



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 38 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2564

บทความวิจัย

1. การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสานโดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

กรณีศึกษาด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง

1

ธีรดนัย อินดี และ จำรัส พัทธ์ศฤงคาร

2. การกำจัดสัญญาณรบกวนการสั่นในการชั่งด้วยตัวกรองแบบปรับตัวได้ ที่อาศัยสัญญาณอ้างอิง

AC จากเซนเซอร์ความเร่ง และ DC จากค่าคงที่

15

นทีกานต์ มูลทองน้อย สุรพล บุญจันทร์ ปราโมทย์ วาดเขียน และ อัญชลี มโนสืบ

3. สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์แถบกว้างพร้อมร่องสี่เหลี่ยมสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์

ระบบดิจิทัล

23

สมภพ พิมพล และ รังสรรค์ วงศ์สรรค์

4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้าง

บ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

34

ศตพร วัฒนาวิทย์ และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร

“วิศวกรรมลาดกระบ้ง”

วิศวกรรมลาดกระบ้งเป็นวารสารทางวิชาการซึ่งจัดทำโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นเอกสารเผยแพร่งานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์
2. เป็นสื่อแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ ๆ ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ระหว่างนักวิจัยและผู้สนใจ
3. เป็นเอกสารรวบรวมรายงาน และบทความทางวิชาการที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิศวกรรมศาสตร์

วาระที่ออก

ปีละ 4 ฉบับ (ทุก 3 เดือนต่อฉบับ)

นโยบาย

บทความที่จะเสนอตีพิมพ์ จะต้องเป็นบทความที่มีคุณค่าทางวิศวกรรม เช่น เป็นรายงานการวิจัยที่ผู้เขียนได้ทำการทดลอง สร้าง หรือมีส่วนกับงานโดยตรง เป็นบทความที่เสนอถึงความคิด หรือหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ และมีทฤษฎีประกอบ หรือสนับสนุนอย่างเพียงพอ หรือเป็นบทความทางวิชาการที่น่าสนใจ มีประโยชน์ต่อนักศึกษาและนักวิจัย โดยผู้เขียนเป็นผู้รวบรวมและเรียบเรียงเอง

รูปแบบของบทความ

บทความที่เสนอจะเป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษก็ได้ โดยจัดพิมพ์ตามรูปแบบที่กำหนดให้ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลทเพื่อพิมพ์ได้ทันที (camera ready) และเพื่อให้รูปแบบการพิมพ์ของบทความมีมาตรฐานเดียวกันจึงขอให้ผู้เขียนจัดเตรียมเอกสารโดยใช้เวิร์ดโปรเซสเซอร์ Microsoft Word for Windows สำหรับรูปภาพประกอบ หากมีใช้ภาพถ่ายก็ควรเขียนหรือสเก็ตโดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่สนับสนุนการทำงานในระบบ Windows

บทความที่น่าสนใจเพื่อตีพิมพ์ ควรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

- | | |
|---------------------------|---|
| ชื่อเรื่อง | ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ |
| ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน | ไม่ต้องระบุคุณวุฒิหรือตำแหน่งทางวิชาการใด ๆ |
| สถานที่ทำงาน | ในกรณีที่ผู้เขียนหรือผู้ร่วมงานเป็นนักศึกษา ให้ใช้คณะและสถาบันที่สังกัดเป็นสถานที่ทำงาน |
| บทคัดย่อ | ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ |
| เนื้อความ | ควรประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆ และมีเลขประจำหัวข้อตามลำดับ |
| | 1. บทนำ |
| | 2. ทฤษฎี |
| | 3. การทดลองและผลการทดลอง |
| | 4. สรุป |
| | 2.1 หลักการของ..... |
| | 2.2 หลักการใหม่..... |

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง การอ้างในบทความให้ใช้หมายเลขประจำเอกสารหรือบทความที่อ้างอิง โดยตัว เลขจะอยู่ในวงเล็บใหญ่ โดยรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงจะเป็นดังนี้

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, “The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic,” Ladkrabang Engineering Journal, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, “Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits,” IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

การส่งบทความ

บทความที่จะส่งเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกสถาบันฯ โดยเนื้อหาของบทความมีความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ ส่วนหน้าที่ 9 เป็นต้นไป ต้องเสียค่าตีพิมพ์หน้าละ 500 บาท ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยหน้าแรกของบทความจะมีชื่อที่อยู่ของผู้เขียน 1 หน้า และหน้าแรกของบทความที่ไม่ระบุชื่อผู้เขียนอีก 1 หน้า รวมทั้งหมด 9 หน้า และกรณารับชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความได้ที่ลิงก์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

เจ้าของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง

กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ (662) 329-8000 # 3464, 3465

โทรสาร (662) 329-8317

ที่ปรึกษา

คมบดี

รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

รักษาการหัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุมา สืบบุญเรือง

รองหัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พงษ์พิ้ง

กองบรรณาธิการ

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

ติดต่อประสานงาน

จัดทำต้นฉบับ Artwork

พิสูจน์อักษร และรูปเล่ม

นายทนงศักดิ์ ใจชื่นแสน

ออกแบบปก



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง”

ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ

สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน

บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ

สิรินธร ไทย-เยอรมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-

พระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ วรพิเชฐ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชีพสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สราวุฒ สุจิตรจรร

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

ศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รั้วรุจา

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเชต สุริรักษา

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.โมนาย ไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร (เกษียณอายุ)

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย เดชหาญ (เกษียณอายุ)

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ 20 มีนาคม 2563

เรื่อง แจ้งเพื่อทราบ

เรียน อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจ

กองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง” มีความประสงค์ขอเรียนแจ้งให้ท่านทราบรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิศวกรรมลาดกระบัง ดังนี้

1. เว็บไซต์ใหม่ของวารสาร คือ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>
2. เนื้อหาของบทความให้มีความยาวจำนวนหน้า ความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ หากจำนวนหน้าของเนื้อหามากกว่า 8 หน้าขึ้นไป ในส่วนของหน้าที่ 9 เป็นต้นไป คิดราคาค่าตีพิมพ์เพิ่มหน้าละ 500 บาท (ห้าร้อยบาทถ้วน) โดยผู้แต่งต้องชำระเงินค่าตีพิมพ์ในจำนวนหน้าที่เกิน 8 หน้า หลังจากที่ยื่นบทความแก้ไขสมบูรณ์แล้ว และได้รับหนังสือการตอบรับการตีพิมพ์จากงานวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง
3. การส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวิศวกรรมลาดกระบัง ผู้เขียนบทความสามารถเสนอรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในสาขาที่ท่านส่งมา จำนวน 2 ท่าน โดยแนบมาพร้อมแบบฟอร์มการส่งบทความด้วยทุกครั้ง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

การวิเคราะห์ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบผสมผสาน
โดยใช้แบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค: กรณีศึกษา
ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง

**Analyzing a mixed toll collection system using traffic
microsimulation models: A case study of Din Daeng toll plaza**

ธีรคันย์ อินดี* และ จำรัส พิทักษ์สงคราม

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Teedanai Indee* and Jumrus Pitaksringkarn

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

*Corresponding Author E-mail: indeetee@gmail.com

Received: November 25, 2020 Revised: January 20, 2021 Accepted: January 27, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาแบบจำลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมของยานพาหนะที่ใช้บริการทางพิเศษบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ในสภาพการจราจรปัจจุบัน ซึ่งมีระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC) และศึกษาความเหมาะสมของการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบัน และนำผลการศึกษาความเหมาะสมของการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษไปใช้สำหรับออกแบบระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่สามารถจัดการกับสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ในปี พ.ศ. 2570 ซึ่งการสร้างและการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคในงานวิจัยนี้ โดยใช้โปรแกรม VISSIM และใช้ข้อมูลจากการสำรวจในภาคสนาม ซึ่งผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษและรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษ เพื่อรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2570 พบว่า การจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปัจจุบัน คือ ตำแหน่งที่ตั้งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณกึ่งกลางของระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการทางพิเศษและช่วยให้ผู้ใช้บริการทางพิเศษลดระยะเวลาในการเดินทางผ่านด่าน และในปี พ.ศ. 2570 ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่สามารถแก้ไขปัญหาและจัดการกับสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ได้ คือ ระบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) จำนวน 9 ช่องจราจร ตำแหน่งที่ตั้งบริเวณกึ่งกลางของระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษผสมผสานกับระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ตู้ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ให้มีอัตราการไหล 5,125 คัน/ชั่วโมง สามารถใช้ระยะเวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเพียง 24 วินาที และสามารถวิ่งด้วยความเร็ว

เฉลี่ย 49.04 กิโลเมตร/ชั่วโมง รวมทั้งทำให้มีความยาวแถวคอยเพียง 65.50 เมตร โดยผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับพัฒนาและปรับปรุงระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

คำสำคัญ : ด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ แบบจำลองระดับจุลภาค ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ ระบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow

Abstract

The objectives of this study are to create and develop a traffic model at Din Daeng expressway toll plaza (ground level) in which the toll system can separate into Manual Toll Collection (MTC) and Electronic Toll Collection (ETC). Another objective is to study the appropriate position of toll booths that can effectively manage increasing traffic at the toll plaza in 2027. A microscopic traffic simulation model is developed by using VISSIM, traffic data collection, and fieldwork surveys. The study shows that Electronic Toll Collection (ETC) placing in the middle of the Toll collection system is the most effective position that can reduce toll collecting time and also increase service capability. In 2027, The Toll Collection system that can manage and solve traffic problems at the Din Daeng Expressway toll plaza (ground level) is Multi-Lane Free-Flow (MLFF), Which consists of 9 ETC toll booths installed in the middle of the collection system and mixing with 2 MTC toll booths. The result shown that the traffic flow at the toll plaza is 5,125 passenger car per hour and the duration of toll collection is reduced to 24 seconds. The average speed of vehicles can be up to 49.04 km/hr and the queue length is only 65.50 meters. Moreover, This study can be used as a guideline to develop other toll collection systems that can effectively improve traffic conditions.

Keywords: Expressway Toll Plaza, Micro Simulation Model, Manual Toll Collection, Electronic Toll Collection, Multi-Lane Free Flow.

