

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 41 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2565



JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

ISSN (Print Edition) : 1686-9664
ISSN (Online Edition) : 2586-9795



วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

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

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมพรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงศ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมษากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

พักรวีไล รุ่งวิสัย
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

ไหมอีรี่ แมลงมีแววดีแห่งอนาคต

ภาพปกของวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามฉบับนี้ เป็นภาพของ “ผีเสื้อไหมอีรี่” ซึ่งเป็นไหมที่เคยถูกจัดจำแนกกันว่าเป็น ไหมป่า ซึ่งแตกต่างจากไหมบ้าน (*Bombyx mori*) ซึ่งกินใบหม่อนเป็นพืชอาหารเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ไหมอีรี่นั้นสามารถกินพืชอาหารได้หลากหลายชนิดกว่า อาทิเช่น ใบละหุ่ง และใบมันสำปะหลัง เป็นต้น อีกทั้งมีรายงานการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า การเก็บใบมันสำปะหลังที่ร้อยละ 30 ของปริมาณใบทั้งหมดเพื่อไปเลี้ยงไหมอีรี่นั้น จะช่วยให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยไหมอีรี่จัดเป็นไหมป่าเพียงชนิดเดียวที่มนุษย์สามารถเลี้ยงได้ตลอดวงจรชีวิตของมัน โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งที่อยู่ตามธรรมชาติ ไหมอีรี่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ได้แก่ เส้นใยจากรังไหมอีรี่สามารถนำไปดึงและปั่นให้เป็นด้ายปั่น (spun silk) สามารถย้อมให้ติดสีได้ง่ายแม้จะย้อมด้วยสีธรรมชาติก็ตาม อีกทั้ง ดักแด่ไหมอีรี่สามารถนำมาเป็นอาหารหรือขนมขบเคี้ยวที่สามารถขึ้นทะเบียนจดแจ้งและจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้แล้ว โดยมีปริมาณไซยาไนด์ตกค้างในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค (อันเนื่องมาจากการเลี้ยงไหมอีรี่ด้วยใบมันสำปะหลังซึ่งมีไซยาไนด์อยู่โดยธรรมชาติ) โดยดักแด่ไหมอีรี่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีโปรตีนถึงร้อยละ 54 และมีไขมัน (ชนิดไขมันดี) อยู่ร้อยละ 26 สำหรับหนอนไหมที่ถูกคัดทิ้ง ก็สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ เช่น อาหารสำหรับปลาสวยงาม เพื่อช่วยเร่งสีของปลา เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถสกัดเลซิทินกึ่งบริสุทธิ์ที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัวสูง รวมทั้งสามารถสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซสที่เพื่อใช้ในการทำเครื่องสำอางได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้หากมีการส่งเสริมอย่างเป็นระบบให้เกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังอยู่แล้วได้เลี้ยงไหมอีรี่อีกกิจกรรมหนึ่ง ก็จะเป็นการส่งเสริมเพิ่มช่องทางของรายได้ และช่วยให้ผลผลิตมันสำปะหลังดีขึ้นอีกด้วย ไหมอีรี่จึงเป็นแมลงเศรษฐกิจอีกชนิดที่มีแววดี มีอนาคตที่สดใส เนื่องจากกำลังการผลิตไหมอีรี่โดยเกษตรกรในปัจจุบันยังต่ำกว่าปริมาณความต้องการของตลาดอยู่มากนั่นเอง

รศ.ดร.วัลยา สุทธิขำ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ



สารบัญ

Biological Science

- ผลของฮอร์โมนพืชต่อการเจริญของว่านชั้นหมาก (*Aglaonema tenuipes* Engl.) ในหลอดทดลอง 227
Effect of plant hormones on growth of Wan Khan Mak (*Aglaonema tenuipes* Engl.) *in vitro*
ปฐมมาภรณ์ ทิลารักษ์, อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี, ศิริจันทร์ ตาใจ, พรพนิต ศศิวัฒน์ชุติกุล, ยูพา บุญมี
Patamaporn Tilarux, Amornrat Suwanposri, Sirichan Tachai,
Pronpanit Sasivatchutikool, Yupha Boonmee

Engineering

- การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรกับการใช้ความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคล 236
Analysis of relationship between lane widths and passenger car speed
วงศ์กร ฮาดวิเศษ, ลัดดา ตันวานิชกุล
Wongsakorn Hatwiset, Latda Tanwanichkul

Environmental Science

- การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมเทศบาลเมืองจันทบุรี ด้วยการใช้การวิเคราะห์การถดถอย 246
The environmental quality monitoring of Chanthaburi municipality using regression analysis
จักรพันธ์ โพธิพัฒน์, ศุทธิณี เมฆประยูร
Jakkapan Potipat, Sutthinee Mekprayoon

- การย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยแบคทีเรียที่แยกได้จากชายฝั่งทะเล 257
ภาคตะวันออกของประเทศไทย
Biodegradation of used lubricating oil by bacteria isolated from the eastern coast of Thailand
อนันทยา แสนสวัสดิ์, นิภาพร ก้านทอง
Ananthaya Sansawat, Nipaporn Kanthong

Mathematics

- ประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 267
ภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน
The performance of parameter estimation in structural equation modeling under different statistical conditions
กัญญา บวรโชคชัย
Kanya Bowornchockchai

ผลของฮอร์โมนพืชต่อการเจริญของว่านชั้นหมาก (*Aglaonema tenuipes* Engl.) ในหลอดทดลอง

Effect of plant hormones on growth of Wan Khan Mak (*Aglaonema tenuipes* Engl.) *in vitro*

ปฐมภรณ์ ทิลารักษ์^{1*}, อมรรัตน์ สุวรรณโพธิ์ศรี¹, ศิริจันทร์ ตาใจ², พรพนิต ศศิวัฒน์ชูติกุล³, ยูพา บุญมี⁴
Patamaporn Tilarux^{1*}, Amornrat Suwanposri¹, Sirichan Tachai²,
Pronpanit Sasivatchutikool³, Yupha Boonmee⁴

Received: 5 April 2022; Revised: 2 May 2022; Accepted: 23 May 2022

บทคัดย่อ

ว่านชั้นหมากหรือว่านชั้นหมากเศรษฐี (*Aglaonema tenuipes* Engl.) เป็นพืชสมุนไพรที่พบบริเวณชายป่าที่มีความชื้นในทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นพืชที่กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดการเกิดภูมิแพ้ รวมถึงมีชื่อที่เป็นมงคลทำให้นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับ การศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาผลของฮอร์โมนพืชต่อการเจริญของว่านชั้นหมาก โดยนำเทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาใช้ในการเพาะเลี้ยงว่านชั้นหมากบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร Murashige and Skoog (MS) จากการทดลองการชักนำแคลลัสจากเมล็ดว่านชั้นหมากพบว่าสามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ดีที่สุดบนอาหารที่เติม naphthyl acetic acid (NAA) 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีขนาดแคลลัส 0.68 ± 0.19 เซนติเมตร และเกิดแคลลัสร้อยละ 86.67 ± 5.77 การชักนำยอดใหม่จากส่วนยอดที่งอกจากเมล็ดพบว่าเมื่อเติม 6-benzylaminopurine (BAP) ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำยอดใหม่ได้สูงจำนวน 2.77 ± 1.59 ยอดต่อชิ้นส่วน ซึ่งมีขนาดและลักษณะที่สมบูรณ์ที่สุด และการชักนำรากจากส่วนยอดของว่านชั้นหมากพบว่า NAA ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถ ชักนำรากได้มากที่สุดจำนวน 11.93 ± 1.65 รากต่อยอด และมีอัตราการชักนำรากร้อยละ 100.0 จากผลการศึกษาจึงได้ข้อมูลพื้นฐานด้านการนำเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเข้ามาใช้ในการพัฒนาว่านชั้นหมากทางด้านสมุนไพรไทยและการขยายพันธุ์เพื่อเป็นไม้ประดับต่อไป

คำสำคัญ: ว่านชั้นหมาก การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ฮอร์โมนพืช

Abstract

Wan Khan Mak or Wan Khan Mak Setti (*Aglaonema tenuipes* Engl.) is a medicinal plant found at the forest edge in all parts of Thailand. It is gaining popularity due to high antioxidant and anti-allergenic properties. It also has an auspicious name that makes it popular as an ornamental plant. This study aimed to determine the effect of plant hormones on the growth of Wan Khan Mak on Murashige and Skoog (MS) medium using plant tissue culture technique. The best callus induction from seed was obtained when supplemented with 3.0 mg/L naphthyl acetic acid (NAA) on MS medium with

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

² อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชและภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 22210 ประเทศไทย

¹ Assistant professor, Department of Applied Science and Biotechnology, Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi

² Lecturer, Department of Applied Science and Biotechnology, Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi

³ Assistant professor, Department of Plant Production and Landscape Technology, Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi

⁴ Assistant professor, Department of Fisheries Technology, Faculty of Agro-industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi campus, Chanthaburi, 22210, Thailand

* Corresponding Author: patamaporn_ti@rmutto.ac.th

the callus size of 0.68 ± 0.19 cm and $86.67 \pm 5.77\%$ callus formation. The induction of new shoots from the germinated seed was observed when supplemented with 2.0 mg/L 6-benzylaminopurine (BAP) gave the highest amount of new shoots formation (2.77 ± 1.59 shoots per explant) with the most complete size and appearance. The maximum root induction from the shoot of Wan Khan Mak was achieved when supplemented with 2.0 mg/L NAA (11.93 ± 1.65 roots per explant) with 100% induction rate. Our results are useful for basic information on the use of plant tissue culture techniques in the development of Wan Khan Mak in Thai herbs and propagation as an ornamental plant.

Keywords: *Aglaonema tenuipes* Engl, plant tissue culture, plant hormones

บทนำ

ว่านชั้นหมาก ชั้นหมากเศรษฐี หรือพรมตีนสูง (*Aglaonema tenuipes* Engl.) เป็นพืชในสกุลอะโกลนีมา (*Aglaonema*) อยู่ในวงศ์ Araceae พบทั่วทุกภาคของประเทศไทย บริเวณชายป่าที่มีความชื้น เช่น จังหวัดจันทบุรี ตราด ชัยภูมิ กาญจนบุรี อุบลราชธานี ระนองและชุมพร ว่านชั้นหมากเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว รากเป็นรากฝอยอวบกลม ลำต้นแทงจากเหง้าใต้ดิน มีสีเขียวอมน้ำตาล อวบและมีข้อปล้องชัดเจน ใบเป็นรูปหอกปลายใบแหลม มีสีเขียวสด ใบเดี่ยวออกเรียงสลับ ดอกเป็นดอกช่อเชิงลดมีขนาด 5-7 เซนติเมตร ดอกย่อยขนาดเล็กสีขาว ดอกแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน ผลเป็นผลสด รูปรี ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกจะมีสีแดง มี 1 เมล็ด ว่านชั้นหมากเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางด้านบำรุงกำลังเป็นยาอายุวัฒนะ สามารถนำมาต้มดื่มได้ทั้งต้น (สันติ วัฒนฐานะ และคณะ, 2563) นอกจากนี้ยังนิยมนำผลสุกมารับประทานเพื่อเป็นยาอายุวัฒนะ ลดอาการภูมิแพ้ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และในปัจจุบันมีการผลิตออกมาในรูปแบบต่างๆ เพื่อจำหน่ายเป็นจำนวนมากซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง เช่น ผงแห้งบดละเอียดพร้อมบรรจุแคปซูล ราคา กิโลกรัมละ 6,000 บาท และผลว่านสุกสายพันธุ์ลูกเล็กและลูกใหญ่ ราคา กิโลกรัมละ 1,000 และ 800 บาท ตามลำดับ (วิสาหกิจชุมชนชนกลุ่มแปรรูปสมุนไพรพื้นบ้านถ้ำเพชรโพธิ์ทอง, 2562) ว่านชั้นหมากสามารถเป็นยาอายุวัฒนะได้นั้นเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ซึ่งมีรายงานการศึกษาสารสกัดจากผลของว่านชั้นหมากโดยพบว่าเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถลดการสร้างอนุมูลอิสระภายในเซลล์แมคโครฟาจ RAW264.7 เมื่อถูกชักนำให้อยู่ในสภาวะเครียด และมีฤทธิ์ทางยาเนื่องจากสารสกัดที่ความเข้มข้น 125-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ต้านภูมิแพ้ (เบญจมาศ จิตรสมบุญ, 2560) ดังนั้น ว่านชั้นหมากจึงถือได้ว่าเป็นสมุนไพรไทยที่มีอนาคตในการที่จะต่อยอดพัฒนาเพื่อผลิตเป็นยาต่อไปได้ นอกจากนี้ว่านชั้นหมากยังมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าว่านชั้นหมากเศรษฐี ซึ่งเป็นชื่อมงคลจึงทำให้ ว่านชั้นหมากนอกจากเป็นยาแล้วยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นไม้ประดับได้อีกด้วย

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (Plant tissue culture) เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ทางการเกษตรเป็นอย่างมาก โดยช่วยในการขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนพืชเป้าหมายได้ปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น และยังมีประโยชน์ทางเภสัชวิทยาใช้ในการเพาะเลี้ยงพืชสมุนไพรและกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารทุติยภูมิ (Secondary metabolite) ได้ในปริมาณมากและใช้ระยะเวลาสั้น รวมถึงยังช่วยในการลดปัจจัยรบกวนภายนอกต่างๆ จากธรรมชาติได้อีกด้วย (วรารักษ์ ภูตะสุน, 2557) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อให้ประสบความสำเร็จไม่ว่าจะเป็นการชักนำยอด ราก หรือแคลลัส เพื่อให้ได้ผลผลิตจากพืชตรงตามเป้าหมายที่เราต้องการนั้นมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งการเลือกสูตรอาหารที่เหมาะสม สภาวะในการเพาะเลี้ยงรวมถึงฮอร์โมนพืช เช่น ออกซิน (Auxin) ไซโตไคนิน (Cytokinin) และจิบเบอเรลลิน (Gibberellin) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช โดยธรรมชาติพืชจะมีฮอร์โมนเหล่านี้สะสมอยู่ในส่วนเนื้อเยื่อเจริญเพื่อช่วยให้เกิดการเจริญพัฒนาอย่างปกติ แต่ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกลุ่มฮอร์โมนพืชที่เข้ามามีความสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดยอด ราก และแคลลัสนั้นคือออกซินและไซโตไคนิน โดยออกซินเป็นฮอร์โมนพืชที่สร้างจากส่วนเนื้อเยื่อเจริญของปลายยอด ปลายราก และลำต้น ออกซินเคลื่อนที่ได้ดีในโฟลเอ็ม (Phloem) และมีการเคลื่อนที่แบบโพลาริตี้ (Polarity movement) จากบนลงล่าง (คำคุณ กาญจนภูมิ, 2542) จึงทำให้มีการขนส่ง ออกซินสู่รากผ่านโฟลเอ็ม โดยออกซินมีผลช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การยืดขยายขนาดของเซลล์ และส่งเสริมการเจริญของตายอด ฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซินที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ Indole-3-acetic acid (IAA), naphthyl acetic acid (NAA) และ 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) ส่วนฮอร์โมนพืชกลุ่มไซโตไคนินในพืชจะอยู่ในรูปของซีเอทิน (Zeatin) โดยจะสะสมอยู่ในปลายรากและเมล็ดที่กำลังพัฒนา การเคลื่อนที่ของไซโตไคนินจะเคลื่อนที่จากรากสู่ยอด มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การยืดขยายขนาดของเซลล์ และการแตกตาข้าง (Davies, 2010) ไซโตไคนินที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เช่น 6-Benzylaminopurine (BAP) และ Thidiazuron (TDZ)

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในกลุ่มอะโกลนีมา ส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตพันธุ์พืชที่เป็นกลุ่มไม้ประดับ เช่น การศึกษาการชักนำขึ้นเนื้อเยื่อส่วนยอดของ อะโกลนีมาในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร Murashige & Skoong (MS) ที่มีการเติมฮอร์โมนพืช 6-Benzylaminopurine (BAP) ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียว พบว่าสามารถชักนำให้ขึ้นเนื้อเยื่อเกิดต้นอ่อนได้เร็วในปริมาณมาก (นงนุชเลาะห์วิสุทธิ และมัลลิกา มิตรน้อย, 2548)

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงได้นำเทคโนโลยีทางด้าน การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาใช้ในการศึกษาการเจริญเป็นแคลลัส การชักนำยอด และการชักนำราก ว่านชั้นหมาก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาว่านชั้นหมากให้เป็นยาสมุนไพรไทย และเป็นไม้ประดับที่มีมูลค่าต่อไป

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ทรีตเมนต์ละ 3 ซ้ำๆ ละ 10 ขวด

ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการศึกษา

ต้นพันธุ์ของว่านชั้นหมากได้รับความอนุเคราะห์จากชาวบ้านใน จังหวัดจันทบุรี (Figure 1) นำมาเพาะเลี้ยง ณ อาคารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จนกระทั่งได้เมล็ดและนำเมล็ดที่ได้มาใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป



Figure 1 Characteristic of *Aglaonema tenuipes* Engl.

การศึกษาผลของฮอร์โมน BAP และ naphthyl acetic acid (NAA) ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสจากเมล็ดว่านชั้นหมาก

นำเมล็ดว่านชั้นหมากมาทำให้ปลอดเชื้อด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้นร้อยละ 15 เป็นเวลา 10 นาที และความเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ ล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร NAA: BAP ความเข้มข้น 1.0:1.0 และ 2.0:2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการบันทึกผลเป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดว่านชั้นหมากและวัดขนาดของแคลลัสที่เกิดขึ้น

การศึกษาผลของฮอร์โมน BAP และ TDZ ต่อการชักนำให้เกิดยอดใหม่จากส่วนยอดของว่านชั้นหมาก

นำส่วนตายอดของว่านชั้นหมากที่ได้จากการเพาะเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อมาชักนำยอด บนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 1.0 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตรและ TDZ ความเข้มข้น 1.0 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน บันทึกผลเป็นเวลา 12 สัปดาห์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดว่านชั้นหมากและนับจำนวนยอดที่เพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของฮอร์โมน NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากจากส่วนยอดว่านชั้นหมาก

นำส่วนยอดของว่านชั้นหมากที่ได้จากการเพาะเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อมาชักนำราก บนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตรทำการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสงเป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน บันทึกผลเป็นเวลา 12 สัปดาห์โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของยอดว่านชั้นหมาก และนับจำนวนรากที่เพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปของค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี one-way Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

ผลของฮอร์โมน BAP และ NAA ต่อการชักนำให้เกิดแคลลัสจากเมล็ดว่านชั้นหมาก

ผลการศึกษการชักนำแคลลัสจากเมล็ด ว่านชั้นหมากบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติมฮอร์โมน NAA ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NAA:BAP ความเข้มข้น 1.0:1.0 และ 2.0:2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านไป 12 สัปดาห์ พบว่าการพัฒนาจากเมล็ดเป็นแคลลัสและร้อยละการเกิดแคลลัสในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แคลลัสมี

ขนาดอยู่ในช่วง 0.03 ± 0.05 - 0.68 ± 0.19 เซนติเมตร และร้อยละของการเกิดแคลลัสอยู่ระหว่าง 13.13 ± 11.54 - 86.67 ± 5.77 โดยเมล็ดที่เจริญบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพียงอย่างเดียวมีขนาดเฉลี่ยของแคลลัสและอัตราการเกิดแคลลัสสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Table 1)

Table 1 Size and percentage of callus induction by cultivated seeds of *Aglaonema tenuipes* on MS medium with NAA and BAP at different concentrations

Treatment (mg/L)		Size of callus (cm)	Callus induction (%)
NAA	BAP		
1.0	-	0.03 ± 0.05^{cd}	23.33 ± 5.77^c
2.0	-	0.08 ± 0.07^{bc}	56.67 ± 5.77^b
3.0	-	0.68 ± 0.19^a	86.67 ± 5.77^a
1.0	1.0	0.11 ± 0.10^b	60.00 ± 10.00^b
2.0	2.0	0.02 ± 0.04^d	13.13 ± 11.54^c
C.V. (%)		96.78	17.01
F-test		*	*

^{a-d} The different letters in the same column are statistically significant different ($p < 0.05$). Each value in table is represented as mean \pm SD

ลักษณะการเกิดแคลลัสในชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการเจริญของแคลลัสที่เป็นแบบเกาะกันแน่น (Compact) ผิวขรุขระมีสีเขียวอ่อนอยู่ระหว่างการเจริญของยอด และราก ชุดการทดลองที่เติม NAA:BAP ความเข้มข้น 1.0: 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบมีการปริแยกของเมล็ด ว่านชั้นหมากและสร้างแคลลัสขึ้นบริเวณรอยแยก ชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัม

ต่อลิตร พบเกิดการขยายตัวแบ่งเซลล์ของเมล็ดว่านชั้นหมากเป็นแคลลัสเล็กน้อยและพบการเจริญของราก ชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการเจริญเป็นแคลลัสน้อยมากแต่มีการเจริญของส่วนรากชัดเจน ชุดการทดลองที่เติม NAA:BAP ความเข้มข้น 2.0:2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลักษณะการเกิดแคลลัสมีน้อยที่สุดแต่เกิดการเจริญของรากดี (Figure 2)

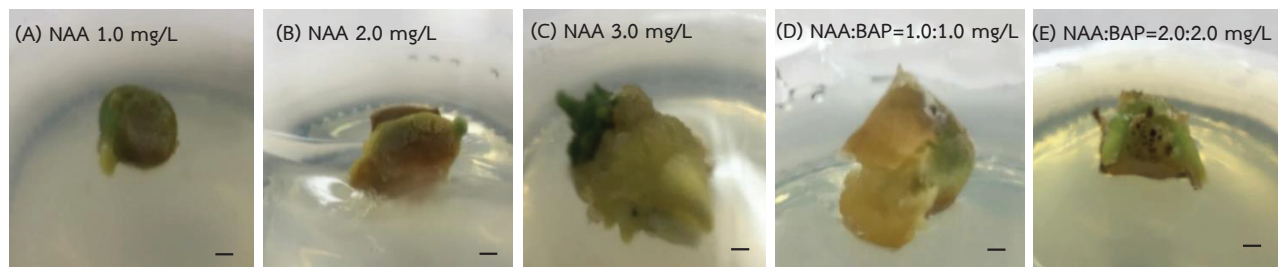


Figure 2 Effect of different concentrations of NAA and BAP on callus formation of seed of *Aglaonema tenuipes* Engl. (photo taken 12 weeks after cultivation and bar = 1 mm).

โดยทั่วไปภายในเมล็ดจะมีฮอร์โมนพืชที่กระตุ้นการงอกและการเจริญโดยธรรมชาติ การเพิ่มฮอร์โมนพืชจากภายนอกอาจจะช่วยในการส่งเสริมหรือยับยั้งการเจริญได้ จากผลการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเติมฮอร์โมนออก

ซิน คือ NAA ที่ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตรเพียงอย่างเดียวก็สามารถชักนำให้เกิดแคลลัสได้ ออกซินที่ความเข้มข้นสูงมีประสิทธิภาพในการชักนำให้เกิดแคลลัสได้ดี (สุรวิชาวรรณไกรโรจน์ และคณะ, 2564) ในขณะที่ความเข้มข้น NAA

ที่ต่ำกว่าพบการเจริญของแคลลัสน้อยลงแต่มีการเจริญของรากชัดเจนมากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซินที่ไม่สูงมากจากภายนอก ช่วยส่งเสริมการเกิดรากร่วมกับออกซินที่อยู่ในเมล็ดได้ดียิ่งขึ้น เมื่อนำ NAA และ BAP มาร่วมกันในการชักนำเมล็ดว่านชั้นหมาก พบว่าที่ความเข้มข้น 1.0:1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถพัฒนาเป็นแคลลัสได้แต่การเจริญน้อยกว่าการใช้ NAA เพียงอย่างเดียว โดยมีการแตกขยายขนาดของเมล็ดและเกิดแคลลัสสีเหลืองในตำแหน่งที่ปริแตก แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 2.0:2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการเกิดแคลลัสน้อยแต่การเจริญของรากดีมาก แสดงว่าการใช้ BAP และ NAA ร่วมกันในความเข้มข้นสูงขึ้นไป สามารถช่วยส่งเสริมการทำงานของออกซินและไซโตไคนินที่อยู่ภายในเมล็ด ทำให้เกิดการเจริญของรากได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจาก NAA และ BAP เป็นฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซินและไซโตไคนิน ซึ่งออกซินเป็นฮอร์โมนพืชที่พบสะสมในส่วนเนื้อเยื่อเจริญของ เอ็มบริโอ และมีบทบาทต่อการเจริญของต้นอ่อนหลังจากเมล็ดงอก โดยออกซินนั้นจะเคลื่อนที่ไปสะสมในบริเวณปลายรากได้มากกว่าส่วนอื่นๆ และยังสามารถสร้างที่ปลายรากได้ด้วย ส่วนไซโตไคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่พบสะสมในเมล็ดพืชเช่นเดียวกันออกซิน โดยจะมีบทบาทในการควบคุมการงอกของเมล็ด ทำให้เกิดการเจริญของเอ็มบริโอในการแบ่งเซลล์ และมีผลต่อการเจริญพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญในส่วนยอดและราก (Miransari & Smith, 2014) ซึ่งฮอร์โมนพืชทั้งสองชนิดมีการทำงานที่ส่งเสริมการเจริญพัฒนาของเอ็มบริโอ เนื้อเยื่อเจริญส่วนยอดและรากเช่นเดียวกัน แต่ปริมาณที่สะสมในเมล็ดพืชแต่ละชนิดนั้นมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการศึกษาการชักนำให้เกิดแคลลัสจากเมล็ดหากสามารถเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของฮอร์โมนพืชจากภายนอกที่เหมาะสมร่วมกับปริมาณ

ออกซินและไซโตไคนินที่อยู่ภายในเมล็ดก็จะทำให้สามารถชักนำแคลลัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังจะเห็นในการชักนำแคลลัสในพืชบางชนิดต้องการออกซินหรือไซโตไคนินเพียงชนิดเดียว หรือต้องใช้ฮอร์โมนทั้งสองร่วมกันจึงจะสามารถพัฒนาเป็นแคลลัสได้ (Abbas *et al.*, 2018; Mostafiz & Wagiran, 2018; Seyyedyousefi *et al.*, 2013)

