OTP เป็นรูปแบบใหม่ล่าสุด มีลักษณะคล้ายกับ Token OTP แต่ใช้ Smartphone เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล จึงมีความเสี่ยงในเรื่องของ Malware ไม่มากนัก นอกจากนั้น OTP ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้งานนั้นจะแสดงผลรหัสออกมาเป็นตัวเลขอย่างเดียว จำนวน 6-8 หลักเท่านั้น ทำให้มีความเสี่ยงมากต่อการถูกโจมตีด้วยการสุ่มรหัสผ่านที่ละตัวจนครบทุกข้อมูลที่เป็นไปได้ (Brute-force attack) ทั้งยังพบอีกว่า OTP Algorithm แต่ละรูปแบบที่มีในเอกสาร Request For Comment (RFC) ของ Internet Society (ISOC) ยังมีปัญหาหรือจุดอ่อนบางประการอยู่ เช่น ปัญหา Out of Synchronization, ผลลัพธ์ของ OTP ที่ยาวเกินไป เป็นต้น

จากปัญหาที่ได้กล่าวมา งานวิจัยนี้จึงสนใจทำการวิเคราะห์ปัญหาของเทคโนโลยี OTP ที่มีอยู่ในปัจจุบันและทำการทดลองภายใต้ระบบเครือข่ายสำหรับการทดสอบ (Testbed) เพื่อศึกษาการโจมตีที่อาจเกิดขึ้นกับ OTP โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบการนำ OTP ไปใช้งาน (2) OTP Algorithm ที่ใช้ในการสร้างและจัดการ OTP พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาและปรับปรุง OTP ให้มีประสิทธิภาพและมีความมั่นคงมากขึ้น

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Multiple Factor Authentication (MFA)

MFA คือ กระบวนการยืนยันตัวตน โดยใช้ปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยร่วมกัน ปัจจัยการยืนยันตัวตนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ (1) User Knowledge สิ่งที่ใช้รู้และจดจำข้อมูลไว้ เช่น Username/Password, PIN Code (2) User Possession สิ่งที่ใช้ถือครอง เช่น Token OTP (3) User Attribute ลักษณะเฉพาะของตัวบุคคลนั้นๆ เช่น ลายนิ้วมือ ลายพิมพ์ม่านตา เป็นต้น

MFA เริ่มมีการนำมาใช้ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 เนื่องจากการใช้ Username/Password ที่เป็น User Knowledge เพียงอย่างเดียวในการยืนยันตัวตนเข้าใช้งานระบบที่ต้องการความมั่นคงสูงอย่าง Online Banking กลายเป็นสิ่งที่ไม่น่าเชื่อถืออีกต่อไป เพราะรหัสผ่านรั่วไหลได้ ถูกดักจับได้ ถูก Phishing เป็นต้น จึงมีการนำ MFA มาใช้เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ โดยระบบส่วนใหญ่จะใช้การยืนยันตัวตนแบบสองปัจจัยร่วมกัน (TFA: Two Factor Authentication) ซึ่งสองปัจจัยที่นิยมนำมาใช้งานร่วมกันคือ User Knowledge (เลือกใช้ Username/Password) และ User Possession (เลือกใช้ OTP)

2. One Time Password (OTP)

OTP หรือรหัสผ่านแบบใช้ครั้งเดียว คือ รหัสผ่านที่ใช้ได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ใช้สำหรับยืนยันตัวตนเข้าสู่ระบบที่ต้องการความมั่นคงสูง ได้รับการออกแบบขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา Static Password ที่มีจุดอ่อน เช่น รั่วไหลได้ ถูกดักจับได้ ใช้งานซ้ำ ผู้ใช้หลงลืมได้ เป็นต้น

OTP Algorithm แบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้ (1) Event-based OTP/ Counter-based OTP คือการใช้ตัวนับ (Counter) ที่เพิ่มค่าขึ้นทุกครั้งเมื่อมีการร้องขอเพื่อยืนยันตัวตน มาเป็นตัวแปรในการสร้างรหัส OTP ซึ่งหาก Counter มีค่าตรงกันระหว่าง Client กับ Server และมีการประมวลผลด้วย Algorithm เดียวกัน ก็จะได้รหัส OTP ตัวเดียวกัน โดย OTP ที่ได้มาจะเป็นตัวเลขจำนวน 6-8 หลัก

Counter-based OTP ที่ใช้อยู่ในขณะนี้ เป็นการนำเทคนิค Hash-based Message Authentication Code (HMAC)³ มาประยุกต์ใช้โดยตรง จึงเรียกในอีกชื่อว่า HMAC-based OTP (HOTP)⁴ (2) Time-based OTP (TOTP)⁵ เป็นรูปแบบที่นิยมใช้งานมากที่สุดในขณะนี้ เกิดขึ้นมาหลัง HOTP โดยได้นำ HOTP มาใช้เป็นต้นแบบ เพียงแค่เปลี่ยนค่าของตัวแปรจากเดิมที่ใช้ค่าของ Counter มาเป็นค่าของเวลาที่อยู่บน Client กับ Server แทน ส่วนผล OTP ที่ได้ก็จะเป็นตัวเลข 6-8 หลักเช่นกัน (3) Challenge-Response OTP เป็นการใช้อุปกรณ์ Challenge ที่ส่งมาจาก Server ไปสร้างเป็นรหัส OTP อยู่ที่ Client จากนั้นก็ Response รหัส OTP ที่ได้กลับไปยัง Server เมื่อ Server ได้รับ OTP ก็จะทำการสร้าง OTP อีกชุดหนึ่ง (OTP') โดยใช้ Challenge เดียวกันกับที่ Client ได้รับ นำ OTP ทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกัน (OTP==OTP') หากตรงกันแสดงว่าการยืนยันตัวตนถูกต้อง OTP ที่ได้เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษจำนวน 6-24 ตัว โดยมี S/Key OTP⁶ เป็นระบบพื้นฐานของรูปแบบนี้

3. OTP กับ Online Banking

Online Banking หรือ Internet Banking หรือ E-banking เป็นระบบสารสนเทศที่ต้องการความมั่นคงสูง เนื่องจากเป็นการทำธุรกรรมผ่านอินเทอร์เน็ต ดังนั้น OTP จึงเป็นเรื่องมือและกลไกสำคัญที่ช่วยในเรื่องความมั่นคงสำหรับกระบวนการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าใช้งานระบบ ซึ่งในการนำ OTP มาใช้งานจริงนั้น มีอยู่ด้วยกัน 4 รูปแบบ ดังนี้ (1) Email OTP คือ การส่ง OTP จาก Server ไปยัง Email address ของผู้ใช้ ผ่านทางอินเทอร์เน็ต (2) SMS OTP คือ การส่ง OTP จาก Server ไปยังโทรศัพท์มือถือของผู้ใช้ ผ่านทาง SMS ซึ่งเป็นรูปแบบที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันนี้ (3) Token OTP คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้าง OTP ขึ้นมา แล้วแสดงผลทางหน้าจอ ผู้ใช้จึงไม่จำเป็นต้องรอรับรหัส OTP จาก Server เช่น RSA SecurID เป็นต้น (4) Mobile OTP คือ การนำเอา Smartphone มาทำหน้าที่สร้างรหัส OTP เสมือนเป็นอุปกรณ์ Token OTP โดยการติดตั้ง Mobile app ที่พัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบขององค์กรหรือบริษัทนั้นๆ เช่น Google Authenticator⁷, Facebook Code Generator⁸ พบว่ามีบางธนาคารในประเทศอินเดียได้นำรูปแบบนี้มาใช้ เช่น ธนาคารยูเนียน (Union Bank of India) แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ว่ามีการนำมาใช้กับธนาคารในประเทศไทย

4. OTP กับประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยนั้น OTP ได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มความมั่นคงในการยืนยันตัวตนเข้าใช้

งานระบบที่ต้องการความมั่นคงสูงเช่นเดียวกัน ที่เห็นได้ชัดคือระบบ Online Banking และ E-commerce ต่างๆ โดยในปี พ.ศ. 2551 ธนาคารแห่งประเทศไทยได้ประกาศให้ธนาคารทุกแห่งที่มีระบบการทำธุรกรรมออนไลน์ ต้องใช้การยืนยันตัวตนมากกว่าหนึ่งปัจจัยในการใช้งานระบบ⁹ จึงเริ่มมีการนำระบบ OTP มาใช้ตั้งแต่นั้นมา ซึ่งในยุคแรกจะเป็นการใช้ Email OTP แต่ถูกยกเลิกไปในปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากมีช่องโหว่จนสามารถถูกโจรกรรมเงินได้ จากนั้นธนาคารของประเทศไทยทุกแห่งจึงเปลี่ยนมาใช้ SMS OTP แทน และได้ใช้งานมาจนถึงทุกวันนี้ มีเพียงธนาคารต่างชาติบางแห่งที่ใช้ Token OTP เช่น ธนาคาร HSBC สำหรับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ. 2556 เป็นต้นมา พบว่ามีข่าวการโจรกรรมเงินใน Online Banking ออกมาอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าผู้ใช้ SMS OTP แล้วก็ตาม งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของระบบ OTP รวมทั้ง SMS OTP ว่าเหตุใดจึงยังถูก Hack ได้ และทางคนร้ายมีวิธีการอย่างไรในการโจรกรรมเงิน

5. Malware

Malware² มาจากคำว่า "Malicious Software" คือ ซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะเป็นภัยคุกคามต่อคอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดอันตรายต่อข้อมูลที่อยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรงและทางอ้อม เช่น Virus, Worm, Trojan Horse, Spyware เป็นต้น ซึ่งพบว่า Trojan Horse หรือโปรแกรมที่ดูเหมือนจะมีประโยชน์แต่แท้จริงแล้วกลับมีการซ่อนโค้ดที่ได้ออกแบบมาเพื่อจุดประสงค์ร้าย เช่น ขโมยข้อมูล แก้ไขข้อมูล ทำลายระบบ เป็นต้น คือตัวการสำคัญที่ทำให้สามารถโจรกรรมเงินใน Online Banking ได้ สำหรับ Trojan ที่ขึ้นชื่อตัวนี้ ได้แก่ ZitMo¹⁰, WUC's Conference.apk¹¹ และ Svpeng¹² ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อผลการวิเคราะห์ Trojan Horse

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรัชญา ไชยเมือง และคณะ¹³ ได้ทำการปรับปรุง S/Key OTP ที่มีปัญหาด้านความยาวของผลลัพธ์ OTP คือ เป็นไปได้สูงสุดถึง 24 ตัวอักษร โดยใช้วิธีแปลงรหัสแบบ Base64 Encoding เพื่อลดจำนวนตัวอักษรลง จนเหลือ 12 ตัวอักษร แต่ยังคงรักษาคุณภาพของความมั่นคงไว้เท่าเดิม และทำการทดสอบประสิทธิภาพของ Base64 S/Key OTP พบว่าจำนวนครั้งของการกรอก OTP ที่ผิดพลาดของผู้ใช้ลดลงเมื่อเทียบกับ S/Key OTP ปกติ

Mulliner และคณะ¹⁴ ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงของ SMS OTP พบว่ามีวิธีการโจมตีหลัก ดังนี้ (1) Mobile Phone Trojans (2) Wireless Interception (3) Sim Swap พร้อมแสดงให้เห็นว่า SMS OTP ไม่มีความมั่นคงพอ และได้เสนอ

วิธีแก้ปัญหาคือ (1) SMS End-to-End Encryption คือ พัฒนา app ที่ใช้ในการเข้ารหัสและถอดรหัส SMS ทั้งต้นทางและปลายทาง (2) Virtual Dedicated Channel คือ สร้างช่องทางเสมือน โดยการพัฒนา OtpMessages app (เป็นแบบ Pre-installed app) เพื่อปกป้อง SMS OTP จาก Trojans โดย OtpMessage จะคอยทำหน้าที่รื้อรับ SMS จาก SMS port เช่นเดียวกับกับ SMS app ทั่วไป แต่จะคัดกรองเอาเฉพาะ SMS OTP โดยใช้ Keywords ตรวจสอบข้อความ เช่น OTP, mTAN, mobileTAN, securetoken เป็นต้น ถ้าไม่ใช่ SMS OTP จึงจะปล่อยให้ SMS app หรือปล่อยให้เข้าสู่ SMS inbox นั้นเอง

ภูกิจ นูร์ภักดี และปราโมทย์ กัวเจริญ¹⁵ นำเสนอวิธีการรักษาความมั่นคงและการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่ง SMS โดยในด้านการรักษาความมั่นคงได้ใช้วิธีการเข้ารหัสลับด้วยการใช้ Elliptic Curve Cryptography (ECC) ซึ่งเป็นแนวทางการเข้ารหัสลับแบบ Public Key และใช้ Key size เท่ากับ 160 bit โดยให้เหตุผลที่เลือกใช้ ECC แทนที่จะเลือกใช้ RSA ว่า ECC ใช้ Key size สั้นกว่า RSA ก็ยังให้ความมั่นคงที่เท่ากันได้ ดังนั้นหากใช้ Key size เท่ากันแล้ว ECC ย่อมให้ความมั่นคงที่มากกว่า ไม่เพียงเท่านี้ ECC ยังมีความสามารถในการคำนวณที่รวดเร็ว ทั้งยังใช้พลังงานต่ำและใช้หน่วยความจำเพียงเล็กน้อย จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก เช่น Smartphone, PDA

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ OTP พบว่าส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ใช้ OTP หรือเป็นการนำเสนอวิธีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของ OTP หรือเป็นงานวิจัยเชิงวิเคราะห์ปัญหา เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแต่มุ่งเน้นอยู่เพียง OTP ชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของระบบ OTP อย่างครอบคลุมทุกด้านและหลากหลายมากพอ งานวิจัยนี้จึงสนใจทำงานชิ้นนี้ขึ้นมา เนื่องจาก OTP ถือว่าเป็นด่านสกัดที่สำคัญของระบบ Online Banking และเพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจทางด้านนี้ จะได้งานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางการปรับปรุงและเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบ OTP มากยิ่งขึ้นต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

เป้าหมายของการวิเคราะห์ปัญหาของ OTP ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงจุดแข็งและจุดอ่อนของ OTP แต่ละชนิด โดยในภาพรวมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ (1) รูปแบบของการนำ OTP ไปใช้งาน ได้แก่ Email OTP, SMS OTP, Token OTP และ Mobile OTP (2) OTP

Algorithm ได้แก่ Counter-based OTP, Time-based OTP และ Challenge-Response OTP

ในกระบวนการวิเคราะห์ที่ได้มีการทดลองโจมตีกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการจำลองการโจมตีอยู่ภายใต้ระบบเครือข่ายสำหรับการทดสอบ (Testbed) โดยได้แบ่งการทดลองและ/หรือการวิเคราะห์ ออกเป็น 5 รายการ ดังนี้

1. การทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ Email OTP

Email OTP คือ รูปแบบที่ถูกนำมาใช้กับ Online Banking เมื่อในอดีต ซึ่งธนาคารของประเทศไทยได้ยกเลิกใช้ในปี พ.ศ. 2552 แต่ยังมีบางประเทศในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ที่ยังคงใช้รูปแบบนี้อยู่ ข้อดีของ Email OTP คือสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่มีอินเทอร์เน็ต และทางธนาคารก็ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการส่ง OTP แต่ Email OTP นั้นยังมีช่องโหว่อยู่มาก ดังจะแสดงให้เห็นจากการทดลองและวิเคราะห์ต่อไปนี้

1.1 ทดลอง Email spoofing

เพื่อแสดงให้เห็นว่า สามารถปลอมแปลง Email เพื่อใช้ในการหลอกลวงเหยื่อได้ เครื่องมือที่ใช้คือ เว็บไซด์ Emkei's Instant Mailer¹⁶ (<http://emkei.cz>) เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการส่ง Email ปลอม

1.2 วิเคราะห์ Email sniffing

เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่ Hacker ใช้ในการดักจับข้อมูล Email ของเหยื่อ ไม่ว่าจะเป็น Password หรือเป็นเนื้อหาภายใน Email โดยใช้โปรแกรมดักจับข้อมูล เช่น Cain & Abel, Wireshark, TCPDump

2. การทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ SMS OTP

SMS OTP เป็นรูปแบบที่ถูกนำมาใช้งานมากที่สุด ในขณะที่ ไม่ว่าจะเป็น Online Banking หรือ E-commerce ธนาคารในประเทศไทยแทบทุกแห่งใช้ SMS OTP เนื่องจากในอดีตคิดว่ามีความปลอดภัยมาก ทั้งยังใช้งานง่าย สะดวกต่อผู้ใช้ และทางธนาคารก็ใช้เงินลงทุนน้อยมาก หากเทียบกับการใช้อุปกรณ์ Token OTP แต่ในปัจจุบันไม่เป็นเช่นนั้นแล้ว เนื่องจากมีรายงานข่าวการโจรกรรมเงินใน Online Banking ออกมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ปี พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมา ดังนั้นในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2557) การใช้ SMS OTP จึงถือว่ามีความเสี่ยงสูงมาก โดยสามารถศึกษาข้อมูลความเสี่ยงได้จากทดลองและวิเคราะห์ SMS OTP ต่อไปนี้

2.1 ทดลอง SMS spoofing

เพื่อแสดงให้เห็นว่า SMS สามารถถูกปลอมแปลงชื่อและเบอร์โทรศัพท์ของผู้ส่งได้ จึงเป็นสาเหตุให้คนร้ายนำไปใช้หลอกลวงเหยื่อ เช่น การแอบอ้างว่าส่งมาจากธนาคาร เครื่องมือที่ใช้คือ (1) Mobile app ชื่อ Fake Sms Sender¹⁷

ซึ่งมีให้ Download บน Play Store (2) เว็บไซต์ FakeText¹⁸ (<http://www.faketext.net>) เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการส่ง SMS ปลอม อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ Smartphone ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android จำนวน 2 เครื่อง และคอมพิวเตอร์ Notebook จำนวน 1 เครื่อง

2.2 วิเคราะห์ Trojan Horse (Sniff and Forward)

เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของ Trojan Horse ที่เป็นต้นเหตุสำคัญของการโจรกรรมเงินใน Online Banking งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ถึงวิธีการที่เหล่า Hacker ใช้ในการส่ง Trojan มาฝังอยู่บนเครื่องเหยื่อ และได้อธิบายถึงความเสียหายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นหลังจากที่ Smartphone ติด Trojan แล้ว พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาและป้องกัน

2.3 วิเคราะห์ Social Engineering

วิศวกรรมสังคม (Social Engineering) คือ การโจมตีรูปแบบหนึ่งที่ใช้เทคนิคทางจิตวิทยา ซึ่งคิดการโจรกรรมเงินใน Online Banking ในช่วงหลังๆ พบว่าคนร้ายมักจะใช้วิธีนี้เป็นส่วนใหญ่ เช่น การใช้หลักฐานปลอมเพื่อขอ SIM ใหม่ การสร้างหลักฐานปลอมเพื่อขอเปิดบัญชีธนาคารที่มีชื่อบัญชีเดียวกันกับเหยื่อ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากคดีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและได้เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย

3. การวิเคราะห์ปัญหาของ Token OTP

เป็นการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ Token OTP โดยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาสำรวจ และสอบถามข้อมูลจากผู้รู้และผู้ที่ใช้งานจริง

4. การทดลองและการวิเคราะห์ปัญหาของ Mobile OTP

Mobile OTP ถือเป็นรูปแบบใหม่ล่าสุดของ OTP คาดว่าถูกสร้างขึ้นมาเพื่อต้องการแก้ปัญหา OTP รูปแบบอื่นๆ ก่อนหน้านี้ ซึ่งในอนาคตอาจถูกนำมาใช้แทนที่ตัวอื่น การทดลองนี้เป็นการทดลองใช้งาน Google Authenticator ที่เป็นหนึ่งในตัวอย่างของ Mobile OTP เพื่อนำไปวิเคราะห์หาจุดแข็งและจุดอ่อนต่อไป

5. การวิเคราะห์ปัญหาของ OTP Algorithm

OTP Algorithm นับว่าเป็นหัวใจสำคัญของ OTP เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีในการสร้างรหัส OTP ขึ้นมา หากได้รับการออกแบบที่ดีมีคุณภาพ ย่อมส่งผลถึงความมั่นคงของ OTP ปัจจุบันมี 3 Algorithm ได้แก่ (1) Event-based OTP หรือ Counter-based OTP (2) Time-based OTP (3) Challenge-Response OTP ซึ่งพบว่าแต่ละ Algorithm ยังคงมีปัญหาอยู่ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของ OTP Algorithm ดังกล่าว

ผลการวิจัย

จากการทดลองและ/หรือการวิเคราะห์ปัญหาของ OTP ทั้ง 5 รายการ ได้ผลดังนี้

1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ Email OTP

1.1 ผลการทดลอง Email spoofing

Email สามารถถูกปลอมแปลงได้ ซึ่ง Hacker จะใช้ช่องโหว่ตรงนี้ในการนำไปหลอกลวงเหยื่อให้หลงกลได้ เช่น ส่ง Email ปลอมไปหลอกลวงเหยื่อว่าบัญชีธนาคารมีปัญหาจะถูกระงับใช้งาน ต้องรีบดำเนินการ Activateด่วน โดย Hacker ใช้วิธีแอบอ้างว่าส่งมาจากธนาคาร ด้วยการปลอมแปลงชื่อผู้ส่ง ดัง Figure 1 เมื่อเหยื่อหลงกลคลิกลิ้งค์ที่แนบมาให้ ลิงค์ดังกล่าวจะเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์ปลอมที่ Hacker ได้เตรียมไว้ ซึ่งมีช่องว่างให้เหยื่อกรอกข้อมูลสำคัญ เช่น Username/Password ดัง Figure 2

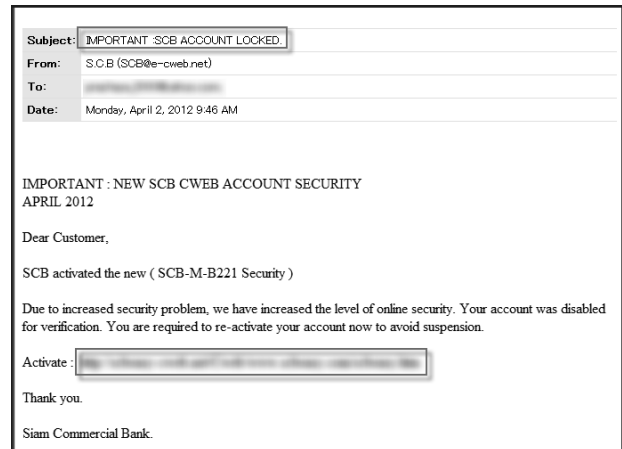


Figure 1 an Example of Email spoofing



Figure 2 an Example of phishing website

จากกรณีดังกล่าว งานวิจัยจึงได้ทำการทดลองส่ง Email ปลอม โดยกระทำผ่านเว็บไซต์ชื่อ Emkei's Instant Mailer (<http://emkei.cz>) ซึ่งได้ทดลองปลอมแปลงชื่อผู้ส่งเป็น BualuangBankingAlert (ลอกเลียนมาจากชื่อ Email ฉบับจริงของธนาคารกรุงเทพ) รวมทั้งปลอมแปลง Email address และข้อมูลอื่นๆ ดัง Figure 3 และผลลัพธ์จากการส่ง Email ปลอมฉบับนี้ไปยังปลายทางแสดงออกมาดัง Figure 4 จากการทดลองนี้ยังได้พบว่า Webmail Server ที่มีความมั่นคงสูงสามารถกรอง Email ขยะ (Spam mail) ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามผู้ใช้ก็ควรตรวจทานอีกครั้ง

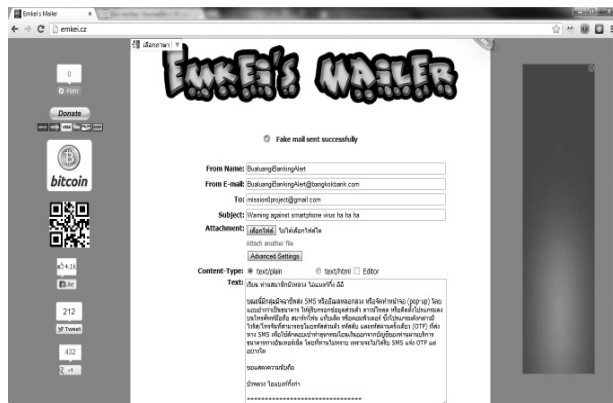


Figure 3 Email spoofing Test via <http://emkei.cz>

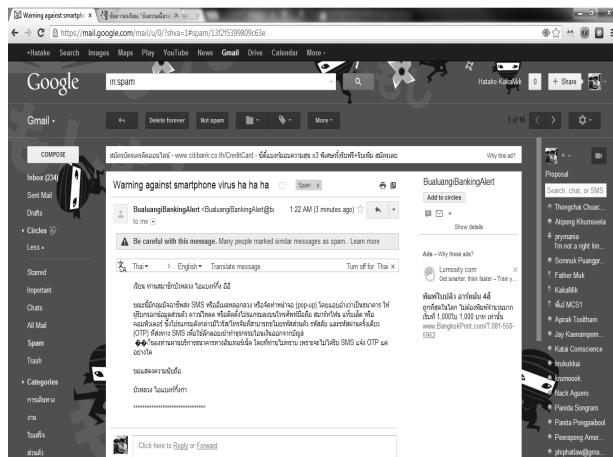


Figure 4 Result of the Email spoofing Test

1.2 ผลการวิเคราะห์ Email sniffing

เนื่องจาก Email ทำงานอยู่บนระบบเครือข่าย จึงมีความเสี่ยงที่จะถูกดักจับข้อมูลระหว่างการสื่อสาร วิธีการที่ Hacker นิยมใช้โจมตีคือ Man-in-the-Middle (MitM)² หมายถึงการแทรกกลางในระหว่างการสื่อสารของคน 2 คน ดัง Figure 5 ทำให้ Hacker สามารถดักจับข้อมูลของเหยื่อได้ ทั้งยังสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลระหว่างทางได้ โปรแกรมที่

ใช้ดักจับข้อมูลบนระบบเครือข่าย ได้แก่ Cain & Abel (ดัง Figure 6), Wireshark, TCPDump เป็นต้น



Figure 5 Man-in-the-Middle attack

หาก Hacker สามารถโจมตี Email OTP ด้วยวิธี MitM ได้สำเร็จ ไม่ว่าจะด้วยวิธีการ ARP spoof, DNS spoof, SSL Strip หรือใช้หลายวิธีการประกอบกัน ถ้าเหยื่อ Login เข้าใช้ Email เหยื่อก็คจะถูกดักจับ Username/Password ได้ และในการเปิดอ่าน Email (เช่น อ่านค่า OTP) Hacker ย่อมได้รับข้อมูลจาก Webmail Server ก่อนเหยื่อ ดังนั้น Hacker จึงสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลระหว่างทางได้ หรือไม่ก็จัดการลบ Email ฉบับนั้นทิ้งเลย จะเห็นได้ว่า เหยื่อมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายได้อย่างแน่นอน ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน Webmail Server ส่วนใหญ่ได้เพิ่มระบบรักษาความมั่นคงแล้วก็ตาม ตัวอย่างเช่น Gmail และ Hotmail โดย Gmail ได้ปรับทั้งเว็บไซต์ให้มีการเข้ารหัสในระหว่างการสื่อสารโดยใช้ Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS) ส่วน Hotmail ผู้ใช้จะต้องเข้าไปตั้งค่าเพื่อเปิดใช้ HTTPS ด้วยตัวเอง นอกจากนี้ทั้งสองเว็บไซต์ยังได้เพิ่มระบบยืนยันตัวตนแบบสองขั้นตอน (2-Step Verification) เข้าไป โดยใช้รหัส OTP สำหรับการยืนยันตัวตนในขั้นตอนที่สอง แต่ถึงอย่างนั้นผู้ใช้ส่วนใหญ่มักไม่ได้เปิดใช้งานกัน

การทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ Email OTP ในข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ Email OTP มีความเสี่ยงต่อการถูกโจรกรรมข้อมูลได้ง่าย การที่ธนาคารในประเทศไทยได้ยกเลิกใช้งานนั้นถูกต้องแล้ว ซึ่งบางประเทศในกลุ่ม AEC ที่ยังคงใช้งานอยู่ ก็ควรจะยกเลิกใช้งานเช่นเดียวกัน



Figure 6 Email sniffing by Cain & Abel

2. ผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ SMS

OTP

2.1 ผลการทดลอง SMS spoofing

ในปัจจุบันพบว่า มีวิธีการที่สามารถปลอมแปลงเลขหมายและชื่อของผู้ส่ง SMS ได้ จึงเป็นช่องทางให้เหล่าคนร้ายใช้ในการหลอกลวงเหยื่อ เช่น หลอกว่า SMS ส่งมาจากธนาคาร (ใช้เบอร์โทรศัพท์หรือชื่อของธนาคารนั้นๆ) ตัวอย่างกรณีการโจรกรรมข้อมูลด้วยการส่ง SMS ปลอม¹⁹ คือ คนร้ายจะส่งลิงค์แนบมากับ SMS หลอกให้เหยื่อติดตั้ง app ของธนาคาร (app ปลอม ผัง Trojan ที่มีประสงค์ร้าย เช่น ขโมยข้อมูลสำคัญของเหยื่อ) ดัง Figure 7



Figure 7 An Example of SMS Spoofing

จาก Figure 7 เหยื่อได้รับ SMS ปลอมจากคนร้ายที่ปลอมแปลงเลขหมายของผู้ส่งเป็นเบอร์ 027777777 แล้ว (เบอร์โทรศัพท์ของธนาคารไทยพาณิชย์) เนื้อหาภายในเป็นข้อความบอกให้เหยื่อกด Download app จากลิงค์ที่ส่งมาให้ถ้าหากเหยื่อหลงเชื่อกด Download และติดตั้ง app ดังกล่าว แล้วเปิดโปรแกรมขึ้นมา เหยื่อจะพบกับหน้า app ที่มีโลโก้ของธนาคารและมีช่องให้กรอก Username/ Password ของ SCB Easy Net ซึ่งหากเหยื่อหลงเชื่อกรอกข้อมูลจริง แล้วกดปุ่ม “ต่อ” ข้อมูลบัญชี SCB Easy Net ของเหยื่อก็คงตกเป็นของ Hacker ทั้งนี้ ไม่เพียงเท่านี้ Hacker ยังได้แอบฝัง Trojan ไว้ใน app ด้วย โดยมันจะคอยทำหน้าที่ดักจับ SMS ที่เข้ามายังโทรศัพท์มือถือของเหยื่อ แล้วส่งต่อไปยัง Hacker ทั้งนี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้เหยื่อถูกโจรกรรมเงินไปโดยไม่รู้ตัว ขั้นตอนโดยสรุปแสดงออกมาเป็นแผนภาพ ดัง Figure 8 ส่งผลให้ธนาคารในประเทศไทยตื่นตัวและได้ออกประกาศแจ้งเตือนผู้ใช้งาน Online Banking ทุกคนให้ระมัดระวังภัยเกี่ยวกับกรณีดังกล่าวผ่านทางหน้าเว็บไซต์ธนาคาร ตัวอย่างประกาศแจ้งเตือนของธนาคารกรุงเทพ แสดงดัง Figure 9



Figure 8 The Steps of Hacking online-bank



Figure 9 An Announcement of Bangkok Bank

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองส่ง SMS ปลอมโดยใช้บริการของเว็บไซต์ FakeText และ Mobile app ที่มีชื่อว่า Fake Sms Sender แม้ว่าการสำรวจใน Play Store จะพบ app ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก แต่จากการทดลองใช้กลับพบว่า มีเพียงบาง app ที่สามารถส่ง SMS ปลอมได้จริง

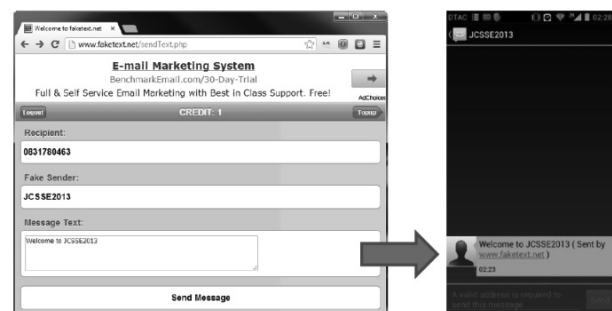


Figure 10 SMS spoofing Test via www.faketext.net

จาก Figure 10 แสดงการทดลองส่ง SMS ปลอม ผ่านเว็บไซต์ FakeText (<http://www.faketext.net>) งานวิจัยทำการทดลองดังนี้ (1) กรอกเบอร์โทรศัพท์ปลายทางเป็น

เบอร์โทรศัพท์ของผู้วิจัยเอง (2) กรอกข้อมูลในช่องผู้ส่งว่า "JCSSE2013" (ชื่อหรือเบอร์โทรศัพท์ก็ได้) (3) ส่งข้อความ SMS ว่า "Welcome to JCSSE2013" ซึ่งผลลัพธ์ปรากฏดัง Figure 10 (ขวา) จะเห็นว่า Header และข้อความ SMS เป็นไปตามที่เราต้องการ ส่วนข้อความที่เกินมาว่า "(Sent by www.faketext.net)" เนื่องจากในครั้งนี้เป็นทดลองส่งฟรี ซึ่งส่งได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ถ้าหากไม่ต้องการให้ปรากฏข้อความดังกล่าว หรือต้องการส่ง SMS ปลอมมากกว่า 1 ฉบับ ผู้ใช้จำเป็นต้องเสียค่าบริการ



Figure 11 SMS spoofing Test via Mobile app

จาก Figure 11 แสดงการทดลองส่ง SMS ปลอม ผ่านทาง Mobile app ชื่อว่า Fake Sms Sender งานวิจัยทำการทดลองดังนี้ (1) เลือกเบอร์โทรศัพท์ปลายทางเป็นเบอร์บิดาของผู้วิจัย (สามารถเลือกได้จากรายชื่อที่มีอยู่ในโทรศัพท์) จึงปรากฏชื่อว่า "Father Muk" (2) กรอกข้อมูลเบอร์โทรศัพท์ของผู้ส่งเป็นเบอร์บ้านของผู้วิจัย ซึ่งแท้จริงแล้วโทรศัพท์บ้านไม่สามารถส่ง SMS ได้ (3) ส่งข้อความว่า "Good Afternoon Father. This is SMS which send from Home phone 555+" ดัง Figure 11 (กลาง) และผลที่ได้ปรากฏดัง Figure 11 (ขวา) จะสังเกตเห็นว่า Header แสดงเป็น "Ban Thumsirak" ซึ่งก็หมายความว่า เบอร์โทรศัพท์ของผู้ส่งที่ได้กรอกลงไปนั้นได้ไปเชื่อมโยงกับ Contact list ที่มีอยู่ในโทรศัพท์ของเหยื่อโดยอัตโนมัติ

2.2 ผลการวิเคราะห์ Trojan Horse

จากการทดลอง SMS spoofing หรือการส่ง SMS ปลอมในหัวข้อที่แล้วนั้น จะเห็นว่า เป็นการใช้ช่องโหว่เพื่อต้องการจะส่ง Trojan Horse เข้าไปฝังตัวใน Smartphone ของเหยื่อผ่านการติดตั้ง app จากลิงค์ที่แนบไปในข้อความ ดังนั้นตัวการสำคัญที่เป็นต้นเหตุของการโจรกรรมเงินใน Online Banking ก็คือ Trojan Horse นี้เอง สำหรับหน้าที่หลักของ Trojan Horse กรณี SMS OTP ก็คือ คอยดักจับ SMS ที่เข้ามาในเครื่องของเหยื่อและส่งต่อไปยัง Hacker

นอกจากวิธีข้างต้นแล้วยังมีอีกหลายวิธีที่ Hacker ใช้ในการปล่อย Trojan Horse มาฝังใน Smartphone ของเหยื่อ เช่น ทำการติดตั้งโดยตรงในขณะที่เหยื่อกำลังผลอหลอกให้ติดตั้ง Mobile app ผ่าน Email ปลอม หรือ สร้าง app ปลอมมาปล่อยให้ Download บน Play Store เป็นต้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ Smartphone ติด Trojan ได้ง่ายขึ้นเป็นเพราะผู้ใช้ Smartphone ส่วนใหญ่ไม่ได้ติดตั้ง Anti Virus เนื่องด้วยเหตุผลหลักๆ คือ จะทำให้เครื่องทำงานได้ช้าลง และต้องเสียเงินในการใช้งาน app

Trojan Horse ที่มีชื่อเสียงทางด้านการโจรกรรมข้อมูลเกี่ยวกับ Online Banking มีดังนี้ (1) Zeus-in-the-Mobile หรือ ZitMo¹⁰ เป็น Trojan ที่ถูกสร้างมาเพื่อตรวจสอบและขโมยข้อมูล SMS OTP โดยเฉพาะ พบเมื่อเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2553 โดย Kaspersky Lab ดังนั้น Zeus จึงเป็น Trojan ที่ถูกพบมาก โดยเริ่มแรกพบอยู่บนระบบปฏิบัติการ Symbian และ BlackBerry แต่ปัจจุบันถูกตรวจพบมากขึ้นไม่ว่าจะเป็น Windows Phone หรือ Android โดยหน้าที่ของมันคือคอยตรวจสอบเวลาเหยื่อทำธุรกรรมต่างๆ เพื่อ Redirect page ไปยังหน้าที่ได้เตรียมไว้ และยังคอยขโมย OTP จากบริการ E-banking หรือที่เรียกว่า mTANs (mobile Transaction Authentication Numbers) แล้วยังคงรับคำสั่งจาก Hacker อยู่ตลอดเวลาเพื่อเริ่มกระบวนการโจรกรรมข้อมูลต่างๆ (2) WUC's Conference.apk¹¹ เป็น Trojan ที่ถูกส่งมากับ Email โดยเป็นไฟล์ที่แนบมาในลักษณะของ Mobile app เพื่อหลอกให้เหยื่อติดตั้ง ตรวจพบเมื่อเดือนมีนาคมปี พ.ศ. 2556 โดย Kaspersky Lab และได้เรียก Trojan นี้ว่า Backdoor.AndroidOS.Chuli.a ผลกระทบของ app นี้คือจะคอยขโมยข้อมูล Contact list, SMS, Call logs, Phone data (เช่น Phone number, OS version, Model, SDK version) เป็นต้น ซึ่งจะเข้ารหัสด้วย Base64 แล้วส่งต่อไปยัง Hacker ทันที (3) Svpeng¹² เป็น Trojan ประเภทหนึ่งที่คอยขโมยข้อมูลบัญชีธนาคารและอื่นๆ โดยแอบแฝงมากับ SMS spam วิธีการคือ Hacker จะสั่งให้เหยื่อส่ง SMS ไปยังเบอร์ที่มีใน Contact list ทำให้คนรู้จักของเหยื่อที่ได้รับ SMS หลงเชื่อและติดตั้งโปรแกรมลงบนเครื่อง ซึ่งส่งผลให้คนๆ นั้นกลายเป็นเหยื่อรายต่อไปและก็กระจาย Trojan นี้ต่อไปเรื่อยๆ อีก สำหรับ Svpeng หรือ Trojan-SMS.AndroidOS.Svpeng ได้ถูกตรวจพบครั้งแรกที่ประเทศรัสเซีย บน Smartphone ของผู้ใช้งาน app ของธนาคารแห่งหนึ่ง มันคอยขโมยข้อมูล Login Account แล้วก็โจรกรรมเงินในบัญชีของเหยื่อไป โดยใช้เทคนิคการ Phishing ตอนเหยื่อทำธุรกรรมออนไลน์ผ่าน app กล่าวคือ มันจะเปิดหน้า Login หลอกขึ้นมา ถ้าตรวจพบว่ามีการทำธุรกรรมใดๆ เกิดขึ้น จากนั้นก็การขโมยข้อมูลดังกล่าวและอ่านข้อมูลบัญชีต่างๆ ของเหยื่อ เพื่อโอนย้ายเงินต่อไป



Figure 12 SMS attacking by Mobile Trojans

จาก Figure 12 เป็นการทดลองจากงานวิจัยของ Mulliner และคณะ¹⁴ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงของ SMS OTP และเสนอแนวทางป้องกันไว้ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบ Virtual Dedicated Channel หรือ Virtual SMS Channel ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางการป้องกันที่ได้เสนอไป Figure12 (ซ้าย) เป็นการทดลองส่ง SMS ธรรมดาเข้าไป พบว่า SMS app ได้รับข้อความตามปกติ และ PoC Trojan ก็ได้รับข้อความนี้เช่นกัน (ดักจับ SMS ได้สำเร็จ) แต่จากการทดลองส่ง SMS OTP เข้าไป จะพบว่า SMS app และ PoC Trojan จะไม่ได้รับข้อความนี้เลย มีเพียง Otp Message app ที่ได้รับดัง Figure12 (ขวา) แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ช่วยป้องกันการดักจับ SMS OTP ได้

2.3 ผลการวิเคราะห์ Social Engineering

Social Engineering² หรือที่เรียกว่า การต้มตุ๋นหลอกลวงโดยใช้เทคนิคทางจิตวิทยา และวิธีนี้ก็มักจะ ได้ผลเสมอ รวมถึงคดีการโจรกรรม Online Banking ที่เริ่มมีข่าวออกมาเรื่อยๆ ตั้งแต่ช่วงกลางปี พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมาว่า คนร้ายได้ใช้เทคนิคนี้ในการโจรกรรมดังกล่าว ซึ่ง Social Engineering ไม่ได้มีวิธีการที่ตายตัว วิธีการที่พบเห็นบ่อยเช่น การโทรศัพท์มาหลอกลวงเพื่อให้เปิดเผยข้อมูลสำคัญ การหลอกลวงผ่านอินเทอร์เน็ต (เว็บไซต์ Email หรือแชท) การค้นข้อมูลจากเว็บไซต์ เอกสาร สิ่งของ หรือจากถังขยะของบุคคลหรือองค์กรเป้าหมาย การแอบสังเกตขณะเหยือกำลังป้อนข้อมูล เป็นต้น ส่วนวิธีการที่เป็นข่าวดังที่ถูกเผยแพร่บนโลกออนไลน์นั้นก็คือ การปลอมตัวเป็นคนอื่นหรือการสวมรอยเป็นเหยื่อนั่นเอง ด้วยการสร้างหลักฐานปลอม โดยคนร้ายจะนำเอาหลักฐานปลอมนี้ไปใช้ในการขอ SIM ใหม่ และเปิดบัญชีใหม่ในธนาคารเดียวกันกับเหยื่อ ซึ่งการออก SIM ใหม่นี้ นอกจากจะทำให้เหยื่อโทรออกไม่ได้แล้ว คนร้ายยังได้รับ SMS OTP ที่ธนาคารส่งมาให้อีกข่าวของคดีที่เกิดขึ้นจริงนี้²⁰ ปรากฏดัง Figure 13 และ Figure 14



Figure 13 News on Bank Hacking by using Social Engineering

วิธีการสวมรอยเป็นคนอื่น (เหยื่อ) โดยใช้ในการสร้างหลักฐานปลอมขึ้นมา นั้น ถือเป็นวิธีล่าสุดที่คนร้ายใช้ในการโจรกรรมเงินใน Online Banking ถึงแม้ว่าเหยื่อจะป้องกันดีแล้วก็ตาม ยังมีสิทธิ์โดนได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะพนักงานธนาคารและเจ้าหน้าที่ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องล้วนจำเป็นต้องตรวจสอบหลักฐานของลูกค้าให้ดีเสียก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป จากคดีที่เกิดขึ้นจริง คนร้ายได้สร้างหลักฐานปลอมที่เป็นเอกสารราชการ ดัง Figure 14 ตอนนี้คนร้ายได้ถูกจับกุมตัวดำเนินคดีแล้ว ข้อมูลที่ได้มาคือ คนร้ายได้ก่อเหตุมาแล้ว 4 ครั้ง ทำงานกัน 2 คน วิธีการที่ใช้คือ (1) เก็บสลิปถอนเงินตามตู้ ATM ของธนาคารต่างๆ ดูว่าสลิปได้มีเงินเหลือมาก (2) หารายชื่อเจ้าของบัญชีจากเลขที่บัญชีที่ปรากฏในสลิปจากอินเทอร์เน็ต หรือจากบัญชีของคนรู้จักที่เคยมีการโอนเงินมา (3) ปลอมบัตรข้าราชการเป็นชื่อเจ้าของบัญชี แล้วไปขอข้อมูลทะเบียนราษฎร เพื่อทราบวันเดือนปีเกิด (4) นำบัตรข้าราชการปลอมไปเปิดบัญชีใหม่กับธนาคารเดียวกันกับเจ้าของบัญชีแต่ต่างสาขา (5) เมื่อเปิดบัญชีได้สำเร็จก็สมัคร Online Banking โดยระบุขอรวมบัญชีของเจ้าของบัญชีตัวจริงเข้ามาใช้บริการด้วย (6) เมื่อขอรวมบัญชีได้แล้วก็ทำการโอนเงินจากบัญชีตัวจริงของเหยื่อมายังบัญชีใหม่ผ่าน Online Banking จากนั้นก็ใช้บัตร ATM เบิกถอนเป็นเงินสดออกไป กรณีนี้คนร้ายได้เงินไป 4 แสนบาท

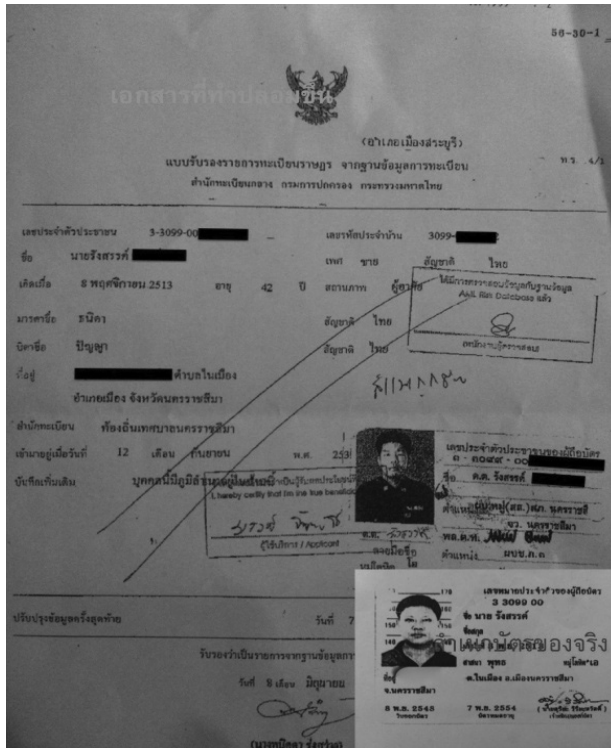


Figure 14 an Example of fake evidence document

จากการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ SMS OTP ซึ่งเป็นรูปแบบที่ธนาคารในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ พบว่าปัจจุบันมีความเสี่ยงสูงมาก มีข่าวคดีโจรกรรมออกมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ซึ่งหากยังคงใช้รูปแบบนี้ต่อไปในอนาคตจึงจำเป็นต้องเพิ่มระบบการรักษาความมั่นคงให้มากขึ้น ดังตัวอย่างงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

3. ผลการวิเคราะห์ปัญหาของ Token OTP

สำหรับธนาคารแล้ว การใช้อุปกรณ์ Token OTP ในการรับรหัส OTP นั้นถือได้ว่าเป็นรูปแบบที่มีความมั่นคงมากที่สุดขณะนี้ เนื่องจากผู้ใช้ไม่ต้องรอรับ OTP ที่ส่งมาผ่านระบบเครือข่ายใดๆ อีกต่อไป เพียงแค่ใช้งานอุปกรณ์ Token OTP ที่ได้มา ส่งผลให้ Hacker ไม่สามารถดักจับ OTP ได้ และหากมีการนำ Trojan ไปฝังอยู่บนอุปกรณ์ได้สำเร็จ ก็ไม่เกิดผลอะไร เพราะอุปกรณ์นี้ไม่สามารถสื่อสารไปยังภายนอกได้ ส่วนวิธีการใช้งานและการแสดงผลของ OTP จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นๆ และ OTP Algorithm ที่ใช้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของอุปกรณ์ Token OTP จากการศึกษา สํารวจ และสอบถามจากผู้รู้และผู้ที่ใช้งานจริง พบว่ามีปัญหาหลักดังนี้ (1) Cost กล่าวคือ ราคาของอุปกรณ์ Token OTP มีราคาสูงมากเริ่มตั้งแต่หลักพันเป็นต้นไป ทำให้ธนาคารและบริษัทส่วนมากไม่กล้าเสี่ยงลงทุนซื้อมาใช้งาน และลูกค้าส่วนใหญ่ก็ไม่มีกำลังซื้อหรือไม่ต้อง

การที่จะเสียเงินเพิ่ม (2) Carry กล่าวคือ เป็นการเพิ่มภาระการพกพาอุปกรณ์ให้แก่ผู้ใช้ ถ้าหากลืมก็จะไม่สามารถเข้าใช้งานระบบได้ ต่างจากโทรศัพท์มือถือที่จำเป็นต้องพกพาติดตัวอยู่แล้ว ไม่ได้เป็นการเพิ่มภาระแต่อย่างใด



Figure 15 Various Token OTPs

จาก Figure 15 คือภาพของอุปกรณ์ Token OTP ในรูปแบบต่างๆ ที่พบในปัจจุบัน มีตั้งแต่อุปกรณ์ที่ไม่มีลูกเล่นอะไรเลยไปจนถึงเป็นแบบ Card แผ่นบางๆ บ้างก็ผลิตออกมาในรูปอุปกรณ์ Flash Drive เพื่อให้ได้ใช้ประโยชน์อีกทาง ซึ่งแต่ละแบบก็มีราคาที่แตกต่างกันไป เช่น RSA SecurID 900 (เป็นแบบ Card)ราคาอยู่ที่ 282 US Dollar หรือประมาณ 9,200 บาท ต่ออุปกรณ์ 5 ชิ้น หรือคิดราคาต่อชิ้นประมาณ 1,840 บาทดัง Figure 16

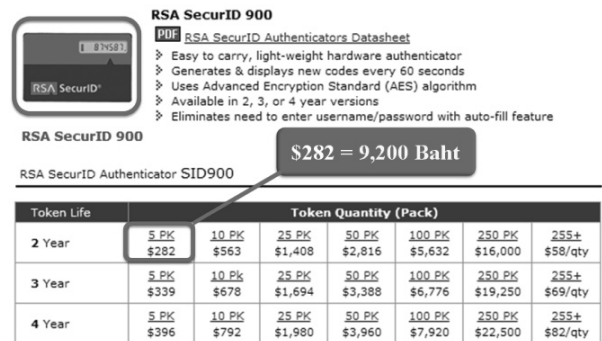


Figure 16 ราคาของอุปกรณ์ RSA SecurID 900

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ปัญหาของ Mobile OTP

Mobile OTP ถือว่าเป็นรูปแบบใหม่ล่าสุดสำหรับการใช้งาน OTP ทำหน้าที่เสมือนเป็นอุปกรณ์ Token OTP ตัวหนึ่ง โดยจะทำงานอยู่บน Smartphone ในลักษณะของ Mobile app อาจเรียกในอีกชื่อว่า Software Token OTP คาดว่า ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหา OTP รูปแบบอื่นๆ เช่น ลดภาระค่าใช้จ่ายและการพกพาอุปกรณ์ Token OTP เพิ่ม ไม่ต้องรอรับรหัส OTP ที่ส่งมาผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงที่จะถูกดักจับข้อมูล เป็นต้น ในอนาคต Mobile OTP อาจถูกนำมาใช้งานแทนที่ตัวอื่นๆ ปัจจุบันมีธนาคารบางประเทศ

ได้นำมาใช้กับระบบ Online Banking เช่น ธนาคาร Union ในประเทศอินเดีย แต่ยังไม่พบการนำมาใช้งานกับธนาคารในประเทศไทย พบเพียงการนำมาใช้กับบริษัทต่างๆ เช่น Google (Google Authenticator) ดัง Figure 17 และ Facebook (Code Generator) ดัง Figure 18 ที่มีจุดประสงค์คือเพิ่มความมั่นคงในการเข้าถึงบัญชีผู้ใช้และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการรับรหัส OTP ทั้งยังสามารถป้องกันการดักจับข้อมูล OTP ได้ในระดับหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองใช้งาน Google Authenticator เพื่อวิเคราะห์ปัญหา พร้อมทั้งพิจารณาจุดแข็งและจุดอ่อน

เนื่องจาก Mobile OTP ทำงานบน Smartphone ดังนั้นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่มีโอกาสจะได้พบเจอก็คือ ความเสี่ยงที่จะติด Malware อย่าง Trojan Horse นั่นเอง โดย Trojan ที่น่ากลัวมากที่สุดสำหรับ Mobile OTP ก็คือ Trojan ประเภทขโมยข้อมูลแล้วส่งต่อไปยัง Hacker ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Trojan ของ SMS OTP ที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ แต่ Mobile OTP จะมีความเสี่ยงน้อยกว่า