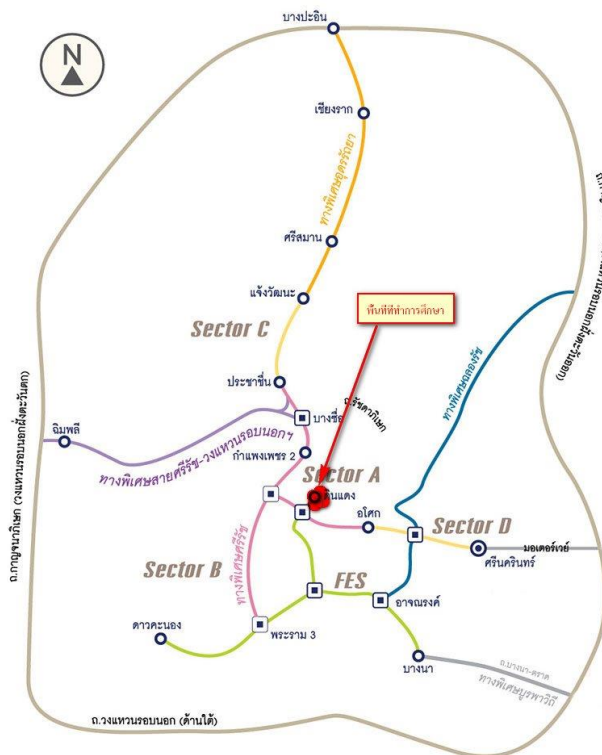
1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลประสบปัญหาการจราจรติดขัด เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับคนกรุงเทพฯ และมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาพื้นที่ใช้สอยในเขตเมืองที่หนาแน่น กอปรกับปริมาณของยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่ผิวจราจรในระดับดินไม่สามารถรองรับปริมาณ

ยานพาหนะที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้การขยายตัวของเศรษฐกิจในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ยังก่อให้เกิดกิจกรรมในเขตเมืองของกรุงเทพฯและปริมณฑล ที่หนาแน่น ทำให้จำนวนประชากรเกิดการกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่เขตเมืองเพิ่มสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิต ซึ่งในขณะนี้ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาหาแนวทางเพื่อปรับปรุง

และแก้ไขปัญหาการจราจรติดขัดในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยปัจจุบันการทางพิเศษแห่งประเทศไทยมีการขยายโครงข่ายการให้บริการครอบคลุมทุกพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งหมด 8 สายทาง รวมระยะทางทั้งสิ้น 224.6 กิโลเมตร ซึ่งพบว่าการเติบโตของปริมาณยานพาหนะที่ต้องการใช้บริการระบบทางพิเศษค่อนข้างสูง โดยปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณจำนวนยานพาหนะที่ใช้บริการทางพิเศษเฉลี่ยต่อวันสูงถึง 1,839,145 เที่ยว/วัน [1] โดยบทความนี้รวบรวมข้อมูลเพื่อจำลองสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นที่ราบ) ให้สอดคล้องตามสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งมีระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 ระบบ คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) และแบบอัตโนมัติ (ETC) ซึ่งการทำงานของทั้ง 2 ระบบที่เปิดให้บริการในปัจจุบันนั้น ทำให้ยานพาหนะจำเป็นต้องหยุดรถหรือชะลอความเร็วเพื่อชำระค่าผ่านทาง ส่งผลให้เกิดแถวคอยสะสมจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน และต้องการพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาปริมาณจราจรที่คาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นในปี พ.ศ. 2570 โดยออกแบบระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษด้วยการนำระบบผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงคมนาคมที่เร่งผลักดันให้หน่วยงานของภาครัฐและเอกชนดำเนินการพัฒนาระบบเก็บค่าผ่านทางโดยใช้ระบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ทั้งนี้ยังศึกษาความเหมาะสมของตำแหน่งการจัดวางตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษที่เปิดให้บริการในปัจจุบัน ซึ่งในการสร้างและพัฒนาแบบจำลองจะใช้โปรแกรม Verkehr In Städten – SIMulationsmodell (VISSIM) สำหรับวิเคราะห์แนวทางเพื่อช่วยแก้ปัญหาและจัดการกับสภาพการจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในอนาคต



รูปที่ 1 แสดงโครงข่ายทางพิเศษและทางพิเศษระหว่างเมืองของประเทศไทยในปัจจุบัน และพื้นที่ที่ทำการศึกษา

1.2 จุดประสงค์ของการทำวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับศึกษาพฤติกรรมยานพาหนะที่ผ่านด่านเก็บค่าผ่านทาง 2 ระบบที่เปิดให้บริการในปัจจุบัน คือ ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) และระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC)

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับศึกษาความเหมาะสมของตำแหน่งการจัดวางตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) และแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC) ที่เปิดให้บริการในปัจจุบัน

1.2.3 เพื่อพัฒนาแบบจำลองด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษสำหรับใช้วิเคราะห์รูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบผสมผสานระหว่างแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) และแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคโดยใช้โปรแกรม VISSIM

1.3.2 การเลือกพื้นที่ทำการศึกษา โดยเลือกศึกษาด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ทางพิเศษเฉลิมมหานคร ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงจำนวนช่องจราจรและไม่เพิ่มขนาดพื้นที่ให้บริการ

1.3.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) ผสมกับแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection : ETC) และแบบเงินสด (Manual Toll Collection : MTC) ผสมกับแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ของปริมาณจราจรที่คาดการณ์ในปี พ.ศ. 2570

1.3.4 การเลือกรูปแบบของระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษมิได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุน

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Astarita et al. (2001) [2] ได้วิเคราะห์ผลการให้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางที่ใช้งานด่านเก็บค่าผ่านทางรูปแบบ Manual Collection System และ Electronic Toll Collection ที่มีความแตกต่างกันของอัตราส่วน ซึ่งในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ผลจากปริมาณจราจรบริเวณขาเข้า พฤติกรรมของผู้ขับขี่ยานพาหนะ และลักษณะทางกายภาพบริเวณขาเข้า โดยเชื่อว่าเมื่อแถวคอยสั้นจากช่วงปรับช่องจราจร (transitional lane) จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการให้บริการของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบ Electronic Toll Collection เนื่องจากมีการจราจรติดขัดและปิดกั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้นำไปสู่การวางแผนและออกแบบการจัดวางช่องเก็บค่าผ่านทาง

Poon and Dia (2005) [3] วิเคราะห์ยานพาหนะในกรุงบริสเบนที่คาดการณ์ภายในปี 2011 โดยสมมติการแก้ไขปัญหารถจราจรด้วยระบบการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport System : ITS) เพื่อปรับปรุงความสามารถของด่านจัดเก็บค่าผ่านทางในปัจจุบันโดยใช้โปรแกรม AIMSUN สำหรับประเมินผลการปฏิบัติงานการจัดเก็บค่าผ่านทางซึ่งใช้ข้อมูลความล่าช้าบริเวณตู้จัดเก็บค่าผ่านทางและเก็บข้อมูลช่วงระยะเวลาในภาคสนาม และวิเคราะห์ผลกระทบของการจัดเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติที่มีต่อภาระไหลของปริมาณจราจรในอนาคต ผลการศึกษา พบว่าเส้นทาง

เข้าสู่ด่านจัดเก็บค่าผ่านทางระบบอัตโนมัติแบบ 4 ช่องจราจรสามารถรองรับการไหลของปริมาณจราจรในปี 2011 ได้

Plengsrithong et al. (2020) [4] ได้ศึกษาการประเมินมาตรการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษอโศก 3 และ อโศก 4 บนทางพิเศษศรีรัช ด้วยการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค โดยใช้โปรแกรม AIMSUN ผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินค่าผ่านทางก่อนเข้าสู่ช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ MTC จำนวน 10 คนต่อช่องทาง ก่อปรการยกเลิกไม้กั้น NSL ซึ่งประยุกต์ใช้กับด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ อโศก 3 ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเย็น ส่งผลให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ อโศก 3 เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.52% และการเพิ่มพนักงานเก็บและทอนเงินค่าผ่านทางก่อนเข้าสู่ช่องเก็บค่าผ่านทางแบบ MTC จำนวน 5 คนต่อช่องทาง ก่อปรกับการยกเลิกไม้กั้น NSL ซึ่งประยุกต์ใช้กับด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ อโศก 4 ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนตอนเช้า ส่งผลให้ปริมาณจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ อโศก 4 เพิ่มขึ้นจากเดิม 12.73%

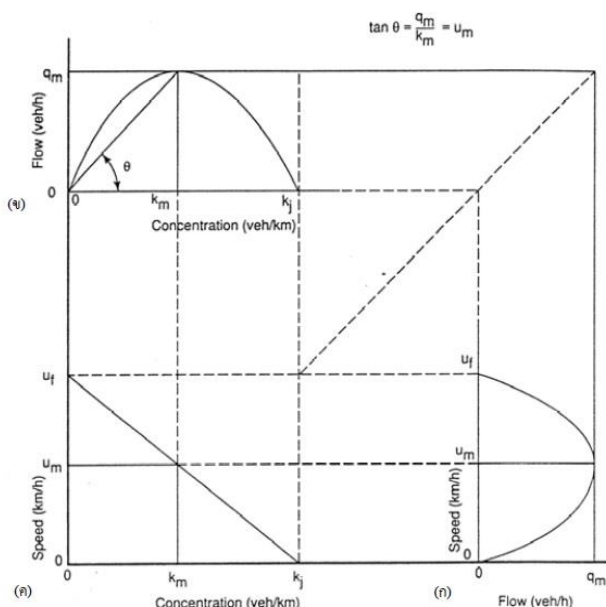
Wichiensin et al. (2017) [5] ได้ศึกษาจำลองพื้นที่บริเวณแยกราชประสงค์ โดยใช้ โปรแกรม VISSIM ในการสร้างแบบจำลองระดับจุลภาค และทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง ด้วยความยาวแถวคอย ระยะเวลาในการเดินทาง และปริมาณจราจร พบว่าการปิดแยกราชประสงค์ส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นทั้งโครงข่ายที่ทำการศึกษา ซึ่งในส่วนของการถนนเพชรบุรีจะส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด คือ 50.69 นาที อีกทั้ง จะส่งผลให้ถนนวิฑูรย์เปลี่ยนแปลงไปในทางที่แย่ลงมากที่สุด โดยผลของแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะแตกต่างกัน พบว่า แนวทางแก้ไขปัญหาคือการกระจายการจราจรให้ยานพาหนะบริเวณแยกวิฑูรย์ที่มีความต้องการมุ่งเข้าสู่ถนนวิฑูรย์ ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 75 ส่วนยานพาหนะที่คงเหลือให้ปรับเปลี่ยนออกไปในทิศทางอื่นในปริมาณที่เท่า ๆ กัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะส่งผลให้ความเร็วโดยรวมของทั้งโครงข่ายมีค่าสูงอยู่ที่ 16 กม./ชม.