ผลของฮอร์โมน BAP และ TDZ ต่อการชักนำให้เกิดยอดใหม่จากส่วนยอดของว่านชั้นหมาก

จากการนำส่วนตายอดของว่านชั้นหมากจากการเพาะเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อมาชักนำยอด บนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ TDZ ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านไป 12 สัปดาห์ พบว่าทุกชุดการทดลองสามารถชักนำให้เกิดยอดใหม่ได้ โดยจำนวนยอดใหม่และความยาวของยอดแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบการเกิดยอดใหม่มากที่สุดบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม BAP ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนยอดสูงสุด 3.06 ± 1.48 ยอด แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับ สูตรที่เติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีจำนวนยอด 2.77 ± 1.59 ยอด (Table 2) ในส่วนของขนาดของยอดพบว่าการเติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดยอดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับอัตราการเกิดรากนั้นเมื่อเติม BAP ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการเกิดยอดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 2 Effect of BAP and TDZ at the different concentrations on shoot induction

Treatment (mg/L)	Number of shoots	Size of shoot (cm)	Shoot induction (%)
BAP			
1.0	1.17±0.36 ^c	0.41±0.11 ^c	16.67±5.7 ^c
2.0	2.77±1.59 ^a	0.93±0.18 ^a	60.00±10.00 ^b
3.0	3.06±1.4 ^a	0.71±0.1 ^b	80.00±10.0 ^a
TDZ			
1.0	2.13±0.71 ^b	0.32±0.08 ^d	63.33±5.77 ^b
2.0	1.37±0.66 ^c	0.95±0.22 ^a	26.67±5.7 ^c
3.0	2.10±0.97 ^b	0.45±0.13 ^c	80.00±10.00 ^a
C.V. (%)	50.62	25.82	15.00
F-test	*	*	*

^{a-d} The different letters in the same column are statistically significant different ($p < 0.05$), Each value in table is represented as mean \pm SD

จากการสังเกตลักษณะการเกิดยอดใหม่ในแต่ละชุด การทดลองพบว่าชุดการทดลองที่เติม BAP ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีส่วนฐานของยอดขยายขนาดเพิ่มขึ้นและมีการแตกยอดใหม่สีเขียวที่มีลักษณะปกติดออกจากส่วนฐาน ชุดการทดลองที่เติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการขยายขนาดในส่วนฐานของยอดเช่นกันและแตกยอดใหม่สีเขียวลักษณะปกติ ชุดการทดลองที่เติม TDZ ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการขยายขนาดของส่วนฐานของยอดมีลักษณะเป็นพู่และส่วนยอดที่แตกออกมา มีขนาดเล็ก เจริญได้ไม่ดี ชุดการทดลองที่เติมที่เติม TDZ ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบมีการขยายขนาดส่วนฐานยอดขนาดใหญ่เป็นแคลลัสชนิดแข็งผิวเรียบสีเขียวและมีการเจริญของยอดใหม่อวบสั้นบนแคลลัส (Figure 3) เช่นเดียวกับ *A. commutatum* Schott “Red Valentine” สามารถเกิดแคลลัสได้เมื่อเจริญอยู่บนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zuopu *et al.*, 2018) ชุดการทดลองที่เติม TDZ ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญของส่วนยอดปกติส่วนฐานขยายเล็กน้อยทำให้การแตกยอดใหม่เกิดขึ้นได้น้อย แต่ขนาดของยอดมีการเจริญมากที่สุด (Figure 3) ฮอร์โมน BAP และ TDZ เป็นฮอร์โมนพืชที่อยู่ในกลุ่มไซโตไคนินเช่นเดียวกัน โดยมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดและการยืดยาวของเซลล์ โดยมีบทบาทมากในการชักนำให้เกิดต้นและการเกิดตาข้าง (สมพร ประเสริฐสงสกุล, 2552) จากผลการศึกษาที่ได้

เมื่อพิจารณาจากจำนวนยอดที่เกิดขึ้นและขนาดของยอดพบว่า สูตรที่มีการเติม BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการชักนำให้เกิดยอด เนื่องจากมีจำนวนของยอดที่เกิดขึ้นในปริมาณสูง ยอดที่ได้มีขนาดใหญ่และสมบูรณ์ รวมถึงมีอัตราการการเกิดยอดใหม่ที่สูงในการศึกษาการชักนำยอดอะโกลนีมาชนิดอื่นๆ พบว่า *A. commutatum* Schott เกิดยอดใหม่ได้มากที่สุด 4.08 ยอดเมื่อชักนำด้วย BA ความเข้มข้น 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Abass *et al.*, 2016) *Aglaonema* Schott “White Tip” พบเกิดยอดได้มากถึง 6 ยอด และยอดมีการเจริญปกติดีเมื่อชักนำด้วย BAP ความเข้มข้น 30 ไมโครโมลาร์ ยอดเจริญปกติ แต่เมื่อชักนำด้วย TDZ ความเข้มข้น 20 ไมโครโมลาร์ สามารถชักนำยอดได้ 6 ยอดเช่นกัน แต่การเจริญของยอดเป็นกระจุกสั้น (Chen & Yeh, 2007) นอกจากนี้ *Aglaonema* บางชนิดในการชักนำยอดต้องใช้ฮอร์โมนพืช 2 ชนิด ร่วมกัน เช่นใน *Aglaonema* “Lady Valentine” ต้องใช้ NAA: TDZ ที่ความเข้มข้น 0.5:2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำยอดใหม่ได้ถึง 10.9 ยอด แต่เมื่อเปรียบเทียบการเจริญแล้ว ยอดที่ชักนำด้วย BAP มีการเจริญยืดยาวที่ดีกว่า (Fang *et al.*, 2013) โดย Ahmed and Mohamed (2018) ได้นำส่วนข้อของ *A. commutatum* มาชักนำให้เกิดยอดพบว่าเมื่อชักนำด้วย BAP ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำยอดได้มากที่สุดคือ 4.56 ยอด

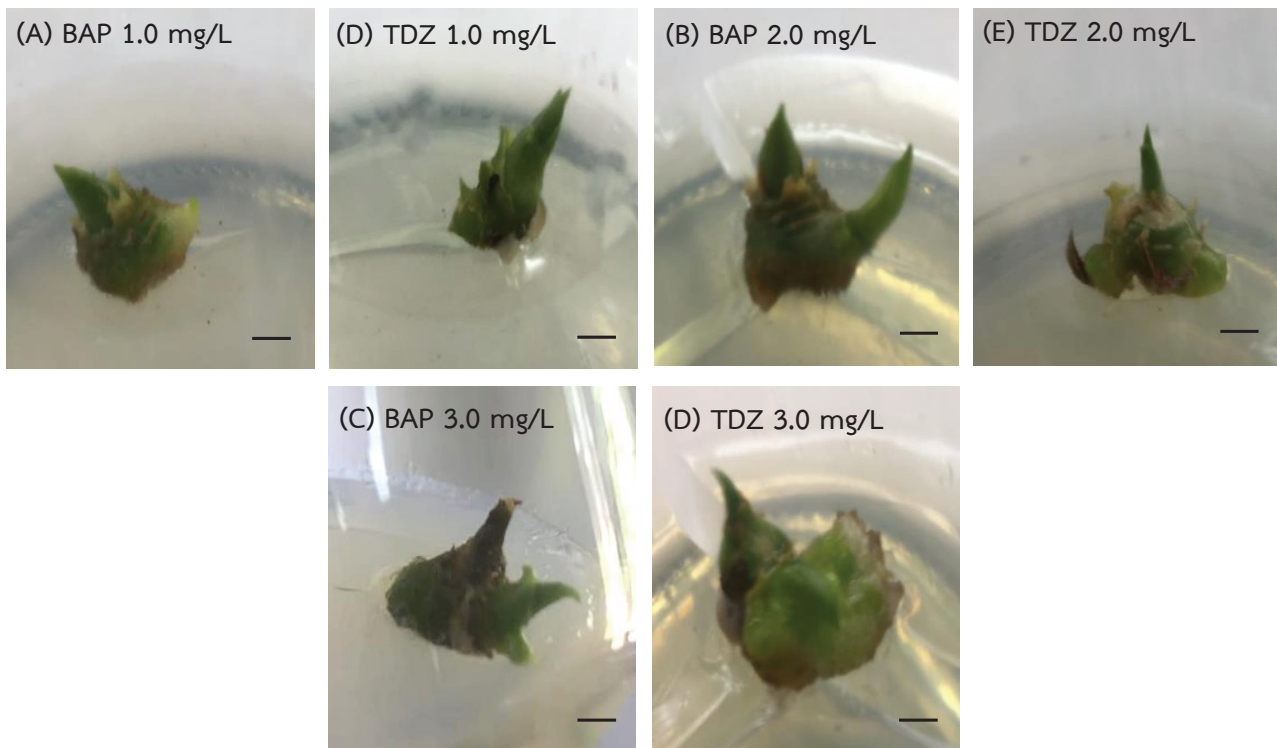


Figure 3 Effect of BAP and TDZ at different concentrations on shoot induction. (photo taken 12 weeks after cultivation and bar =5 mm).

ผลของฮอร์โมน NAA ต่อการชักนำให้เกิดรากจากส่วนยอดว่านชั้นหมาก

ผลของการนำส่วนยอดของว่านชั้นหมากที่ได้จากการเพาะเมล็ดในสภาพปลอดเชื้อมาชักนำยอดบนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0, 2.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านไป 12 สัปดาห์ พบว่าจำนวนราก ความยาวราก และอัตราการเกิดรากในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

โดยส่วนยอดว่านชั้นหมากที่เจริญในอาหารสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนของราก ความยาวของราก และอัตราการเกิดรากสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 11.93 ± 1.65 ราก ความยาวราก 1.40 ± 0.21 เซนติเมตร และอัตราการเกิดรากร้อยละ 100 รองลงมาคือ สูตรที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Effect of NAA at the different concentrations on root induction

NAA (mg/L)	Number of roots	Length of shoot (cm)	Root induction (%)
1.0	4.60 ± 0.96^b	0.53 ± 0.12^b	100.00 ± 0.00^a
2.0	11.93 ± 1.65^a	1.40 ± 0.21^a	100.00 ± 0.00^a
3.0	0.63 ± 0.61^c	0.06 ± 0.05^c	56.67 ± 15.27^b
C.V. (%)	20.36	22.09	10.31
F-test	*	*	*

^{a-c} The different letters in the same column are statistically significant different ($p < 0.05$), Each value in table is represented as mean \pm SD

ลักษณะของรากในชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบมีการเจริญของรากค่อนข้างดี รากมีสีเขียว ขนาดของรากค่อนข้างสั้น จำนวนของรากมีไม่มาก ชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการเจริญของรากดีมาก พัฒนามาจากด้านล่างของฐานยอดรากยาวมีสีเขียวเข้ม ปริมาตรรากมีจำนวนมากที่สุด

เมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ และในชุดการทดลองที่เติม NAA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบการสร้างแคลลัสบริเวณส่วนโคนของยอดเกิดเป็นแคลลัสสีน้ำตาลกระจุกตัวอยู่ และมีรากถูกสร้างจากตำแหน่งแคลลัสโดยรากมีการเจริญเพียงเล็กน้อยและสั้นมาก (Figure 4)

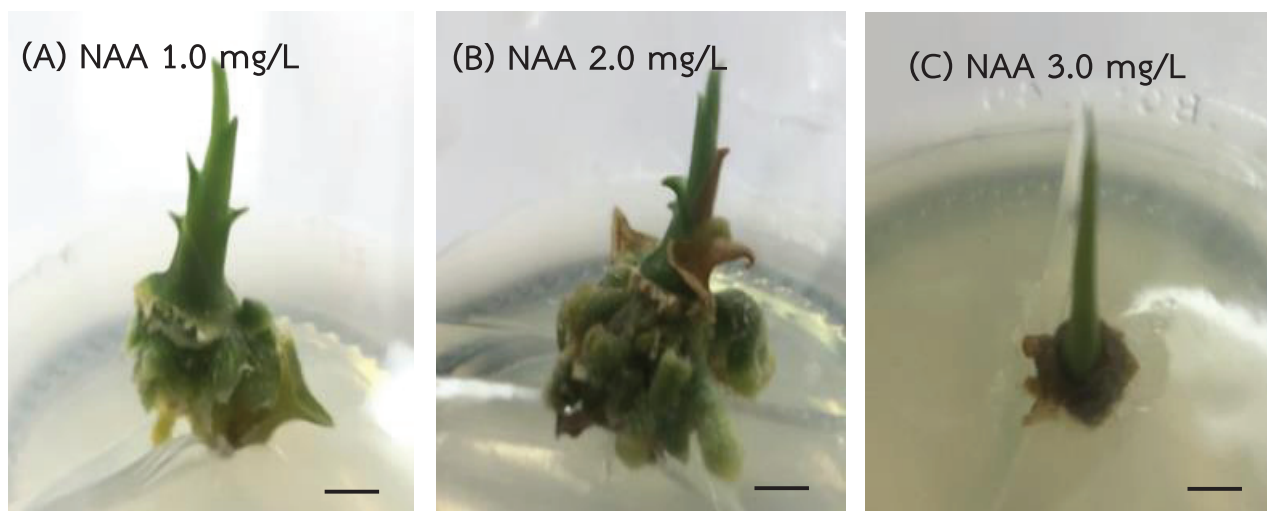


Figure 4 Effect of NAA at different concentrations on root induction. (photo taken 12 weeks after cultivation and bar =5 mm).

NAA เป็นฮอร์โมนพืชอยู่ในกลุ่มออกซินซึ่งมีประสิทธิภาพต่อการชักนำให้เกิดการเจริญของพืชโดยทำให้เกิดการแบ่งเซลล์การขยายขนาดของเซลล์โดยเฉพาะในเซลล์รากเนื่องจากออกซินจะถูกสร้างในส่วนเนื้อเยื่อเจริญต่างๆ เช่น ปลายยอด และเคลื่อนที่ได้ดีจากบนลงล่างจึงทำให้มีผลต่อการเจริญของรากมากกว่าส่วนอื่นๆ ในการชักนำรากของวุ้นชั้นหมากพบว่าสามารถสร้างรากได้ดีที่สุดคือ NAA ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับใน *Aglaonema* สายพันธุ์อื่นๆ เมื่อต้องการชักนำรากจะใช้ ออกซิน ได้แก่ NAA หรือ IAA ที่ความเข้มข้นที่ต่างๆ ที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์ของ *Aglaonema* เช่น ใน *A. commutatum* Schott สามารถใช้ NAA หรือ IAA ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการชักนำรากได้ดีที่สุด (Mohamed *et al.*, 2016) ตันอ่อนจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของ *Aglaonema* var. *Cochin* ชักนำรากได้ดีด้วย IAA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mariani *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ฮอร์โมนพืชร่วมกันระหว่างออกซินและไซโตไคนินก็สามารถชักนำให้เกิดรากได้ดีเช่นเดียวกัน โดยพบใน *A. widuri* เมื่อชักนำรากจากต้นอ่อนด้วย BA:NAA ความเข้มข้น 3.0:0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดจำนวนรากใหม่ได้มากที่สุด 14.25 ราก (Kaviani *et al.*, 2019)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อวุ้นชั้นหมากเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปต่อยอดด้านการผลิตสมุนไพร หรือการขยายพันธุ์เพื่อเป็นไม้ประดับ โดยเมล็ดของวุ้นชั้นหมากสามารถพัฒนาเป็นแคลลัสเกิดยอดและราก บนอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อสูตร MS ที่เติม NAA ความเข้มข้น 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร BAP ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ NAA ความเข้มข้น 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการพัฒนาให้เป็นต้นอ่อนที่สมบูรณ์และการนำออกปลูกในสภาพธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายใต้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

คำคุณ กาญจนภูมิ. (2542). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช (พิมพ์ครั้งที่ 1). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
นงนุช เลหาะวิสุทธิ และมัลลิกา มิตรน้อย. (2548). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพรรณไม้หน้าอะโกลนีมา (*Aglaonema simplex*). ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43 (หน้า 267-274). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
เบ็ญจมาศ จิตรสมบูรณ์. (2560). การตรวจสอบความเป็นพิษและฤทธิ์ทางชีวภาพของวุ้นชั้นหมาก (*Aglaonema simplex* BL.). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
วารภรณ์ ภูตะลุน. (2557). เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสมุนไพร: จากพื้นฐานสู่การประยุกต์ใช้ทางเภสัชศาสตร์. ขอนแก่นพิมพ์พัฒนา.
วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปสมุนไพรพื้นบ้านถ้ำเพชรโพธิ์ทอง. (2562). สินค้าของเราวุ้นชั้นหมาก. <http://www.jajong.com/page/product.html>.
สมพร ประเสริฐสงสกุล. (2552). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อกับการปรับปรุงพันธุ์พืช (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร.
สันติ วัฒนฐานะ หนูเดือน เมืองแสน ชูศรี ไตรสนธิ เกรียงศักดิ์ เอื้อมเก็บ บุญช่วย บุญมี ปฐมภรณ์ ทิลารักษ์ ทศพรชนกคุณ และรุ่งเพชร ปัญญาวุฒิ. (2563). หนังสือบัญชีรายการทรัพยากรชีวภาพพืชสมุนไพรและภูมิปัญญาการใช้สมุนไพรจังหวัดจันทบุรี ตราด (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน).
สุรวีจ วรรณไกรโรจน์ ยี่โก ทักษะทัต เฉลิมศรี นนทสวัสดิ์ศรี เกวลิน คุณาศักดากุล รมณีย์ เจริญทรัพย์ พนมพรวรรณประเสริฐ เพชรรัตน์ จันทรทิน และ Ray, L.O. (2564). บทฐานงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. ศูนย์การพิมพ์แก่นจันทร์.
Abass, M.M., El-Shamy, H.A., Dawh, A.K. and Sayed, S.S. (2016). In vitro micropropagation of *Aglaonema commutatum* SCHOTT. *Zagazig Journal of Horticultural Science*, 43(2), 363-376.
Abbas, M.S., El-Shabrawi, H.M., Soliman, A.H. & Selim, M.A. (2018). Optimization of germination, callus induction, and cell suspension culture of African locust beans *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16, 191-201.

- Ahmed, A.B. & Mohamed, K.G. (2018). Micropropagation and *ex vitro* acclimatization of aglaonema plants. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 8(4), 1425-1436.
- Chen, W.L. & Yeh, D.M. (2007). Elimination of in vitro contamination, shoot multiplication, and *ex vitro* rooting of *Aglaonema*. *HortScience*, 42(3), 629-632.
- Davies, P.J. (2010). The plant hormones: their nature, occurrence, and functions. *Plant Hormones*. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_1.
- Fang, J.Y., Hsu, Y.R. and Chen, F.C. (2013). Development of an efficient micropropagation procedure for *Aglaonema* 'Lady Valentine' through adventitious shoot induction and proliferation. *Plant Biotechnology*, 30, 423-431.
- Kaviani, B., Sedaghathoor, S., Motlagh, M.R.S. and Rouhi, S. (2019). Influence of plant growth regulators (BA, TDZ, 2-iP and NAA) on micropropagation of *Aglaonema widuri*. *Plant Physiology*, 9(2), 2709-2718.
- Mariani, T.S., Fitriani, A., Jamie A., Silva, T.D., Wicaksono, A. & Chia, T.F. (2011). Micropropagation of *Aglaonema* using axillary shoot explants. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 11(1), 46-53.
- Miransari, M. & Smith, D.L. (2014). Plant hormones and seed germination. *Environment and Experiment Botany*, 99, 110-121.
- Mostafiz, S.B. & Wagiran, A. (2018). Efficient callus induction and regeneration in selected *Indica* Rice. *Agronomy*, 8, 77-94.
- Seyyedyousefi, S.R., Kaviani, B., Dehkaei, N.P. and Salehzadeh, A. (2013). Callus induction in *Alstroemeria* using NAA and BAP. *European Journal of Experimental Biology*, 3(5), 137-140.
- Zuopu, Z., SuLi, S., Ting, S., Jie, L., Chun, L. and Li, Z. (2018). Optimization of callus and Multiple shoots induction medium of *Aglaonema commutatum* Schott 'Red Valentine'. *Genomics and Applied Biology*, 12, 5429-5436.

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรกับการใช้ความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคล

Analysis of relationship between lane widths and passenger car speed

วงศ์กร ฮาดวิเศษ^{1*}, ลัดดา ตันวานิชกุล²
Wongsakorn Hatwiset^{1*}, Latda Tanwanichkul²

Received: 5 April 2022; Revised: 18 May 2022; Accepted: 14 June 2022

บทคัดย่อ

จากการรายงานมูลเหตุสันนิษฐานหลักที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุของสำนักงานตำรวจแห่งชาติในระบบ CRIMES (Criminal Record Information Management Enterprise System) ปี พ.ศ.2561 สาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากบุคคล การขับเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนดเป็นสาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุ การเลือกใช้ความเร็วให้เหมาะสมกับประเภทและหน้าที่ของถนนเป็นสิ่งสำคัญ จึงได้ทำการศึกษความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรและความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคล โดยได้ทำการศึกษาทั้งถนนในเขตเมือง และถนนนอกเขตเมือง ในจังหวัดขอนแก่น โดยการเก็บรวบรวมความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลจำนวน 39 แห่ง และวิเคราะห์การถดถอยทางสถิติซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรและความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคลในเขตเมืองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square = 0.701 และนอกเขตเมืองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square = 0.944 และจากผลการศึกษาทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์หรือตัดสินใจออกแบบถนนใหม่หรือปรับปรุงถนนเดิม เพื่อสามารถควบคุมความเร็วและช่วยป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วนั้นได้ โดยการควบคุมความกว้างช่องจราจรให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่

คำสำคัญ: ความกว้างช่องจราจร ความเร็ว รถยนต์ส่วนบุคคล

Abstract

It has been reported that speeding driving is the main presumed cause of accidents in the system CRIMES (Criminal Record Information Management Enterprise System) in the year 2018. The cause of accident is drivers who choose to drive over traffic regulation speed limits which may cause accident. Therefore, it is important to choose a speed appropriate to road type and road function. This study thus aims to explore relationships between lane width and passenger car speed by using a case study of 39 road sections covering suburban and rural road areas.

Regression analysis was used as a statistical tool to explore and describe those relationships. The results are shown for both suburban and urban that were 95% significant with Adjusted R Square of 0.701 and 0.944 for suburban and rural road respectively. As a results from this research, the relationship between lane width and passenger car speed could be used as a support tool for making decisions in road design to correspond to surrounding area land-use.

Keywords: lane width, speed, passenger car

¹ นักศึกษา,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

² รองศาสตราจารย์,ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

¹ Student,Department of Civil Engineering Faculty Of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

² Assoc.Prof.,Department of Civil Engineering Faculty Of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

* Corresponding author ; wongsakorn Hatwiset, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand.

e-mail: h_wongsakorn@kkumail.com

บทนำ

จากการรายงานมูลเหตุสันนิษฐานหลักที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุของสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ในระบบ CRIMES (Criminal Record Information Management Enterprise System) ปี พ.ศ.2561 สาเหตุภาพรวม ที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุคือปัจจัยทางด้านกายภาพของถนน ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการขับขี่ที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุ และในทางด้านปรับปรุงด้านกายภาพของถนน มีหลายแบบ เช่น เพิ่มป้ายจราจร การจำกัดความเร็ว การติดตั้ง Rumble strip การติดตั้ง Strip bar ล้วนแต่ทำให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

ถนนหลายสายและหลายประเภท จะประกอบกันเป็นโครงข่ายที่สมบูรณ์ได้นั้น จะต้องมีการออกแบบเพื่อให้แต่ละสายสามารถให้บริการตามหน้าที่ที่เหมาะสม โดยสามารถให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ได้และความสามารถในการเข้าออกพื้นที่ด้านข้างได้ ในถนนแต่ละสายนั้นไม่จำเป็นต้องให้รถวิ่งได้เร็วบนถนนทุกสายแต่เลือกใช้ความเร็วให้เหมาะสมกับประเภทและหน้าที่ของถนนเป็นสิ่งสำคัญ

เมื่อมีการบังคับใช้การลดความเร็วสามารถลดอัตราการเสียชีวิตลงได้อย่างชัดเจน แต่การลดความเร็วเฉลี่ยโดยไม่ลดความแตกต่างของความเร็วอาจไม่ได้ผล ซึ่งการใช้ระบบการจำกัดความเร็วนั้น มีประสิทธิภาพสูงต่อการลดอุบัติเหตุ การออกแบบโดยการทำถนนให้เกิดการคดเคี้ยวเพื่อลดความเร็ว หรือการใช้กลวง เช่น การติดตั้ง Strip bar เพื่อลดความกว้างถนนสามารถใช้ลดอุบัติเหตุได้ดีเมื่อลดความกว้างของถนนผู้ขับขี่จะพยายามรักษาช่องทางขับขี่ในช่องจราจรมีพฤติกรรมการขับขี่ที่จดจ่อมากขึ้นและมีลดความเร็ว

ในการออกแบบถนนในประเทศไทยได้มีการกำหนดช่วงของความเร็วในการออกแบบ แต่การจะให้ความเร็วนั้นสามารถใช้งานได้จริง ควรปรับปรุงด้านกายภาพเข้าร่วมด้วย เพื่อให้ผู้ขับขี่ตอบสนองกับสิ่งที่ออกแบบไว้ ซึ่งในการออกแบบถนนในเขตเมือง (Urban or Sub Urban) และนอกเขตเมือง (Rural Road) ต้องมีความเร็วในการออกแบบที่แตกต่างกันนั้นก็เพราะว่าหน้าที่ของถนนนั้นแตกต่างกัน ซึ่งการออกแบบนั้นอาจส่งผลถึงด้านกายภาพของถนนนั้นคือความกว้างช่องจราจร ซึ่งถนนที่มีความกว้างต่างกันอาจส่งผลให้ความเร็วของผู้ขับขี่ต่างกัน การศึกษานี้ จึงควรศึกษาว่าความกว้างช่องจราจร ที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์อย่างไรกับความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคลในพื้นที่เขตเมืองและนอกเขตเมือง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรและความเร็วในการขับขี่รถยนต์ส่วนบุคคลในเขตเมืองและนอกเขตเมือง

บททวนวรรณกรรม

1. อุบัติเหตุกับความเร็ว

จากรายงานการเกิดอุบัติเหตุ Transport accident management systems (TRAMS) กระทรวงคมนาคม ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2562 ดังแสดงใน Table1 แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพของถนนมีผลอย่างมากต่อการเกิดอุบัติเหตุ

Table 1 Overview of road characteristics at the accident site, 2018

Characteristics of the accident	Number of accidents			
	Straight way	Curve	Inter-section	Other
Department of Highways	12,112	2,549	1,384	
Department of Rural Roads	0	0	264	
Expressway Authority of Thailand	630	62	30	
Bangkok Mass Transit Authority	1	0	0	
State Railway of Thailand	48	3	0	
Total	12,791	2,614	1,678	
Percentage	65.12	13.31	13.13	8.44