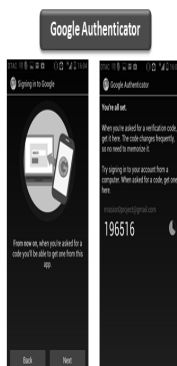


Figure 17 the Google Authenticator of Google



Figure 18 the Code Generator of Facebook

Google ได้เปิดตัวระบบ 2-Step Verification เมื่อ 20 กันยายน พ.ศ. 2553 ที่ผ่านมานี้ โดยนำระบบ OTP มาใช้ในการยืนยันตัวตนขั้นตอนที่สอง ซึ่งมีหลากหลายช่องทางในการขอรับรหัส OTP ให้ผู้ใช้เลือกได้แก่ SMS OTP, Voice Call และ Mobile OTP (Google Authenticator) ที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ได้มากที่สุด จากการศึกษาการใช้ Google Authenticator พบว่า (1) OTP Algorithm ที่ Google Authenticator ใช้คือ Time-based OTP ผู้ใช้จึงจำเป็นต้องเปิดใช้งานอินเทอร์เน็ตในการเข้าใช้งานครั้งแรกเพื่อทำการตั้งค่า Account และเพื่อให้ app ทำการ Sync เวลาของ Client กับ Server ให้ตรงกันหรือเข้าจังหวะกัน (2) รหัส OTP จะเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 30 วินาที และไม่ซ้ำกัน นั้นหมายความว่า app นี้สามารถสร้าง OTP ที่ไม่ซ้ำกันเลยภายในระยะเวลา 11 เดือนครึ่ง (3) มีรหัสผ่านสำรองเตรียมไว้ให้กรณีผู้ใช้ลืมโทรศัพท์มือถือ แบตหมด หรือว่าทำหาย ปรากฏอยู่บนเว็บไซต์ภายใต้บัญชีของผู้ใช้ มีให้ทั้งหมด 10 รหัสผ่าน ใช้ได้หนึ่งครั้งต่อรหัส ผู้ใช้สามารถให้ระบบสร้างขึ้นมาใหม่ได้เรื่อยๆ เมื่อต้องการหรือเมื่อใช้จนครบ วิธีนี้ถือว่าเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ดี แต่ไม่ควรใช้กับระบบ Online Banking (4) รหัส OTP จำนวน 9 รหัสล่าสุด (รวมรหัสที่กำลังแสดงบนหน้าจอของ app) สามารถใช้ Login เข้าระบบได้ทั้งหมด แต่เมื่อได้ใช้รหัสตัวใดตัวหนึ่งแล้ว รหัส OTP ตัวที่อยู่ลำดับถัดไปจากตัวที่ใช้ไปจะถูกปรับเป็นรหัสล่าสุดลำดับที่ 1 ในทันที หมายความว่ารหัส OTP ตัวที่อยู่ลำดับก่อนหน้าของตัวที่ใช้ไปจะไม่ได้ใช้ต่อไป เช่น รหัส OTP 9 รหัสล่าสุดคือ 000001-000009 และได้ใช้รหัส 000003 ไป ดังนั้นจึงเหลือรหัสล่าสุดที่ยังใช้ได้คือ 000004-000009 (เหลือเพียง 6 รหัสล่าสุด) ประโยชน์ของการใช้เทคนิควิธีนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาการเกิดเหตุการณ์ Out of Synchronization ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อผลการวิเคราะห์ OTP Algorithm ต่อไป

Mobile OTP ส่วนใหญ่นิยมใช้ Time-based OTP หรือไม่ก็ Counter-based OTP เป็น OTP Algorithm แต่มีจุดอ่อนคือจะถูก Brute-force attack ได้ง่าย เนื่องจากผลของ OTP ที่ได้เป็นเพียงแค่ตัวเลข 6-8 หลัก หากเทียบกับ Challenge-Response OTP ที่มีผลลัพธ์เป็นคำศัพท์ภาษาอังกฤษจำนวน 6 คำ (มีความยาวรวม 6-24 ตัวอักษร) ซึ่งถูก Brute-force attack ได้ยากกว่า จึงเป็น OTP Algorithm ที่เหมาะกับ Mobile OTP มากกว่า เนื่องจาก Mobile app สามารถประมวลผลการทำงานได้อย่างซับซ้อน นอกเหนือจากการแสดงผลบนหน้าจอเพียงอย่างเดียว

Table 1 Pros and Cons of OTPs

รูปแบบ OTP	ข้อดี	ข้อเสีย	สถานการณ์ใช้งาน
Email OTP	- ฟรี - เข้าถึงได้จากทุกที่มี Internet	- Email spoofing - Email sniffing - ใช้งานไม่สะดวก	ธนาคารทุกแห่งในประเทศไทยยกเลิกใช้งานแล้ว
SMS OTP	- สะดวก - ใช้งานง่าย - มือถือทุกรุ่นรองรับการทำงาน	- เสียค่าส่ง SMS - SMS spoofing - ปัญหา Trojans - วิศวกรรมสังคม	นิยมนำไปใช้งานมากที่สุด โดยเฉพาะกับธนาคารในประเทศไทย
Token OTP	- มีความมั่นคงมากที่สุดขณะนี้	- ราคาแพง - เพิ่มภาระพกพา	หลายประเทศนำมาใช้กับธนาคารมากขึ้น
Mobile OTP	- ไม่ต้องพกพาอุปกรณ์เพิ่ม - ใช้แทน Token OTP	- ปัญหา Trojans - มือถือรุ่นเก่าไม่รองรับการทำงาน (Smartphone only)	เริ่มมีการนำมาใช้กับบริษัท (Google, Facebook) บางประเทศนำมาใช้กับธนาคารแล้ว

จาก Table 1 เป็นข้อมูลการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ OTP รูปแบบต่างๆ ซึ่งได้แก่ Email OTP, SMS OTP, Token OTP และ Mobile OTP สามารถสรุปได้ดังนี้ (1) ปัจจุบันธนาคารทุกแห่งในประเทศไทยยกเลิกการใช้งาน Email OTP แล้ว เนื่องจากมีช่องโหว่ที่จะโดนโจมตีอยู่มากมาย (2) SMS OTP ถือเป็นรูปแบบที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุดในขณะนี้ มีข้อดีหลายอย่าง ในอดีตนับว่ามีความมั่นคงสูงมาก แต่ปัจจุบันพบว่ามีความเสี่ยงอยู่ไม่น้อยเลยทีเดียว (3) อุปกรณ์ Token OTP ถึงแม้ว่ามีความมั่นคงมากที่สุดที่สุดในขณะนี้ แต่เนื่องจากมีราคาที่สูงมากทั้งยังต้องพกพาอุปกรณ์เพิ่ม จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก (4) คาดว่าในอนาคต Mobile OTP จะถูกนำมาใช้งานแทน Token OTP และอาจมาแทน SMS OTP ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ผู้ใช้ Smartphone จำเป็นต้องระมัดระวังเรื่องของ Trojans และที่สำคัญคือผู้พัฒนา Mobile app ควรพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพ มีความมั่นคงสูงและมีระบบ Verify App เพื่อป้องกันการปลอมแปลง app ส่วนข้อจำกัดที่กล่าวมาไว้ใช้กับ Smartphone เท่านั้นคงไม่ใช่ปัญหาอีกต่อไป เพราะในปัจจุบัน Smartphone ได้ถูกผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก และมีให้เลือกมากมายหลายรุ่นหลายราคา เริ่มตั้งแต่ราคาไม่ถึงสามพันบาทไปจนถึงหลายหมื่นบาท จากผลสำรวจการใช้งาน Smartphone ทั่วโลก²¹ พบว่า ส่วนใหญ่เลือกใช้ Smartphone ที่เป็นระบบปฏิบัติการ Android

5. ผลการวิเคราะห์ปัญหาของ OTP Algorithm

จาก OTP Algorithm 3 รูปแบบ ที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่า Time-based OTP คือรูปแบบที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานมากที่สุด รองลงมาคือ Event-based OTP หรือ

Counter-based OTP และที่ถูกนำมาใช้น้อยที่สุดก็คือแบบ Challenge-Response OTP ทั้งที่มีความมั่นคงมากที่สุดอาจเป็นเพราะเหตุผลว่าสองอันดับแรกมีผลลัพธ์ของ OTP เป็นตัวเลขจำนวน 6-8 หลัก ทำให้ง่ายต่อการจดจำและนำไปกรอกข้อมูล ช่วยลดโอกาสการกรอกรหัส OTP ที่ผิดพลาดของผู้ใช้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ทุก Algorithm ที่กล่าวมานี้ล้วนยังมีปัญหาหรือจุดอ่อนอยู่ งานวิจัยนี้จึงได้ลงมือศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาของ OTP Algorithm ดังกล่าว

5.1 Event-based OTP หรือ Counter-based

OTP พบปัญหาดังนี้ (1) เกิดปัญหา Out of Synchronization หรือที่เรียกว่า การหลุดการทำงานที่ประสานงานกัน ในที่นี้คือค่าของ Counter ซึ่งหากมีค่าไม่ตรงกันระหว่างฝั่ง Client กับฝั่ง Server จะส่งผลให้ OTP ที่ได้มาจากการประมวลผลด้วย Algorithm เดียวกันมีผลลัพธ์ไม่ตรงกันจึงทำให้การยืนยันตัวตนเกิดความผิดพลาดได้ (2) มีผลลัพธ์ OTP เป็นตัวเลขเพียงแค่ 6-8 หลักเท่านั้น ทำให้ง่ายต่อการถูก Brute-force attack และด้วยความเสี่ยงนี้เองจึงนำไปสู่ Trial and Error Check²² ที่มีค่าน้อย ซึ่งก็คือจำนวนครั้งที่ผู้ใช้สามารถกรอก OTP ผิดได้จะลดน้อยตามไปด้วย ที่พบบ่อยคือ 3 ครั้ง หากผู้ใช้กรอก OTP ผิดเกินกว่าที่กำหนด ระบบจะมองว่ากำลังถูกโจมตีด้วยวิธี Brute-force attack จากนั้นระบบส่วนใหญ่จะใช้วิธีเพิ่มการตรวจสอบการกรอกรหัสผ่านว่ากระทำโดยมนุษย์จริงหรือไม่ โดยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า CAPTCHA²³ จึงเป็นการเพิ่มภาระให้แก่ผู้ใช้ ส่งผลให้การยืนยันตัวตนเกิดความล่าช้าหรืออาจไม่สำเร็จได้

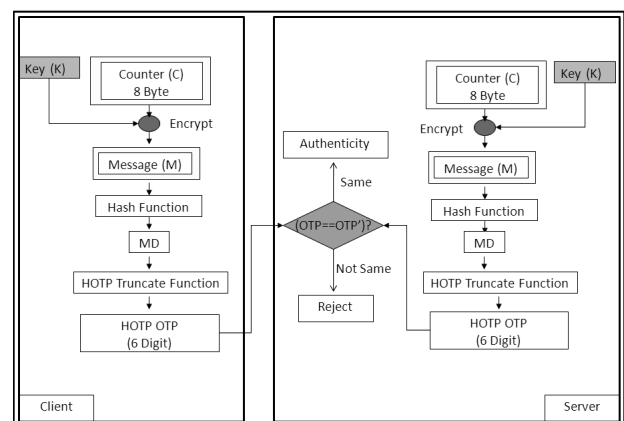


Figure 19 Procedures of HOTP

จาก Figure 19 คือกระบวนการทำงานของ HOTP หรือก็คือ Counter-based OTP นั่นเอง โดยมีขั้นตอนคร่าวๆ ดังต่อไปนี้ (1) Client จะเก็บกุญแจหลัก (Master Key) ไว้ เพื่อใช้ในขั้นตอนการเข้ารหัสแบบ AES²⁴ (2) Client ทำการสร้างตัวนับ (Counter) ขึ้นมา มีค่าเริ่มต้นเป็น 1 และ

จะเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการร้องขอ OTP (3) นำ Key ในขั้นตอนที่ 1 มาเข้ารหัสข้อมูล Counter ได้ Message (4) นำ Message ที่ได้เข้าสู่กระบวนการ Hash เช่น SHA-1²⁵ จะได้ Message Digest (MD) ที่มี output ขนาด 160 bits (5) นำ MD ที่ได้เข้าสู่ฟังก์ชัน HOTP Truncate เพื่อลดขนาด output เหลือ 32 bits จากนั้นนำไปแปลงเป็นตัวเลข 6-8 หลักจะได้ OTP เพื่อใช้ส่งไปยัง Server (6) เมื่อ Server ได้รับ OTP แล้วก็จะนำ OTP ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ OTP ที่ Server สร้างขึ้นจากกระบวนการเดียวกันกับ Client ถ้าผลการเปรียบเทียบออกมาตรงกันก็แสดงว่าผลการยืนยันตัวตนถูกต้อง ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าว จะเห็นได้ว่าค่าของ Counter มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ เช่น เมื่อผู้ใช้มีการร้องขอ OTP ใหม่ แต่ค่าของ Counter กลับไม่เพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้เกิดปัญหา Out of Synchronization ตามมา

5.2 Time-based OTP พบปัญหาดังนี้ (1)

ปัญหา Out of Synchronization เช่นเดียวกับ Counter-based OTP แต่กรณีนี้จะเป็นค่าของเวลาที่ไม่ตรงกันหรือไม่เข้าจังหวะกันระหว่างฝั่ง Client กับฝั่ง Server ส่งผลให้ OTP ที่ได้ออกมามีค่าไม่ตรงกันทำให้การยืนยันตัวตนเกิดความผิดพลาดได้ (2) ผลลัพธ์ของ OTP เป็นตัวเลขอย่างเดียว และมีเพียง 6-8 หลักเท่านั้นทำให้ง่ายต่อการถูก Brute-force attack จึงนำไปสู่ Trial and Error Check ที่มีค่าน้อย ดังที่ได้อธิบายไว้ในผลการวิเคราะห์ปัญหาของ Counter-based OTP

5.3 Challenge-Response OTP เช่น S/Key

OTP พบปัญหาดังนี้ (1) ผลลัพธ์ OTP เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีโอกาสเรียงกันยาวสูงสุดถึง 24 ตัวอักษร ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้แก่ผู้ใช้ ทั้งยังส่งผลให้มีโอกาสกรอก OTP ผิดพลาดได้ง่าย (2) กระบวนการที่ได้มาซึ่ง OTP นั้น ยุ่งยาก ซับซ้อนพอสมควร จำเป็นต้องให้ผู้ใช้ออกแรงช่วยจึงจะครบกระบวนการ เช่น ผู้ใช้ต้องนำเอาค่า Seed ที่ได้รับจาก Server ไปใช้ดำเนินการต่อเพื่อสร้างเป็นรหัส OTP ด้วย Algorithm ของ S/Key OTP แล้วจึงจะได้นำ OTP ไปใช้จริง แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ต้องออกแรงเพิ่มอย่างน้อยสองเท่าหากเทียบกับแบบอื่น ปัญหานี้สามารถแก้ได้ด้วยการพัฒนา app ที่ช่วยผ่อนแรงผู้ใช้ เช่น นำเทคโนโลยี QR Code มาช่วยสแกนค่า Seed

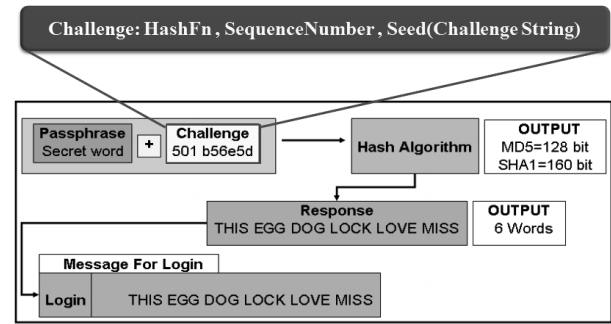


Figure 20 Procedures of S/Key OTP

จาก Figure 20 คือกระบวนการทำงานของ S/Key OTP แบบย่อ มีขั้นตอนวิธีดังนี้ (1) นำ Passphrase และ Challenge มาเชื่อมอักขระเข้าด้วยกันโดย Passphrase คือสิ่งที่ผู้ใช้กำหนดขึ้นมาเองหรือโปรแกรมกำหนดมาให้ มีลักษณะคล้ายกับ Password และต้องเก็บไว้เป็นความลับ ส่วน Challenge ประกอบไปด้วย Hash Function (MD4²⁶, MD5²⁷, SHA-1²⁵), Sequence Number และ Seed (เช่น Challenge String, Challenge Number) ซึ่ง Seed เป็นสิ่งที่ Server จะส่งมาให้ Client (2) นำข้อความจากขั้นตอนที่ 1 มาผ่านกระบวนการ Hash ตามที่กำหนดไว้ใน Challenge เช่น หากกำหนดเป็น SHA-1 ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็น MD ที่มีขนาด 160 bits (3) นำ MD ที่ได้ไปผ่านกระบวนการแปลงเป็นคำศัพท์ภาษาอังกฤษจำนวน 6 คำ โดยอ้างอิงจากฐานข้อมูลคำศัพท์ที่มีอยู่ทั้งหมด 2048 คำ แต่ละคำมีความยาวตั้งแต่ 1-4 ตัวอักษร จากนั้นจะได้ OTP ปรากฏอยู่ที่ Client (5) ผู้ใช้นำ OTP ที่ได้ไปกรอกเพื่อผ่านกระบวนการยืนยันตัวตนตัว อย่างผลลัพธ์ของ S/Key OTP เมื่อใช้ Challenge ที่แตกต่างกัน ดัง Table 2 แสดงให้เห็นว่าแม้มีเพียงหนึ่งคำที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็น Passphrase, Seed หรือ Count (Sequence Number) ก็ส่งผลทำให้ผลลัพธ์ของ OTP ที่ได้ออกมา มีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

Table 2 an Example of S/Key OTP

Passphrase	Seed	Count	Output (Hex)	Output (Six Word Format)
This is a test.	TeSt	0	BB9E 6AE1 979D 8FF4	MILT VARY MAST OK SEES WENT
This is a test	TeSt	1	63D9 3663 9734 385B	CART OTTO HIVE ODE VAT NUT
This is a test	TeSt	99	87FE C776 8B73 CCF9	GAFF WAIT SKID GIG SKY EYED
AbCdEfGhIjK	alpha1	0	AD85 F658 EBE3 83C9	LEST OR HEEL SCOT ROB SUIT
AbCdEfGhIjK	alpha1	1	D07C E229 B5CF 119B	RITE TAKE GELD COST TUNE RECK
AbCdEfGhIjK	alpha1	99	27BC 7103 5AAF 3DC6	MAY STAR TIN LYON VEDA STAN

Table 3 Comparison of S/Key OTP and Base 64 S/Key OTP

Input Data		OTP Output	
type	seed	S/key OTP	BASE64 S/Key OTP
Counter	0	HOB SIT POW NET NUT NINA	G0eQ05XC2Wk=
	1	KUDO VARY BEND BELL COLD BOTH	mHxpWkr2nrs=
	2	AREA GIG HUT NASH KERR BEN	TeLcc1kJYg0=
	3	OVER MEN DRUB THEY DOOR DUKE	umUF3G03VvA=
	4	MAP MOE QUIT OLGA WING REAL	J0Um69v+w3o=
Time	1970-01-01 00:00:59	SOAR DOSE SOAK SEA GAL AQUA	0S63RB2BXJs=
	2011-12-20 01:58:29	WANE ONTO MULE TOTE VINE BOLO	5xcewW8+ULY=
	2011-12-20 01:58:30	PAN MUTE NICE NODE GORY MY	MfYe0Np48FQ=
	2011-12-20 01:58:31	BIG ARMY EDGY YALE REEF	B57tOT0+6Xs=
	2011-12-20 01:58:32	BOMB ROOF GAD NAIR ALIA	W7g4VjUr+4=
Challenge	90552072	WHAM JO TRIO OUST JUNK KICK	6oQPf1z5Qyw=
	32546588	BURLOVA MAO WALL ACTA	YKYyROeapE=
	12654858	LETS DING EEL SELL LETS	9XO1zYhskzs=
	56854254	WAVY FOWL BLUM CRAM RIFT	6JC7zqz2w38=
	75568751	GLAD JUG GIRD JUNK SHOW	jEQmL33JQ5Y=

จาก Table 3 แสดงถึงการแก้ปัญหา S/Key OTP ด้วย Base64 Encoding โดยปรัชญา ไชยเมือง และคณะ¹³ ได้ทำการปรับปรุง S/Key OTP ที่มีปัญหาด้านความยาวของ OTP ที่เป็นไปได้สูงสุดถึง 24 ตัวอักษร โดยใช้วิธีแปลงรหัสแบบ Base64 เพื่อลดจำนวนตัวอักษรลงเหลือ 12 ตัวอักษร แต่ยังคงรักษาคุณภาพความมั่นคงไว้เท่าเดิม และได้ทดสอบประสิทธิภาพของ Base64 S/Key OTP พบว่าจำนวนครั้งของการกรอกรหัส OTP ที่ผิดพลาดของผู้ใช้ลดน้อยลงเมื่อเทียบกับ S/Key OTP แบบปกติ

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

One Time Password เป็นเครื่องมือและเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยเพิ่มการรักษาความมั่นคงให้กับการใช้งานระบบสารสนเทศที่สำคัญๆ โดยเฉพาะ Online Banking และ E-commerce อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบ OTP เข้ามาช่วย ก็ยังมีข่าวการโจรกรรมเงินใน Online Banking ออกมาอยู่เรื่อยๆ งานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์หาจุดแข็งและจุดอ่อนของระบบ OTP เพื่อให้เห็นปัญหาที่พบใน OTP แต่ละชนิด ข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้งาน OTP และ Online Banking รวมถึงการนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาและปรับปรุงระบบ OTP ให้มีประสิทธิภาพและมีความมั่นคงมากขึ้น

แนวโน้มของเทคโนโลยี OTP ในอนาคต คาดว่า Mobile OTP น่าจะเป็นรูปแบบที่ถูกนำมาใช้งานแทนรูปแบบอื่นๆ เนื่องด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องพกพาอุปกรณ์เพิ่ม ไม่ต้องเสียเงินซื้ออุปกรณ์ Token OTP ราคาแพง ลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจาก SMS spoofing และ Trojans เป็นต้น ส่วน OTP Algorithm ที่เหมาะสมกับระบบ Online Banking ก็คือ Challenge-Response OTP เพราะมีความมั่นคงสูงกว่าแบบอื่น แต่ควรได้รับการแก้ไขและปรับปรุงในส่วนที่ยังมีปัญหาให้ดีขึ้นเสียก่อน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- Haller N, Metz C, Nesser P, Straw M. A One-Time Password System. IETF, RFC 2289, February 1998.
- จตุชัย แพงจันทร์. Master in Security 2nd Edition. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี: บริษัท ไอทีซี พีริเมียร์ จำกัด; 2553.
- Krawczyk H, Bellare M, Canetti R. HMAC: Keyed-Hashing for Message Authentication. IETF, RFC 2104, Feb 1997.
- Raihi D, Bellare M, Hoornaert F, Naccache D, Ranen O. HOTP: An HMAC-Based One-Time Password Algorithm. IETF, RFC 4226, December 2005.
- Raihi D, Machani S, Pei M, Rydell J. TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm. IETF, RFC 6238, May 2011.
- Haller N. The S/KEY One-Time Password System. IETF, RFC 1760, February 1995.
- Feigenbaum E. A more secure cloud for millions of Google Apps users. [online]. September 2010 [cited 18 April 2014]; <http://googleenterprise.blogspot.com/2010/09/more-secure-cloud-for-millions-of.html>.
- A Few Updates to Make Your Mobile Experience More Safe and Secure. [online]. 7 June 2012 [cited 17 April 2014]; <https://www.facebook.com/notesfacebook-security/a-few-updates-to-make-your-mobile-experience-more-safe-and-secure/10150839779545766>.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. เพิ่มการรักษาความมั่นคงปลอดภัย ด้วยการ ใช้ Two-Factor Authentication. [online]. May 2008 [cited 3 May 2014]; http://www.bot.or.th/Thai/PaymentSystems/Publication/ps_pamphlet/Pages/Pamphlet_May2008.aspx.
- Kaspersky Lab. ZeuS-in-the-Mobile – Facts and Theories. [online]. October 2011 [cited 24 March 2014]; https://www.securelist.com/en/analysis/204792194/ZeuS_in_the_Mobile_Facts_and_Theories.

11. Kaspersky Lab. Android Trojan Found in Targeted Attack. [online]. March 2013 [cited 24 March 2014]; <https://www.securelist.com/en/blog/208194186>.
12. Mimoso M. Android Banking Trojan Svpeng Goes Phishing. [online]. 2013 [cited 24 March 2014]; <http://threatpost.com/android-banking-trojan-svpeng-goes-phishing/102822>.
13. ปรัชญา ไชยเมือง, สุชาติ คุ่มมะณี, สมนึก พ่วงพรพิทักษ์. การปรับปรุงรหัสผ่านใช้ครั้งเดียวแบบเอสซีดีโดยใช้การแปลงรหัสข้อมูลแบบฐาน 64. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ กรกฎาคม-ธันวาคม 2555; 8[2]: หน้า 1-7.
14. Mulliner C, Borgaonkar R, Stewin P, et al. SMS-Based One-Time Passwords: Attacks and Defense. Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment (DIMVA); 17-19 July 2013; Berlin. Springer; pp. 150-159.
15. ภูกิจ บุรีภักดี, ปราโมทย์ กัวเจริญ. การเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการรับส่งข้อความ SMS. The National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT); 9-10 พฤษภาคม 2555;
16. Emkei's Instant Mailer. [online]. 2013 [cited 9 June 2013]; <http://emkei.cz>.
17. Fake Sms Sender 1.10. [online]. 2013 [cited 19 May 2013]; <http://www.androidaapps.com/c-65-communications/detail-34780-fake-sms-sender-1-10.html>.
18. Welcome to faketext.net. [online]. 2013 [cited 19 May 2013]; <http://www.faketext.net>.
19. ระวังภัยจารกรรมในรูปแบบ SMS. [online]. 2013 [cited 8 May 2013]; <http://www.it24hrs.com/2013/sms-fake-app-fake-mobile-banking>.
20. เตือนภัย Internet Banking รูปแบบใหม่ ปลอมเป็นคุณด้วยหลักฐานปลอม สวมรอยโอนเงินออก สูญหลายแสน. [online]. August 2013 [cited 6 May 2014]; <http://www.it24hrs.com/2013/hack-otp-banking-change-new-sim-card>.
21. Worldwide Smartphone Sales to End Users by Operating System in 3Q13. [online]. Nov 2013 [cited 21 Dec 2013]; <https://www.gartner.com/newsroom/id/2623415>.
22. Nahari H, Krutz R. Web Commerce Security: Design and Development. 1st ed. Indianapolis: Wiley, Inc; 2011.
23. Kang L, Xiang J. CAPTCHA Phishing: A Practical Attack on Human Interaction Proofing. International Conference on Information Security and Cryptology (Inscrypt); Beijing, China. pp. 411-425.
24. Schaad J, Housley R. Advanced Encryption Standard (AES) Key Wrap Algorithm. IETF, RFC 3694, September 2002.
25. Eastlake D, Jones P. US Secure Hash Algorithm (SHA1). IETF, RFC 3147, September 2001.
26. Rivest R. The MD4 Message-Digest Algorithm. IETF, RFC 1320, April 1992.
27. Rivest R. The MD5 Message-Digest Algorithm. IETF, RFC 1321, April 1992.

การผลิตน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อความร้อนชนิดสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

Water Heating from Waste Heat of Air-Conditioner using a Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves as a Heat Exchanger

พัฒนพล มีนา¹

Pattanapol Meena¹

Received: 5 April 2014 ; Accepted: 14 August 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหมายเพื่อพัฒนาเครื่องผลิตน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อความร้อนชนิดสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ โดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบท่อความร้อนชนิดสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ทำจากท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ 2.03 มิลลิเมตร มีความยาวส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่นเท่ากับ 20, 10 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ จำนวน 40 โค้งเลี้ยว ติดตั้ง 2 วาล์วกันกลับ มุมทำงาน 90 องศาจากแนวระดับ ใช้ R134a เอทานอล และน้ำเป็นสารทำงาน ที่อัตราการเติมสารทำงาน 50 % ของปริมาตรรวม ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่มารับความร้อน คือ 0.5, 0.75 และ 1 ลิตร/วินาที จากการทดลอง พบว่าอุณหภูมิของน้ำในถังน้ำ อัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพทางความร้อน ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลิตร/วินาที เมื่อเติมสารทำงาน R134a จะดีที่สุดในทุกๆค่า สรุปได้ว่าการพัฒนาเครื่องผลิตน้ำร้อนจากความร้อนทิ้งของเครื่องปรับอากาศด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อความร้อนชนิดสัณวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทั้งในครัวเรือน และเชิงพานิชได้

คำสำคัญ : ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ วาล์วกันกลับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องปรับอากาศ น้ำร้อน

Abstract

The aim of this research was to develop a water heater by using a closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) as a heat exchanger. The CLOHP/CV heat exchanger was made from a copper capillary tube with an inner diameter of 2.03 mm. The lengths of evaporator, adiabatic and condenser were 20, 10 and 20 cm, respectively. The number of bends and check valves were 40 and 2, respectively. The inclination angle was 90° from horizontal axis. The CLOHP/CV with a filling ratio of 50% (by total volume of tube), using R134a, ethanol and distilled water as the working fluids, were used for testing in this research. The water flow rate for heating was controlled at 0.5, 0.75 and 1 L/s. It was found that, the temperature of the water in the tank, the heat transfer rate and the effectiveness at a water flow rate of 0.5 L/s while the CLOHP/CV heat exchanger was filled with R134a as the working fluid gave the highest temperature, the heat transfer rate and the effectiveness of all experimental results. This research can be used to develop a more efficient CLOHP/CV heat exchanger for water pre-heating from waste heat from an air-conditioner for use in domestic and commercial structures to save electrical and energy costs.

Keywords: Closed-loop oscillating heat pipe, Check valve, Heat exchanger, Air-conditioner, Water heater.

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมพลังงานและเทคโนโลยีท่อความร้อน, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
Email: pattanapol.m@hotmail.com

¹ Assistant, Professor Energy Innovation and Heat Pipe Technology Research Unit. Department of Physics, Faculty of Science, Maha sarakham University.

Email: pattanapol.m@hotmail.com *Corresponding

Introduction

In Thailand, air conditioners are used for reducing air temperatures from 30 – 40 °C to a more comfortable temperature (about 25°C). A lot of energy is used in this process, and waste heat is produced; if the waste heat could be recovered it would reduce the energy used. The oscillating heat pipe with check valve (CLOHP/CV) is widely accepted as the most efficient heat transfer device for high heat load. In the application of a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV) a heat exchanger for the water-preheater is able to use its waste heat on air conditioning systems. It can transfer the heat by itself with the latent heat of a working fluid in the tubes by akachi et al. [2] as shown in figure 1.

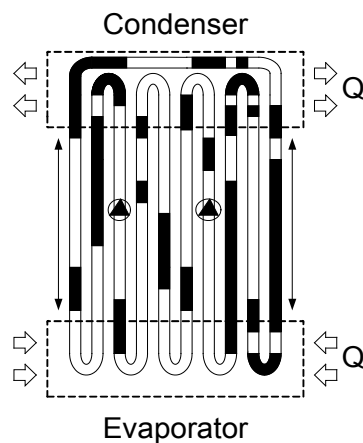


Figure 1 Closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV)

Noie-Baghban et al. [5] studied a heat recovery system using heat pipe heat exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. It was found that the experimental results for absorbed heat by the evaporator section are very close to the heat transfer rate obtained from computer simulation. Considering the fact that this is one of the first practical applications of heat pipe heat exchangers, the research has given informative results and paved the way for further research. Ameen et al.[1] studied an investigation into the effectiveness of a heat pump assisted clothes dryer for humid tropical environments. It was found that experimental results indicate the viability of developing an integrated air conditioner cum dryer suitable for humid tropical climates. Pipatpaiboon

et al.[3]studied the effect of inclination angle, working fluid and number of check valves on the characteristics of heat transfer in a closed-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV). It was found that the CHOHP/CV equipped with 2 check valves, has highest heat transfer. Rittidech et al.[7] studied the correlation to predict heat transfer of a closed-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV)]. Rittidech et al.[6]: studied the closed-ended oscillating heat-pipe (CEOHP) air-preheater for energy thrift in the dryer. It was found, from the experimental results, that thermal effectiveness increases and the (CEOHP) air-preheater achieves energy thrift. Meena et al.[4] studied the application of CLOHP/CV for reducing air humidity in the drying process. It was found that a CLOHP/CV can reduce air humidity in the drying processes. W.X. Ping *et al.*[8]: studied the application of heat-pipe exchangers for humidity control in an air-conditioning system. That research found that exchangers can reduce humidity in an air-conditioning system. So, the waste heat from air conditioner must be managed for heat recovery by heat exchanger. The CLOHP/CV heat exchanger is the most efficient heat transfer device. The heat transfer by itself with the latent heat of working fluids in the tubes can save energy using thermal process heat recovery and air or water pre-heating.

This research investigates the application of a CLOHP/CV heat exchanger for heating water using waste heat in air-conditioners. This research is expected to the development of a more efficient heat exchanger for water pre-heating that can be used in domestic and commercial scenarios to save energy and cost.

Experimental apparatus and procedure

The CLOHP/CV heat exchanger was made from copper capillary tube with an inner diameter of 2.03 mm. The lengths of evaporator, adiabatic and condenser were 20, 10 and 20 cm, respectively. The number of bends and check valves were 40 and 2, respectively. The inclination angle was 90° from horizontal axis. The CLOHP/CV with a filling ratio of 50% (by total volume of tube), using R134a, ethanol and distilled water as the working fluids, with water flow rate of water through the

condenser section of the CLOHP/CV heat exchanger tested at 0.5, 0.75 and 1 L/s. were used for testing in this research. Thermocouples were closed in the center points of all sections of the CLOHP/CV. The heat exchanger was covered with insulation to prevent heat loss from the system. Thermocouples in the air inlet and outlet of the evaporator box and in the water inlet and outlet of the condenser box were closed. The data logger Yokogawa-MX100 was used with type K thermocouples (Omega with ±1°C accuracy). The experimental results were recorded for 9 days from 08.00 until 18.00 hours.

Figures 2, 3 and 4 show an experimental setup consisting of a CLOHP/CV heat exchanger with the evaporator section being given heat by the waste heat from an air-conditioner while the condenser section is being cooled by water in a tank.

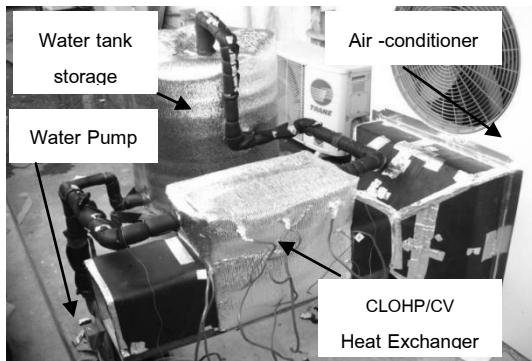


Figure 2 Experimental set up

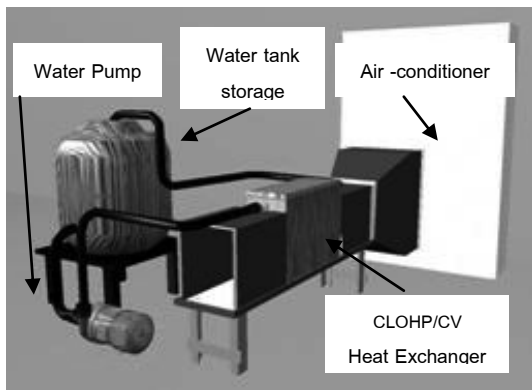


Figure 3 Test rig

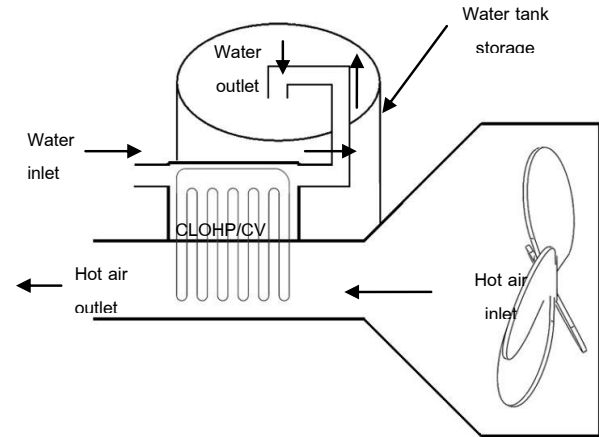


Figure 4 Schematic diagram of experimental apparatus

The thermocouples were used to calculate the heat transfer of the test CLOHP/CV by using the calorific method, as the following eq:

$$Q = m \cdot c_p (T_{out} - T_{in}) \tag{1}$$

Effectiveness of heat exchanger as a comparison, the rate of heat transfer rate with a disposable heating up of the exchange of heat can be written as following eq:

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \tag{2}$$

Where

$$Q_{max} = C_{min} (T_{hi} - T_{co}) \tag{3}$$

And

$$Q_{act} = C_o (T_{co} - T_{ci}) \tag{4}$$

Variable parameters were:

Working fluids were:

R134a, Ethanol and Water.

Water flow rate were:

0.5, 0.75 and 1 L/s.

Nomenclature

- m^{\bullet} = Mass per unit time
- C_p = Specific heat capacity, constant pressure
- T_{out} = Outlet temperature at condenser section
- T_{in} = Inlet temperature at condenser section
- ϵ = Effectiveness
- Q_{exp} = Experiment heat transfer rate
- Q_{exp} = Maximum heat transfer rate

Results and Discussion

1. Effect of water flow rate on water temperature in tank

Figure 5 shows the relationship of water temperature in the tank against time at a water flow rate of 0.5 L/s. The highest water temperature in the tank was 42.68 °C when using R134a as the working fluid. The water temperature in the tank, when using ethanol as the working fluid in the CLOHP/CV, was 41.67 °C, higher than when using distilled water as the working fluid in the CLOHP/CV, 40.52 °C. Figure 6 shows the relationship of water temperature in the tank against time at a water flow rate of 0.75 L/s. The water temperature in the tank, when using R134a as the working fluid, was 41.80 °C. The water temperature, when using ethanol as the working fluid in the CLOHP/CV, was 40.90 °C, and the distilled water temperature, when using water as the working fluid in the CLOHP/CV, was 39.83 °C. For the water flow rate of 1.0 L/s, the highest water temperature in the tank was 41.22 °C when using R134a as the working fluid in the CLOHP/CV. The water temperature in the tank, when using ethanol as the working fluid in the CLOHP/CV, was 40.44 °C, higher than when using distilled water as the working fluid in the CLOHP/CV, was 39.03 °C as shown in figure 7.

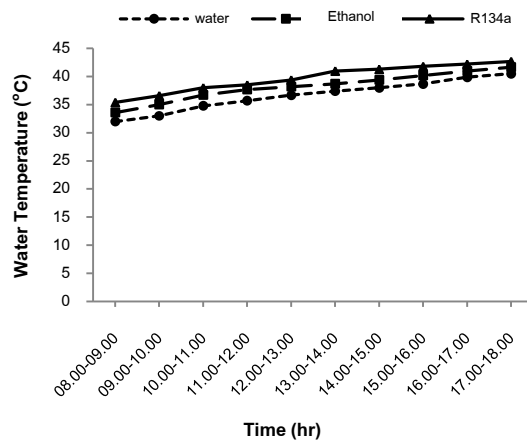


Figure 5 The relationship of water temperature in tank against time at a water flow rate of 0.5 L/s

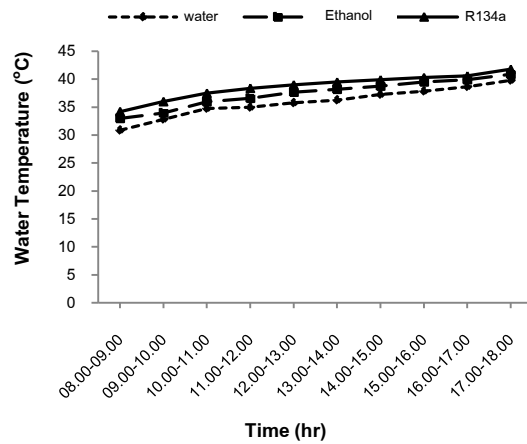


Figure 6 The relationship of water temperature in tank against time at a water flow rate of 0.75 L/s

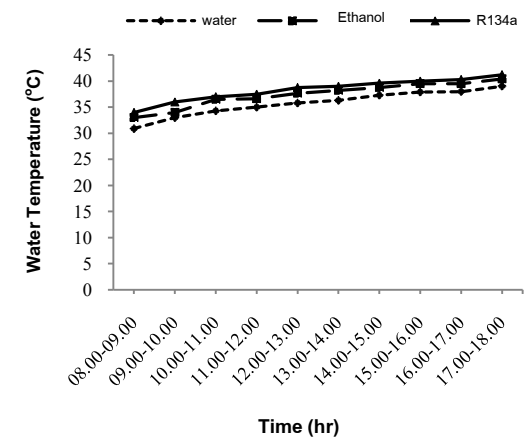


Figure 7 The relationship of water temperature in tank against time at a water flow rate of 1.0 L/s

Figure 8 shows the relationship of water flow rate against water temperature in the tank. It was found that at a water flow rate of 0.5 L/s the temperature of the water in the tank can increase more than when the water flow rate was 0.75 or 1.0 L/s. Therefore, the water flow rate of water into the condenser section of the CLOHP/CV heat exchanger was opposite to the water temperature in tank. In other words, if the water flow rate was high, the water temperature in the tank was low.

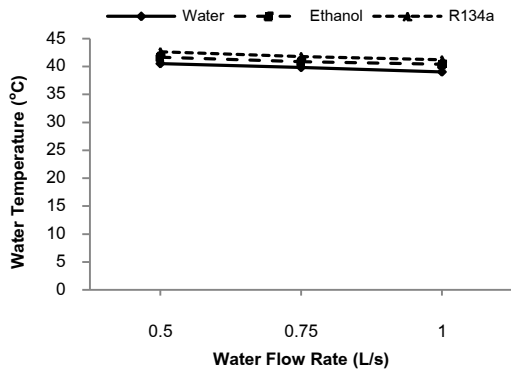


Figure 8 The relationship of water flow rate against water temperature in the tank

2. Effect of working fluid on water temperature in tank

Figures 9, 10 and 11 show the relationship of water temperature in the tank against time when using distilled water, ethanol and R134a as working fluids, in the CLOHP/CV respectively. It was found that the highest water temperature in the tank was when the water flow rate at the inlet of CLOHP/CV heat exchanger was 0.5 L/s.

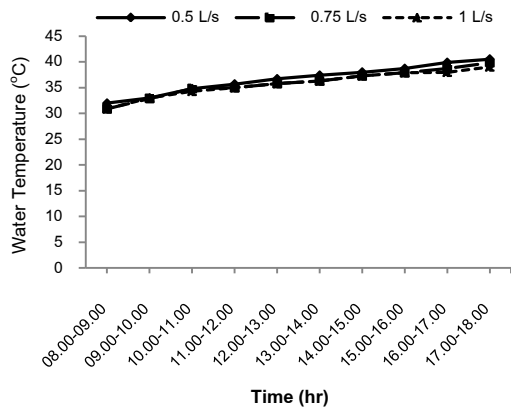


Figure 9 The relationship of water temperature in tank against time when distilled water was used in the CLOHP/CV

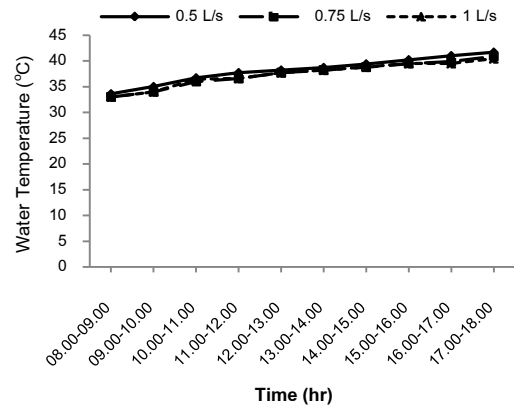


Figure 10 The relationship of water temperature in tank against time when ethanol was used in the CLOHP/CV

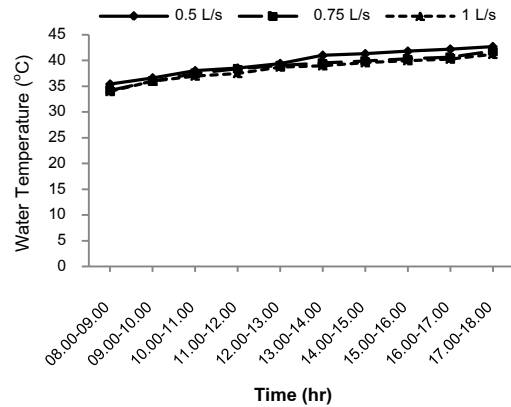


Figure 11 The relationship of water temperature in the tank against time when R134a was used in the CLOHP/CV

3. Effect of working fluid on water temperature

Figures 12 show the relationship of water temperature in the tank against time when using distilled water, ethanol and R134a as working fluids, in the CLOHP/CV respectively. It was found that the highest water temperature in the tank was when the water flow rate at the inlet of CLOHP/CV heat exchanger was 0.5 L/s.

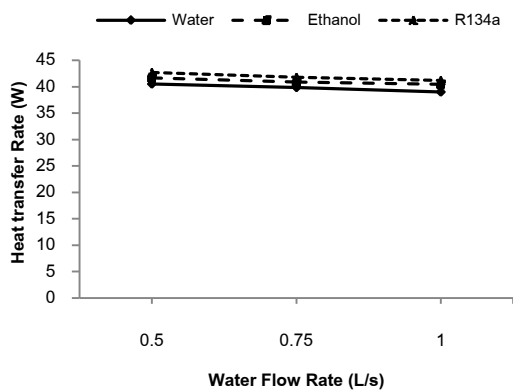


Figure 12 The relationship of water temperature in the tank against time for all the working fluids

4. Effect of working fluid on heat transfer rate

Figures 13 show the relationship of heat transfer rate against time when using distilled water, ethanol and R134a as working fluids, in the CLOHP/CV respectively. It was found that the highest heat transfer rate was when the water flow rate at the inlet of CLOHP/CV heat exchanger was 0.5 L/s.

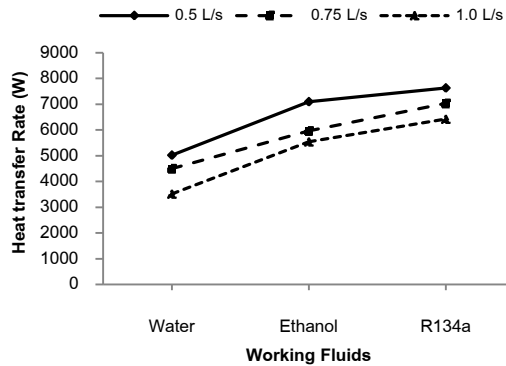


Figure 13 The relationship between heat transfer rate against time for all the working fluids

3.5 Effect of working fluid on effectiveness

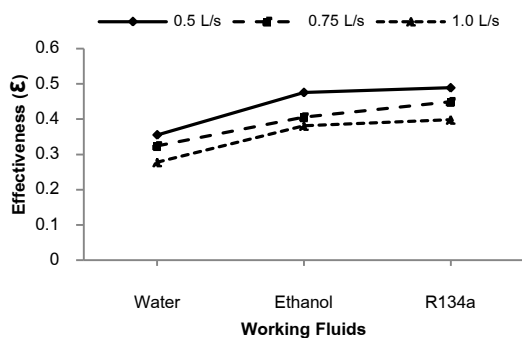


Figure 14 The relationship between effectiveness against time for all the working fluids

Figures 14 show relationship between effectiveness against time when using distilled water, ethanol and R134a as working fluids, in the CLOHP/CV respectively. It was found that the highest effectiveness was when the water flow rate at the inlet of CLOHP/CV heat exchanger was 0.5 L/s.

Conclusion

For the effect of water flow rate through the condenser section of the CLOHP/CV heat exchanger, it was found that the highest water temperature in the tank was at 0.5 L/s and the middle and the lowest water temperatures in tank were at 0.75 L/s and 1.0 L/s, respectively. The water flow rate of 0.5 L/s was the best water flow rate in this experiment because the time for heat transfer between the water and the surface of the CLOHP/CV heat exchanger was longer than with the water flow rate of 0.75 and 1.0 L/s, so the water was able to collect more heat from the CLOHP/CV heat exchanger than when the water flow rate were 0.75 or 1.0 L/s. In conclusion, the water temperature in the tank was controlled by the water flow rate, with 0.5 L/s giving the highest temperature, the heat transfer rate and the effectiveness.

For the effect of working fluid on water temperature in the tank, the heat transfer and the effectiveness it was found that when the CLOHP/CV heat exchanger used R134a as a working fluid the water temperature increased more than when ethanol and distilled water were used as the working fluids because the latent heat of R134a was the lowest in this experiment. So, the water temperature in the tank, the heat transfers rate and the effectiveness, when using R134a as the working fluid in the CLOHP/CV heat exchanger, were the highest.

Finally, development of the most efficient CLOHP/CV heat exchanger includes using R134a as the working fluid and a water flow rate of 0.5 L/s for the water pre-heater using waste heat from an air-conditioner. This CLOHP/CV will save on the use of energy and cost.

Acknowledgment

Financial support from the Faculty of Science, Maha sarakham University and Energy Innovation and

Heat Pipe Technology Research Unit (EIHTR), Department of Physics, Faculty of Science, Maha sarakham University.

References

- [1] A. Ameen, S. Bari, Investigation into the effectiveness of heat pump assisted clothes dryer for humid tropics, *Energy Conversion & Management* 45 (2004) 1397-1405.
- [2] H. Akachi, F. Polasek, P. Stulc, Pulsating heat pipe. *Proceeding of the 5th International Heat Pipe Symposium, Melbourne Australia (1996)* 208-217.
- [3] N. Pipatpaiboon, S. Rittidech and T. Sukna P. Sudee, Effect of inclination angle working fluid and number of check valves on the characteristics of heat transfer in a closed-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV), *Proceeding of 1st International Seminar on Heat Pipe and Heat Recovery Systems, Kuala Lumpur, Malaysia (2004)* 83-87.
- [4] P. Meena, S. Rittidech, N Poomsa-ad, Application of Close-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CVs) air-preheater for reduced relative-humidity in drying systems, *Applied Energy* 84 (2007) 553-564.
- [5] S.H. Noie-Baghban, and Gr. Majideian, WastHeat Recovery Using Heat Pipe Heat Exchanger (HPHE) for Surgesy Rooms in Hospitals. *Applied Thermal Engineering* 20 (2000) 1271-1282.
- [6] S. Rittidech, W. Dangeton, S. Soponronnarit, Closed-ended oscillating heat-pipe (CEOHP) air-preheater for energy thrift in dryer, *Applied Energy* 81 (2005) 198-208.
- [7] S. Rittidech, N. Pipatpaiboon and P. Terdtoon, Heat-transfer characteristics of a closed-looped oscillating heat pipe with check valves, *Applied Energy* 84 (2007) 565-577.
- [8] W.X. Ping, P. Johnson, A. Akbarzadeh, Application of Heat Pipe Heat Exchangers to Humidity Control in Air-conditioning Systems, *Applied Thermal Engineering* 17 (1997) 561-568.

การพัฒนาออนโทโลยีสำหรับระบบให้คำแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

The development of Ontologies for Information Recommendation System in the Northeast of Thailand

อิสรา ชื่นตา,¹ จารี ทองคำ,² จิรัฏฐา ภูบุญอบ²

Issara Chuenta,¹ Jaree Thongkam,² Jiratta Phuboon-ob²

Received: 15 May 2014 ; Accepted: 31 August 2014

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทำให้เกิดรายได้มาสู่ภูมิภาคนี้มาก ซึ่งการพัฒนาเว็บการท่องเที่ยวในภูมิภาคนี้มีเป็นจำนวนมาก แต่ยังมีส่วนน้อยที่นำออนโทโลยีมาใช้ในการพัฒนาระบบแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว (Recommender Management System) ซึ่งการค้นคืนสารสนเทศโดยใช้ออนโทโลยีเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย และการสร้างกฎยังมีความยุ่งยากอยู่ไม่น้อยตลอดจนความซับซ้อนในเรื่องของ รูปแบบภาษา (Syntax) ที่ต้องทำความเข้าใจ ดังนั้นคณะวิจัยจึงทำการพัฒนาออนโทโลยีต้นแบบการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้หลักการพัฒนาออนโทโลยีด้วยวิธีจากบนลงล่าง (Top-Down) จากล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และแบบผสม (Combination) ในการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว และค้นคืนข้อมูลโดยการใส่เงื่อนไขที่สลับซับซ้อน ระบบจัดการแนะนำข้อมูลได้ถูกนำมาใช้ เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจ ทำให้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้นในการใช้งาน จากผลการทดลองปรากฏว่าผลของการค้นคืนด้วยการออกแบบออนโทโลยีแบบผสม ทำได้ดีที่สุดด้วยค่า F-measure ร้อยละ 82.26

คำสำคัญ : ออนโทโลยี เว็บเชิงความหมาย โอตัมเบิ้ลยูแอล ระบบค้นคืนสารสนเทศ ระบบแนะนำข้อมูล คำหลัก

Abstract

Northeast of Thailand Eco-tourism is a significant revenue generator to the region. Several website have been developed for advertising the tourism in this region. However, few ontology has been used for developing the tourism website. Therefore, developing the tourism ontology for retrieving the information in the website is a challenging research task. Thus, ontology is a technology used to store and illustrate the structured-content of website. In order to achieve better F-measure, ontology plays an important role. This study aims to develop web-ontology for Northeast tourism website using three frameworks including top-down, bottom-up and combination between top-down and bottom-up (called combination). Moreover the recommender management system was used for building the alternative decision guideline which is easier and quicker to use. The experimental results showed that information retrieved using the combination framework has the highest F-measure up to 82.26%.