Karitnathinee (2012) [6] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษประชาชื่น โดยวิเคราะห์

ระบบการเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด และระบบการเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้ค่าเวลาในการให้บริการ (Dwell Time) และการชะลอความเร็ว (Deceleration Speed) มาพิจารณาเป็นตัวแปรหลัก โดยใช้โปรแกรม VISSIM เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาค่าความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษทั้งสองระบบ จากผลการวิเคราะห์พบว่า เวลาในการให้บริการและการชะลอความเร็วบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางมีผลต่อค่าความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ซึ่งระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสดมีระยะเวลาที่หยุดเพื่อให้บริการด่านส่งผลให้มีความจุน้อยกว่าระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติตรงเพียงชะลอความเร็ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษประชาชน ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสดมีความจุประมาณ 400 คันต่อชั่วโมงต่อตู้ และค่าความจุของด่านเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติประมาณ 994 คันต่อชั่วโมงต่อตู้

2.1 ความสัมพันธ์พื้นฐานของกระแสจราจร [7]

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับกระแสจราจร ประกอบด้วย ความหนาแน่น (Density) ความเร็ว (Speed) และปริมาณจราจร (Volume) โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ของกระแสจราจรแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจราจร (Volume) ความเร็ว (Speed) และความหนาแน่น (Density) ของกระแสจราจร

2.2 ลักษณะทั่วไปของสภาพการจราจร (Traffic Characteristics) [8]

คือ ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้อธิบายลักษณะด้านการจราจร รวมถึงการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์กระแสจราจรจะวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์ของตัวแปร 3 ค่าหลัก ๆ ประกอบด้วย ความเร็ว (Speed, u) ความหนาแน่น (Density, k) และ อัตราการไหล (Flow Rate, q) ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ยังมีความสัมพันธ์อื่น ๆ ที่เป็นผลจากตัวแปรหลัก ซึ่งประกอบด้วย ช่วงห่าง (Headway) แบ่งเป็น Time Headway และ Space Headway ซึ่งตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการอธิบายลักษณะสภาพการจราจร มีดังนี้

2.2.1 อัตราการไหล (Flow Rate ; q)

คือ จำนวนยานพาหนะที่ขับเคลื่อนบนถนนช่วงใดช่วงหนึ่ง อยู่ในเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น คัน/หน่วยเวลา

2.2.2 ความหนาแน่น (Density; k)

คือ จำนวนของยานพาหนะที่เดินทางในช่วงของความยาวถนนที่กำหนดและเวลาที่กำหนด จะมีหน่วยเป็น คัน/กิโลเมตร (vpk) หรือ คัน/กิโลเมตร/ช่องจราจร ($vpkpl$)

2.2.3 ความเร็ว (Speed, u)

คือ อัตราการเคลื่อนที่ของยานพาหนะต่อหน่วยเวลา โดยนิยามกำหนดหน่วยเป็น กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr) หรือ เมตร/วินาที (m/s) โดยกระแสจราจรของยานพาหนะในแต่ละคันจะแล่นด้วยความเร็วที่ต่างกัน จึงจำเป็นต้องใช้ค่าความเร็วเฉลี่ยเป็นค่าตัวแทนของความเร็วยานพาหนะทั้งหมด

2.2.4 ระยะห่าง (Spacing)

คือ ระยะระหว่างยานพาหนะที่แล่นตามติดกันมา ซึ่งการวัดค่าระยะห่างจะวัดจากจุดอ้างอิงที่แน่นอนบนยานพาหนะคันที่ 1 ไปจนถึงตำแหน่งเดียวกันของยานพาหนะคันที่ 2 กำหนดให้มีหน่วยเป็น เมตร

2.2.5 ช่วงห่าง (Headway)

คือ ระยะห่างของช่วงเวลาของยานพาหนะที่แล่นตามกัน ซึ่งผ่านจุดอ้างอิงที่ได้กำหนดไว้ กำหนดให้มีหน่วยเป็น วินาที

ทั้งนี้การวิเคราะห์สภาพการจราจรในระดับมหภาค (Macroscopic Parameters) มีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเร็ว (Speed) ความหนาแน่น (Density) และ ปริมาณจราจรและอัตราการไหล (Traffic Volume and Rate of Flow) และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพ การจราจรในระดับจุลภาค (Microscopic Parameters) ได้แก่ ช่วงห่าง (Headway) ความเร็วของยานพาหนะ (Speed) และระยะห่าง (Spacing)

2.3 ระบบการผ่านทางพิเศษอัตโนมัติในต่างประเทศ [9]

2.3.1 ประเทศสหรัฐอเมริกา

1) E-Zpass คือ การเก็บ ค่าผ่านทางแบบ อัตโนมัติที่ผู้ใช้ทางสามารถเลือกรูปแบบที่ต้องลงทะเบียน และไม่ลงทะเบียนก็ได้ กรณีที่เลือกรูปแบบลงทะเบียนผู้ใช้ ทางสามารถลงทะเบียนได้หลายรูปแบบ และสามารถ คำนวณค่าผ่านทางพิเศษได้หลายประเภท และสามารถ นำไปใช้สำหรับชำระค่าแท็กซี่และพื้นที่จอดรถได้ ด้วย

2) EZ TAG ถูกใช้เฉพาะที่เมืองสตูดัน ไม่ สามารถใช้ร่วมได้กับระบบ E-Zpass ได้ ลักษณะการ ทำงานของระบบ EZ TAG จะคล้ายกับเซ็นเซอร์ที่ติดไว้ ประจำตัวรถยนต์เฉพาะคัน ๆ นั้น โดยจะใช้ดาวเทียมใน การติดตามการเคลื่อนไหวยของรถ ซึ่งผู้ใช้ทางที่ไม่ได้ติดตั้ง ระบบนี้จะชำระเงินค่าผ่านทางพิเศษมากกว่า

3) FASTRAK คือ ระบบ ที่ ใช้งาน ใน รัฐ แคลิฟอร์เนียในส่วนที่เป็นสะพาน โดยระบบเก็บค่าผ่าน ทางพิเศษแบบอัตโนมัติชนิดนี้ทุกช่องทางจราจรจะติดตั้ง เครื่องอ่านทั้งช่องเก็บเงินปกติ และในช่อง FASTRAK และผู้ใช้งานระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ นี้จะได้รับส่วนลด

4) I-PASS คือ ระบบที่เปิดใช้ในรัฐอิลลินอยส์ เป็นระบบที่คล้ายกับระบบ E-ZPass มีการใช้สัญญาณ ดาวเทียมเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ระบบ E-ZPass ชำระค่าพื้นที่จอดรถได้ แต่ระบบ I-PASS ไม่ สามารถชำระค่าพื้นที่จอดรถได้

2.3.2 ประเทศมาเลเซีย

1) Touch'n Go คือ การเก็บค่าผ่านทางแบบ อัตโนมัติที่ใช้บัตรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับชำระค่าผ่านทาง

และสามารถชำระค่าที่จอดรถในห้างสรรพสินค้า หรือ แม้แต่ที่จอดรถภายในสนามบิน

2) Smart TAG เป็นระบบเก็บค่าผ่านทางที่มี วัตถุประสงค์เพื่อทดแทนระบบ Touch'n โดยลักษณะการ ทำงานจะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถลดระยะเวลาชำระค่า ผ่านทางได้ ด้วยการใช้งานของ OBU ร่วมกับ Smart Card

3) Multi-Lane Free Flow เมื่อเปรียบเทียบกับ ระบบ Smart TAG แล้ว ระบบ Multi-Lane Free Flow จะ สามารถผ่านได้รวดเร็วกว่า ซึ่งลักษณะการทำงานของ ระบบต้องมีการติดตั้งกล่องและอุปกรณ์อ่านสัญญาณ ใ้บนโครงเหล็กเหนือช่องจราจร และสื่อสารด้วยคลื่น Microwave ซึ่งระบบนี้จะทำให้ยานพาหนะผ่านทาง โดยไม่ต้องชะลอความเร็วอย่างเช่นระบบ Smart TAG

2.3.3 ประเทศญี่ปุ่น

Japan Expressway Corporation (JPEC) เป็น ระบบเดียวที่ใช้งานกันทั้งประเทศ ซึ่งช่วยให้สภาพ การจราจรบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางลดความแออัดลง โดยระบบนี้จะทำให้ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องหยุดรถเพื่อ ชำระค่าผ่านทาง ด้วยการใส่เสาสัญญาณ Antenna OBU และเครื่องเสียบบัตร ทั้งนี้ บัตรสามารถนำไปใช้กับ ยานพาหนะคันอื่น ๆ ได้ แต่มีค่าใช้จ่ายสำหรับติดตั้ง อุปกรณ์ที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งไม่สามารถชำระค่าพื้นที่จอด รถได้

2.3.4 ประเทศอังกฤษ

ระบบ M6 Toll เป็นระบบจัดเก็บค่าผ่านทาง แบบอัตโนมัติในเส้นทางมอเตอร์เวย์ทางด้านตะวันตก ซึ่งลักษณะการทำงานของระบบนี้ผู้ใช้งานจำเป็นต้องซื้อ TAG พร้อมทั้งเติมเงินล่วงหน้า และเมื่อใช้งานจะได้รับ ส่วนลดร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับชำระค่าผ่านทาง แบบเงินสด

2.4 ระบบทางพิเศษและระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ประเทศไทย [10]

การทางพิเศษแห่งประเทศไทย คือหน่วยงานที่ รับผิดชอบในการดำเนินการก่อสร้างทางพิเศษและ ให้บริการทางพิเศษสำหรับยานพาหนะ เพื่ออำนวยความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย โดยปัจจุบันได้เปิด

ให้บริการจำนวน 8 สายทาง ประกอบด้วย ทางพิเศษเฉลิมมหานคร ทางพิเศษศรีรัช ทางพิเศษฉลองรัช ทางพิเศษบูรพาวิถี ทางพิเศษอุดรรัถยา ทางพิเศษกาญจนาภิเษก ทางพิเศษสายบางนา-อโศกวงค์ และทางพิเศษสายศรีรัช-วงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานคร ระยะทางรวมทั้งสิ้น 224.6 กิโลเมตร โดยมีระบบการเก็บค่าผ่านทาง 2 ระบบ ดังนี้

2.4.1 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC : MANUAL TOLL COLLECTION) หมายถึง ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ใช้แรงงานของพนักงานปฏิบัติงาน โดยยานพาหนะจะผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางได้ต้องชะลอและหยุดเพื่อชำระเงินให้กับพนักงาน และไม่กั้นจึงจะเปิดให้ยานพาหนะแล่นผ่านไป

2.4.2 ระบบเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (ETC : ELECTRONICS TOLL COLLECTION) หมายถึง ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานปฏิบัติงาน โดยผู้ใช้ทางเพียงแต่ชะลอความเร็ว ระบบจะตัดเงินค่าผ่านทางจากยอดเงินในบัตร Easy Pass ที่ผู้ใช้บริการได้รับตั้งแต่ลงทะเบียนสมัครใช้บริการ ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาสภาพการจราจรที่ติดขัดบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษได้

2.5 ระบบผ่านทางแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF)

คือ การพัฒนาระบบเก็บค่าผ่านทางแบบอัตโนมัติ (Electronic Toll Collection) ระดับสูง รวมถึงการพัฒนาการตัดเงินค่าผ่านทาง การตรวจจับยานพาหนะ และการอ่านป้ายทะเบียน โดย On Board Unit (OBU) และตัวจับสัญญาณจะมีหน้าที่สำหรับตรวจจับยานพาหนะและทำการตัดเงินค่าผ่านทาง โดยสื่อสารด้วยคลื่น Microwave ซึ่งระบบผ่านทางนี้จะทำให้ผู้ใช้บริการทางพิเศษสามารถผ่านทางได้เร็วยิ่งขึ้น โดยไม่ต้องหยุดรถและไม่ต้องชะลอความเร็วเพื่อชำระค่าผ่านทาง [11]

2.6 แบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค

คือ การสร้างแบบจำลองลักษณะและพฤติกรรม การเคลื่อนที่ของยานพาหนะในแต่ละประเภทบนโครงข่ายถนนที่เกิดขึ้นจริง เพื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์สภาพการจราจร โดยการสร้างแบบจำลองนั้น

เป็นการนำเสนอภาพของสภาพการจราจรด้วยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสังเกตและการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติ ซึ่งการจำลองลักษณะและพฤติกรรมเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะทำการพิจารณาเป็นช่วงเวลาย่อย ๆ (time step) ตามหลักพื้นฐานในการเคลื่อนที่และพฤติกรรมในการขับขี่ของยานพาหนะแต่ละคัน [12]