(ศิริพร ด้านคณาจารย์, 2563) จากการศึกษาพบว่า ลักษณะของถนนที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือ ถนนเส้นตรง (ร้อยละ 40.88) รองลงมาเป็นทางแยก (ร้อยละ 30.66) ถนนโค้ง (ร้อยละ 16.78) ตามลำดับ และเมื่อเกิดอุบัติเหตุย่อมนำมาซึ่งการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน (OECD/ECMT

Transport research centre, 2006) อุบัติเหตุเนื่องจากความเร็วการตายและการบาดเจ็บรุนแรงจากอุบัติเหตุเกิดเนื่องจากร่างกายรับแรงจากการปะทะเกินขีดจำกัดที่ร่างกายมนุษย์จะรับได้ขีดจำกัดดังกล่าว ดังแสดงใน Figure 1

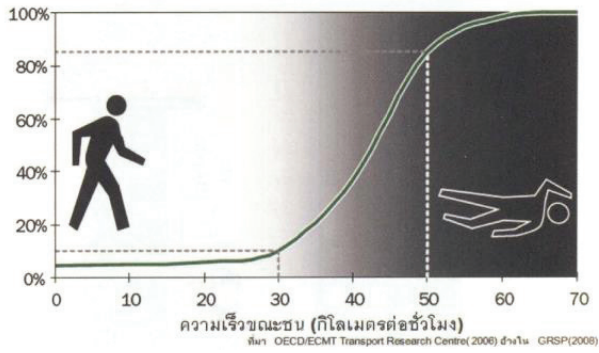


Figure 1 Chances of surviving in a car crash

1. ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนมาก 9 ใน 10 จะรอดชีวิต
2. ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนมาก 1 ใน 10 จะรอดชีวิต
3. ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป แทบจะไม่มีโอกาสรอดชีวิต

(Zegeer *et al.*, 1981) ในการที่จะลดอุบัติเหตุได้นั้น การปรับปรุงหรือออกแบบด้านกายภาพของถนนก็มีผลอย่างมากดังแสดงใน Figure 2 เช่น จะเห็นว่าความกว้างช่องจราจรที่ 7 ฟุต เมื่อเปลี่ยนความกว้างช่องจราจรที่ 8 ฟุต อัตราการลดอุบัติเหตุลดลง 0.5 ล้านคัน-ไมล์

ที่ความกว้างช่องจราจรที่ 8 ฟุต เมื่อเปลี่ยนความกว้างช่องจราจรที่ 9 ฟุต อัตราการลดอุบัติเหตุลดลง 0.6 ล้าน

คัน-ไมล์ จะเห็นได้ว่าการออกแบบความกว้างถนนมีผลต่อการลดอุบัติเหตุ

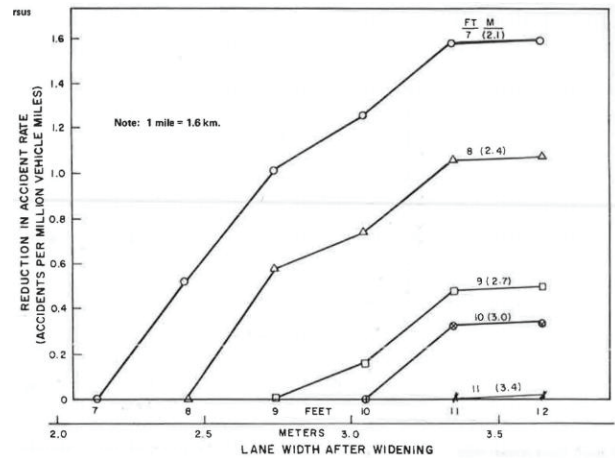


Figure 2 Reduction in accident rate versus lane widening

(Lu *et al.*, 2003) ได้สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาตรการความเร็วในต่างประเทศ โดยมาตรการที่ใช้ต่างประเทศมีทั้งมาตรการ เพิ่มขีดจำกัดความเร็วในการขับขี่และลดขีดจำกัดความเร็วในการขับขี่ซึ่งสองมาตรการที่มีผลต่ออัตราการบาดเจ็บเสียชีวิตจากอุบัติเหตุจราจรถนนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มหรือลดความเร็วมีผลอย่างมากต่อผลการเกิดอุบัติเหตุดังแสดงใน Table 2

Table 2 Research results on changes in speed limit measures in foreign countries

Reference	Country	Change		Results
		Before/After	(km/h)	
Nilsson (1990)	Sweden	110/90		Speed declined by 14 km/h Fatal crashes declined by 21%
Engle (1990)	Denmark	60/50		Fatal crashes declined by 24% Injury crashes declined by 9%
Peltola (1991)	UK	100/80		Speed declined by 4 km/h Crashes declined by 14%
NHTSA (1989)	USA	89/105		Fatal crashes increased by 21%
McKnight, Klein and Tippetts (1990)	USA	89/105		Fatal crashes increased by 22% Speeding increased by 48%

2. ความเร็วกับความกว้างถนน

ทางผู้ศึกษาจึงได้รวบรวมเกณฑ์การออกแบบทั้งในประเทศและต่างประเทศดังแสดงใน Table 3 ซึ่งในการออกแบบความกว้างของช่องจราจรให้สัมพันธ์กับความเร็วในการขับขี่ยังไม่มี ความชัดเจนถึงแม้ว่ามาตรฐานการออกแบบจะปรากฏ แต่เมื่อเทียบความกว้างของช่องจราจรที่เหมาะสมกับความเร็ว นั้นยังไม่มี ความชัดเจน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมยิ่งขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบความกว้างช่องจราจรให้เหมาะสมกับความเร็วในการขับขี่ ทั้งถนนในเขตเมืองและถนนนอกเขตเมือง ซึ่งในการแบ่งเขตเมืองและนอกเขตเมือง โดยพิจารณาจากประชากร ถ้า 5,000 คน ขึ้นไป ให้เป็นเขตเมือง (A policy on geometric design of highways and streets, 2011)

(Fitzpatrick K, 2000) เมื่อมีการออกแบบความกว้างของช่องจราจรทำให้มีผลต่อความเร็วดังแสดงใน Figure 3

พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 มีความสัมพันธ์กับความกว้างช่องจราจรโดยจะผันแปรไปตามเมื่อความกว้างช่องจราจรกว้างเพิ่มขึ้น 1 ฟุต ความเร็วก็เพิ่ม 2.9 ไมล์ต่อชั่วโมง ขึ้นตามไปด้วย จะเห็นได้ว่าความกว้างของช่องจราจรมีผลต่อความเร็วเป็นอย่างมาก

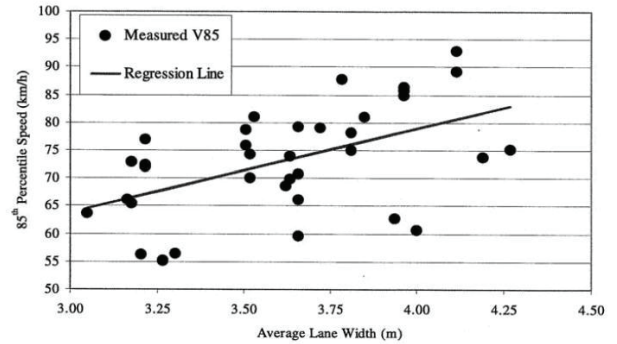


Figure 3 Relationship between lane width and speed

Table 3 Summary of road physical design both domestically and internationally

Influencing design variable	Origin/author (year)						
	1	2	3	4	5	6	7
Lane width	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Speed limit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rural/urban	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ADT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Road Type	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

1. The South Carolina Roadway Design Manual (2021)
2. Arizona Department of transportation Roadway Engineering Group Roadway Design Guidelines (2021)
3. A policy Geometric design of highways and streets (2011)
4. U.S. Department of Transportation Federal highway administration (2013)
5. Roadway Design Manual Texas Department of Transportation (2014)
6. Department of Highways
7. Department of Rural Roads

วิธีการวิจัย

1. กำหนดพื้นที่ศึกษา

ในการเลือกพื้นที่ศึกษานั้น สิ่งที่สำคัญคือการมีพฤติกรรมจราจรที่เหมือนกันหรือสอดคล้องกัน เป็นคนกลุ่มเดียวกัน อยู่ในเมืองเดียวกัน มีความต่อเนื่องกันทางด้านจราจร เพื่อให้ได้พื้นที่ที่ศึกษาเช่นนั้น ทางผู้วิจัยจึงเลือกทำการวิจัยพื้นที่ในจังหวัดขอนแก่น ดังแสดงใน Figure 4 ซึ่งในจังหวัดขอนแก่นมีหลายเส้นทาง โดยผู้ศึกษาได้เลือกเส้นทางที่จะศึกษาทั้งในเขตเมืองและนอกเขตเมืองโดยมีตำแหน่งในการศึกษา ดังแสดงใน Figure 5 และดังแสดงใน Figure 6 และได้ศึกษาทั้งหมด 39 แห่ง



Figure 4 Khon Kaen province study area map



Figure 5 Study area map in urban area

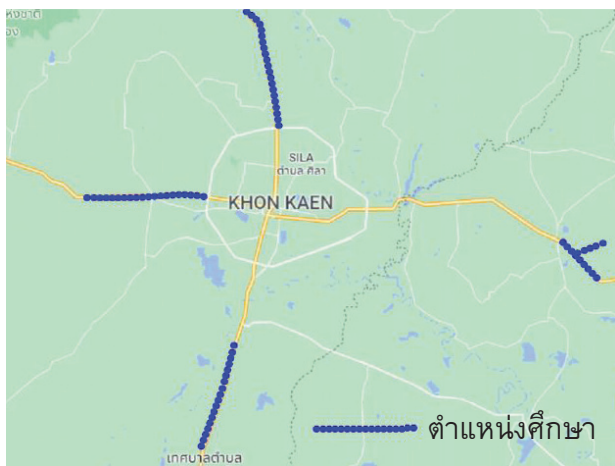


Figure 6 Study area map in rural

2. กำหนดตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

Texas Department of Transportation (2015) ได้จัดทำ Procedures for Establishing Speed zone (Revised August 2015) ได้แนะนำ เมื่อความเร็วของการจราจรตรงตัวบนทางหลวงการศึกษาความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 นั้นตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า ผู้ขับขี่ส่วนใหญ่เป็นคนมีเหตุผลเข้าใจได้ ไม่ต้องการให้เกิดอุบัติเหตุจราจร และมีความต้องการที่

จะไปให้ถึงจุดหมายปลายทางในระยะเวลาที่สั้นที่สุด โดยการสำรวจความเร็วนั้นได้มีข้อเสนอแนะว่าควรทำการสำรวจในวันทำงานปกตินอกเวลาเร่งด่วน เพื่อหลีกเลี่ยงความแออัดของการจราจร สำรวจภายใต้สภาพอากาศที่เหมาะสม

(สยมภู ว่องวิทย์การ, 2552) การเลือกสำรวจยานพาหนะที่มีสภาพการเคลื่อนที่แบบอิสระ (Free Floating) เวลาในการสำรวจไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง จำนวนตัวอย่างความเร็วขั้นต่ำ 125 ตัวอย่าง และสำรวจความเร็วควรอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 400 เมตร (0.25 ไมล์)

ในกรณีที่ถนนมีสัญญาณไฟจราจรอาจกำหนดสถานีให้อยู่กึ่งกลางระหว่างแยกสัญญาณไฟจราจรสองแห่งหรือห่างจากแยกสัญญาณไฟจราจรไม่น้อยกว่า 320 เมตร (0.20 ไมล์) ดังแสดงในFigure 7 ถนนที่มีสภาพจราจรและสภาพทางกายภาพถนนที่สม่ำเสมอ ระยะห่างระหว่างคัน 3 วินาทีหรือมากกว่า ดังแสดงใน Figure 8

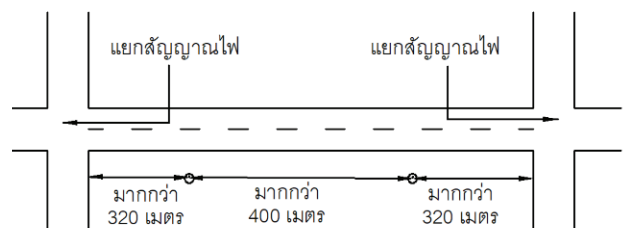


Figure 7 Measurement station or speed survey

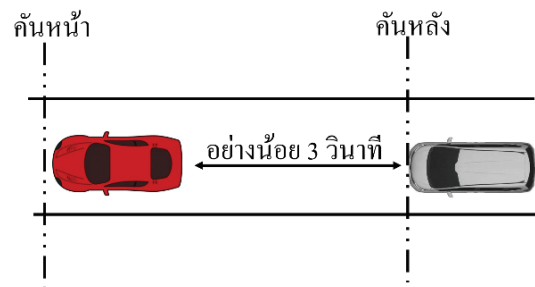


Figure 8 Selection of samples to collect data

Table 4 Positioning summary and determining examples

Item	Number	Unit
Should be located midway between signals	320	Meter
Should generally be located at intervals	400	Meter
Gap between vehicles	3	Second
Representative samples	125	Sample
Time of day of data survey	9.00-11.00	O'clock
	11.30-13.30	
	14.00-16.00	
Day of week of data collection	5 day / Monday - Friday	Day
Road sections cover urban areas	23	Section
Road sections cover rural road areas.	16	Section

3. เครื่องมือในการสำรวจความเร็ว

ในการเก็บรวบรวมความเร็วรถยนต์ในการศึกษาได้ใช้ Radar gun ดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งวิธีการใช้งานในการเก็บรวบรวมความเร็ว สามารถเก็บรวบรวมและคำนวณความเร็ว ดังแสดงใน Figure 10



Figure 9 Radar gun

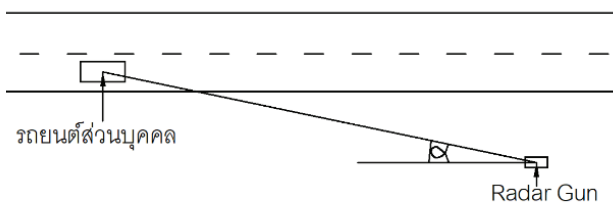


Figure 10 Analysis of speed results from radar gun

$$V_a = \frac{V_s}{\cos \alpha}$$

V_a = ความเร็วของยานพาหนะ

V_s = ความเร็วที่ได้จากปืนเก็บ

α = มุมเบี่ยงเบนออกจากแนวการเคลื่อนที่

4. วิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ

เมื่อทำการเก็บรวบรวมความเร็วแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังนี้

ความเร็วเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{\sum fv}{n}$$

f = ความถี่ในแต่ละกลุ่มรถต่อกลุ่ม

v = ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มรถต่อกลุ่ม

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณได้จาก

$$s = \sqrt{\frac{\sum fv^2}{(n-1)} - \frac{n\bar{x}^2}{(n-1)}}$$

ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85

การหาค่าความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 ดังแสดงใน

Figure 11

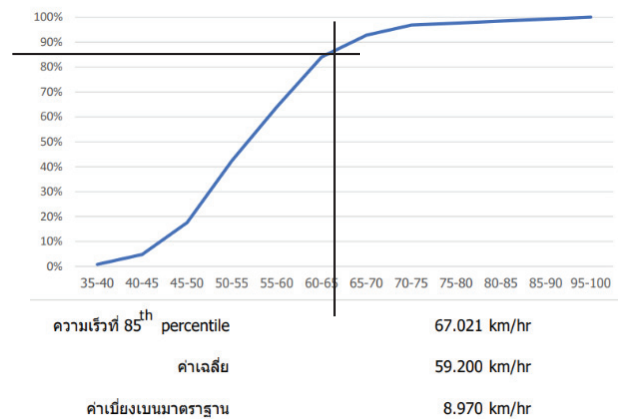


Figure 11 Determination of speed at 85th percentile

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติก (Regression Analysis) ที่ความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) ระหว่างความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 กับความกว้างช่องจราจร

ผลดำเนินการวิจัย

1. ผลการสำรวจข้อมูล

จากการวิจัยโดยทำการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ในเขตเมืองและนอกเขตเมือง จังหวัดขอนแก่น จำนวน 39 แห่ง โดยแบ่งความกว้างดังแสดงใน Table 5

Table 5 Number of locations

	Lane width(m)	Section
Urban area	3.00	4
	3.25	8
	3.30	5
	3.50	6
	รวม	23
Rural area	3.00	4
	3.30	4
	3.50	8
	รวม	16
Total		39

โดยผู้ทำการศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูลถนนในเขตเมือง 23 แห่ง และนอกเขตเมือง 16 แห่ง เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 39 แห่ง เป็นจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 4,875 ตัวอย่าง ทำให้สามารถวิเคราะห์ผลทราบถึงความสัมพันธ์ของความกว้างช่องจราจรมีผลต่อความเร็ว

ของรถยนต์ที่เปอร์เซ็นต์ไทม์ 85 อย่างมีนัยสำคัญและทำการวิเคราะห์ผลโดยได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของช่องจราจรและความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคลดังแสดงใน Figure 12

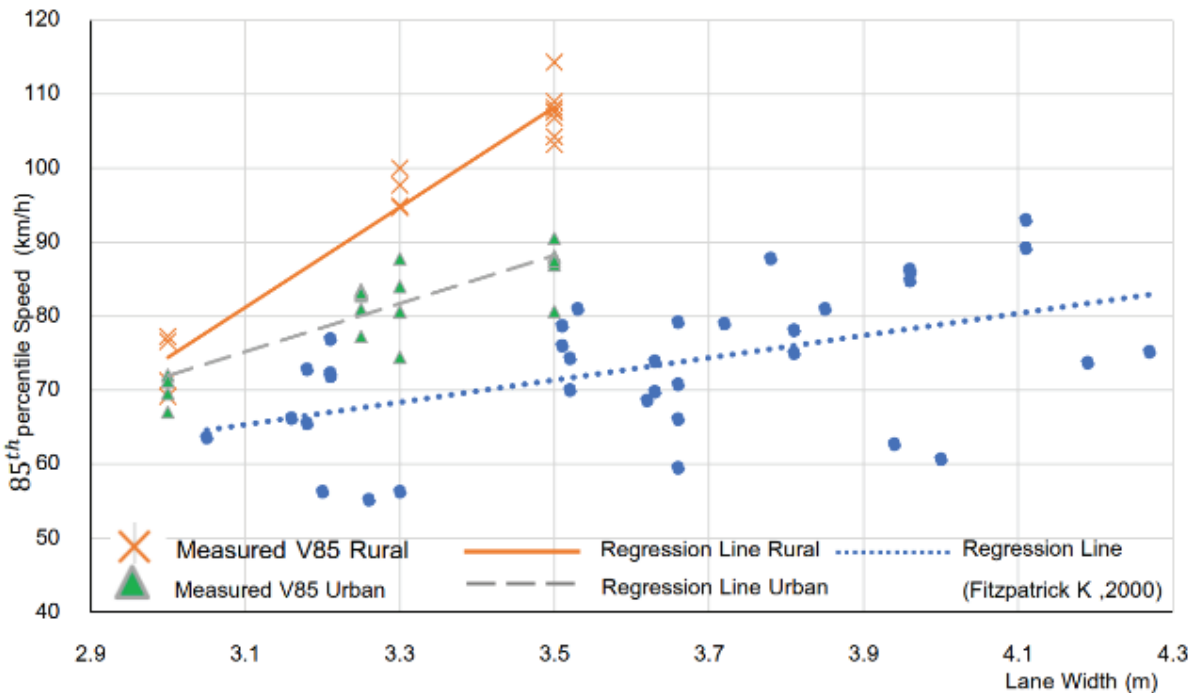


Figure 12 Relationship between lane width and passenger car speed

จากการศึกษาทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคลและความกว้าง ของช่องจราจรทั้งในพื้นที่เขตเมืองและนอกเขตเมือง โดยมีค่าดังนี้

ในเขตเมืองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square = 0.701

นอกเขตเมืองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square = 0.944 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้สนับสนุนการออกแบบช่องจราจรให้สอดคล้องกับความเร็วที่ต้องการได้ ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแนะนำความกว้างถนนจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถยนต์ส่วนบุคคลและ

ความกว้างของช่องจราจร การออกแบบในพื้นที่เขตเมืองกรมทางหลวงได้แนะนำความเร็วที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแนะนำความกว้าง 3.00 เมตร (กฎกระทรวงกำหนดอัตราความเร็ว

สำหรับการขับรถในทางเดินรถ พ.ศ. 2564, 2564) รถยนต์ในพื้นที่เขตเมืองใช้ความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแนะนำความกว้าง 3.25 เมตร ดังแสดงใน Figure 13

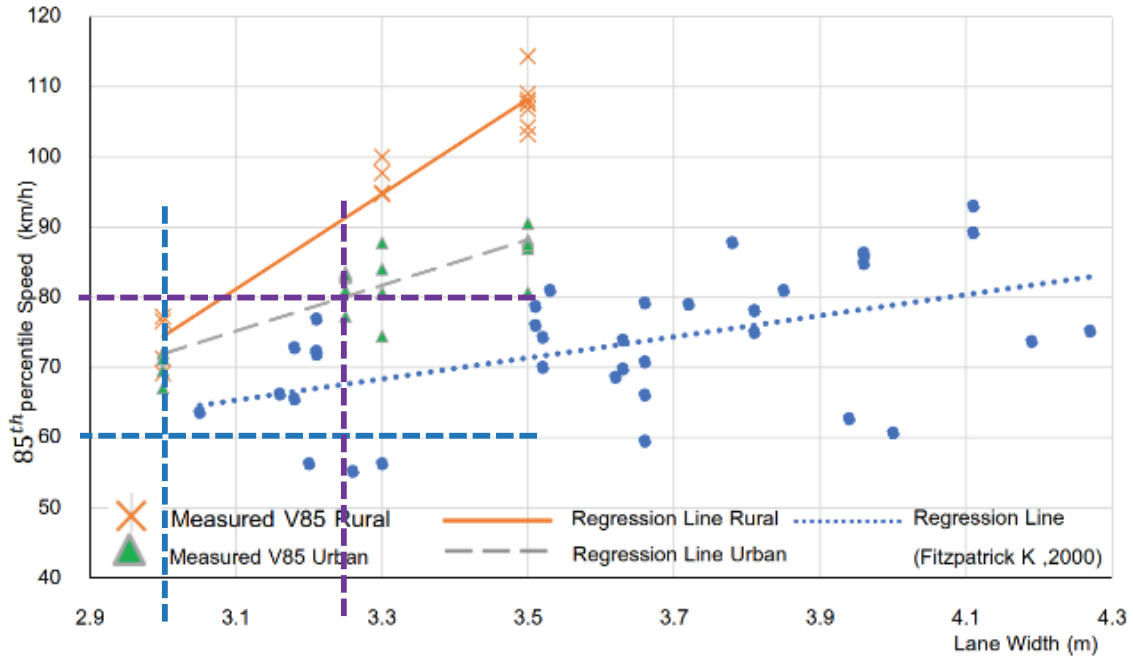


Figure 13 Determination of road width from personal vehicle speed in urban areas

นอกเขตเมืองใช้ความเร็วไม่เกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแนะนำความกว้าง 3.25 เมตรและถ้าทางเดินรถนั้นได้จัดแบ่งช่องเดินรถในทิศทางเดียวกันไว้ตั้งแต่สองช่องขึ้นไป

และมีเกาะกลาง ใช้ความเร็วไม่เกิน 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแนะนำความกว้าง 3.40 เมตร ดังแสดงใน Figure 14

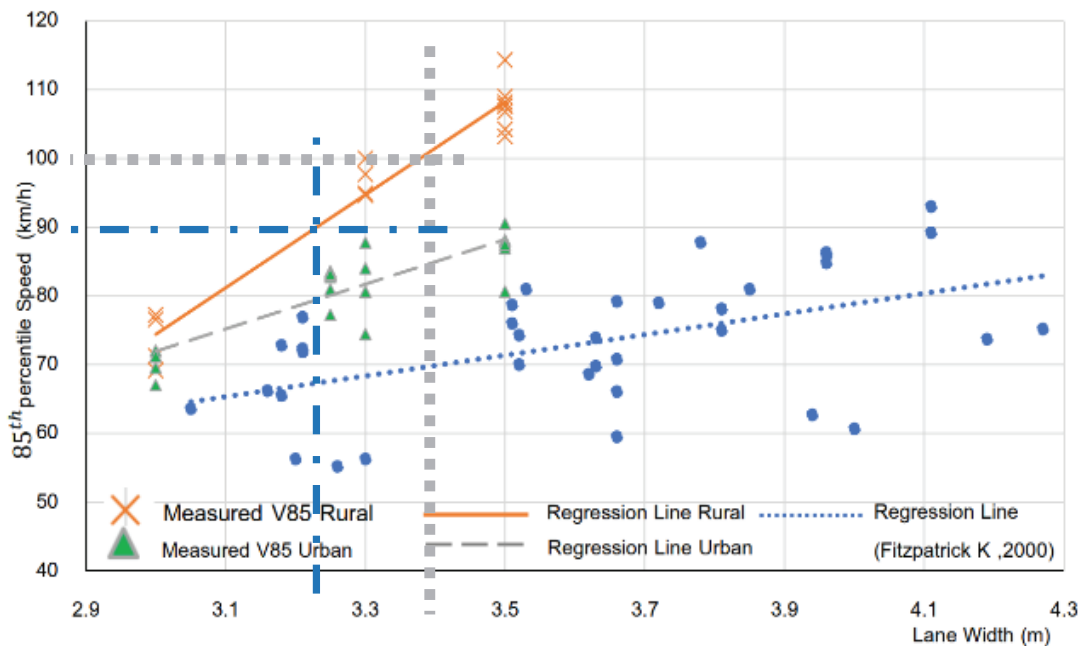


Figure 14 Determination of road width from personal vehicle speed in rural areas

จะเห็นได้ว่าที่ความกว้างของช่องจราจรที่ 3 เมตร นั้น ทั้งในพื้นที่เขตเมืองและนอกเขตเมืองนั้น มีความเร็วที่ใกล้เคียงกันนั้นแสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการความเร็วที่ลดลงเพื่อลดความรุนแรงการเกิดอุบัติเหตุสามารถลดขนาดของช่องจราจรให้มีขนาด 3 เมตร แต่เมื่อใช้ความเร็วต่ำ จะทำให้ค่าความจุของปริมาณจราจรลดลงไปด้วย

กราฟความสัมพันธ์ของความกว้างช่องจราจรและความเร็ว ความชันของเส้น Regression line มีความแตกต่างกันระหว่างในเขตเมืองและนอกเมือง นั้นหมายความว่าในพื้นที่นอกเขตเมือง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของช่องจราจร มีผลอย่างมากต่อความเร็วเนื่องจากความชันมากกว่า แสดงให้เห็นว่าเมื่อต้องการลดอุบัติเหตุเนื่องจากความเร็ว สามารถใช้การกำหนดความกว้างของช่องจราจร ให้มีความเหมาะสม