Keywords : Ontology, Semantic Web, Web Ontology Language, Information Retrieval, Recommender System, Key word

¹ นิสิตปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand.

บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจการท่องเที่ยวทำรายได้เป็นลำดับแรกเมื่อเทียบกับรายได้จากสินค้าออกอื่น ๆ¹ ด้วยเหตุนี้การค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวในประเทศไทยโดยใช้เครื่องมือในการค้นหาข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น แต่บางครั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหายังคงมีปัญหาเนื่องจากเว็บไซต์มีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ข้อมูลมีความหลากหลาย และมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ระบบค้นคืนข้อมูลและแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวจึงมีความจำเป็น เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจให้นักท่องเที่ยวและตรงกับความต้องการ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาเว็บเชิงความหมายโดยใช้ออนโทโลยีในการเก็บข้อมูล ทำให้สามารถค้นคืนข้อมูลเชิงความหมายเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว โดยที่ออนโทโลยี เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดเก็บ และนำเสนอเนื้อหาแบบมีโครงสร้าง ได้เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น และถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่าง ๆ เช่น Geographic², Bio-medical Informatics³, Information Processing system⁴, Integration System⁵, Information Retrieval System⁶, Tourism Information Retrieval⁷, Rule-based Systems⁸, Recommend Systems⁹ แต่ในระบบการท่องเที่ยวในประเทศไทยยังมีการนำเอา Ontology มาใช้ในการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวไม่มากนัก ในการพัฒนาออนโทโลยีสามารถแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง ได้แก่ การพัฒนาแบบบนลงล่าง (Top-Down) การพัฒนาแบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และการพัฒนาแบบผสม (Combination) ซึ่งการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down ผลการค้นคืนบางกรณีให้ผลลัพธ์ที่น้อยเกินไป การพัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up ผลการค้นคืนบางกรณีไม่มีผลลัพธ์ในการค้นคืน และการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination ผลการค้นคืนที่เยอะขึ้นในบางกรณีก็ให้ผลลัพธ์น้อยเกินไป และส่งผลให้การค้นคืนแม่นยำ และมีรูปแบบในการค้นคืนที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น มีนักวิจัยหลายท่านจึงได้นำแนวทางการใช้ออนโทโลยีในการค้นคืนข้อมูล Shang-Sadasivam และ Saravana¹⁰ ได้พัฒนาออนโทโลยีการค้นคืนสารสนเทศสำหรับการท่องเที่ยวในประเทศไทยอินเดีย โดยมีการพัฒนาออนโทโลยีไปพร้อม ๆ กับการอัปเดตออนโทโลยีได้เรื่อย ๆ มีการค้นคืนข้อมูลแบบ Top-down และ Bottom-up โดยสองวิธีนี้มีรูปแบบการค้นคืนที่แตกต่างกัน ผลการค้นคืนจากการวิจัย การค้นคืนแบบ Top-down ได้ผลการค้นคืนที่เยอะ และหลากหลายกว่าการค้นคืนแบบ Bottom-up

Tang และ Cai¹¹ ได้ทำการสร้างออนโทโลยีการท่องเที่ยวจากเอกสารที่ไม่มีโครงสร้าง โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการท่องเที่ยว ได้แก่ สถานที่ท่องเที่ยว โรงแรม ที่พัก ร้านอาหาร จากเอกสาร และบทความต่าง ๆ ซึ่งเป็นเอกสารที่ไม่มี

โครงสร้างที่อยู่ในเว็บไซต์ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์จากลักษณะเด่นของข้อมูล เพื่อนำมาข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างออนโทโลยี เพื่อให้ผลการค้นหาตรงตามความต้องการมากยิ่งขึ้น

Kathrin และคณะ¹² ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคเว็บเชิงความหมาย (Semantic Web) ในการพัฒนาระบบการค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบ e-Tourism จากการวิจัยมีการสร้างออนโทโลยีการท่องเที่ยวที่ชื่อว่า Harmonies Ontology เพื่อใช้ในด้านการศึกษา และการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยออนโทโลยีอยู่ในรูปแบบของเอกสาร RDF เชื่อมโยงข้อมูลที่พิก และเทศกาล เป็นหลัก

Alisa และคณะ¹³ ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการตอบคำถามเชิงความหมายสำหรับข้อมูลการท่องเที่ยวในประเทศไทย ซึ่งนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่โพสต์ในฟอรัมของเว็บไซต์ pantip.com เช่น สถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก สถานที่ท่องเที่ยว และร้านอาหาร เป็นต้น รวมถึงคำถามเกี่ยวกับการท่องเที่ยวที่ปรากฏบ่อย ๆ ในฟอรัม จากนั้นนำคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องออกแบบออนโทโลยี และค้นคืนด้วยภาษา SPARQL ผลการวิจัยได้ผลการตอบคำถามข้อมูลการท่องเที่ยวได้ดี เช่น สถานที่พัก ประเภทที่พัก ราคาที่พัก และจำนวนคนที่สามารถพักได้ (เนื่องจากระบบสามารถแปลงคำถามเป็นคำสั่งภาษา SPARQL ได้เลยทันที) ได้ค่า Recall เท่ากับ 89 % และค่า Precision เท่ากับ 95 % แต่พบว่าหากป้อนคำค้นคืนที่ไม่ถูกต้องตามหลักภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษระบบไม่สามารถค้นคืนข้อมูลได้ เนื่องจากไม่มีส่วนการตรวจสอบความคล้ายคลึงของคำค้นคืนนั้น ๆ แต่ในบางกรณีก็ไม่สามารถดึงข้อมูลของที่พักได้ทั้งหมด Naruepon และคณะ¹⁴ ได้นำเสนอการพัฒนาระบบค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยวจากออนโทโลยี โดยออกแบบออนโทโลยีการท่องเที่ยว 10 คลาส คือ Province, Amphoe, Tambon, Event, Accommodation, Attraction, Restaurant, Souvenir, OTOP และ Transportation โดยค้นคืนข้อมูลด้วยภาษา SPARQL และพัฒนาระบบด้วยภาษา PHP เพื่อค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยวเชิงความหมายและมีการเชื่อมโยงข้อมูลการท่องเที่ยวต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ผลของการวิจัยพบว่าระบบสามารถแสดงข้อมูลได้ถูกต้องและมีความสัมพันธ์กันระหว่างจังหวัดนั้น ๆ

Paul และ Nicolaas¹⁵ ได้พัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up โดยนำเอาข้อมูลทางเคมีของสารบริสุทธิ์มาวิเคราะห์ และออกแบบออนโทโลยี เนื่องจากข้อมูลของสารบริสุทธิ์มีความซับซ้อน จึงเริ่มต้นด้วยข้อมูลระดับล่างสุดหรือข้อมูลที่เล็กมากที่สุด ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลทางเคมีพื้นฐานที่มีอยู่จริงเหมาะสำหรับการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up มากกว่าการพัฒนาแบบ Top-Down

และนอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายท่านได้นำแนวทางการใช้ออนโทโลยีในการค้นคืนข้อมูลและระบบแนะนำข้อมูล Shang-Hsien และคณะ¹⁶ ได้นำเสนอออนโทโลยีมาใช้แทนกฎความสัมพันธ์เพื่อหาพฤติกรรมของลูกค้าในการซื้อสินค้ายี่ห้อ Adidas ในประเทศไต้หวันโดยผ่านเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ซึ่งกฎความสัมพันธ์ได้จากการจัดกลุ่มจากเหมืองข้อมูล (Data Mining) ด้วยอัลกอริทึมที่ชื่อว่า Apriori จากข้อมูลผู้สินค้าของ Adidas เพื่อทำนายและนำเสนอสินค้าให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า หลังจากที่ได้กฎแล้วทำการแปลงกฎเหล่านี้เป็นออนโทโลยีเพื่อนำมาใช้กับเว็บแอปพลิเคชัน (Semantic Web Rule)

Tanatorn Tanantong และคณะ¹⁷ ได้นำเสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการนำออนโทโลยีเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณคลื่นหัวใจของผู้ป่วยจากเครื่อง Electrocardiogram (ECG) ซึ่งรูปแบบของสัญญาณประกอบด้วย onset, offset และ peak โดยเริ่มจากการแปลงจับสัญญาณจาก ECG ให้อยู่ในรูปของออนโทโลยีหลังจากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลจากออนโทโลยีโดยใช้กฎ (Rules) ซึ่งอยู่ในรูปของ Semantic Web Rule Language (SWRL) โดยกฎที่ได้สร้างโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านทำให้แนวความคิดนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผู้ป่วยอัตโนมัติโดยใช้สัญญาณคลื่นหัวใจจากเครื่อง ECG ได้ทันที ทำให้แพทย์ไม่เสียเวลาในการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับหัวใจ

ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพ ของออนโทโลยีในแต่ละแนวทางรวมถึงบนลงล่าง (Top-Down) จากล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และแบบผสม (Combination) ในการค้นคืนสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

การทบทวนวรรณกรรม

ออนโทโลยี

ออนโทโลยี คือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดเก็บ และนำเสนอเนื้อหาแบบมีโครงสร้าง โดยใช้วิธีการบรรยายแนวความคิดด้วยข้อกำหนด (Specification) เพื่อแสดงมโนภาพ (Conceptualization) ของสิ่งต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโดเมน (Domain) เพื่อบรรยายแนวความคิดตามขอบเขตที่สนใจ โดยข้อกำหนดนั้นถูกอธิบายขึ้นเพื่อสร้างความเข้าใจโครงสร้างฐานความรู้ทางด้านใดด้านหนึ่งในการใช้งานข้อมูลร่วมกัน (Information Sharing) ระหว่างผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับในโดเมน เนื่องจากออนโทโลยีคือทฤษฎีทางโลจิก (Logic) ที่ใช้กำหนดความหมายของการอธิบายคำศัพท์ (Vocabulary) จากขอบเขตที่สนใจ ซึ่งมี

การกำหนดการอธิบายความหมายนั้นด้วยรูปแบบอย่างเป็นทางการ (Formal Explicit Description) ที่มีโครงสร้าง และความสัมพันธ์แบบลำดับชั้น (Hierarchies) ทำให้ออนโทโลยีมีความสามารถในการถ่ายทอดคุณสมบัติ (Inheritance) ออนโทโลยี มีข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่มีความเข้าใจในขอบเขตองค์ความรู้ นั้น ๆ ที่มีในโดเมนไปในทิศทางเดียวกัน โดยใช้นิยามแนวคิดให้อยู่ในรูปแบบของ โหนด หรือ คลาส (Class) ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส (Relation) คุณสมบัติของคลาส (Properties) สล็อต (Slot) ทำให้มีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้นโดยมีรูปแบบ และโครงสร้างในการอธิบายออนโทโลยีด้วยภาษาที่ใช้ในเว็บเชิงความหมายที่หลากหลาย เช่น ภาษา XML ภาษา RDF ภาษา RDFS และภาษา OWL¹⁸

แนวทางการพัฒนาออนโทโลยี (Ontology Development) มี 3 แนวทาง คือ การพัฒนาแบบบนลงล่าง (Top-Down) การพัฒนาแบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และการพัฒนาแบบผสม (Combination)

1. Top-Down

เป็นวิธีการที่เริ่มจากการกำหนดคอนเซ็ปต์ในโดเมนทั่วไป เริ่มต้นด้วยคำนิยามโดยทั่วไปที่พบมากที่สุดตามแนวคิดในโดเมน และเอาความเชี่ยวชาญนั้นไปคิดเป็นแนวทาง และกำหนดคอนเซ็ปต์ที่มีความเฉพาะเจาะจง ตัวอย่างเช่น เริ่มต้นด้วยการสร้างคลาสสำหรับแนวคิดโดยทั่วไปของไวน์ จากนั้นสร้างรายละเอียดย่อย ๆ (Sub Class) ในคลาสนั้น เช่น ไวน์ขาว ไวน์แดง โรสไวน์ และเพิ่มคลาสย่อยให้กับคลาสที่สามารถจำแนกย่อยลงไปอีกได้ เช่น คลาสไวน์แดง มีคลาสย่อยเป็น Cabernet, Syrah เป็นต้น

2. Bottom-Up

เป็นวิธีการที่เริ่มจากการกำหนดจากคอนเซ็ปต์ที่เฉพาะเจาะจงที่สุด หรือระดับล่างสุด โดยเริ่มต้นด้วยคำนิยามของความจำเพาะมากที่สุดของคลาส โดยมีการจัดกลุ่มตามลักษณะสิ่งเหล่านี้ให้เป็นแนวคิดที่กว้างมากขึ้น เช่น เริ่มต้นด้วยการกำหนดลักษณะของคลาส สำหรับไวน์ Pauillac และ Margaux จากนั้นสร้าง Super Class ให้สำหรับทั้งสองคลาส เป็นต้น

3. Combination

เป็นวิธีการนำทั้ง 2 แบบมาผสมกัน คือ แบบ Top-Down และแบบ Bottom-Up เป็นวิธีการที่เริ่มจากการกำหนดคอนเซ็ปต์ที่สำคัญหรือมีการอธิบายในโดเมนนั้น ๆ ก่อน จากนั้นกำหนดคอนเซ็ปต์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาความหมายในเชิงทั่วไป และเฉพาะเจาะจงจากคำสำคัญเหล่านั้นไปพร้อม ๆ กัน

เว็บเชิงความหมาย

เว็บเชิงความหมาย (Semantic Web) คือเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดเก็บ และนำเสนอเนื้อหาแบบมีโครงสร้าง รวมถึงสามารถในการวิเคราะห์จำแนกหรือจัดแบ่งได้ว่าข้อมูลที่ปรากฏนั้นมีความสัมพันธ์กับข้อมูลอื่น ๆ ในแต่ละระดับอย่างไร หรือเป็นการจัดเก็บ และนำเสนอแบบมีลำดับชั้น

ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาเว็บไซต์เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของ Information Overload ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นข้อมูล ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และไม่สะดวกในการนำไปใช้ต่อ เนื่องจากการค้นหาด้วยคำหลัก (Keyword) ทั่ว ๆ ไป เครื่องมือที่ใช้การค้นหาไม่สามารถทำความเข้าใจ และประมวลผลความหมาย หรือความสัมพันธ์ของคำนั้น ๆ ได้อย่างตรงประเด็น ผลของการสืบค้นที่ได้กลับมามีเป็นทุก ๆ เรื่องที่มีคำ ๆ นั้น และสร้าง Hyperlink เพื่อให้เชื่อมโยงไปยังข้อมูล โดยไม่รู้ว่าผลลัพธ์ที่ได้คือคำที่อยู่ในเรื่องที่ต้องการหรือไม่ เว็บเชิงความหมายจึงช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว คือ มีการระบุขอบเขตได้ โดยที่โปรแกรมสามารถเข้าใจองค์ประกอบของข้อมูล ซึ่งมีการอ้างอิงข้อมูลที่มีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกัน เพื่อให้ง่ายต่อการค้นคืนข้อมูลและแลกเปลี่ยนสารสนเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบค้นคืนสารสนเทศจากออนโทโลยี

ระบบค้นคืนสารสนเทศจากออนโทโลยี คือ เทคโนโลยีในการค้นคืนข้อมูลจากเอกสารที่มีโครงสร้างและมีความสัมพันธ์กันในเชิงความหมายในรูปของออนโทโลยี รวมทั้งมาตรฐานเมตาเดตา (Ontology-based Metadata) เพื่อค้นคืนข้อมูลจากแหล่งสารสนเทศต่าง ๆ ที่มีความหมายเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน เนื่องจากการสร้างความสัมพันธ์หรือเชื่อมโยงถึงกันได้ ทำให้สามารถค้นหาเอกสารที่มีความหมายในกลุ่มเดียวกัน โดยใช้หลักการพื้นฐานของความคล้ายคลึงเชิงความหมายเข้ามาช่วยและอาศัยคำอธิบายข้อมูลที่ถูกแทนด้วยภาษา OWL ซึ่งเป็นภาษามาตรฐานสำหรับเว็บเชิงความหมาย¹⁹ ดัง Figure 1

จาก Figure 1 แสดงขั้นตอนการทำงานของสถาปัตยกรรมระบบค้นคืนสารสนเทศจากออนโทโลยีโดยระบบแบ่งระดับการทำงานออกเป็น 6 ส่วนคือ ส่วนที่ 1) Local-Source Layer คือ ส่วนของแหล่งที่เก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ส่วนที่ 2) Wrapper Layer คือ ส่วนของ

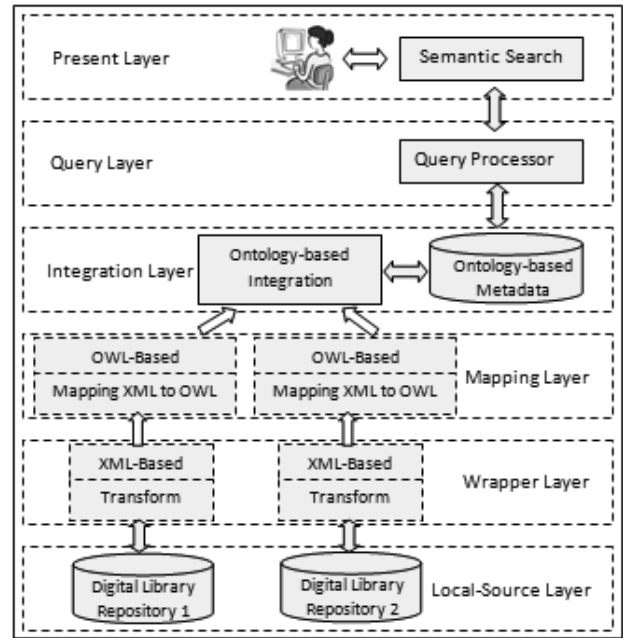


Figure 1 Information Retrieval System

การแปลงข้อมูลจากแต่ละระบบให้อยู่ในรูปของ XML-based ส่วนที่ 3) Mapping Layer คือ ส่วนการแปลงข้อมูลจากรูปแบบ XML เป็น OWL ส่วนที่ 4) Integration Layer คือ ส่วนการทำการบูรณาการออนโทโลยี โดยนำออนโทโลยี 2 ออนโทโลยีมาเชื่อมโยงส่วนที่สอดคล้องหรือคล้ายกันเข้าไว้ด้วยกัน ส่วนที่ 5) Query Layer คือ ส่วนของการสืบค้นข้อมูล ใช้ภาษา SPARQL (The SPARQL Protocol and RDF Query Language) เป็นภาษาใหม่ที่ใช้ในการสืบค้นข้อมูลจากออนโทโลยี โดยที่ SPARQL อยู่ภายใต้การพัฒนาของกลุ่ม W3C ส่วนที่ 6) Present Layer คือ ส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ในการค้นคืนข้อมูลและแสดงผล

ระบบจัดการแนะนำข้อมูล

ระบบจัดการแนะนำข้อมูล (Recommender Management System : RMS) เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่สามารถกำหนดตั้งค่าของการแนะนำ (Recommender Configuration) ต่าง ๆ เช่น เลือกกฎที่จะใช้ในการแนะนำ (Rule Selections), ประเภทการแนะนำ (Recommend or Matching) รายการคุณสมบัติที่จะแสดงในผลลัพธ์การแนะนำ จำนวนผลลัพธ์ของการแนะนำ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ในการปรับแต่งให้เหมาะสม (Customize) กับการประยุกต์ใช้งานแนะนำข้อมูล²⁰ ดัง Figure 2

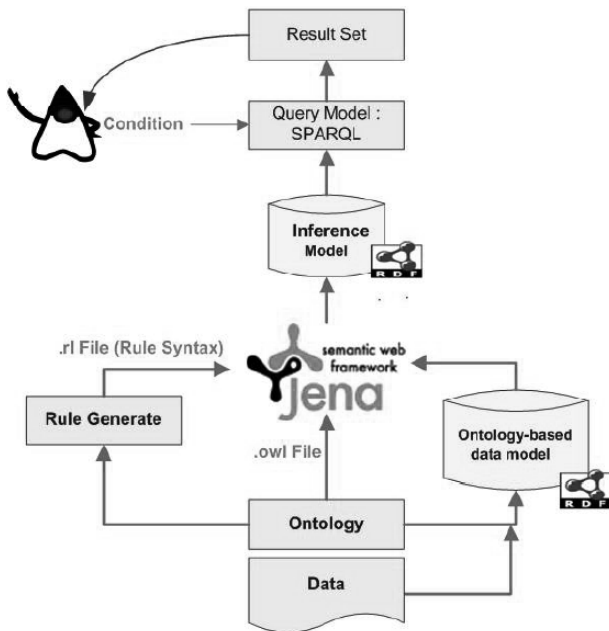


Figure 2 Recommendation System Framework

จาก Figure 2 แสดงภาพรวมของระบบการแนะนำ (Recommendation System) โดยส่วนประกอบหลัก ที่สำคัญคือ Data ที่อยู่ในฐานข้อมูลหรืออาจจะอยู่ในรูปแบบ RDF, Ontology, Rule, Model โดยผู้ใช้สามารถเพิ่ม ปรับปรุง และ แก้ไขกฎต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปแบบของ IF-THEN ได้ตามความต้องการ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มี 5 ขั้นตอน ดัง Figure 3 คือ 1) วิเคราะห์ข้อมูลการท่องเที่ยว และรวบรวมคำนิยาม 2) ออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีตามแนวคิด Top-Down, Bottom-Up และ Combination 3) Mapping ออนโทโลยีกับข้อมูลการท่องเที่ยว 4) ค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยวจากออนโทโลยีด้วยโปรแกรมเอสโอเอส (SOS - Semantic Ontology Search) และ 5) ประเมินผล

วิเคราะห์ข้อมูลการท่องเที่ยว และรวบรวมคำนิยาม

การวิเคราะห์ข้อมูลการท่องเที่ยวคือการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น สถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหาร การเดินทาง เป็นต้น การรวบรวมคำนิยามคือการพิจารณากลุ่มคำเพื่อสร้างคีย์เวิร์ด ซึ่งเป็นตัวแทนของคำนิยามนั้น โดยอยู่ภายใต้โดเมนหรือขอบเขตของการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อนำคำนิยามเหล่านั้นไปออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีในขั้นตอนต่อไป



Figure 3 The research methodology

ออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยี

ออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยี คือ การนำข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ และสร้างคีย์เวิร์ดออกมาออกแบบ และ พัฒนาออนโทโลยี ตามแนวทางการออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีมี 3 แนวทาง คือ Top-Down, Bottom-Up และ Combination เนื่องจากแนวทางการออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีมีหลายแนวทาง ซึ่งในโดเมนเดียวกันแต่มีการออกแบบด้วยแนวทางที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อโครงสร้างของออนโทโลยี เนื่องจากแต่ละแนวทางมีการเริ่มต้นด้วยคำนิยามตามแนวความคิดที่ต่างกัน

งานวิจัยนี้ออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีการท่องเที่ยวด้วยโปรแกรม Protégé 4.1 โดยออนโทโลยีอยู่ในรูปแบบของ OWL ไฟล์

1) การพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down

การพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down ผู้วิจัยนำเสนอองค์ความรู้ในการออกแบบออนโทโลยี โดยมีความสัมพันธ์ของ Object Property Data Property และ Instance ตามข้อมูลการท่องเที่ยวที่มี ประกอบไปด้วย 5 คลาสหลัก คือ คลาสเทศกาล (Annualfestival) คลาสที่พัก (Accommodation) คลาสร้านอาหาร (Restaurant) คลาสแหล่งท่องเที่ยว (Attractions) คลาสสถานที่ (Location) และคลาการเดินทาง (Transportation) ดัง Figure 4

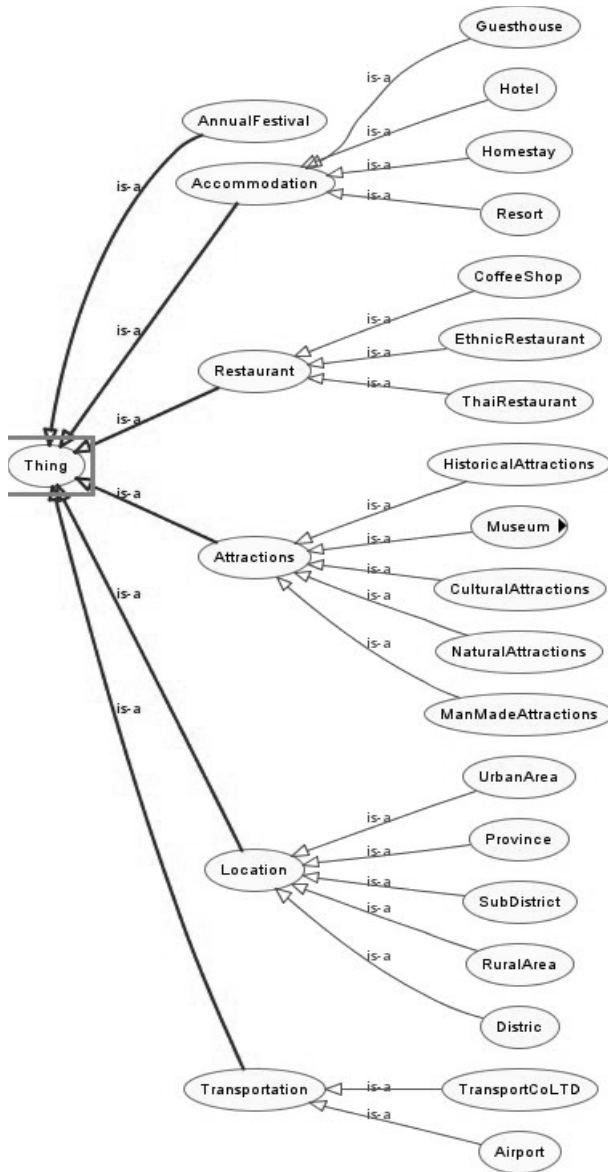


Figure 4 Top-Down Approach

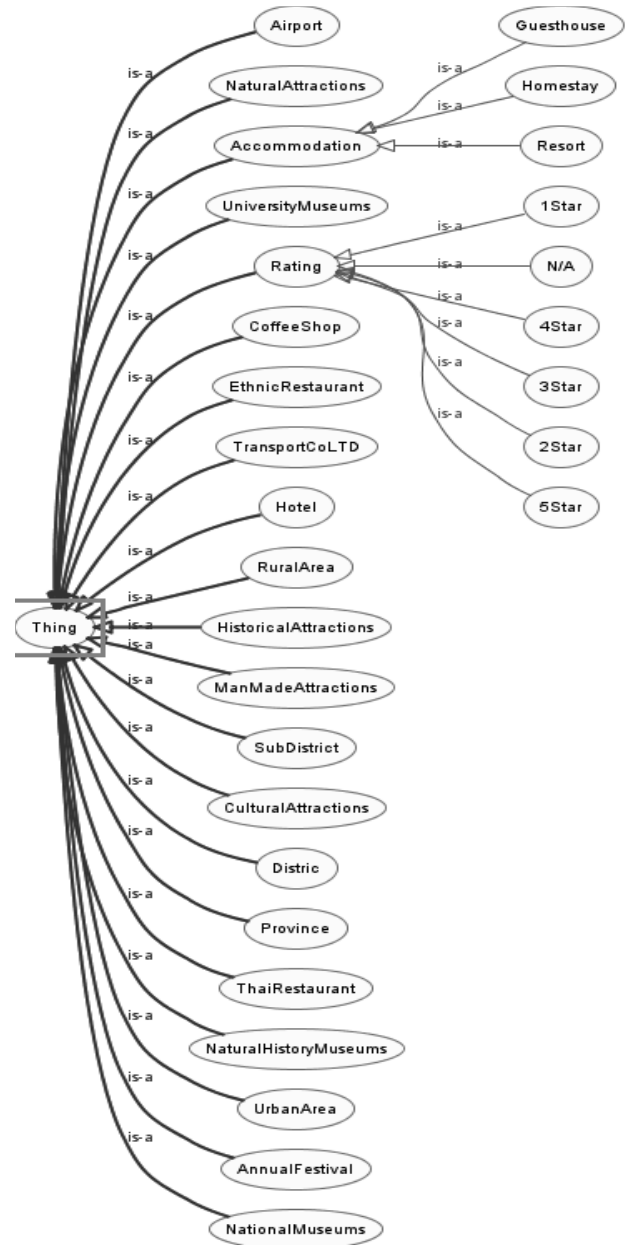


Figure 5 Bottom-Up Approach

2) การพัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up
 การพัฒนาแบบ Bottom-Up ผู้วิจัยนำเสนอองค์ความรู้ในการออกแบบออนโทโลยี โดยโครงสร้างของออนโทโลยีขึ้นอยู่กับข้อมูลของการท่องเที่ยวที่มีอยู่จริงเป็นหลัก ดัง Figure 5

จาก ดัง Figure 5 ประกอบไปด้วย 22 คลาสหลัก คือ คลาสอำเภอ (District) คลาสระดับที่พัก (Rating) คลาสจังหวัด (Province) คลาสที่พัก (Accommodation) คลาสเทศกาล

(Annualfestival) คลาสตำบล (Sub District) คลาสโรงแรม (Hotel) คลาสร้านอาหารนานาชาติ (Ethnic Restaurant) คลาสร้านอาหารไทย (Thai Restaurant) คลาสร้านกาแฟ (CoffeeShop) คลาสพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา (National Museums) คลาสพิพิธภัณฑ์ประวัติศาสตร์และโบราณคดี (Natural History Museums) คลาสพิพิธภัณฑ์มหาวิทยาลัย (University Museums) คลาสท่าอากาศยาน (Airport) คลาสสถานขนส่งทางบก (Transport Co LTD) คลาสแหล่งท่องเที่ยวที่มนุษย์สร้างขึ้น (ManMadeAttractions) คลาสแหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมประเพณี (CulturalAttractions) คลาสแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน (HistoricalAttractions) คลาสแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ (NaturalAttractions) คลาสเขตพื้นที่ชนบท (RuralArea) และคลาเขตพื้นที่ในเมือง (UrbanArea)

3) การพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination

การพัฒนาแบบ Combination เป็นการผสมผสานการออกแบบ และพัฒนาทั้ง 2 หลักการเข้าด้วยกัน ทั้งแบบ Top-Down และแบบ Bottom-Up ดัง Figure 6

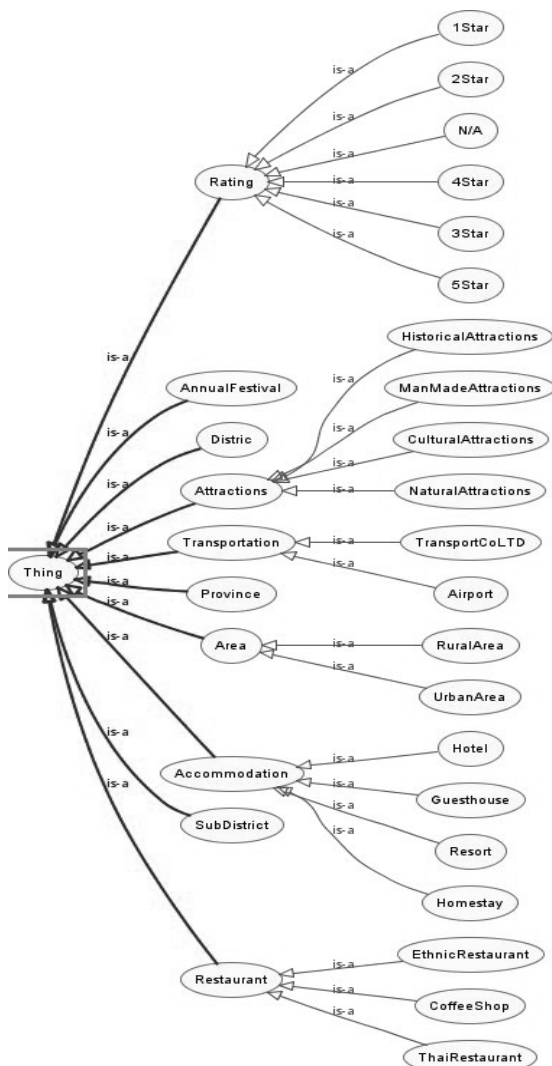


Figure 6 Combination Approach

จาก Figure 6 การพัฒนาแบบ Combination จึงมีทั้งหมด 10 คลาสหลัก คือ คลาสระดับที่พัก (Rating) คลาสเทศกาล (Annualfestival) คลาสอำเภอ (Distric) คลาสแหล่งท่องเที่ยว (Attractions) คลาสการเดินทาง (Transportation) คลาสจังหวัด (Province) คลาสเขตพื้นที่ (Area) คลาสที่พัก (Accommodation) คลาสตำบล (SubDistrict) และคลาสร้านอาหาร (Restaurant)

Mapping Ontology

Mapping ออนโทโลยี คือขั้นตอนการถ่ายทอดความคิดจากออนโทโลยีที่พัฒนาขึ้นให้เชื่อมโยง และสอดคล้องกับข้อมูลการท่องเที่ยว เนื่องจากในขั้นตอนการค้นคืนข้อมูลโดยใช้ภาษา SPARQL ยังไม่รองรับคำสั่งที่เป็นภาษาไทย ดังนั้นก่อนถึงขั้นตอนการค้นคืนข้อมูลจากออนโทโลยี โดยใช้โปรแกรม เอสไอเอส ต้องทำการ Mapping คลาส กับ Property และ Vocabulary ในหน้า Configuration ก่อน ดัง Figure 7 เพื่อให้โปรแกรมสามารถค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวที่เป็นภาษาไทยได้

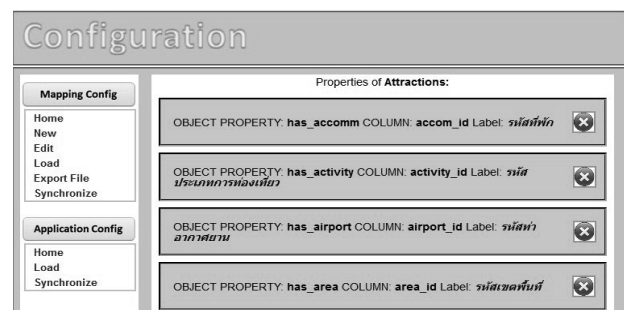


Figure 7 Mapping Ontology

การค้นคืนข้อมูล

การค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยวจากออนโทยี งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีชื่อว่า อาร์เอ็มเอส (RMS: Recommender Management System) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย เนคเทค (NECTEC: National Electronics and Computer Technology Center) โดยแสดงผลการค้นคืนทางหน้าจอ ดัง Figure 8

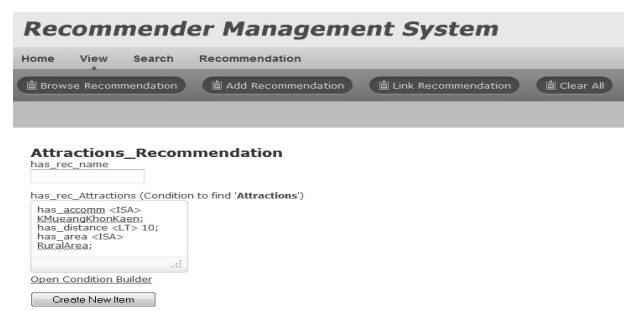


Figure 8 Entering the retrieval to recommend tourist information

จาก Figure 8 การค้นคืนข้อมูลการท่องเที่ยวจากออนโทยีโดยใช้โปรแกรม อาร์เอ็มเอส เป็นการค้นคืนข้อมูลโดยการใส่เงื่อนไข เพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความสลับซับซ้อน เพื่อเป็นแนวทางหรือเป็นทางเลือกในการตัดสินใจ

1) การค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทยีแบบ Top-Down

การค้นคืนบางกรณีให้ผลลัพธ์ที่น้อยเกินไป เช่น หากต้องการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ที่พักที่ชื่อ “โรงแรมสุขสันต์” เจอผลลัพธ์ทั้งหมด 1 รายการ จากทั้งหมดที่มีอยู่จริง 7 รายการ เนื่องจากรายการสถานที่ท่องเที่ยวที่ไม่ถูกแนะนำนั้นอยู่ใกล้ที่พักอื่นมากกว่า ซึ่งการพัฒนาออนโทยีแบบ Top-Down ในความสัมพันธ์ของคลาสที่พัก (Accommodation) กับคลาสสถานที่ท่องเที่ยว (Attractions) มีสถานที่ท่องเที่ยวที่ใกล้ที่สุด มี 1 สถานที่ท่องเที่ยว เป็นต้น ดัง Figure 9

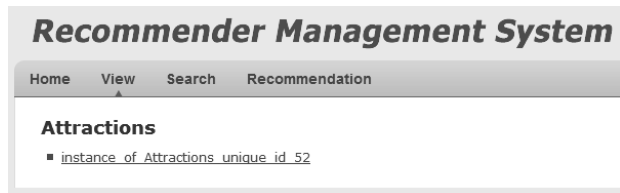


Figure 9 The results of the recommend retrieval

หลังจากใส่เงื่อนไขในการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว เมื่อดูผลลัพธ์ในโปรแกรมอาร์เอ็มเอส จะปรากฏผลการแนะนำ 1 รายการ คือ ผานกเค้า ดัง Figure 9 จากทั้งหมดที่มีอยู่จริง 7 รายการ สถานที่ท่องเที่ยวที่ไม่ถูกค้นคืนได้แก่ ถ้ำปูหลุบ ถ้ำพญานาคราช น้ำตกพลาญทอง อุทยานแห่งชาติภูผาม่าน อุทยานแห่งชาติภูผาม่าน (ถ้ำพญานาคราช) และอุทยานแห่งชาติภูผาม่าน (ถ้ำลายแทง) เนื่องจากการพัฒนาออนโทยีแบบ Top-Downความสัมพันธ์ของ Object Property และ Data Property ของคลาสที่พัก (Accommodation) กับคลาสสถานที่ท่องเที่ยว (Attractions) ไม่สอดคล้องกับการใส่เงื่อนไขในการค้นคืนเพื่อแนะนำข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวในกรณีนี้จึงปรากฏผลการแนะนำ 1 รายการ หากเข้าสู่ผลลัพธ์แต่ละรายการก็จะปรากฏข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ดัง Figure 10

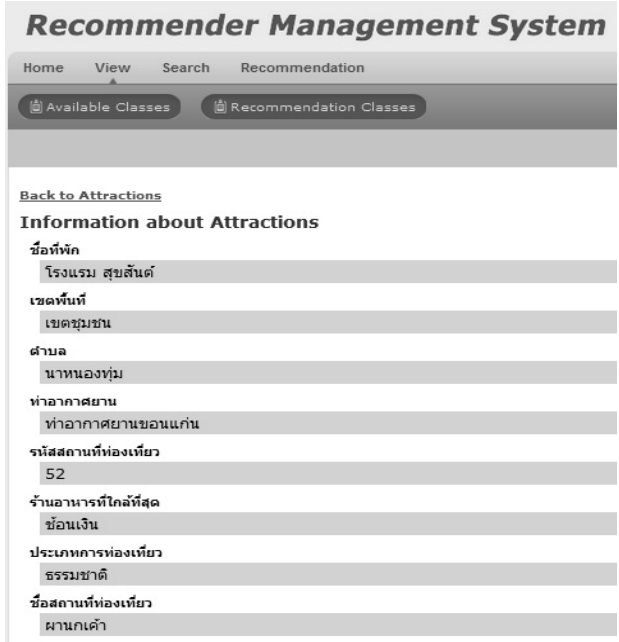


Figure 10 Results suggest Attractions (“Pha Nok Khao”)

2) การค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทยีแบบ Bottom-Up

การค้นคืนบางกรณีไม่มีผลลัพธ์ในการค้นคืน เช่น หากต้องการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ที่พัก ที่ชื่อ “โรงแรมไฮเวย์” มากที่สุด จะไม่สามารถค้นคืนได้เนื่องจาก การพัฒนาออนโทยีแบบ Bottom-Up โดยมีความสัมพันธ์จากคลาส “Attractions” เป็นหลัก มีความสัมพันธ์โดยมี Object Property ที่ชื่อว่า has_Accommodation ที่มีความสัมพันธ์ไปยังคลาส “Accommodation” หากสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใดแห่งหนึ่งมีที่พักที่ใกล้กว่าโรงแรม “โรงแรมไฮเวย์” ก็จะถูกเลือกให้เป็นที่พักที่ใกล้ที่สุดทันทีจากชั้นขบวนการออกแบบ และพัฒนาออนโทยี จึงทำให้กรณีนี้ไม่มีผลลัพธ์ในการค้นคืน ดัง Figure 11

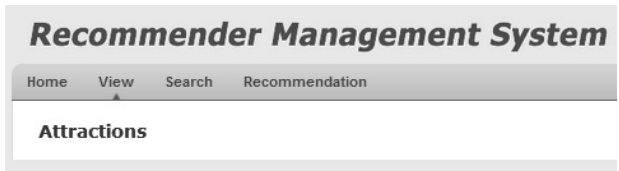


Figure 11 No results in the retrieval of data to recommend

กรณีไม่มีผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยว จาก Figure 11 แสดงถึงผลการค้นคืนทางหน้าจอของสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้ที่พักที่ชื่อ “โรงแรมไฮเวย์” จากโปรแกรม อาร์เอ็มเอส เจอผลลัพธ์ทั้งหมด 0 รายการ จากทั้งหมดที่มีอยู่จริง 3 รายการ สถานที่ท่องเที่ยวที่ไม่ถูกค้นคืน ได้แก่ หาดพยุหะ ศูนย์วิทยาศาสตร์ และวัดสงวนวาริพัฒนาราม

3) การค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนไลน์แบบ Combination

เนื่องการพัฒนาออนไลน์แบบ Combination เป็นการนำหลักการออกแบบ และพัฒนาออนไลน์แบบ Top-Down และ Bottom-Up ผสมผสานเข้าด้วยกัน ทำให้รูปแบบความสัมพันธ์ของ Object Property และ Data Property ระหว่างคลาสเพิ่มมากขึ้น เป็นการแก้ปัญหาในกรณีไม่มีผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืน ดังนั้น ผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวจากการพัฒนาออนไลน์แบบ Combination จึงมีผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้นในบางกรณีที่ทำให้ผลลัพธ์น้อยเกินไป และส่งผลให้การค้นคืนแม่นยำ และมีรูปแบบในการค้นคืนที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่น หากต้องการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในอำเภอเมืองขอนแก่น อยู่ในเขตชุมชน อยู่ใกล้สถานีขนส่ง และอยู่ใกล้ที่พักราคาเริ่มต้นไม่เกิน 500 บาท เจอผลลัพธ์ทั้งหมด 12 รายการ จากทั้งหมดที่มีอยู่จริง 12 รายการ ดัง Figure 12

Information about Attractions_Recommendation

has_rec_id
uid_9

has_rec_name
Recommend Price <LT> 500

has_rec_Attractions

- instance of Attractions unique id 44
- instance of Attractions unique id 43
- instance of Attractions unique id 42
- instance of Attractions unique id 41
- instance of Attractions unique id 40
- instance of Attractions unique id 46
- instance of Attractions unique id 45
- instance of Attractions unique id 36
- instance of Attractions unique id 35
- instance of Attractions unique id 38
- instance of Attractions unique id 37
- instance of Attractions unique id 39

Recommended To:

Accommodation, which have this condition (Remove This Recommendation Link)
has_price <LT> 500.

Figure 12 Retrieval results to a recommend after entering the complex

จาก Figure 12 ผลลัพธ์ทั้งหมด 12 รายการ ได้แก่ โฮงมุนมังเมืองขอนแก่น ศาลเจ้าพ่อเทพารักษ์หลักเมือง วัดหนองแวง หอศิลป์วัฒนธรรม พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติขอนแก่น สวนสุขภาพบึงทุ่งสร้าง บึงแก่นนคร สิมอีสานวัดป่าแสงอรุณ เกาะเสม็ด รูปแต้มสินไซ วัดไชยศรี และพิพิธภัณฑ์เอือนลาว หากเข้าสู่ผลลัพธ์แต่ละรายการก็จะปรากฏข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว ดัง Figure 13

Recommender Management System

Home View Search Recommendation

Available Classes Recommendation Classes

[Back to Attractions](#)

Information about Attractions

ระยาะง
1

สถานีขนส่ง
สถานีขนส่งขอนแก่น

จังหวัด
ขอนแก่น

ชื่อที่พัก
โรงแรม สิริรสชัฒน

เขตพื้นที่
เขตชุมชน

ตำบล
ในเมืองขอนแก่น

ท่าอากาศยาน
ท่าอากาศยานขอนแก่น

รหัสสถานที่ท่องเที่ยว
44

ร้านอาหารใกล้ที่สุด
ซีแจนดรีว

ประเภทการท่องเที่ยว
โบราณสถาน

ชื่อสถานที่ท่องเที่ยว
โฮงมุนมังเมืองขอนแก่น

สำเคอ
เมืองขอนแก่น

Recommended to:

Figure 13 Results suggest attractions (“Hong Mun Mang Meung Khonkaen”)

การประเมินผล

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการวัดประสิทธิภาพของการออกแบบออนไลน์ด้วย F-measure และเวลาในการค้นคืน

1) F-measure

คือค่าที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของ Precision และ Recall เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนสารสนเทศ ดังแสดงได้จากสมการที่ 1

$$F - measure = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ Precision คือ ค่าที่ใช้วัดความสามารถในการที่จะจัดเอกสารที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป และ Recall คือ ค่าที่ใช้วัดความสามารถของระบบในการดึงเอกสารที่เกี่ยวข้องออกมา

เนื่องจากการค้นคืนเอกสารนั้นขึ้นอยู่กับข้อความ เมื่อผู้ใช้ป้อนคำถามระบบจะแบ่งกลุ่มของเอกสารออกเป็น 2 ส่วนคือ เอกสารที่ถูกดึงออกมา (Retrieved) และเอกสารที่ไม่ถูกดึงออกมา (Not Retrieved) ซึ่งเอกสารต่าง ๆ ใน 2 กลุ่มนี้อาจมีทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Relevant) และไม่เกี่ยวข้อง (Non-Relevant) ดัง Figure 14

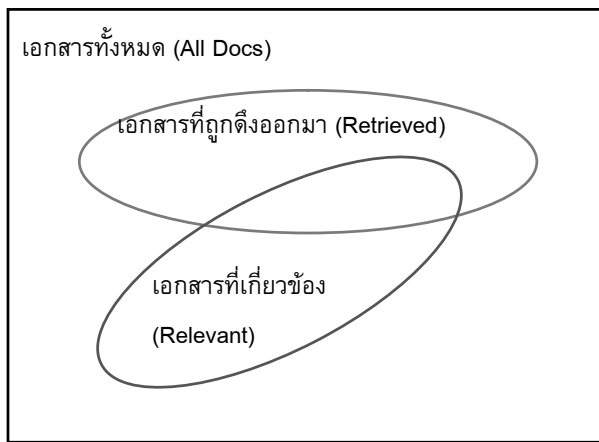


Figure 14 Partition of Collection

2) เวลาในการค้นคืน

คือช่วงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนแต่ละครั้งจากการใช้คีย์เวิร์ดในการค้นคืน สารสนเทศในหมวดหมู่ย่อยในระดับลึก ต้องเสียเวลาในการค้นคืนเข้าไปที่ระดับ จนถึงระดับที่ต้องการ

วิเคราะห์และอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาออนโทโลยี และประเมินผลระบบค้นคืนสารสนเทศใช้ค่า F-measure ซึ่งเป็นค่าของความสัมพันธ์ระหว่าง Precision กับ Recall และเวลาในการค้นคืนจากข้อมูลทั้งหมด 267 ข้อมูล โดยใช้คีย์เวิร์ดจำนวน 50 คีย์เวิร์ด ทดสอบ 50 ครั้ง

ค่า F-measure

ในการวัดประสิทธิภาพของการค้นคืน ในการทดลองนี้ได้ใช้ค่า F-measure ซึ่งเป็นหลักสถิติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการวัดประสิทธิภาพจากการพัฒนาออนโทโลยีทั้ง 3 แบบคือ top-down bottom up และ combination ซึ่งสามารถแสดงได้ ดัง Figure 15

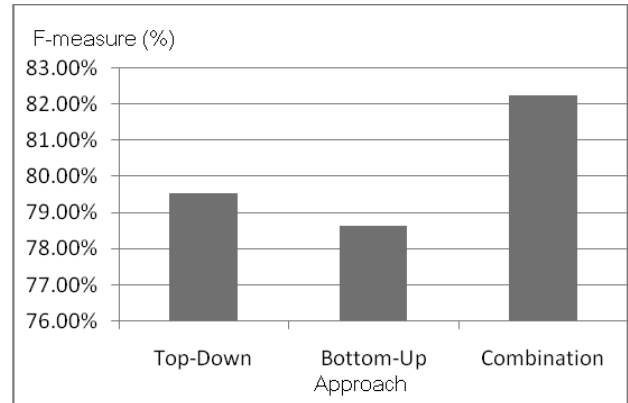


Figure 15 F-measure

จาก Figure 15 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของออนโทโลยีในแต่ละแบบ ผลปรากฏว่าการค้นคืนข้อมูลโดยการใส่เงื่อนไข เพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความสลับซับซ้อนจากการออกแบบออนโทโลยีแบบ Combination มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีค่า F-measure เท่ากับ 82.26 % เนื่องจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination เป็นการนำหลักการออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down และ Bottom-Up ผสมผสานเข้าด้วยกัน ทำให้รูปแบบความสัมพันธ์ของ Object Property และ Data Property ระหว่างคลาสเพิ่มมากขึ้น เป็นการแก้ปัญหาในกรณีที่ไม่มีผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืน ดังนั้นผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination จึงมีผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้นในบางกรณีทำให้ผลลัพธ์น้อยเกินไป และส่งผลให้การค้นคืนแม่นยำ และมีรูปแบบในการค้นคืนที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ซึ่ง Alisa และคณะ ได้นำเสนอการพัฒนาระบบการตอบคำถามเชิงความหมายสำหรับข้อมูลการท่องเที่ยวในประเทศไทย โดยนำข้อมูลการท่องเที่ยวจากโพสต์รวมถึงคำถามเกี่ยวกับการท่องเที่ยวที่ปรากฏบ่อย ๆ ในฟอรัมของเว็บไซต์ pantip.com ได้ค่า F-measure เท่ากับ 91.90 % เนื่องจากข้อมูลการท่องเที่ยวที่นำมาออกแบบออนโทโลยีมีเฉพาะที่ปรากฏบ่อย ๆ ในฟอรัมของเว็บไซต์ pantip.com เท่านั้น จึงได้ F-measure สูงกว่า

รองลงมาคือการค้นคืนข้อมูลจากออนโทโลยีแบบ Top-Down ได้ค่า F-measure เท่ากับ 79.55 % เนื่องจากการค้นคืนบางกรณีให้ผลลัพธ์ที่น้อยเกินไป เช่น หากต้องการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวบางเงื่อนไขมีผลลัพธ์น้อยกว่าที่มีอยู่จริง และผลการค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up ได้ค่า F-measure ที่ต่ำสุดเท่ากับ 78.64 % เนื่องจากการค้นคืนบางกรณีไม่มีผลลัพธ์ในการค้นคืน เช่น หากต้องการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวบางเงื่อนไขไม่มีผลลัพธ์ในการค้นคืน

เวลาในการค้นคืน (Processing Time)

คือช่วงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนแต่ละครั้งจากการใช้คำหลัก เพื่อหาเวลาเฉลี่ยในการค้นคืน แสดงได้จากสมการที่ 2

$$\text{Processing Time} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{elapsedTimeMin}}{N} \quad (2)$$

เมื่อ elapsed Time Min คือ เวลาในการค้นคืนแต่ละครั้ง และ N คือ จำนวนครั้งในการค้นคืน ซึ่งการค้นคืนสารสนเทศในหมวดหมู่ย่อยแต่ละระดับจะใช้เวลาในการค้นคืนที่แตกต่างกัน โดยดูจาก Log file ของโปรแกรมเอสโอเอส (SOS - Semantic Ontology Search) ซึ่งในการค้นคืนแต่ละครั้งจะปรากฏเวลาที่ใช้ในการค้นคืนดัง Figure 16 ใช้เวลาในการค้นคืน (elapsedTimeMin) 0.014933334 วินาที (Sec)

```
rt_name      key 74
2557-05-26 19:57:36 INFO ModelInteraction:202 -
transport>>has_transport_name
2557-05-26 19:57:36 INFO ModelInteraction:204 -
le is : 1401109056108
2557-05-26 19:57:36 INFO GetResult:139 - label
2557-05-26 19:57:36 INFO GetResult:185 - s Time
1401109056108
2557-05-26 19:57:36 INFO GetResult:187 - Total
hod callMethod() is :0.014933334 elapsedTimeMin
```