2.7 โปรแกรมจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค VISSIM

Verkehr In Städten – SIMulationsmodell (VISSIM) ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท PTV หรือ Planung Transport Verkehr โดยถูกพัฒนาครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษที่ 1970 ที่ University of Karlsruhe ประเทศเยอรมนี ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมที่ใช้สำหรับวางแผนในงานด้านวิศวกรรมจราจร และการคมนาคมขนส่ง และใช้สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาคทั้งในระบบทางด่วนแบบเอกประสงค์และในระบบโครงข่ายถนนในเขตเมือง เนื่องจากความสามารถของโปรแกรม VISSIM นั้นมีมากมายทั้งความสามารถในการจำลองและความสามารถในการวิเคราะห์สภาพการจราจรเงื่อนไขและรูปแบบต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ด่านเก็บเงินค่าผ่านทาง ทางต่างระดับ และสภาพการจราจรบริเวณวงเวียน เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลอง ประกอบด้วย ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านการจราจรต่าง ๆ อาทิเช่น ปริมาณจราจร ความล่าช้าในการเดินทาง ความยาวแถวคอย เวลาในการเดินทาง ความเร็วเฉลี่ย เป็นต้น [13]

โปรแกรม VISSIM ประกอบด้วยโปรแกรมย่อยจำนวน 2 โปรแกรมที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน [14] ดังนี้

(1) Traffic Simulator หรือโปรแกรมสร้างการจำลองสภาพจราจร ซึ่งนับว่าเป็นโปรแกรมย่อยหลัก ๆ ของโปรแกรม VISSIM สามารถสร้างการจำลองสภาพจราจรด้วยการอาศัยชุดคำสั่งทางตรรกศาสตร์ของพฤติกรรม การขับขี่ยานพาหนะ ซึ่งโปรแกรมย่อย Traffic Simulator สามารถปรับปรุงสถานการณ์ในแบบจำลองให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่สามารถแปรเปลี่ยนได้ในเวลาอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่จำลองสภาพการจราจร

(2) Signal State Generator หรือโปรแกรมสร้างสถานะการควบคุมระบบสัญญาณไฟจราจร เป็นโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณสถานะการควบคุมของระบบสัญญาณไฟจราจร Time Step ถัดไป โดยรับข้อมูลสภาพการจราจรของ Time Step ปัจจุบันที่มีความจำเป็นในการคำนวณ Traffic Simulator และจะคำนวณ พร้อมทั้งส่งผลลัพธ์ไปยัง Traffic Simulator เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับปรับปรุงสถานการณ์การจำลองสภาพการจราจรใน Time Step ต่อไป

Chaipanha and Klungboonkrong (2010) [15] อธิบายว่า โปรแกรม VISSIM และโปรแกรม PARAMICS นั้นมีความเหมาะสมสำหรับการจำลองสภาพการจราจรระดับจุลภาค เนื่องจากเหตุผลที่คุณสมบัติของโปรแกรมสามารถประยุกต์ใช้สำหรับจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจำแนกตามแต่ละประเภทได้ สามารถแสดงผลในรูปแบบภาพสามมิติ และจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น การควบคุมพื้นที่ทางแยกโดยสัญญาณไฟจราจร ทางด่วนวงเวียน และระบบขนส่งสาธารณะ เป็นต้น และใช้ในการวิเคราะห์ตัวชี้วัดทางด้านการจราจรอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ความยาวแถวคอย ความล่าช้าและความเร็วและสามารถตรวจสอบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อแบบจำลอง ส่งผลให้แบบจำลองสภาพการจราจรมีความน่าเชื่อถือ ถูกต้องและแม่นยำ และนำไปใช้เป็นปัจจัยหนึ่งสำหรับตัดสินใจ และประยุกต์ใช้งานได้จริง

2.8 การทวนสอบแบบจำลอง (Model Validation)

เป็น ขั้นตอน ตรวจสอบ ความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจะพิจารณาด้วยการใช้ค่าเชิงสถิติของ GEH โดยค่า GEH คือ ค่าเชิงสถิติที่ใช้สำหรับคำนวณทางด้านวิศวกรรมจราจรเพื่อคาดการณ์ปริมาณจราจรและแบบจำลองด้านการจราจร โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$GEH = \sqrt{\frac{(simulated - observed)^2}{0.5 \times (simulated + observed)}}$$

เมื่อ Simulated คือ ค่าปริมาณจราจรที่ได้จากแบบจำลอง
Observed คือค่าปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจ

โดยในการตรวจสอบความถูกต้องจะใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบแบบจำลองของ DMRB ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การเปรียบเทียบแบบจำลองของ DMRB (1996) [16]

ดัชนีชี้วัดการเปรียบเทียบ	เกณฑ์การเปรียบเทียบ	เป้าหมายในการเปรียบเทียบ
ปริมาณจราจร	GEH < 5	>85% กรณีทั้งหมด ที่ทำการเปรียบเทียบ
ระยะเวลาในการเดินทาง	±15% (หรือ ไม่เกิน 1 นาที กรณีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 15%)	>85 % ของกรณีทั้งหมด ที่ทำการเปรียบเทียบ
ความเร็วในการเดินทาง	±20 %	>85 % ของกรณีทั้งหมด ที่ทำการเปรียบเทียบ

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาระบบทางพิเศษของประเทศไทย พบว่าด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) สายทางพิเศษเฉลิมมหานคร มีปริมาณจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วน ส่งผลให้ปัจจุบันเกิดแถวคอยบริเวณหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางเฉลี่ยประมาณ 300 – 400 เมตร อีกทั้งเป็นด่านเก็บค่าผ่านทางที่มีขนาดใหญ่ มีผู้เก็บค่าผ่านทางจำนวนมาก โดยมีจำนวนผู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจำนวนทั้งสิ้น 11 ตู้ แบ่งเป็นผู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 7 ตู้ และผู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 4 ตู้ อีกทั้งผู้ใช้ทางสามารถเลือกเดินทางไปต่อได้หลายเส้นทางด้วยเหตุผลดังกล่าววิจัยฉบับนี้จึงสนใจศึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาและจัดการกับสภาพจราจรในปัจจุบันและสภาพจราจรในอนาคตที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้น ในปี พ.ศ. 2570



รูปที่ 3 แสดงสภาพจราจรด้านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พินราบ) ในปัจจุบัน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และข้อมูลด้านการจราจรทางวิศวกรรม มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1) ข้อมูลสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ได้แก่ จำนวนช่องจราจร ความกว้างของช่องจราจร ระยะทางบริเวณหน้าด่าน ประเภทของระบบเก็บค่าผ่านทาง จำนวนตู้เก็บค่าผ่านทางแต่ละประเภท และลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของผู้ขับขี่

3.2.2) ข้อมูลด้านการจราจรทางวิศวกรรม ประกอบด้วย

1) ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลในช่วงเวลาเร่งด่วน (Peak Hour Count) วันที่ 8 มกราคม 2562 ช่วงเวลา 17.00 น. – 18.00 น.

2) ข้อมูลปริมาณจราจร จำแนกตามประเภทของยานพาหนะที่ให้บริการ โดยแบ่งประเภทยานพาหนะออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รถ 4 ล้อ รถ 6-10 ล้อ และรถตั้งแต่ 10 ล้อขึ้นไป มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณจราจรจำแนกตามประเภท

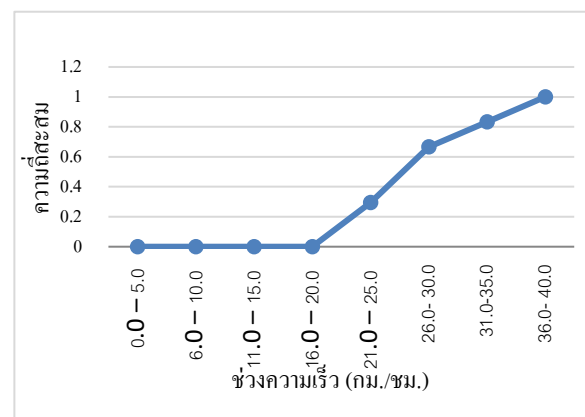
ระบบเก็บค่าผ่านทาง	จำนวนรถแต่ละประเภท (คัน)			รวม (คัน)
	4 ล้อ	6-10 ล้อ	≥10 ล้อ	
เงินสด	2,496	13	-	2,509
Easy Pass	1,653	-	-	1,653

เนื่องด้วยช่วงเวลา 15.00 น. – 21.00 น. การทางพิเศษแห่งประเทศไทยมีนโยบายห้ามมิให้ยานพาหนะที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ล้อขึ้นไปใช้บริการทางพิเศษ ส่งผลให้ปริมาณจราจรของยานพาหนะประเภทรถ 6 – 10 ล้อ มีปริมาณน้อยมาก จึงพิจารณาให้ปริมาณจราจรเป็นของรถ 4 ล้อทั้งหมด

3) ข้อมูลความเร็วของยานพาหนะ ประกอบด้วย ค่าความเร็วของยานพาหนะที่ผ่านทางพิเศษด้วยระบบเงินสด (MTC) และระบบอัตโนมัติ (ETC) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลความเร็วของยานพาหนะที่ผ่านทางพิเศษด้วยระบบเงินสด (MTC) จำนวน 300 ตัวอย่าง

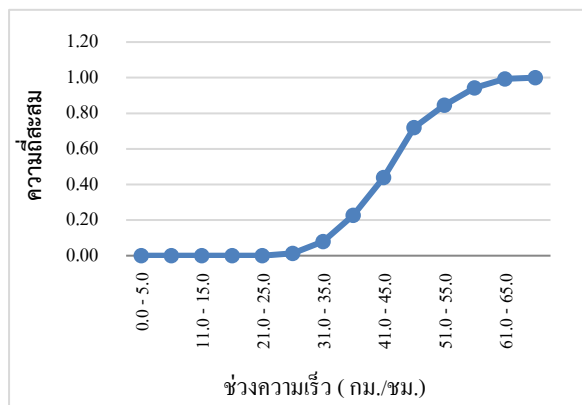
ช่วงความเร็ว (กม./ชม.)	ความถี่ (คัน)	ความถี่สะสม (คัน)	ความถี่สะสม
0.0 - 5.0	0	0	0
6.0 - 10.0	0	0	0
11.0 - 15.0	0	0	0
16.0 - 20.0	0	0	0
21.0 - 25.0	88	88	0.2933
26.0 - 30.0	112	200	0.6667
31.0 - 35.0	50	250	0.8333
36.0 - 40.0	50	300	1



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงความเร็วต่อความถี่สะสมของระบบเงินสด (MCT)

ตารางที่ 4 ข้อมูลความเร็วของรถที่ผ่านทางพิเศษด้วยระบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 300 ตัวอย่าง

ช่วงความเร็ว (กม./ชม.)	ความถี่ (คัน)	ความถี่สะสม (คัน)	ความถี่สะสม
0.0 - 5.0	0	0	0
6.0 - 10.0	0	0	0
11.0 - 15.0	0	0	0
16.0 - 20.0	0	0	0
21.0 - 25.0	0	0	0
26.0 - 30.0	4	4	0.0133
31.0 - 35.0	20	24	0.0800
36.0 - 40.0	44	68	0.2267
41.0 - 45.0	64	132	0.4400
46.0 - 50.0	84	216	0.7200
51.0 - 55.0	38	254	0.8467
56.0 - 60.0	29	283	0.9433
61.0 - 65.0	15	298	0.9933
66.0 - 70.0	2	300	1