เมื่อเปรียบเทียบความชันของกราฟ ในพื้นที่เขตเมืองและชานเมือง (Fitzpatrick, 2000) มีความใกล้เคียงกัน และความชันค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับนอกเขตเมือง แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนความกว้างของจราจรเพื่อควบคุมความเร็ว ในพื้นที่เขตเมืองมีผลค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับนอกเขตเมือง

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยนี้ ได้ศึกษาสำรวจข้อมูลในพื้นที่ในเขตเมือง 23 แห่ง และนอกเขตเมือง 16 แห่ง รวมทั้งหมด 39 แห่ง ภายในจังหวัดขอนแก่น โดยทำการเก็บรวบรวมความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล 4,875 คัน และใช้ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 เป็นตัวแทนที่เหมาะสมที่สุดกับความกว้างของช่องจราจรแต่ละแห่ง และได้ทราบถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างช่องจราจรและความเร็วที่เหมาะสมในการขับขี้อัตโนมัติส่วนบุคคลทั้งในเขตเมืองและนอกเขตเมือง ทำให้ทราบว่าช่องจราจรมีผลต่อความเร็ว ของรถยนต์อย่างมีนัยสำคัญ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

ในพื้นที่เขตเมือง ความกว้างของช่องจราจรมีขนาด 3.00 เมตร - 3.50 เมตร ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 67.02 กิโลเมตรต่อชั่วโมง - 90.51 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทางสถิติด้วยวิธี Pearson 0.845 ซึ่งมีค่าสูงมากและไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square = 0.701 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างมาก โดยในเขตเมืองได้แนะนำความกว้างที่ 3 เมตร โดยจำกัดความเร็วที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและความกว้างที่ 3.25 เมตร โดยจำกัดความเร็วที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

นอกเขตเมือง ความกว้างของถนนมีขนาด 3.00 เมตร-3.50 เมตร ความเร็วที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 69.15 กิโลเมตร

ต่อชั่วโมง - 114.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทางสถิติ ด้วยวิธี Pearson 0.974 ซึ่งมีค่าสูงมากและไปในทิศทางเดียวกัน จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% Significance = 0.0001, Adjusted R Square= 0.944 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างมาก

โดยนอกเขตเมืองขนาด 2 ช่องจราจรหรือมากกว่า และไม่มีเกาะกลางได้แนะนำความกว้างที่ 3.25 เมตร โดยจำกัดความเร็วที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

และนอกเขตเมืองขนาด 2 ช่องจราจรหรือมากกว่า และมีเกาะกลางได้แนะนำความกว้างที่ 3.40 เมตร โดยจำกัดความเร็วที่ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าความกว้างช่องจราจร มีผลต่อความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 85 อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์หรือตัดสินใจออกแบบถนนใหม่ ปรับปรุงถนนเดิม เพื่อสามารถควบคุมความเร็วในการใช้ถนนให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เช่นในเขตเมืองที่ต้องการความเร็วต่ำเพื่อป้องกันอุบัติเหตุเนื่องจากเป็นย่านที่อยู่อาศัย การป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วนั้น การเลือกใช้ความกว้างของช่องจราจรเพื่อควบคุมความเร็วเป็นสิ่งสำคัญเพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้พื้นที่ร่วมกันระหว่างรถและผู้อยู่อาศัย ในทางกำหนดช่องจราจรที่แคบลงยังอาจส่งผลให้อุบัติเหตุลดลง อาจสามารถเพิ่มช่องจราจรได้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุให้กับถนนนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปพัฒนาโครงข่าย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณจากสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวงกำหนดอัตราเร็วสำหรับการขับรถในทางเดินรถ พ.ศ. 2564. (2564, 23 พฤศจิกายน). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 138 ตอนที่ 77.
- ศิริพร ด่านคชาธาร และคณะ. (2563). การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 39(1), 21-30.
- สมชาย ชะนะภักย์. (2552). *การศึกษาแนวทางเพื่อคัดแยกถนนในโครงข่ายสายรอง (Collector Roads) ของกรมทางหลวงชนบทตามพระราชบัญญัติทางหลวง พ.ศ. 2549*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- สยมภู ว่องวิทย์การ. (2552). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถยนต์ ณ สภาพการเคลื่อนที่อย่างอิสระกับองค์ประกอบทางถนนในเขตเทศบาลนคร [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร].
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม. (2562). รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม พ.ศ.2561. (2562). กระทรวงคมนาคม.
- Fitzpatrick, Kay *et al.*(2000). Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Arterials. *Research Report*, 1769-3.
- Lu, J.J.,Jaehyun P., Pernia, J. and Dissanayake, S. (2003). *Criteria for Setting Speed limits in Urban and Suburban Area in Florida*. Florida, Department of Civil and Environmental Engineering University of South Florida.
- Texas Department of Transportation. (2015). *Procedures for Establishing Speed zone*. The South Carolina Roadway Design Manual.
- Zegeer C.V., Deen R.C. & Mayes J.G. (1981). Effect of Lane and Shoulder Widths on Accident Reduction on Rural, Two-Lane Roads. *Transportation Research Record*, 806, 33-43.

การตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมเทศบาลเมืองจันทบุรีด้วยการวิเคราะห์การถดถอย

The environmental quality monitoring of Chanthaburi municipality using regression analysis

จักรพันธ์ โพธิพัฒน์^{1*}, ศุทธิณี เมฆประยูร²
Jakkapan Potipat^{1*}, Sutthinee Mekprayoon²

Received: 24 April 2022; Revised: 9 May 2022; Accepted: 9 June 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมและวิเคราะห์การถดถอยข้อมูล ดำเนินการสำรวจข้อมูลคุณภาพอากาศใน 17 ชุมชน ของเทศบาลเมืองจันทบุรีด้วยการตรวจวัดสารมลพิษ 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 และ 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝังเพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ ผลการศึกษาครั้งนี้คุณภาพอากาศบ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ขณะที่ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียลดลงอย่างต่อเนื่อง การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุชี้ให้เห็นว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฤดูกลาง เหมาะสำหรับการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ นอกจากนี้ การประมาณค่าบีโอดีด้วยสมการการถดถอยอย่างง่ายพบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของฤดูฝนและฤดูแล้งอยู่ในระดับสูงเท่ากับ 0.837 และ 0.873 ตามลำดับ ดังนั้น การพยากรณ์ข้อมูลคุณภาพน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมลักษณะของน้ำเสียได้

คำสำคัญ: คุณภาพอากาศ ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย การวิเคราะห์การถดถอย เทศบาลเมืองจันทบุรี

Abstract

This research aimed to investigate the environmental quality using data regression analysis. Data regarding air quality were collected in 17 communities of Chanthaburi municipality with four pollutants detected; $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO and NO_2 . All wastewater samples in an oxidation pond treatment system were chosen by grab sampling for organic substances analysis. The results of air quality index (AQI) indicated that very good air quality class. While, the amount of organic pollution in wastewater treatment system showed a continuous decline. The multiple regression analysis indicated that PM_{10} and season appropriated for AQI forecast. Moreover, the estimation of BOD value with simple regression equation showed the coefficient of determination (R^2) of and dry seasons with high level, and were 0.837 and 0.873 respectively. Therefore, the forecast of water quality data could be applied to wastewater characteristic regulation.

Keywords: Air quality, wastewater characteristic, regression analysis, Chanthaburi municipality

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

² อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000

¹ Assist. Prof., Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

² Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

* Corresponding author; Assist. Prof. Dr.Jakkapan Potipat Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000 Email: jakkapan.p@rbru.ac.th

บทนำ

เทศบาลเมืองจันทบุรีมีการขยายตัวของพื้นที่และจำนวนประชากรอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึงปัจจุบัน เทศบาลมีโครงสร้างประชากรระดับครัวเรือนทั้งหมด 14,499 ครัวเรือนและมีประชากรจำนวน 23,072 คน พื้นที่ให้บริการของเทศบาลเมืองส่วนใหญ่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย สถานที่ราชการ ตลาดและพื้นที่ประกอบการทางการค้าและการลงทุนซึ่งเป็นพื้นที่เฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศและน้ำเสียชุมชน โดยเทศบาลเมืองจันทบุรีกำหนดแนวทางการจัดการปัญหาคุณภาพสิ่งแวดล้อมหลายกิจกรรม ได้แก่ การรณรงค์และขอความร่วมมืองดการเผาในที่โล่งทุกชนิด ตามมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาหมอกควัน และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter: PM) การก่อสร้างและติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียแบบรวมศูนย์ด้วยวิธีการบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝัง (Oxidation Pond) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายในเขตพื้นที่ให้บริการ แต่แนวโน้มของการใช้ประโยชน์ที่ดินยังคงมีการขยายตัวด้านสิ่งปลูกสร้างเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนปัญหาการจราจรติดขัดในช่วงเวลาเร่งด่วนและปริมาณรถยนต์ รถจักรยานยนต์ในเขตเทศบาลมีจำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อคุณภาพชีวิตและคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเขตให้บริการของเทศบาลเมืองจันทบุรี

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหนึ่งที่เรียกว่า ตัวแปรตาม นิยมเขียนแทนด้วย Y กับตัวแปรอื่นหนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่งตัวเรียกว่าตัวแปรอิสระ นิยมเขียนแทนด้วย X ทั้งนี้ เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยเพียงตัวแปรเดียวจะเรียกการวิเคราะห์ว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) ส่วนกรณีที่มีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปรจะเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุ (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล การพยากรณ์และติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบจากมลพิษสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ อากาศ ดิน ตลอดจนการปนเปื้อนสารมลพิษในสิ่งมีชีวิต ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายเพื่อพยากรณ์ค่าบีโอดีและนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำเสีย (จักรพันธ์โพธิ์พัฒนา และภัทร ศรีสรवल, 2563; ศิวิมล เชื้อรุ่ง และศิวพันธ์ุ ชูอินทร์, 2562 และ Abyaneh, 2014) นอกจากนี้ วารีย์ สีดาคำ (2561) พัฒนาและปรับปรุงสมการถดถอยเพื่อศึกษาแนวโน้มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังสมการ

$$DO = -12.57 + 2.34pH + 0.437BOD$$

เนื่องจากคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้รับอิทธิพลและมีความสัมพันธ์กับปัจจัยภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องจำนวนมากและหลากหลายทั้งสิ่งที่มีชีวิตและสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ การสังเคราะห์แสงของผู้ผลิต ปัจจัยด้านฤดูกาล อุตุนิยมวิทยา โครงสร้างทางกายภาพของสถานีเก็บตัวอย่าง ฯลฯ ดังนั้น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจึงถูกนำมาใช้เพื่อแสดงข้อมูลของปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามที่เราต้องการศึกษา โดยเฉพาะการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ ได้แก่ งานวิจัยของ ปภัสรา ขวัญมาและคณะ (2562) ศึกษาการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุเพื่อชี้ให้เห็นว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความกดอากาศ ความเร็วลมและปริมาณน้ำฝนสามารถพยากรณ์การกระจายตัวของ PM_{10} ได้ประมาณร้อยละ 74.90 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในขณะที่การศึกษาของ ธนิตย์ อินทร์ตัน (2554) ชี้ให้เห็นว่าคุณภาพอากาศซึ่งเป็นตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ของปริมาณสารมลพิษทางอากาศดังสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

$$Y = 11.89 + 0.868(NO_2) + 1.89(CO) + 0.694(O_3) + 0.464(PM_{10})$$

นอกจากนี้ การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุถูกนำไปใช้เพื่อป้องกันคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการพยากรณ์คุณภาพอากาศและการจัดการลักษณะของน้ำเสียทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Kliengchuay *et al.*, 2021; Lesar & Filipicic, 2017; Sharma *et al.*, 2020; Bundao *et al.*, 2018; Khodadadi *et al.*, 2016) ดังนั้น เพื่อเป็นการเฝ้าระวังและตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในเขตเทศบาลเมืองจันทบุรีอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวางแผนการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมชุมชนโดยเฉพาะปัญหาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศและการจัดการน้ำเสียตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศและลักษณะของน้ำเสียในเขตให้บริการของเทศบาลเมืองจันทบุรี
2. เพื่อตรวจติดตามข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยการวิเคราะห์การถดถอย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การเก็บข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อม

การเก็บข้อมูลคุณภาพสิ่งแวดล้อมดำเนินงานภายในเขตให้บริการของเทศบาลเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรีมีพื้นที่ให้บริการสาธารณะเพื่อสันทนการ การออกกำลังกาย ย่านการค้า ธุรกิจและการให้บริการบำบัดน้ำเสียชุมชน

การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลคุณภาพอากาศ และลักษณะของน้ำเสีย เก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งเป็นตัวแทนของฤดูฝนและฤดูแล้ง การเก็บข้อมูลมีจำนวนซ้ำของการเก็บจำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย

การสำรวจคุณภาพอากาศบริเวณผิวพื้นภายในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรี จำนวน 17 ชุมชน (Figure 1) ในช่วงระหว่างวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 15.00 น. ถึง 18.00 น. โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของของสารมลพิษทางอากาศทั้งหมด 4 ชนิด ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ด้วยเครื่องมือ Air Quality Detector

การสำรวจปริมาณสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ชนิดบ่อฝังของเทศบาลเมืองจันทบุรีด้วยการวิเคราะห์ค่าบีโอดีและซีโอดี โดยเก็บตัวอย่าง น้ำเสียแบบจ้วง (Grab Sampling) ตามโครงสร้างของระบบบำบัดน้ำเสีย (Figure 2) ที่ปรับปรุงจากผลงานวิจัยของ อมรรัตน์ วุฒิสักดิ์ (2547)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพอากาศด้วยดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย (Pollution Control Department: PCD) ดังสมการ

$$I = \frac{I_j - I_i}{X_j - X_i} (X - X_i) + I_i$$

เมื่อ

I = ค่าดัชนีย่อยคุณภาพอากาศ

X = ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากการตรวจวัด

X_i, X_j = ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุดของช่วงความเข้มข้นสารมลพิษที่มีค่า X

I_i, I_j = ค่าต่ำสุด, สูงสุด ของช่วงดัชนีคุณภาพอากาศ แยกได้ยากกับช่วงความเข้มข้น X

จากสมการกำหนดสมมุติฐานดัชนีคุณภาพอากาศเป็นค่าดัชนีย่อยของสารมลพิษทางอากาศที่มีค่ามากที่สุด ณ เวลาตรวจวัด

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุ (Multiple Regression Analysis: MRA) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศเพื่อป้องกันคุณภาพอากาศ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (Statistical Package for Social Science: SPSS) Version 18 (Serial No. 5083337) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์มีการนำเข้าข้อมูลด้วยการกำหนดตัวแปรอิสระเป็นผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศและกำหนดฤดูกาล (Season) เป็น Dummy Variable (Wet = 0; Dry = 1) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + aD$$

เมื่อ

Y = ตัวแปรตาม (ดัชนีคุณภาพอากาศ)

X_n = ตัวแปรอิสระ (สารมลพิษทางอากาศ)

D = Season (Wet = 0; Dry = 1)

b₀ และ b_n, a เป็นจุดตัดแกนและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร



Figure 1 The map of study area at Chanthaburi municipality (17 communities)

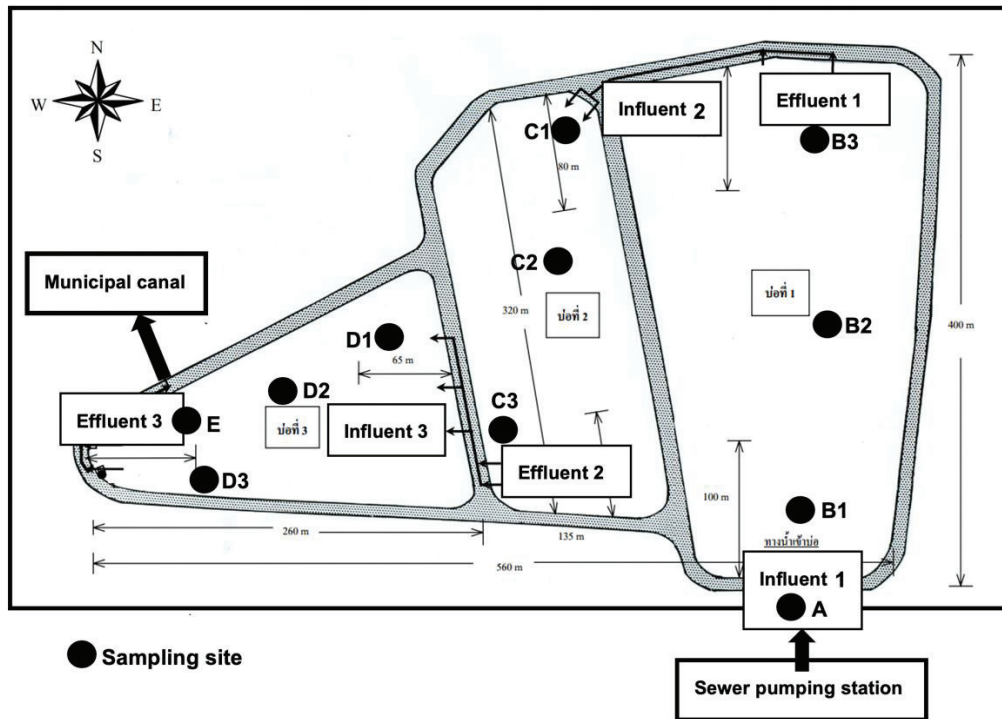


Figure 2 The sampling site of oxidation pond treatment system

การวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของน้ำเสียดำเนินการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ 2 ตัวบ่งชี้คือ บีโอดีและซีโอดี ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) โดยการนำเข้าข้อมูลจากลักษณะของน้ำเสียจำนวน 2 ถู (ถูฝนและถูแล้ง) ในระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝนมากำหนดตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นในรูปของสมการดังนี้

$$Y = b_0 + b_1 X$$

เมื่อ

Y = ค่าบีโอดี (mg/L)

X = ค่าซีโอดี (mg/L)

b_0 และ b_1 เป็นจุดตัดแกนและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร X

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคูณภาพอากาศ

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของปี พ.ศ. 2564 พบว่า สารมลพิษทางอากาศ 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซ

ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเท่ากับ $13.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $15.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.13 \text{mg}/\text{m}^3$ และไม่พบการปนเปื้อน NO_2 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพอากาศในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งด้วย Independent-samples T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งให้เห็นว่า ปริมาณ $PM_{2.5}$, PM_{10} และ CO มีความแตกต่างกันตามฤดูกาล (Table 1) โดยในช่วงฤดูแล้งตรวจพบปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 23.47 และ $26.61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝนที่พบปริมาณ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 3.94 และ $4.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ (Figure 3)

ผลการศึกษาดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ตามประกาศของกรมควบคุมมลพิษ บ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีทั้ง 17 ชุมชน มีคุณภาพอากาศดีมาก ยกเว้นในช่วงฤดูแล้งพบว่า ชุมชนย่อยที่ 6, 13 และ 16 มีคุณภาพอากาศดี และชุมชนย่อยที่ 3 มีคุณภาพอากาศปานกลาง (Table 2)

การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพอากาศด้วยสมการการถดถอยแบบพหุ โดยนำเข้าข้อมูลตัวแปรอิสระจากผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 3 ชนิดและฤดูกาล (Dummy Variable) และทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระแบบ Stepwise เพื่อช่วยลดผลกระทบจากกรณี Collinearity ของตัวแปรอิสระผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรอิสระที่มีความเหมาะสมต่อการพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ คือ ปริมาณ

PM₁₀ และฤดูกาล พบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการเท่ากับ 0.967 (Table 3) นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (PM₁₀) และตัวแปรตาม (AQI) พบว่ามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.940 ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์กับตัวแปรอื่นๆ อยู่ในระดับต่ำ (Table 4) โดยมีรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละฤดูกาลดัง Figure 4 และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน (Linear Relationship) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ใน Figure 5

ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสีย

ผลการศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อผึ่งของเทศบาลเมืองจันทบุรีซึ่งประกอบไปด้วย บ่อแफคัลเททีฟ (Facultative Pond) 1 บ่อ และบ่อบ่ม (Maturation Pond) 2 บ่อ กำหนดสถานีเก็บตัวอย่าง 5 สถานี ได้แก่ จุดน้ำเข้าระบบ (Influent) คือ สถานี A บ่อนำบัดที่ 1 คือ สถานี B (B1+B2+B3) บ่อนำบัดที่ 2 คือ สถานี C (C1+C2+C3) บ่อนำบัดที่ 3 คือ สถานี D (D1+D2+D3) และจุดที่น้ำเสียออกจากระบบ (Effluent) คือ สถานี E พบว่าในช่วงฤดูฝนพบปริมาณสารอินทรีย์รูปแบบของ ค่าบีโอดีในสถานี A, B, C, D และ E เท่ากับ 16.0, 9.3, 8.9, 4.9 และ 4.6 mg/L ตามลำดับ ในขณะที่

ในช่วงฤดูแล้งพบค่าบีโอดีของแต่ละสถานีเท่ากับ 21.0, 14.5, 9.1, 9.1 และ 6.7 mg/L ตามลำดับ สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รูปแบบของค่าซีโอดี พบว่าในช่วงฤดูฝน สถานี A, B, C, D และ E มีค่าเท่ากับ 89.0, 71.7, 58.7, 46.3 และ 36.0 mg/L ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งพบค่าซีโอดีของแต่ละสถานีเท่ากับ 124.0, 100.0, 72.7, 68.3 และ 58.0 mg/L ตามลำดับ (Figure 6)

ผลการนำข้อมูลลักษณะของน้ำเสียในฤดูฝนและฤดูแล้งจากสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 สถานี มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ 2 ตัวบ่งชี้คือ บีโอดีและซีโอดีด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายพบว่า ฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการเท่ากับ 0.787 และ 0.910 ตามลำดับ และเมื่อนำข้อมูลของบีโอดีและซีโอดีตลอดทั้งปี พ.ศ. 2564 (ฤดูฝน+ฤดูแล้ง) วิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายพบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.766 (Table 5)

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (Observed BOD) และค่าบีโอดีจากการพยากรณ์ (Estimated BOD) ด้วยสมการการถดถอยอย่างง่ายพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งเท่ากับ 0.837 และ 0.873 ตามลำดับ (Figure 7)

Table 1 Statistical analysis between air quality in wet and dry seasons

Air pollutants	Wet		Dry		Paired T-test	
	Mean	SE	Mean	SE	T	Sig. (0.05)
PM _{2.5} (µg/m ³)	3.94	0.57	23.47	0.97	- 35.386	0.000
PM ₁₀ (µg/m ³)	4.43	0.60	26.61	1.35	- 23.153	0.000
CO (mg/m ³)	0.00*	0.00*	0.25	0.06	- 4.136	0.000
NO ₂ (mg/m ³)	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*	-	-

PCD-Pollution Control Department; MRA-Multiple Regression Analysis

* Thailand AQI Criteria (0 – 25 Very good; 26 – 50 Good; 51 – 100 Medium; 101-200 Began to affect health; AQI > 201 Affecting health)

* Not detected

Table 2 AQI (Air Quality Index) during wet and dry seasons in Chanthaburi municipality (17 communities)

Communities	AQI _{PCD} values		AQI _{MRA} values		Air Quality*	
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
1	5	24	4.94	27.00	Very good	Very good
2	2	22	0.00	19.30	Very good	Very good
3	18	96	24.90	83.03	Very good	Medium
4	2	23	0.54	23.16	Very good	Very good
5	6	23	6.04	28.10	Very good	Very good
6	3	30	2.74	40.73	Very good	Good

Table 2 AQI (Air Quality Index) during wet and dry seasons in Chanthaburi municipality (17 communities) (cont.)