Figure 16 Log file of time spent in each retrieval

การหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทโลยีทั้ง 3 แบบ ได้ผลของค่า Processing Time ค่าเฉลี่ยของเวลาในการค้นคืนข้อมูลโดยการใส่เงื่อนไข เพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความสลับซับซ้อนจากการการค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Bottom-Up ใช้เวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0302 วินาที เนื่องจากโครงสร้างของออนโทโลยีมีลำดับชั้นน้อยกว่าแบบอื่น ๆ จึงส่งผลให้การค้นคืนใช้เวลาน้อยกว่าการพัฒนาออนโทโลยีทั้ง 2 แบบ การใส่เงื่อนไขเพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความสลับซับซ้อนจากการการค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down ใช้เวลาค้นคืนโดยเฉลี่ย เท่ากับ 0.0462 วินาที ดัง Figure 16

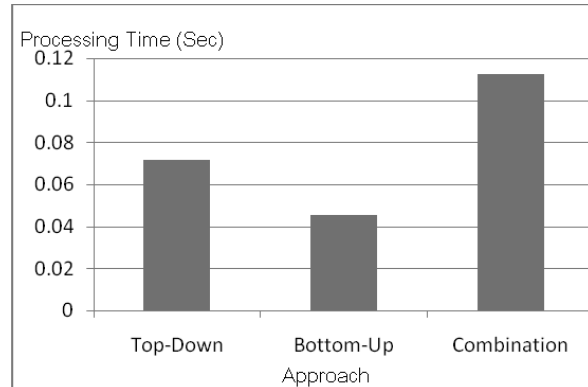


Figure 16 Processing Time

เนื่องจากโครงสร้างของออนโทโลยีมีลำดับชั้นมากกว่าแบบอื่น ๆ จึงส่งผลให้การค้นคืนใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย การใส่เงื่อนไขเพื่อแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวที่มีความสลับซับซ้อนจากการการค้นคืนข้อมูลจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination ใช้เวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.0867 วินาที เนื่องจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination เป็นการนำหลักการออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down และ Bottom-Up ผสมผสานเข้าด้วยกัน ทำให้รูปแบบความสัมพันธ์ของ Object Property และ Data Property ระหว่างคลาสเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้การค้นคืนใช้เวลามากกว่าการพัฒนาออนโทโลยีทั้ง 2 แบบ

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การพัฒนาออนโทโลยีเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาเว็บเชิงความหมาย ซึ่งมีหลายแนวทาง รวมถึง Top-down Bottom-Up และ Combination ผลปรากฏว่า การออกแบบออนโทโลยีแบบ Combination ให้ค่าประสิทธิภาพการค้นคืนสูงสุดเท่ากับ 82.26 % เนื่องจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination เป็นการนำหลักการออกแบบ และพัฒนาออนโทโลยีแบบ Top-Down และ Bottom-Up ผสมผสานเข้าด้วยกัน ทำให้ผลลัพธ์ในการใส่เงื่อนไขการค้นคืนเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวจากการพัฒนาออนโทโลยีแบบ Combination จึงมีผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้นในบางกรณีทำให้ผลลัพธ์น้อยเกินไป และส่งผลให้การค้นคืนแม่นยำ และมีรูปแบบในการค้นคืนที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่ใช้เวลามากที่สุด ส่วน แบบ Bottom-Up ให้ค่าประสิทธิภาพการค้นคืนต่ำสุด แต่ใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งเป็นเพราะโครงสร้างของออนโทโลยีมีลำดับชั้นน้อยกว่าแบบ Combination

การออกแบบและพัฒนาออนโทโลยีมีผลต่อการใส่เงื่อนไขในการค้นคืนเพื่อแนะนำข้อมูล และในอนาคตผู้วิจัยจะนำผลการค้นคืนและผลการแนะนำไปสร้างเป็นกฎ (Rule Based Ontology) ในออนโทโลยีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Tourism Authority of Thailand. "Bustling Thai Tourism, Burgeoning Thai Economy". [Access Date May 2014]; Available online at <http://thai.tourismthailand.org/>
2. C.-H. Liu, K.-L. Chang and Jason J.-Y. Chen, S.-C. Hung. "Ontology-Based Context Representation and Reasoning Using OWL and SWRL". 8th Annual Communication Networks and Services Research Conference. 2010. pp. 215-218
3. James Hendler. "Making Biomedical Ontologies and Ontology Repositories Work". IEEE Computer Society. IEEE; 2004. pp. 78-80
4. Park C, Shon J. "A Study on the Web Ontology Processing System". Knowledge & Inference Research Team. ETRI. pp.1035 - 1038
5. Hongmei Zhu, Qijia Tian, Yongquan Liang, Shujuan Ji1, Wei Sun. "Domain Ontology Component-based Semantic Information Integration". First International Workshop on Education Technology and Computer Science; IEEE; 2009. pp. 101-103
6. Myunggwon Hwang, Hyunjang Kong, Kim P. "The Design of the Ontology Retrieval System on the Web". ICAOT. 2006. pp. 1815-1818
7. Kathrin Prantner, Ying Ding, Michael Luger, Zhixian Yan. "TOURISM ONTOLOGY AND SEMANTIC MANAGEMENT SYSTEM: STATE-OF-THE-ARTS ANALYSIS". IADIS International Conference. IADIS; 2007. pp. 111-114
8. Yuting Zhao JZP, Yuan Ren, editor. Implementing and Evaluating A Rule-based Approach to Querying Regular EL+ Ontologies. Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems. IEEE; 2009. pp. 493-497
9. Chang Choi MC, Eui-young Kang, Pankoo Kim, editor. Travel Ontology for Recommendation System based on Semantic Web. ICAOT. IEEE; 2006. pp. 624-627
10. G.Sudha Sadasivam, C.Kavitha, M.SaravanaPriya. "Ontology Based Information Retrieval for E-Tourism ". (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security. IEEE; 2010. pp. 78-82
11. Suqin Tang, Zixing Cai. "Tourism Domain Ontology Construction from the Unstructured Text Documents". Cognitive Informatics (ICCI'10). IEEE; 2010. pp. 297-300
12. Kathrin Prantner, Ying Ding, Michael Luger, Zhixian Yan. "TOURISM ONTOLOGY AND SEMANTIC MANAGEMENT SYSTEM: STATE-OF-THE-ARTS ANALYSIS". IADIS International Conference. IADIS; 2007. pp. 111-114
13. Kongthon A, Kongyoung S, Haruechaiyasak C, Palingoon P, editors. A Semantic Based Question Answering System for Thailand Tourism Information. KRAQ11; 2011. pp. 38-42
14. Panawong N, Snae C, Brueckner M, editors. Ontology-Driven Information Retrieval System for Regional Attractions. ICBMIS2012; ICBMIS; 2012 pp. 49-58
15. Paul E. van der Vet and Nicolaas J.I. Mars. "Bottom-Up Construction of Ontologies". TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING. IEEE; 1 998. pp. 513-524
16. Shang-Hsien Hsieh, Hsien-Tang Lin, Nai-Wen Chi, Kuang-Wu Chou, and Ken-Yu Lin. Enabling the development of base domain ontology through extraction of knowledge from engineering domain handbooks. Journal of Advanced Engineering Informatics; 2011. pp. 288-296
17. Tanatorn Tanantong, Ekawit Nantajeewarawat, and SurpaThiemjarus. "TowardsContinuous Electrocardiogram Monitoring Based on Rules and Ontologies." In Proceedings of the 2011 11th IEEE International Conference on Bioinformatics andBioengineering (BIBE2011), Taichung, Taiwan, 2011. pp. 327-330
18. Stanford. "What is an Ontology?". [Access Date May 2014]; Available online at <http://www.ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>
19. NECTEC (National Electronics and Computer Technology Center). "Electronic And DigitalLibrary Using

Ontology BaseMetadata". [Access Date May 2014]; Available online at http://wiki.nectec.or.th/ru-newwiki/bin/view/IT630_13_Assignment/MSIT06Gr06ElectronicAndDigitalLibraryUsingOntologyBaseMetadata

20. NECTEC (National Electronics and Computer Technology Center). "Rule Management System and Recommender Application Management System". [Access Date May 2014]; Available online at <http://text.hlt.nectec.or.th/ontology/>

ผลของการใช้ต้นตอต่อลักษณะคุณภาพมะเขือเทศพันธุ์สีดา

Effect of Root stock on the Quality Characteristics of Tomato cv. Sida

ยศพนธ์ ศรีวิจารณ์,¹ ประสิทธิ์ ชุตติชูดะ,² เบ็ญจวรรณ ชุตติชูดะ³Yotsanon Sriwichan,¹ Prasit Chutichudet,² Benjawan Chutichudet³

Received: 7 May 2014 ; Accepted: 12 August 2014

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการใช้ต้นตอมะเขือเทศพันธุ์สีดาที่แตกต่างกันจำนวน 4 ชนิดต่อลักษณะคุณภาพของมะเขือเทศพันธุ์สีดา เติบโต 25 วันหลังปลูกบนต้นตอ 4 ชนิด ได้แก่ มะเขือพวง มะแว้ง มะอี และมะเขือเปราะ ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2552 ที่แปลงทดลองเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลการทดลองพบว่าการใช้ต้นตอจากมะเขือพวงมีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิตมะเขือเทศพันธุ์สีดาได้ เนื่องจากทำให้ต้นมะเขือเทศมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในส่วใบ มวลชีวภาพของผล ความแน่นเนื้อ และความหนาเนื้อที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สีผิวผลมะเขือเทศในรูปของ L* และ b* ยังได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นจากการใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอ

คำสำคัญ: มะเขือเทศ เติบโต ต้นตอ ยอดพันธุ์ ลักษณะคุณภาพ

Abstract

The effects of four different rootstocks on the quality characteristics of 'Sida' tomato 25 days old 'Sida' to ma to grafted on four rootstocks, *Solanum torvum* Swatz, *Solanum indicum* Linn, *Colanum stramonifolium* Jacq and *Solanum xanthocarpum* are presented in this study.. The experiment was carried out from June to November, 2009 at the experimental field, Division of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University. The results showed that *Solanum torvum* Swatz was a potential rootstock for producing 'Sida' tomato, due to this rootstock increasing the total non-structural carbohydrate (TNC) of tomato leaf, fruit biomass, firmness and flesh thickness. In addition, fruit color of the tomato in terms of L* and b* was also improved by using *Solanum torvum* as rootstock.

Keywords: Tomato, Grafting, Rootstock, Scion, Quality characteristics

บทนำ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นพืชผักเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีพื้นที่ปลูกแหล่งใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย นครพนม ร้อยเอ็ด นครราชสีมา และยโสธร และพื้นที่ปลูกในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ และลำปาง ศูนย์สารสนเทศการเกษตร¹ รายงานว่า ในปีเพาะปลูก 2552/2553 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะเขือเทศรวม 38,741 ไร่ ให้ผลผลิตรวม 145,601 ตัน โดยมี

การผลิตทั้งในรูปมะเขือเทศรับประทานผลสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรม ในปี 2553 ประเทศไทยส่งออกของมะเขือเทศผลสด จำนวน 427.10 ตัน คิดเป็นมูลค่า 10.40 ล้านบาท ซึ่งผลผลิตมะเขือเทศที่ผลิตได้ภายในประเทศยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคโดยในปี 2553 มีการนำเข้ามะเขือเทศผลสดจากต่างประเทศ ปริมาณ 376.9 ตัน คิดเป็นมูลค่า 6.30 ล้านบาท ประกอบกับเกษตรกรผู้ปลูกมะเขือเทศมักประสบปัญหาจากโรครากเน่า – โคนเน่า² เนื่องจาก

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ²รองศาสตราจารย์, ³ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree studies, ²Assoc. Prof., ³Asst. Prof., Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakham 44150, Thailand.

มะเขือเทศเป็นผักเศรษฐกิจที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อโรคดังกล่าว โดยเฉพาะการผลิตในช่วงฤดูฝน³ ดังนั้นการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็น การเลือกใช้ต้นตอที่เหมาะสมจัดเป็นเทคโนโลยีขั้นพื้นฐานที่เกษตรกรทั่วไปสามารถปฏิบัติได้โดยใช้ต้นทุนต่ำจึงถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาศักยภาพความเป็นไปได้ในการผลิตมะเขือเทศ สำหรับพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นต้นตอควรเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลเดียวกับมะเขือเทศและมีคุณสมบัติทนทานต่อการเข้าทำลายของโรครากเน่า – โคนเน่า เช่น มะเขือพวง (*Solanum torvum* Swatz) มะแว้ง (*Solanum indicum* Linn.) มะอึก (*Colanumstramonifolium* Jacq) และมะเขือเปราะ (*Solanum xanthocarpum*) เป็นต้น ซึ่งพืชตระกูลมะเขือดังกล่าวข้างต้นล้วนเป็นพืชผักพื้นบ้านที่พบเห็นทั่วไปและหาได้ง่าย ดังนั้นงานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ต้นตอมะเขือพื้นบ้าน 4 ชนิดที่สามารถพบหาได้ทั่วไปได้แก่ มะเขือพวง มะแว้ง มะอึก และมะเขือเปราะต่อการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพของมะเขือเทศพันธุ์สีดาอันจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตมะเขือเทศในช่วงฤดูฝนต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาและมะเขือชนิดต่าง ๆ จำนวน 4 ชนิดได้แก่ มะเขือพวง มะแว้ง มะอึกและ มะเขือเปราะ ในถาดเพาะ เมื่อต้นกล้ามะเขือทั้ง 4 ชนิด มีอายุ 30 วัน จึงย้ายปลูกลงถุงพลาสติกที่บรรจุดินร่วน แกลบดิบและปุ๋ยคอก อัตราส่วน 2:1:1 การเสียบยอดจะกระทำขณะต้นตอทั้ง 4 ชนิด มีอายุ 45 วันหลังเพาะเมล็ด โดยใช้ยอดมะเขือเทศพันธุ์สีดาจากต้นที่มีอายุ 25 วันหลังเพาะเมล็ด ภายหลังจากการเสียบยอดเมื่อต้นมะเขือเทศตั้งตัวได้แล้วจึงย้ายปลูกลงในแปลงยกร่องขนาด 1 x 4 เมตรใช้ระยะปลูก 50 x 70 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ประกอบด้วย 5 Treatment จำนวน 4 ซ้ำซ้ำละ 10 ต้น โดยใช้จำนวนต้นมะเขือเทศทั้งหมด 300 ต้น กำหนด Treatment ต่างๆ ดังนี้

Treatment ที่ 1 ควบคุม (เสียบยอดกับต้นตอเดิม)

Treatment ที่ 2 ใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอ

Treatment ที่ 3 ใช้มะแว้งเป็นต้นตอ

Treatment ที่ 4 ใช้มะอึกเป็นต้นตอ

Treatment ที่ 5 ใช้มะเขือเปราะเป็นต้นตอ

โดยใช้จำนวนต้นมะเขือเทศทั้งหมด 300 ต้น

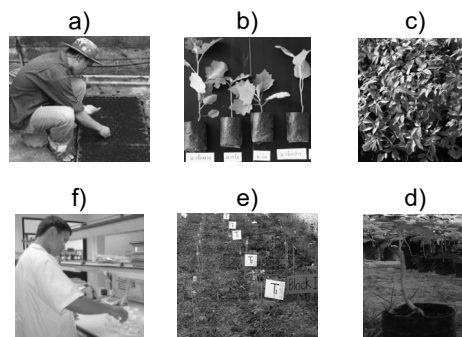


Figure 1: Experimental procedure a) seeding b) different kind of rootstocks c) Scion d) grafting e) trial plot f) quality analysis

การบันทึกข้อมูลบันทึกข้อมูลในด้านคุณภาพผลผลิตมะเขือเทศที่ระยะเก็บเกี่ยวดังนี้

1. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (total non-structural carbohydrate; TNC) ส่วนใบ ลำต้นจากมะเขือเทศพันธุ์สีดาและรากจากต้นตอชนิดต่างๆ ตามวิธีการของ A.O.A.C.⁴ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

2. มวลชีวภาพผล ตามวิธีการของ Kira and Shide⁵ โดยการนำผลมะเขือเทศที่ได้จากการชั่งน้ำหนักผลสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง คำนวณตามสูตร หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{\text{น้ำหนักผลสด} - \text{น้ำหนักผลแห้ง}}{\text{น้ำหนักผลสด}} \times 100$$

3. สีผลมะเขือเทศ โดยสุ่มผลมะเขือเทศที่ระยะเก็บเกี่ยวในแต่ละทรีตเมนต์ มาวัดค่า L^*a^* และ b^* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter lab Miniscan XE PLUS โดยค่า L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) $+a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ $-a^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว $+b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ $-b^*$ หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน

4. ความแน่นเนื้อ โดยใช้ Penetrometer ขนาดรัศมีหัวเข็ม 0.5 เซนติเมตร หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5. ความหนาเนื้อ โดยการผ่าผลมะเขือเทศแล้วใช้เวอร์เนีย แคลิเปอร์วัดความหนาในส่วนเนื้อมะเขือเทศ หน่วยเป็นเซนติเมตร

6. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total soluble solids : TSS) นำน้ำคั้นจากเนื้อมะเขือเทศหยดลงบนเครื่อง Hand refractometer รุ่น N – 1E และอ่านค่า TSS หน่วยเป็น °Brix

7. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA) ตามวิธีการของ A.O.A.C.⁶ นำน้ำคั้นจากเนื้อมะเขือเทศมา 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรแล้วหยด Phenolphthalein 2 หยดแล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH ความเข้มข้น 0.1N จนกระทั่งถึง end point คือ สารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที แล้วนำค่าปริมาณสารละลายต่าง ๆ ที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณกรด หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

8. ปริมาณวิตามินซี ตามวิธีการของ A.O.A.C.⁶ ใช้ น้ำคั้นจากเนื้อมะเขือเทศปริมาณ 5 มิลลิลิตรใส่ใน flask เติม ascorbic acid 0.4 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตรแล้วไทเทรตด้วย 2, 6-dichlorophenol-indophenol (dye solution) จนถึงจุด end point คือ สารละลายมีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที นำค่าปริมาณสารละลายที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณวิตามินซี หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

9. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีการของ Lim *et al.*⁷ ซึ่งนำหนักตัวอย่างผลมะเขือเปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดแก้ว เก็บในที่มืดในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้นดูดสารสกัดมา 2 มิลลิลิตรใส่ในหลอด viol นำไปเข้าเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 12,000 รอบที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที หลังจากนั้นดูดสารสกัด 0.40 มิลลิลิตรแล้วเติมด้วย DPPH solution ความเข้มข้น 6.3×10^{-5} mol/L ปริมาตร 2 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 50 นาที และ

นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตรนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

นำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบความแปรปรวนและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการศึกษา

1. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (TNC)

1.1 ไบ จากการหาปริมาณ TNC ในส่วนใบมะเขือเทศจากการใช้ต้นตอที่แตกต่างกันในช่วงต้นมะเขือเทศอายุ 7-21 วันหลังย้ายปลูก พบว่าการใช้ต้นตอมะเขือชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณ TNC ที่วิเคราะห์จากส่วนใบมะเขือเทศ โดยทุกทรีตเมนต์มีปริมาณ TNC เฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ขณะที่ในช่วงภายหลังย้ายปลูก 28-42 วัน พบว่าปริมาณ TNC จากใบมะเขือเทศในแต่ละทรีตเมนต์แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอจากมะเขือพวงทำให้ใบมะเขือเทศมีปริมาณ TNC มากที่สุด คือ 0.30 0.32 0.33 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่อายุ 28 35 และ 42 วันหลังย้ายปลูก ตามลำดับ ขณะที่การใช้ต้นตอ จากมะเขือทำให้มีปริมาณ TNC ส่วนใบน้อยที่สุดคือ 0.23 0.25 และ 0.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับในช่วงท้ายภายหลังย้ายปลูกที่อายุ 49 และ 56 วัน พบว่าการใช้ต้นตอมะเขือชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาณ TNC ในส่วนใบโดยทุกทรีตเมนต์มีปริมาณ TNC ส่วนใบเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ระหว่าง 0.31-0.34 และ 0.31-0.35 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Contents of total non-structural carbohydrate (TNC) from tomatoleaves after transplanting

Treatment	TNC Contents (mg/100 g DW) after transplanting (days)							
	7	14	21	28	35	42	49	56
Control (self grafted plant)	0.21	0.21	0.23	0.26c	0.27bc	0.29bc	0.31	0.31
<i>Solanum torvum</i> Swatz	0.22	0.23	0.25	0.30a	0.32a	0.33a	0.34	0.35
<i>Solanum indicum</i> Linn	0.21	0.22	0.24	0.29ab	0.30ab	0.31ab	0.33	0.35
<i>Colanum stramonifolium</i> Jacq	0.19	0.20	0.22	0.23d	0.25c	0.27c	0.31	0.31
<i>Solanum xanthocarpum</i>	0.21	0.22	0.24	0.28bc	0.28abc	0.29bc	0.33	0.35
F-test	ns	ns	ns	**	*	*	ns	ns
C.V. (%)	11.56	9.13	10.99	5.10	10.43	8.77	8.61	11.82

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p = 0.01$, * $p = 0.05$, ns = non significant

1.2 ลำต้นจากการนำลำต้นที่อยู่เหนือดินมาวิเคราะห์หาปริมาณ TNC 2 ระยะคือ ขณะต้นออกดอกและภายหลังเก็บเกี่ยวพบว่าการเสียบยอดโดยใช้ต้นตอมะเขือชนิดต่างๆ ในแต่ละทรีตเมนต์ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณ TNC ส่วนลำต้นที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีปริมาณ TNC อยู่ระหว่าง 0.20-0.23 และ 0.22-0.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งขณะต้นกำลังออกดอกและภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต ตามลำดับ (Table 2)

1.3 รากการวิเคราะห์ปริมาณ TNC จากส่วนรากกระทำ 2 ระยะเวลาเช่นเดียวกับส่วนลำต้น ผลการทดลองพบว่าทุกทรีตเมนต์มี TNC ในส่วนรากในปริมาณที่ใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 0.18-0.21 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งในขณะต้นออกดอก ขณะที่ภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่าทรีตเมนต์ที่เสียบยอดโดยใช้ต้นตอมะเขือชนิดต่างๆ มีผลต่อปริมาณ TNC

ส่วนราก โดยปริมาณ TNC ส่วนรากจากทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอมะเขือพวง พบว่ามีปริมาณมากที่สุดคือ 0.26 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ขณะที่ TNC ในปริมาณน้อยที่สุดได้จากต้นตอมะเขืออีกคือ 0.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง (Table 2)

2. มวลชีวภาพจากการวิเคราะห์มวลชีวภาพจากผลมะเขือเทศจากการใช้ต้นตอที่แตกต่างกันพบว่า แต่ละทรีตเมนต์มีมวลชีวภาพของผลที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยชุดควบคุม และทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอมะเขือพวงให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของผลมากที่สุด (91.55 และ 91.37 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ) ขณะที่การใช้ต้นตอมะเขือ และมะเขือเปราะให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของผลในระดับต่ำ (90.36 และ 90.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Table 3)

Table 2 Contents of total non-structural carbohydrate (TNC) from tomato stem and root after transplanting

Treatment	TNC contents in stem (mg/100 g DW)		TNC contents in root (mg/100 g DW)	
	Flowering stage	After harvesting	Flowering stage	After harvesting
Control (self grafted plant)	0.20	0.23	0.20	0.22bc
<i>Solanum torvum</i> Swatz	0.23	0.27	0.21	0.26a
<i>Solanum indicum</i> Linn	0.21	0.24	0.20	0.23ab
<i>Colanum stramonifolium</i> Jacq	0.20	0.22	0.18	0.20c
<i>Solanum xanthocarpum</i>	0.21	0.24	0.20	0.22bc
F-test	ns	ns	ns	**
C.V. (%)	32.98	11.56	20.21	8.65

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p = 0.01$, ns = non significant

Table 3 Biomass of tomato fruit at harvesting stage

Treatment	Fruit biomass (%)
Control (self grafted plant)	91.55a ^{1/}
<i>Solanum torvum</i> Swatz	91.37a
<i>Solanum indicum</i> Linn	90.81ab
<i>Colanum stramonifolium</i> Jacq	90.36b
<i>Solanum xanthocarpum</i>	90.16b
F-test	**
C.V. (%)	2.10

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p = 0.01$

3. ค่าสีนำผลมะเขือเทศที่เก็บเกี่ยวจากต้นในทรีตเมนต์ต่างๆ ที่ระยะเก็บเกี่ยว (อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก) นำมาวัดค่าสีในรูปของ L*a* และb* ดังนี้

3.1 ค่าความสว่าง (L*) ผลการทดลองพบว่าการใช้ต้นตอที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่า L* ของผลมะเขือเทศจากทุกทรีตเมนต์มีค่า L* ที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยผลจากทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอมะเขือพวงมีค่า L* มากที่สุดคือ 49.45 ขณะที่ในชุดควบคุม (เสียบยอดต้นตอเดิม) มีค่า L* น้อยที่สุดคือ 43.24 (Table 4)

3.2 ค่า a* การวัดค่า a* จากผลมะเขือเทศในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก พบว่า การใช้ต้นตอที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบต่อค่า a* ดังจะเห็นได้จากผลมะเขือเทศในทุกทรีตเมนต์มีค่า a* ซึ่งอยู่ในโซนสีแดงที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ระหว่าง 24.03-26.50 (Table 4)

3.3 ค่า b* สำหรับการวัดค่า b* ผลมะเขือเทศในระยะเก็บเกี่ยวที่อายุ 56 วันหลังย้ายปลูก พบว่า การใช้ต้นตอที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าความเหลืองหรือค่า b* โดยทรีตเมนต์ที่ใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอมีค่า b* มากที่สุดคือ 22.90 ขณะที่ชุดควบคุม (เสียบยอดต้นตอเดิม) มีค่า b* น้อยที่สุดคือ 19.50 (Table 4) ดังนั้นจากการวัดสีผิวผลมะเขือเทศจากการใช้ต้นตอที่แตกต่างกันในระยะเก็บเกี่ยวแสดงให้เห็นว่าการใช้ต้นตอจากมะเขือพวงช่วยส่งเสริมคุณภาพทางด้านสีผล ทำให้ได้สีผิวผลที่แดงสว่างนวลกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ

4. ความแน่นเนื้อจากการวัดความแน่นเนื้อผลมะเขือเทศที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (56 วันหลังย้ายปลูก) พบว่าทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอจากมะเขือพวง มะแว้ง และมะเขือเปราะ ทำให้ผลผลิตมะเขือเทศที่ได้มีความแน่นเนื้อมากที่สุด (0.28 0.30 และ 0.28 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ) ขณะที่ผลมะเขือเทศจากชุดควบคุม (เสียบยอดต้นตอเดิม) มีความแน่นเนื้อน้อยที่สุดคือ 0.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Table 5)

Table 4 Color of tomato fruit in terms of L* a* and b* at harvesting

Treatment	Fruit color		
	L*	a*	b*
Control (self grafted plant)	43.24d ^{1/}	25.13	19.50c
<i>Solanum torvolum</i> Swatz	49.45a	24.84	22.90a
<i>Solanum indicum</i> Linn	47.10bc	25.82	21.26b
<i>Colanum stramonifolium</i> Jacq	48.73ab	24.03	21.80ab
<i>Solanum xanthocarpum</i>	45.28c	26.50	20.58bc
F-test	**	ns	**
C.V. (%)	13.00	24.22	20.57

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p = 0.01$, ns = non significant

5. ความหนาเนื้อจากการวัดความหนาเนื้อของผลมะเขือเทศที่อายุเก็บเกี่ยว พบว่า การใช้ต้นตอที่แตกต่างกันมีผลต่อความหนาเนื้อของผลมะเขือเทศ โดยทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอจากมะเขือพวง มะแว้ง และมะเขือเปราะมีค่าความหนาเนื้อเฉลี่ยมากที่สุดซึ่งผลมะเขือเทศจากต้นตอทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวมีค่าความหนาเนื้อเท่ากันคือ 0.36 เซนติเมตร ขณะที่ทรีตเมนต์ควบคุม (เสียบยอดต้นตอเดิม) และทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอจากมะเขือ มีค่าเฉลี่ยของความหนาเนื้อน้อยที่สุด (0.29 และ 0.33 เซนติเมตร ตามลำดับ) (Table 5)

6. ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total soluble solids : TSS) การวัดปริมาณ TSS จากส่วนเนื้อผลมะเขือเทศที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า การใช้ต้นตอมะเขือชนิดต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณ TSS ของผลมะเขือเทศ โดยทุกทรีตเมนต์มีปริมาณ TSS เฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ระหว่าง 6.97-7.65 °Brix (Table 5)

7. ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity : TA) การวิเคราะห์ปริมาณ TA ของผลมะเขือเทศในทรีตเมนต์ต่างๆ ที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า การใช้ต้นตอที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อระดับ TA ของผลมะเขือเทศ โดยทุกทรีตเมนต์มี

ปริมาณ TA ที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งชุดควบคุม (เสียบยอดต้นตอเดิม) มีปริมาณ TA สูงที่สุดคือ 0.64 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้ต้นตอจากมะแว้ง และมะอึก มีระดับ TA ต่ำที่สุด (0.49 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Table5)

8. ปริมาณวิตามินซีผลการทดลองพบว่าการใช้ต้นตอมะเขือทั้ง 4 ชนิดไม่มีผลต่อปริมาณวิตามินซีของผลมะเขือเทศ โดยผลมะเขือเทศจากทุกทรีตเมนต์มีวิตามินซีใน

ปริมาณที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ระหว่าง 13.65-13.88 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด (Table5)

9. ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ระยะเก็บเกี่ยวผลการทดลองพบว่า การใช้ต้นตอมะเขือทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยผลมะเขือเทศจากทุกทรีตเมนต์มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติอยู่ระหว่าง 79.66-93.99 เปอร์เซ็นต์ (Table5)

Table 5 Quality characteristics of tomatofruit at harvesting

Treatment	Quality characteristics					
	Firmness (kg./cm ²)	Flesh thickness (cm)	TSS (°Brix)	TA (%)	Vitamin C (mg/100 g FW)	Antioxidant (%)
Control (self grafted plant)	0.18c ^{1/}	0.29b	6.97	0.64a	13.65	79.66
<i>Solanum torvum</i> Swatz	0.28a	0.36a	7.32	0.55ab	13.74	87.82
<i>Solanum indicum</i> Linn	0.30a	0.36a	7.27	0.49b	13.76	93.99
<i>Colanum stramonifolium</i> Jacq	0.23b	0.33b	7.45	0.44b	13.70	93.83
<i>Solanum xanthocarpum</i>	0.28a	0.36a	7.65	0.55ab	13.88	85.83
F-test	**	**	ns	*	ns	ns
C.V. (%)	28.86	22.53	6.34	15.52	1.02	12.00

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p = 0.01$, * $p = 0.05$, ns = non significant

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาชนิดของต้นตอที่เหมาะสมต่อการผลิตมะเขือเทศพันธุ์สีดาด้วยวิธีการเสียบยอดโดยใช้พืชตระกูลมะเขือ 4 ชนิดคือ มะเขือพวง มะแว้ง มะอึก และมะเขือเปราะเป็นต้นตอเปรียบเทียบกับปลูกมะเขือเทศพันธุ์สีดาที่เสียบยอดกับต้นเดิม (self-grafted plants) พบว่าการใช้มะเขือพวง เป็นต้นตอ ช่วยเพิ่มคุณภาพมะเขือเทศพันธุ์สีดาในด้านปริมาณ TNC ในใบและราก มวลชีวภาพผล สีผิวผล ความแน่นเนื้อ และความหนาเนื้อที่มากกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ทั้งนี้การใช้ต้นตอมะเขือพวงมีส่วนช่วยเพิ่มการสะสม TNC ในใบมะเขือเทศสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ อาจเนื่องจากการใช้ต้นตอที่ต่างชนิดกันส่งผลทำให้ระบบรากของต้นพืชมีความแข็งแรงแตกต่างกัน ซึ่งรากที่มีความแข็งแรงสมบูรณ์แตกต่างกันนี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารจากดินขึ้นไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของต้นพืชโดยเฉพาะส่วนยอดพันธุ์ (scion) ที่ทำหน้าที่เจริญทางกิ่งใบ (vegetative growth) ผลที่ได้จากการทดลองอาจเป็นไปได้ว่าระบบรากของต้นตอมะเขือพวงมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดน้ำและธาตุอาหารโดยรากจากดินเข้าสู่ภายในต้นพืช ส่งผลทำให้ต้นพืชมีการ

เจริญเติบโตที่ดีขึ้นจึงอาจทำให้การใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอต้นมะเขือเทศพันธุ์สีดามีการสังเคราะห์แสงดีกว่าการใช้ต้นตอมะเขือชนิดอื่นๆ และส่งผลให้ส่วนใบมีการสะสม TNC ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นผลที่ได้สอดคล้องกับ Venema et al.⁹ พบว่าการใช้ต้นตอมะเขือพันธุ์ปามีส่วนช่วยทำให้ยอดมะเขือเทศพันธุ์ Moneymaker มีใบขยายขนาดเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีพื้นที่ในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อสะสม TNC ในส่วนใบของต้นมะเขือเทศเพิ่มขึ้น ขณะที่ส่วนของมวลชีวภาพผล พบว่าทรีตเมนต์ที่ใช้ต้นตอจากมะเขือพวงให้ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของผลมากที่สุด ผลที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับ Khahet al.⁸ ได้รายงานว่าการเสียบยอดโดยใช้ต้นตอที่เหมาะสมทำให้ช่วยเพิ่มปริมาณมวลชีวภาพของพืชได้โดยเฉพาะมวลชีวภาพของยอดมะเขือเทศพันธุ์ Big Red ที่ผ่านการเสียบยอดโดยใช้พันธุ์ Heman และ Primavera ทำหน้าที่เป็นต้นตอ มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นที่ไม่เสียบยอด (Control) ซึ่งสอดคล้องกับ Romano and Paratore¹⁰ รายงานว่าส่วนบนดินจากต้นตอมะเขือเทศพันธุ์ Rita ที่เสียบยอดโดยใช้พันธุ์ Beaufort มีปริมาณมวลชีวภาพมากกว่าต้นที่มีระบบรากของตัวเอง เนื่องจากความแข็งแรงของต้นตอจะมีส่วนช่วยเพิ่มการสร้าง

มวลชีวภาพของพืชให้มากขึ้น ขณะที่ Riveroet *al.*¹¹ กล่าวว่าลักษณะ genotype ของต้นตอยังส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตทางกิ่งใบด้วยเช่นกัน ทั้งนี้กลไกในการควบคุมการสร้างมวลชีวภาพยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก Zijlstra and den Nijs¹² นอกจากนี้การทดลองเสียบยอดมะเขือเทศโดยใช้ต้นตอจากมะเขือชนิดต่างๆ ผลการทดลองพบว่าปริมาณมวลชีวภาพในส่วนยอดพันธุ์มะเขือเทศได้รับผลกระทบโดยตรงจากพันธุกรรมของต้นตอ Stitt and Scheible¹³

ส่วนคุณภาพผลผลิตด้านสีผิวผล ความแน่นเนื้อ และความหนาเนื้อของผลมะเขือเทศพันธุ์สิดา พบว่าการใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอทำให้ผลผลิตมะเขือเทศมีคุณภาพดีกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Hofmanet *al.*¹⁴ รายงานว่าคุณภาพผลผลิตของ avocado ได้รับผลกระทบจากปฏิสัมพันธ์กันของต้นตอและยอดพันธุ์ที่ใช้ขณะที่ Khahet *al.*⁸ กล่าวว่า การเสียบยอดมะเขือเทศพันธุ์ 'Big Red' ทำหน้าที่เป็นยอดพันธุ์เปรียบเทียบกับ การเสียบยอดตัวเอง (self-grafted) และทรีตเมนต์ควบคุม (ไม่เสียบยอด) โดยใช้มะเขือเทศพันธุ์ลูกผสมสองพันธุ์ คือ 'Heman' และ 'Primavera' ทำหน้าที่เป็นต้นตอพบว่าคุณภาพผลผลิตในส่วนของ pH, TSS และ lycopene ไม่มีความแตกต่างกันอย่างไรก็ตามการเสียบยอดโดยใช้ต้นตอพันธุ์ 'Primavera' เปรียบกับยอดพันธุ์ 'Big Red' ทำให้คุณภาพผลในด้าน pH TSS และ lycopene ที่ดีกว่าใช้ต้นตอและยอดพันธุ์ 'Big Red' (เสียบยอดต้นตอเดิม) และไม่เสียบยอด (Control) ขณะที่ Leoniet *al.*¹⁵ ; Romano and Paratore.¹⁰ กล่าวว่า การเสียบยอดมะเขือยาวพันธุ์ Mission bell บนต้นตอมะเขือพันธุ์ Energy ไม่มีผลช่วยปรับปรุงคุณภาพผลผลิตในด้านน้ำหนักสด TSS และความหนาเนื้อของผลมะเขือยาว

สรุปผล

1. การใช้ต้นตอมะเขือพวงทำให้ส่วนใบมะเขือเทศมีปริมาณ TNC เพิ่มขึ้น ขณะที่ส่วนรากของต้นตอมะเขือพวงมีการสะสม TNC มากที่สุดในระยะหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต
2. คุณภาพผลผลิตในด้านปริมาณมวลชีวภาพของผล สีผิวผลในรูป L* และ b* ความแน่นเนื้อ และความหนาเนื้อของผลมะเขือเทศได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น ภายหลังจากเสียบยอดมะเขือเทศพันธุ์สิดาโดยใช้มะเขือพวงเป็นต้นตอ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2554 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. การส่งออก-นำเข้าสินค้าที่สำคัญ. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมวิชาการเกษตร; 2554. [Cited July 18, 2011]. ได้มาจาก :<http://www2.doae.go.th/>
2. ประพันธ์ โอสถาพันธุ์. โรคของพืชตระกูลมะเขือ. ภาควิชาอารักขาพืช คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. ม.ป. <[http://www.ppath.cas.psu.edu/EXTENSION/VEGDIS/VegDisases/ Identification _files/ eggplant.html](http://www.ppath.cas.psu.edu/EXTENSION/VEGDIS/VegDisases/Identification_files/eggplant.html)> 1 มิถุนายน 2554.
3. กรุง สีตะธานี. การปลูกมะเขือเทศ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม; 2543.
4. A.O.A.C. Official Methods of Analysis (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC; 1975.
5. Kira, T. and T. Shidei. Primary production and turnover to organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. J. Jap. Ecol. 1967;17: 70-87.
6. A.O.A.C. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist. Inc Connecticut; 1990.
7. Lim K.T., C. Hu and D.D. Kitts. Antioxidant activity of a Rhus verniciflua Stokes ethanol Extract. Food and Chemical Toxicology. 2001; 39: 229-237.
8. Khah, E. M., E. Kakava, A. Mavromatis, D. Chachalis and C. Goulas. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. Journal of Applied Horticulture. 2006;8(1): 3-7.
9. Venema, J. H., B. E. Dijk, J. M. Bax, P. R. van Hasselt and J. T. M. Elzenga. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. Environmental and experimental. 2008;63 : 359-367.
10. Romano, D. and A. Paratore. Effects of Grafting on Tomato and Eggplant. Acta Hort. 2001;559 : 149-153
11. Rivero, R.M., J.M. Ruiz, E. Sánchez and L. Romero. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under conditions of thermal shock?, *Physiol. Plant* 2003;117: 40-50.

12. Zijlstra, S. and A.P.M. den Nijs, Effects of root systems of tomato genotypes on growth and earliness, studied in grafting experiments at low temperature, *Euphytica*. 1987;36: 693–700.
13. Stitt, M. and W.R. Scheible, Understanding allocation to shoot and root will require molecular information about which compounds act as signals for the plant nutrient status, and how meristem activity and cellular growth are regulated: opinion, *Plant Soil*1998;201: 259–263.
14. Hofman, P.J., S. Vuthapanich, A.W. Whiley, A. Klieber and D.H. Simons, Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality, *Sci. Hortic.*2002;92: 113–123.
15. Leoni, S., R. Grudina, M. Cadinu, B. Madeddu and M.C. Garletti. The influence of four rootstocks on some melon hybrids and a cultivar in greenhouse. *ActaHorticulturae*. 1990;287: 127-134.

การผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูล

Biogas Production from Excreta

ศุภณัฐ รัฐเมือง,¹ สุันทนา เลาววันย์ศิริ,² กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา³

Supanat Rathamuang,¹ Sunantha Laowansiri,² Kannika Chookietwattana³

Received: 8 May 2014 ; Accepted: 15 August 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูล โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ศึกษาในสภาวะควบคุม โดยทดลองในขวดเซรัมขนาด 120 มิลลิลิตรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ของโรงงานแปรงมันสำปะหลัง ที่ Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS) เท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในขวดเซรัม 30 มิลลิลิตร แล้วเติมสิ่งปฏิกูลลงไปในช่วงเซรัม 70 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นสิ่งปฏิกูลมีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37±1.0 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 วัน ระยะที่ 2 เป็นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในระยะที่ 1 มาทดลองจริงในระบบ Covered Lagoon แบบไร้อากาศ ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เมตร ที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 วัน เติมสิ่งปฏิกูลทุกๆ วัน วันละ 88 ลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองแบบกะ (Batch Test)

ผลการทดลองระยะที่ 1 ความเข้มข้นซีโอดีของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน สามารถลดซีโอดีได้สูงสุด 3,857.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 69.05±0.8 ปริมาณก๊าซชีวภาพและร้อยละก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการหมักที่เพิ่มขึ้นโดยตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ที่ระยะเวลา 5-30 วัน ซึ่งพยาธิและไข่พยาธิที่ตรวจพบคือ *Entamoeba coli* เป็นโปรโตซัวที่ทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* (พยาธิใบไม้ตับ), *Teaniasp.* (พยาธิตัวตืด) และ *Ascaris lumbricoides* (พยาธิไส้เดือน) ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิโดยสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองระยะที่ 1 คือความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน พบว่ามีการกำจัดซีโอดีสูงสุดและมีค่าการกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม และปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 8.0 มิลลิลิตร ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไปผลการทดลองระยะที่ 2 เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในระยะที่ 1 มาทำการทดลองจริงในระบบ Covered Lagoon แบบไร้อากาศ พบว่าที่ระยะเวลา 45 วันประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลสูงสุดเท่ากับร้อยละ 53.17±0.70 ระยะเวลาการติดไฟเท่ากับ 215 นาทีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.15±1.10 ลูกบาศก์เมตร (0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และร้อยละก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ 67.17±1.3 และ ส่วนปุ๋ย (ตะกอน) พบว่าปริมาณ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของปุ๋ย (ตะกอน) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.71±0.03, 0.62±0.04 และ 0.65±0.02 ตามลำดับที่ระยะเวลา 5-25 วัน ตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิคือ *Entamoeba coli* เป็นโปรโตซัวที่ทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* (พยาธิใบไม้ตับ), *Teaniasp.* (พยาธิตัวตืด) และ *Ascaris lumbricoides* (พยาธิไส้เดือน) ในขณะที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

คำสำคัญ: การผลิตก๊าซชีวภาพ สิ่งปฏิกูลชุมชน การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

¹ นิสิตปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

³ Assist. Prof., Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

* Corresponding author: SupanatRathamuang, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand. E-mail: jija_env@windowslive.com

Abstract

The objective of this study is to assess production of biogas from human excreta through a two-phase experiment. The first phase is the study under controlled conditions, experimented in 120 ml serum bottles using the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) from a cassava factory, having mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) of 2 g/l. The 30 ml sludge was poured into serum bottles and adjusted to have chemical oxygen demand (COD) of 1000, 2000, 4000 and 6000 mg/l. Excrete (70ml) was added. The mixtures were incubated at 37 ± 1 °C for 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 days. The second phase experimented using the optimum condition obtained from the first phase and applying it to a anaerobic covered lagoon system with a volume of 8 m³ for 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45 days and adding the excreta of 88 l/day every day to control COD concentration of 6000 mg/l. The experiment was batch test.

From the first phase, COD concentration of the excreta was reduced from 6000 mg/l to as low as 3,857.14 mg/l at 45 days, exhibiting the highest COD removal efficiency of $69.05\pm 0.8\%$. Biogas production and methane gas content were increasing with increasing COD and time. Parasites detected at 5-30 days were *Entamoeba coli*, *Opisthorchis viverrini* and *Teaniaspp.*, not detectable at 35-60 days. The optimum conditions for the first phase was COD concentration of 6000 mg/l at 45 days, exhibiting the highest COD removal efficiency, and COD removed per a unit of biogas production. Under the optimum conditions, the highest COD removal was 523.81 mg and biogas production was 8.0 ml, which were applied to the condition in the second phase. For the second phase, highest COD removal efficiency for the human excreta obtained from the anaerobic covered lagoon system at 45 days was $53.17\pm 0.7\%$, ignited time was 215 min, biogas production was 2.15 ± 1.10 m³ (0.43 m³/d) and methane content was $67.17\pm 1.3\%$. The fertilizer (sediment) contained nitrogen, phosphorus and potassium of $1.71\pm 0.03\%$, $0.62\pm 0.04\%$ and $0.65\pm 0.02\%$, respectively. On day 5th and 25th parasites detected were *Entamoeba coli*, *Opisthorchis viverrini*, *Teaniaspp.* and *Ascaris lumbricoides* and not be detectable at 30-45 days.

Keywords: Biogas, Excreta, Anaerobic wastewater treatment

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรมากถึง 65.4 ล้านคน ซึ่งมีจำนวนมากเป็นอันดับที่ 4 ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้¹ เมื่อประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงมีความต้องการในการใช้ทรัพยากรสูงขึ้น และนอกจากนี้ยังมีปริมาณของสิ่งปฏิกูลเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อปี พ.ศ. 2553 สถานการณ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลโดยกรมอนามัยพบว่า สิ่งปฏิกูลที่ไม่สามารถบำบัดได้มีมากถึงร้อยละ 79.5 ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้จะก่อให้เกิดมลพิษและสุขภาพเสื่อมโทรมในสภาวะไร้อากาศซึ่งจะได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 50-80 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5-20 และที่เหลือคือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไซเนว โดยสิ่งปฏิกูลเป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อโรคที่ติดต่อในระบบทางเดินอาหารและโรคหนองพยาธิที่สำคัญซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยเชื้อโรคต่างๆ เหล่านี้อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของคนและถูกขับถ่ายออกมาพร้อมอุจจาระ ปัสสาวะ ซึ่งอุจจาระมีจุลินทรีย์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ ไวรัส แบคทีเรีย และโปรโตซัว โดยปกติจะติดต่อกันจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง โดยการกินอาหารหรือดื่มที่

ปนเปื้อนด้วยอุจจาระเข้าไป ซึ่งถ้าไม่มีการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลอย่างถูกสุขลักษณะแล้ว เชื้อโรคเหล่านี้จะแพร่กระจายไปยังบุคคลอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคติดต่อขึ้นได้

จากปัญหาดังกล่าวนี้หากพิจารณาถึงองค์ประกอบของสิ่งปฏิกูล พบว่ามีอินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 20 ไนโตรเจนประมาณร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 0.5 และโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 0.37 ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การทำปุ๋ยหมัก และการผลิตก๊าซชีวภาพ

มีรายงานศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งมาผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม² การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียเทศบาลและการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาและหญ้าขี้ฉားที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม³

ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเข้มข้นสิ่งปฏิกูลที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และศึกษาคุณภาพ และ

ปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบ Covered Lagoon และความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากการหมักสิ่งปฏิกูลไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ยังสามารถเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งปฏิกูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

สิ่งปฏิกูลที่ทำการทดลองวิจัยในครั้งนี้ นำมาจากรถรับบริการดูดส้วมทั่วไปในเขตอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยนำสิ่งปฏิกูลมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแบบไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ของโรงงานแปงมันสำปะหลัง โดยนำมาใช้ในการทดลองระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เปย์ต้าฮวง ซลเจริญ จำกัด

การปรับสภาพจุลินทรีย์

โดยนำตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศมาปรับสภาพซึ่งเป็นการทำให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับสิ่งปฏิกูลที่จะใช้ในการทดลอง โดยนำตะกอนจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ มาเลี้ยงในถังขนาด 20 ลิตรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน โดยในระยะเริ่มต้นจะค่อยๆ เติมสิ่งปฏิกูลลงไปจากที่ความเข้มข้นน้อยจนกระทั่งถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง

วิธีการทดลอง

ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ใช้สิ่งปฏิกูลที่มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะทดลอง 3 ซ้ำ โดยจึงแบ่งเป็น 2 ระยะการทดลอง คือ

การทดลองระยะที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูล โดยการศึกษาในระยะนี้ศึกษาในสภาวะควบคุม โดยทำในขวดเชอร์รี่ขนาด 120 มิลลิลิตร ปริมาตรใช้งาน 100 มิลลิลิตร

ใส่จุลินทรีย์ไร้อากาศ 30 มิลลิลิตร เติมสิ่งปฏิกูล 70 มิลลิลิตร ใส่จุลินทรีย์แบบไร้อากาศ MLVSS 2 กรัมต่อลิตร โดยสิ่งปฏิกูลที่ใช้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นพ่นก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ บริเวณช่องว่างด้านบนของปากขวดเชอร์รี่ เพื่อให้สภาพภายในขวดทดลองเป็นสภาพไร้อากาศแล้วปิดขวดด้วยจุกยาง และปิดทับจุกยางอีกที่ด้วยอะลูมิเนียมแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่าง ทุกๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน

การทดลองระยะที่ 2 เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองระยะที่ 1 มาทำการทดลองจริง โดยใช้ระบบ Covered Lagoon ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เมตร

วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์ซีโอดี ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater⁶ ก๊าซชีวภาพใช้วิธีแทนทีในน้ำ ก๊าซมีเทนใช้เครื่อง Gas Chromatography ระยะเวลาดูดไฟใช้วิธีการจุดไฟการศึกษาธาตุอาหารของปุ๋ยจากตะกอนที่ผ่านการหมัก ได้แก่ ไนโตรเจน (Total N), ฟอสฟอรัส (P_2O_5), โพแทสเซียม (Total K_2O) ตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้าพยาธิและไขพยาธิ ตามหนังสือปริสตีวิทยาทางการแพทย์⁸

ผลการศึกษา

1. การทดลองระยะที่ 1

1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูล (Figure 1) พบว่าการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลา 45 วัน มีการกำจัดซีโอดีสูงสุด ซึ่งสามารถลดซีโอดีได้ $3,857.14$ มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 69.05 ± 0.8 (Figure 2)

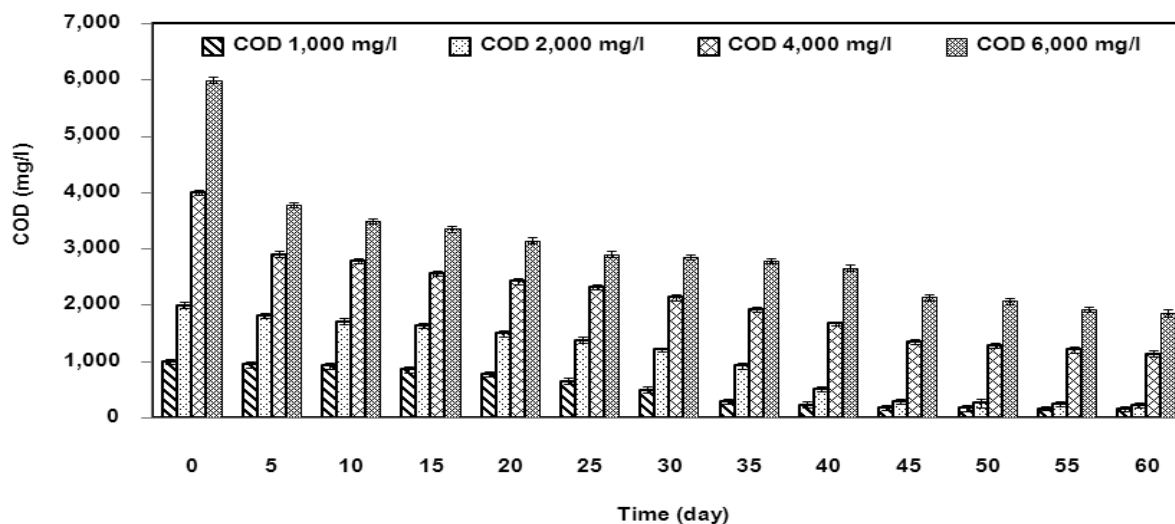


Figure 1 COD removal from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

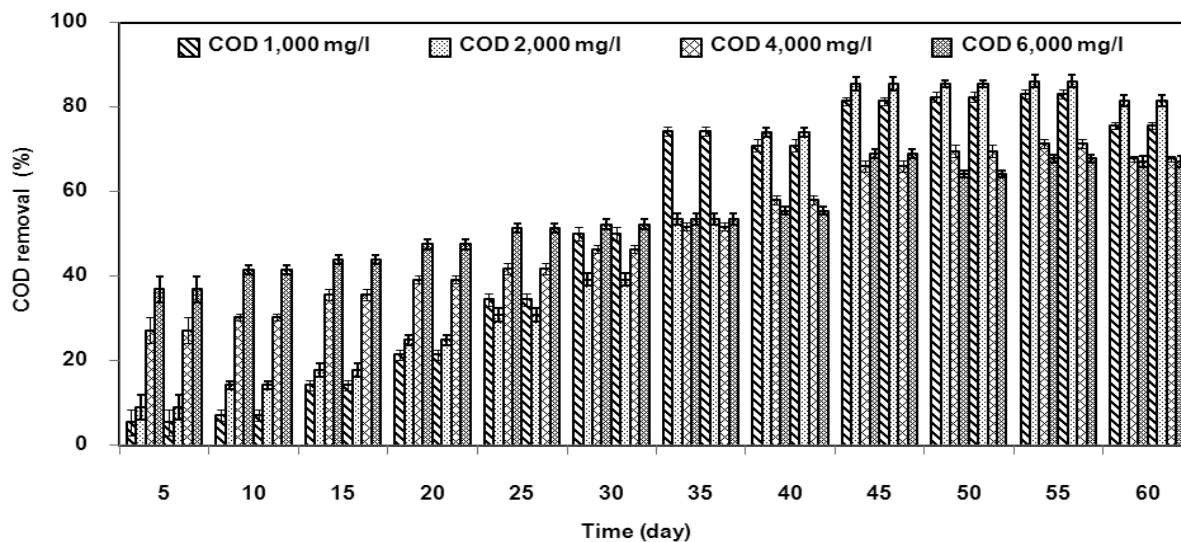


Figure 2 Efficiencies of COD removal from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