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของช่วงความเร็วต่อความถี่สะสมของระบบอัตโนมัติ (ETC)

4) ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งได้กำหนดจุดอ้างอิงบอกพิกัดเริ่มต้นก่อนถึงด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษประมาณ 200 เมตร และกำหนดจุดอ้างอิงสิ้นสุดเมื่อยานพาหนะแล่นผ่านไมกั้น ซึ่งเก็บข้อมูล จำนวน 200 ตัวอย่าง คือ ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ

ที่ใช้ระบบเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 100 ตัวอย่าง และแบบอัตโนมัติ (ETC) 100 ตัวอย่าง

3.3 การสร้างและพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค

วิจัยฉบับนี้ทำการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาคด้วยโปรแกรม VISSIM ซึ่งขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรระดับจุลภาค ประกอบด้วย

- การนำเข้าแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ทางพิเศษเฉลิมมหานคร จาก Google Earth

- สร้างแบบจำลองสภาพจราจรที่มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับสภาพในปัจจุบัน

- สร้างแบบจำลองสภาพจราจรที่ใช้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ด้วยระบบเก็บค่าผ่านทางแบบเงินสด (MTC) และแบบอัตโนมัติ (ETC) ให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบัน

- กำหนดตัวแปรที่สำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองสภาพจราจร เช่น ปริมาณจราจร ประเภทยานพาหนะ และความเร็ว เป็นต้น

- ทำการปรับเทียบแบบจำลองโดยใช้เกณฑ์สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองของ DMRB หรือ Design Manual for Roads and Bridges โดยการคำนวณค่า GEH [15]

- พัฒนาแบบจำลองสภาพจราจรที่ใช้บริการทางพิเศษ ด้วยระบบการผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ผสมผสานกับแบบเงินสด (MTC)

4. ผลการศึกษา

4.1 การปรับเทียบแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองสภาพจราจรแบบจุลภาคจำเป็นต้องปรับเทียบแบบจำลองให้มีความเสมือนกับสภาพจราจรจริงมากที่สุด โดยดำเนินการปรับเทียบข้อมูลปริมาณจราจรและสอบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลปริมาณจราจรที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามและอ้างอิงการปรับเทียบแบบจำลองจากเกณฑ์การปรับเทียบแบบจำลองของ DMRB ใน

ตารางที่ 1 ซึ่งผลการเปรียบเทียบมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง

ประเภทยานพาหนะ	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ค่า GEH ที่ได้	ผลการเปรียบเทียบ
	จากการสำรวจ	จากแบบจำลอง		
รถยนต์ทั่วไป	4,162	4,136	0.40	ผ่าน



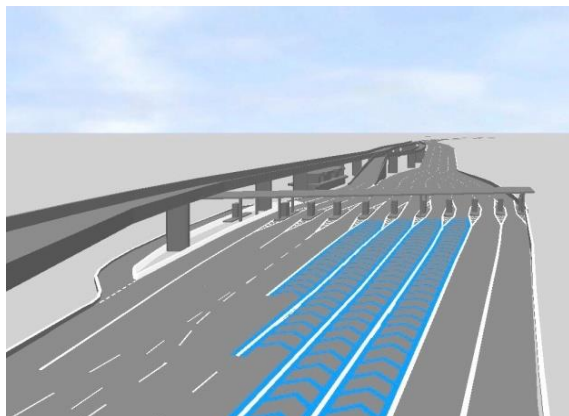
รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองสภาพการจราจรในปัจจุบัน

4.2 ความเหมาะสมของตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

การศึกษาความเหมาะสมของตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจากอัตราการไหลของปริมาณจราจร (Traffic Flow) ค่าความล่าช้า (Delay) และความยาวแถวคอย (Queue Length) โดยแบ่งเป็น 4 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1

กำหนดให้ตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณตรงกลางของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ (รูปแบบปัจจุบัน) ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษกรณีที่ 1

กรณีที่ 2

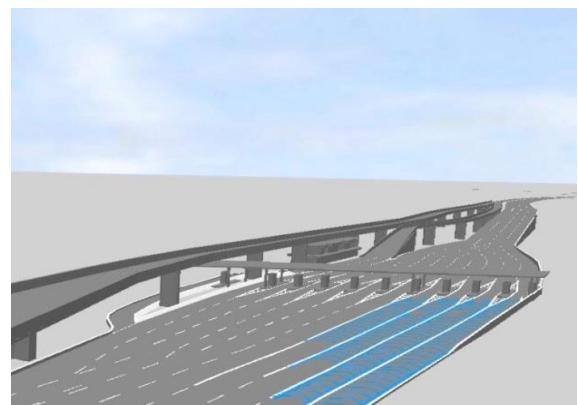
กำหนดให้ตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณฝั่งซ้ายของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษกรณีที่ 2

กรณีที่ 3

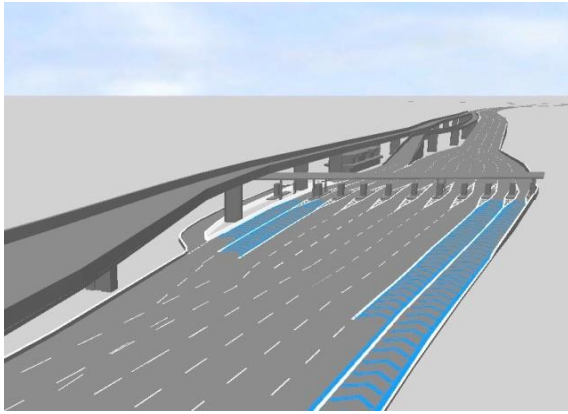
กำหนดให้ตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณฝั่งขวาของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษกรณีที่ 3

กรณีที่ 4

กำหนดให้ตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณฝั่งซ้ายของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จำนวน 2 ช่อง และบริเวณฝั่งขวาของด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ จำนวน 2 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษกรณีศึกษา 4 จากการศึกษานี้ทั้ง 4 กรณี มีผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 6 – ตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการไหลของปริมาณจราจร (Traffic Flow)

ผลการศึกษา	กรณีศึกษา			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
อัตราการไหล (คัน/ชม.)	3,991	3,946	3,251	3,649

ตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความล่าช้า (Delay)

ผลการศึกษา	กรณีศึกษา			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
ความล่าช้า (วินาที)	61	84	272	151

ตารางที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบความยาวแถวคอย (Queue Length)

ผลการศึกษา	กรณีศึกษา			
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
ความยาว แถวคอย (เมตร)	381	397	755	665

จากผลการศึกษา พบว่าการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) และตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด ในกรณีที่ 1 คือ จัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) อยู่บริเวณกึ่งกลางของด่าน

เก็บค่าผ่านทาง (รูปแบบปัจจุบัน) เป็นรูปแบบการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 4 กรณี จึงนำไปสู่การออกแบบการจัดวางตำแหน่งตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษเพื่อจัดการสภาพการจราจรในปี พ.ศ. 2570

4.3 รูปแบบการจัดการสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษในปี พ.ศ. 2570

การศึกษานี้ได้คาดการณ์ปริมาณจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ในปี พ.ศ. 2570 ว่า จะเพิ่มขึ้นจากปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2562 ถึงร้อยละ 24 หรือประมาณร้อยละ 3 ต่อปี หรือมีปริมาณจราจรสูงถึงประมาณ 5,100 คัน/ชั่วโมง อีกทั้งยังคาดการณ์ว่าจะมีผู้ใช้บริการทางพิเศษที่ใช้ระบบผ่านทางแบบอัตโนมัติมากถึงร้อยละ 90 ซึ่งได้วางแผนและออกแบบรูปแบบการจัดการสภาพจราจร ในปี พ.ศ. 2570 โดยทำการศึกษา รูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษ 2 รูปแบบ คือ (1) การเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) ผสมผสานกับการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) และ (2) การเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ผสมผสานกับการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) โดยกำหนดให้สัดส่วนผู้ใช้บริการทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) หรือแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ร้อยละ 90 และแบบเงินสด (MTC) ร้อยละ 10

ตารางที่ 9 แสดงรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) ผสมผสานกับแบบเงินสด (MTC) ในปี พ.ศ. 2570 ที่ทำการศึกษา

รูปแบบ (จำนวนตู้)	ETC (4)	ETC (5)	ETC (6)	ETC (7)	ETC (8)	ETC (9)
MTC (7)						
MTC (6)						
MTC (5)						
MTC (4)						
MTC (3)						
MTC (2)						

ตารางที่ 10 แสดงรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) ผสมผสานกับแบบเงินสด (MTC) ในปี พ.ศ. 2570 ที่ทำการศึกษา

รูปแบบ (จำนวน)	MLFF (4)	MLFF (5)	MLFF (6)	MLFF (7)	MLFF (8)	MLFF (9)
MTC (7)						
MTC (6)						
MTC (5)						
MTC (4)						
MTC (3)						
MTC (2)						

จากผลการศึกษา พบว่า รูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) จำนวน 9 ช่อง ผสมผสานกับการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ช่อง ให้ค่าปริมาณจราจรที่ใกล้เคียงกับค่าปริมาณจราจรที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2570 มากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบอัตโนมัติ (ETC) จำนวน 9 ช่อง ผสมผสานกับการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ช่อง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 11- ตารางที่ 14 ดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณจราจร

ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)		ผลต่างคิดเป็นร้อยละ (%)
ETC ผสมผสาน กับ MTC	MLFF ผสมผสาน กับ MTC	
4,464	5,125	14.81

ตารางที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลระยะเวลาในการเดินทาง

ระยะเวลาในการเดินทาง (วินาที)		ผลต่างคิดเป็นร้อยละ (%)
ETC ผสมผสาน กับ MTC	MLFF ผสมผสาน กับ MTC	
62	24	61.29

ตารางที่ 13 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วเฉลี่ย

ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)		ผลต่างคิดเป็นร้อยละ (%)
ETC ผสมผสาน กับ MTC	MLFF ผสมผสาน กับ MTC	
21.26	49.04	130.67

ตารางที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความยาวแถวคอย

ความยาวแถวคอย (เมตร)		ผลต่างคิดเป็นร้อยละ (%)
ETC ผสมผสาน กับ MTC	MLFF ผสมผสาน กับ MTC	
111.40	65.50	41.20

5. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพจราจรบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ในปี พ.ศ. 2570 สรุปได้ว่า รูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) จำนวน 9 ช่องจราจร ผสมผสานกับตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษแบบเงินสด (MTC) จำนวน 2 ตู้ โดยจัดวางตำแหน่งช่องผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) อยู่บริเวณกึ่งกลางด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษ และสามารถแก้ไขปัญหาและจัดการกับสภาพจราจรเพื่อรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2570 ได้ โดยจะส่งผลให้มีอัตราการไหล 5,125 คัน/ชั่วโมง ผู้ใช้บริการใช้เวลาในการเดินทางผ่านด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษเฉลี่ยเพียง 24 วินาที และสามารถขับขึ้นยานพาหนะด้วยความเร็วเฉลี่ย 49.04 กิโลเมตร/ชั่วโมง รวมทั้งเกิดความยาวแถวคอยเฉลี่ยเพียง 65.50 เมตร แต่อย่างไรก็ตาม หากการทางพิเศษแห่งประเทศไทยไม่พัฒนารูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษ โดยนำระบบผ่านทางพิเศษแบบ Multi-Lane Free Flow (MLFF) มาประยุกต์ใช้ จะส่งผลให้พื้นที่ให้บริการบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทางพิเศษดินแดง (พื้นราบ) ไม่สามารถรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2570 ได้