Communities	AQI _{PCD} values		AQI _{MRA} values		Air Quality*	
	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry
7	1	19	0.00	17.65	Very good	Very good
8	3	20	3.29	14.92	Very good	Very good
9	4	22	2.74	24.25	Very good	Very good
10	1	20	0.00	18.21	Very good	Very good
11	6	19	9.34	17.65	Very good	Very good
12	1	20	0.00	20.41	Very good	Very good
13	7	26	11.53	26.45	Very good	Good
14	2	17	2.18	11.06	Very good	Very good
15	2	21	0.00	19.30	Very good	Very good
16	3	25	2.18	27.00	Very good	Good
17	2	21	0.00	29.75	Very good	Very good

Table 3 The analysis of mutple linear regression of AQI

Model	Equation of multiple linear regression	R	R ²	Sig.
1	$Y_{AQI} = -3.479 + 1.202X_{PM10}$	0.940	0.883	0.000
2	$Y_{AQI} = -3.304 + 1.648X_{PM10} - 14.195D_{Season}$	0.967	0.936	0.000

Table 4 Correlation of dependent variable (AQI) and independent variables (PM_{2.5}, PM₁₀, CO and season)

Correlation	AQI	PM _{2.5}	PM ₁₀	CO	Season
AQI	1				
PM _{2.5}	0.919	1			
PM ₁₀	0.940	0.990	1		
CO	0.383	0.490	0.429	1	
Season	0.658	0.868	0.835	0.497	1

* Correlation coefficient level (0.90 – 1.00 = Very high; 0.70 – 0.90 = High; 0.50 – 0.70 = Medium; 0.30 – 0.50 = Low; 0.00 – 0.30 = Very low)

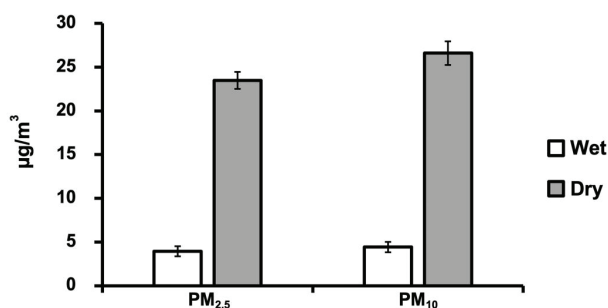


Figure 3 Concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ during wet and dry seasons

Figure 3 Concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ during wet and dry seasons

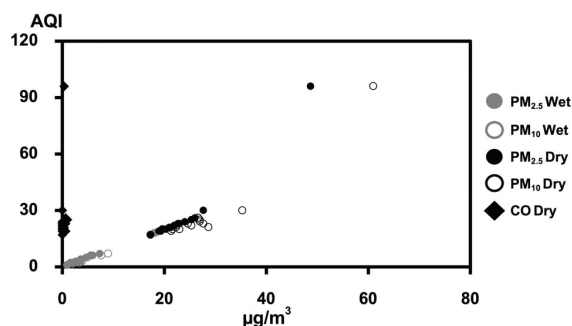


Figure 4 Scatter plot of air pollutant concentrations and AQI during wet season and dry season

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual
Dependent Variable: AQI

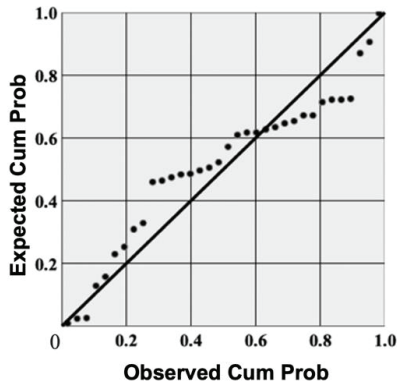


Figure 5 Linear relationship of independent variable and dependent variable

อภิปรายผลการวิจัย

คุณภาพอากาศ

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างคุณภาพอากาศในชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งชี้ให้เห็นว่า ฤดูแล้งตรวจพบสารมลพิษทางอากาศสูงกว่าฤดูฝน โดยเฉพาะปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) และ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สาวิตรี จำปาหอม (2559) พบการปนเปื้อนของฝุ่นละออง PM₁₀ และปริมาณโลหะในโครงสร้าง PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคารของจังหวัดราชบุรีในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน เนื่องจากช่วงเวลาที่ฝนตกมีการชะล้างฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศให้ตกลงสู่พื้นดินหรือกระบวนการจมตัวแบบเปียก (Wet Deposition) ในขณะที่ฤดูแล้งมีปริมาณน้ำฝนน้อยและมีความชื้นต่ำส่งผลให้

PM₁₀ กระจายตัวอยู่ในบรรยากาศได้ยาวนานกว่าฤดูฝน นอกจากนี้ ปกัสร่า ขวัญมาและคณะ (2562) ชี้ให้เห็นว่า แนวโน้มของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกลุ่ม PM₁₀ มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลโดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไปซึ่งเป็นช่วงของฤดูหนาว และลดลงต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งมีสภาพอากาศเป็นวัฏจักรเกิดขึ้นต่อเนื่องและคล้ายคลึงกันในทุกๆ ปี นอกจากนี้พฤติกรรมการแพร่กระจายของ PM₁₀ ในลักษณะเดียวกันนี้สามารถพบได้ในภูมิภาคอื่น เช่น เขตบริหารพิเศษฮ่องกงซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์และสภาพอากาศแบบเขตอบอุ่น (Cheng *et al.*, 2006)

ผลการศึกษาดังนี้คุณภาพอากาศ (AQI) บ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีทั้ง 17 ชุมชน มีคุณภาพอากาศดีมากที่สุดสอดคล้องกับข้อมูลความสัมพันธ์ของจำนวนผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจที่รับไว้เป็นผู้ป่วยในภาคเหนือ ประกอบด้วย เชียงใหม่ เชียงราย แพร่ แม่ฮ่องสอน น่าน พะเยา ลำปาง และลำพูน กับดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) อยู่ในระดับต่ำโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์เท่ากับ 0.238 (พิบูล อิสสระพันธุ์, 2557) อย่างไรก็ตามกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2562) พบว่าคุณภาพอากาศของประเทศในกลุ่มอาเซียนกำลังประสบปัญหามลพิษทางอากาศข้ามเขตแดนโดยเฉพาะการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ดังนั้น ประเทศสิงคโปร์และมาเลเซียมีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ Pollutant Standards Index (PSI) เพื่อควบคุมการแพร่กระจายของ PM₁₀ จากประเทศเพื่อนบ้าน (Table 6)

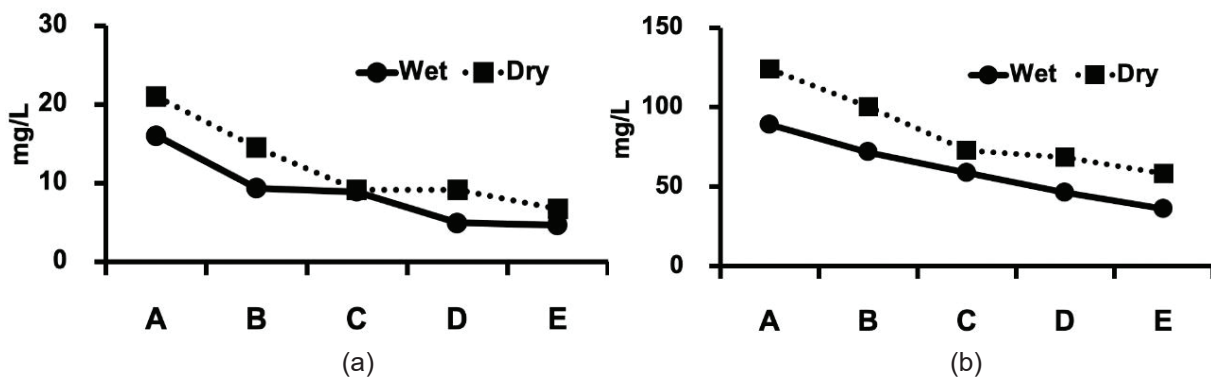


Figure 6 Concentrations of BOD (a) and COD (b) of oxidation pond treatment system

Table 5 The simple linear regression analysis between BOD and COD from oxidation pond treatment site

Seasons	Equation of simple linear regression	R	Sig.
Wet	$Y_{BOD} = 0.128X_{COD} - 0.741$	0.787	0.002
Dry	$Y_{BOD} = 0.123X_{COD} - 2.924$	0.910	0.000
Full year (Wet + Dry)	$Y_{BOD} = 0.098X_{COD} + 0.064$	0.766	0.000

Table 6 The criteria of Pollutant Standards Index (PSI) and PM₁₀ concentrations

PM ₁₀ (µg/m ³)	Corresponding PSI	Air quality description
≤ 50	≤ 50	Good
51 – 150	51 – 100	Moderate
151 – 350	101 – 200	Unhealthy
351 – 420	201 – 300	Very Unhealthy
> 420	> 300	Hazardous

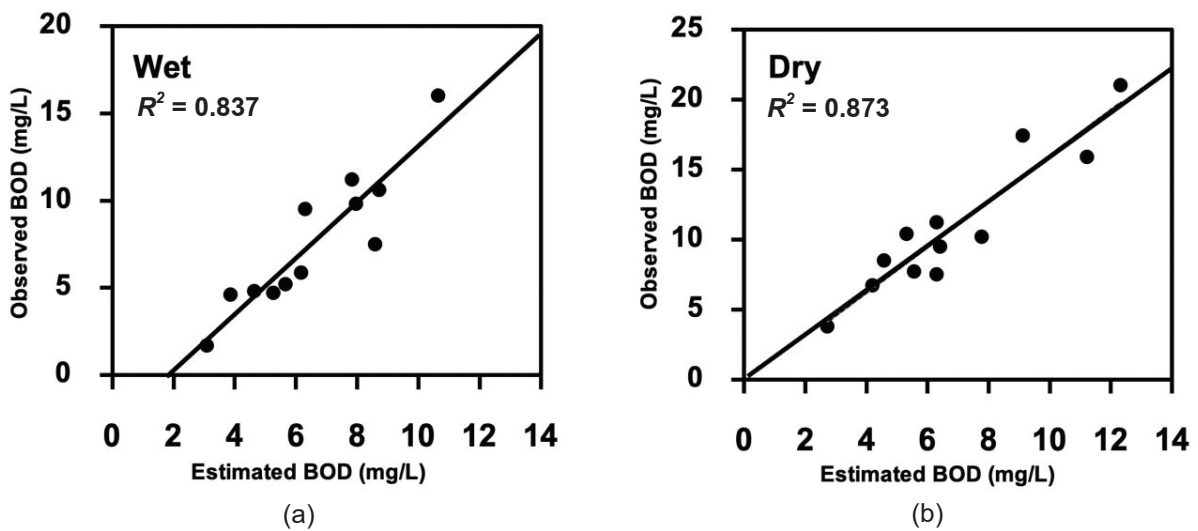


Figure 7 Scatter plot of estimated BOD vs. observed BOD during wet season (a) and dry season (b)

ผลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพอากาศด้วยสมการการถดถอยแบบพหุพบว่า ตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อดัชนีคุณภาพอากาศของเทศบาลเมืองจันทบุรี คือ ปริมาณ PM₁₀ และฤดูกาล ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ตามลำดับ เป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาของ Jassima *et al.* (2018) ที่เปรียบเทียบความแตกต่างของสมการการถดถอยแบบพหุเพื่อพยากรณ์ดัชนีคุณภาพอากาศของกลุ่มสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่มีบริบทของกิจกรรมที่ต่างกันในประเทศบาร์เรน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าทุกกลุ่มสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีปริมาณ PM₁₀ เป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์คุณภาพอากาศ เนื่องจากพบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) สูงที่สุดและพบค่า

รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) มีค่าต่ำกว่าตัวแปรอิสระอื่น ในขณะที่ ชวลิต ทับสีรัก (2555) ชี้ให้เห็นถึงบทบาทและความสำคัญของตัวแปรเชิงคุณภาพในการพยากรณ์แต่การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต้องมีการกำหนดค่าที่แตกต่างกันให้กับข้อมูลแต่ละกลุ่มที่ต่างกันด้วยโดยมีการเลือกกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเป็นกลุ่มอ้างอิง (Reference Group) ตามแนวทางของ Dummy Coding ทั้งนี้ ผลการศึกษาของ Ma and Ding (2020) ช่วยยืนยันว่าในกรณีนี้ที่กำหนดให้ฤดูกาลเป็น Dummy Variable สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศและดัชนีคุณภาพอากาศด้วยกระบวนการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุได้

ลักษณะของน้ำเสีย

การจัดการน้ำทิ้งด้วยระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝังของเทศบาลเมืองจันทบุรีสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งบีโอดีและซีโอดีได้ แต่สถานการณ์ของปริมาณน้ำเสียมีแนวโน้มขยายตัวขึ้นโดยเฉพาะแหล่งกำเนิดน้ำเสียบริเวณชุมชนภายในเขตเทศบาลเมืองจันทบุรีมีอัตราการปล่อยน้ำเสียชุมชนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและครอบคลุมแทบทุกพื้นที่ในเขตเทศบาล สาเหตุหลักที่สำคัญคือ การขยายตัวของประชากรเพิ่มขึ้น โดยส่วนใหญ่เป็นผู้คนจากต่างถิ่นที่เข้ามาประกอบอาชีพในย่านการค้าและเขตพื้นที่ทางธุรกิจ ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า ร้านค้า ร้านอาหาร สถานบันเทิง สถานประกอบการกลุ่มโรงแรม ที่พัก ตลอดจนมีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างเป็นจำนวนมากเพื่อรองรับนักท่องเที่ยว (สำนักงานจังหวัดจันทบุรี, 2558) นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจะมีความแตกต่างกันตามฤดูกาลเนื่องจากอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียโดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับจุลชีพที่อยู่ในบ่อบำบัดน้ำเสียมีค่าประมาณ 20

องศาเซลเซียส ตลอดจนปริมาณสารอินทรีย์จะมีความแตกต่างกันตามสถานีเก็บตัวอย่าง เนื่องจากขนาดของโครงสร้างและกลไกการบำบัดน้ำเสียที่ต่างกันของระบบบ่อฝัง (Skoczko *et al.*, 2017)

เพื่อให้การตรวจสอบลักษณะของน้ำเสียและน้ำทิ้งสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการวิเคราะห์บีโอดีซึ่งต้องใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 5 วัน ตามวิธีการวิเคราะห์ที่ได้มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ดังนั้น การพยากรณ์ค่าบีโอดีด้วยการนำเข้าข้อมูลค่าซีโอดีที่ใช้เวลาในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการประมาณ 2 ชั่วโมง มาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยอย่างง่ายชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลค่าบีโอดีที่ได้จากการพยากรณ์และค่าบีโอดีจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Table 7) สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้เพื่อวางแผนควบคุมลักษณะของน้ำทิ้งให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดได้

Table 7 The R^2 of estimated BOD of previous studies and this study

References	R^2
Oliveira-Esquerre <i>et al.</i> (2002)	0.36 – 0.73
Rene and Saidutta (2008)	0.55 – 0.60
Abyaneh (2014)	0.53
Ebrahimi <i>et al.</i> (2017)	0.82 – 0.83
Bhatt <i>et al.</i> (2017)	0.92
Baki <i>et al.</i> (2019)	0.73 – 0.86
This study	0.83 – 0.87

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณภาพอากาศและลักษณะของน้ำเสียในเขตเทศบาลเมืองจันทบุรีพบว่าสารมลพิษทางอากาศมีความเข้มข้นแตกต่างกันตามฤดูกาล โดยช่วงฤดูแล้งพบปริมาณสารมลพิษทางอากาศสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ในขณะที่ดัชนีคุณภาพอากาศบ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศในเขตชุมชนของเทศบาลเมืองจันทบุรีมีคุณภาพอากาศดีมาก นอกจากนี้เทศบาลเมืองจันทบุรีมีการให้บริการบำบัดน้ำเสียด้วยการก่อสร้างและติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียชนิดบ่อฝังสามารถลดความสกปรกจากสารอินทรีย์ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ ผลการดำเนินงานตรวจติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยการวิเคราะห์ การถดถอยพบว่า การวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพอากาศด้วยสมการการถดถอยแบบพหุสามารถใช้ตัวแปรเชิงปริมาณและตัวแปรเชิงคุณภาพเพื่อพยากรณ์คุณภาพอากาศได้ ในขณะที่ผลการพยากรณ์ลักษณะของ

น้ำเสียจากค่าบีโอดีพบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถนำแนวทางวิเคราะห์ข้อมูลไปใช้เพื่อวางแผนบริหารจัดการน้ำเสียให้กับเทศบาลเมืองจันทบุรีได้

ข้อเสนอแนะ

ควรเก็บข้อมูลปริมาณสารมลพิษทางอากาศให้ครบทุกชนิดตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ ประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ (SO_2)

ควรขับเคลื่อนมาตรการเพื่อลดผลกระทบจากมลพิษทางอากาศให้กับชุมชนที่มีแนวโน้มได้รับผลกระทบโดยเฉพาะช่วงฤดูแล้ง เช่น การรณรงค์ประชาสัมพันธ์เพื่อลดการเผา

การแจกหน้าหน้ากากอนามัยให้กับประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยจากมลพิษทางอากาศ ตลอดจนการจัดกิจกรรมเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับชุมชนในเขตพื้นที่ให้บริการของเทศบาลเมืองจันทบุรี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ตลอดจนการได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและสารเคมีเพื่อวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเทศบาลเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรีที่ช่วยอำนวยความสะดวกเพื่อลงพื้นที่เก็บข้อมูลคุณภาพอากาศและตัวอย่างน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2562). *การพัฒนาาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย*. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
- จักรพันธ์ โปธิพัฒน์ และภัทร ศรีสรवल. (2563). คุณภาพน้ำและการฟอกตัวของธารน้ำจากอุทยานแห่งชาติในจังหวัดจันทบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(2), 524-535.
- ขวลิต ทับสิทธิ์ (2555). ตัวแปรเชิงคุณภาพกับการวิเคราะห์การถดถอย. *วารสารการวัดผลการศึกษา*, 17(1), 31-42.
- ชนิดย์ อินทรัตน์. (2554). การประยุกต์ใช้ ภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินคุณภาพอากาศ: กรณีศึกษา จังหวัดชลบุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 16(1), 32-340.
- ปัทมา ขวัญมา, สมณิมา พุกงาม และ วันชัย อรุณประภารัตน์. (2562). ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี. *PSRU Journal of Science and Technology*, 4(2), 85-94.
- พิบูล อีสสระพันธ์. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศและฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับโรคทางเดินหายใจใน 8 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทยระหว่างปีงบประมาณ 2553-2554. *Thammasart Medical Journal*, 14(1), หน้า 13-26.
- วาริ สีตาคำ. (2561). *การพยากรณ์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแม่น้ำบางปะกงด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ* [ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].

ศิริมล เข็มรุ่ง และศิวพันธ์ ชูอินทร์. (2562). แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีโอดีกับค่าซีโอดี. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, 7(1), 6-12.

สาวิตรี จำปาหอม. (2559). *ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และโลหะใน PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคารในจังหวัดราชบุรี* [วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยศิลปากร].

สำนักงานจังหวัดจันทบุรี. (2558). *คู่มือการท่องเที่ยว*. บริษัทพี.เอ. ลิฟวิ่ง จำกัด.

อมรรัตน์ วุฒิสักดิ์. (2547). *การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตและการรอดตายของปลานิลที่เลี้ยงในกระชังแขวนลอยในบ่อบำบัดน้ำเสียแบบบ่อฝุ้งของเทศบาลเมืองจันทบุรี*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abyaneh, H.Z. (2014). Evaluation of multivariate linear regression and artificial neural networks in prediction of water quality parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(40), 1-8.

Baki, O.T., Aras, E., Akdemir, U.O., & Yilmaz, B. (2019). Biochemical oxygen demand prediction in wastewater treatment plant by using different regression analysis models. *Desalination and Water Treatment*, 157, 79-89.

Bhatt, A.H., Karanjekar, R.V., Altouqi, S., Sattler, M.L., Hossain, M.D.S., & Chen, V.P. (2017). Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 1-16.

Bundao, S., Veeravaitaya, N., Kaewnern, M., & Ingthamjitr, S. (2018). The relationship between land use and water quality in Bangpakong Estuary, Thailand. *Journal of Fisheries and Environment*, 42(2), 24-31.

Cheng, Y., Ho, K.F., Lee, S.C., & Law, S.W. (2006). Seasonal and diurnal variations of PM_{1.0}, PM_{2.5} and PM₁₀ on the roadside environment of Hongkong. *China Particology*, 4(6), 312-315.

- Ebrahimi, M., Gerber, E.L., & Rockaway, T.D. (2017). Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, 193, 234-246.
- Jassima, M.S., Coskuner, G., Marzooq, H., AlAsfoor, A., & Tak, A.A. (2018). Spatial distribution and source apportionment of air pollution in Bahrain using multivariate analysis methods. *EnvironmentAsia*, 11(2), 9-22.
- Khodadadi, M., Mesdaghinia, A., Nasserli, S., Ghaneian, M.T., Ehrampoush, M.H., & Hadi, M. (2016). Prediction of the waste stabilization pond performance using linear multiple regression and multi-layer perceptron neural network: a case study of Birjard, Iran. *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(2), 81-89.
- Kliengchuay, W., Srimanus, R., Srimanus, W., Niampradit, S., Preecha, N., Mingkhwan, R., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Moonsri, K., & Tantrakarnapa, K. (2021). Particulate matter (PM₁₀) prediction based on multiple linear regression: a case study in Chiang Rai Province, Thailand. *BMC Public Health*, 21(2149), 1-9.
- Lesar, T.T., & Filipcic, A. (2017). Multiple Linear Regression (MLR) model simulation of hourly PM₁₀ concentrations during sea breeze events in the split area. *International Journal of Maritime Science & Technology*, 64(3), 77-85.
- Ma, C., & Ding, L. (2020). A research on the seasonal difference of air pollution in Chengdu. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 569, 1-6.
- Oliveira-Esquerre, K.P., Mori, M., & Bruns, R.E. (2002). Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks and principal components analysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 19(4), 365-370.
- Rene, E.R., & Saidutta, M.B. (2008). Prediction of water quality indices by regression analysis and artificial neural networks. *International Journal of Environmental Research*, 2(2), 183-188.
- Sharma, P., Sood, S., & Mishra, S. (2020). Development of multiple linear regression model for biochemical oxygen demand (BOD) removal efficiency of different sewage treatment technologies in Delhi, India. *Sustainable Water Resources Management*, 6(29), 1-13.
- Skoczko, I., Stuk-Sokolowska, J., & Ofman, P. (2017). Seasonal changes in nitrogen, phosphorus, BOD and COD removal in Bystre wastewater treatment plant. *Journal of Ecological Engineering*, 18(4), 185-191.

การย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยแบคทีเรียที่แยกได้จากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย

Biodegradation of used lubricating oil by bacteria isolated from the eastern coast of Thailand

อนันทยา แสนสวัสดิ์^{1*}, นิภาพร ก้านทอง²
Ananthaya Sansawat^{1*}, Nipaporn Kanthong²

Received: 23 January 2022; Revised: 8 April 2022; Accepted: 26 May 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของแบคทีเรียที่แยกได้จากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ผลการศึกษาพบว่า สามารถแยกแบคทีเรียได้ จำนวน 315 ไอโซเลต มีแบคทีเรีย จำนวน 18 ไอโซเลต ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้มากกว่า 80% ภายในระยะเวลา 7 วัน ประสิทธิภาพการย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยกล้าเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อแบบเดี่ยวและแบบผสม เป็นเวลา 14 วัน พบว่าการใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียแบบเดี่ยวของกลุ่มทดลอง *Pseudomonas* sp. TR-47.5 และแบบผสมของกลุ่มทดลอง Mixed 3 (*Pseudomonas* sp. CB-25.1, *Staphylococcus* sp. TR-46.6 และ *Pseudomonas* sp. TR-47.5) สามารถย่อยสลายสารในกลุ่ม glycerol, *n*-alkanes และ fatty acid ลดลงมากกว่ากลุ่มการทดลองอื่น ในการศึกษาที่สรุปได้ว่า *Pseudomonas* sp. TR-47.5 และ Mixed 3 มีแนวโน้มที่ดีที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การย่อยสลายทางชีวภาพ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว กล้าเชื้อแบบเดี่ยว กล้าเชื้อแบบผสม

Abstract

The objective of this research was to study the biodegradation of used lubricating oil by bacteria isolated from the eastern coast of Thailand. Results showed that out of a total of 315 bacterial isolates, 18 bacterial isolates had the ability to degrade used lubricating oil by more than 80% over 7 days compared to control. The degradation efficiency of the components of used lubricating oil was tested with selected bacterial isolates as single and mixed cultures for 14 days. Results showed that *Pseudomonas* sp. TR-47.5 and Mixed 3 (*Pseudomonas* sp. CB-25.1, *Staphylococcus* sp. TR-46.6, and *Pseudomonas* sp. TR-47.5) had the ability to degrade glycerol, *n*-alkanes, and fatty acids more efficiently than the other treatments. In summary, *Pseudomonas* sp. TR-47.5 and Mixed 3 could be applied in the future for decontamination treatment of oil in environment.

Keywords: Biodegradation, Used lubricating oil, Single culture, Mixed cultures

¹ อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110a

¹ Lecturer, Department of Sciences and Mathematics, Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110

² Assist. Prof., Department of Biotechnology, Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110

* Corresponding author: Ananthaya_sa@rmutto.ac.th

บทนำ

การปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (used lubricating oils) ในสิ่งแวดล้อมกำลังเป็นปัญหาที่สำคัญทั่วโลก เนื่องจากการพัฒนาของประเทศต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างเมือง การคมนาคม อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ประมง และการท่องเที่ยว ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ล้วนต้องใช้ น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรทั้งสิ้น น้ำมันหล่อลื่นที่ถูกนำไปใช้แล้วนี้ส่วนหนึ่งจะมีการนำกลับไปใช้ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปกำจัด แต่พบว่าส่วนใหญ่เป็นการกำจัดที่ไม่ถูกวิธี เช่น การขุดหลุมฝัง การเผา หรือการปล่อยทิ้งลงดินหรือแหล่งน้ำ นอกจากนี้การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอาจเกิดจากการรั่วไหลระหว่างการขนส่งและรวบรวมได้ (Meeboon *et al.*, 2016; Kurnia *et al.*, 2018)

น้ำมันหล่อลื่นประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ชนิดอิ่มตัวสายยาว ($C_{16}-C_{36}$) มากกว่า 75% และสารเติมแต่ง 10-20% (Ibrahim, 2016) โดยส่วนใหญ่แล้วสารอินทรีย์ในน้ำมันพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบโพลีนิวเคลียสอะโรมาติก (polynucleus aromatic, PNA) ส่วนสารเพิ่มคุณภาพ ได้แก่ สารต้านทานการกัดกร่อน สารช่วยการกระจายเขม่า และตะกอน ซึ่งจะมีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนและโลหะต่างๆ (พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา, 2547) แต่เมื่อเกิดกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นจะพบสารปนเปื้อนบางชนิดเพิ่มสูงขึ้น เช่น ตะกั่ว สังกะสี แปรเรียม แมกนีเซียม อัลคิลเบนซีน แนฟทาซีน เมทิลแนฟทาซีน และอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbons, PAHs) โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนี้จะมีปริมาณของ PAHs และโลหะหนักมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้ สารเหล่านี้เป็นสารก่อมะเร็งและมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตสูง (Salam, 2016; Parikh *et al.*, 2018) นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้มีความคงทนต่อการย่อยสลายโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ทำให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน (Gan *et al.*, 2009) การสัมผัสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะต่างๆ เช่น ตับ ไต และไขกระดูก รวมทั้งยังเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์มากขึ้นด้วย นับว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นภัยคุกคามที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และพืชพรรณเป็นอย่างมาก จึงต้องมีวิธีการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนี้อย่างเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยตามบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนน้ำมัน (Hussein and Khudhair, 2018)

วิธีการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เก็บกวาดคราบน้ำมัน การเผา หรือการใช้สารเคมี ซึ่งวิธีการเหล่านี้สามารถกำจัดน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและมักก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม

อื่นๆ ตามมา เช่น การตกค้างของสารเคมีมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้น และมลภาวะทางอากาศ เป็นต้น การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดน้ำมันเป็นวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) อีกวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการกำจัดน้ำมันเนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าจุลินทรีย์ในธรรมชาติหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันได้ดี (Younus *et al.*, 2020) และจุลินทรีย์บางชนิดยังมีความสามารถในการย่อยสลาย PAHs ได้อีกด้วย ทั้งนี้ในกระบวนการย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์ เพราะบางสายพันธุ์อาจมีความสำคัญในช่วงแรกหรือช่วงหลังหรือตลอดระยะเวลาของการย่อยสลาย ทำให้โอกาสในการเปลี่ยนรูปหรือกำจัดสารเกิดขึ้นได้มากกว่าสิ่งแวดล้อมที่มีจุลินทรีย์เพียงสายพันธุ์เดียว เพราะในบางสภาวะแวดล้อมอาจไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์สายพันธุ์นั้น จึงทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนรูปหรือการกำจัดสารต่างๆ ได้ (Anene and Chika, 2011) การย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นได้สมบูรณ์จะให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อม มีรายงานก่อนหน้านี้ว่ามีแบคทีเรียหลายชนิดที่แยกได้จากดินหรือน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Monococcus*, *Acinetobacter*, *Citrobacter*, *Rhodococcus* เป็นต้น (Sihag and Pathak, 2016; Salam, 2016; Obuotor *et al.*, 2016; Mahmood *et al.*, 2017; Sagheer *et al.*, 2017; Stephen *et al.*, 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นกล่าเชื้อแบคทีเรียในการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม แหล่งนิคมอุตสาหกรรม ท่าเทียบเรือ และชุมชนต่างๆ สำหรับเป็นทางเลือกในการกำจัดน้ำมันที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำทะเล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทราเยและโคลน ตัวอย่างละ 50 กรัม การเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บบริเวณชายฝั่งทะเล ท่าเทียบเรือ แหล่งนิคมอุตสาหกรรม และชุมชน ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ในช่วงเวลาเดือนมิถุนายน – กรกฎาคม 2558 ได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 62 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างถูกเก็บใส่ในหลอดที่มีฝาปิดสนิท และเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการทันที

การแยกและคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

นำตัวอย่างน้ำทะเล 1% (v/v) ทรายหรือโคลน 1% (w/v) ใส่ลงในอาหาร Marine broth (Conda, Spain) บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C ในสภาวะที่มีออกซิเจน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มจำนวนแบคทีเรีย ถ่ายเชื้อ 1% (v/v) ลงในอาหาร Bushnell Haas Broth (BHB) (Fluka, India) และเติมน้ำมันหล่อลื่นที่มีอายุการใช้งานมาแล้วมากกว่า 6 เดือน จากร้านซ่อมรถยนต์ในจังหวัดชลบุรี ในสัดส่วน 1% (v/v) บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C และเขย่าด้วยความเร็ว 200 rpm. เป็นเวลา 7 วัน (ดัดแปลงจากวิธีการของ Basuki *et al.*, 2011) หลังจากนั้นทำการแยกแบคทีเรียบนอาหาร Marine agar ด้วยเทคนิค spread plate และคัดเลือกโคโลนีที่แตกต่างกัน นำมาแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค streak plate

การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของแบคทีเรียที่แยกได้

เลี้ยงแบคทีเรียที่แยกได้ในอาหาร Marine broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (วัดการเจริญของเซลล์ให้ได้ค่า OD 600 nm เท่ากับ 1) ถ่ายเชื้อแบคทีเรีย 1% (v/v) ลงในอาหาร BHB และเติมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 1% (v/v) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (control) ที่ไม่มีการเติมแบคทีเรียทำการทดลอง 3 ซ้ำ บ่มเชื้อโดยการเขย่าด้วยความเร็ว 200 rpm. ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นแยกน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยใช้ hexane ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อและใส่ในกรวยแยกสาร (Separatory funnel) ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง และนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer (VARIAN Cary 50 Conc) คำนวณประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (ดัดแปลงจากวิธีของ Rahman *et al.*, 2002 และ Kumar *et al.*, 2014) จากสมการ ดังนี้

ร้อยละการย่อยสลายน้ำมัน =

$$\frac{(\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}})}{\text{Abs}_{\text{control}}} \times 100$$

เมื่อ

$\text{Abs}_{\text{control}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วแต่ไม่มีการเติมแบคทีเรีย

$\text{Abs}_{\text{sample}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและมีการเติมแบคทีเรีย

การจำแนกสายพันธุ์แบคทีเรียที่คัดเลือก

ศึกษาลักษณะโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ รูปร่าง การเรียงตัว และการติดสีแกรมของแบคทีเรียที่แยกได้ แล้วจึงคัดเลือกแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ดีที่สุด จำนวน 5 ไอโซเลต จำแนกสายพันธุ์ของแบคทีเรียด้วยเทคนิคทางชีวโมเลกุล โดยการหาลำดับเบสของ DNA ในส่วนของยีน 16S rRNA ทำการเพิ่ม DNA ด้วยเทคนิค PCR ไพรมเมอร์ที่ใช้คือ universal primers 27F และ 1492R จากนั้นทำการหาลำดับเบส (DNA sequencing) ของยีนช่วงนี้ โดยใช้ไพรมเมอร์ 785F และ 907R (Macrogen Inc, Korea) นำลำดับเบสที่ได้ไปเทียบความคล้ายกับฐานข้อมูลใน GenBank โดยใช้โปรแกรม BLAST ของ The National Center for Biotechnology Information (NCBI)

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของแบคทีเรียที่คัดเลือกด้วย Gas chromatography-mass spectrometry

การศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การใช้กลิ่นเชื้อแบคทีเรียแบบเดี่ยว ได้แก่ แบคทีเรียไอโซเลต CB-18.3, CB-25.1, TR-46.6, TR-47.5 และ TR-48.3 และการใช้กลิ่นเชื้อแบคทีเรียแบบผสม ได้แก่ Mixed 1 (TR-46.6 และ TR-47.5), Mixed 2 (CB-18.3, TR-46.6 และ TR-48.3), Mixed 3 (CB-25.1, TR-46.6 และ TR-47.5) และ Mixed 4 (CB-18.3, CB-25.1, TR-46.6, TR-47.5 และ TR-48.3) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (control) ที่ไม่มีการเติมกลิ่นเชื้อแบคทีเรีย เลี้ยงแบคทีเรียที่คัดเลือกในอาหาร Marine Broth บ่มที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (วัดการเจริญของเซลล์ให้ได้ค่า OD 600 nm เท่ากับ 1) เติมหักเชื้อจำนวน 1% (v/v) ตามกลุ่มทดลองลงในอาหาร BHB ที่มีน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 1% (v/v) นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 rpm. ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 14 วัน สกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยละลายด้วย hexane 100 มิลลิลิตร และใส่ในกรวยแยกสาร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แยกน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ วิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยเครื่อง Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) (Agilent Technologies: GC/6890N, MS/5973N) คอลัมน์ชนิด HP-5MS (30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร, I.D 0.25 ไมโครเมตร) สภาวะที่ใช้ในการฉีดสารแบบ split ใช้อัตราส่วนในการ split เป็น 30:1 อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิของ injector และ detector เป็น 250 และ 300 °C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิ เริ่มต้นที่ 100 °C คงไว้เป็นเวลา 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 300 °C ในอัตรา 5 °C ต่อนาที คงไว้ 5 นาที และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 310 °C ในอัตรา 2 °C ต่อนาที คงไว้เป็นเวลา 2 นาที ดัดแปลงจากวิธีการของ Kumar *et al.* (2014)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การแยกแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

จากการแยกแบคทีเรียในตัวอย่างน้ำทะเล ทRAY และโคลน พบว่าสามารถแยกแบคทีเรียที่เจริญในอาหาร BHB ที่มีน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 1% (v/v) เป็นแหล่งคาร์บอน จำนวน 315 ไอโซเลต เมื่อนำแบคทีเรียที่แยกได้มาทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เป็นเวลา 7 วัน พบว่ามีแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากกว่า 80% จำนวน 18 ไอโซเลต มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายอยู่ที่ 81.77-90.47% และแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันได้ดีที่สุดคือ TR-47.5 (Figure 1) โดยมีรายงานก่อนหน้านี้นว่าแบคทีเรียที่แยกได้จากสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนน้ำมัน พบว่าจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย

น้ำมันหล่อลื่นได้ เช่น *P. aeruginosa* LP5 ที่แยกได้จากดินที่มีการปนเปื้อนปิโตรเลียมมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากกว่า 90% ภายใน 21 วัน (Obayori *et al.*, 2014) *P. aeruginosa* ที่แยกได้จากบริเวณที่มีการปนเปื้อนไฮโดรคาร์บอนมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 81% ภายใน 28 วัน (Thenmozhi *et al.*, 2011) และ Hussein and Khudhair (2018) รายงานว่าแบคทีเรียที่แยกได้จากดินที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่น จำนวน 25 ไอโซเลต แต่มีเพียง 3 ไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้มากกว่า 70% อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันยังขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลาย เช่น ความชื้น พีเอช ออกซิเจน อุณหภูมิ และสารอาหาร (Coulon *et al.*, 2005)

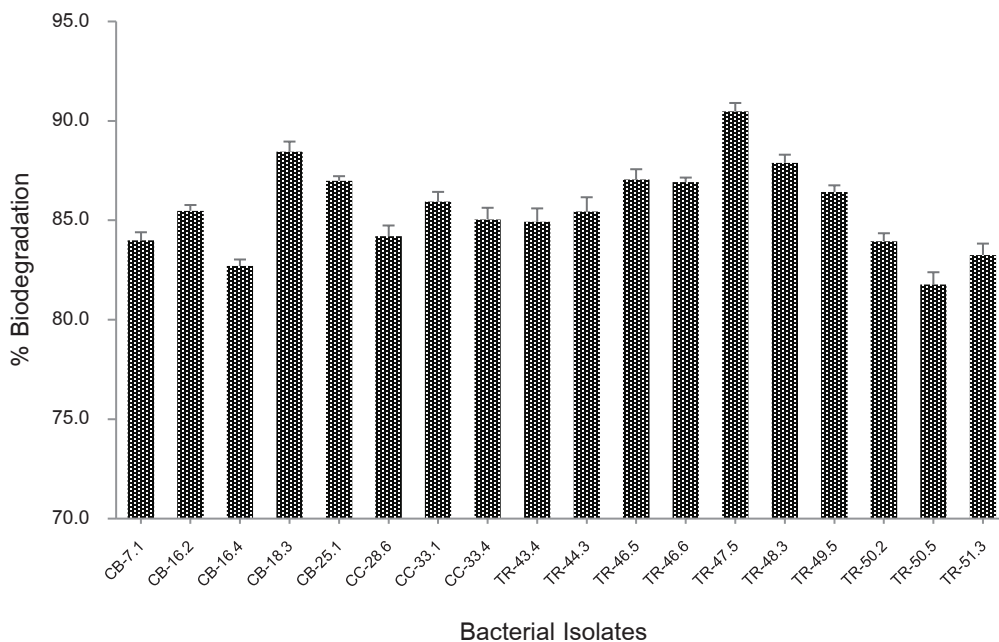


Figure 1 Biodegradation potential of the selected bacterial isolates. (n=3)

การจำแนกสายพันธุ์แบคทีเรียที่คัดเลือก

จากการศึกษาลักษณะโคโลนี รูปร่าง การเรียงตัว การติดสีแกรมของแบคทีเรีย จำนวน 18 ไอโซเลต ที่มีประสิทธิภาพย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากกว่า 80% พบว่าเป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปท่อน จำนวน 17 ไอโซเลต และมีเพียง 1 ไอโซเลตคือ TR-46.6 เป็นแบคทีเรียรูปแกรมบวกรูปกลม จึงคัดเลือกแบคทีเรีย จำนวน 5 ไอโซเลต คือ CB-18.3, CB-25.1, TR-46.6, TR-47.5 และ TR-48.3 มาจำแนกสายพันธุ์แบคทีเรียพบว่าไอโซเลต CB-18.3 มีความเหมือน *Pseudomonas mendocina ymp* 99% ไอโซเลต CB-25.1 มีความเหมือน *Pseudomonas mendocina ymp* 98% ไอโซเลต TR-46.6 มีความเหมือน *Staphylococcus hominis* strain BP3_2A 99%

ไอโซเลต TR-47.5 มี *Pseudomonas mendocina* strain NCBI 10541 98% และไอโซเลต TR-48.3 มีความเหมือน *Pseudomonas pseudoalcaligenes* strain JCM 5968 98% จึงกำหนดเรียกชื่อแบคทีเรียใหม่ว่า *Pseudomonas* sp. CB-18.3, *Pseudomonas* sp. CB-25.1, *Staphylococcus* sp. TR-46.6, *Pseudomonas* sp. TR-47.5 และ *Pseudomonas* sp. TR-48.3 ตามลำดับ มีหลายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีแบคทีเรียหลายสกุลที่แยกได้จากแหล่งธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันดิบ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันปิโตรเลียมหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ เช่น Kumar *et al.* (2014) รายงานว่า *Pseudoalteromonas* sp., *Ruegeria* sp., *Exiguobacterium* sp. และ *Acinetobacter* sp. แยกได้จาก

ตะกอนในอ่าวเบงกอลที่ระดับความลึก 2100 เมตร สามารถย่อยสลายน้ำมันได้ และ Abdel-Megeed and Rudolf (2009) พบว่า *P. frederiksbergensis* แยกได้จากเกาะสปิตส์เบอร์เกน ประเทศนอร์เวย์ สามารถย่อยสลาย n-alkanes สายยาว (C_{10} - C_{22}) ที่อุณหภูมิ 4 °C และ 20 °C ได้เช่นกัน

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของแบคทีเรียที่คัดเลือกว่าด้วย Gas chromatography-mass spectrometry

การศึกษาส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่มีการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรีย พบว่ากลุ่มควบคุมมีส่วนประกอบของสารทั้งหมด 13 ชนิด ซึ่งเมื่อจัดกลุ่มแล้วได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือ glycerol ได้แก่ 1,2,3-Propanetriol, monoacetate ($C_5H_{10}O_4$) และ 1,2,3-Propanetriol, triacetate ($C_9H_{14}O_6$) กลุ่มที่ 2 คือ n-alkane ได้แก่ Heptadecane ($C_{17}H_{38}$), Docosane ($C_{22}H_{46}$), Hexadecane ($C_{16}H_{34}$), Octane ($C_{11}H_{24}$), Hexane ($C_{10}H_{22}$), Heneicosane ($C_{21}H_{44}$) และ Eicosane ($C_{20}H_{42}$) กลุ่มที่ 3 คือ aromatic hydrocarbon ได้แก่ 2,4-bis (1,1-dimethylethyl)-Phenol ($C_{14}H_{22}O$) และกลุ่มที่ 4 คือ fatty acid ได้แก่ Methyl 12-methyltetradecanoate

($C_{16}H_{32}O_2$) ส่วนประกอบในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะอยู่ในรูปของ n-alkane มากที่สุดคือ 49.02%, glycerol 43.22%, aromatic hydrocarbon 5.03% และ fatty acid 2.71% มี retention time ตั้งแต่ 8.76 – 39.11 นาที (Table 1 และ Figure 2) แต่เมื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถูกย่อยสลายด้วยกล้าเชื้อ *Pseudomonas* sp. TR-47.5 มีประสิทธิภาพดีที่สุดสามารถย่อยสลายได้ทั้งกลุ่ม glycerol, n-alkanes และ fatty acid เหลือสารเพียงกลุ่ม aromatic hydrocarbon คือ Phenol,2,4-bis (1,1-dimethylethyl)- ดัง Table 1 และ Figure 3 ที่ยังคงเหลือพีคที่ retention time 15.82 นาที และการใช้กล้าเชื้อ *Pseudomonas* sp. TR-48.3 สามารถย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ใกล้เคียงกัน คือสามารถย่อยสลายสารกลุ่ม glycerol, fatty acid และ n-alkanes อื่นๆ ยกเว้น Phenol,2,4-bis (1,1-dimethylethyl)- และ Eicosane (Table 1) ในขณะที่การใช้กล้าเชื้อ *Pseudomonas* sp. CB-18.3, *Pseudomonas* sp. CB-25.1 และ *Staphylococcus* sp. TR-46.6 พบว่าเหลือส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วหลายชนิดที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ (Table 1)

Table 1 Compounds of used lubricating oil by GC-MS analysis

Treatment	Peak	RT (min)	Area (%)	Name of Compounds
Control	1	8.76	24.61	1, 2, 3 – Propanetriol, monoacetate
	2	11.49	18.61	1, 2, 3 – Propanetriol, triacetate
	3	13.07	1.71	Heptadecane
	4	15.69	2.09	Docosane
	5	15.83	5.03	Phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl) -
	6	18.16	2.34	Docosane
	7	20.45	3.21	Heptadecane
	8	22.63	2.33	Hexadecane
	9	24.69	2.66	Octane, 2, 4, 6 – trimethyl -
	10	25.01	2.71	Tetradecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester
	11	26.66	2.99	Hexane, 2, 2, 3, 3 – tetramethyl -
	12	28.53	4.40	Heneicosane
	13	39.11	27.29	Eicosane
<i>Pseudomonas</i> sp. CB-18.3	1	15.83	21.22	Phenol, bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	2	39.12	62.39	Eicosane
	3	40.03	16.39	1, 3 – dimethyl – 4 – azaphenanthrene
<i>Pseudomonas</i> sp. CB-25.1	1	13.08	2.94	Docosane
	2	15.70	3.49	4 – Octanone
	3	15.83	14.32	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	4	20.46	5.23	Ether, heptyl hexyl
	5	24.71	6.74	Docosane
	6	26.66	5.99	10 – Methylnonadecane
	7	28.53	5.75	Pentatriacontane
	8	39.10	43.24	Eicosane
	9	43.03	12.31	N – ethyl – 1, 3 – dithioisindoline

Table 1 Compounds of used lubricating oil by GC-MS analysis (cont.)

Treatment	Peak	RT (min)	Area (%)	Name of Compounds
<i>Staphylococcus</i> sp. TR-46.6	1	13.07	3.23	Docosane
	2	14.93	1.56	Ethanedial, dioxime
	3	15.69	3.92	Pentadecane
	4	15.83	10.89	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	5	18.15	3.85	Tetradecane
	6	20.46	5.95	Heptadecane
	7	22.63	4.55	Eicosane
	8	24.70	5.33	Nonadecane
	9	25.21	5.08	Hexadecanoic acid, methyl ester
	10	26.65	5.38	Pentacosane
	11	28.53	8.06	Triacontane
	12	39.10	32.15	Eicosane
	13	43.04	10.06	N – ethyl – 1, 3 – dithioisindoline
<i>Pseudomonas</i> sp. TR-47.5	1	15.82	100	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
<i>Pseudomonas</i> sp. TR-48.3	1	15.83	26.87	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	2	39.10	73.13	Eicosane
Mixed 1	1	15.83	27.65	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	2	39.08	72.35	Eicosane
Mixed 2	1	15.83	21.40	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	2	39.10	78.60	Eicosane
Mixed 3	1	15.82	100	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
Mixed 4	1	15.83	27.05	Phenol, 2, 4 – bis (1, 1 – dimethylethyl) -
	2	39.11	45.38	Eicosane
	3	43.03	15.58	N – ethyl – 1, 3 – dithioisindoline
	4	44.11	11.99	N – ethyl – 1, 3 – dithioisindoline

เมื่อศึกษาการใช้กล้ำเชื้อแบคทีเรียแบบผสม พบว่ากลุ่มทดลอง Mixed 3 สามารถย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเหลือเพียง Phenol, 2, 4-bis (1, 1-dimethylethyl)- ได้ผลเช่นเดียวกับ *Pseudomonas* TR-47.5 (Table 1 และ Figure 4) ขณะที่กลุ่มทดลอง Mixed 1 และ Mixed 2 สามารถย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเหลือ Phenol, 2, 4-bis (1, 1-dimethylethyl)- และ Eicosane ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ *Pseudomonas* TR-48.3 ยกเว้นกลุ่มทดลอง Mixed 4 ที่ยังพบ N-ethyl-1,3-dithioisindoline ด้วย (Table 1)

จากผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว พบว่าการใช้กล้ำเชื้อแบคทีเรียทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสม แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารในกลุ่มของ glycerol, n-alkanes และ fatty acid แต่จะไม่สามารถย่อยสลายสารในกลุ่มของ aromatic hydrocarbon หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายยาวได้ โดยปกติแล้วสารกลุ่ม n-alkanes ที่เป็นสายสั้นจะถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าสารกลุ่ม

n-alkanes ที่เป็นสายยาว หรือแบบกิ่งหรือสารกลุ่ม aromatic hydrocarbons (Hasanuzzaman *et al.*, 2007) จากรายงานของ Basuki *et al.* (2011) เมื่อใช้แบคทีเรีย *Acinetobacter junii* TBC 1.2 ย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเวลา 14 วัน พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายสั้น ($\leq C_9$) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายยาว ($\geq C_{25}$) ลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรก แต่อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลาย n-Octadecane ($C_{18}H_{38}$) และ n-Eicosane ($C_{20}H_{42}$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Obayori *et al.* (2014) พบว่า *P. aeruginosa* LP5 สามารถย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_{14} , C_{17} , C_{18} และ C_{21} ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้อย่างรวดเร็วภายใน 12 วัน แต่ในวันที่ 21 พบว่ามีปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_{14} , C_{17} , C_{18} และ C_{21} เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่คือ C_{19} , C_{22} , C_{23} , C_{24} , C_{25} , C_{26} และ C_{27} ไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหน่วยเล็กๆ นั่นเอง

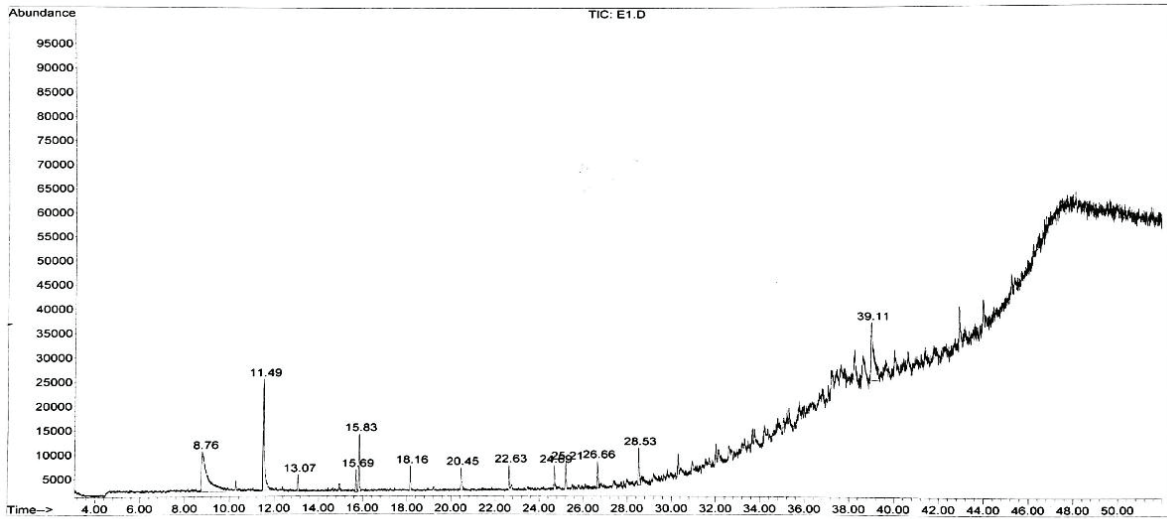


Figure 2 Chromatograms obtained by GC-MS analysis of used lubricating oil in the control of 14 days

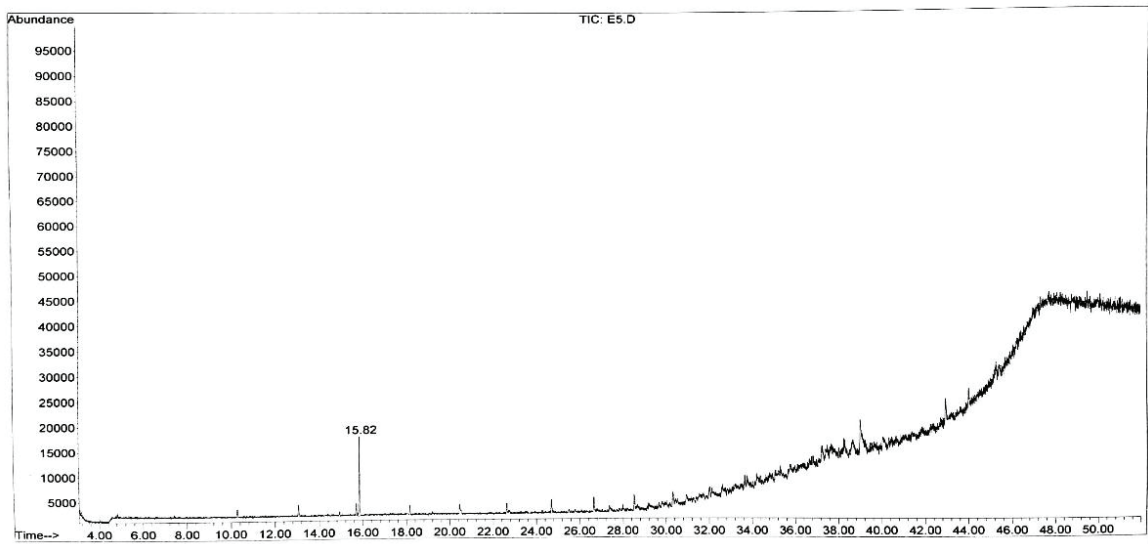


Figure 3 Chromatograms obtained by GC-MS analysis of biodegrading by *Pseudomonas* TR-47.5 of 14 days

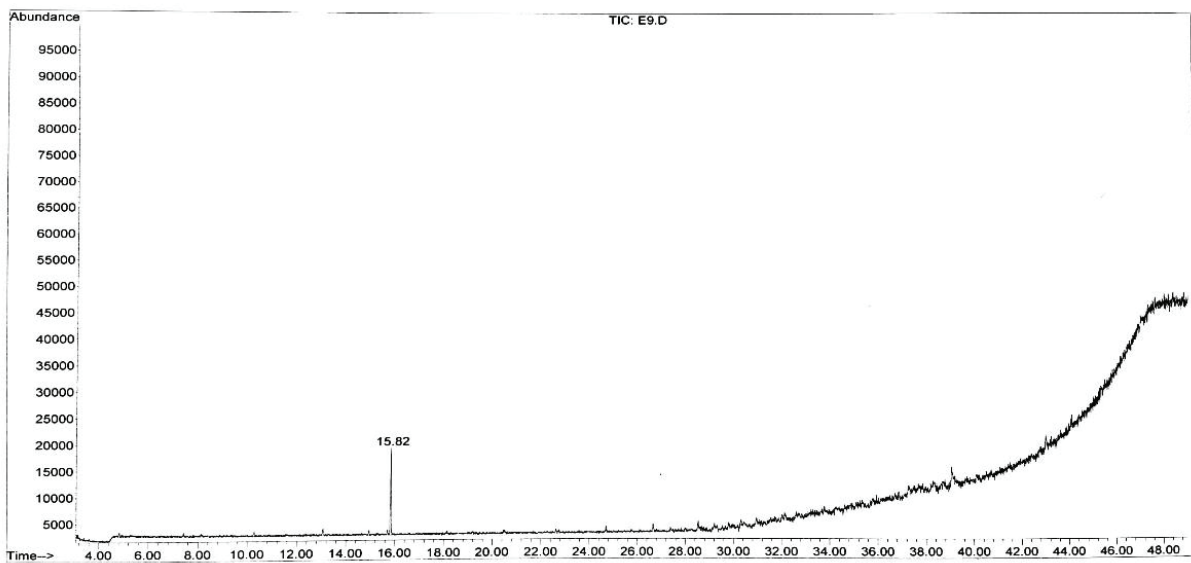


Figure 4 Chromatograms obtained by GC-MS analysis of biodegrading by Mixed 3 of 14 days