1.2 ร้อยละก๊าซมีเทน

ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูล (Figure 3) พบว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 30, 35, 40 และ 45 วันมีร้อยละก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 47.88, 47.41, 46.53 และ 44.76 ตามลำดับ

1.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูล (Figure 4) พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีค่าเท่ากับ 12.0 ± 1.0 , 37.0 ± 1.4 , 44.0 ± 0.3 และ 54.5 ± 0.7 มิลลิตร ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในระยะที่ 1 คือที่ความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 8.0 มิลลิตรและมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม (ค่าได้จากวันที่ 40-45 วัน) ซึ่งจะนำไปใช้ใน ระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไป

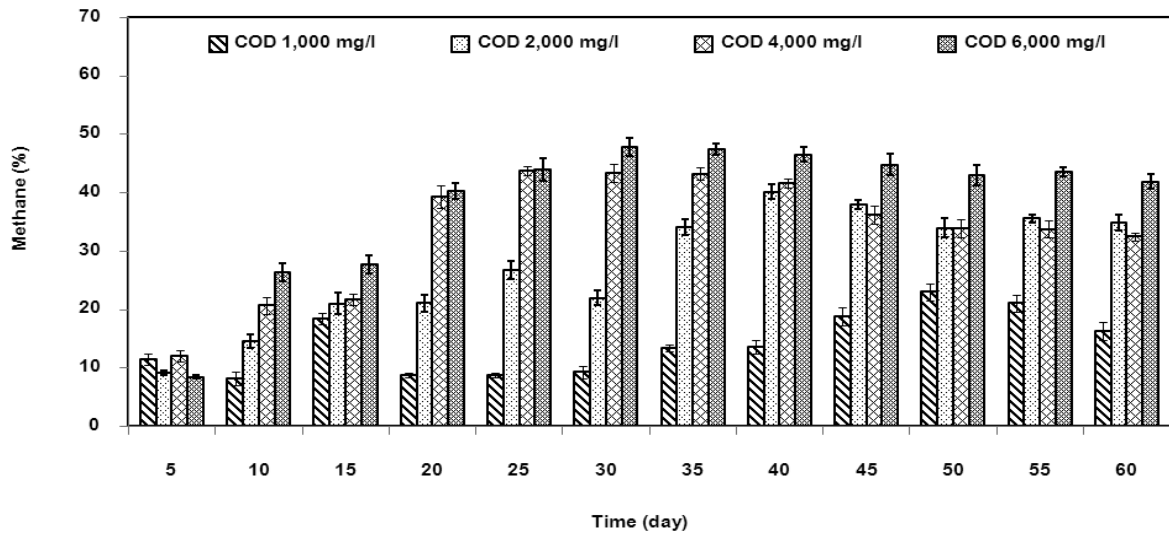


Figure 3 Methane gas contents in biogas from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

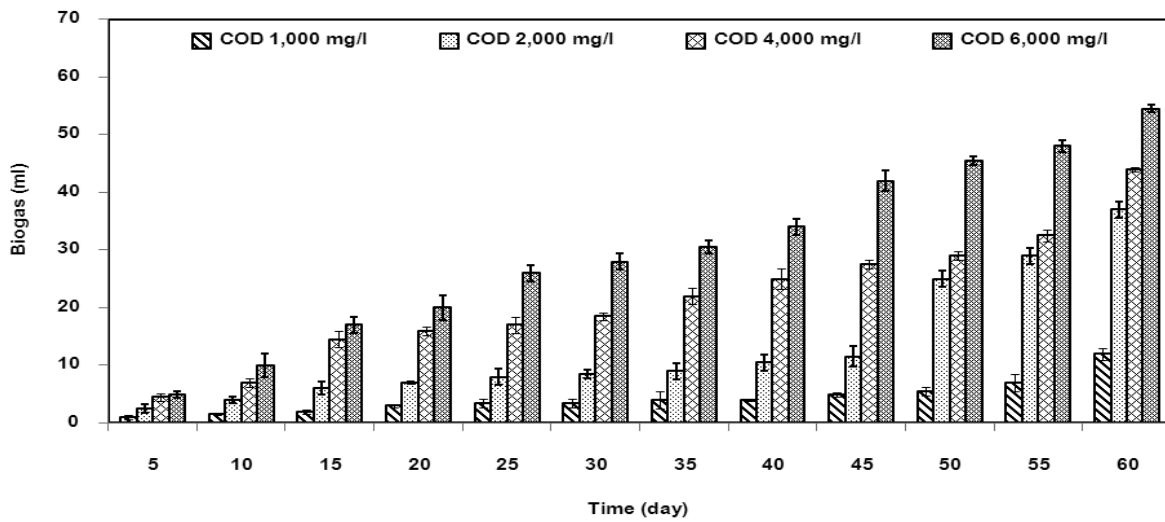


Figure 4 Biogas productions from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

1.4 พยาธิและไข่พยาธิ

การตรวจพยาธิและไข่พยาธิในสิ่งปฏิกูล พบว่าที่ระยะเวลา 5-30 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teniaspp* คือพยาธิตัวตืด และ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

2. การทดลองระยะที่ 2

2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัด

ซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 53.17±0.7 ที่ระยะเวลา 45 วัน (Figure5)

2.2 ร้อยละก๊าซมีเทน

ร้อยละก๊าซมีเทน (Figure6) พบว่าช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย โดยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดคือร้อยละ 67.17±1.3 ที่ระยะเวลา 45 วัน

2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Figure 7) พบว่ามีปริมาณสูงสุด 2.15 ±0.10 ลูกบาศก์เมตร (0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ที่ระยะเวลา 45 วัน โดยปริมาณก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มมากขึ้น

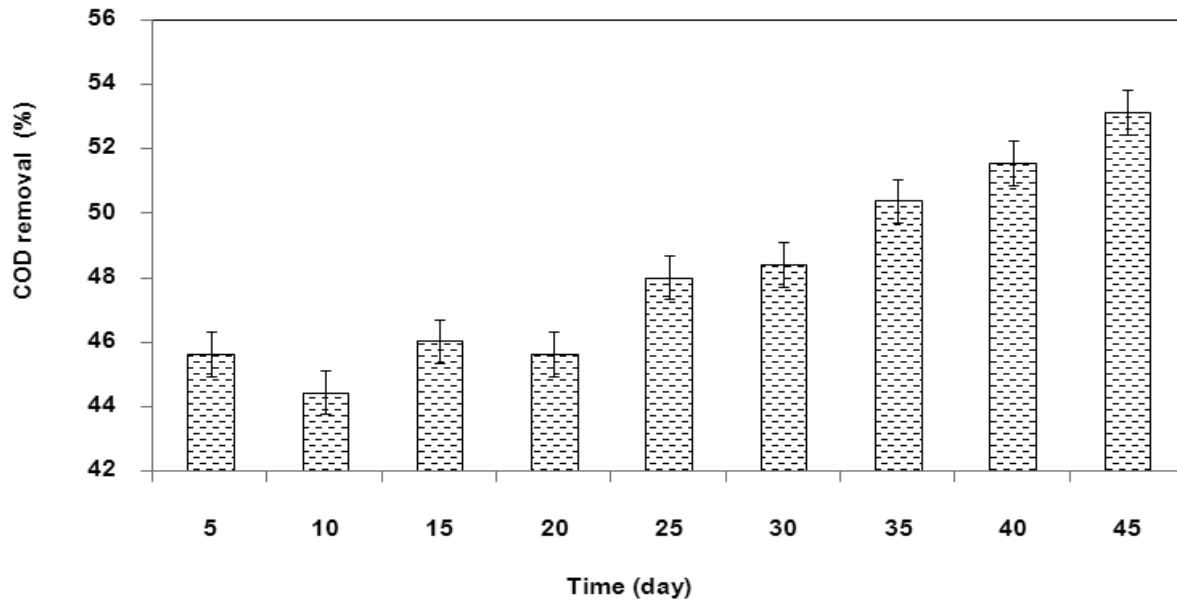


Figure 5 Efficiencies of COD removal from excreta for varied COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

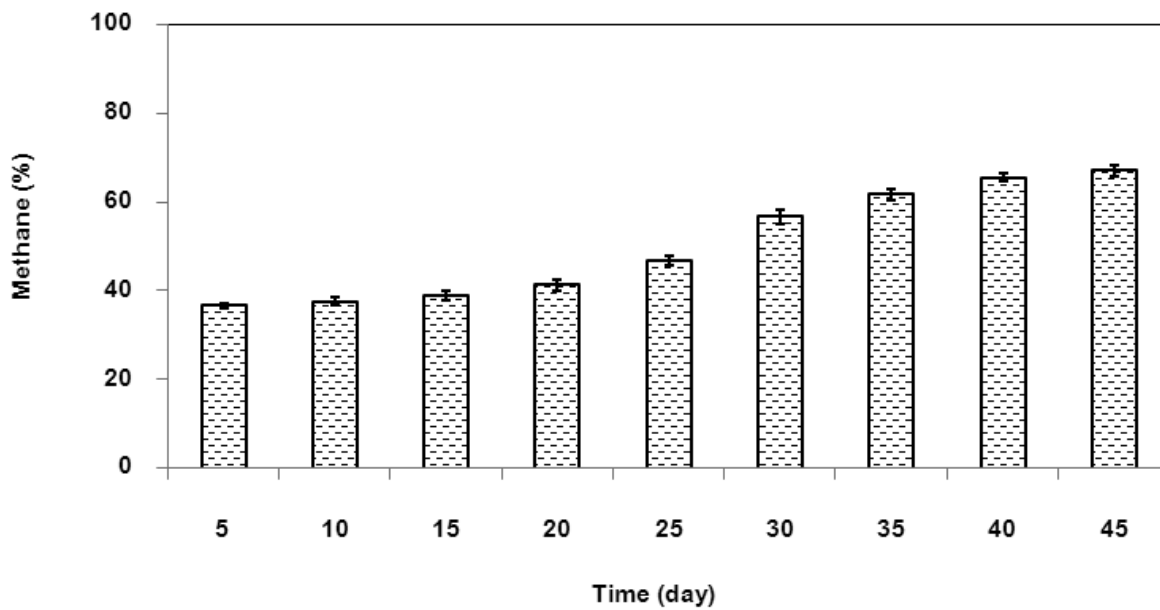


Figure 6 Methane gas contents in biogas from excreta for COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

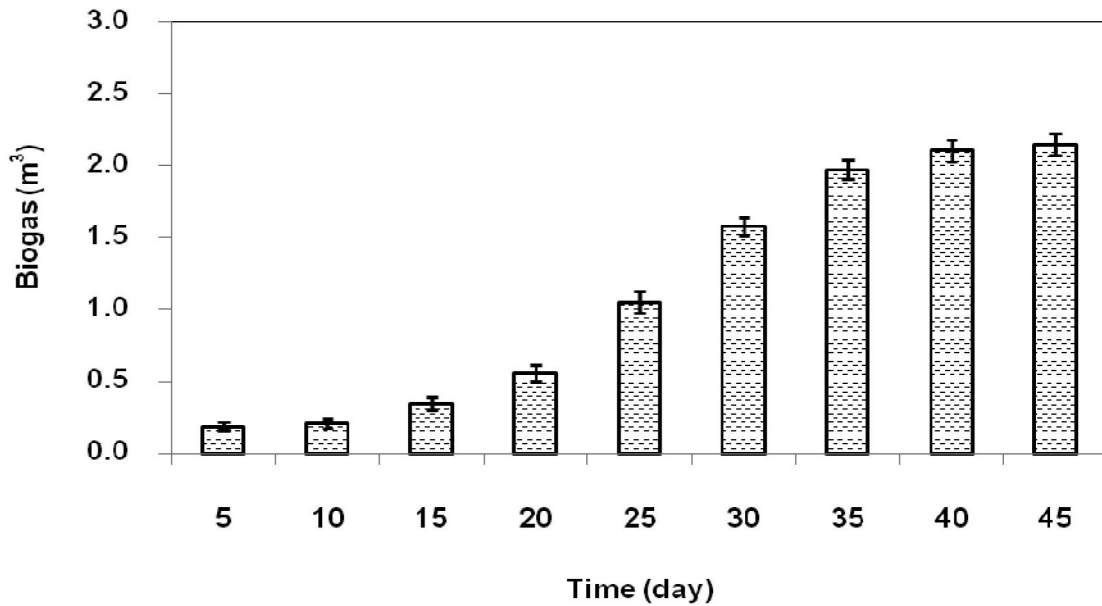


Figure 7 Biogas productions from excreta for COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

2.4 ระยะเวลาติดไฟ

ระยะเวลาการติดไฟ พบว่าระยะเวลาการติดไฟที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาหมักที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีระยะเวลาการติดไฟนานที่สุดถึง 215 นาที ที่ระยะเวลา 45 วัน ซึ่งในช่วงแรกระยะเวลาการติดไฟมีไม่มากนัก และหลังจากนั้นที่ระยะเวลา 15-45 วัน ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.5 ธาตุอาหารหลักของปุ๋ย (ตะกอน)

ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Figure8)

พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (Total N), ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (Total K_2O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 1.71 ± 0.03 , 0.62 ± 0.04 และ 0.65 ± 0.02

2.6 พยาธิและไข่พยาธิ

การตรวจพยาธิและไข่พยาธิในสิ่งปฏิกูล พบว่า ที่ระยะเวลา 5-25 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teaniaspp.* คือพยาธิตัวตืดและ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

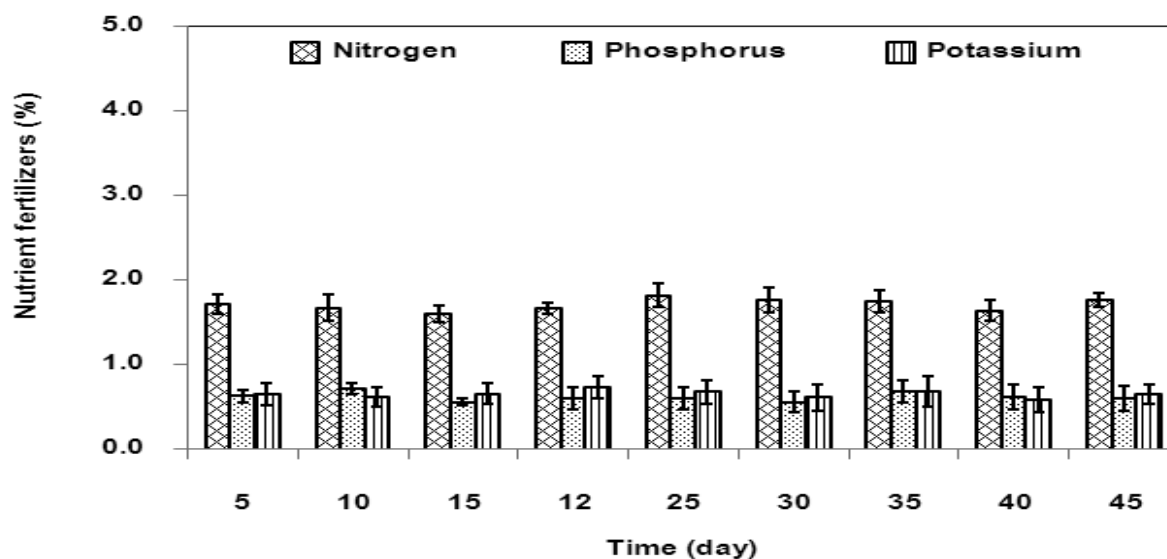


Figure 8 Nutrient fertilizers from excreta for varied COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

วิจารณ์และสรุปผล

การทดลองระยะที่ 1

1. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน สามารถลดซีโอดีได้ 3,857.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 69.05 ± 0.8 เนื่องจากในระยะแรกจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น⁹

2. ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีค่าเท่ากับ 12.0 ± 1.0 , 37.0 ± 1.4 , 44.0 ± 0.3 และ 54.5 ± 0.7 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 45-60 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ไร้อากาศมีระยะเวลาเพียงพอในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

3. ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2000, 4000 และ 6,000 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างจะน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของการทดลอง เพราะสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายเป็นกรดโดยจุลินทรีย์สร้างกรด และถูกย่อยต่อไปเป็นก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์สร้างมีเทน ดังนั้นช่วงเริ่มต้นของการทดลองปริมาณก๊าซมีเทนจึงมีน้อย¹⁰ และเมื่อระยะเวลา 30, 35, 40 และ 45 วัน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีร้อยละก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 47.88, 47.41, 46.53 และ 44.76 ตามลำดับ

4. การกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในระยะที่ 1 คือที่ความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 8.0 มิลลิลิตรและมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม (ค่าได้จากวันที่ 40-45 วัน) ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไป

5. พยาธิและไข่พยาธิ พบว่าที่ระยะเวลา 5-30 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teania* spp. คือพยาธิตัวตืด และ *Ascaris lumbricoides* คือ พยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นจะไม่พบพยาธิและไข่พยาธิ และสามารถนำตะกอนที่ได้จากระบบ Covered Lagoon นี้ไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้อย่างปลอดภัย

การทดลองระยะที่ 2

1. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลเท่ากับร้อยละ 53.17±0.7 ที่ระยะเวลา 45 วันเนื่องจากการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์และก๊าซมีเทน ตามลำดับ ทำให้ค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดลดลงจากซีโอดีเริ่มต้น¹¹ และประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น

2. ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงสุด 2.15 ±0.10 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลา 45 วัน เนื่องจากระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้แบคทีเรียมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนจึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพและร้อยละก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย¹²

3. ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของการทดลอง โดยเมื่อระยะเวลาการบำบัดสิ่งปฏิกูลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้นทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นส่งผลให้ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดร้อยละ 67.17±1.3 ที่ระยะเวลา 45 วัน

4. ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะการหมักที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีระยะเวลาการติดไฟนานที่สุดถึง 215 นาที ที่ระยะเวลา 45 วัน ซึ่งที่ระยะเวลา 15-45 วัน ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

5. ธาตุอาหารหลักของปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (Total N) ฟอสฟอรัส (P₂O₅) และโพแทสเซียม (Total K₂O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.71±0.03, 0.62±0.04 และ 0.65±0.02

6. พยาธิและไข่พยาธิ พบว่าที่ระยะเวลา 5-25 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teania* spp. คือพยาธิตัวตืดและ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้น จะไม่พบพยาธิและไข่พยาธิและสามารถนำตะกอนที่ได้จากระบบ Covered Lagoon นี้ไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในระบบบำบัดจริง คือ ใช้สิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลา 45 วัน หากต้องการนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัยควรเพิ่มระยะเวลาของการหมักให้มากกว่าหรือเท่ากับ 45 วัน โดยในงานวิจัยต่อไปอาจจะเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีของสิ่งปฏิกูลให้มากกว่า 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการวิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เปี้ยต้าฮวง ชลเจริญ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. รายงานผลเบื้องต้นสำมะโนประชากรและเคหะ. ได้จาก URL: <http://www.popcensus.nso.go.th/file/popcensus-08-08-55-T.pdf>. 2553.
2. สำนักสารนิเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัย. ได้จาก URL: http://.moph.go.th/ops/lprg/include/admin_hotnew/show_hotnew.php?idHotnew=30971. 2551.
3. กฤษณัท ศรีบุญเรือง. ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553.
4. Baskaralingam P, Elango D, Pulikesi M, Ramamurthi V, Sivanesan S. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage, Hazardous Materials 2003; 141 (1): 301–304.
5. Singhal V, Rai JPN. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for phytoremediation of industrial effluents, Bioresource Technology 2003; 86 (3): 221–225.
6. APHA. AWWA and WPC. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. Washington, DC: American Public Health Association. 1998.
7. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: ดับบลิว เจ หรือฟเฟออดี; 2547.

8. วิฑูรย์ ไวยนันท์, พีรพรรณ ตันอารีย์. ปรสดีวิทยาทางการแพทย์. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2537.
9. ชุตินา ฉันท์พลากร. ผลของการป้องกันเชื้อโรคต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากสาโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
10. สุนันทา เลาวัดณ์ศิริ. การบำบัดสารอินทรีย์และสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2544.
11. สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้การออกแบบ การควบคุม และแก้ไขปัญหา. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ท็อป; 2546.
12. จิรวัดณ์ ชาลีวรรณ. ผลของระยะเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้ออกซิเจนอัตราการย่อยสูงของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2546.

คุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

Quality of Bottled Drinking Water Distributed in Kanchanaburi Province, Thailand

สุบัตติต นิมรัตน์^{1*}, พีรพัฒน์ สุพรรณพันธุ์², วีรพงศ์ วุฒิพันธ์ชัย³

Subuntith Nimrat^{1*}, Peeraphat Supannapan², Verapong Vuthiphandchai³

Received: 30 April 2014 ; Accepted: 4 August 2014

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาถึงคุณภาพทางแบคทีเรียวิทยาและคุณภาพบางประการ คือ การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ลักษณะกลิ่น ลักษณะน้ำดื่มที่บรรจุภายในขวด ฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิตและสถานที่ผลิต) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและขวดขาวขุ่นที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย จากผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งหมดมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-7.5 ส่วนฉลากบนผลิตภัณฑ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดมีการระบุรายละเอียดของสถานที่ผลิต ชื่อบริษัท และวันผลิต/หมดอายุ บนฉลากของน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 29 ตัวอย่าง และไม่ระบุวันผลิต/หมดอายุบนผลิตภัณฑ์ จำนวน 18 ตัวอย่าง และจากการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ในตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดผลการศึกษาพบว่า มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 1.8 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ยกเว้นตัวอย่างที่ 1 ของยี่ห้อ KO4 ที่พบแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดเท่ากับ 23, 2.0 และ < 1.8 MPN/100 mL ตามลำดับ และตัวอย่างที่ 6 ของยี่ห้อ KO5 ที่พบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และฟีคัลโคลิฟอร์มเท่ากับ 49 และ 6.1 MPN/100 mL ตามลำดับ แต่ตรวจไม่พบ *E. coli* ดังนั้นจากการประเมินคุณภาพของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและขวดขาวขุ่นที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ทั้งสมบัติทางกายภาพบางประการและจุลชีววิทยามีเพียง 19 ตัวอย่าง (40.42%) จากตัวอย่างทั้งหมด 47 ตัวอย่าง ที่ผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย

คำสำคัญ: น้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใส น้ำดื่มบรรจุขวดขาวขุ่น แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม *E. coli* จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย

Abstract

In this study, bacteriological qualities and some qualities in terms of pH, odour, appearance, label information (name of manufacturer and location of product), coliform bacteria, fecal coliform bacteria and *E. coli* of clear and opaque plastic bottled drinking water samples distributed in Kanchanaburi Province, Thailand, were investigated. The results showed that the pH values of the tested samples were in a range of 5.5-7.5. Complete label information with respect to the manufacturer, the manufacturing name and expired/manufacturing date appeared in 29 samples, while 18 samples did not show expired date/manufacturing date on their labels. Coliform bacteria and fecal coliform bacteria of the water samples was less than 1.8 MPN/100 mL and none of *E. coli* was found in all samples. However, one sample (Sample 1) of brand KO4 was found to have all types of indicator bacteria with 23, 2.0 and < 1.8 MPN/100 mL, respectively. One sample (Sample 6) of brand KO5 was contaminated with both coliform and fecal coliform bacteria for 49 and 6.1 MPN/100 mL, respectively, and no detection of *E. coli*. Indeed, assessment of bottled drinking

^{1,3} รองศาสตราจารย์, ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

² นิสิตปริญญาโท, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

^{1,3} Associate Professor, Department of Microbiology and Environmental Science Program, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

² Graduate Student Department of Microbiology, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

* Corresponding author : E-mail: subunti@buu.ac.th

water samples distributed in Kanchanaburi Province, Thailand, based on some physical and microbiological standards for drinking water in sealed container set by Ministry of Public Health of Thailand revealed that the tested samples met the standard for 19 samples (40.42%) from 47 samples.

Keywords : Clear plastic bottled drinking water, Opaque plastic bottled drinking water, Coliform bacteria, Fecal coliform bacteria, *E. coli*, Kanchanaburi Province, Thailand

บทนำ

น้ำ หมายถึง ของเหลวชนิดหนึ่งที่เกิดจากไฮโดรเจน 2 อะตอม รวมกับออกซิเจน 1 อะตอม ซึ่งน้ำที่ดื่มจะต้องสะอาดบริสุทธิ์ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่มีสี มีลักษณะที่ใสสะอาด¹ ในการผลิตน้ำเพื่อการบริโภคนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงความสะอาดและความปลอดภัยเป็นหลัก โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดีของมนุษย์ ในการนำน้ำมาใช้ในด้านต่างๆ ดังนั้นน้ำที่ผลิตขึ้นมาจะต้องปราศจากตัวการต่างๆ ที่อาจจะทำให้เป็นโรคเช่น เชื้อโรค สารเคมีปนเปื้อน เป็นต้น (การผลิตน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค) ลักษณะของน้ำที่ใช้ในการบริโภคต้องใส ปราศจากสี กลิ่น รส และต้องมีการทดสอบคุณภาพของน้ำดื่มทางจุลชีววิทยา เพื่อเป็นการทดสอบว่าน้ำดื่มสามารถนำมาบริโภคได้หรือไม่โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มทางจุลชีววิทยาได้รับความสนใจทั่วโลกเนื่องจากคุณภาพของน้ำดื่มมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน² รวมทั้งในประเทศไทยด้วยจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มทั้งทางด้านกายภาพ ฟิสิกส์ เคมี และจุลชีววิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบทางด้านจุลชีววิทยาของน้ำดื่มเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเนื่องจากน้ำดื่มอาจมีการปนเปื้อนของน้ำดื่มด้วยจุลินทรีย์ก่อโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งแบคทีเรียซึ่งส่งผลให้เกิดโรคต่อผู้บริโภคได้ อาทิ เช่น ไข้ไทฟอยด์ (Typhoid fever) เกิดจาก *Salmonella typhi* โรคกระเพาะอาหารอักเสบ (Gastroenteritis) เกิดจาก Enteropathogenic *E. coli* และโรคบิดไม่มีตัว (Bacillary dysentery) เกิดจาก *Shigella* spp. เป็นต้น³ และแบคทีเรียกลุ่มหนึ่งที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำดื่มคือแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ *E. coli* โดยแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม เป็นกลุ่มของแบคทีเรียในวงศ์ Enterobacteriaceae ที่มีรูปร่างท่อนสั้น ดิจิสแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ เป็นพวกที่ไม่ต้องการอากาศหรือ Facultative anaerobe สามารถหมักน้ำตาลแลคโตสให้เกิดกรดและแก๊สได้ภายใน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส⁴ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ตามแหล่งที่มา คือ 1) เฟคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliforms) โดยปกติมักพบอยู่ในทางเดินอาหารสัตว์เลือดอุ่นและของคน ถูกขับถ่ายออกมาทั้งอุจจาระ ได้แก่ *E. coli* บางสายพันธุ์เป็นสาเหตุของโรคทางเดินอาหาร ใช้เป็นดัชนีชี้แนะ

ถึงความสะอาดของน้ำ และ 2) นอนเฟคัลโคลิฟอร์ม (Non-Fecal coliforms) กลุ่มนี้อาศัยอยู่ในดินและพืช หรืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่มีลักษณะในการผลิต มีอันตรายน้อยกว่ากลุ่มแรก ใช้เป็นแบคทีเรียชี้แนะถึงความไม่สะอาดของน้ำได้เช่นกัน เช่น *Enterobacter aerogenes*

ดังนั้นถ้าหากตรวจสอบพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มในน้ำ แสดงว่าอาจมีการปนเปื้อนของอุจจาระซึ่งเป็นที่มาของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคอีกหลายชนิดตามมาตรฐานของน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงมีการตรวจหาแบคทีเรียโคลิฟอร์มซึ่งสามารถตรวจนับได้หลายวิธีตามความเหมาะสมของตัวอย่างน้ำ วิธีที่ใช้ในมาตรฐานของประเทศไทยคือวิธีเอ็มพีเอ็น (Most probable number; MPN หรือวิธี Multiple tubes fermentation technique) วิธีนี้เหมาะสมกับกรณีตัวอย่างน้ำมีจำนวนเชื้อน้อย

การตรวจโคลิฟอร์มแบคทีเรียด้วยวิธี MPN (Most probable number of coliform organisms) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม โดยอาศัยความสามารถในการย่อยสลายอาหารให้เกิดก๊าซในหลอดทดลอง จากจำนวนของหลอดที่ให้ผลบวกของแต่ละการเจือจาง 3 ระดับ แล้วนำมาอ่านค่าในตารางดัชนี MPN (MPN index) ซึ่งจะบอกจำนวนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่มีอยู่ในน้ำ 100 mL โดยค่าในตารางดัชนี MPN นี้เป็นค่าการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะเป็นการประมาณทางสถิติถึงปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่จะตรวจพบได้ในน้ำ (Most Probable Number per 100 mL of sample) ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำที่ขุ่น หรือน้ำเสียต่าง ๆ⁵ ในการตรวจสอบทางจุลชีววิทยาของน้ำดื่มเป็นสิ่งที่ยากลำบาก ซึ่งจะต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำดื่มสามารถนำไปใช้บริโภคหรือดื่มได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของน้ำที่จะนำมาใช้ดื่มได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพจะต้องมีจำนวนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform bacteria) น้อยกว่า 1.8 MPN/100 mL และต้องไม่พบ *E. coli* ซึ่งวิธีในการตรวจหานิยมใช้วิธี Most Probable Number (MPN) วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ในการหาปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มได้ในน้ำดื่ม น้ำผิวดินและน้ำทะเล รวม

ถึงน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยวิธีนี้ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มในน้ำตัวอย่างจะต้องมีค่าไม่เกิน 1,600 MPN/100mL ซึ่งถ้ามีปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มสูงมากกว่านี้ จะต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม

ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ดำเนินการเพื่อประเมินคุณภาพ คือ การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง กลิ่น ลักษณะน้ำดื่มที่บรรจุภายในขวด ฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิต สถานที่ผลิต และวันผลิตวันหมดอายุ) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ของน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี เพื่อทำให้มีข้อมูลนำมาสู่หน่วยงานที่รับผิดชอบในการดูแลและควบคุมมาตรฐานน้ำดื่มดังกล่าวต่อไป

วิธีการศึกษา

1. การจัดบันทึก

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุภาชนะปิดพร้อมดื่ม ซึ่งตัวอย่างน้ำดื่มทุกยี่ห้อเป็นน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายภายในจังหวัดกาญจนบุรี โดยเก็บน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งหมดจำนวน 14 ยี่ห้อ จากนั้นทำการบันทึกคุณภาพบางประการของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด ได้แก่ ยี่ห้อ รายละเอียดบนฉลาก (ชื่อบริษัท วันผลิต/หมดอายุ สถานที่ตั้ง) ลักษณะขวด ลักษณะน้ำ ลักษณะกลิ่น และค่าความเป็นกรด-ด่าง

2. การทดสอบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* โดยวิธี Most Probable Number⁶

2.1 การทดสอบขั้นแรก (Presumptive test)

ปิเปตตัวอย่างลงในอาหาร Lauryl Tryptose broth (LST) 10 mL ที่มีความเข้มข้น 2 เท่า จำนวน 5 หลอด ๆ ละ 10 mL และปิเปตตัวอย่างลงในอาหาร LST 10 mL ที่มีความเข้มข้น 1 เท่า หลอด ๆ ละ 1 และ 0.1 mL อย่างละ 5 หลอด ตามลำดับ นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เลือกลอด LST บวก (ชุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) เพื่อนำไปทำ Confirmed test ของ โคลิฟอร์ม และ ฟีคัลโคลิฟอร์ม

2.2 การทดสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)

นำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงใน Brilliant Green Lactose Bile broth (BGLB) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง (แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม) และนำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงใน Escherichia coli (EC) medium นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส ใน Water bath นาน 24-48 ชั่วโมง

(แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม) นับจำนวนหลอด BGLB ที่ให้ผลบวก (ชุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง Most Probable Number (MPN) จะได้ค่า MPN Coliform/100 mL และนับจำนวนหลอด EC ที่ให้ผลบวก (ชุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง MPN จะได้ค่า MPN Fecal coliform/100 mL

2.3 การทดสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed test) ของ *E. coli*

นำหลอด BGLB และ/หรือ EC ที่ให้ผลบวกไปเขี่ยลงบน Eosin Methylene Blue agar (EMB) บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ลักษณะโคโลนีเฉพาะของ *E. coli* มีสีเขียวสะท้อนเงาโลหะ (Metallic sheen) และนำไปทดสอบยืนยันโดยใช้ IMViC test

3. วิธีการตรวจสอบทางชีวเคมี IMViC⁷

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของแบคทีเรียจากข้อ 2.3 โดยทดสอบสมบัติทางชีวเคมี ได้แก่ Indole production test, Methyl red test (MR test), Voges-proskauer test (VP test) และ Citrate utilization test

3.1 Indole test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน 1 % Tryptone broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด Kovac' s reagent ลงไป 0.2-0.3 mL เขย่าหลอดทดลองเบา ๆ 2-3 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนสีที่ผิวของอาหาร อ่านผลเป็นบวกเมื่อเกิดวงสีแดงที่ผิวอาหาร

3.2 Methyl red test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR-VP broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด Methyl red ลงไป 5 หยด สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารทันทีหลังจากหยด Indicator อ่านผลเป็นบวกเมื่ออาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง

3.3 Voges-proskauer test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR-VP broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด 5 % naphthol และ Creatine ลงไป 1-2 หยด เขย่า หยด 40% KOH ลงไป 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10-15 นาที สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหาร อ่านผลเป็นบวกเมื่ออาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง

3.4 Citrate utilization test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบโดยการเขี่ยลงบนผิวอาหาร Simmons' citrate agar นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง สังเกตการเปลี่ยน

สีของอาหาร และการเจริญของแบคทีเรีย อ่านผลเป็นบวกลเมื่ออาหารเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

ผลการศึกษา

จากตรวจสอบคุณภาพบางประการและลักษณะทางกายภาพทั้ง 6 ด้านของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ผลการศึกษาตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 47 ตัวอย่าง พบว่า น้ำดื่มบรรจุขวดชนิด

พลาสติกใสและขวดขาวขุ่นระบุรายละเอียดของสถานที่ผลิต ชื่อบริษัท และวันผลิต/หมดอายุ บนฉลากของน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 29 ยี่ห้อ และไม่ระบุวันผลิต/หมดอายุบนผลิตภัณฑ์จำนวน 18 ยี่ห้อ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและขวดขาวขุ่นพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.5-7.5 และลักษณะสีและกลิ่นพบว่าในทุกตัวอย่างมีลักษณะใสและไม่มีกลิ่น (Table 1)

Table 1 Some quality and physical assessment of clear plastic bottled drinking water distributed in Kamjanaburi Province, Thailand

Brand	Sample	Label information			Product from	Characteristic of container	Appearance	Odour	pH	Bottled drinking water quality standard ***
		Name of manufacturer *	MFD. / EXP. **	Location of product						
<i>Clear plastic bottled drinking water</i>										
KC1	1	✓	✓	✓	Phra Nakhon Si Ayutthaya Province	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.50±0.00	Passed
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						
KC2	1	✓	✓	✓	Chiang Mai Province	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						
KC3	1	✓	✓	✓	Bangkok	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	2	✓	✓	✓						
KC4	1	✓	✓	✓	Chonburi Province	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	5.50±0.00	Not passed
	2	✓	✓	✓						
KC5	1	✓	✓	✓	Nakhon Sawan Province	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						
	4	✓	✓	✓						
KC6	1	✓	✓	✓	Rayong Province	Clear plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						
<i>Opaque plastic bottled drinking water</i>										
KO1	1	✓	-	✓	Karnjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.50±0.00	Passed
	2	✓	-	✓						
	3	✓	-	✓						
KO2	1	✓	-	✓	Karnjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	5.50±0.00	Not passed
	2	✓	-	✓						
	3	✓	-	✓						
KO3	1	✓	✓	✓	Karnjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	2	✓	✓	✓						
	3	✓	✓	✓						

✓; Found, -; Not found, MFD; Manufacturing date, EXP; Expired date

*; **; The standard for bottled drinking water in sealed container set by Ministry of Public Health of Thailand is not determined

***; Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981). The water for consumption in sealed container.

Table 1 Some quality and physical assessment of clear plastic bottled drinking water distributed in Kamjanaburi Province, Thailand (Cont.)

Brand	Sample	Label information			Product from	Characteristic of container	Appearance	Odour	pH	Bottled drinking water quality standard ***
		Name of manufacturer *	MFD / EXP **	Location of product						
<i>Opaque plastic bottled drinking water</i>										
KO4	1	✓	-	✓	Kamjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	2	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	3	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
KO5	1	✓	✓	✓	Kamjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Passed
	2	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	3	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	4	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	5	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	6	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
KO6	1	✓	-	✓	Ratchaburi Province	Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	2	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	3	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	4	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	5	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
	6	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and few dent	Clear	Odourless	6.00±0.00	Not passed
KO7	1	✓	-	✓	Kamjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	2	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
	3	✓	-	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	7.00±0.00	Passed
KO8	1	✓	✓	✓	Kamjanaburi Province	Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	5.50±0.00	Not passed
	2	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	5.50±0.00	Not passed
	3	✓	✓	✓		Opaque plastic with not scratch and dent	Clear	Odourless	5.50±0.00	Not passed

✓; Found, - ; Not found, MFD; Manufacturing date, EXP; Expired date

***; The standard for bottled drinking water in sealed container set by Ministry of Public Health of Thailand is not determined

***; Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981). The water for consumption in sealed container.

จากการตรวจสอบการทดสอบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และ *E. coli* โดยวิธี Most Probable Number (MPN) ของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ผลการศึกษาตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดพบปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 1.8 MPN/100 mL และไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่างที่ทำการศึกษาในครั้งนี้และผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ยกเว้นตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 6 จากยี่ห้อ KO4 และ KO5 ตามลำดับ ที่พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียตัวอื่นในตัวอย่างน้ำดื่มที่ทำการทดสอบ (Table 2)

Table 2 Number of indicator bacteria in clear and opaque plastic bottled drinking water distributed in Kamjanaburi Province, Thailand

Brand	Product from	Sample	Coliform (MPN/100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
<i>Clear plastic bottled drinking water</i>						
KC1	Phra Nakhon Si Ayutthaya Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KC2	Chiang Mai Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KC3	Bangkok	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
KC4	Chonburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
KC5	Nakhon Sawan Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
		4	<1.8	<1.8	-	Passed
KC6	Rayong Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
<i>Opaque plastic bottled drinking water</i>						
KO1	Kamjanaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KO2	Kamjanaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KO3	Kamjanaburi Province	1	>58	6.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KO4	Kamjanaburi Province	1	23	2.0	<1.8	Not passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed

- : Not found

* : Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981). The water for consumption in sealed container.

Table 2 Number of indicator bacteria in clear and opaque plastic bottled drinking water distributed in Karnjanaburi Province, Thailand (Cont.)

Brand	Product from	Sample	Coliform (MPN/100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
<i>Opaque plastic bottled drinking water</i>						
KO5	Karnjanaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
		4	<1.8	<1.8	-	Passed
		5	<1.8	<1.8	-	Passed
		6	49	6.1	-	Not passed
KO6	Ratchaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
		4	<1.8	<1.8	-	Passed
		5	<1.8	<1.8	-	Passed
		6	<1.8	<1.8	-	Passed
KO7	Karnjanaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed
KO8	Karnjanaburi Province	1	<1.8	<1.8	-	Passed
		2	<1.8	<1.8	-	Passed
		3	<1.8	<1.8	-	Passed

- ; Not found

* ; Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

อภิปรายผลการศึกษา

ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย (Table 3) พบว่าทุกยี่ห้อที่มีการระบุรายละเอียดบนฉลาก ได้แก่ ชื่อบริษัทที่ผลิต สถานที่ผลิต วันผลิต-วันหมดอายุ ครบถ้วนตามมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดเพียง 20 ตัวอย่าง จาก 47 ตัวอย่าง (42.55%) ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทของประเทศไทย น้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะมีโปรตอนของไฮโดรเจนซึ่งเป็นประจุบวก (H^+) สูง ดังนั้นจึงทำให้น้ำมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับอนุมูลอิสระทั่วไปในการแข่งขันเข้าจับกับอิเล็กตรอนจากเซลล์ใกล้เคียงส่งผลให้น้ำนี้ไม่ควรบริโภค ส่วนน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีฤทธิ์เป็นด่างจะมีอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบในปริมาณที่มากพอที่จะเข้าไปหยุดหรือยับยั้งปฏิกิริยาห่วงโซ่ของอนุมูลอิสระ รวมทั้งสามารถป้องกันการเกิดมะเร็ง¹ นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างน้ำดื่มมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มที่ผ่านมาตรฐานจำนวน 45 ตัวอย่างจากตัวอย่างทั้งหมด 47 ตัวอย่าง (95.74%) ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพทั้งหมดในการศึกษาคั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐานเท่ากับ 19 ตัวอย่างจาก 47 ตัวอย่าง (40.43%)

จากการศึกษาคั้งนี้พบว่า มีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้นที่มีตัวอย่างน้ำดื่มมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์มเกินค่ามาตรฐานซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสุบันทิต และคณะ² ที่พบว่าทุกตัวอย่างน้ำดื่มในจังหวัดชลบุรีมีค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและแบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์มที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน รวมทั้งจากรายงานของหทัยทิพย์ และคณะ³ ที่กล่าวถึงตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดจากสาธารณรัฐประชาชนจีน สาธารณรัฐเกาหลี และสาธารณรัฐฝรั่งเศส ที่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและแบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์มไม่เกินค่ามาตรฐานเช่นกัน สาเหตุของน้ำดื่มบรรจุขวดที่มีความสะอาดทางจุลชีววิทยาตามมาตรฐานของประเทศไทยอาจจะเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดที่เหมาะสมโดยกองพัฒนาคุณภาพผู้บริโภค สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้มีการเลือกใช้แหล่งน้ำที่สะอาด เช่น น้ำฝน น้ำประปา เป็นต้น และมีการปรับคุณภาพของน้ำตามขั้นตอนต่าง ๆ อย่างเหมาะสมตามแหล่งคุณภาพน้ำ สถานที่ผลิต เครื่องมืออุปกรณ์ และวิธีการผลิตต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร นอกจากนี้ยังเน้น

ถึงสุขลักษณะที่ดีของคนงาน และประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ¹⁰ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดในจังหวัดพิษณุโลกพบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชาวชน พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชาวชนจำนวน 135 ตัวอย่าง ที่จำหน่ายในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกที่รายงานโดย อนุพงศ์ เพ็ญศรี และปิยะดา วชิรวงศร¹¹ ที่ทำการวิเคราะห์การปนเปื้อนทางด้านจุลชีววิทยา พบตัวอย่างน้ำดื่มมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9-4.0 MPN/100 mL และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์มเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.9-4.6 MPN/100 mL หรือสรุปได้ว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชาวชนจำนวน 11 ยี่ห้อ (73%) ที่ผ่านตามาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

นอกจากนั้นน้ำดื่มชนิดอื่น ๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยยังมีอีกหลายรูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น น้ำดื่มจากถังชาวนาบรรจุ 20 ลิตร น้ำดื่มที่ผ่านเครื่องทำน้ำเย็น และน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำดื่มแบบเท้าเหยียบ พบว่าจากการศึกษาของอุษามาต จริยวานุกุล¹² ได้ทำการตรวจสอบน้ำดื่มที่ใช้บริโภคภายในมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ได้แก่ น้ำดื่มจากถังชาวนาบรรจุ 20 ลิตร น้ำดื่มที่ผ่านเครื่องทำน้ำเย็น และน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำดื่มแบบเท้าเหยียบ พบว่าตัวอย่างจากน้ำดื่มจากทั้ง 3 แหล่งตรวจไม่พบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และ *E. coli* จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า น้ำดื่มจากทั้ง 3 แหล่งมีคุณภาพทางจุลชีววิทยาที่ดี

จากผลการทดลองในคั้งนี้จะพบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดแบบพลาสติกใสได้มาตรฐานทางจุลินทรีย์มากกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชาวชนเนื่องจากมีกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดได้แก่การทำ Reverse Osmosis (R.O) การใช้แสงอัลตราไวโอเลต (หลอด U.V.) และใช้ระบบโอโซน (Ozone) นั้นน่าจะสามารถกำจัดแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำรวมทั้งในกระบวนการผลิต และจากการศึกษาจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งชี้ ซึ่งได้แก่แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ *E. coli* พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดน่าจะปราศจากเชื้อก่อโรคที่มีแหล่งมาจากการปนเปื้อนด้วยสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น¹³ ยกตัวอย่างเช่น *Vibrio cholera* ก่อโรคอหิวาตกโรค (Cholera) *Shigella flexneri* หรือ *Shigella dysenteriae* ก่อโรคบิด (Bacillary Dysentery) และ *Samonella paratyphi* ก่อโรคไข้รากสาดหรือไข้ไทฟอยด์ (Typhoid Fever) เป็นต้น¹⁴ จึงทำให้พบว่าน้ำดื่มเหล่านั้นปลอดภัยต่อการบริโภค¹⁵ โดยจากผลการศึกษาในคั้งนี้น่าจะกล่าวได้ว่าโรงงานผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดขวดพลาสติกใส น่าจะมีความเข้มงวดในการผลิตทั้งทางกระบวนการดำเนินการผลิตและสาธารณสุขของบุคคลากรจึงทำให้มีคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาที่มีมาตรฐาน¹⁶

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าคุณภาพทั้งหมดของน้ำดื่มบรรจุขวดที่ทำการทดสอบ ได้แก่ การตรวจวัดค่า ความเป็นกรด-ด่าง กลิ่น ลักษณะน้ำดื่มที่บรรจุภายในขวด ฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิตและสถานที่ผลิต) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดทุกยี่ห้อผ่านมาตรฐานตามคุณสมบัติที่ได้ศึกษาทั้ง 6 ประการ ดังนั้นจากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและพลาสติกขุ่นที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรีนั้นควรต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-ด่างเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมทั้งควรทำการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมต่อไป

Table 3 Standard of tested parameters followed by Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Parameters	Standard
Name of manufacturer	Not determined
MFD. / EXP.	Not determined
Location of product	Determined
Appearance	Clear
Odour	Odourless
pH	6.5-8.5
Coliform	< 1.8 MPN/100 mL
Fecal coliform	Not determined
<i>E. coli</i>	Not found

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- สมศักดิ์ วรคามิน. น้ำดื่มในอุดมคติ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สามเจริญพาณิชย์, 2549.
- Olaoya OA, Onilude AA. Assessment of microbiological quality of sachet-packaged drinking water in Western Nigeria and its public health significance. Public Health 2009;123:729-734.
- Ashbolt NJ. Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. Toxicology 2004;198:229-238.
- สุภัณฑิต นิมรัตน์. การจัดทำแกมแบคทีเรียแกรมลบรูปท่อนวงค์เอนเทอโรแบคทีเรียซีอี. พิมพ์ครั้งที่1.กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2552.
- กรรณิการ์ สิริสิงห์. การตรวจโคลิฟอร์มแบคทีเรีย. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.assist-impact.net/index.php?mo=3&art=41987986> เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2556.
- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. (21th ed.). Washington DC: American Public Health Association, 2005.
- U. S. Food and Drug Administration. [Online]. 1998. [cited 23 Dec 2012]; Available from <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/ucm064948.htm>, Accessed August 8, 2013.
- สุภัณฑิต นิมรัตน์, หทัยทิพย์ บรรเจิดจรัสเลิศ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. การประเมินคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดชลบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2557:33(5);In press.
- หทัยทิพย์ บรรเจิดจรัสเลิศ, วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย และ สุภัณฑิต นิมรัตน์. การประเมินคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผลิตในสาธารณรัฐประชาชนจีน สาธารณรัฐเกาหลี และสาธารณรัฐฝรั่งเศส. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย มหาสารคาม 2557:33(5); In press.
- กองพัฒนาศักยภาพผู้บริโภค สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 2545. เข้าถึงได้จาก <http://www1.fda.moph.go.th>, เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2556.
- อนุพงศ์ เพ็ญศรี และ ปิยะดา วชิรวงศกร. (2555). คุณภาพทางจุลชีววิทยาของน้ำดื่มบรรจุขวดขวดขาวขุ่นที่วางจำหน่ายในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก. เข้าถึงได้จาก <http://science.psru.ac.th>, เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2556.
- อุษามาส จริยวรรณกุล. รายงานการตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่ม: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 2549;26(2):71-83.

13. Smith MK. Microbial contamination and removal from drinking water in the Terai region of Nepal. M.S. (Chemical Engineering), Massachusetts Institute of Technology, 2001.
14. ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2552). น้ำดื่มในสถานประกอบการ/โรงงานอุตสาหกรรม. เข้าถึงได้จาก <http://www.stou.ac.th>, เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2556.
15. World Health Organization. *Guidelines for Drinking Water Quality, Vol. 1, Recommendations*. Geneva: WHO. 1993.
16. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.

สัณฐานวิทยา เซลล์พันธุศาสตร์ และดีเอ็นเอบาร์โค้ดของริ้น้ำจืด (Diptera) ในประเทศไทย Morphology, Cytogenetics and DNA barcode of the Chironomidae (Diptera) in Thailand

กุสุมาศ สิมวิเศษ¹, พรชัย อุตรักษ์², ไพโรจน์ ประมวล³
Kusumart Simwisat¹, Pornchai Uttaruk², Pairot Pramual³

Received: 10 April 2014 ; Accepted: 4 August 2014

บทคัดย่อ

ริ้น้ำจืดเป็นแมลงในวงศ์ Chironomidae มีความสำคัญต่อระบบนิเวศน้ำจืด อย่างไรก็ตามข้อมูลอนุกรมวิธานของริ้น้ำจืดในประเทศไทยยังมีการศึกษาไม่มาก ในการศึกษาที่ใช้ลักษณะในการศึกษาอนุกรมวิธานหลายระดับเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของริ้น้ำจืด 3 สปีชีส์ได้แก่ *Chironomus striatipennis*, *C. javanus* และ *Kiefferulus tainanus* โดยเก็บตัวอย่างริ้น้ำจืดจากแหล่งน้ำในจังหวัดมหาสารคามและจังหวัดร้อยเอ็ด ผลการศึกษาพบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของริ้น้ำจืดทั้ง 3 สปีชีส์สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าจากตัวอย่างในภูมิภาคอื่น การศึกษาเซลล์พันธุศาสตร์โดยใช้ลักษณะโพลีทีนโครโมโซมพบว่า *C. striatipennis* มีโพลีทีนโครโมโซม 4 แห่งประกอบด้วยแท่ง AE, CD, BF และ G พบตำแหน่ง nucleolar organizer และ balbiani ring บนแท่ง G โพลีทีนโครโมโซมของ *C. javanus* มี 4 แท่ง แต่ไม่สามารถระบุแขนของโครโมโซมได้ยกเว้นแท่ง G เนื่องจากคุณภาพของโครโมโซมไม่ดี โพลีทีนโครโมโซมของ *K. tainanus* มี 4 แท่ง พบว่าปลายแท่ง G มีการเชื่อมต่อกับปลายแท่ง E การศึกษาดีเอ็นเอบาร์โค้ดโดยใช้ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไมโทคอนเดรียลดีเอ็นเอของยีน cytochrome c oxidase subunit I (COI) พบว่าสามารถระบุชนิดได้ถูกต้องทั้งหมด จากการวิเคราะห์สายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่พบว่าทั้งหมดแยกเป็นโมโนไฟลิติก (monophyletic) อย่างไรก็ตาม *C. striatipennis* พบว่า แยกเป็นสองกลุ่มชี้ให้เห็นความหลากหลายซ่อนเร้นภายในสปีชีส์ที่ต้องตรวจสอบต่อไป

คำสำคัญ: ริ้น้ำจืด *Chironomus* ดีเอ็นเอบาร์โค้ด โพลีทีนโครโมโซม

Abstract

The larvae of the family Chironomidae are important components of freshwater ecosystems. However, taxonomic knowledge of these insects is poorly developed in Thailand. In this study we examined multiple character sets for species identification of the larval stage of three Chironomid species, *Chironomus striatipennis*, *C. javanus* and *Kiefferulus tainanus*. Specimens were collected from Maha Sarakham and Roi Et Province, Thailand. The morphological characters of these species agreed with previously published descriptions from other geographic regions. Cytological examinations revealed that *C. striatipennis* has four polytene chromosomes with the arm combinations of AE, CD, BF and G. The nucleolar organizer and Balbiani Ring were located on the chromosome arm G. *C. javanus* has four polytene chromosomes, but arm combinations could not be determined due to the poor quality of the chromosomes except for arm G. *K. tainanus* has four chromosomes, and chromosome arm G was connected to chromosome E. DNA barcoding based on mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I (COI) sequences perfectly differentiated these species. The results are consistent with phylogenetic analysis that revealed that all three species formed monophyletic clades with strong support. However, two distinct groups were found among the specimens of *C. striatipennis* indicated cryptic diversity in this species that needs further examination.