รูปที่ 11 แสดงรูปแบบการเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่สามารถรองรับปริมาณจราจรในปี พ.ศ. 2570 ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Expressway Authority of Thailand, Enterprise plan fiscal year 2017-2021 and action plan fiscal year 2019 (revised version), Expressway Authority of Thailand, Ministry of Transport, pp.1-5 – 2-27, 2018.
- [2] V. Astarita, M. Florian and G. Musolino, “A microscopic traffic simulation model for the evaluation of toll station systems,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings - Oakland (CA), USA - August 25-29, pp.692-697, 2001.
- [3] N. Poon and H. Dia, “Evaluation of Toll Collection Performance using Traffic Simulation,” 27th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2005), Brisbane, December, 2005.
- [4] J. Plengsritthong, P. Phanyim, D. Chusing and T. Rattanapanyakorn, “Evaluation of Mitigation for Increasing Efficiency of Toll Plaza: A Case Study of Asoke 3 and Asoke 4 Toll Plaza,” 25th National Convention on Civil Engineering, Chonburi, July, 2020.
- [5] M. Wichienin, K. Kanjanavaikoon and K. Sangkhawut, Traffic Congestion Alleviation for Ratchaprasong Road Closure, KMUTT R&D Journal, Vol.10, No.2, April-June, 2017.
- [6] N. Karitnathinee, “Capacity Analysis of Expressway Toll Plaza Using Micro Simulation Modeling Technique: Case Study in Bangkok,” 17th National Convention on Civil Engineering, Udon Thani, May, 2012.
- [7] A. D. May, Traffic Flow Fundamental, Prentice-Hall, New Jersey, 1990.
- [8] D. L. Gerlough and M.J. Huber, Traffic flow theory, Washington, DC United States, 1976.
- [9] A. SorSuwong, “Factors and Strategies Affecting the Decision to Use the Easy Pass System of Expressway Users,” Master of Engineering, Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2012.
- [10] Expressway Authority of Thailand, Expressway service manual, Ministry of Transport, pp.2-24, 2015.
- [11] G. Wenbao, H. Bin, L. Jian, L. Quanfa, Y. Xin, X. Jinyin, Z. Beihai, Z. Mingyue and Z. Weimin, “Multi-lane free flow electronic toll collection system arranged on side of road,” 2013. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/CN103150772A/en>
- [12] T. Wichaimethavee, “Development of control methods Traffic Light in Saturation Condition,” Master of Engineering Thesis, Civil Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2003.
- [13] PTV Planung Transport Verkehr AG [PTV], VISSIM 5.40 User Manual, PTV: Karlsruhe, 2005.
- [14] M. S. Kaseko, “Comparative Evaluation of Simulation Software for Traffic Operation,” Traffic and Traffic Planning, pp.101-206, 2002.
- [15] W. Chaipanha and P. Klungboonkrong, “Analysis of Traffic Management System Alternatives at the Five-Leg Junction (The City Spiritual House) in the Khon Kaen City Using PARAMICS,” 3rd ATRANS Symposium Student Chapter Session, Bangkok, pp.28-38, 2010.
- [16] The Highways Agency, Design Manual for Roads and Bridges (DMRB), Vol.12, Department for Transport, UK, 1996.

การกำจัดสัญญาณรบกวนการสั่นในการชั่งด้วยตัวกรองแบบปรับตัวได้ ที่อาศัยสัญญาณอ้างอิง AC จากเซนเซอร์ความเร่ง และ DC จากค่าคงที่

Vibration Noise Cancellation of Weighing with Adaptive Filter Base on Reference Signal AC from Accelerometer and DC with Constant

นทีกานต์ มุลทองน้อย^{1,*} สุรพล บุญจันทร์¹ ปราโมทย์ วาดเขียน¹ อัญชลี มโนสืบ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Nateekan Moonthongnoi¹ Surapol Boonjun¹ Paramote Wardkein¹ Anchalee Manosueb²

¹Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

*Corresponding Author E-mail: moonthongnoi.n@gmail.com

Received: December 3, 2020 Revised: March 2, 2021 Accepted: March 3, 2021

บทคัดย่อ

ระบบชั่งน้ำหนักเป็นกระบวนการที่สำคัญในหลายกิจกรรม กิจกรรมบางอย่างต้องการความแม่นยำของน้ำหนักสูง แต่ในสภาพแวดล้อมจริงที่ไม่สามารถควบคุมได้ พบว่าสเตรนเกจที่ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักจะมีการปนเปื้อนด้วยการสั่นสะเทือนจากภายนอก ตัวอย่างเช่น รถบรรทุกที่บรรทุกพืชผลที่ไม่ได้ดับเครื่องยนต์ขณะทำการชั่งหรือขณะเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการใช้อัลกอริทึม LMS ของตัวกรองแบบปรับตัวได้พร้อมกับตัวตรวจจับความเร่ง และค่าคงที่ DC ถูกใช้เป็นตัวสร้างสัญญาณอ้างอิงสองตัว ให้กับตัวกรองแบบปรับตัวได้ในการกำจัดการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน และเป็นสัญญาณน้ำหนักเป้าหมายที่คงตัวตามลำดับ ส่งผลทำให้ระบบที่นำเสนอสามารถกำจัดอิทธิพลของการสั่น และมีความแม่นยำในการวัดที่สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นแล้วระบบยังใช้เวลา และทรัพยากรในการคำนวณน้อยอีกด้วย

คำสำคัญ: การชั่งน้ำหนัก การสั่นสะเทือนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ตัวกรองแบบปรับตัวได้ เซนเซอร์วัดความเร่ง

Abstract

The weighing system is a crucial part of the process in many activities. Some activities demand high accuracy, which is a real environment that cannot be controlled. We found that the strain gauge for weighing is interfered with external vibration, for example, a truck drives through the weighing system with a turned-on engine. Our research presents the use of the LMS algorithm of the adaptive filter and accelerometer. DC constant was used as a reference for the adaptive filter to eliminate vibratory noise and for the true weight assessment. Therefore, the weighing system we propose can improve the accuracy and requires less time and computing resources.

Keywords: Weighing, Vibration, Adaptive Filter, Accelerometer

1. บทนำ

ในภาคอุตสาหกรรม ระบบการชั่งน้ำหนักต้องการความแม่นยำ ความถูกต้อง และความรวดเร็วในการหาค่าน้ำหนัก จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าปัญหามักจะเกิดขึ้นในระบบการชั่งน้ำหนักคือ สัญญาณเอาต์พุตของการชั่งน้ำหนักที่ได้รับมาจากเซนเซอร์จะมีการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน ทำให้อ่านน้ำหนักที่ไม่มีความแม่นยำ ถูกต้อง ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางด้านต้นทุน และคุณภาพของสินค้า เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนจำนวนมาก โดยมีการนำเสนอวิธีการต่างๆ เช่น

ปี ค.ศ. 2010 Zhang ได้นำเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนในระบบการชั่งน้ำหนักยานพาหนะโดยใช้การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ แอลเอ็มเอสที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นในการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมฮอปฟิลด์ เปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าเฉลี่ย โดยผลของการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้ที่ Rui Zhang นำเสนอได้ผลที่ดีกว่าวิธีการหาค่าเฉลี่ย [1]

ในปี ค.ศ. 2017 Dhanesh นำเสนอการออกแบบตัวกรองอนุกรมของวอลเตอร์ราแบบปรับตัวได้อันดับที่สอง (Adaptive Second Order Volterra Series Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนของระบบไม่เชิงเส้น (nonlinear system) โดยอาศัยโครงสร้างแลตทิซแซนแนล (lattice-channel structure) กับการหน่วงเวลาของตัวกรองอนุกรมวอลเตอร์ราแบบปรับตัวได้อันดับที่สอง โดยใช้อัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (ASVSF-LMS) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากสัญญาณการสั่นสะเทือนของค่าความผิดพลาดจากแบร์ริง โดยให้ผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดต่ำกว่าการใช้ตัวกรองปรับตัวแบบดั้งเดิม [2]

ในปี ค.ศ. 2009 Yang และคณะได้ทำการศึกษการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้จัดการสั่นสะเทือนของระบบรับน้ำหนักของยานพาหนะโดยใช้การจำลองแบบการทำงานระบบรองรับน้ำหนักด้วยระบบมวลสปริงที่มี

ค่าน้ำหนักที่ไม่คงที่ระหว่างล้อและถนนโดยใช้ตัวแปรอิสระ 2 ตัว two-DOF (Degrees of Freedom) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่า [3]

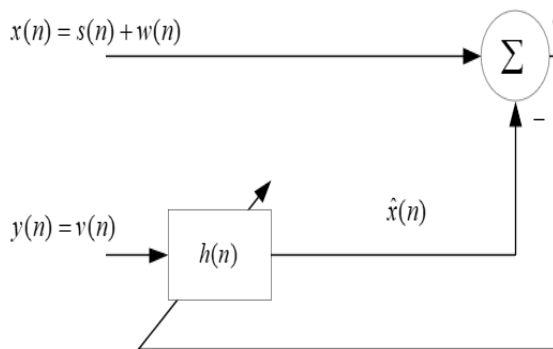
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนด้วยการใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยอัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด ร่วมกับการใช้เซนเซอร์ความเร่ง และค่าคงที่ไฟดริง ถูกใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสองตัว ให้กับตัวกรองแบบปรับตัวได้ ในการกำจัดการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา และเป็นสัญญาณน้ำหนักเป้าหมายที่คงตัวตามลำดับ นอกจากนั้นแล้วการติดตั้งตัวเซนเซอร์วัดความเร่งยังไม่จำเป็นต้องติดตั้งอยู่ระหว่างตัวโหลด (Load) กับสเตรนเกจ จึงไม่ก่อให้เกิดการเสียหาย และรบกวนสัญญาณที่ได้รับจากสเตรนเกจขณะที่ทำการชั่งน้ำหนัก

บทความนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 กล่าวถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 2 กล่าวถึงตัวกรองแบบปรับตัวได้ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงหลักการที่นำเสนอ ส่วนการทดลองและผลการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้แสดงไว้ในส่วนที่ 4 และ 5

2. ตัวกรองแบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter)

การประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบปรับตัวได้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน และเป็นวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวน [4] ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ [5-6] จึงมีการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ และอุปกรณ์การสื่อสาร เช่น เครื่องจักรกล โทรศัพท์เคลื่อนที่ [7-8] เป็นต้น อัลกอริทึมตัวกรองแบบปรับตัวได้ [9] ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย มีหลายอัลกอริทึมด้วยกัน เช่น แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม (Least Mean Square Algorithm: LMS Algorithm) หรืออัลกอริทึมค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด, นอร์มอลไลซ์แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม (The Normalised Least Mean Square: NLMS Algorithm) และรีเคอซีฟต์