แบคทีเรียจะย่อยสลาย alkanes ที่มีคาร์บอนอะตอม $C_{10} - C_{16}$ และ alkanes ที่มีคาร์บอนอะตอม $C_{20} - C_{22}$ ได้เร็วกว่า alkanes ที่มีคาร์บอนอะตอม $C_{32} - C_{40}$ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย alkanes (Abdel-Megeed and Mueller, 2009) ถ้าแบคทีเรียมีความสามารถย่อยสลาย *n*-alkanes ได้หลากหลายแสดงว่าเป็นสายพันธุ์ที่มีเอนไซม์ alkane hydroxylase มากกว่าหนึ่งชนิดเนื่องจากเอนไซม์ alkane hydroxylase ต้องมีความจำเพาะต่อช่วงความยาวของ alkanes ต่างกัน (Beilen *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Gordonia* sp. สายพันธุ์ TY-5 สามารถย่อยสลาย propane ได้เป็น secondary alcohol ต่อมา secondary alcohol ถูกออกซิไดซ์เป็น ketone ด้วยเอนไซม์ Baeyer-Villiger monooxygenase ได้เป็น ester และ ester เข้าสู่ปฏิกิริยา hydroxylation ด้วยเอนไซม์ esterase ได้เป็น alcohol และ fatty acid ได้เช่นกัน (Kotani *et al.*, 2007) ความสามารถในการย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันจึงขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของแบคทีเรียเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่มีการใช้กล้ำเชื้อแบบเดี่ยวและแบบผสม พบว่า การใช้กล้ำเชื้อแบบผสมทุกกลุ่มทดลองสามารถย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันได้ดีกว่าการใช้กล้ำเชื้อแบบเดี่ยวในบางกลุ่มทดลองซึ่งมีหลายการศึกษาที่พิสูจน์ว่าการใช้กล้ำเชื้อแบบผสมจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่าเนื่องจากเกิดการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถกำจัดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อกิจกรรมของสายพันธุ์อื่นได้ จึงเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์สายพันธุ์อื่นๆ จะสามารถย่อยสลายสารประกอบที่ซับซ้อนได้ทั้งหมด ดังนั้นในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่มีการใช้กล้ำเชื้อแบบผสมจึงไม่จำเป็นต้องอาศัยความสามารถในการย่อยสลายส่วนประกอบของน้ำมันได้ทั้งหมดของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ก็ได้ (Bagherzadeh-Namazi *et al.*, 2008) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าในกลุ่มทดลองทั้งที่มีการใช้กล้ำเชื้อแบบเดี่ยวและแบบผสมพบสารในกลุ่ม aromatic hydrocarbon คือ Phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl)- มีโครงสร้างเป็นแบบวงที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ยากกว่า *n*-alkanes ที่มีลักษณะเป็นสายตรง สอดคล้องกับรายงานของ Roy *et al.* (2015) เมื่อใช้ *Nocardiopsis* VITSISB ย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วพบสารหลายชนิด เช่น phenol, 3,5-bis (1,1-dimethylethyl)-, benzene, 1,3-bis (1,1-dimethylethyl), dibutyl phthalate, 2-tert-butyl-4,6-bis (3,5-di-tert-butyl-4 hydroxybenzyl) phenol และ dodecane, 1-fluoro ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม aromatic hydrocarbon เช่นกัน ดังนั้นในการกำจัดสารประกอบในกลุ่มที่กำจัดยากนี้จึงอาจต้องใช้วิธีการอื่นร่วมด้วย

สรุป

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการใช้กล้ำเชื้อแบคทีเรียที่แยกได้จากชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก พบว่า *Pseudomonas* TR-47.5 และ Mixed 3 ซึ่งประกอบด้วย *Pseudomonas* CB-25.1, *Staphylococcus* TR-46.6 และ *Pseudomonas* TR-47.5 มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ที่พบได้ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ดีกว่ากลุ่มอื่น โดยที่ทั้ง 2 กลุ่มทดลองสามารถย่อยสลายได้ทั้ง glycerol, *n*-alkanes และ fatty acid ยกเว้นสารในกลุ่ม aromatic hydrocarbon คือ Phenol, 2,4-bis (1,1-dimethylethyl)- ที่มีโครงสร้างเป็นแบบวงที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ยาก ทั้งนี้อาจจะเกี่ยวข้องกับสารอาหาร สภาพแวดล้อม และระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของสภาพแวดล้อมในการเพาะเลี้ยง และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสาร aromatic hydrocarbon รวมทั้งการศึกษาร่วมกันของแบคทีเรียแต่ละชนิดในกลุ่มทดลอง Mixed 3 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการย่อยสลายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว สำหรับเป็นทางเลือกในการนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีงบประมาณ 2558-2559 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือ สถานที่สำหรับทำการทดลอง และอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา. (2547). ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับแนวทางการจัดการในประเทศไทย. *วารสาร มจร. วิชาการ.*, 8(15), 59-69.
- Abdel-Megeed., A. and Mueller, R. (2009). Degradation of long chain alkanes by a newly Isolated *Pseudomonas frederiksbergensis* at low temperature. *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 3(2), 55-60.
- Anene, M. and Chika, N. (2011). Studies on the bioutilization of some petroleum hydrocarbons by single and mixed cultures of some bacterial species. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 5, 1457-1466
- Bagherzadeh-Namazi, A., shojaosadati, S.A. and Hashemi-Najafabadi, S. (2008). Biodegradation of used engine oil using mixed and isolated cultures. *Int. J. Environ Res.*, 2(4), 431-440.

- Basuki, W., Syahputra, K., Suryani, A.T. and Pradipta, I. (2011). Biodegradation of used engine oil by *Acinetobacter junii* TBC 1.2. *Indones. J. Biotechnol.*, 16, 132-138.
- Beilen, J.B.V., Smits, T.H.M., Whyte, L.G., Schorcht, S., Rothlisberger, M., Plaggemeier, T., Engesser, K.H., and Witholt, B. (2002). Alkane hydroxylase homologues in gram-positive strains. *Environ. Microbiol.*, 4(11), 676-682
- Coulon, F., Pelletier, E., Gourhant, L., and Delille, D. (2005). Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated Sub-Antarctic soil. *Chemosphere*, 58, 1439-1448.
- Gan, S., Lau, E.V., and Ng, H.K. (2009). Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *J. Hazard. Mater.*, 172, 532-549.
- Hasanuzzaman, M., Ueno, A., Ito, Y., Yamamoto Y., Yumoto, I., and Okuyama, H. (2007). Degradation of long-chain n-alkanes (C36 and C40) by *Pseudomonas aeruginosa* strain WatG. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, 1, 40-43.
- Hussein, A.A. and Khudhair, S.H. (2018). Biological treatment of used engine oil by single and mixed bacterial cultures isolated from soil of mechanic workshops. *J. Biotech Res. Center*, 12(1), 115-123
- Kotani, T., Yurimoto, H., Kato, N. and Sakai, Y. (2007). Novel acetone metabolism in a propane-utilizing bacterium, *Gordonia* sp. Stain TY-5. *J. Bacteriol.*, 189, 886-893.
- Kumar, A.G., Vijayakumar, L., Joshi, G., Peter, D.M., Dharani, G., and Kirubaran, R. (2014). Biodegradation of complex hydrocarbons in spent engine oil by novel bacterial consortium isolated from deep sea sediment. *Bioresour. Technol.*, 170, 556-564.
- Kurnia, D.R., Mangunwardoyo, W. and Ambarsari, H. Biodegrading of used lubricant oil hydrocarbons using *Bacillus subtilis* InaCC B289 and *Pseudomonas aeruginosa* InaCC B290 in single or mixed cultures. *The 8th Annual basic Science International Conference; 2018 Oct 17.*
- Ibrahim, H.M.M. (2016). Biodegradation of used engine oil by novel strains of *Ochrobactrum anthropic* HM-1 and *Citrobacter freundii* HM-2 isolated from oil-contaminated soil, *Biotech*, 6:226, 1-13
- Meeboon, N., Kaewsuan, S., Leigh, M.B. and Maneerat S. (2016). Assessment of the bacterial community of soils contaminated with used lubricating oil by PCR-DGGE, *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 38(6), 667-674
- Mahmood, M.H., Yang, Z., Thanoon, R.D., Makky, E.A. and Rahim, M.H.A. (2017). Lipase production and optimization from bioremediation of disposed engine oil, *J. Chem. Pharm. Res.*, 9(6), 26-36
- Obayori, O.S., Salam, L.B., and Ogunwumi, O.S. (2014). Biodegradation of fresh and used engine oils by *Pseudomonas aeruginosa* LP5. *J. bioremed. biodeg.*, 5(1), 213-219.
- Obuotor, T.M., sakariyau, A.O. and Bada, B.S. (2016). Enhanced biodegradation of spent engine oil contaminated soil using organic wastes, *App. Envi. Res.*, 38(3), 27-38
- Parikh, D.R., Tipre, D.R., Nayak, N.S. and Dave, S.R. (2018). Degradation of discarded used engine oil by *Pseudomonas aeruginosa* DP-1 and its Optimization, *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(4), 2224-2229
- Rahman, K.S.M., Thahira-Rahman, J. Lakshmanaperumalsamy, P. and Banat, I.M. (2002). Towards efficient crude oil degradation by a mixed bacterial consortium. *Bioresour. Technol.*, 85(3), 257-261
- Roy, S., Chandni, S., Das, I., Karthik, L., Kumar, G. and Rao, K.V.B. (2015). Aquatic model for engine oil degradation by rhamnolipid producing *Nocardiaopsis* VITSISB, *Biotech*, 5(2), 153-164
- Sagheer, A., Dobhal, S and Tomar, V. (2017). A comparative study of oil degradation with used and unused engine oil by microbes isolated from water sample of mechanic workshops, *Agri Res & Tech*, 10(2), 36-38
- Salam, L.B. (2016). Metabolism of waste engine oil by *Pseudomonas* species, *Biotech*, 6:98, 1-10
- Sihag, S. and Pathk, H. (2016). Biodegradation of 2T engine oil using soil microbe and gravimetric analysis., *Int. j. sci. eng. res.*, 7(2), 1286-1294

- Stephen, A.C., Uchendu, U.I., Mbagwu, C.F., Oji, E.C., Duruanyin, I.E. and Nwankwo, O.U. (2020). Assessment of spent motor oil degradation potential of some bacteria isolated from soil of Ohiya Mechanic Village Umuahia, Abia State, *j. environ. sci., toxicol. food technol.* 14(6), 24-29
- Thenmozhi, R., Nagasathya, A., and Thajuddin, N. (2011). Studies on biodegradation of used engine oil by consortium culture. *Adv. Environ. Biol.*, 5, 1051-1057.
- Younus, R.M., Aziz, E.M.T. and Mohammed, D.A. (2020). Degradation of hydrocarbon substances by some bacterial species isolated from contaminated soils with motor oil, *Eurasia. J. Biosci.*, 14, 1087-1095.

ประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

The performance of parameter estimation in structural equation modeling under different statistical conditions

กัญญา บวรโชคชัย^{1*}

Kanya Bowornchockchai¹

Received: 25 February 2022; Revised: 20 April 2022; Accepted: 23 May 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน 2) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ 3) เพื่อเปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีขั้นตอนดังนี้ 1) จำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โลเพื่อวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 2) วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างและตรวจสอบดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ทั้ง 36 โมเดล 3) เปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยปัจจัยในการศึกษาคือขนาดตัวอย่าง วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ และระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ผลการศึกษพบว่า 1) ข้อมูลที่จำลองขึ้นเป็นไปตามเงื่อนไข 2) การตรวจสอบดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (ML) และวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก (WLS) พบว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง และพบค่าสถิติไคกำลังสองมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น และ 3) การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยพิจารณาจากดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์ (RB) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โล (MCSE) พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบรายคู่ ที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด พบว่า วิธีการประมาณค่าวิธี ML กับวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (GLS) และ ML กับ WLS ผลทำให้ดัชนี RB และ MCSE แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพในการประมาณค่า โมเดลสมการโครงสร้าง ขนาดตัวอย่าง การประมาณค่าพารามิเตอร์ ภาวะร่วมเส้นตรงพหุ

Abstract

The aims of this study were 1) to develop a model and simulate data under different statistical conditions, 2) to confirm model fit between developed models with the empirical data, and 3) to compare the factors influencing the efficiency of parameter estimation. The method, of this study was experimental research. The steps were as follows: 1) data generated by using the Monte Carlo method for analyzing the structural equation model 2) analyzing the structural equation model and confirming model fit with indices for all 36 models 3) comparing the factors influencing the efficiency of parameter estimation. The factors consisted of sample size, parameter estimation methods, and Level of Multicollinearity. The results showed that 1) the simulation conformed to the conditions 2) model fit indices showed that using Maximum likelihood (ML) and weighted least square (WLS) estimation methods, the model was consistent with the empirical data at all levels of sample size and found that the chi-square statistic tended to increase when the sample size was larger; and 3) In a comparison of factors affecting the efficiency of parameter estimation from

¹ อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และนวัตกรรมข้อมูล แขนงวิทยาการข้อมูลและการวิเคราะห์สถิติเชิงธุรกิจ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

¹ Lecture, Department of Computer Science and Data Innovation, Data Science and Statistical Analysis in Business Sect , Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

* Corresponding author. E-mail: kunya.bo@ssru.ac.th , kunya_tu@yahoo.com

the relative bias index (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE), there was an interaction between the sample size and the parameter estimation method that affecting the efficiency to parameter estimation at a significance level of 0.05. Multiple comparison to explore the mean differences between pairs of groups shows that at the 200 sample size, the ML vs. Generalized least square (GLS) and ML vs. WLS estimation methods showed a statistically significant difference in both RB and MCSE indices. Therefore for sample sizes 400 and 1000 sample, parameter estimates were no different.

Keywords: Parameter Estimation, Structural Equation Model, Sample Size, Parameter Estimation, Multicollinearity

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันพบว่าสถิติวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural equation modeling: SEM) เป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์ทางสถิติมุ่งศึกษาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงหรือโมเดลทางทฤษฎีสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งเป็นสถิติวิเคราะห์แนวใหม่ที่ได้รับ ความสนใจจากนักวิจัยอย่างกว้างขวาง (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2548) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางสังคมศาสตร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดปรากฏการณ์ที่มีสลับซับซ้อนมากกว่าในอดีต ทำให้ตัวแปรในการวิจัยมีความซับซ้อนและมีหลายตัวแปรทั้งตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variables) คือ ตัวแปรที่สังเกตได้หรือวัดค่าได้โดยตรง และตัวแปรแฝง (Latent Variables) คือ ตัวแปรที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง มีลักษณะเป็นนามธรรมแต่สามารถนิยามเชิงปฏิบัติการและวัดผ่านตัวแปรสังเกตได้ ซึ่งโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) มีจุดเด่นและมีความเหมาะสม ดังนี้ 1) โมเดลการวิเคราะห์เป็นโมเดลเดียวกับโมเดลการวิจัย สามารถวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ทุกค่าด้วยการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว 2) โมเดลการวิเคราะห์มีตัวแปรแฝง และทดสอบความคลาดเคลื่อน สามารถวิเคราะห์ทั้งโมเดลพร้อมกันได้และสามารถกำหนดให้การวัดตัวแปรสังเกตได้มีความคลาดเคลื่อนได้ เป็นการผ่อนคลายนัยของเบื้องต้นของสถิติวิเคราะห์แบบเดิม 3) ทดสอบความคลาดเคลื่อนมีความสัมพันธ์กันได้ ซึ่งเป็นการผ่อนคลายนัยของเบื้องต้นของการวิเคราะห์แบบเดิมอีกประการหนึ่ง 4) เป็นสถิติที่สามารถตรวจสอบความตรงของโมเดล หรือตรวจสอบความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ และ 5) สามารถทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลเมื่อกลุ่มตัวอย่างเปลี่ยนไปได้ นอกจากนี้คุณสมบัติของโมเดลสมการโครงสร้างยังสามารถคำนวณค่าความเที่ยงของตัวแปรสังเกตได้ที่วัดตัวแปรแฝงในโมเดลได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงด้วยกันได้ (สุภมาส อังศุโชติ และคณะ 2554, หน้า 3)

การวิจัยครั้งนี้จึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขข้อมูลสถิติที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยมุ่งศึกษาว่าหากพบข้อมูลที่มีปัญหา

ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขข้อมูลสถิติที่แตกต่างกัน เช่น มีขนาดตัวอย่างแตกต่างกันแล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างจะยังคงมีประสิทธิภาพอยู่หรือไม่ โดยการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ด้วยดัชนีประเมินความสอดคล้องโมเดล (Assessment of model fit) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกันสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกันสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง

การวิจัยครั้งนี้กำหนดรูปแบบการวิจัยซึ่งเป็นโมเดลเชิงทฤษฎีหรือเป็นโครงสร้างหลักสำหรับใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยกำหนดจำนวนตัวแปรแฝงและตัวแปรสังเกตได้ โมเดลการวิจัย ประกอบด้วย 3 ตัวแปรแฝง ประกอบด้วยตัวแปรแฝงภายนอก 1 ตัวแปร คือ K1 และตัวแปรแฝงภายใน 2 ตัวแปร คือ E1 และ E2 ซึ่งแต่ละตัวแปรแฝง ประกอบด้วย 4 ตัวแปรสังเกตได้ รวมเป็น 12 ตัวแปรสังเกตได้ คือ X1, X2, X3, X4, Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8 นอกจากนี้ยังมีตัวแปร d1, d2, d3, d4 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร X1-X4 ตัวแปร e1 - e8 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร Y1-Y8 และ z1, z2 เป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของตัวแปร E1, E2 โดยมีเส้นภาวะร่วมเส้นตรงพหุอยู่ที่ตัวแปร X1 และ X4 ดัง Figure 1

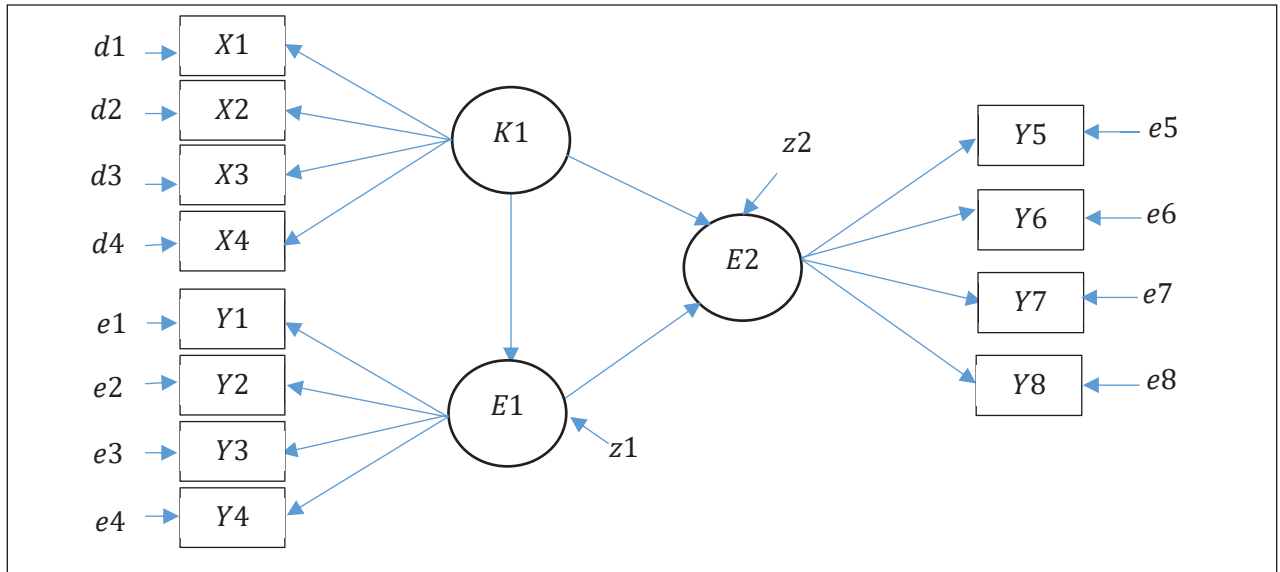


Figure 1 Structural equation model for this research

สำหรับโมเดลสมการโครงสร้างเมื่อเขียนในรูปสมการเมทริกซ์แบบที่มีตัวแปรครบทุกประเภทได้ตามโมเดลสมการโครงสร้างหรือโมเดลลิสเรล เมื่อเขียนในรูปสมการจะประกอบด้วยสมการการวัดสองสมการ และสมการเชิงโครงสร้างหนึ่งสมการ ดังนี้

1) โมเดลเชิงโครงสร้าง

$$[E] = [AL] + [BE][E] + [GA][K] + [z]$$

2) โมเดลการวัด

$$[X] = [TX] + [LX][K] + [d]$$

$$[Y] = [TY] + [LY][E] + [e]$$

โมเดลสมการโครงสร้างมีข้อตกลง ข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ ดังนี้ 1) ข้อมูลควรมีลักษณะการแจกแจงปกติ (Normal distributions) มีความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย (Homoscedasticity) และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ต้องเป็นแบบเส้นตรง (Linear relationship) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ถดถอย 2) ไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity) หรือภาวะที่ตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กันเองสูง 3) การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างมีเทอมความคลาดเคลื่อน (Error terms) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ถดถอย แต่ยอมให้ ตัวแปรความคลาดเคลื่อนจากการวัดตัวแปรสังเกตได้สามารถสัมพันธ์กันได้ ซึ่งเป็นการผ่อนคลายข้อตกลงเบื้องต้นอีกประการหนึ่ง

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยการจำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยใช้โปรแกรม R เช่น ต้องการสุ่มข้อมูลสำหรับแต่ละตัวแปรที่มี

ขนาดเท่ากับ 200 ชุด มีค่าเฉลี่ย เข้าใกล้ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เข้าใกล้ 3 ด้วยคำสั่ง `rnorm(200,0,3)` โดยแต่ละโมเดลจะมีตัวแปรที่อยู่ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุคือตัวแปร X4 สำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น สำหรับสถานการณ์ในการทดลองครั้งนี้ กำหนดเงื่อนไขในการได้มาซึ่งคำตอบการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย (1) ระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุ 4 ระดับ ไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุ, มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ระดับ 0.80 0.90 และ 0.95 (2) ความเบ้ของตัวแปรสังเกตได้ 1 ระดับ มีค่าระหว่าง -0.5 ถึง +0.5 เนื่องจากเงื่อนไขของการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง คือตัวแปรมีการแจกแจงปกติหรือมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Multivariate normal distribution) หากฝ่าฝืนข้อตกลงนี้จะทำให้ความคลาดเคลื่อนของโมเดลมีค่าต่ำกว่าปกติ (Under estimate) ดังนั้น ข้อมูลที่จำลองขึ้นภายใต้การแจกแจงปกติทำให้ค่าความเบ้ไม่สูงและจัดอยู่ใน 1 ระดับ (3) ขนาดตัวอย่าง 3 ระดับ คือ 200 400 และ 1,000 ชุด และ (4) วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในแต่ละสถานการณ์มี 3 วิธี คือ วิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood: ML) วิธีกำลังสองน้อยที่สุดทั่วไป (Generalized least square: GLS) และวิธีกำลังสองน้อยสุดถ่วงน้ำหนัก (Weighted least square: WLS) รวมทั้งสิ้น 36 เงื่อนไขการทดลอง เพื่อใช้วิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 36 รูปแบบหรือโมเดล ตามเงื่อนไขการทดลองดังกล่าว

ระยะที่ 2 การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้ง 36 รูปแบบหรือโมเดล สำหรับสมมติฐานทางสถิติดังนี้

H_0 : โมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ หรือ เมทริกซ์ $\Sigma =$ เมทริกซ์ S

H_1 : โมเดลตามสมมติฐานไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ หรือ เมทริกซ์ $\Sigma \neq$ เมทริกซ์ S

สำหรับดัชนีประเมินความสอดคล้องเชิงประจักษ์ 6 ดัชนี คือ (1) ค่าไคกำลังสอง (χ^2) (2) ค่าไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) (3) ดัชนีระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI) (4) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบของ Tucker และ Lewis (Tucker-Lewis index: TLI) (5) ดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (Standardized root mean square residual: SRMR) (6) ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root mean square error of approximation: RMSEA)

ระยะที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของโมเดล ด้วยการศึกษาจากค่าขนาดอิทธิพล เป็นขนาดของผลที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต้น ต่อตัวแปรตามที่ได้จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบหรือเชิงความสัมพันธ์ โดยการเปรียบเทียบขนาดอิทธิพล (η^2) ของปัจจัยด้านขนาดตัวอย่าง (Sample size) ระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity Level) และวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation) ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการประมาณค่าโมเดลสมการโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วย 2 ดัชนี (1) ความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative bias: RB) และ (2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (Monte Carlo standard error: MCSE) โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง (Three-way ANOVA)

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 3 ตอน ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนารูปแบบและจำลองข้อมูลภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

ผลจากการจำลองข้อมูลด้วยวิธีการมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) โดยใช้โปรแกรม R ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง โดยข้อมูลเป็นไปตามเงื่อนไขในการหาคำตอบการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย (1) ระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุ 4 ระดับ ไม่มีภาวะร่วม

เส้นตรงพหุ, มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ระดับ 0.80 0.90 และ 0.95 (2) ความเบ้ของตัวแปรสังเกตได้ 1 ระดับ คือ ± 0.5 เนื่องจากข้อมูลที่จำลองขึ้นมามีการแจกแจงปกติทำให้ค่าความเบ้ที่ได้ไม่เกินช่วงดังกล่าว (3) ขนาดตัวอย่าง 3 ระดับ คือ 200 400 และ 1,000 ชุดและตรวจสอบค่าสถิติบรรยายลักษณะตัวแปรสังเกตได้ จำนวน 12 ตัวแปรภายใต้แต่ละโมเดลสมการโครงสร้าง รวม 36 โมเดล พบว่า ข้อมูลที่จำลองขึ้นสำหรับแต่ละตัวแปรในแต่ละโมเดลสมการโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เข้าใกล้ 0 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เข้าใกล้ 3 และเมื่อตรวจสอบข้อมูลการแจกแจงปกติด้วยค่าสถิติ Kolmogorov-smirnov พบว่าข้อมูลที่จำลองขึ้นแทนตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวแปรมีค่า p-value ระหว่าง 0.20 มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่จำลองขึ้นแทนตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวแปรมีการแจกแจงปกติ โดยมีค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ของตัวแปรสังเกตได้ของทุกตัวแปรอยู่ระหว่าง ± 0.50

2. ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน ซึ่งดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ที่ใช้ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) ค่าสถิติไคกำลังสอง (χ^2) 2) ค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) 3) ดัชนี CFI 4) ดัชนี TLI 5) ดัชนี SRMR 6) ดัชนี RMSEA เมื่อดำเนินการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างทั้ง 36 โมเดล หรือตามสถานการณ์ 36 เงื่อนไขการทดลอง สรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าสถิติไคกำลังสอง (Chi-square statistics: χ^2) เป็นดัชนีตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ สมมติฐานการทดสอบคือ $H_0: S = \Sigma$, $H_1: S \neq \Sigma$ เมื่อ S แทน เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลเชิงประจักษ์ และ Σ แทน เมทริกซ์ความแปรปรวน-ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรสังเกตได้ที่ประมาณจากโมเดล ถ้าค่าไคกำลังสองไม่มีนัยสำคัญ แสดงว่า โมเดลที่พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์มีผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS ในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบค่าสถิติไคกำลังสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าค่าสถิติไคกำลังสองมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงว่าโมเดลที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ทั้งนี้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS โปรแกรมไม่ให้อำนาจในการปรับโมเดล นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจว่า ค่าสถิติไคกำลังสองสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 200 ชุด พบค่าสถิติไค

กำลังสองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 400 ชุด หรือ 1,000 ชุด โดยเมื่อขนาดตัวอย่างยิ่งมากค่าสถิติไคกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้น และค่าสถิติไคกำลังสอง ในแต่ละระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุพบว่า มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อระดับปัญหาภาวะร่วมเส้นตรงพหุสูงขึ้น

2) ค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาค่าไคกำลังสองสัมพัทธ์ ควรมีค่าน้อยกว่า 2 (Bollen, 1989) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่าดัชนี χ^2/df ระหว่าง 1.232-1.698 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ และวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 2 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ที่ขนาดตัวอย่าง 400 และ 1,000 ชุด ในทุกระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าดัชนี χ^2/df ระหว่าง 4.554-9.392 ซึ่งมีค่ามากกว่า 2 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และ χ^2/df มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น

3) ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่ามากกว่า 0.95 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี CFI มีค่าระหว่าง 0.983-0.999 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี CFI มีค่าระหว่าง 0.594-0.873 ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ ดัชนี CFI มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

4) ดัชนี Tucker-Lewis index (TLI) เป็นดัชนีวัดความสอดคล้องกลมกลืนเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่ามากกว่า 0.95 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี TLI มีค่าระหว่าง 0.971-0.998 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี TLI มีค่าระหว่าง 0.475 - 0.835 ทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ ดัชนี TLI

มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

5) ดัชนีรากของกำลังสองเฉลี่ยของเศษเหลือมาตรฐาน (Standardized root mean square residual: SRMR) เป็นค่าสรุปของ Standardized residual ควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML พบว่าดัชนี SRMR มีค่าระหว่าง 0.010 - 0.045 ในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.08 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่วิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี SRMR มีค่าระหว่าง 0.048 - 0.089 ส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มีเฉพาะที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุดในภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ 0.8 และที่ขนาดตัวอย่าง 400 ชุดในภาวะร่วมเส้นตรงพหุที่ 0.95 พบว่าดัชนี SRMR ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยดัชนี SRMR มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น และวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี SRMR สูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ส่วนวิธีการประมาณค่าแบบ WLS ไม่แสดงผลดัชนี SRMR

6) ดัชนีรากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่า (Root mean square error of approximation: RMSEA) ซึ่งเกณฑ์การพิจารณาดัชนีดังกล่าวควรมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Diamantopoulos & Siguaw, 2000) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี RMSEA มีค่าระหว่าง 0.019 - 0.040 และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกระดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ สำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบว่าดัชนี RMSEA มีค่าระหว่าง 0.050 - 0.109 โดยเฉพาะที่ขนาดตัวอย่าง 200 ชุด ในทุกระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ พบว่าดัชนี RMSEA เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนที่ขนาดตัวอย่าง 400 ชุด และ 1,000 ชุด พบว่าดัชนี RMSEA ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยค่าดัชนี RMSEA มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ดัชนี RMSEA ของวิธีการประมาณค่าแบบ GLS ยังมีค่าสูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS อย่างชัดเจนในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ผลการศึกษา ดังแสดงตาม Figure 2-4

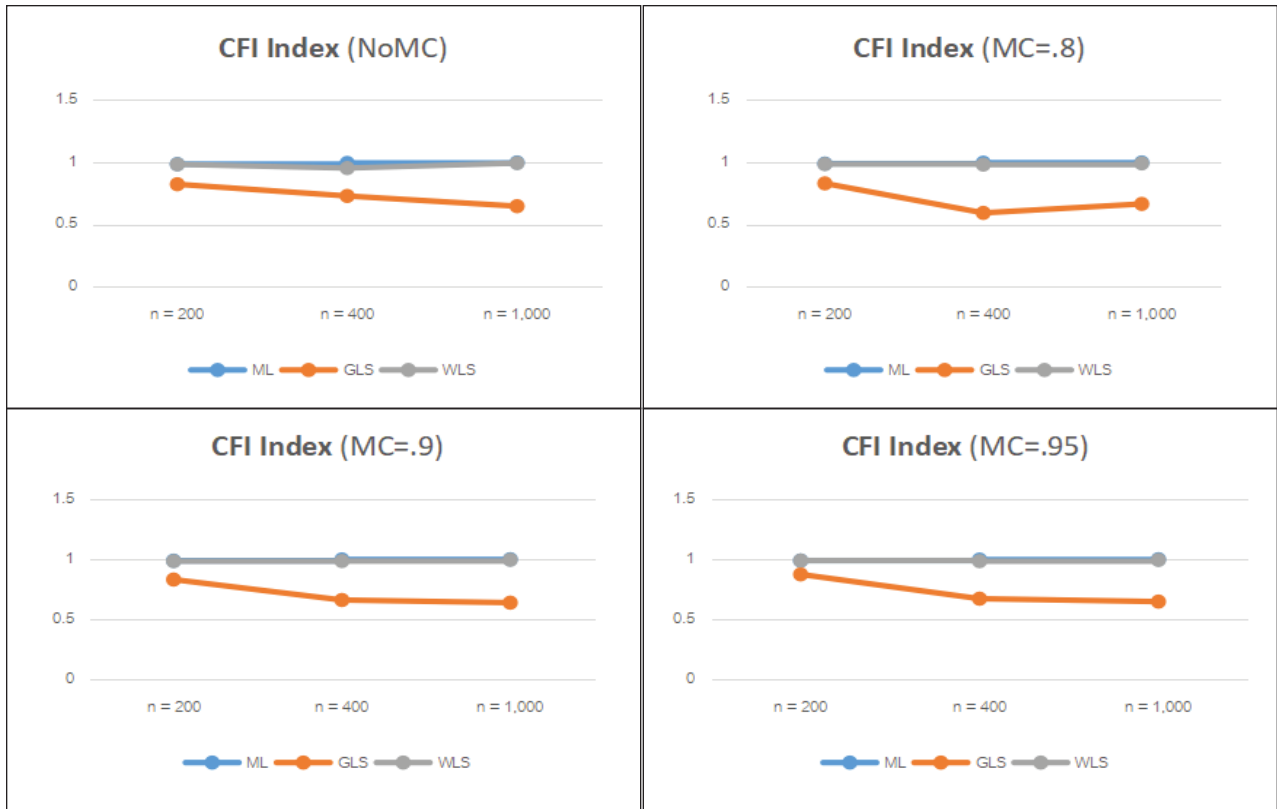


Figure 2 shows the Comparative fit index (CFI) each level of Multicollinearity (MC)

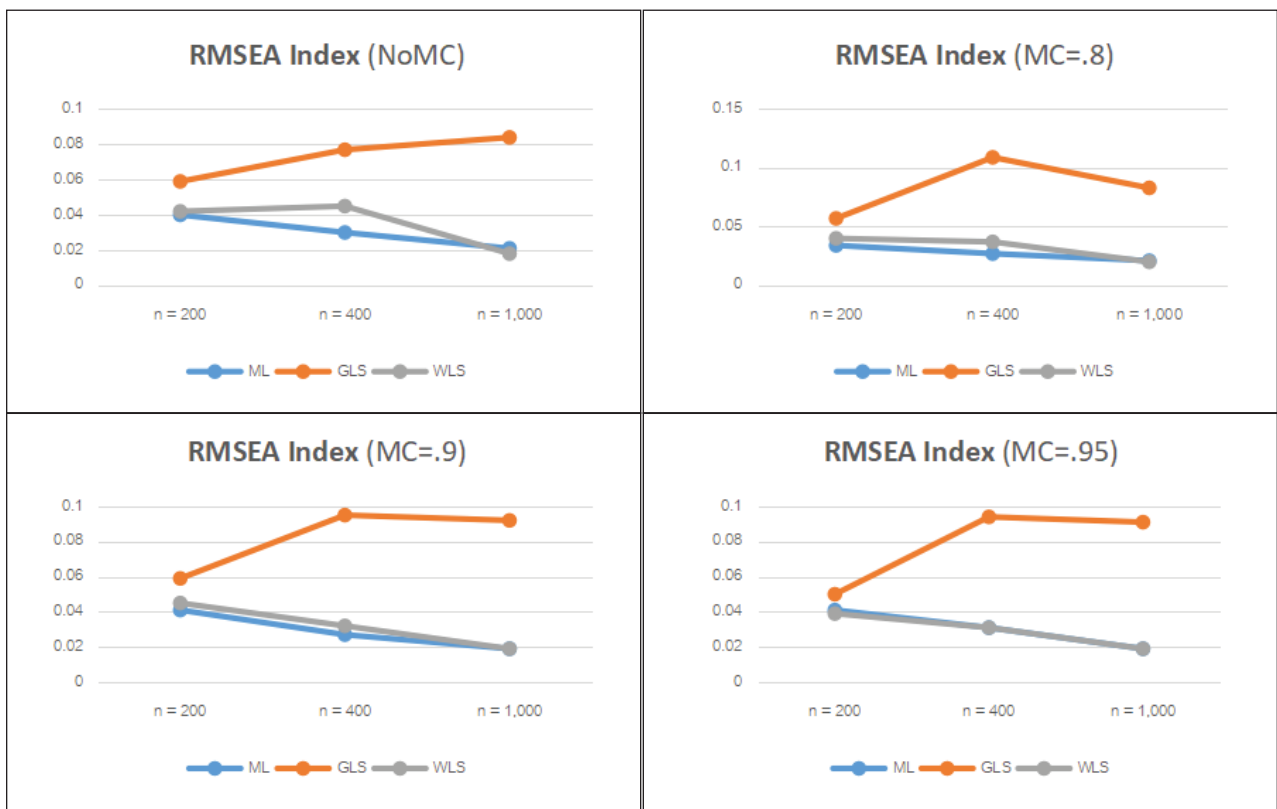


Figure 3 shows Root mean square error of Approximation (RMSEA) each level of Multicollinearity (MC)

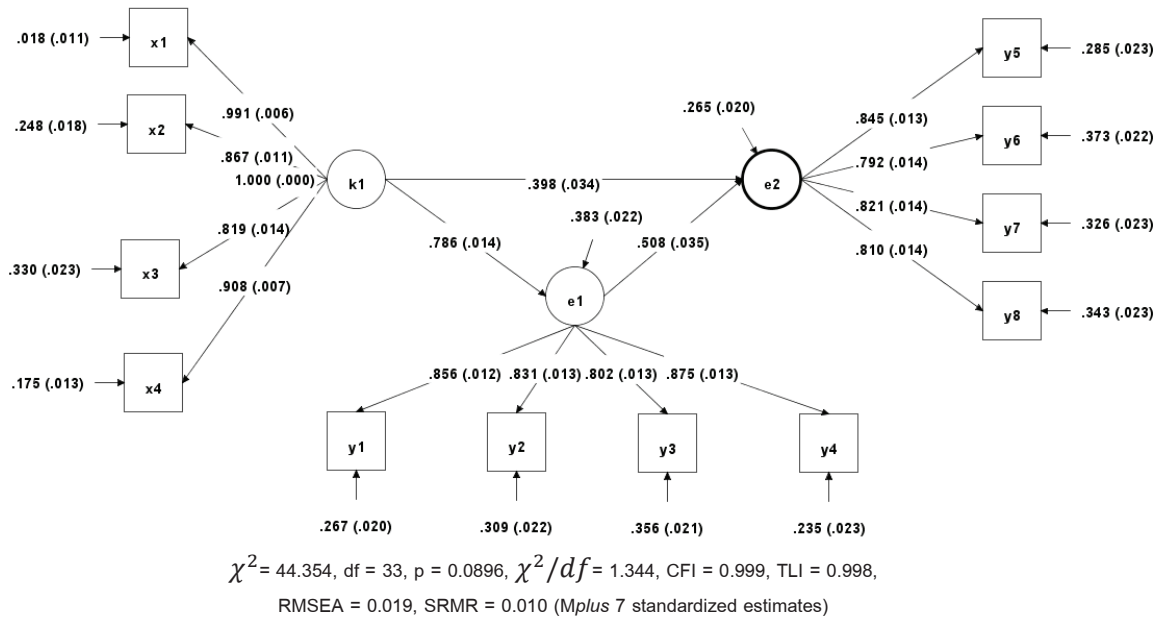


Figure 4 shows an example diagram of 1 of 36 structural equation model analysis results (MC)

นอกจากนี้ Figure 4 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง 1 โมเดลจากทั้งหมด 36 โมเดล โดยแต่ละโมเดลประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ (X1-X4, Y1-Y8) ตัวแปรแฝงภายใน (E1, E2) และภายนอก(K1) และมีเส้นแสดงความสัมพันธ์โดยแต่ละเส้นแสดงค่านำหนักองค์ประกอบ (B) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ค่าแสดงผลความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พบว่าเมื่อใช้วิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS ทั้ง 6 ดัชนี คือ ดัชนี $\chi^2, \chi^2/df, CFI, TLI, SRMR$ และ RMSEA เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดแสดงว่าโมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง ทั้งนี้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ค่าสถิติใดกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นทำให้โมเดลไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ สำหรับดัชนี RMSEA เมื่อใช้วิธีการประมาณค่าแบบ GLS ในทุกระดับของขนาดตัวอย่าง มีค่าสูงกว่าวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์

ผลการวิจัยในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้ภาวะร่วมเส้นตรงพหุและเงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเด็น ดังนี้ 1) สถิติเชิงบรรยายประสิทธิภาพของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ในแต่ละระดับของภาวะร่วม

เส้นตรงพหุ ขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่า ดังแสดงใน Table 1 และ 2) เปรียบเทียบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของรูปแบบด้วยค่าขนาดอิทธิพล (η^2) ซึ่งเป็นขนาดของผลที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตามที่ได้จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบ โดยการเปรียบเทียบขนาดอิทธิพลของดัชนี (1) ความเอนเอียงสัมพัทธ์ (Relative bias: RB) และ (2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแบบมอนติคาร์โลหรือค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า (Monte Carlo standard error: MCSE) กำหนดปัจจัยในการศึกษาดังนี้ ขนาดตัวอย่าง (Sample size) วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter estimation) และระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity Level) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามทาง ผลการศึกษาดังนี้ เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลัก พบว่า (1) ปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี และ (2) ปัจจัยด้านวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี ส่วนปัจจัยด้านระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ไม่แตกต่าง ผลการศึกษาดังแสดงตาม Table 1-2

Table 1 Descriptive statistics of Relative Bias and Monte Carlo Standard Error

Level of multicollinearity	Estimation method	Relative bias (RB)			Monte Carlo standard error (MCSE)		
		n=200	n=400	n=1,000	n=200	n=400	n=1,000
No Multicollinearity	ML	0.1095	0.1032	0.1004	0.1124	0.1064	0.0893
	GLS	0.0942	0.0518	0.0797	0.0909	0.0631	0.0721
	WLS	0.0947	0.0864	0.1027	0.1033	0.0977	0.0966
Multicollinearity = 0.8	ML	0.1289	0.1033	0.0913	0.1284	0.1105	0.0819
	GLS	0.1076	0.0744	0.0786	0.1012	0.0779	0.0714
	WLS	0.0943	0.0598	0.1034	0.0891	0.0636	0.0937
Multicollinearity = 0.9	ML	0.1215	0.1132	0.0815	0.1153	0.1206	0.0759
	GLS	0.1032	0.0720	0.0903	0.1013	0.0753	0.0780
	WLS	0.0941	0.1129	0.0725	0.0892	0.1240	0.0655
Multicollinearity = 0.95	ML	0.1330	0.1005	0.0729	0.1254	0.1029	0.0698
	GLS	0.1016	0.0832	0.0985	0.0997	0.0837	0.0846
	WLS	0.0866	0.1243	0.0983	0.0875	0.1328	0.0902

Table 2 Comparison of effect size of factors influencing the efficiency of parameter estimation

Effects	The efficiency of the structural equation model estimation	
	Relative bias (RB)	Monte Carlo standard error (MCSE)
Model	0.580**	0.635**
Sample size	0.295**	0.415**
Parameter estimation	0.300**	0.341**
Multicollinearity Level	0.030	0.017
Sample size* Parameter estimation	0.349*	0.341*
Sample size* Multicollinearity Level	0.158	0.145
Parameter estimation* Multicollinearity Level	0.079	0.095
Sample size* Parameter estimation* Multicollinearity Level	0.0196	0.0179

หมายเหตุ: * p-value < 0.05, ** p-value < 0.01

Table 3 Multiple Comparison or post hoc test to explore the mean differences between pairs of groups of Relative bias (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE)

Sample size	Parameter estimation		Mean Difference (I-J)	
	Level (I)	Level (J)	Relative bias (RB)	Monte Carlo standard error (MCSE)
n = 200	ML	GLS	.0215**	.0221**
		WLS	.0308**	.0281**
	GLS	WLS	.0093	.0060
n = 400	ML	GLS	.0347	.0351
		WLS	.0092	.0056
	GLS	WLS	-.0255	-.0295

Table 3 Multiple Comparison or post hoc test to explore the mean differences between pairs of groups of Relative bias (RB) and Monte Carlo standard error (MCSE) (cont.)

Sample size	Parameter estimation		Mean Difference (I-J)	
	Level (I)	Level (J)	Relative bias (RB)	Monte Carlo standard error (MCSE)
n = 1,000	ML	GLS	-.0002	.0027
		WLS	-.0077	-.0072
	GLS	WLS	-.0074	-.0100

หมายเหตุ: * p-value < 0.05, ** p-value < 0.01

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ กับประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ผลการศึกษาครั้งนี้ สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 200 ชุด พบว่า มีเฉพาะวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML กับ GLS และ ML กับ WLS เท่านั้นที่ส่งผลทำให้ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ในทุกระดับของวิธีการประมาณค่าพบว่า ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปผลและวิจารณ์ผล

1. การตรวจสอบความสอดคล้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลเชิงประจักษ์ด้วยดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์จากการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง จำนวน 36 โมเดล ได้ผลดังนี้

ค่าสถิติไคกำลังสอง (χ^2) และค่าสถิติไคกำลังสองสัมพัทธ์ (χ^2/df) แสดงผลที่สอดคล้องกันสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 200 ชุดหรือกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก พบค่าสถิติไคกำลังสองมีค่าต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ขนาด 400 ชุด หรือ 1,000 ชุด โดยเมื่อขนาดตัวอย่างยิ่งมากค่าสถิติไคกำลังสองจะมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Bollen (1989) เมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ จะมีค่าเข้าใกล้ค่าอนันต์ สถิติไคกำลังสองมีแนวโน้มที่จะมีค่าสูง ทำให้ค่าสถิติไคกำลังสองมีโอกาสที่ให้นัยสำคัญ หรืออาจปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H0: โมเดลตามสมมติฐานสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์) ทั้งๆ ที่สมมติฐานหลักถูกต้อง

ดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบ (Comparative fit index: CFI) และดัชนีวัดระดับความสอดคล้องเปรียบเทียบของ Tucker และ Lewis (Tucker-Lewis index: TLI) สำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ ML และ WLS พบว่า ดัชนี CFI มีค่าใกล้เคียงกันในทุกะดับของขนาดตัวอย่างและภาวะร่วมเส้นตรงพหุ มีค่ามากกว่า 0.95 ซึ่ง

เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และสำหรับวิธีการประมาณค่าแบบ GLS พบค่าดัชนี CFI มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hu & Bentler (1998) ที่พบว่าดัชนี CFI และ TLI จะได้รับอิทธิพลจากวิธีประมาณค่าเมื่อข้อมูลไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเกี่ยวกับข้อตกลงเบื้องต้น แต่จะไม่ได้รับอิทธิพลจากวิธีประมาณค่าเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติหรือเป็นไปตามเงื่อนไขเกี่ยวกับข้อตกลงเบื้องต้น และสอดคล้องกับ กันตินันท์ นันทนาดิษฐ์ (2559) ศึกษาพบว่า ดัชนี CFI, TLI, RMSEA และ RMSEA มีความเหมาะสมกว่าดัชนีอื่น เนื่องจากมีความไวต่อการระบุโมเดลผิดพลาด และมีความไวต่อตัวแปรแทรกซ้อนอื่น

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขทางสถิติที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และให้ผลที่สอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักพบว่า (1) ปัจจัยด้านขนาดตัวอย่าง ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี และ (2) ปัจจัยด้านวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกันทั้ง 2 ดัชนี ส่วนปัจจัยด้านระดับภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ไม่แตกต่าง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านขนาดตัวอย่างและวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ กับประสิทธิภาพของวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ดัชนี ผลการศึกษาดังนี้ สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 200 ชุด พบว่า มีเฉพาะวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบ ML กับ GLS และ ML กับ WLS เท่านั้นที่ส่งผลทำให้ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ 0.05 สำหรับขนาดตัวอย่างที่ระดับ 400 ชุด และ 1,000 ชุด ในทุกวิธีการประมาณค่า พบว่า ดัชนีความเอนเอียงสัมพัทธ์และความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า ในทุกระดับของวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับกันตินันท์ นันทนาดิศัย (2559) ศึกษาพบว่า วิธีการประมาณค่าแบบ ML มีความเอนเอียงสัมพัทธ์ต่างจากวิธี GLS และ WLS เนื่องจาก (1) วิธี GLS จะมีแนวโน้มให้ค่าประมาณพารามิเตอร์ที่มีความเอนเอียงเมื่อมีการฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้น (Boomsma & Hoogland, 2001; Lei & Lomax, 2005; Olsson *et al.*, 2000) ผลการวิจัยพบว่าวิธี GLS ยังคงมีความเอนเอียงสัมพัทธ์มากกว่าวิธี ML เมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น ถึงแม้ว่าข้อมูลจะมีการแจกแจงแตกต่างไปจากการแจกแจงปกติไม่มาก ทั้งนี้งานวิจัยของ Boomsma & Hoogland (2001) พบว่าวิธี WLS ต้องการขนาดตัวอย่างจำนวนมากในการวิเคราะห์ จึงจะได้ค่าประมาณที่มีประสิทธิภาพ และมีความคงเส้นคงวา โดยขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับ 40 เท่าต่อจำนวนพารามิเตอร์ในโมเดล วิธี WLS จึงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี ML (Boomsma & Hoogland, 2001; Curran *et al.*, 1996; Fan & Wang, 1998; Olsson *et al.*, 2000)

เอกสารอ้างอิง

- กันตินันท์ นันทนาดิศัย. (2559). *ประสิทธิภาพของการประมาณค่าพารามิเตอร์และดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงประจักษ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันภายใต้โมเดลระบุผลิตภัณฑ์และตัวแปรสังเกตได้ที่มีการแจกแจงไม่ปกติ* [วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2548). *รายงานการประเมินการปฏิรูปการเรียนรู้อัตระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน: พหุกรณีศึกษา. สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. สุภมาส อังศุโชติ, สมถวิล วิจิตวรรณ และรัชัญกุล ภิญโญภาณุวัฒน์. (2541). สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์ และพฤติกรรมศาสตร์: เทคนิคการใช้โปรแกรม LISREL. มิสชั่น มีเดีย.*
- Bollen, K.A. (1989). *Structural Equations and Latent Variables*. John Wiley & Sons Inc.
- Boomsma, A. & Hoogland, J.J. (2001). *The robustness of LISREL modeling revisited. Structural equation models: Present and future. A Festschrift in honor of Karl Joreskog.*
- Curran, P.J., West, S.G., & Finch, J.F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1(1), 16.

- Diamantopoulos, A. & Siguaw, J.A. (2000). *Introducing LISREL: A Guide for the uninitiated*. SAGE Publications, Inc.
- Fan, X. & Wang, L. (1998). Effects of potential confounding factors on fit indices and parameter estimates for true and misspecified models. *Educational and Psychological Measurement*, 58(5), 701-735.
- Hu, L. & Bentler, P. M. (1998). Fit Indices in Covariance Structure Modeling: Sensitivity to Underparameterized Model Misspecification. *Psychological Methods*. 3(1), 424-453.
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J. & Anderson, R.E. (2010). *Multivariate data analysis: A global perspectives*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, International.
- Lei, M. & Lomax, R.G. (2005). The effect of varying degrees of nonnormality in structural equation modeling. *Structural Equation Modeling*, 12(1), 1-27.
- Olsson, U.H., Foss, T., Troye, S.V. & Howell, R.D. (2000). The performance of ML, GLS, and WLS estimation in structural equation modeling under conditions of misspecification and nonnormality. *Structural Equation Modeling*, 7(4), 557-595.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

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

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิตติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวีส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวีส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

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. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

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) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

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. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

Aim and Scope:

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr. Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr. Pairoi Pramual
Maharakham University
Professor Dr. Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Professor Dr. Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr. Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr. Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr. Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr. La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr. Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr. Wongsak Laohasiriwong
Khon Kaen University
Professor Dr. Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr. Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Chantana Aromdee
Khon Kaen University

Associate Professor Dr. Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr. Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr. Orawich Goompol
Maharakham University
Associate Professor Dr. Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr. Chawalit Boonpok
Maharakham University
Associate Professor Terdsak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Assistant Professor Dr. Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr. Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr. Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr. Walaiporn Tongjaroenbuengam
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Alongkorn Lamom
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr. Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr. Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr. Adrian Roderick Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

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