Keywords: Chironomidae, *Chironomus*, DNA barcode, polytene chromosome

¹ นิสิตปริญญาโท, ²อาจารย์, ³รองศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master student, ²Lecturer, ³Assoc. Prof., Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, MahaSarakhm, 44150 Thailand.

* Corresponding author. E-mail: pairot.p@msu.ac.th.

Introduction

The family Chironomidae contains diverse and abundant macroinvertebrates found in freshwater ecosystems. There are 4,147 species recorded worldwide¹. Larvae of these insects play an important role in freshwater ecosystems² because they are important sources of food for fishes and many other aquatic predators³. Chironomid larvae have frequently been included in biomonitoring programs because they are sensitive to environmental changes as well as chemical and heavy metal contamination^{4,5, 6,7}. However, the major obstacle when using Chironomid larvae as bioindicators is a lack of taxonomic background. In Thailand, to the best of our knowledge, there are only two reports on the species diversity of Chironomidae^{8,9}.

Traditional taxonomy of the larva based on morphological characters provides important basic information, but also suffers a major limitation because of the high degree of morphological similarity between closely related species¹⁰. Cytotaxonomy using polytene chromosome banding patterns has also contributed to Chironomidae taxonomy¹¹. Nonetheless, using polytene chromosomes for Chironomidae taxonomy requires highly skilled staff and basic information from the morphological taxonomy for species reference.

To overcome the limitations of traditional taxonomy, molecular approaches have been introduced to the taxonomic study of living organisms. DNA barcoding is among the most widely used methods. This technique uses short DNA sequences (500 – 600 bp) to differentiate species based on the level of genetic distance¹². Several studies on Chironomidae from different geographic regions indicated that the cytochrome c oxidase I (COI) sequences were highly effective for species identifications^{10, 13, 14, 15, 16, 17}.

In this study, we examined morphological, cytological and DNA barcoding sequences of three Chironomids species in Thailand. The aim was to provide taxonomic information of these important insects that could be used in further study.

Materials and Methods

Specimen collection and identification

A total of 18 collections were made from six sampling sites in MahaSarakham and Roi-Et provinces, Northeastern Thailand (Table 1). Larval specimens were preserved in Carnoy's fixative (3:1 of 95% ethanol/glacial acetic acid) and stored at -20 °C until processing. Preserving specimens in Carnoy's solution enables us to obtain morphological, cytological and molecular genetic data from the same individual¹⁸. Environmental conditions of the larval habitats recorded included altitude (m), water conductivity, pH, water temperature, depth and width (Table 1). Species identification and descriptions of the morphological characters followed Epler¹⁹, Cranston⁹ and Martin²⁰.

Cytogenetic study

Fourth instar larvae were used for salivary gland polytene chromosome preparations using the Feulgen stain method²¹. Identification of the chromosome arms followed Keyl²² and Dévalet *al*²³. Chromosome arm designations were also made by comparison with a previous publication of *Chironomus circumdatus* Kieffer²⁴.

DNA extraction, PCR primer amplification and sequencing

Total genomic DNA was extracted using the Genomic DNA extraction mini kit (RBC BioScience, Taiwan). The polymerase chain reaction (PCR) was used to amplify a region of the mitochondrial cytochrome c oxidase I (COI) gene using the primers LCO1490 (5'-GGTCAAAAATCATAAAGATATTGG-3') and HCO2198 (5'-TA AACTTCAGGGTGACCAAAAAAC-3')²⁵. DNA was amplified in a 50 µl reaction containing 10X PCR buffer, 50 mM MgCl₂, 10 µM dNTP_s, 10 µM of each primer and 5 units *Taq* DNA polymerase (Vivantis, Malaysia). The temperature profile for the PCR reaction included initial denaturation at 94°C for 3 min, followed by 35 cycles of 94°C for 30 s, 45°C for 1 min and 72°C for 1 min, and the final extension at 72°C for 5 min. PCR products were checked with 1% agarose gel electrophoresis. Successful amplification products were purified using the HiYield™

Gel/PCR Extraction Kit (RBCBIOSCIENCE, Taiwan). Sequencing was performed at Macrogen (Seoul, Korea) using the same primers as in the PCR.

Data analysis

A total of 33 COI sequences were included in the analyses. Of these, 18 were obtained in this study and 15 were from conspecific sequences available in Genbank (Table 1). DNA sequences were aligned using CLUSTAL X²⁶. Intraspecific and interspecific genetic divergence values were calculated based on the Kimura 2-parameter (K2P) model using MEGA 5²⁷. The phylogenetic relationships of species were calculated using three

methods including maximum parsimony (MP), neighbor-joining (NJ) and Bayesian analysis. The MP analysis was performed in PAUP*4.0b10²⁸. A neighbor-joining (NJ) tree was estimated in MEGA 5²⁷. Branch support for MP and NJ trees was calculated based on 1,000 bootstrap replications. The phylogenetic relationship based on the Bayesian method was estimated using MrBayes software²⁹. The Bayesian analysis was run for 2,000,000 generations with a sampling frequency at every 100 generations. *Cricotopus tristis* (Genbank accession number DQ865173) was used as the outgroup for all phylogenetic analyses.

Table 1 Details of the sampling sites for Chironomidae specimens in the Northeast of Thailand.

Date	Locality	Code	Latitude/longitude	Altitude (m)	Conductivity (μ S/cm)	pH	Water temperature ($^{\circ}$ C)	Depth (cm)	Width (m)
19/5/2011	Ban nongkham, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province	NK1	16 $^{\circ}$ 17' N/ 103 $^{\circ}$ 15' E	262	1590	7.05	30.3	1.30	3
		NK2							
27/5/2011	Kantharawichai District, Maha Sarakham Province	KW1	16 $^{\circ}$ 15' N/ 103 $^{\circ}$ 15' E	151	225	8.08	29.9	10	5
		KW2							
		KW3							
23/2/2012	Ban khamriang, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province	KR1	16 $^{\circ}$ 15' N/ 103 $^{\circ}$ 15' E	160	386	8.64	25.0	19.30	70
		KR2							
		KR3							
		KR4							
		KR5							
10/7/2012	Mahasarakham university, Maha Sarakham Province	MSU1	15 $^{\circ}$ 18' N/ 103 $^{\circ}$ 22' E	141	578	8.66	35.6	22	5
		MSU2							
19/12/2013	Rajabhat Mahasarakham university, Maha Sarakham Province	RMU11	16 $^{\circ}$ 11' N/ 103 $^{\circ}$ 16' E	144	654	7.66	19.22	35	3
		RMU21							
		RMU22							
		RMU23							
2/3/2012	ChaturaphakPhiman District, Roi Et Province	RE	15 $^{\circ}$ 53' N/ 103 $^{\circ}$ 33' E	163	530	9.88	28.9	40	5

Table 2 List of species and Genbank accession numbers of COI sequences included in this study.

Species	Accession number code	Country of origin
<i>Chironomus striatipennis</i>	AB838642	Japan
<i>C. striatipennis</i>	AB638643	Japan
<i>C. striatipennis</i>	AB838644	Japan
<i>C. striatipennis</i>	AB838645	Japan
<i>C. striatipennis</i>	AB838646	Japan
<i>C. striatipennis</i>	JF412086	Korea
<i>C. striatipennis</i>	JF412087	Korea
<i>C. striatipennis</i>	JF412088	Korea
<i>C. striatipennis</i>	JQ350720	Korea
<i>C. striatipennis</i>	KC407765	Korea
<i>C. striatipennis</i>	KM013389	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013390	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013391	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013392	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013393	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013394	Thailand
<i>C. striatipennis</i>	KM013395	Thailand
<i>C. javanus</i>	JF412082	Korea
<i>C. javanus</i>	JF412083	Korea
<i>C. javanus</i>	JF412084	Korea
<i>C. javanus</i>	DQ648203	Australia
<i>C. javanus</i>	KM013378	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013379	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013380	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013381	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013382	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013383	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013384	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013385	Thailand
<i>C. javanus</i>	KM013386	Thailand
<i>Kiefferulus tainanus</i>	DQ648225	Australia
<i>K. tainanus</i>	KM013387	Thailand
<i>K. tainanus</i>	KM013388	Thailand

Results

Larval morphology, polytene chromosomes and DNA barcode

Chironomus striatipennis Kieffer

The morphological characters of Thai specimens of *C. striatipennis* (Fig. 1) agree with the description of this species from other geographic regions^{20, 30}. This species was found in habitats at elevations of 151-160 m above sea level, water conductivity between 386 - 1,590 $\mu\text{S/cm}$, pH between 7.05 - 8.64 and water temperature range from 25.0 - 30.3 °C. Larvae were collected at a depth of about 1.3 - 19.5 cm.

The polytene chromosome of *C. striatipennis* has four pairs (Fig. 2) with the chromosome arm combinations of BF, CD, AE and G. Thus, this species belongs to the pseudothummi-cytocomplex²⁰. Chromosomes BF, CD and AE are long and submetacentric while chromosome G is short. The nucleolar organizer (N) and Balbiani ring (BR) were found on chromosome G (Fig. 2).

Seven COI barcoding sequences were obtained from Thai *C. striatipennis*. Ten sequences of *C. striatipennis* from Genbank were included in the analysis. As the phylogenetic analyses revealed two distinct clades among the specimens of *C. striatipennis* the intraspecific and interspecific genetic divergences were also calculated for each clade (Fig. 7). Clade I-1 contained 14 specimens and all of the Thai *C. striatipennis* belonged to this clade. The intraspecific genetic divergence values for the members of this clade ranged between 0% and 3.1% with a mean of 1.1%. The interspecific genetic divergence values ranged from 13.5% to 16.8% with a mean of 15.2%. Three individuals of *C. striatipennis* (two from Japan and one from Korea) formed clade I-2. The intraspecific genetic divergences within this clade ranged from 0.4% to 2.2% with a mean of 1.6%. The interspecific genetic divergences ranged from 10.2% to 16.4% with a mean of 13.1%. Intraspecific genetic divergence values for the combined data of *C. striatipennis* ranged from 0% to 13.8% with a mean of 4.4%. The interspecific genetic divergences ranged from 13.5% to 16.8% with a mean of 15.0% (Table 3).

Chironomus javanus Kieffer

The morphological characters of *C. javanus* (Fig. 3) agreed with a description from Malaysia³⁰. This species was found in habitats at an elevation of 141 - 151 m above sea level, water conductivity of 225 - 654 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH between 7.66 - 8.66 and water temperature of 19.22 - 35.6°C. Larvae were collected at depths of 10 - 35 cm.

C. javanus has four polytene chromosomes. The chromosome arm designations were difficult to determine because of the poor quality of the chromosome bands. Among the seven chromosomes arms, only chromosome arm G was certainly identifiable (Fig. 4). A prominent nucleolus organizer and two Balbiani rings were found on chromosome arm G (Fig. 4).

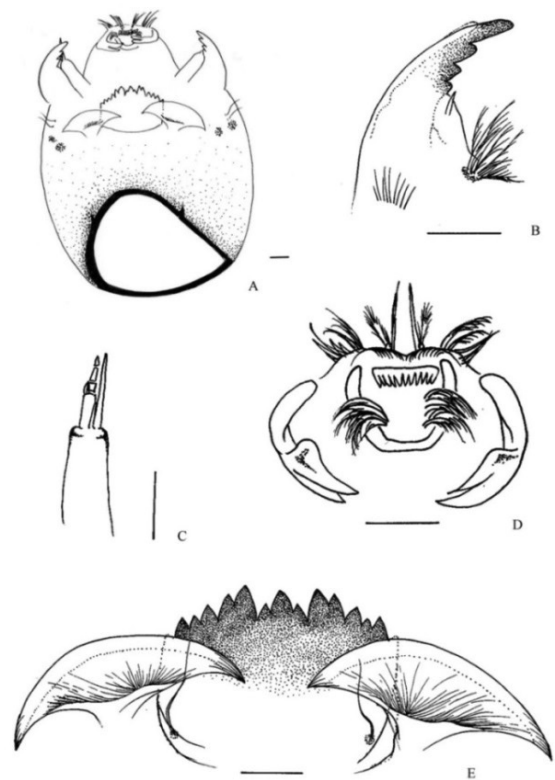


Figure 1 Larval morphology of *Chironomus striatipennis*; A - head capsule, B - mandible, C - antenna, D - labrum and E - ventomental plate. Scale bar represents 50 μm .

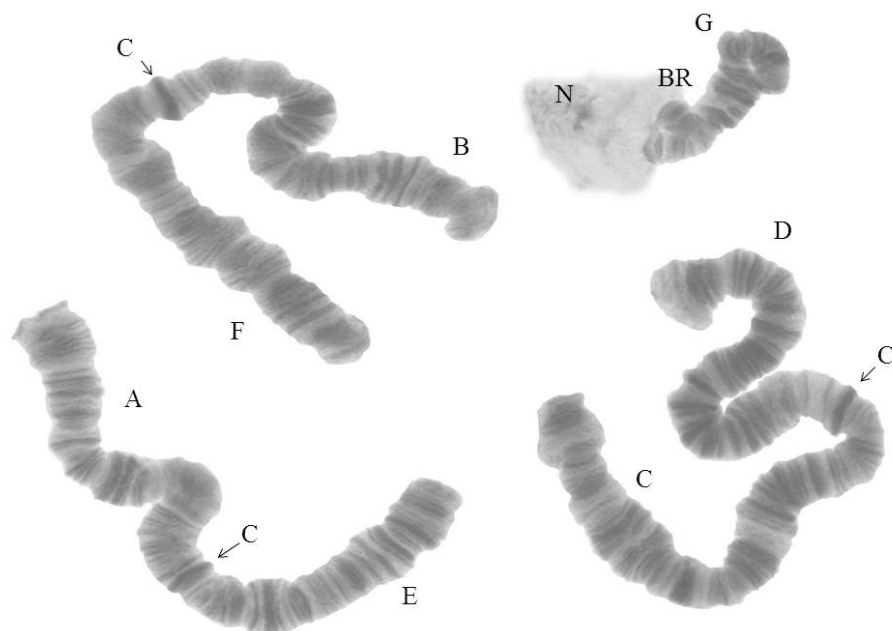


Figure 2 Polytene chromosome of *Chironomus striatipennis*. C, centromere; BR, Balbiani Ring.

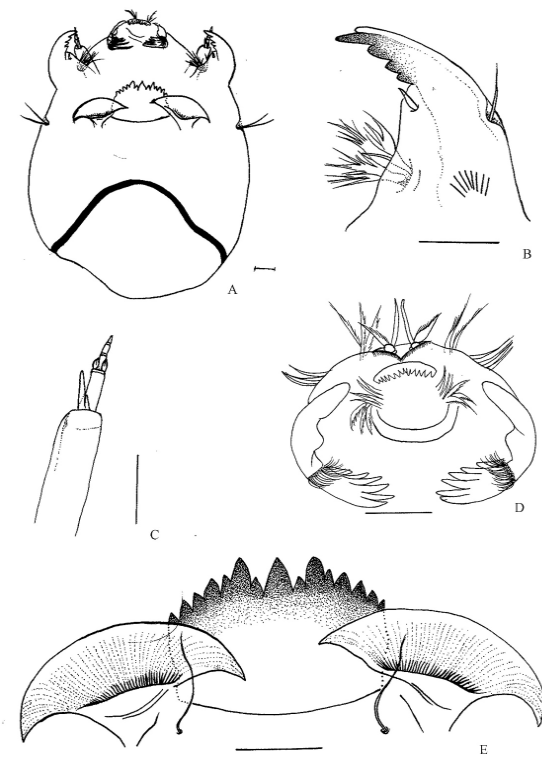


Figure 3 Larval morphology of *Chironomus javanus*; A - head capsule, B - mandible, C - antenna, D - labrum and E - ventomental plate. Scale bar represents 50 μ m.

Nine COI barcoding sequences were obtained from *C. javanus* in Thailand and four (three from Korea and one from Australia) from Genbank were included. The intraspecific genetic divergence of the combined specimens ranged from 0% to 1.30% with an average value of 0.70%. The interspecific genetic divergences ranged from 13.3% to 16.8% with a mean of 15.2% (Table 3).

Kiefferulus tainanus Kieffer

The morphological characters of the larval stage of Thai *K. tainanus* are shown in Fig. 5. This species was collected from habitats at an elevation of 144 - 163 m above sea level, water conductivity of 530 - 654 μ S/cm, pH between 7.66 - 9.88 and water temperature at 19.22 - 28.9 $^{\circ}$ C. Larvae were collected at a water depth of approximately 35 - 40 cm.

K. tainanus has four polytene chromosomes with the arm combinations of AE, CD, FB and G. However, chromosome arm G in most specimens examined was connected to chromosome arm E. A prominent nucleolar organizer was found at the terminal of chromosome arm G (Fig. 6).

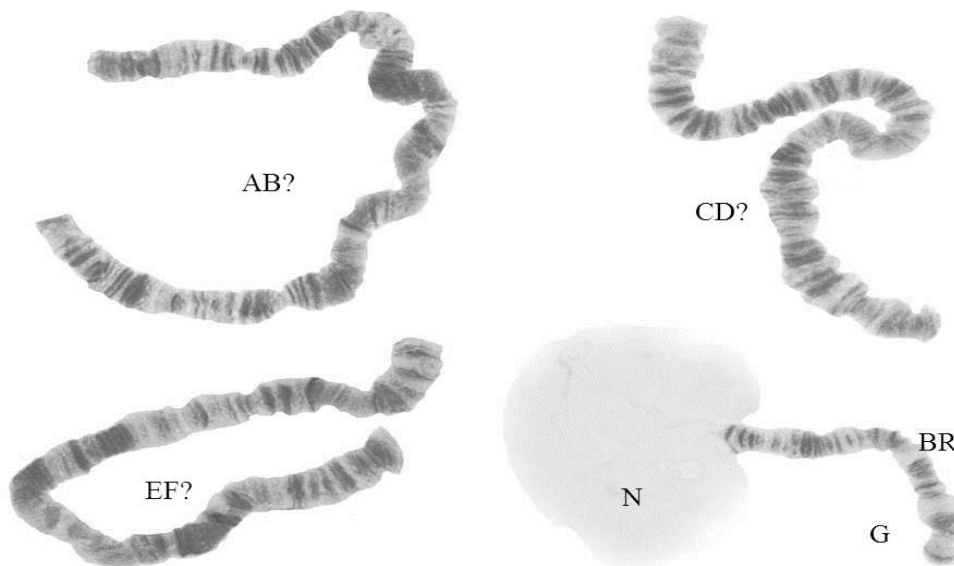


Figure 4. Polytene chromosome of *Chironomus javanus*.C, centromere; N, nucleolar organizer; BR, Balbiani Ring.

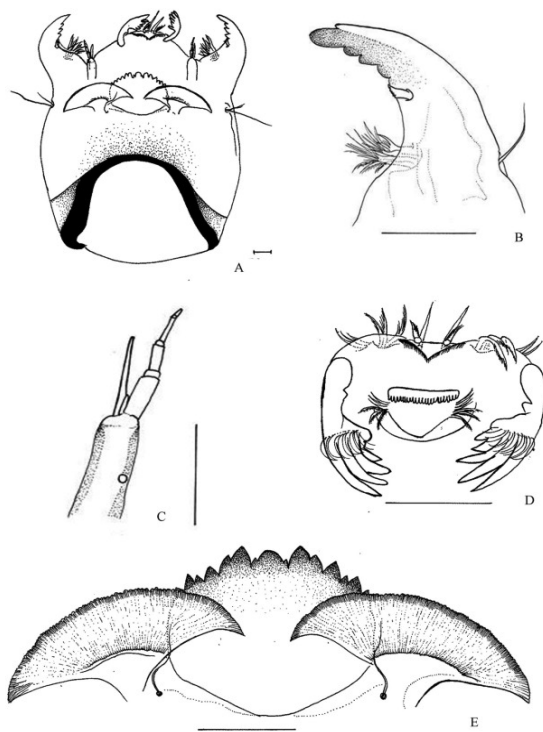


Figure 5 Larval morphology of *Kiefferulus tainanus*; A - head capsule, B - mandible, C - antenna, D - labrum and E - ventromental plate. Scale bar represents 50 µm.

The COI sequences of this species were obtained from two Thai specimens. A single COI sequence of this species from Genbank was included in the analysis. The intraspecific genetic divergences ranged between 0.7% and 3.1% with a mean of 2.1%. The interspecific genetic divergences ranged from 15.4% to 16.8% with a mean of 16.1% (Table 3).

Phylogenetic relationships

All three phylogenetic methods (NJ, MP and Bayesian) revealed nearly identical tree topologies. Thus, only the NJ tree is shown (Fig. 7). There were two main clades among the specimens included in the analyses. Clade I comprised specimens of *C. striatipennis* and *C. jarvanus*. Both species formed a monophyletic clade with strong support. The sequences of *C. striatipennis* divided into two subclades (I-1 and I-2). Most specimens belonged to subclade I-1. Three specimens (two from Japan and one from Korea) comprised clade I-2. The genetic divergence between these two subclades was high (11.6%), suggesting that they might represent different species. Three specimens of *K. tainanus* (two from Thailand and one from Australia) formed clade II with strong support.

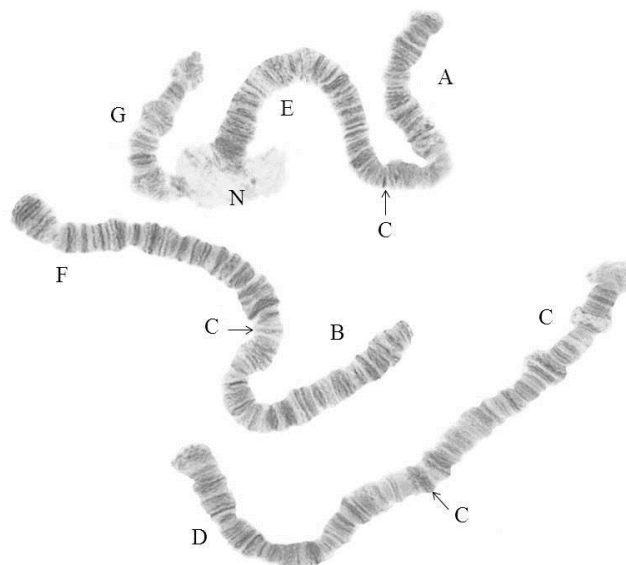


Figure 6 Polytene chromosome of *Kiefferulus tainanus*. C, centromere; N, nucleolar organizer; BR, Balbiani Ring.

Discussion

Chironomid larvae are important components of freshwater ecosystems and are valuable for biomonitoring programs⁵. Thus, taxonomic knowledge is crucial for understanding all aspects of these insects. Traditional taxonomy of the larval stage suffers the major obstacle of the high degree of morphological homogeneity¹⁰. In Thailand, there have been few taxonomic reports of the Chironomidae^{8,9}. Therefore, the morphological characters of the larvae provided in the present study will significantly contribute to current knowledge of Chironomidae diversity in Thailand.

Polytene chromosomes are important taxonomic tools for Chironomidae^{11, 31, 32}. Different species usually possess different banding patterns, which enables precise species identification³¹. However, the difficulty of using polytene chromosomes as a taxonomic tool for Chironomidae is the lack of other previously identified morphological characters of the species. Integrating morphological characters with polytene chromosomes would thus enable multiple character sets for species identification. This is particularly useful for the differentiation of closely related species that often shown great morphological similarity¹⁰.

In addition to the morphology and cytology, we also provide the DNA barcoding sequences of these species. DNA barcode has been used successfully to delimit species of the Chironomidae^{33, 34}. Our results revealed that DNA barcoding sequences performed well when differentiating the three species included in this analyses. All three species were perfectly differentiated from each other and formed well-supported monophyletic clades in the phylogenetic analyses.

As well as species identification, DNA barcoding is also useful for uncovering cryptic diversity¹³. Our results revealed two distinct clades among the specimens of *C. striatipennis*. All Thai specimens of *C. striatipennis* formed clade I-1 with some specimens from Japan and Korea, while three specimens (two from Japan and one from Korea) formed another clade (I-2). The level of genetic divergence among these clade was high (11.6%) that indicated they most likely belong to different species. Further study is needed to clarify this situation.

Table 3 Mean and range of intraspecific and interspecific genetic divergence of the COI sequences for three Chironomidae species based on the Kimura 2-parameter model.

Species	N	Range of intraspecific genetic divergence (mean)	Range of interspecific genetic divergence (mean)
<i>C. striatipennis</i>	14	0-0.031 (0.011)	0.135-0.168
clade I-1			(0.152)
clade I-2	3	0.004-0.022 (0.016)	0.102-0.164 (0.131)
All	17	0-0.138 (0.044)	0.135-0.168 (0.150)
<i>C. javanus</i>	13	0-0.013 (0.007)	0.133-0.168 (0.152)
<i>K. tainanus</i>	3	0.007- 0.031(0.021)	0.154-0.168 (0.161)

N represents number of COI sequence.

Conclusion

In this study we provided multiple character sets (morphology, cytology and DNA barcodes) for species identification of three Chironomidae in Thailand. Integrating these taxonomic tools enables straightforward species recognition and will enhance further study of these insects. We also identified cryptic diversity in *C. striatipennis* based on DNA barcoding sequences that has not previously been detected using traditional taxonomy. Therefore, the results highlight the significance of integrating multilevel taxonomic tools for fully understanding Chironomidae biodiversity.

Acknowledgements

This work was financially supported by Mahasarakham University. We would like to thank Associate Professor Jon Martin (University of Melbourne, Australia) for valuable suggestions on species identification and polytene chromosome preparations. We also would like to thank Dr. Jolyon Dodgson (Mahasarakham University) for his useful comments on the manuscript.

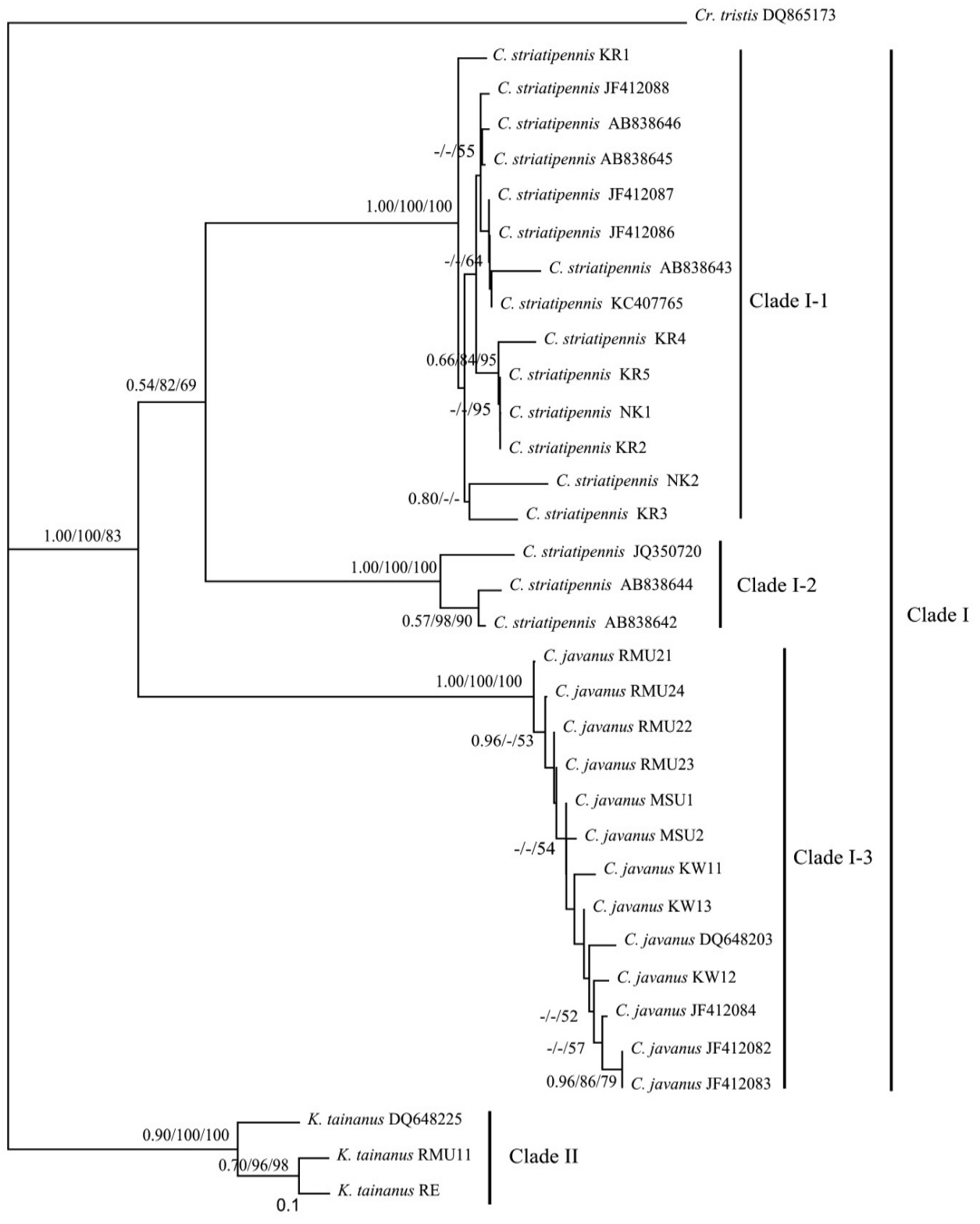


Figure 7 Neighbor joining trees for cytochrome c oxidase I (COI) sequences of the three species of Chironomidae. Posterior probability for Bayesian analysis and bootstrap values for neighbor joining and maximum parsimony are shown above the branch. Scale bar represents 0.1 substitutions per nucleotide position.

Reference

- Leonard C, Ferrington J. (2008). Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595:447–455.
- Ekrem T, Willassen E. (2004). Exploring Tanytarsini relationships (Diptera: Chironomidae) using mitochondrial COII gene sequences. *Insect Systematics and Evolution*, 35:263-276.
- Armitage PD, Cranston PS, Pinder LCV. (1995). *The Chironomidae: The biology and ecology of non-biting midges*. Chapman and Hall, London. 339-364 pp.
- Clements WH, Cherry DS, Cairns J. (1988). Impact of heavy metals on insect communities in streams: A comparison of observational and experimental results. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 45:2017-2025.
- Rosenber DM. (1992). Freshwater biomonitoring and Chironomidae. *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, 26(2-4): 101-122.
- Madden CP, Suter PJ, Nicholson BC, Austin AD. (1992). Deformities in Chironomid larvae as indicators of pollution (Pesticide) stress. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 26: 551-557.
- Michailova P, Pretova N, Ilkova J, Bovero S, Brunetti S, White K, Sella G. (2006). Genotoxic effect of copper on salivary gland polytene chromosomes of *Chironomus riparius* Meigen 1804 (Diptera, Chironomidae). *Environmental Pollution*, 144:647–654.
- Hashimoto H, Wongsiri T, Wongsiri N, Tirawat C, Lewvanich A, Yasamatsu H. (1981). Chironomidae from rice fields of Thailand with descriptions of 7 new species. *Technical Bulletin, Entomology and Zoology Division*, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand, 7: 1-47.
- Cranston PS. (2007). The Chironomidae larvae associated with the tsunami-impacted water bodies of the coastal plain of south-western Thailand. *Bulletin of the Raffles Museum*, 55: 231–244.
- Sharley DJ, Pettigrew V, Parsons YV. (2004). Molecular identification of *Chironomus* spp. (Diptera) for biomonitoring of aquatic ecosystems. *Australian Journal of Entomology*, 43:359-365.
- Martin J. (1979). Chromosomes as tools in taxonomy and phylogeny of Chironomidae (Diptera). *Entomologica Scandinavica*, 10: 67-74.
- Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, Waard JR. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society: B*, 270: 313–322.
- Pfenninger M, Nowak C, Kley C, Steinke D, Streit B. (2007). Utility of DNA taxonomy and barcoding for the inference of larval community structure in morphologically cryptic *Chironomus* (Diptera) species. *Molecular Ecology*, 16: 1957-1968.
- Ekrem T, Elisabeth S, Hebert PDN. (2010). Female do count: documenting Chironomidae (Diptera) species diversity using DNA barcoding. *Organisms Diversity and Evolution*, 10: 397-408.
- Carew ME, Pettigrove V, Hoffmann AA. (2005). The utility of DNA markers in classical taxonomy: using cytochrome oxidase I markers to differentiate Australian *Cladopelma* (Diptera: Chironomidae) midges. *Annals of the Entomological Society of America*, 98: 587–594.
- Carew ME, Pettigrove V, Cox RL, Hoffmann AA. (2007). DNA identification of urban Tanytarsinichironomids (Diptera: Chironomidae). *Journal of the North American Benthological Society*, 26: 587–600.
- Al-Shami SA, Siti MN, MdRawi CS, Ahmad AH. (2009). Preliminary study of phylogenetic relationship of rice field Chironomidae (Diptera) inferred from DNA sequences of mitochondrial cytochrome oxidase subunit I. *American Journal of Applied Sciences*, 6: 1004-1009.
- Pramual P, Kuvangkadilok C, Baimai V, Walton C. (2005). Phylogeography of the black fly *Simulium tani* (Diptera: Simuliidae) from Thailand as inferred from mitochondrial DNA sequences. *Molecular Ecology*, 13: 3989-4001.
- Epler JH. (2001). *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina*. North Carolina, USA.
- Martin J. (2011). *Morphology and cytology of Oriental (Indomalayan Realm) Chironomus species*. Department of Genetics, The University of Melbourne, Australia.

21. Rothfels KH, Dunbar RW. (1953). The salivary gland chromosomes of the black fly, *Simulium vittatum* Zett. *Canadian Journal of Zoology*, 31:226-241.
22. Keyl HG. (1962). Chromosomen evolution bei *Chironomus* II. Chromosomenumbauten and phylogenetische Beziehungen der Arten. *Chromosoma*, 13: 464-514.
23. Devai Gy, Miskolczi M, Wülker W. (1989). Standardization of chromosome arms B, C and D in *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). Advances in Chironomidology. Part I. *Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica*, 2:79-92.
24. Pramual P, Gomontean B, Buasay V, Sriksamwiang N, Suebkar P, Niamlek C, Donsinphoem Y, Chalatchiao K. (2009). Population cytogenetics of *Chironomus circumdatus* Kieffer, 1921 (Diptera, Chironomidae) from Thailand. *Genetica*, 135: 51-57.
25. Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3: 294-299.
26. Thompson JD, Gibson TJ, Plewniak F, Jeanmouging F, Higgins DG. (1997). The Clustal X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research*, 24:4876-4882.
27. Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M, Kumar S. (2011). MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution*, 28: 2731-2739.
28. Swofford DL. (2002). PAUP*. Phylogenetic analysis using parsimony (*and other methods). Version 4.0b10. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
29. Huelsenbeck JP, Ronquist F. (2001). MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees, Article, *Bioinformatics*, 17(8):754-755.
30. Al-Shami SA, Rawi CSM, Ahmad AH, Nor SAM. (2012). Redescription of *Chironomus javanus* and *Chironomus kiiensis* (Diptera: Chironomidae) Larvae and Adults Collected from a Rice Field in Pulau Pinang, Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*, 23(1): 77-86.
31. Martin J, Andreeva EN, Kiknadze II, Wülker WF. (2006). Polytene chromosomes and phylogenetic relationships of *Chironomus atrelela* (Diptera: Chironomidae) in North America. *Genome*, 49: 1384 – 1392.
32. Wülker WF, Kiknadze II, Istomina AG. (2011). Karyotypes of *Chironomus* Meigen (Diptera: Chironomidae) species from Africa. *Comparative Cytogenetics*, 5(1): 23 – 46.
33. Kim S, Song KH, Ree HI, Kim W. (2012). A DNA barcode library for Korean Chironomidae (Insecta: Diptera) and indexes for defining barcode gap. *Molecules and Cells*, 33(1), 9-17.
34. Brodin Y, Ejdung G, Strandberg J, Lyrholm T. (2013). Improving environmental and biodiversity monitoring in the Baltic Sea using DNA barcoding of Chironomidae (Diptera). *Molecular Ecology Resources*, 13(6): 996-1004.

การปรับปรุงคุณภาพสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวเพื่อเข้าสู่มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหาร กรณีศึกษา: แผงจำหน่ายเนื้อวัวในเขตตำบลเก็ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

The Quality Improvement of Butcher Shops to Sanitary Standard:

A Case Study of the Beef Distributors in Kerng Sub-district, Muang, Mahasarakham

ณัชชลิดา ยุคละง¹, สงครามชัย ลีทองดี²

Nachalida Yukalang¹, Songkramchai Leethongdee²

Received: 10 May 2014 ; Accepted: 21 August 2014

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงปฏิบัติการครั้งนี้เป็นการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวเพื่อเข้าสู่มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหารในเขตตำบลเก็ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม โดยเก็บข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ การศึกษา แบ่งเป็น 4 ระยะ และมีการดำเนินงาน 14 ขั้นตอน ผลการศึกษา พบว่า บริบทพื้นที่ผู้ประกอบการมีความรู้และการปฏิบัติเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารในระดับดี มีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลาง และพบว่า ไม่มีร้านที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านกายภาพและแบคทีเรีย ซึ่งพบการปนเปื้อนเชื้อ Coliform Bacteria ทั้งในอาหาร ภาชนะและมือผู้สัมผัสอาหาร ดังนั้นจึงได้จัดกระบวนการปรับปรุงคุณภาพร่วมกับผู้เกี่ยวข้อง และมีการติดตามผลเป็นระยะ โดยประชาชนในชุมชนร่วมกับผู้ประกอบการ โดยปรับการดำเนินการจากปกติที่เน้นการพัฒนาคุณภาพไปสู่การดำเนินการเชิงนโยบาย ที่เกิดจากการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน เสริมแรงโดยให้หน่วยงานที่มีอำนาจตรวจตรา และหน่วยงานควบคุมคุณภาพเข้ามาร่วมในการดำเนินการ ผลการดำเนินงานในแนวทางดังกล่าว ผู้ประกอบการได้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมด้านสุขาภิบาลที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวยังมีจุดอ่อนด้านความต่อเนื่อง จึงควรมีระบบและกลไกการในการสร้างความต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดเป็นแนวปฏิบัติที่ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ : การพัฒนาสถานที่จำหน่ายเนื้อสัตว์ แผงจำหน่ายเนื้อ การปรับปรุงคุณภาพ การสุขาภิบาลอาหาร

Abstract

This action research examined the process of quality improvement and development of butcher shops to achieve the food sanitation standard. The research was conducted in stakeholders, in Kerng Sub-district, Muang, Mahasarakham. The data were mixed both quantitative and qualitative method which was divided into four phases and fourteen steps. Results were found that the entrepreneurs' knowledge and practices on food sanitation skill was at a good level, the attitude was at moderate level. However, in regard to the sanitation laboratory test, all panels did not meet the standard; contamination with Coliform Bacteria was found on food, food containers and on the hands of food handlers. A new development plan was approached by the relevant local authorities and monitoring agencies within the local community in order to improve the hygiene behavior of food handlers and their shops through the local people. A Healthy Public Policy technique was the main focus of stakeholders and a legal authority was engaged to monitor the skill improvement process. It was found that should be created a continuous and sustainable of the process.

Keywords : Development of butcher shop, Butcher shop, Development, Food sanitation

^{1,2} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ^{1,2}คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150, 043-754353, E-mail: nachalida.y@gmail.com

^{1,2} Assist. Prof., ^{1,2}Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. 043-754353, E-mail: nachalida.y@gmail.com

บทนำ

เนื้อสัตว์เป็นอาหารที่มีความนิยมมาตั้งแต่ดึกดำบรรพ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนไทยมักจะนิยมบริโภคเนื้อหมูและเนื้อวัว เนื่องจากเนื้อสัตว์ในประเทศไทยสามารถหาซื้อรับประทานได้ง่าย ถึงแม้ว่าเนื้อสัตว์จะมีคุณค่าทางโภชนาการ แต่ก็ยังเป็นอาหารที่มีโอกาสที่จะปนเปื้อนหรือเป็นแหล่งนำโรคได้ง่าย ซึ่งก่อให้เกิดโรกระบบทางเดินอาหารและอาหารเป็นพิษ โรคในกลุ่มนี้เกิดจากหลายสาเหตุ ทั้งสารเคมี โลหะหนัก ปรสิตร เชื้อรา และแบคทีเรีย เชื้อเหล่านี้ส่วนใหญ่มักจะพบในอาหารดิบ การปนเปื้อนอาจเกิดจากกระบวนการได้มาของวัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหาร ขั้นตอนการเก็บรักษาเนื้อสัตว์ที่ไม่ถูกต้อง ออมนามัย การปรุงหรือการจำหน่ายอาหารที่ไม่สะอาดเพียงพอ

จากข้อมูลสถานการณ์โรคติดต่อในประเทศไทย พบว่าโรกระบบทางเดินอาหารและน้ำ ยังเป็นสาเหตุการป่วยที่สำคัญ โดยเฉพาะโรคอุจจาระร่วงเฉียบพลันมีอุบัติการณ์ทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ แม้ว่าจะมีอัตราการป่วยในเด็กลดลงจาก 6.0 ครั้งต่อคนต่อปีในปี พ.ศ. 2538 เป็น 3.6 ครั้งต่อคนต่อปีในปี พ.ศ. 2544 แต่ก็ยังสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ คือไม่เกิน 1 ครั้งต่อคนต่อปี² และจากรายงานอัตราผู้ป่วยเขตตรวจราชการสาธารณสุขที่ 14³ ในปี พ.ศ.2552 พบอัตราป่วยโรคอาหารเป็นพิษเท่ากับ 152.1 ต่อประชากรแสนคน โดยเฉพาะในเขต 4 จังหวัดของภาคอีสานตอนล่างมีอัตราป่วย 175.50 ต่อประชากรแสนคน และจากสถิติการเกิดโรคอุจจาระร่วงทั้งประเทศ⁴ ปี 2554 พบอัตราป่วย 2,041 ต่อแสนประชากร ปี 2555 พบ อัตราป่วย 1,595.00 ต่อแสนประชากร อัตราตาย 0.06 ต่อแสนประชากร อหิวาตกโรคในปี 2554 อัตราป่วย 0.44 ต่อประชากรแสนคน อัตราป่วยของอหิวาตกโรคมีแนวโน้มลดลงจากปี 2553 ซึ่งเกิดการระบาดของอหิวาตกโรคครั้งใหญ่อีกครั้ง พบอัตราป่วย 2.51 ต่อประชากรแสนคน โรคอาหารเป็นพิษในช่วงปีที่ผ่านมา มีอัตราป่วยลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2548 จนถึงปัจจุบัน สำหรับปี 2554 มีรายงานผู้ป่วยโรคอาหารเป็นพิษ คิดเป็นอัตราป่วยเท่ากับ 157.38 ต่อประชากรแสนคน และจากสถิติผู้ป่วยโรคอาหารเป็นพิษในจังหวัดมหาสารคาม ปี 2550 มีอัตราป่วย 172.77 ต่อแสนประชากร อหิวาตกโรคในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม⁵ จากวันที่ 5-22 กรกฎาคม 2553 พบว่ามีผู้ป่วยถึง 95 ราย ซึ่งส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่อำเภอเชียงยืน อำเภอเมือง อำเภอชื่นชมและอำเภอบ้านไผ่ สาเหตุมาจากการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่ไม่สะอาด หรือการรับประทานอาหารสุก ๆ ดิบ ๆ

โรคอาหารเป็นพิษ เป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญ และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาเป็นจำนวนมาก ซึ่งนอกจากการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียจะส่งผลต่อประชาชนโดยรวมแล้ว ยัง

ส่งผลต่อภาพลักษณ์และความน่าเชื่อถือขององค์กรทางด้านสาธารณสุขอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพแหล่งจำหน่ายเนื้อสัตว์ด้านการสุขาภิบาลอาหารให้ได้มาตรฐานทั้งในกระบวนการฆ่า การจำหน่ายเนื้อสัตว์และสุขวิทยาส่วนบุคคล จึงมีความจำเป็นที่ต้องจัดการอย่างถูกต้อง ในเขตตำบลแก้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เป็นพื้นที่ที่มีสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก และมีประชาชนที่นิยมบริโภคอาหารประเภทเนื้อวัว นอกจากนี้จัดตั้งร้านตั้งอยู่บริเวณเส้นทางคมนาคมหลัก ที่มีรถและยวดยานพาหนะผ่านเป็นจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวถือเป็นปัญหาสำคัญที่ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการดำเนินการในการพัฒนามาตรฐานสุขาภิบาลของสถานที่จำหน่ายเนื้อสัตว์ในพื้นที่ โดยมุ่งเน้นศึกษาการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ประกอบการ และการปรับปรุงลักษณะทางด้านกายภาพของร้านจำหน่ายเนื้อวัวในพื้นที่เขตตำบลแก้ง เพื่อพัฒนาการดำเนินงานที่เหมาะสม ในการปรับปรุงการจัดการในร้านจำหน่ายเนื้อวัวตามหลักมาตรฐานสุขาภิบาลอาหาร เพื่อให้ผู้บริโภคเนื้อวัวได้รับอาหารที่มีคุณภาพ ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และเพื่อใช้เป็นแบบอย่าง และเป็นตัวอย่างที่ดี ในการจัดการสุขาภิบาลอาหารให้กับชุมชนอื่นต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการดำเนินการในการพัฒนาสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวให้เข้าสู่มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหาร ของแผงจำหน่ายเนื้อวัว ในเขตตำบลแก้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

กรอบแนวคิดในการศึกษา

ประยุกต์ใช้วงจรของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ แล้วจัดกิจกรรม ตามด้วยการวัดและประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามวงจร P-A-O-R (Plan, Act, Observe และ Reflect) ดังภาพประกอบ 1

วิธีการดำเนินการศึกษา

การศึกษาวิจัยเชิงปฏิบัติการนี้ (Action Research) แบ่งระยะการศึกษาเป็น 4 ช่วง ได้แก่ การวางแผนและวิเคราะห์สภาพปัญหา ศึกษาการดำเนินงาน การติดตามผล ตรวจสอบสภาวะการสุขาภิบาล การสะท้อนกลับและการปรับปรุงผลการศึกษา

ศึกษาพฤติกรรม ได้แก่ ความรู้ ทักษะ และ การปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารของผู้ประกอบการ จากแบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้น

ตรวจประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพ โดยใช้แบบตรวจร้านอาหาร 15 ข้อ จากกองสุขาภิบาล กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข⁶

ตรวจประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านแบคทีเรียในอาหาร ภาชนะอุปกรณ์ และมือผู้สัมผัสอาหาร โดยใช้ชุดทดสอบ SI-2⁶

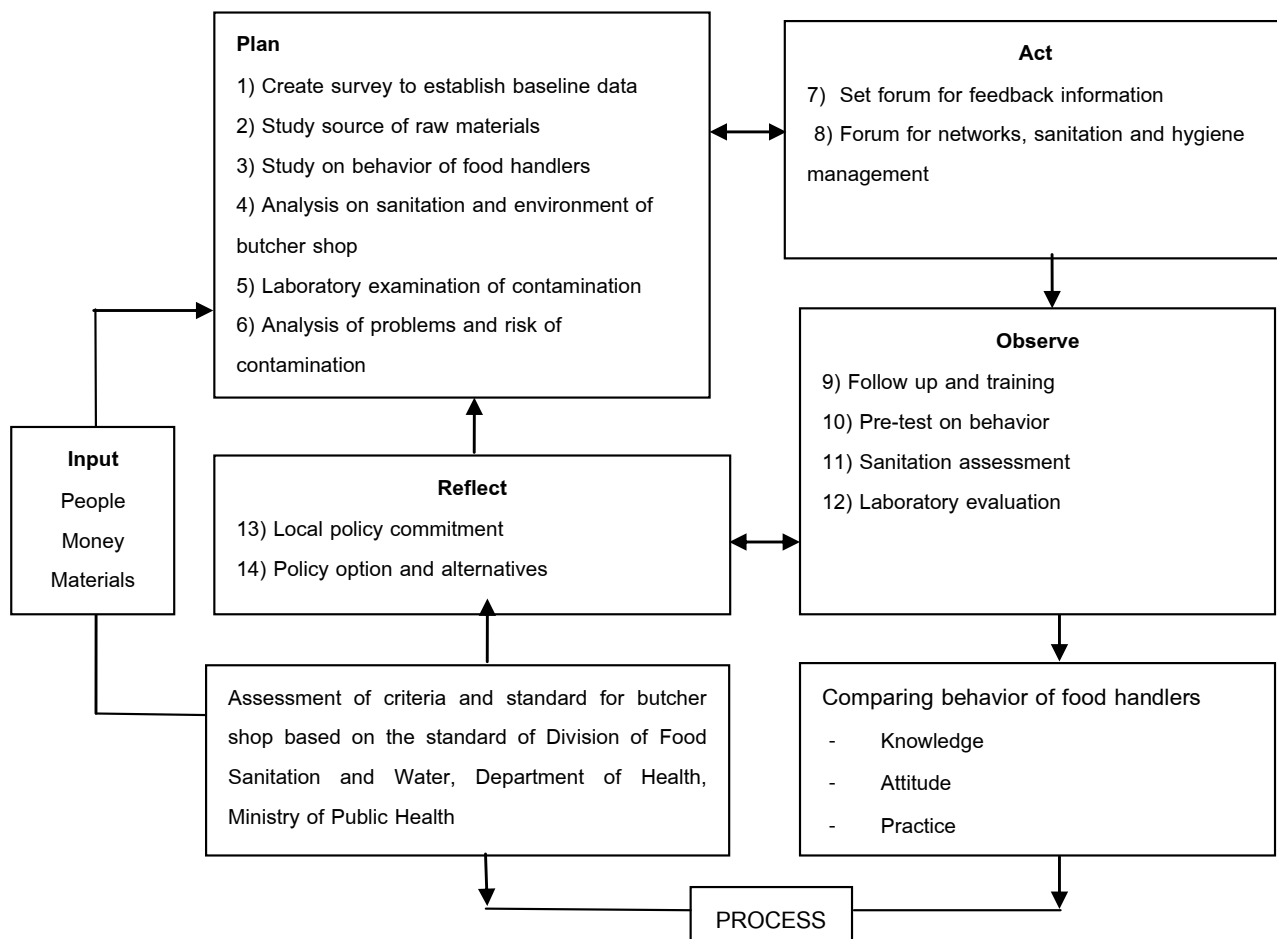


Figure 1 Conceptual Framework

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสัมภาษณ์ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ข้อมูลทั่วไป ด้านความรู้ ทักษะ และการปฏิบัติตัว เกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารของผู้ประกอบการจำหน่ายเนื้อวัว ผู้วิจัยได้สร้างแบบสัมภาษณ์ จากข้อมูลทุติยภูมิ เช่น ตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้ทดสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ปรับปรุงรูปแบบสัมภาษณ์อีกครั้ง แล้วนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิชุดเดิมเพื่อแก้ไขปรับปรุงจนได้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ แล้วนำแบบสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์ไปสอบถามกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษานับจำนวน 30 คน

2. แบบตรวจประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพ ใช้แบบตรวจร้านอาหาร (โครงการอาหารสะอาด รสชาติอร่อย Clean Food Good Taste) ของกองสุขาภิบาล กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 15 ข้อ แล้วประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานทางกายภาพตามข้อกำหนด โดยสถานที่ปรุงประกอบที่ผ่านเกณฑ์จะต้องมีมาตรฐานร้านจำหน่ายอาหารครบทั้ง 15 ข้อ

3. ชุดทดสอบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย SI-2 โดยตรวจสอบอาหารปรุงสำเร็จร้านละ 5 ตัวอย่าง ภาชนะ ร้านละ 3 ตัวอย่าง มือผู้สัมผัสอาหาร ร้านละ 2 คน ด้วยชุดทดสอบโคลิฟอร์มเบื้องต้น (SI-2) แล้วประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานโครงการอาหารสะอาด รสชาติอร่อย Clean Food Good Taste โดยต้องผ่านเกณฑ์อย่างน้อย ร้อยละ 90⁶

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสถิติที่ใช้เป็นสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ประกอบด้วย ร้อยละ ค่าแจกแจงความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้ Wilcoxon Signed Ranks Test ในการทดสอบความแตกต่าง