ลีสต์สแควร์ (Recursive Least Square: RLS Algorithm) เป็นต้น ในการประยุกต์ใช้งานตัวกรองแบบปรับตัวได้ควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน แอลเอ็มเอสอัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่มีรูปแบบการคำนวณที่ง่าย โครงสร้างไม่ซับซ้อน และไม่จำเป็นต้องรู้พารามิเตอร์ของสัญญาณอินพุตในการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และนำไปใช้งานสะดวก โดยค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่ลดลงนั้นได้มาจากวิธีการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองโดยใช้สมการภายในอัลกอริทึม ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึม แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างตัวกรองแบบปรับตัวได้แอลเอ็มเอสอัลกอริทึมในการกำจัดสัญญาณรบกวน

โดยที่ $x(n)$ คือ สัญญาณอินพุต $s(n)$ คือ สัญญาณที่ต้องการ $w(n)$ คือ สัญญาณรบกวน $y(n)$ คือ สัญญาณอ้างอิง $v(n)$ คือ สัญญาณรบกวนอ้างอิง $\hat{x}(n)$ คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบส่วนการปรับตัว $e(n)$ คือ ค่าความผิดพลาด

ในการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้จะอาศัยสมการที่ 1, 2 และ 3 ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ $h(n)$ ของตัวกรอง

$$\hat{x}(n) = h(n)y(n) \quad (1)$$

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n) \quad (2)$$

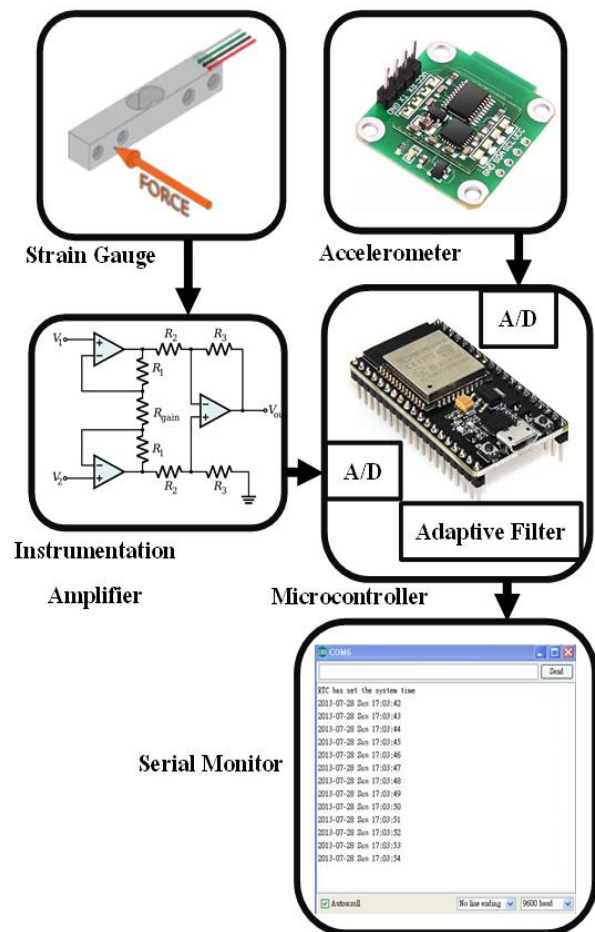
$$h(n+1) = h(n) + 2\mu e(n)y(n) \quad (3)$$

โดยที่ μ คือ ค่าอัตราขยายการปรับตัว (Adaptation Gain) หรือขนาดขั้น (Step Size)

การนำตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้งานในการลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นสะเทือนที่นำเสนอ จะมีสัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

3. หลักการทำงานของการทำงานนำหนักที่มีการลดสัญญาณรบกวนจากการสั่นสะเทือนโดยใช้ตัวกรองแบบปรับตัวได้โดยอาศัยแอลเอ็มเอสอัลกอริทึมที่นำเสนอ

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 2 และมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของระบบที่นำเสนอ

ส่วนเตรียมสัญญาณก่อนการประมวลผล

สัญญาณจากสเตรนเกจ ซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟตรงที่แปรผันตรงกับน้ำหนักของวัตถุ และ แรงดันไฟสลับที่เกิดจากการสั่นสะเทือนจากสภาวะแวดล้อมภายนอก สัญญาณนี้จะถูกนำไปผ่านวงจรขยาย อินสตรูเมนต์ชัน เพื่อยกระดับสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้ โดยจะ ขยักระดับสัญญาณด้วยการป้อนแรงดันไฟตรงเป็นแรงดัน อ้างอิงให้กับวงจรอินสตรูเมนต์ชัน ดังรูปที่ 3

สัญญาณปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือน สัญญาณนี้เป็นสัญญาณไฟสลับที่มีแอมพลิจูดขึ้นอยู่กับแรงจากการสั่นสะเทือน จะถูกตรวจจับได้จากเซนเซอร์วัดความเร่ง โดยก่อนหน้านี้ได้เลือกใช้เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) แต่สัญญาณที่ได้จากเพียโซอิเล็กทริกนั้นมีค่าน้ำหนักปะปนมาด้วย ทำให้การกำจัดสัญญาณทำได้ยาก

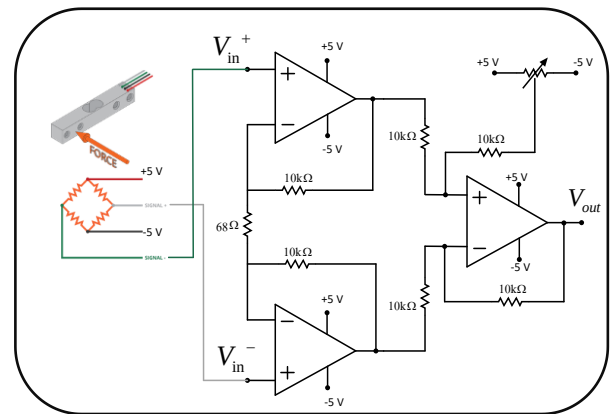
ส่วนประมวลผล

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี32 ในการประมวลผลสัญญาณ โดยพอร์ตแอนะล็อกอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 นั้นสามารถรับแรงดันได้ 0 ถึง 3.3 โวลต์ ในการประมวลผลใช้ส่วนซอฟต์แวร์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ และ โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองให้เป็นค่าน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของซอฟต์แวร์ในหัวข้อถัดไป

ส่วนการแสดงผล

ในการแสดงผลค่าน้ำหนักของวัตถุจะแสดงผ่านหน้าจอซีเรียลมอนิเตอร์บนคอมพิวเตอร์แบบเรียลไทม์

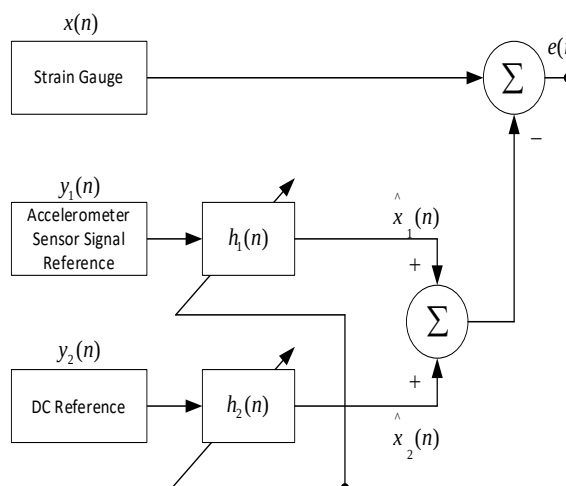
การทำงานของซอฟต์แวร์ สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ



รูปที่ 3 วงจรอินสตรูเมนต์ชันที่มีการยกระดับสัญญาณไฟตรง

การปรับระดับสัญญาณ เป็นการปรับระดับสัญญาณจากสเตรนเกจที่ผ่านวงจรขยาย และสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความเร่ง ให้มีระดับสัญญาณที่เหมาะสมในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 เพื่อไม่ให้เกิดการโอเวอร์โฟลของข้อมูล ด้วยการนำสัญญาณจากสเตรนเกจและสัญญาณจากเซนเซอร์วัดความเร่งมาคูณกับ $\frac{5}{4095}$ และ $\frac{1}{1000}$ ตามลำดับ

การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบปรับตัวได้ ตัวกรองแบบปรับตัวได้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสัญญาณอ้างอิง 2 สัญญาณ สัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอ้างอิงที่มาจากเซนเซอร์วัดความเร่งถูกนำไปใช้เพื่อกำจัด การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากสภาวะแวดล้อมภายนอก สัญญาณที่ 2 คือสัญญาณแรงดันไฟตรง เพื่อนำไปใช้หาค่าน้ำหนัก โดยอัลกอริทึมที่นำเสนอแสดงได้ดังรูปที่ 4 ในการทำงานของตัวกรองแบบปรับตัวได้จะอาศัยสมการที่ 4, 5, 6 และมีสมการในการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง $h_1(n)$ และ $h_2(n)$ ดังสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 4 โครงสร้างของตัวกรองแบบปรับตัวได้ของวิธีการที่นำเสนอ

$$\hat{x}_1(n) = h_1(n)y_1(n) \quad (4)$$

$$\hat{x}_2(n) = h_2(n)y_2(n) \quad (5)$$

$$e(n) = x(n) - \hat{x}_1(n) - \hat{x}_2(n) \quad (6)$$

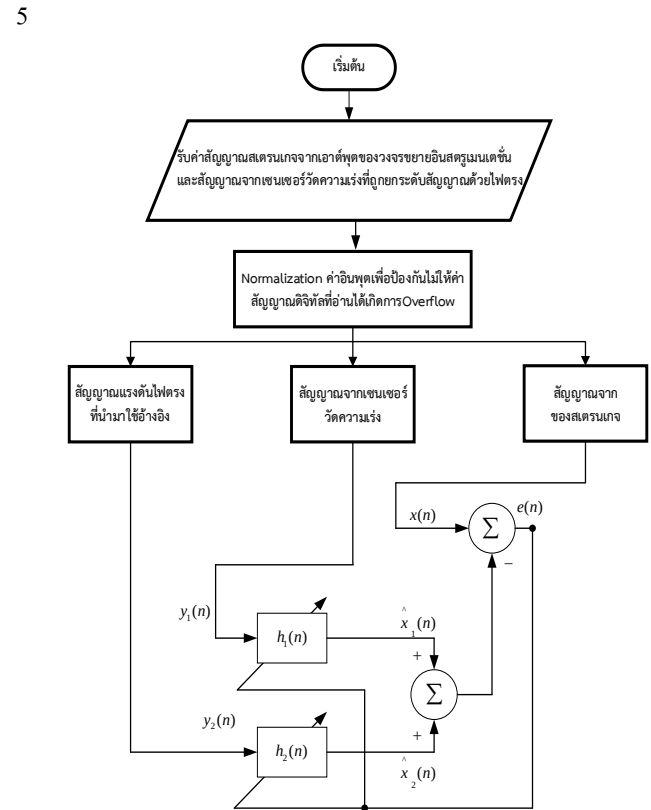
$$h_1(n+1) = h_1(n) + 2\mu e(n)y_1(n) \quad (7)$$

$$h_2(n+1) = h_2(n) + 2\mu e(n)y_2(n) \quad (8)$$

โดยที่ $x(n)$ คือ สัญญาณที่ได้จากสเตรนเกจ ซึ่งประกอบไปด้วย แรงดันไฟตรงที่แสดงค่าน้ำหนักรวมมากับสัญญาณปนเปื้อนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่ผ่านวงจรขยายอินสตรูเมนต์ชัน, $y_1(n)$ คือ สัญญาณอ้างอิงจากเซนเซอร์วัดความเร่งซึ่งแปรผันตรงกับการสั่นสะเทือน, $y_2(n)$ คือ สัญญาณแรงดันไฟตรงที่ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงเพื่อหาค่าน้ำหนักของวัตถุ, $e(n)$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่าง $x(n)$ กับสัญญาณ $\hat{x}_1(n)$ และ $\hat{x}_2(n)$ μ คือ ขนาดขั้นโดยที่ $\hat{x}_1(n)$ และ $\hat{x}_2(n)$ คือ สัญญาณเอาต์พุต ของการปรับสัญญาณปนเปื้อนอ้างอิงและแรงดันไฟตรง(ค่าน้ำหนัก) อ้างอิง ตามลำดับ