ผลการวิจัย

จากการศึกษาบริบทพื้นที่ คือ สถานที่จำหน่ายเนื้อวัว ในเขตตำบลเก็ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ติดกับเส้นทางหลัก จากอำเภอกันทรวิชัย ไปจังหวัดมหาสารคาม และยังเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้พื้นที่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จึงมีผู้สัญจรผ่านไปมาตลอดเวลา จากการสังเกตพบว่ามีผู้บริโภคมารับประทานอาหารในร้านจำนวนมากหรือซื้อเนื้อไปประกอบปรุงเอง ผู้จำหน่ายเนื้อวัวส่วนมากจะเข้าพื้นที่ในการเปิดร้าน และเป็นเครือญาติกัน จำนวนร้านจะไม่คงที่ เนื่องจากมีการเลิกกิจการและเปิดกิจการใหม่ จากในปี พ.ศ.2553 มีจำนวน 15 ร้านปี พ.ศ.2554 ลดเหลือ 6 ร้าน และในปี พ.ศ.2556 เพิ่มเป็น 7 ร้าน

ข้อมูลพื้นฐาน

จากการศึกษาลักษณะทางประชากรของผู้ประกอบการ จำนวน 30 คน จาก 15 ร้าน พบว่าส่วนใหญ่เป็น เพศหญิง ร้อยละ 60.0 อายุเฉลี่ย 37.7 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 40.0 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน 11,200 บาท รายได้มากที่สุด 40,000 บาท ในการจำหน่าย มีผู้สัมผัสอาหารทั้งหมด 3-4 คนต่อร้าน ซึ่งเคยได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี ร้อยละ 50.0 ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 83.3 ใต้รับข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารจากเจ้าหน้าที่สาธารณสุขหรืออาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ร้อยละ 96.7 ไม่เคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับงานสุขาภิบาลอาหาร ร้อยละ 64.3 แหล่งที่มาของเนื้อวัว ส่วนใหญ่ผู้ประกอบการฆ่าและเนื้อสัตว์เอง ร้อยละ 66.7 อาหารที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมคืออาหารประเภท ก้อย

พฤติกรรมกรรมการสุขาภิบาลอาหาร

จากการศึกษาพฤติกรรมกรรมการสุขาภิบาลอาหารของผู้ประกอบการ ทั้งด้านความรู้ ทักษะและการปฏิบัติตัว พบว่าผู้ประกอบการมีความรู้ที่อยู่ในระดับดี ข้อคำถามที่ตอบถูกมากที่สุด คือ ควรรักษาความสะอาดบริเวณสถานที่ปรุงและครัวให้เป็นระเบียบและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ในด้านทัศนคติของเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารพบว่าอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 76.7 ส่วนใหญ่เห็นว่า เชียงต้องทำจากไม้

เนื้อแข็ง ผิวเรียบ ไม่มีช่องหรือรูที่ทำความสะอาดยาก และควรกำจัดน้ำเสีย และทำความสะอาดท่อน้ำทิ้ง ไม่ให้มีเศษอาหารตกค้าง นอกจากนี้ยังเห็นว่าผู้ประกอบการ หรือ ผู้เสิร์ฟอาหาร ต้องตรวจสอบสภาพอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 40.0 ด้านการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง ร้อยละ 66.7 โดย ร้อยละ 96.7 ของผู้ประกอบการ สวมผ้ากันเปื้อน ในขณะที่ เตรียม ประกอบ หรือ ปรุงอาหาร เมื่อผู้ประกอบการป่วยเป็นโรคติดต่อ เช่น โรคผิวหนัง โรคท้องร่วง หรือโรคหวัด จะงดปรุงหรือขายเนื้อวัวทันที ร้อยละ 63.3 และผู้ประกอบการไม่เตรียม ปรุง หรือประกอบอาหารกับพื้น โดยใช้เสื่อหรือผ้าปูรองพื้น ร้อยละ 66.7 แต่จากผลการศึกษา ยังพบข้อที่ควรปรับปรุงหลายประเด็น เช่น ผู้ประกอบการมีการฆ่าวัวเอง แล้วนำมาฆ่าและขาย สูงถึงร้อยละ 90.0 และ ร้อยละ 76.7 ของผู้ประกอบการสวมเสื้อผ้าที่มีสีเข้มเป็นบางครั้ง เพื่อที่จะปกปิดรอยเปื้อน

ลักษณะทางด้านกายภาพ

ในช่วงเริ่มต้นศึกษา ร้านจำหน่ายเนื้อวัว ทั้ง 15 ร้าน ไม่ผ่านเกณฑ์การสุขาภิบาลด้านกายภาพ ตามมาตรฐานโครงการอาหารสะอาด รสชาติอร่อย (Clean Food Good Taste) ส่วนใหญ่มีลักษณะทางกายภาพที่ถูกต้องปานกลาง ร้อยละ 73.3 ไม่เตรียมปรุงอาหารบนพื้น บริเวณหน้า หรือในห้องน้ำ ห้องส้วม และต้องเตรียมปรุงอาหารบนโต๊ะที่สูงจากพื้นอย่างน้อย 60 เซนติเมตร มีการใช้สารปรุงแต่งอาหารที่มีความปลอดภัย มีเครื่องหมายรับรองของทางราชการ เช่น เลขทะเบียนตำรับอาหาร (อย.) เครื่องหมายรับรองมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.) และเมื่อผู้ประกอบการมีบาดแผลที่มือ ต้องปกปิดแผลให้มิดชิดหลีกเลี่ยงการปฏิบัติงานที่มีโอกาสสัมผัสอาหาร ผ่านร้อยละ 100 เท่ากัน แต่ประเด็นที่น่าเป็นห่วง คือ เรื่องการจัดการมูลฝอยและน้ำเสีย เนื่องจากทุกร้านไม่มีการกำจัดด้วยวิธีที่ถูกหลักสุขาภิบาล (ผ่านร้อยละ 0.0) รองลงมาคือ ผู้ประกอบการต้องล้างมือให้สะอาดก่อนเตรียม ปรุง ประกอบอาหาร ก่อนจำหน่ายทุกครั้ง และใช้อุปกรณ์ในการหยิบจับอาหารที่ปรุงสำเร็จแล้วทุกชนิดผ่านเพียงร้อยละ 20.0 สภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านแบคทีเรีย

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง อาหาร ภาชนะอุปกรณ์ มีผู้สัมผัสอาหาร พบว่า ส่วนใหญ่ตรวจพบเชื้อแบคทีเรียที่มีผู้สัมผัสอาหาร ร้อยละ 70.0 รองลงมา คือ ภาชนะอุปกรณ์ ตรวจพบเชื้อแบคทีเรีย ร้อยละ 68.8 โดยอุปกรณ์ที่ตรวจพบเชื้อแบคทีเรียมากที่สุด คือ เขียง ร้อยละ 93.3 และตรวจพบเชื้อแบคทีเรียในอาหาร ร้อยละ 30.6 อาหารที่ตรวจพบเชื้อแบคทีเรียมากที่สุด คือ ก้อย ร้อยละ 80.0

การดำเนินการในการพัฒนาสถานที่จำหน่ายเนื้อวัวเพื่อเข้าสู่มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหาร

จากข้อมูลสถานการณ์ข้างต้น คณะผู้วิจัยได้จัดประชุมผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาสถานที่จำหน่ายเนื้อสัตว์ให้ได้มาตรฐานการสุขาภิบาลอาหาร ณ สโมสรบุคลากร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม วันที่ 30 กันยายน พ.ศ.2554 เป็นการจัดเวทีคืนข้อมูล และแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการสุขาภิบาลในแผงจำหน่าย และสร้างเครือข่ายผู้ประกอบการแผงจำหน่ายเนื้อวัว โดยมีผู้เข้าร่วมประชุมและเข้าร่วมเป็นเครือข่ายจำนวนทั้งสิ้น 20 คน ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่จากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นักวิชาการสาธารณสุขจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เจ้าหน้าที่ปศุสัตว์จังหวัดมหาสารคาม ผู้ประกอบการร้านจำหน่ายเนื้อวัว สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล อาจารย์และนิสิตจากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จากการประชุมหารือร่วมกัน สามารถสรุปผลวิเคราะห์ปัญหาในการดำเนินการได้มาของเนื้อวัว พฤติกรรมของผู้ประกอบการ และความเสี่ยงในการปนเปื้อนของเนื้อวัวในแผงจำหน่ายเนื้อวัวได้เป็น 6 ประเด็น ดังนี้

1. ปัญหาด้านการจัดการ พบว่าเจ้าหน้าที่ใช้วิธีการแนะนำ และส่งเสริม แต่ยังไม่ใช้ระบบการลงโทษตามกฎหมาย อีกทั้งการจัดการยังไม่เป็นระบบที่แน่นอน และยังขาดความร่วมมือในการดำเนินการจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมและจัดการได้
2. การจัดการควบคุมคุณภาพยังขาดความต่อเนื่อง และขาดระบบในการพัฒนา
3. ผู้ประกอบการขาดความรับผิดชอบ และไม่ให้ความร่วมมือกับเจ้าหน้าที่ ทั้งในการเข้ารับการอบรม และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม
4. ปัญหาการจัดตั้งโรงฆ่าสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากประชาชนไม่ยอมรับในการจัดตั้งโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่ อีกทั้งยังขาดงบประมาณสนับสนุนการดำเนินการจากองค์การบริหารส่วนตำบล
5. ปัญหาการใช้อิทธิพลในพื้นที่และการใช้อำนาจที่ไม่เหมาะสม อาทิ กลุ่มผลประโยชน์ที่ทำธุรกิจ
6. ประชาชนผู้บริโภคยังมีพฤติกรรมบริโภคที่ไม่ถูกสุขลักษณะ

รูปแบบในการจัดการปัญหา

จากการดำเนินการ ส่งผลให้เกิดเครือข่ายการดำเนินงานในการดูแลร้านจำหน่ายเนื้อวัวมากขึ้น โดยการประชาคม ณ ศาลาวัดบ้านดินดำ ตำบลเกิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม ณ วันที่ 6 กันยายน พ.ศ.2555 มีผู้เข้าร่วม รวมทั้งสิ้น 50 คน ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่จากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นักวิชาการสาธารณสุขจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เจ้าหน้าที่จากปศุสัตว์จังหวัดมหาสารคาม เจ้าหน้าที่ตำรวจ ผู้ประกอบการร้านจำหน่ายเนื้อวัว สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล อาสาสมัครสาธารณสุข พระสงฆ์ และประชาชนในพื้นที่ อาจารย์และนิสิตจากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การดำเนินการ มีการนำเสนอคืนข้อมูลจากผลการดำเนินงานในช่วงแรก ที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมที่ไม่ถูกสุขลักษณะ และการพัฒนาคุณภาพตามมาตรฐานที่ชัดเจนเป็นรูปธรรม โดยชี้ให้เห็นถึงการไม่บรรลุมาตรฐานตามเกณฑ์สุขาภิบาลอาหาร และการปนเปื้อนในเนื้อสัตว์ ที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข ผู้เข้าร่วมประชุมได้ร่วมกันเสนอแนะแนวทางในการจัดระบบการจัดการที่เหมาะสมชัดเจนมากขึ้น โดยเป็นการสร้างความเข้าใจระหว่างเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบบทบาทหน้าที่ของตนเองให้ชัดเจน ลักษณะการดำเนินงานจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกฝ่าย โดยใช้มาตรการทางสังคม การทำงานร่วมกัน จะเอื้อให้การจัดการ มีการควบคุมอย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น และควรมีการจัดตั้งข้อบัญญัติของท้องถิ่น รวมทั้งต้องเคร่งครัดในการปฏิบัติตามข้อบัญญัติที่ตั้งขึ้น ซึ่งสรุปได้ 7 ประการ ดังนี้

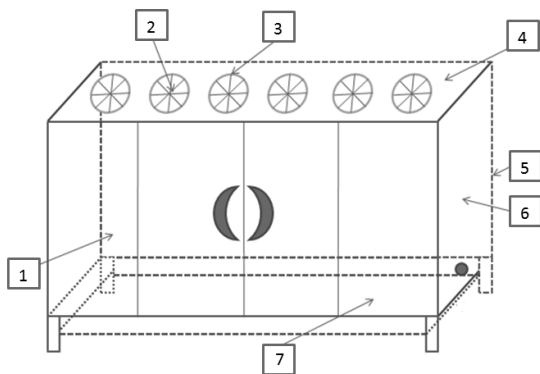
1. องค์การบริหารส่วนตำบล ทำหน้าที่ในการออกใบอนุญาต จัดสรรงบประมาณในการดำเนินการ เพื่อทำเขียงเนื้อต้นแบบ ที่มีตู้ใส่เนื้อที่เหมาะสม พร้อมทั้งมีระบบการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการปนเปื้อน โดยมีนักวิชาการสุขาภิบาลทำหน้าที่ให้ความรู้และส่งเสริมสุขภาพของประชาชน
2. ปศุสัตว์จังหวัด ทำหน้าที่ตามพระราชบัญญัติการควบคุมการฆ่าและการทำลายซากสัตว์ พร้อมทั้งทำหน้าที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการ ร่วมกับทางองค์การบริหารส่วนตำบล โดยสัตวบาลหรือสัตวแพทย์จะดำเนินการตรวจซากสัตว์ก่อนทุกครั้ง
3. เจ้าหน้าที่สาธารณสุข จากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล จะให้ความรู้แก่ประชาชน และส่งเสริมสนับสนุนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม โดยการอบรมให้ความรู้อย่างต่อเนื่อง มีการเฝ้าระวัง โดยดำเนินการตรวจการปนเปื้อนสารเคมี การปนเปื้อนแบคทีเรียในอาหาร และการปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลอาหาร ของผู้ประกอบการอย่างสม่ำเสมอ

4. ตำรวจ ต้องดำเนินการตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด เมื่อมีผู้แจ้งเบาะแสเกี่ยวกับการกระทำผิด หรือมีผู้แจ้งความหรือร้องทุกข์ เมื่อพบหรือสงสัยว่าบุคคลใดมีการลักลอบฆ่าสัตว์โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือไม่กำจัดซากอย่างถูกต้อง ตำรวจสามารถตรวจสอบและจับกุมได้ โดยเจ้าหน้าที่ตำรวจจะขอไปกำจัดซาก หรือเอกสารแบบตอบรับการแจ้งการฆ่า กรณีที่เจ้าของแผงเนื้อรับซื้อมาแล้วไม่สามารถบอกที่มาของเนื้อได้ ตำรวจจะดำเนินคดีกับผู้ประกอบการ นอกจากนี้ตำรวจยังสามารถประสานงานกับเจ้าที่สาธารณสุข และเจ้าหน้าที่จากเทศบาล เพื่อตรวจหาสารเคมีปนเปื้อนได้อีกด้วย

5. ประชาชนในพื้นที่ ทำหน้าที่ในการเฝ้าระวัง หากพบการกระทำผิดต้องแจ้งเจ้าหน้าที่

6. อาจารย์จากมหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ในการให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ

7. ผู้ประกอบการต้องรับซื้อเนื้อจากโรงฆ่าสัตว์ที่ถูกกฎหมาย หรือหากมีการฆ่าสัตว์เองนอกโรงฆ่าสัตว์ผู้ประกอบการต้องแจ้งต่อองค์การบริหารส่วนตำบลหรือเทศบาล ก่อน ซึ่งจะมีเจ้าหน้าที่คอยให้คำแนะนำ ควบคุม ให้การปฏิบัติเป็นไปตามหลักสุขาภิบาลอาหาร



1. At the front of the beef storage container is removable glass doors.
2. Ventilation holes on the top of this container will be covered with opaque or transparent plastic.
3. Electric light and beef hangers are fixed on the ceiling.
4. The top of this container is covered with white or transparent acrylic.
5. At the back are sliding wire screen doors which can be taken off for cleaning.
6. The wire screens can be taken off for cleaning.
7. The floor will be made of thick aluminium with fitted drainage hole.

Figure 2 The model of the local sanitary container

และจากรูปแบบตู้ที่ถูกสร้างขึ้นโดยการสนับสนุนจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและผู้นำชุมชน และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพในพื้นที่ทำการมอบตู้ขายเนื้อให้กับผู้ประกอบการ ครบทั้ง 7 ร้าน ในปี พ.ศ. 2556



Figure 3 The local sanitary containers were provided and recommended to the shops in this study area in 2013

ผลการดำเนินการในช่วงที่สอง

จากการพัฒนาการดำเนินการที่เกิดจากการมีส่วนร่วมจากทุกฝ่าย พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรมของผู้ประกอบการไปในทางที่ดีขึ้น การตรวจด้านกายภาพ และจากการสำรวจการปนเปื้อนในเนื้อสัตว์พบว่า มีการปนเปื้อนที่ลดลง และที่เป็นรูปธรรมชัดเจนที่สุด คือ กระบวนการพัฒนาคุณภาพที่เป็นการสร้างการมีส่วนร่วมของเครือข่ายในพื้นที่ทั้งฝ่ายผู้ประกอบการและฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการตรวจตราและควบคุมคุณภาพ ได้แก่ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด องค์การบริหารส่วนตำบล และสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ได้เห็นความสำคัญในการพัฒนาเชิงสร้างสรรค์ร่วมกัน ที่ไม่เน้นการจับผิดในการตรวจตรา แต่เป็นการพัฒนาคุณภาพ โดยให้ประชาชนในพื้นที่เข้ามามีส่วนร่วม และควบคุมคุณภาพระหว่างกันเอง แล้วพัฒนาเป็นแผนนโยบายสาธารณะระดับ

พื้นที่ โดยสรุปปัจจัยแห่งความสำเร็จในการดำเนินการพัฒนาคุณภาพครั้งนี้ คือ การสร้างให้เกิดความรู้และการยอมรับ รวมทั้งความตระหนัก และการรวมตัวเป็นเครือข่ายในการดำเนินงานของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย รวมทั้งการเสริมแรงและผลักดันของเจ้าหน้าที่จากภาครัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบ โดยการตรวจสอบกันเอง ระหว่างประชาชนและผู้ประกอบการ จึงสามารถสรุปประเด็นสำคัญที่เป็นต้นแบบการพัฒนาการสุขาภิบาลร้านอาหารนำร่องในครั้งนี่คือ K-E-R-N-G

K= Knowledge

E= Empower

R= Re-inspect

N= Network

G= Government

อภิปรายผล

ด้านการสุขาภิบาลอาหาร

จากผลการศึกษาสภาวะการสุขาภิบาลอาหารของร้านอาหารนำร่องไว้ พบว่าผู้ประกอบการมีความรู้ตามหลักการสุขาภิบาลอาหารในระดับดี แม้ผู้ประกอบการร้านอาหารนำร่องไว้ส่วนมากไม่เคยเข้ารับการอบรมเกี่ยวกับงานสุขาภิบาลอาหาร ผู้ประกอบการที่ไม่เคยได้เข้ารับการอบรม ส่วนใหญ่ให้เหตุผลว่าไม่มีเวลา เนื่องจากผู้ประกอบการให้ความสำคัญในเรื่องของการค้าขายมากกว่าการที่จะเสียเวลาไปเข้ารับฟังการอบรม แต่จากการสัมภาษณ์พบว่า ผู้ประกอบการร้านอาหารนำร่องไว้ ได้รับข้อมูลข่าวสาร ความรู้เกี่ยวกับงานสุขาภิบาลอาหารผ่านทางสื่ออื่น ได้แก่ เจ้าหน้าที่สาธารณสุข และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) ที่รับผิดชอบลงพื้นที่เพื่อทำการตรวจความปลอดภัยทางด้านอาหารของร้านอาหารนำร่องไว้เป็นประจำผู้ประกอบการมีทัศนคติเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความเข้าใจและปรับทัศนคติให้ถูกต้องในบางเรื่อง เช่น การใช้เชียงที่สะอาดปลอดภัย ทำจากไม้เนื้อแข็ง ฝิวเรียบ และควรกำจัดน้ำเสียและทำความสะอาดห้องน้ำ ไม่ให้มีเศษอาหารตกค้าง ผู้ประกอบการที่การฆ่าและเนื้อเอง ไม่นิยมซื้อจากโรงฆ่าสัตว์ที่ได้มาตรฐาน ให้เหตุผลว่าโรงฆ่าสัตว์อาจนำเนื้อวัวที่ไม่สด หรืออาจนำวัวที่เป็นโรคมานำมาให้ผู้ประกอบการ และในทางตรงกันข้ามผู้ประกอบการเห็นด้วยกับการฆ่าและฆ่าและเนื้อสัตว์เอง โดยให้เหตุผลที่ว่า สด สะอาด และสะดวกรวดเร็วกว่า ในการให้บริการอาหารสำหรับลูกค้าที่มาใช้บริการอาหารที่ร้าน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แม้ว่าผู้ประกอบการมีความรู้ดี แต่เนื่องจากแนวคิดเชิงธุรกิจยังเน้นกำไรขาดทุนทำให้ผู้ประกอบการอาจจะไม่ระมัดระวังในการจัดการสินค้า

ของตนให้มีคุณภาพที่ดีตามหลักสุขาภิบาลอาหารเท่าที่ควร จึงควรปรับทัศนคติในเรื่องนี้ให้ถูกต้อง

ระดับการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการสุขาภิบาลอาหารของผู้ประกอบการอยู่ในระดับดี โดย ร้อยละ 96.7 ผู้ประกอบการจะสวมผ้ากันเปื้อนเป็นประจำ ขณะที่เตรียมประกอบหรือปรุงอาหาร แต่ทั้งนี้ ควรสวมผ้ากันเปื้อนที่มีสีอ่อนให้ถูกต้องด้วย และเมื่อผู้ประกอบการป่วยเป็นโรคติดต่อ เช่น โรคผิวหนัง โรคท้องร่วง โรคหวัด ควรงดปรุง ประกอบอาหาร หรืองดจำหน่ายอาหารทันที ประเด็นนี้แม้ว่าจะปฏิบัติตัวได้ดีในแง่การจำหน่าย แต่เป็นการปฏิบัติตนเพื่อเชิงผลทางธุรกิจที่เน้นการสร้างภาพพจน์ให้หน้าเชื่อถือเท่านั้น ยังไม่ใช่เจตนาภรณ์ในการพัฒนาคุณภาพที่จะส่งมอบสินค้าที่ดีและมีคุณภาพให้ผู้บริโภคอย่างเต็มที่นัก

สภาวะสุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพ พบว่าด้านทัศนคติ ร้อยละ 60.0 ผู้ประกอบการเห็นด้วยมากที่สุดในเรื่องของการกำจัดน้ำเสีย และในการปฏิบัติ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่ตอบว่าปฏิบัติเป็นประจำร้อยละ 56.7 แต่ผลการตรวจประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารทางด้านกายภาพจาก 15 ร้าน ในเรื่องมูลฝอยและน้ำเสีย ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ร้อยละ 0.0 ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของเสาวนีย์ สิทธิบุญจันทร์⁷ ซึ่งพบว่า ผู้สัมผัสอาหารส่วนน้อยที่ทิ้งขยะและเศษอาหารลงในถังที่มีฝาปิด และกำจัดขยะ เศษอาหารและน้ำเสียในบ่อดักไขมัน ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ผู้ประกอบการเห็นความสำคัญในเรื่องการกำจัดน้ำเสีย แต่ในทางปฏิบัติจริง ผู้ประกอบการกลับละเลย ดังนั้นการกำจัดมูลฝอยและน้ำเสียให้ถูกหลักสุขาภิบาล จึงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรจะทำ การปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์สภาวะการสุขาภิบาลอาหาร ซึ่งตรวจพบเชื้อแบคทีเรียในมือผู้สัมผัสอาหาร ร้อยละ 70.0 และในภาชนะอุปกรณ์ ร้อยละ 68.8 ทั้งนี้อาจเกี่ยวเนื่องกับผลการประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพที่ผู้ประกอบการขาดการล้างมือให้สะอาด เพราะผลการปฏิบัติด้านการล้างมือ หรือใช้อุปกรณ์ในการหยิบจับอาหารที่ปรุงสำเร็จแล้ว ซึ่งผ่านเพียงร้อยละ 20.0 ส่วนการตรวจพบเชื้อในเชียงสูงถึงร้อยละ 93.3 อาจมีสาเหตุมาจาก เชียงมีสภาพที่ไม่ดีไม่สะอาด ผู้ประกอบการวางเชียงโดยไม่มีการปิด ขาดการทำความสะอาด จึงทำให้เชียงเป็นแหล่งสะสมเชื้อแบคทีเรียได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินสภาวะการสุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพจาก 15 ร้าน ซึ่งพบว่า เชียงและมีดี มีสภาพดี แยกใช้ระหว่างเนื้อสัตว์ดิบและผักผลไม้เพียง ร้อยละ 40.0 ส่วนอาหารที่ทำการตรวจพบเชื้อสูงที่สุดคือ ก้อย ซึ่งเป็นอาหารที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานมากที่สุด

ทั้งนี้เนื้อวัวอาจมีการปนเปื้อนจากขั้นตอนการฆ่าและของ ผู้ประกอบการ โดยเฉพาะการเอาเครื่องในออก จัดเป็นขั้นตอน วิกฤตสำหรับการผลิตเนื้อ ซึ่งเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ในเนื้อได้ ดังนั้นจึงควรเผยแพร่ข้อมูลและให้ความรู้เกี่ยวกับ การบริโภคอาหารประเภทที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรุงสุก

ด้านการจัดการ

การดำเนินการตรวจ ด้านสุขาภิบาลอาหาร จะเห็น ว่าในการตรวจอาหาร ทั้งทางด้านแบคทีเรียและสารเคมี มีการ ตรวจเป็นประจำทุกปี แต่เจ้าหน้าที่เลือกที่จะตรวจเฉพาะ ตัวแปรที่เห็นว่าเป็นปัญหาสำคัญ ด้วยเหตุนี้ จึงขาดการดำเนินการ เฝ้าระวังที่ต่อเนื่อง ทั้งนี้เมื่อสอบถามเจ้าหน้าที่ พบว่าเกิด จากการที่งบประมาณมีอยู่อย่างจำกัด จึงไม่สามารถสั่งซื้อสาร เคมีทดสอบได้อย่างเพียงพอ จึงได้เลือกตรวจสารที่พบการ ปนเปื้อนมากจากสถิติของปีที่ผ่านมา เช่น ในปี พ.ศ.2555 ไม่พบ ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนสารฟอกขาว (ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 100) และไม่พบการปนเปื้อนแบคทีเรียในอาหาร (ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 100) ในปี พ.ศ.2556 ทางเจ้าหน้าที่จึงไม่ได้ทำการตรวจการ ปนเปื้อนสารฟอกขาว และแบคทีเรียในตัวอย่างอาหาร แต่อย่างไรก็ตามในภาพรวมของผลการตรวจสถานะการ สุขาภิบาลอาหารด้านกายภาพหลังการอบรมดีขึ้นกว่าก่อน อบรม ถึงแม้ว่าผลทดสอบทางสถิติ พบว่าสภาพการสุขาภิบาล หลังอบรมไม่ได้ดีกว่าก่อนอบรม ประเด็นที่ผู้ประกอบการยังไม่ สามารถปรับเปลี่ยนได้ คือ การจัดการมูลฝอยและน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากผู้ประกอบการไม่ใช่เจ้าของพื้นที่เอง จึงไม่สามารถปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนพื้นที่ได้มากนัก การจัดการมูลฝอยและน้ำเสียจึงควรใช้วิธีการจัดการในภาพรวม

จากการติดตามการดำเนินการพบว่า ยังขาดความ ต่อเนื่อง ถึงแม้ทุกฝ่ายจะมีการให้ความร่วมมือในการเข้าร่วม ประชุม แต่เมื่อเริ่มดำเนินการ พบว่าเมื่อขาดแรงกระตุ้น ภายนอก ผู้ประกอบการจะปฏิบัติเช่นเดิมตามความเคยชิน ถึงแม้ทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้มอบตู้ให้ใช้ ก็ ใช้ในระยะแรกเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากจากการขาดการดำเนินการ ที่เคร่งครัด ตามมติที่ได้วางไว้และขาดการติดตามอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการศึกษาของ วาสนา จันท์สว่าง^๑ ที่พบว่าควรให้เจ้าหน้าที่ของรัฐหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง ตรวจสอบ กวดขันอย่างสม่ำเสมอ พร้อมกับใช้แรงสนับสนุนทางสังคม และใช้มาตรการทางกฎหมายในรายที่ไม่ให้ความร่วมมือ

การพัฒนาการดำเนินการที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มแรกการพัฒนาคุณภาพได้ใช้แนวทาง แบบเดิมที่เน้นการอบรมและการให้ความรู้แก่ผู้ประกอบการ ซึ่งพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญต่อการพัฒนา

คุณภาพ ต่อมาคณะผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนการดำเนินการ เป็นการพัฒนามีส่วนร่วมโดยให้ผู้เกี่ยวข้องเข้ามาร่วมคิด และวางแผนการดำเนินงาน และพัฒนาไปสู่การพัฒนาเป็น นโยบายสาธารณะเพื่อสุขภาพในระดับพื้นที่ เพื่อเป็นทางออก ในการพัฒนาคุณภาพที่เป็นกระบวนการที่เกิดจากผู้เกี่ยวข้อง ทุกฝ่าย และเพื่อส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดี แต่อย่างไรก็ดีกระบวนการดังกล่าว มีความจำเป็นต้องใช้กลไก ทั้งเชิงอำนาจและกระบวนการตรวจสอบโดยประชาชน เพื่อกำกับให้เกิดเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. หน่วยงานที่รับผิดชอบควรดำเนินการจัดการ พัฒนาคุณภาพแผงจำหน่ายเนื้อในรูปแบบใหม่ ที่เน้นความ ร่วมมือ และการมีส่วนร่วมของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องอย่างแท้จริง โดยใช้กลไกอำนาจตามกฎหมายและตามระบบที่มีอยู่ ร่วมกับ กลไกการตรวจสอบโดยประชาชนในพื้นที่ด้วยกันเอง
2. ควรมีการผลักดันให้เป็นนโยบายสาธารณะ เพื่อสุขภาพในระดับพื้นที่ ที่เกิดจากประชาชนและผู้มีส่วน เกี่ยวข้องมาร่วมมือกันหาทางออกและแก้ไขปัญหาร่วมกัน
3. ควรจัดให้มีการเฝ้าระวังและติดตามผลในระดับ พื้นที่เป็นระยะ เพื่อสร้างความต่อเนื่องและยั่งยืน
4. เหตุผลทางธุรกิจที่เน้นการจำหน่ายที่ได้กำไร และผลประโยชน์เป็นจำนวนมาก เป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวัง เพราะอาจคุกคามการดำเนินการพัฒนาคุณภาพได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความร่วมมือ ร่วมใจจากผู้บริหาร เจ้าหน้าที่จากองค์การบริหารส่วนตำบล เก็ง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพส่วนตำบลเก็ง ปศุสัตว์จังหวัด มหาสารคาม เจ้าหน้าที่ตำรวจ จากสถานีตำรวจภูธรเมือง มหาสารคาม ผู้ประกอบการจำหน่ายเนื้อวัวในตำบลเก็ง ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลและให้ความร่วมมือ การให้ข้อมูลพร้อมเข้ารับการอบรมเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ อาสาสมัครสาธารณสุข ผู้นำชุมชนและประชาชนบ้านดินดำ รวมถึงนิสิตคณะสาธารณสุขศาสตร์ ตลอดจนผู้ที่มีส่วน เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนาม จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ การดำเนินงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในจาก คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. สถานการณ์โรคอ้วนจากร่างในปัจจุบัน. ได้จาก: URL:

<http://www.thaihealth.or.th/healthcontent/article/31467> December 12, 2012

2. สำนักโรคระบาดวิทยา. กรมควบคุมโรค. กระทรวงสาธารณสุข. ได้จาก: URL: <http://203.157.15.110/nphss/home.php> November 7, 2012
3. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. สาระสุขภาพ. รายงานสถิติอัตราผู้ป่วยเขตตรวจราชการสาธารณสุขที่ 14, 2553.
4. สำนักงานป้องกันและควบคุมโรค เขต 6, รายงานเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา. กรมควบคุมโรคเดือนพฤศจิกายน 2550.
5. สำนักโรคระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. สรุปรายงานเฝ้าระวังโรค ประจำปี 2553 จังหวัดมหาสารคาม. หน้า 1-4.
6. สำนักสุขาภิบาลอาหารและน้ำ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือแนวทางการเฝ้าระวังการสุขาภิบาลอาหาร สำหรับเจ้าหน้าที่. นนทบุรี: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด; 2556. หน้า 2-13.
7. เสาวณีย์ สีหาบุญจันทร์. สภาวะการสุขาภิบาลอาหารของแผงลอยจำหน่ายอาหารในเขตรับผิดชอบของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านดงบัง ตำบลหนองขุ่นใหญ่ อำเภอหนองพอก จังหวัดร้อยเอ็ด. ได้จาก: URL: <http://www.slideshare.net/puttaisong/page-101-136> October 6, 2011
8. วาสนา จันทร์สว่าง และคณะ. การรณรงค์สุขาภิบาลอาหารปลอดภัยของผู้ขายอาหารริมบาทวิถี เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร. วารสารสุขศึกษา มกราคม-เมษายน 2551; 31(108): 41-53

การพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่านโดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

The Development of the Books to Support Reading Skill by Using Sarapanya Rhyme in Learning Science of Prathom Suksa 3

มลิวรรณ เขจรศาสตร์¹

Maliwan Khejonsart¹

Received: 20 April 2014 ; Accepted: 22 August 2014

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพและดัชนีประสิทธิผลของหนังสือส่งเสริมการอ่าน เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนและการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน ต่อการเรียนโดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนคำโพนทองบริบูรณ์ราษฎร์บำรุง จำนวน 18 คน อำเภอภูผินารายณ์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากาฬสินธุ์ เขต 3 ปีการศึกษา 2556 ซึ่งได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ หนังสือส่งเสริมการอ่าน มีจำนวน 8 เล่ม แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียน-หลังเรียน แบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ และแบบวัดความพึงพอใจของนักเรียนกับการพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 10 ข้อ สถิติที่ใช้ ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างสัมพันธ์กัน (Dependent Samples t-test) ผลการวิจัย พบว่าหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.47/88.15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 มีค่าดัชนีประสิทธิผล เท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 73.33 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความพึงพอใจโดยรวมค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.36 อยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

Abstract

This research was to develop and study the efficiency of the effective index, and compare the achievement of learning and the satisfaction of students among pre-learning, in-learning and post-learning to the development of the books support reading skill by using Sarapanya Rhyme in learning Science of Prathom Suksa 3. The sample groups used in this research were 18 Prathom Suksa 3 students of academic year 2013 in Khomphonthong Boriboonrajbumroong School, Kuchinarai District, Kalasin Province, under Kalasin Primary Educational office Zone 3 by using the cluster

¹ ครู, วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ, โรงเรียนคำโพนทองบริบูรณ์ราษฎร์บำรุง สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษากาฬสินธุ์ เขต 3 เบอร์โทรศัพท์ 080-416-7321

¹ Experienced level Qualification teacher, Khamphonthong Boriboonrajbumroong School Kuchinarai District, Kalasin Province under the Kalasin Primary Educational Office Zone 3. E-mail:

* Khamphonthong Boriboonrajbumroong School Kuchinarai District, Kalasin Province under the Kalasin Primary Educational Office Zone 3. E-mail: Maliwan_puk@hotmail.com

Random Sampling. The tools used in this research were 8 books to support reading skill, the 30 numbers with 4 alternatives pre/post achievement test and the 10 satisfaction questionnaires to the development the books to support reading skill by using Sarapanya Rhyme. The statistics used in analyzing data were percentage, mean, standard deviation and t-test (Dependent Samples) The results of the research found that the efficiency of the books to support reading skill by using Sarapanya Rhyme in learning Science of Prathom Suksa 3 was 86.47/88.15 which was higher than the standard hypothesis of 80/80. The effective index was 0.7333. This shows that the learner achievement was higher up to 73.33. The post learning achievement was significantly higher than pre-learning at the level of .05 and the satisfaction, in general the mean (\bar{X}) was 4.36 which was at the level of "high".

Keywords: The books support reading skill, By using Sarapanya Rhyme in learning, Science of Prathom Suksa 3

บทนำ

วิทยาศาสตร์ทำให้ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย มีทักษะที่สำคัญ ในการค้นหาความรู้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลหลากหลายและประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งความรู้ (Knowledge based society) ¹ ทุกคนจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ครูผู้สอนจะต้องจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างถูกต้องเหมาะสมตามหลักสูตรกำหนด การสอนมุ่งให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมครูต้องทราบความต้องการให้นักเรียนรู้อะไร และเกิดคุณลักษณะอย่างไร แล้วเลือกหาวิธีการต่างๆ เพื่อพัฒนาทักษะและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาทางสติปัญญา สังคมและบุคลิกภาพ ครูควรเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เข้าใจความแตกต่างของผู้เรียน มีการใช้วิธีการสอนที่หลากหลาย เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาความคิดการแก้ปัญหาและทักษะปฏิบัติ ² จากการศึกษาสาเหตุที่ส่งผลต่อสภาพปัญหาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนยังจดจำเนื้อหาการเรียนได้น้อย ทำให้นำความรู้ที่ใช้ไปตอบคำถาม ทำแบบทดสอบหรือทำการทดลองไม่ถูกต้อง ส่งผลให้การแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร การแก้ปัญหาของนักเรียนทำได้ไม่สมบูรณ์ เพราะการศึกษาจากหนังสือเรียนโดยปกติยังไม่เพียงพอกับความสนใจของนักเรียนจึงเกิดความไม่เอาใจใส่ในบทเรียน ทำให้นักเรียนได้รับความรู้ไม่มากนัก เมื่อมีความรู้ความจดจำน้อย จึงทำให้อาณาความรู้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ใหม่และการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ครูผู้สอนยังยึดครูเป็นศูนย์กลางโดยใช้การบรรยายเป็นส่วนใหญ่ นักเรียนมีโอกาสอ่านเนื้อหาบ่อย ปฏิบัติกิจกรรมและฝึกการแก้ปัญหาพร้อมกันน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการสอนในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ผ่านมายังไม่สามารถทำให้ผลที่ได้รับเป็นที่น่าพอใจ จึงมีความเห็นว่าการจะมีการพัฒนาผล

การเรียนรู้ทางการเรียนใน หน่วยนี้ ซึ่งหากประสบผลสำเร็จน่า จะส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยโดยรวม กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์สูงขึ้นด้วย ซึ่งมีผู้ศึกษาค้นคว้าพบว่า การนำ หนังสือส่งเสริมการอ่าน ที่สร้างจากเรื่องใกล้ตัวในชีวิตประจำวัน มีภาพประกอบสวยงาม มีขนาดตัวอักษรที่เหมาะสมกับวัย ของผู้เรียน และเป็นสิ่งแปลกใหม่ที่นักเรียนยังไม่เคยเรียนมาก่อนทำให้เกิดความสนใจที่จะเรียน ³ เมื่อนำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้อีกกับรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น เป็นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการถ่ายโอนความรู้ โดยให้ความสำคัญกับการตรวจสอบความรู้เดิมของเด็ก ซึ่งเป็นการพัฒนา ผู้เรียนให้ได้รับความรู้กระบวนการค้นคว้าหาคำตอบจาก ปัญหา ผู้เรียนทุกคนควรได้รับการกระตุ้นส่งเสริมให้มีความ สนใจ กระตือรือร้นที่จะเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีความสงสัย เกิด คำถามในสิ่ง ต่าง ๆ มีความมุ่งมั่น มีความสุขที่จะศึกษาค้นคว้า มีการคิดวิเคราะห์ การสืบเสาะหาความรู้เพื่อรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผลนำไปสู่คำถาม สามารถตัดสินใจด้วยการใช้ข้อมูล อย่างมีเหตุ มีผล ⁴ จากเหตุผลดังที่กล่าว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการ พัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะ ร่วมกับการจัดกิจกรรมการเรียนแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น สำหรับ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 เพื่อใช้เป็น สารสนเทศ หรือ เป็นแนวทางสำหรับครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในการพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิ ผลต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของหนังสือส่งเสริม การอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียนสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียนสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2556 กลุ่มโรงเรียนตำบลสามขา อำเภอภูผินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 100 คน จาก 5 โรงเรียน 5 ห้อง

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ กรอบคือวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยหน่วยการสุ่มแบบกลุ่มคือ โรงเรียนคำโพนทองบริบูรณ์ราษฎร์บำรุง อำเภอภูผินารายณ์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาภูพานินธุ์ เขต 3 เมื่อสุ่มได้โรงเรียนก็ได้ห้องเรียน และจำนวนนักเรียนตามมา คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 18 คน เรียนโดยแบบฝึกความสามารถทางด้านเหตุผล โดยใช้เพลงเสริมปัญญา เรื่อง สิ่งรอบตัวเรา ธรรมชาติรอบตัว และสารรอบตัว สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ มีดังนี้ หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน จำนวน 8 เล่ม แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียน-หลังเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไฟฟ้า น้ำ และอากาศ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 30 ข้อ การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นแบบทดสอบ แบบอิงเกณฑ์ ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ผู้วิจัยดำเนินการสร้างและหาคุณภาพดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคู่มือครู หนังสือเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไฟฟ้า น้ำ และอากาศรอบตัวเรา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

2. ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบ และวิธีการวิเคราะห์จุดประสงค์ เนื้อหา จากหนังสือการวิจัยเบื้องต้นของ

3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของหลักสูตร จุดประสงค์ กำหนด เนื้อหา แล้วสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไฟฟ้า น้ำ และอากาศ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 40 ข้อ ต้องการใช้จริง 30 ข้อ Table 1

Table 1 Analyzed the relation of matter, learning objectives and numbers of the test on the title Strength and the movement, Electronics, Water and Air of Prathom Suksa 3, Science Department.

Contents	Sub-contents	Objective	Number of Achievement test	
			Total	Really used
Strength and Movement of electronics, water and air	Objects, Mass and force, gravity, electricity-resources, appliances, electricity, character and quality of water, water and lives, air around us, temperature and the movement of air	Used Objective as lesson plans	40	30

4. นำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อ ตรวจสอบ ความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม และความถูกต้องของการใช้ภาษา

5. นำแบบทดสอบเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญชุดเดิม เพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบโดยการประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมเป็นรายข้อ

6. นำแบบทดสอบที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินแล้วมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยใช้สูตร IOC มีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ให้คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดไม่ตรงตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

โดยนำผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ของผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 5 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ยเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด โดยถือว่าค่าเฉลี่ย คะแนนตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป เป็นข้อสอบที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหา ผลการประเมิน ค่าความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาของแบบทดสอบกับจุด ประสงค์การเรียนรู้ของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ปรากฏว่ามีค่าความสอดคล้องตั้งแต่ 0.67 – 1.00 ทั้ง 40 ข้อ เมื่อเทียบระดับเกณฑ์คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้

7. นำแบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบ พิมพ์เป็นฉบับจริง นำไปทดลองใช้ (Tryout) กับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนคำโพนทองบริบูรณ์ราษฎร์บำรุง จำนวน 18 คน ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำแบบทดสอบมาหาค่าคุณภาพ โดยให้ 1 คะแนนสำหรับ ข้อที่ตอบถูก และ 0 คะแนนสำหรับข้อที่ตอบผิด นำแบบทดสอบมาวิเคราะห์เป็นรายข้อ เพื่อหาค่าอำนาจจำแนกตามวิธีของเบรนนัน (Brennan) และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้วิธีของโลเวท (Lovett Method) ดังนี้

7.1 ผลการวิเคราะห์พบว่าแบบทดสอบมีค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 0.22 – 0.82 จำนวน 35 ข้อ คัดเลือกไว้จำนวน 30 ข้อ

7.2 นำแบบทดสอบที่คัดเลือกแล้วมาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ ปรากฏว่าได้ค่าความเชื่อมั่น (r cc) 0.82

8. พิมพ์เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับจริง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัย และแบบวัดความพึงพอใจของนักเรียน กับการพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรัฐวิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูล ดำเนินการทดลอง ดังนี้ ผู้วิจัยนำหนังสือ ไปเสนอต่อผู้บริหารโรงเรียน เพื่อขออนุญาตทดลองเก็บรวบรวมข้อมูล โดยดำเนินการสอนด้วยตนเอง ก่อนทดลองผู้วิจัยนำแบบทดสอบก่อนเรียนทดสอบกับนักเรียน และตรวจเก็บคะแนนไว้ เมื่อดำเนินการสอนเสร็จแล้ว ผู้วิจัยให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ทำแบบทดสอบ

หลังเรียนและทำแบบวัดความพึงพอใจ ตรวจสอบแล้วนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติพื้นฐาน ได้แก่

1.1 ร้อยละ (Percentage)

$$p = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ

p แทน ร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

1.2 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) โดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ

\bar{X} แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนนักเรียน

1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) มีสูตรดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 106)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ

S.D แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละตัว

N แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

\sum แทน ผลรวม

2. สถิติในการหาคุณภาพของเครื่องมือ

2.1 การตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบ

2.1.1 หาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของ

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยหาค่าความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยใช้สูตร IOC (Index of Item Objective Congruence) ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ

IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

$\sum R$ แทน ผลรวมระหว่างคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

2.1.2 การคำนวณหาค่าระดับความยาก (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 84)

$$p = \frac{R}{N}$$

- p แทน ระดับความยาก
- R แทน จำนวนผู้ตอบถูกทั้งหมด (ซึ่งเท่ากับ Ru + RI)
- N แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ

2.1.3 การหาค่าอำนาจจำแนก (Discrimination) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้สูตร Brennan

$$B = \frac{U}{n_1} - \frac{L}{n_2}$$

- เมื่อ B แทน ค่าอำนาจจำแนก
- U แทน จำนวนผู้สอบผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก
- L แทน จำนวนผู้สอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก
- n₁ แทน จำนวนผู้สอบผ่านเกณฑ์
- n₂ แทน จำนวนผู้สอบไม่ผ่านเกณฑ์

2.1.4 การหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้วิธีการของ Lovett (บุญชม ศรีสะอาด. 2545 : 96)

$$r_{cc} = 1 - \frac{k \sum X_i - \sum X_i^2}{(k-1) \sum (X_i - C)^2}$$

- เมื่อ r_{cc} แทน ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
- k แทน จำนวนข้อสอบ
- X_i แทน คะแนนของแต่ละคน
- C แทน คะแนนเกณฑ์หรือจุดตัดของแบบทดสอบ

2.1.5 หาประสิทธิภาพของหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ตามเกณฑ์ 80/80 โดยใช้สูตร E₁/E₂ ดังนี้

$$E_1 = \frac{\sum X}{A} \times 100$$

- เมื่อ E₁ แทน ประสิทธิภาพของกระบวนการ
- Σx แทน คะแนนรวมของแบบทดสอบหลังเรียน ด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน
- A แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน
- N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

$$E_2 = \frac{\sum X}{B} \times 100$$

- เมื่อ E₂ แทน ประสิทธิภาพผลลัพธ์
- Σx แทน คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน
- B แทน คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

2.1.6 หาดัชนีประสิทธิผลของหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 (E.I.)

$$E.I = \frac{\text{ผลรวมคะแนนทดสอบหลังเรียน} - \text{ผลรวมคะแนนทดสอบก่อนเรียน}}{(\text{คะแนนเต็ม} \times \text{จำนวนนักเรียน}) - \text{ผลรวมคะแนนทดสอบก่อนเรียน}}$$

3. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้สูตร t-test (Dependent Sample)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{(n-1)}}}$$

- เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤติ
- D แทน ค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน
- n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือจำนวนคู่คะแนน

สรุปผลการวิจัย

1. หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.47/88.15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80
2. ดัชนีประสิทธิผลของหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีค่าดัชนีประสิทธิผล

- เท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็น ร้อยละ 73.33
3. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- ตอนที่ 3 วิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ตามขั้นตอน ดังตาราง 2

Table 2 The comparison the Pre and post of learning achievement of students by using Supported Reading Books with Sorapanya Rhythm in learning of Prathom Suksa 3, Science Department.

Learning Achievement	N	\bar{X}	S.D.	t	Sig
Pre	18	16.66	2.25	-30.665	.000*
Post	18	26.44	1.25		

* Significant in Statistics at the level of .05

จากตาราง 2 พบว่านักเรียนที่เรียนรู้โดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. ความพึงพอใจของนักเรียนต่อหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยรวมมีความพึงพอใจค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.36 อยู่ในระดับมาก

อภิปรายผล

จากผลการสอนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ได้สรุปผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.47/88.15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 สอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาแผนการเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะและหนังสือส่งเสริมการอ่าน เรื่องมาตราตัวสะกด กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ผลจากการศึกษาจาก

การศึกษาค้นคว้าพบว่าแผนการเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะและหนังสือส่งเสริมการอ่านเรื่องมาตราตัวสะกด มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 85.33/86.43⁵ สอดคล้องกับผลการ

จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบบูรณาการ กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย โดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน เรื่องการสร้างหนังสือส่งเสริมการอ่านเพื่อพัฒนาทักษะการอ่านวิชาภาษาไทยกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทยชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านหินแห่เสริมศิลป์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามหาสารคาม เขต 1 ที่มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 91.61 สูงกว่าเกณฑ์⁶ และสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่านประกอบการจัดกิจกรรมแบบบูรณาการ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ภาษาไทยโดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่านประกอบการจัดกิจกรรมแบบบูรณาการ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 85.24/89.16³ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก

การพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 เป็นหนังสือที่มีเนื้อหาครอบคลุม ชัดเจน ถูกต้อง เมื่อนักเรียนได้อ่านแล้วเกิดองค์ความรู้ มีความสนุกสนานในการได้ขับร้องเป็นทำนองสรภัญญะ เพราะความเคยชินของนักเรียนในการอ่านหนังสือแบบเดิม คืออ่านแบบร้อยแก้วทั่วไป ทำให้นักเรียนเกิดการเบื่อหน่ายไม่ยอมอ่านหนังสือ แต่เมื่อได้เรียนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 นักเรียนเกิดความตื่นตัวอยากรู้ อยากเห็น นักเรียนขับร้องอย่างตั้งใจ ทำให้จดจำเนื้อหาได้อย่างดี การขับร้องในกลุ่มเพื่อนที่ขับร้องเก่งสามารถเป็นผู้นำให้เพื่อน

ได้เป็นอย่างดี หนังสือแล้วในคู่มือยังมีเนื้อหากิจกรรมหลากหลายที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนจะได้นำความรู้ที่ได้จากหนังสือไปใช้ทำกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีคุณภาพ ประสิทธิภาพ ในกระบวนการเรียนรู้ ชั้นที่ 3 ชั้นสำรวจและค้นคว้า (Exploration Phase) นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าหนังสือ และมีใบงานสำหรับนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงและทำกิจกรรมต่างๆ ที่หลากหลาย เช่น การทดลอง การสังเกต การบันทึกข้อมูล การสรุปผล หนังสือส่งเสริมการอ่าน ที่มีงานศิลปะมีภาพประกอบให้อารมณ์แก่ผู้อ่านจริงๆ การใช้สีสันทันทีกับเด็ก และมีเนื้อหาวิทยาศาสตร์สมบูรณ์ครบถ้วน ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้หนังสือส่งเสริมการอ่านโดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียนมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2. ดัชนีประสิทธิผลของหนังสือส่งเสริมการอ่านโดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 73.33 สอดคล้องกับสมสทธิ ไพศาล (2548 : 58-87) ได้ศึกษาการพัฒนาแผนการเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะและหนังสือส่งเสริมการอ่าน เรื่องมาตราตัวสะกด กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ผลจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการเรียนรู้เท่ากับ .7294 นั่นคือนักเรียนมีความก้าวหน้าคิดเป็นร้อยละ 72.94⁵ และสอดคล้องกับการสร้างหนังสือประกอบการเรียนภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง "เที่ยวเมืองสามชัย" มีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.7254⁷ และสอดคล้องกับการศึกษาผลการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่านประกอบการจัดกิจกรรมแบบบูรณาการ พบว่า มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.8030 แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนร้อยละ 80.30 และ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก

หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 กับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น โดยมีการตอบคำถามตามเนื้อหาหนังสือส่งเสริมการอ่าน การนำความรู้จากหนังสือส่งเสริมการอ่านไปทำกิจกรรม เช่น ทำใบงาน การทดลอง ในกระบวนการเรียนรู้ มีความเหมาะสม เกิดองค์ความรู้แก่นักเรียน สอดคล้องกับผลการวิจัยดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้นกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่วิเคราะห์จากคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีค่าเท่ากับ 0.7201 แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ร้อยละ 72.01⁸

สอดคล้องกับดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการจัดกิจกรรมแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น เท่ากับ 0.7253⁹ และสอดคล้องกับดัชนีประสิทธิผลของการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ชั้น ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.65 คิดเป็นร้อยละ 65.00¹⁰ หนังสือส่งเสริมการอ่านที่น่าสนใจในเรื่องวิทยาศาสตร์ได้อย่างลงตัว ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด จึงทำให้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 รวมกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น มีดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนร้อยละ 73.33 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีกระบวนการกลุ่มให้นักเรียนได้ช่วยกันในการช่วยกันทำนองสรภัญญะ นำความรู้ไปทำงาน ปรีกษาหาหรือ คนเรียนเก่งช่วยเหลือคนเรียนปานกลางและเรียนอ่อน มีการทดสอบความรู้ด้วยการทำใบงาน ทำแบบทดสอบท้ายกระบวนการเรียนการสอนการนำความรู้ในหนังสือส่งเสริมการอ่าน ทำการทดลอง ทำใบงาน นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทั้งยังมีคำถามที่สร้างความสนใจโดยคำถามใช้ถามประกอบการได้สังเกตรูปภาพที่น่าสนใจ ทำให้นักเรียนตื่นตัวกับการได้ทำงานในเนื้อหาสาระการเรียนรู้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ทำให้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ร้อยละ 73.33 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 เป็นหนังสือส่งเสริมการอ่านที่เป็นเรื่องไม่ยาวจนเกินไป สนุก มีการวางโครงเรื่องและดำเนินเรื่องน่าสนใจ ในหนังสือมีเนื้อหาเหมาะสมไม่มากเกินไป แทรกรูปภาพอาเขียนทำให้นักเรียนสนใจอยากเรียนรู้อ่านเรื่องได้มีความกระชับน่าติดตาม เป็นเนื้อหาที่ร้อยรัดเข้ากับสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์อย่างลงตัว ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ทำให้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7333 แสดงว่านักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ร้อยละ 73.33 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับนักเรียนที่เรียนโดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่านประกอบการจัดกิจกรรมบูรณาการ

มีผลการเรียนรู้ในด้านทักษะการฟัง การพูด การอ่าน และการเขียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05³ และสอดคล้องกับคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนภาษาไทยแบบมุ่งประสบการณ์ทางภาษาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และแบบฝึกทักษะการสอนภาษาไทยแบบมุ่งประสบการณ์ทางภาษา เรื่อง เทียบงานพนมรุ่ง มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05¹¹ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียน วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 นักเรียน ได้รับความรู้ อย่างหลากหลายในสารະการเรียนวิทยาศาสตร์ เพราะมี เนื้อหาที่ร้อยเรียงกันให้คล้องจองตามเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์ พร้อมมีภาพประกอบที่เหมาะสมกับเนื้อหา สีสันสดใสสวยงาม ข้อความไม่มากจนเกินไป ทั้งยังได้ขับร้องเป็นทำนอง สรภัญญะที่มีทำนองตามท้องถิ่นของนักเรียนจึงทำให้จดจำ เนื้อหาสาระการเรียนวิทยาศาสตร์ได้อย่างดี ในหนังสือ ส่งเสริมการอ่านที่เรียนตามรูปแบบการสอนแบบวัฏจักรการ เรียนรู้ 7 ชั้น นั้นมีกิจกรรมที่หลากหลายทำให้นักเรียนมีความ สนใจที่จะเรียนรู้ โดยขั้นที่ 1 ตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation Phase) นักเรียนได้ตรวจสอบความรู้เดิมของตนเองโดยการ คิดตอบคำถามตามประสบการณ์ หรือจากการศึกษาจากสื่อ ต่างๆ ขั้นที่ 2 ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement Phase) เป็นการใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนได้สังเกตภาพและตอบ คำถาม ขั้นที่ 3 ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration Phase) นักเรียนทำกิจกรรมที่สร้างความเข้าใจเพื่อการศึกษาเก็บ รวบรวมข้อมูล ขั้นที่ 4 ขั้นอธิบาย (Explanation Phase) นักเรียนได้ตอบคำถามเพื่ออธิบายและวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นที่ 5 ขั้นขยายความคิด (Expansion Phase/Elaboration Phase) นักเรียนได้นำความรู้ไปเชื่อมโยงกับกิจกรรม ขั้นที่ 6 ขั้น ประเมินผล (Evaluation) นักเรียนนำความรู้จากการศึกษามา ประเมินผล ขั้นที่ 7 ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension Phase) นักเรียนสรุปผลร่วมกันเพื่อนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิต ประจำวัน ซึ่งการเรียนรู้อย่างนี้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น ทำให้นักเรียนได้รับความรู้อย่างเต็มศักยภาพ จากการศึกษาค้นคว้า การสังเกต ปฏิบัติจริง ทดลอง ตอบคำถาม การทำงานกลุ่ม การทำใบงาน ใบความรู้ และอื่นๆ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมา ทั้งหมดนี้ จึงทำให้นักเรียนที่เรียนหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียน วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .05 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะ ประกอบการเรียน สารະการเรียนวิทยาศาสตร์ ชั้นประถม

ศึกษาปีที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เพราะ หนังสือส่งเสริมการอ่านมีเนื้อหาถูกต้องตรงตามหลักสูตร มี จำนวนหน้าที่เหมาะสม ตัวหนังสือขนาดเหมาะสม สีสัน สวยงาม มีรูปภาพที่ตรงตามเนื้อหาสาระ ทั้งยังนำหนังสือ ส่งเสริมการอ่านนี้ไปสอนตามการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการ เรียนรู้ 7 ชั้น ยิ่งทำให้นักเรียนมีองค์ความรู้ที่คงทน เพราะการ จัดการเรียนรู้อย่างนี้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น มีขั้นตอนการตรวจ สอบความรู้พื้นฐานเดิมของนักเรียน ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียน สามารถเชื่อมโยงข้อคำถามจากการตรวจสอบเข้าสู่เนื้อหาใน กิจกรรมขั้นต่อไปได้เป็นอย่างดี และในขั้นตอนสุดท้ายของ การจัดการเรียนรู้ จะมีการนำความรู้ที่ได้เรียนมาไปประยุกต์ ใช้ด้วย เป็นการส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้ที่คงทน เข้าใจใน เนื้อหาสาระได้ดียิ่งขึ้น¹² ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จึง ทำให้นักเรียนที่เรียนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียน วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีผลสัมฤทธิ์ทางการ เรียน หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .05

3. ความพึงพอใจจากการใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียน วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยรวมมีค่าเฉลี่ย(\bar{X}) เท่ากับ 4.29 อยู่ในระดับมาก โดยรวมมีค่าเฉลี่ย(\bar{X}) เท่ากับ 4.29 อยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับผลการศึกษาคความพึงพอใจ ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น สารະการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยรวมอยู่ในระดับมาก¹³ สอดคล้องกับงานวิจัยของอรไท อานนทสกุล (2547 : บทคัดย่อ) การพัฒนาหนังสือและแบบฝึกทักษะวิชาภาษาไทย ประกอบการสอนแบบมุ่งประสบการณ์ภาษา เรื่องหมีใหญ่กับ หมาป่า สำหรับนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 จากผลการ ศึกษาพบว่า มีความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยการสอนแบบมุ่ง ประสบการณ์ภาษาอยู่ในระดับมาก¹⁴ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจาก

3.1 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนอง สรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียนวิทยาศาสตร์ ชั้น ประถมศึกษาปีที่ 3 เนื้อหาเหมาะสมเป็นกิจกรรมแปลกใหม่ น่า เรียน มีรูปแบบที่สวยงามน่าเรียน หนังสือส่งเสริมการอ่านช่วย ให้มีเจตคติที่ดีต่อสารະการเรียนวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุผลที่ กล่าวมาทั้งหมดนี้ จึงทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจ ในระดับ มาก

3.2 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนอง สรภัญญะประกอบการเรียน สารະการเรียนวิทยาศาสตร์ ชั้น ประถมศึกษาปีที่ 3 เป็นหนังสือที่เสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์ มีขนาดตัวอักษรเหมาะสม มีรูปภาพเหมาะสม สีสันสวยงามมี

จำนวนหน้าที่เหมาะสม ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จึงทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก

3.3 หนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 มีความน่าสนใจทำให้นักเรียนเกิดการใฝ่เรียนรู้ ได้ขบร่องทำนองสรภัญญะอย่างมีความสุขและได้รับความรู้ มีความสมบูรณ์ครบถ้วนเนื้อหา สาระการเรียนรู้ตรงตามหลักสูตร ทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก

แสดงให้เห็นว่าหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้ที่นักเรียนไม่เบื่อหน่าย มีความแปลกใหม่ในการเรียนรู้ในการเรียนรู้โดยการขบร่องเป็นบทกลอนที่มีความคล้องจองทำให้จดจำเนื้อหาสาระได้ดีมาก สามารถนำความรู้ไปใช้ทำกิจกรรมต่างๆ ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างเต็มศักยภาพ ซึ่งการเรียนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่านนี้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น ทำให้นักเรียนได้รับองค์ความรู้ที่คงทน เกิดความสมบูรณ์ของการเรียนหนังสือส่งเสริมการอ่าน ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ มีดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7333 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมากนั่นเอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับนำไปใช้ สำหรับครู

1. ครูจะจัดการเรียนการสอนโดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน ควรให้มีความรู้ความเข้าใจ และหลักการใช้หนังสือส่งเสริมการอ่านก่อน แล้วจัดให้ผู้เรียนทุกคนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการปฏิบัติด้วยตนเองในการใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน

2. ในการเรียนการสอนสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ครูต้องจัดกิจกรรมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ควรจัดกิจกรรมให้นักเรียนเกิดความสนุกสนานมีหลายรูปแบบ เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจที่จะเรียนรู้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทางการศึกษา เช่น โรงเรียนใกล้เคียง กลุ่มโรงเรียนเครือข่าย สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ควรมีกาส่งเสริมให้นำหนังสือมาใช้ในโรงเรียนต่างๆ โดยการจัดกิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับการพัฒนาหนังสือส่งเสริมการอ่าน หนังสือประกอบการเรียน หนังสืออ่านเพิ่มเติม เป็นต้น

3. ครูผู้สอนชั้นประถมศึกษา ปีที่ 3 ที่มีปัญหาการเรียนการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ควรนำการ

สอนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 นี้ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน

4. ครูผู้สอนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ที่มีปัญหาการเรียนการสอนกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย คณิตศาสตร์ สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม หรือสาระการเรียนรู้อื่นๆ ควรนำการสอนด้วยหนังสือส่งเสริมการอ่าน โดยใช้ทำนองสรภัญญะประกอบการเรียน สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 หรือชั้นเรียนอื่นๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาภาพสินธุ์ เขต 3 ผู้บริหารและคณะครูโรงเรียนคำโพนทองบริบูรณ์ราษฎร์บำรุง ผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน และขอขอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา และบูรพาจารย์ตลอดจน ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. กรมวิชาการ. การจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.
2. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และคำที่นำไปสู่ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา : ลาดพร้าว, 2551.
3. อรดิชา อังกระโทก. ผลการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้หนังสือส่งเสริมการอ่าน ประกอบการจัดกิจกรรมแบบบูรณาการ. การศึกษา ค้นคว้าอิสระ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553
4. จริญญา ปะวะภูชะโก. ผลการจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่องพลังงาน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2. ศึกษาค้นคว้า กศ.ม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553.
5. สมสนิท ไพศาล. การพัฒนาการเรียนรู้อยู่โดยใช้แบบฝึกทักษะและหนังสือส่งเสริมการอ่าน เรื่อง มาตรการตัวสะกดกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2548.
6. หงส์สา ดวงจันทร์โชติ. การสร้างหนังสือส่งเสริมการอ่าน เพื่อพัฒนาทักษะการอ่านวิชาภาษาไทยกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านหิน

- แห่งเสริมศิลป์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามหาสารคาม เขต 1. ค.ม.(หลักสูตรและการสอน มหาสารคาม. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2548.
7. อรุณี จิรมหาศาล. การสร้างหนังสือส่งเสริมการอ่าน ประกอบการเรียนภาษาไทย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง เที้ยวเมืองสามชัย. การศึกษาค้นคว้าอิสระ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2550.
 8. ณัฐญาณี ไชยปัญญา. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ วัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น เรื่องบรรยากาศ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1. การศึกษาค้นคว้าอิสระ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553.
 8. บุศรินทร์ ห่าวหาญ. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ วัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น เรื่อง พลังงานความร้อน กลุ่ม สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. ศึกษา ค้นคว้าอิสระ กศ.ม.มหาสารคาม : มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 2554.
 10. น้ำฝน ศรีสม. การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชา วิทยาศาสตร์ เรื่อง วัสดุรอบตัวเรา ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ชั้น. การศึกษาค้นคว้า กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,2555.
 11. บังอร แก่นจันทร์. การพัฒนาหนังสือเรียนและ แบบฝึก เสริมทักษะประกอบการสอนภาษาไทยแบบมุ่ง ประสพการณ์ทางภาษา ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2. วิทยานิพนธ์ ค.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคาม, 2544.
 12. รุจภา ประถมวงศ์. การเปรียบเทียบความสามารถในการ วิเคราะห์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ เรื่อง สารในชีวิตประจำวันของนักเรียน ชั้น ประถมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ วัฏจักรการเรียนรู้ 5 ชั้น (5E) กับการจัดการเรียนรู้แบบ วัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น. งานวิจัย กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัย, 2551.
 13. สุวคนธ์ ผ่านสำแดง. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ วัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น (7E) เรื่อง อาหารและสารอาหาร กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ศึกษา ค้นคว้า กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 2552.
 14. อรไท อานนทกุล. การพัฒนาหนังสือเรียนและแบบฝึก ทักษะวิชาภาษาไทยประกอบการสอนแบบมุ่ง ประสพการณ์ภาษา เรื่องหมีใหญ่กับหมาป่า สำหรับ นักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2.วิทยานิพนธ์ ค.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม,2547.

แอล-คาร์นิทีนกับการออกกำลังกาย

L-Carnitine and Exercises

สุพัฒน์ ภาณุวาทกุล¹, ณภัทสรณ ธนาพงษ์อนันต์²

Suphat Panuwatakul¹, Napatsawan Thanaponganan²

Received: 6 July 2014 ; Accepted: 30 September 2014

บทคัดย่อ

แอล-คาร์นิทีนเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญในการเปลี่ยนไขมันให้เป็นแหล่งพลังงาน แอล-คาร์นิทีนถูกสร้างขึ้นในร่างกายพบได้ที่ตับและไตโดยสร้างมาจากกรดอะมิโน 2 ตัว คือ ไลซีน และเมไทโอนีน และแอล-คาร์นิทีนในร่างกายถูกใช้ไปในหน้าที่ต่างๆ เช่น ช่วยเพิ่มกระบวนการใช้ไขมันโดยการขนส่งกรดไขมันเข้าไปในไมโทคอนเดรียซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ นอกจากนี้ แอล-คาร์นิทีนยังมีผลต่อศักยภาพในการออกกำลังกายและความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของออกซิเดชันที่เกี่ยวกับการแยกกรดอะมิโนและการกระตุ้นการทำงานของไพรูเวต ดีไฮโดรจีเนสที่ซับซ้อน นักกีฬาบริโภคแอล-คาร์นิทีนเพราะมีความเชื่อว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกีฬาและชะลอความเมื่อยล้าอันเป็นผลมาจากการกระตุ้นของการเกิดออกซิเดชันของไขมันและการเก็บรักษาไกลโคเจน

คำสำคัญ : แอล-คาร์นิทีน การออกกำลังกายระบบภูมิคุ้มกัน

Abstract

Carnitine is a quaternary ammonium compound biosynthesized from the amino acids lysine and methionine in the liver and kidney. L-Carnitine in the body is used for other functions. For example it is well established that in case of Carnitine deficiency, L-carnitine loading adjusts long chain fatty acid metabolism and their entry into the mitochondria. In addition L-carnitine has a potential effect on exercise capacity and activation of branched amino acid oxidation and stimulation of pyruvate dehydrogenase complex. Athletes consume L-carnitine under the illusion that it would enhance athletic performance and delay fatigue as a result of stimulation of fat oxidation and glycogen storage.

Keywords: L-Carnitine, exercise, immunity

บทนำ

การออกกำลังกายและการรับประทานผลิตภัณฑ์ที่ช่วยเสริมสร้างสุขภาพ หรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยเฉพาะในหมู่ผู้ที่สนใจดูแลสุขภาพ ในส่วนผู้ที่นิยมออกกำลังกายเป็นประจำจะรับประทานผลิตภัณฑ์เสริมอาหารมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกาย ลดความเมื่อยล้าขณะออกกำลังกาย แอล-คาร์นิทีนนั้นนับว่าเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่ร่างกายสามารถสร้างขึ้นตามธรรมชาติโดยปกติใน

ร่างกายของมนุษย์สามารถสร้างแอล-คาร์นิทีนได้จำนวนเล็กน้อยประมาณ 20-25 มิลลิกรัม โดยผลิตที่ตับและไต และมีการสังเคราะห์จากกรดอะมิโน 2 ชนิดคือ ไลซีน (Lysine) และเมไทโอนีน (Methionine) พร้อมกับอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการสังเคราะห์ ได้แก่ Niacin, Vitamin B6, Vitamin C และธาตุเหล็ก เมื่อผ่านเข้าสู่ร่างกายแอล-คาร์นิทีนจะกระจาย (Distribution) ไปอยู่ในเนื้อเยื่อมากกว่าในเลือด โดยเฉพาะกล้ามเนื้อลายและกล้ามเนื้อหัวใจ จากนั้นจะถูกขับออกจาก

¹ นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬาภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² อาจารย์, ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Graduate Students, Major of Exercise Science and Sport, Department of Health and Sport Science, Faculty of Education, Mahasarakham University

² Lecturer, Department of Health and Sport Science, Faculty of Education, Mahasarakham University

ร่างกายทางปัสสาวะและถุงน้ำดี แอล-คาร์นิทีนเป็นกรดอะมิโนที่ช่วยเปลี่ยนไขมันที่สะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของร่างกายให้กลายเป็นพลังงาน แอล-คาร์นิทีนจึงมีฤทธิ์เป็นตัวเผาผลาญไขมัน (Fat Burner) โดยจะไปลดระดับของโคเลสเตอรอล (Cholesterol) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นไขมันอันตราย ที่จะไปอุดตันทางเดินของเลือดในเส้นเลือด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นเลือดในสมอง และเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจ อันเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตจากเส้นเลือดในสมองแตก และเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจอุดตันดังนั้นแอล-คาร์นิทีน จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหัวใจ (Cardiac Performance) ได้เป็นอย่างดี และสามารถเพิ่มผลสำเร็จของการแข่งขันกีฬา (Athletic Performance) ได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

รูปแบบทางชีวเคมีของแอล-คาร์นิทีน

การขนส่งกรดไขมันถูกส่งไปยังผนังเซลล์ของไมโทคอนเดรียเพื่อผลิตพลังงานในกระบวนการสลายกรดไขมันในรูปของโมเลกุลเอซิลโคเอที่พบภายในไมโทคอนเดรีย ซึ่งส่วนประกอบของสารตั้งต้นจะผลิตพลังงานในกล้ามเนื้อ โดยไม่สามารถถ่ายทอดไปยังผนังเซลล์ของไมโทคอนเดรียได้ แต่อย่างไรก็ตามหลังจากมีการรวมตัวกับโคเอนไซม์เอและเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอ กลายเป็นแอล-คาร์นิทีนอะซิติลโคเอ จะถูกเปลี่ยนเป็นซิติล ซึ่งแอล-คาร์นิทีนจะอยู่ในรูปของอะซิติลแอล-คาร์นิทีนเป็นกรดไขมันอย่างง่ายเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย อะซิติลและแอล-คาร์นิทีนภายในไมโทคอนเดรียจะกลับมาเป็นอะซิติลโคเอ อีกครั้ง และกลายเป็นแอล-คาร์นิทีนที่ถูกส่งออกไปยังไมโทคอนเดรียโดยเริ่มทำงานร่วมกับการสังเคราะห์อะซิติลโคเอเข้าสู่วัฏจักรเครปเพื่อใช้ในกระบวนการสลายกรดไขมันในรูปของโมเลกุลเอซิลโคเอในไมโทคอนเดรีย² นอกจากการขนส่งกรดไขมันเข้าสู่ไมโทคอนเดรียแล้วพบว่าแอล-คาร์นิทีนจะช่วยส่งเสริมการสลายกรดไขมันเพื่อแยกกรดคีโตและมีการยับยั้งป้องกันเซลล์ในการสะสมของอะซิติลโคเอแอล-คาร์นิทีนชนิดที่ 1 Carnitinepalmitoyltransferase (CPT1) และ Carnitinepalmitoyltransferase2 (CPT2) จะถูกแทนที่ด้วยเยื่อหุ้มด้านในและด้านนอกของไมโทคอนเดรีย CPT1 จะถูกกระตุ้นสูงสุดและมีการสลายไขมันเป็นตัวควบคุมความเร็วมาโลนิลโคเอเป็นตัวแรกของการสังเคราะห์กรดไขมันและเป็นสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพทางร่างกายแอล-คาร์นิทีน palmitoyltransferase ชนิดที่ 1 เมื่อมีแหล่งพลังของเซลล์ (ATP) เพียงพอจะเพิ่มอะซิติลโคเอในวัฏจักรเครป ดังนั้นกระบวนการสลายของไขมันลดลงและเร่งการสร้างกรดไขมันเพื่อสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์ในกระบวนการสลายและการสังเคราะห์กรดไขมันโดยแอล-คาร์นิทีนประกอบด้วยมาโลนิลโคเอภายใต้คีโตนิค เมื่อมีการลดคาร์โบไฮเดรต

อัตราส่วนของกลูคาร์กอนของพลาสมาในอินซูลินลดลง มาโลนิลโคเอจะเพิ่มความเข้มข้นในการสังเคราะห์กรดไขมันที่มากขึ้นและลดอัตราการเกิดการสลายของกรดไขมันลงในเวลาเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามการเกิดโรคเบาหวานเมื่ออัตราอินซูลินในเลือดสูงกลูคาร์กอนสูง ระดับของมาโลนิลโคเอจะลดต่ำลงและระดับแอล-คาร์นิทีนที่ต่ำจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงครั้งนี้จะนำไปสู่การลดลงของการสังเคราะห์กรดไขมันเป็นผลให้ Carnitinepalmitoyltransferase ถูกกระตุ้นเพื่อให้เกิดการสลายของกรดไขมัน³ เมื่อแอล-คาร์นิทีนไม่เพียงพอต่อร่างกาย (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรคขาดแอล-คาร์นิทีนแต่กำเนิด) การลดลงของแอล-คาร์นิทีนทำให้ปริมาณของกรดไขมันที่ส่งไปยังไมโทคอนเดรียต่ำลง และนำไปสู่การลดลงในการผลิตพลังงานเบต้าออกซิเดชันไม่เพียงพอ ซึ่งกรดไขมันที่สะสมอยู่ในไซโตพลาสซึมหรือภายนอกไมโทคอนเดรียสร้างความเครียด นอกจากนี้แอล-คาร์นิทีนได้รับการระบุว่า เป็นสารที่ช่วยในการเผาผลาญอาหารและต้านอนุมูลอิสระ

มุมมองด้านระบบภูมิคุ้มกัน

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลต่อการหายใจระดับเซลล์จะลดลงบางส่วนและมีการสร้างปฏิกิริยากับโปรตีนไขมัน และดีเอ็นเอที่เรียกว่าอนุมูลอิสระ ซึ่ง Davies RL, Weintaub AB.⁴ พบว่าความสามารถของการออกกำลังกายกับความเหนื่อยล้ามีการเพิ่มอนุมูลอิสระในระดับและกล้ามเนื้อ ซึ่งส่วนใหญ่อนุมูลอิสระจะเป็นผลทำลายไมโทคอนเดรียของโครงสร้างดีเอ็นเอได้โดยตรง ซึ่งเกิดขึ้นที่ปอด ผิวหนัง กระเพาะอาหารและต่อมลูกหมาก ทำให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์เกิดการทำลายชิ้นส่วนเซลล์อื่น ๆ กลายเป็นมะเร็ง โดยจะทำลายไลโซโซม ผนังเซลล์และไมโทคอนเดรีย นอกจากนี้ Flanagan JL, Simmons PA, Mark JV, Willcox DP, Garrett Q.⁵ ได้กล่าวว่า การขาดแอล-คาร์นิทีนอาจทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย เช่น โรคเบาหวาน โรคโลหิตเป็นพิษ โรคกล้ามเนื้อหัวใจ โรคขาดสารอาหารโรคตับแข็งและโรคระบบต่อมไร้ท่อต่างๆ การเสริมอาหารทางโภชนาด้วยแอล-คาร์นิทีนจะช่วยบรรเทาอาการในผู้ป่วย และสามารถนำมาบรรเทาอาการปวดของระบบประสาท นอกจากนี้ยังเป็นภูมิคุ้มกันในผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ขาดแอล-คาร์นิทีน ส่วนทางด้านคลินิกได้นำแอล-คาร์นิทีนมาใช้ในผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของระบบประสาท เช่น โรคความจำเสื่อม โรคสมองจากตับ (ภาวะที่ผู้ป่วยเกิดมีอาการทางสมอง ได้แก่ สับสนซึมเศร้าและโคม่าซึ่งเป็นผลจากภาวะตับวาย) และแอล-คาร์นิทีนได้รับการยอมรับว่าเป็นอาหารเสริมในผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจ และมีหลักฐานเพิ่มว่าการเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนอาจเป็นประโยชน์

ในการรักษาโรคอ้วนอีกด้วย อีกทั้ง Joaquin A, Juan C, Rubio MA, Martin, Yolanda Campos.⁶ ได้ทำการศึกษากับผู้สูงอายุ พบว่าแอล-คาร์นิทีนมีความสามารถป้องกันอันตรายที่เกิดจากอนุมูลอิสระภายในเซลล์ทั้งนี้เนื่องจากแอล-คาร์นิทีนมีบทบาทสำคัญในการปกป้องร่างกายและไมโทคอนเดรียจากอนุมูลอิสระนอกจากนี้ยังช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันร่างกายของผู้สูงอายุ เมื่ออายุมากขึ้นความสามารถในการสร้างแอล-คาร์นิทีนของร่างกายจะลดลง ประกอบกับผู้สูงอายุมักจะรับประทานเนื้อสัตว์น้อย ทำให้ได้รับแอล-คาร์นิทีนไม่เพียงพอ นอกจากนี้ผู้สูงอายุยังมีอัตราการเผาผลาญไขมันในร่างกายช้า และสูญเสียโปรตีนในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมากทำให้มวลกล้ามเนื้อลดลงในขณะที่ปริมาณไขมันสะสมมีมากขึ้น แอล-คาร์นิทีนจะทำหน้าที่ช่วยเผาผลาญไขมันดังกล่าวให้กลายเป็นพลังงาน แอล-คาร์นิทีนจึงเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับสุขภาพของผู้สูงอายุ ซึ่งสอดคล้องกับ Bai YY, Sun L, Liu JH, Sun RT⁷ ที่ระบุประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนกับโรคที่เกิดกับหัวใจ เพราะหัวใจเป็นอวัยวะที่มีความสำคัญของร่างกาย พลังงานที่หัวใจได้รับนั้นได้มาจากกรดไขมันร้อยละ 70 หัวใจจึงเป็นอวัยวะที่มีปริมาณแอล-คาร์นิทีนสูงที่สุด เนื่องจากหัวใจไม่สามารถสร้างแอล-คาร์นิทีนได้เองต้องได้รับจากกระแสเลือด แอล-คาร์นิทีนจึงเป็นสารอาหารสำคัญที่ช่วยสร้างพลังงานให้กับหัวใจ นอกจากนี้แอล-คาร์นิทีนไม่ได้จำกัดเฉพาะการช่วยให้หัวใจมีสุขภาพดีทำงานเป็นปกติ และจะช่วยรักษาระดับไขมันโคเลสเตอรอลในร่างกายให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี นั้นหมายความว่าความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดอุดตันลดลง อีกทั้งสามารถให้ผลเช่นเดียวกันสำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคหัวใจ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจ ไขมันในหัวใจและหัวใจเต้นผิดปกติ แต่อย่างไรก็ตามการรับประทานแอล-คาร์นิทีนเสริมนั้นไม่สามารถทดแทนการรับประทานยาได้

ดังนั้นในอนาคตนอกจากจะทำการศึกษาประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนที่ทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพในการออกกำลังกายสำหรับบุคคลทั่วไปและนักกีฬา เพื่อเพิ่มความทนต่อการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันแล้ว ควรเน้นการศึกษาประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนในการรักษาโรค เพราะเมื่ออายุมากขึ้นความสามารถในการสร้างแอล-คาร์นิทีนของร่างกายจะลดลง ผู้สูงอายุมักจะรับประทานเนื้อสัตว์น้อย ทำให้ได้รับแอล-คาร์นิทีนไม่เพียงพอ นอกจากนี้ผู้สูงอายุยังมีอัตราการเผาผลาญไขมันในร่างกายช้าและสูญเสียโปรตีนในกล้ามเนื้อเป็นจำนวนมาก ทำให้มวลกล้ามเนื้อลดลงในขณะที่ปริมาณไขมันสะสมมีมากขึ้น เป็นสาเหตุที่อาจทำให้เกิดโรค เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดอุดตัน เพื่อเป็นทางเลือกในการป้องกันหรือการรักษาโรคให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น เพื่อพัฒนาให้เป็นนี้

ยอมรับของสากล และศึกษาถึงผลกระทบของแอล-คาร์นิทีน รวมไปถึงกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สอดคล้องกันต่อไป

มุมมองในการออกกำลังกาย

นักกีฬามีความอ่อนล้าในขณะที่ฝึกซ้อมและการแข่งขันอยู่ประจำ ดังนั้นการเสริมสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพมีหลายวิธีหนึ่งในนั้นสามารถปฏิบัติได้โดยการรับประทานอาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เช่น การรับประทานเนื้อสัตว์การเพิ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และการรับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่⁸ จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า แอล-คาร์นิทีนในร่างกายของมนุษย์ได้ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหาร ซึ่งในการแข่งขันของนักกีฬาต้องใช้ความอดทนในการเล่นที่รุนแรง ถ้าร่างกายขาดแอล-คาร์นิทีนกล้ามเนื้อของนักกีฬาจะได้รับการบาดเจ็บจึงจำเป็นต้องมีการเสริมเพื่อเพิ่มแอล-คาร์นิทีนให้กับร่างกาย⁹ สอดคล้องกับ Natali A¹⁰ พบว่าแอล-คาร์นิทีนมีคุณสมบัติในการบำรุงร่างกาย นอกจากนี้ Ozer GE¹¹ ได้ทำการศึกษาผลของแอล-คาร์นิทีนในนักกีฬาฟุตบอลมืออาชีพ พบว่านักกีฬาที่เสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนในปริมาณ 3 กรัม และ 4 กรัม มีความเร็วในการวิ่งดีกว่ากลุ่มทดลองที่เข้าหาลอก และทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง อีกทั้ง Trappe SW, Costill DL, Goopaster B, Vukovich MD, Fink WJ; Huang A, Owen K.^{12,13} ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแอล-คาร์นิทีน พบว่า ช่วยเสริมสร้างความสามารถของนักกีฬา

แอล-คาร์นิทีนมีบทบาทสำคัญในการสันดาปพลังงานให้กับร่างกาย จากหลักฐานพบแอล-คาร์นิทีนมีหน้าที่หลัก 3 ประการ ประการแรกมีความจำเป็นในกระบวนการสลายกรดไขมัน ประการต่อมาช่วยให้ลดกลุ่มเอซิดที่มากเกินไปในโทคอนเดรีย และประการสุดท้ายมีบทบาทสำคัญในการล้างสารพิษให้กับร่างกาย ซึ่งในการทำงานของโครงร่างกล้ามเนื้ออย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาผลาญอาหารในระหว่างการออกกำลังกาย¹⁴ นอกจากนี้ Robert C.¹⁵ ได้ระบุว่า แอล-คาร์นิทีนช่วยเสริมความสามารถของนักกีฬาในการออกกำลังกายจากการสังเคราะห์งานวิจัย 14 ฉบับ พบว่าประชากรจำนวน 305 คน โดยเฉพาะในนักกีฬาจำนวน 110 คน ที่ได้รับการยืนยันว่าแอล-คาร์นิทีนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกายและนักกีฬาอีกจำนวน 70 คนไม่พบผลข้างเคียงที่เป็นอันตราย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อค้นพบจากการศึกษาพบว่านักวิ่งมาราธอนจำนวน 7 คน ที่ได้รับแอล-คาร์นิทีนก่อนการแข่งขันในปริมาณ 2 กรัมต่อกิโลกรัม สามารถวิ่งได้ต่อเนื่องประมาณ 20 กิโลเมตร โดยมีการเพิ่มความเร็วถึง 5.7 เปอร์เซ็นต์ และมีความทนทานต่อการฝึกมากขึ้นตลอดจน

จบการแข่งขัน แม้ว่าพบแอล-คาร์นิทีนเพิ่มมากขึ้นในพลาสมา อีกทั้งพบว่าไม่มีผลต่อฮอร์โมนอินซูลิน คอรัลซอลเอนไซม์ กลูคอร์กอน ในระยะเวลาของการฟื้นตัวโดยข้อสรุประบุว่า การรับประทานแอล-คาร์นิทีนทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงเล็กน้อยในระหว่างการเพิ่มออกซิเจนของการออกกำลังกาย 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบไหลเวียนของเลือดระหว่างการออกกำลังกายมีประสิทธิภาพดีขึ้น แอล-คาร์นิทีนจึงมีผลช่วยในการขยายตัวของเส้นเลือดฝอยเพื่อเพิ่มออกซิเจนในระหว่างออกกำลังกาย และช่วยกระตุ้นในการสร้างเลือดเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนเบาบางที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลนอกจากนี้การรับประทานแอล-คาร์นิทีนในปริมาณ 5 กรัมต่อวันทำให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลง 5-7 เปอร์เซ็นต์ในระหว่างการออกกำลังกายนักวิจัยเชื่อว่าแอล-คาร์นิทีนสามารถลดความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดได้เมื่อเทียบกับอาหารเสริมชนิดอื่น อีกทั้ง Soop M, Bjorkman O, Cederblad G, Hagbenfeldt L, Wahren J.¹⁶ ระบุว่าแอล-คาร์นิทีนไม่มีความสัมพันธ์กับกลไกการทำงานของอินซูลิน ในกระบวนการการเผาผลาญไขมันจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี (LDL-C) และการเพิ่มขึ้นของคอเลสเตอรอลที่ดี (HDL-C) ซึ่งบทบาทของแอล-คาร์นิทีนจะช่วยลดอาการอุดตันของหลอดเลือดแดงโดยเฉพาะโรคหลอดเลือดหัวใจที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการดังที่กล่าวมานอกจากนั้นยังพบว่าแอล-คาร์นิทีนมีผลต่อการลดน้ำหนักโดยจากการศึกษากลุ่มตัวอย่างที่มีอายุระหว่าง 13-17 ปี ซึ่งได้รับแอล-คาร์นิทีนจากอาหารและออกกำลังกายเหมือนกัน แต่กลุ่มทดลองจะได้รับแอล-คาร์นิทีน 2 กรัมต่อวัน เป็นประจำทุกวัน ซึ่งพบว่ากลุ่มทดลองมีน้ำหนักลดลง 5 กิโลกรัม และกลุ่มควบคุมลดลง 0.88 กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องมาจากประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนที่มีบทบาทสำคัญในการเผาผลาญไขมันและมีสารที่สำคัญในการลดน้ำหนักเมื่อรับประทานในปริมาณที่เหมาะสม สอดคล้องกับ Arsenian MA.¹⁷ ทำการศึกษาผู้ที่มีภาวะไขมันผิดปกติในร่างกายและโรคเบาหวานหลังจาก 4 เดือนพบว่าระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ลดลงตามลำดับ 20 เปอร์เซ็นต์และ 28 เปอร์เซ็นต์และความเข้มข้นของคอเลสเตอรอลที่ดี (HDL-C) เพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์

Vecchiet L, Dilisa F, Pierlisi G, Ripari P, Menabo R, Giamberardino MA, Siliprandi N.¹⁸ ระบุว่า แอมโมเนียเป็นผลมาจากการย่อยสลายโปรตีนและมีผลทำให้เกิดความเมื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกายการเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนจะช่วยลดการสะสมของแอมโมเนียในระหว่างการออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาวะที่ร่างกายได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายจะผ่านการกระตุ้นของยูเรียและ

ลดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้แอล-คาร์นิทีนช่วยป้องกันสารพิษที่เกิดจากระดับของแอมโมเนียที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับ Eizadi M, Behbudi L, Shafei M, Afsharmand Z.¹⁹ ระบุว่าแอล-คาร์นิทีนช่วยในการสลายกรดอะมิโนชนิดเพียวรีนที่เป็นตัวก่ออนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าซึ่งการเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนจะทำให้เกิดการสลายของกรดไขมัน เพราะกรดไขมันเป็นแหล่งพลังที่สำคัญของกล้ามเนื้อ ในการออกกำลังกายเป็นเวลานานแอล-คาร์นิทีนมีบทบาทสำคัญในการเผาผลาญไขมันโดยการสลายกรดไขมันขนส่งไปยังไมโทคอนเดรียเพื่อผลิตพลังงาน การเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีน จึงช่วยกระตุ้นการเกิดออกซิเดชันของไขมันในระหว่างการออกกำลังกายและการเก็บรักษาไกลโคเจนไว้ ในการเพิ่มระดับการสลายของกรดไขมันในระหว่างการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับระดับปริมาณของแอล-คาร์นิทีนของร่างกายนอกจากนี้ Brass EP.²⁰ ได้ศึกษางานวิจัยและได้รายงานประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนในการเผาผลาญไขมัน ซึ่งบทบาทของแอล-คาร์นิทีนพบการเผาผลาญไขมันในผู้ป่วยที่มีการขาดแอล-คาร์นิทีนค่อนข้างชัดเจนครั้งแรกที่เคยมีการศึกษาระบุถึงข้อดีของแอล-คาร์นิทีนจะช่วยเสริมสร้างการออกซิเดชันของกรดไขมันในคนที่ขาดแอล-คาร์นิทีน นอกจากนี้ยังศึกษาในนักกีฬาว่ายน้ำที่ฉีดแอล-คาร์นิทีนปริมาณ 1 กรัมและสังเกตเห็นปริมาณของกรดไขมันชนิดไตรกลีเซอไรด์และแลคเตทเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ดี และการศึกษาอื่นพบว่าเมื่อเทียบแอล-คาร์นิทีนกับคาร์โบไฮเดรต แอล-คาร์นิทีนจะมีการเพิ่มออกซิเดชันของไขมันหลังจากการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในการเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนจะลดความสามารถในระบบทางเดินหายใจซึ่งเป็นการเกิดออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นกับคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้การเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนปริมาณ 3 กรัมควบคู่กับการฉีดซีรัม Heparin ไตรกลีเซอไรด์ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบกึ่งระดับสูงสุด จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการบริโภคแอล-คาร์นิทีนในปริมาณ 2 กรัมเป็นประจำทุกวันเป็นเวลา 1 เดือน พบว่านักวิ่งมีความอดทนมากขึ้นมี Reductase Cytochrome, Eeductase Cytochrome Succinate และ Cytochrome Oxidase ในไมโทคอนเดรียเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นการบริโภคแอล-คาร์นิทีนเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมให้ได้ผลที่ดีและมีประโยชน์ขึ้นอยู่กับปริมาณที่รับประทาน และช่วงจังหวะเวลาช่วยเพิ่มอัตราการเกิด Fatty acid oxidation ในกล้ามเนื้อขณะที่ออกกำลังกายได้สรุปการรับประทานแอล-คาร์นิทีนในขนาดที่เหมาะสมคือ 2 กรัมต่อวัน จะช่วยให้กล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพการทำงานและเกิดเมแทบอลิซึมโดยเฉพาะ Fatty acid oxidation

ได้เพิ่มขึ้น แต่การใช้สารทุกอย่างมีทั้งประโยชน์และโทษในตัวเอง ถึงแม้ว่าแอล-คาร์นิทีนจะไม่ปรากฏผลข้างเคียงใดๆ ที่เด่นชัดมากนัก แต่ก็มีความวิจัยแสดงให้เห็นว่าถ้ากินเข้าไปมากขนาด 5 กรัมต่อวัน หรือมากกว่าอาจทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียนได้ ส่วนอาการข้างเคียงอื่นๆ ที่อาจพบได้ เช่น มีความอยากอาหารเพิ่มขึ้น มีกลิ่นตัว และเกิดอาการผื่นแดง สำหรับคนที่มีอาการแพ้ต่ออาหารโปรตีน เช่น ไข่ นม หรือข้าวสาลี ไม่ควรกินผลิตภัณฑ์ที่เสริมแอล-คาร์นิทีนเป็นอันตราย รวมถึงคนที่มีปัญหาเกี่ยวกับตับ และไตหรือเด็กที่มีอายุยังไม่ถึง 2 ขวบ และสตรีมีครรภ์ควรหลีกเลี่ยงการใช้ ถ้าจำเป็นก็ควรอยู่ภายใต้การดูแลของแพทย์

มุมมองด้านกล้ามเนื้อ

แอล-คาร์นิทีนมีความสำคัญต่อระบบกล้ามเนื้อของนักกีฬา เพราะระบบกล้ามเนื้อจัดว่าเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการเคลื่อนไหว และการทำงานของอวัยวะภายใน ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อ เกิดจากการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานทางเคมีเป็นพลังงานกล โดยแอล-คาร์นิทีนมีการสังเคราะห์จากกรดอะมิโน 2 ชนิดคือ Lysine และ Methionine มีโครงสร้างทางเคมี คือ $C_7H_{15}NO_3$ ซึ่งการเสริมด้วยแอล-คาร์นิทีนช่วยลดการสะสมกรดแลคติกส่งผลให้การขัดขวางการเผาผลาญไขมันน้อยลง ทำให้การเผาผลาญไขมันเพิ่มสูงขึ้น²¹ สอดคล้องกับ Wachter S, Vogtm M, Kreis R, Boesch C, Bigler P, Hoppeler H, Kerahenbuh S.²² ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของแอล-คาร์นิทีนในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อในนักกีฬาและคนธรรมดาที่จากการรายงานจะมีลักษณะเหมือนกัน ผลจากการรับประทานแอล-คาร์นิทีนในระหว่างการออกกำลังกายพบว่ากล้ามเนื้อจะมีความอดทนมากเป็นพิเศษ ในการรับประทานแอล-คาร์นิทีนจะขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาของการรับประทานอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนความเข้มข้นซึ่งการดูดซึมได้สูงสุดของแอล-คาร์นิทีนในน้ำเลือดจะเกิดขึ้น 3-5 ชั่วโมง หลังจากการรับประทาน ซึ่งการรับประทานแอล-คาร์นิทีน 1 โมล เป็นเวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์นั้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ แต่จะไปเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเลือด ถึงแม้ว่าความเข้มข้นแอล-คาร์นิทีนจะไม่ทำให้กล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงแต่จะส่งผลกระทบต่อสรีรวิทยาของร่างกาย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานและการออกกำลังกาย ซึ่งพบว่าแอล-คาร์นิทีนมีในกล้ามเนื้อหากรับประทานในระยะเวลายาว ในขณะที่ร่างกายของนักกีฬาได้พักผ่อนระบบกล้ามเนื้อก็ยังมีการสะสมแอล-คาร์นิทีน ซึ่งสะสมอยู่ในรูปของแอล-คาร์นิทีน 80 เปอร์เซ็นต์และอยู่ในรูปของ อะซิติลคาร์นิทีน

20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการออกกำลังกายในระดับปานกลาง (ต่ำกว่าระดับ Threshold จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของแอล-คาร์นิทีนในกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ แต่การออกกำลังกายที่สูงเป็นเวลา 10 นาที จะทำให้แอล-คาร์นิทีนในกล้ามเนื้อถูกแทนที่ด้วย อะซิติลคาร์นิทีน 20-50 เปอร์เซ็นต์ และอีก 45-70 เปอร์เซ็นต์แอล-คาร์นิทีนจะอยู่ในรูปของอะซิติล และได้รับว่าแอล-คาร์นิทีนในกล้ามเนื้อลดลงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในระหว่างการออกกำลังกายนาน 40 นาที ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของความสามารถในการวัดประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้ออกซิเจน (VO_2 Max) และพบความแตกต่างของหลอดเลือดดำ

แอล-คาร์นิทีนจะช่วยเสริมสร้างในเรื่องความทนทานของการออกกำลังกาย ประการแรกคือ ความเข้มข้นของแอล-คาร์นิทีนจะมีอยู่ในกล้ามเนื้อปริมาณที่น้อย จะทำให้อัตราการทำงานของ Acyltransferases สูง และจะเพิ่มอัตราในการสลายของกรดไขมันในระหว่างการออกกำลังกาย ประการต่อมาการรับประทานแอล-คาร์นิทีนจะช่วยเพิ่มปริมาณของแอล-คาร์นิทีนในกล้ามเนื้อ และประการสุดท้ายแอล-คาร์นิทีนจะช่วยเพิ่มอัตราการสลายของกรดไขมันชนิด triacylglycerols ของกล้ามเนื้อในระหว่างการออกกำลังกาย อีกทั้งลดการสลายไกลโคเจนและความเมื่อยล้า ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์ได้แนะนำถึงประโยชน์ของแอล-คาร์นิทีนเพื่อช่วยในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อในระหว่างการออกกำลังกาย ดังนั้นในปัจจุบันมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์มากมายต่างระบุตรงกันว่า การใช้แอล-คาร์นิทีนจะช่วยส่งเสริมเมตาบอลิซึมของกรดไขมันตามกลไกที่กล่าวไว้ข้างต้น และยังช่วยเสริมสร้างกล้ามเนื้อเมื่อมีการออกกำลังกายแบบแอโรบิกส่งผลให้เซลล์เกิดการสลายกรดไขมันไปเป็นพลังงาน ซึ่งจะให้พลังงานหลักแก่เซลล์อย่างต่อเนื่อง และยังช่วยให้นักกีฬามีความทนต่อการฝึกซ้อมและการแข่งขันต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ

สรุป

แอล-คาร์นิทีนมีบทบาทสำคัญในการลำเลียงกรดไขมันโซ่ยาวใน Mitochondria มีผลต่อการเผาผลาญอาหารของโคเอนไซม์ (COA) การใช้แอล-คาร์นิทีนเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางร่างกายได้กลายเป็นที่แพร่หลายในหลายปีที่ผ่านมา แม้จะไม่มีหลักฐานสนับสนุนที่ชัดเจนในทางปฏิบัติ แต่ภาพสะท้อนความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีความสำคัญเพราะผลกระทบของการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นแอล-คาร์นิทีนในร่างกายนั้นได้รับการส่งต่อไปในการสนับสนุนของผลที่อาจเกิดขึ้นเกี่ยวกับการเสริมพลัง (Ergogenic Aid) ในทางกลับกัน มีการสนับสนุนจากงานวิจัยพบว่า การเสริมแอล-คาร์นิทีน

ไม่ช่วยเพิ่มออกซิเดชันในร่างกายหรือช่วยในการสำรองไกลโคเจน ดังนั้นการที่ชะลอความเมื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกาย พบว่ายังไม่ได้งานวิจัยรองรับอย่างชัดเจน บางงานวิจัยไม่สนับสนุนเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของนักกีฬาโดยเฉพาะบางงานวิจัยกลับพบว่า การเสริมแอล-คาร์นิทีนไม่ได้ลดไขมันในร่างกายหรือช่วยในการลดน้ำหนัก ซึ่งในกรณีผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับระหว่างไพรูเวต (Pyruvate) และแลคเตต (Lactate) เรียกว่า Pyruvate Dehydrogenase Complex (PDC) พบว่ามีการใช้งานอย่างเต็มที่แล้วหลังจากไม่กี่วินาทีของการออกกำลังกายที่มีการกำหนดความหนักของการออกกำลังกายแบบเข้มข้น ไม่ได้ทำให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของ Acetyl-CoA สำหรับระหว่างการออกกำลังกายของร่างกายพบว่ามีผลกระทบต่อการสะสมแลคเตต นั้นแสดงให้เห็นว่าการเสริมแอล-คาร์นิทีนต่อเนื่องไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 Max) โดยเฉพาะระหว่างการออกกำลังกายที่มีการกระจายของแอล-คาร์นิทีนและ Acylcarnitines ในกล้ามเนื้อพบว่ามี การสูญเสียของแอล-คาร์นิทีนทั้งหมดในปริมาณน้อย นักกีฬาไม่ได้มีความเสี่ยงสำหรับการขาดแอล-คาร์นิทีนและไม่ได้มีความต้องการที่รับเพิ่มขึ้น แม้ว่าจะมีบางทฤษฎีที่ระบุผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นที่เกี่ยวกับการเสริมเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกาย แต่ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบในทางลบหากนักกีฬารับประทานภายใต้การดูแลของแพทย์ และเภสัชกร และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำแอล-คาร์นิทีนไปใช้ทางด้านชีวเคมีและสรีระวิทยา หรือพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่ทำให้เกิดผลชัดเจนมากขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Francis B, Stephens D, Constantin T, Paul L. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *Journal of Physiology* 2007, 581(2): 431-444.
- Matsomoto YI, Amano S. Effects of L-carnitine supplementation of renal anemia in poor responders to erythropoietin. *blood purification* 2001, 19(1): 24-32.
- Joaquin A, Juan C, Rubio MA, Martin, Yolanda Campos. 1998. Biological roles of L-carnitine in perinatal metabolism. *Early Human Development* 53 (Supplemental) 1992, 43-50.
- Davies RL, Weintaub AB. Expression of a single transfected cDNA converts fibroblasts to myoblasts. *Cell* 1987, 51(6): 987-1000.
- Flanagan JL, Simmons PA, Mark JV, Willcox1DP, Garrett Q. Role of carnitine in disease. *Nutrition & Metabolis*. 2010, 7:30
- Joaquin A, Juan C, Rubio MA, Martin, Yolanda Campos. Biological roles of L-carnitine in perinatal metabolism. *Early Human Development* 53 (Supplemental)1998, 43-50.
- Bai YY, Sun L, Liu JH, Sun RT. L-Carnitine and cardiovascular disease: from basic science to clinical application. *Cardiology*. 2009;114(1S):128.
- Sherman WM, Costill DL, Fink WJ, Miller JM. The effect of exercise and diet anipulation on muscle glycogen and its subsequent use during performance. *International Journal of sport Medicine*1981,2(2): 114-118.
- Horleys. L-Carnitine. A division of Naturalac Nutrition. Level 2. Available from: [http:// horleys. Com](http://horleys.Com), 2003.
- Natali A. Effects of acute hypercarnitinemia during increased fatty substrate oxidation in man. *Metabolism* 1993, 42(5): 594-600.
- Orer GE. The effects of acute L-carnitine supplementation on endurance performance of athletes. *Journal Of Strength And Conditioning Research* 2014, 28(2): 514-519.
- Trappe SW, Costill DL, Goopaster B, Vukovich MD, Fink WJ. The effects of L-carnitine supplementation on performance during interval swimming. *International Journal of sport Medicine* 1994, 15(4): 181-5.
- Huang A, Owen K. Role of supplementary L-carnitine in exercise and exercise recovery. *Med Sport Sci*. 2012, 59:135-142.
- Holloszy JO, Oscai IJ. Mitochondrial citric acid cycle and related enzymes, adaptive response to exercise. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1970, 40(6): 1368-73.
- Robert C. Carnitine may benefit Athletes. *Journal of the American College of Nutrition* 1998, 17(6): 646-650.
- Soop M, Bjorkman O, Cederblad G, Hagbenfeldt L, Wahren J. Influence of carnitine supplementation on muscle substrate and carnitine metabolism during exercise. *Journal of Applied Physiology* 1998, 64(6): 2394-9.

17. Arsenian MA. Carnitine and its derivatives in cardiovascular disease. *Progress in Cardiovascular Diseases* 1997, 40(3): 265-86.
18. Vecchiet L, Dilisa F, Pierlisi G, Ripari P, Menabo R, Giamberardino MA, Siliprandi N. Influence of L-carnitine administration on maximal physical exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 1991, 61(5-6): 486-90.
19. Eizadi M, Khorshidi D, Samarikhajaj H, Dooly H. Effects carnitine and exercise. *The American of Increased FFA Availability on Aerobic Capacity* 2011,1(4): 376-385.
20. Brass EP. Supplemental carnitine and exercise. *The American Journal of clinical nutrition* 2000, 72(2): 6185-6235.
21. Arenas J, Ricoy JR, Encinas AR, Pola P, D' Iddio S, Zeviani M, Dionata S, Corsi M. In muscle serum and urine of nonprofessional athletes: Effects of physical exercise training and L-carnitine administration. *Muscle Nerve*, 1991; 14(7): 598-604.
22. Wachter S, Vogtm M, Kreis R, Boesch C, Bigler P, Hoppeler H, Kerahenbuh S. Long-term administration of L-carnitine to human: effect on skeletal muscle carnitine content and physical performance. *Clinchim Acta* 2002, 318(1-2): 51-6

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิม หรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่างระหว่างบรรทัดในภาษาที่ใช้ double space ภาษาอังกฤษล้วนให้เป็น single space

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้ตัวอักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้ตัวอักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้ส่งงานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 20 หน้า

7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ 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 และไม่ควรถูกย่อ

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 สิ่งที่มาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลใหม่ ชับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย 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, Coppel AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998;55:697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. *นักบริหาร* 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 infomatics. Ln: 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, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูกของพริก. 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. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. 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.

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 the includes and introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakhom University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.

The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

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.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคารหรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ. โนนศรีสวัสดิ์ ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครระเศษฐัง กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150



Membership Application Form

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

One-Year membership (400 Baht)

Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 44150