การประมาณค่าค่าน้ำหนัก จะใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการประมาณค่า โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกับเอาต์พุตสเตรนเกจ $x(n)$ และสัมประสิทธิ์ตัวกรอง $h_2(n)$ จากการทดลองโดยทำการชั่งน้ำหนัก 0.125 ถึง 5 กิโลกรัม โดยเพิ่มทีละ 0.125

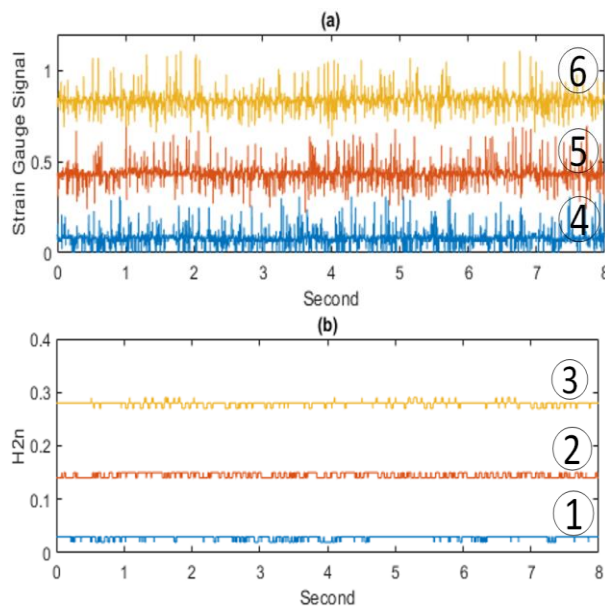
กิโลกรัม และนำข้อมูลที่ได้นำไปสร้างความสัมพันธ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) การทำงานของซอฟต์แวร์โดยรวมแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภูมิการทำงานของซอฟต์แวร์ของวิธีการที่นำเสนอ

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในบทความนี้การทดลองได้ถูกออกแบบโดยมีการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบการกำจัดสัญญาณรบกวนโดยใช้น้ำหนัก 0.28, 1.42 และ 2.7 กิโลกรัม ด้วยการสร้างแรงสั่นสะเทือนในแนวนอนขนานกับตัวฐานจากการใช้แรงกระทำของมนุษย์เพื่อจำลองการเกิดการสั่นสะเทือนด้วยการขยับฐานของเครื่อง ซึ่งเป็นเวลา 8 วินาที ได้ผลแสดงดังรูปที่ 6

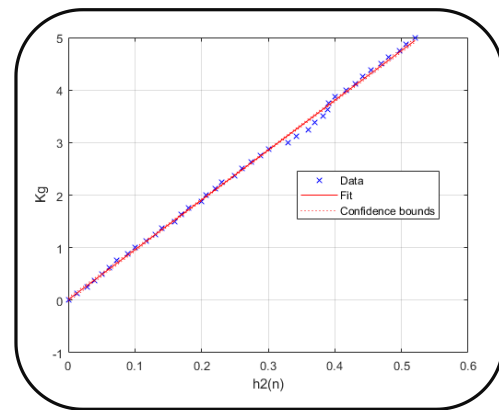


รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณที่มีการปนเปื้อนจากการสั่นสะเทือนกับสัญญาณที่ผ่านระบบที่นำเสนอ

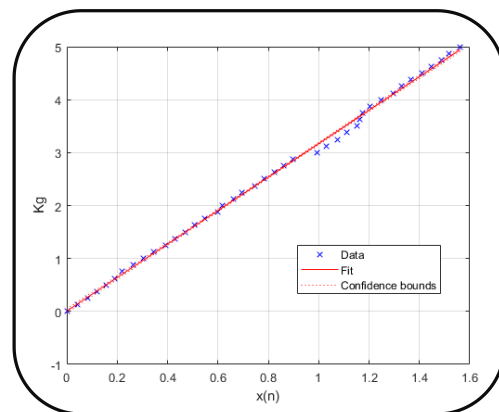
รูป 6(a) แสดงสัญญาณจากสเตรนเกจโดยตรง โดยที่เส้นกราฟ 4, 5 และ 6 คือสัญญาณจากสเตรนเกจของการชั่งวัตถุที่มีน้ำหนัก 0.28 กิโลกรัม, 1.42 กิโลกรัม และ 2.7 กิโลกรัม ตามลำดับ

รูป 6(b) แสดงสัญญาณจาก $h_2(n)$ โดยที่เส้นกราฟ 1, 2 และ 3 คือสัญญาณ $h_2(n)$ ที่เกิดจากการชั่งวัตถุที่มีน้ำหนัก 0.28 กิโลกรัม, 1.42 กิโลกรัม และ 2.7 กิโลกรัม ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ทำการสร้างโมเดลคณิตศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาสมการของความสัมพันธ์ของค่า $h_2(n)$ กับค่าน้ำหนักของวัตถุและความสัมพันธ์ของเอาต์พุตจากสเตรนเกจกับค่าน้ำหนักของวัตถุ โดยทำการชั่งน้ำหนัก 0.125 ถึง 5 กิโลกรัม โดยเพิ่มทีละ 0.125 กิโลกรัม โดยผลลัพธ์แสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $h_2(n)$ กับค่าน้ำหนักของวัตถุ



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $x(n)$ กับค่าน้ำหนักของวัตถุ

โดยโมเดลคณิตศาสตร์ของระบบที่นำเสนอที่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนกับระบบสเตรนเกจที่ไม่มีการกำจัดสัญญาณรบกวนเป็นดังสมการที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

$$w_1 = 9.4853 \cdot h_2(n) + 0.0097871 \quad (10)$$

โดยที่ 9.4853 คือ ค่าความชัน, 0.0097871 คือ ค่าคงที่ และ w_1 คือค่าน้ำหนักที่ได้จากการสร้างโมเดลของ $h_2(n)$

$$w_2 = 3.1605 \cdot x(n) + 0.0087197 \quad (11)$$

โดยที่ 3.1605 คือ ค่าความชัน, 0.0087197 คือ ค่าคงที่ และ w_2 คือค่าน้ำหนักที่ได้จากการสร้างโมเดลของ $x(n)$

ส่วนที่ 3 ทำการทดลองเพื่อทดสอบระบบ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการนำ

ค่าจากสเตรนเกจโดยตรงมาคำนวณหาค่าน้ำหนัก โดยการคำนวณค่าน้ำหนักจะใช้วิธีการ 2 วิธีด้วยกัน วิธีที่ 1 สุ่มค่าตัวอย่าง 1 ตัวอย่างทุก ๆ 1 วินาที และนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนัก เป็นระยะเวลา 8 วินาที วิธีที่ 2 ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างการสุ่ม 1,125 ตัวอย่าง ซึ่งเท่ากับช่วงเวลา 1 วินาที และนำมาหาค่าเฉลี่ยทุก ๆ 1 วินาที เป็นระยะเวลา 8 วินาที นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่า RMSE (Root Mean Square Error) เฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 1 คือค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ คอลัมน์ที่ 2 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (RMSE) ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของสเตรนเกจโดยตรง ในขณะที่คอลัมน์ที่ 3 คือค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของระบบที่นำเสนอด้วยวิธีที่ 1 คอลัมน์ที่ 4 คือ ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของสเตรนเกจโดยตรง ในขณะที่คอลัมน์ที่ 5 คือ ค่าเฉลี่ยของค่า RMSE ในการชั่งแต่ละน้ำหนักของระบบที่นำเสนอด้วยวิธีที่ 2

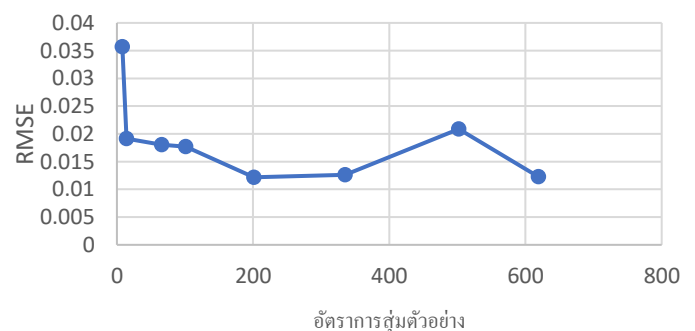
ตารางที่ 1 ตารางการหาค่า RMSE เฉลี่ยของทุกน้ำหนักที่นำเสนอ

น้ำหนักจริง (kg)	RMSE ของวิธีการสุ่ม		RMSE ของวิธีการเฉลี่ย	
	$x(n)$	$h_2(n)$	$x(n)$	$h_2(n)$
0.28	0.231095	0.031468	0.019330	0.009682
0.42	0.087836	0.036646	0.013831	0.021315
0.7	0.048243	0.041150	0.018100	0.019002
1.42	0.149866	0.058851	0.035830	0.041000
1.7	0.171169	0.062327	0.025905	0.029984
2.42	0.047160	0.041410	0.037185	0.039552
2.7	0.062017	0.034329	0.044859	0.044779
2.95	0.265051	0.081945	0.058614	0.064814
3.28	0.199365	0.080234	0.069116	0.069377
3.7	0.149961	0.085799	0.066921	0.067272
3.95	0.072111	0.084938	0.051833	0.051039
RMSE เฉลี่ยของทุกน้ำหนัก	0.134898	0.058100	0.040139	0.041620

เพื่อเป็นการแสดงสมรรถนะการทำงานของตัวระบบที่นำเสนอ จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการสุ่มตัวอย่าง เพื่อดูผลของประสิทธิภาพของระบบ โดยได้พิจารณาเรื่องความเร็วและค่าความผิดพลาดของระบบให้มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสำหรับการนำมาใช้กับงานที่นำเสนอมากที่สุด

โดยได้ทำการทดลองสุ่มอัตราการสุ่มที่ 619, 502, 335, 201, 101, 66, 14 และ 8 ตัวอย่างต่อวินาที ใช้ น้ำหนัก 3 น้ำหนัก คือ 0.465, 0.77 และ 1.465 กิโลกรัม และได้ใช้วิธีการที่ 2 จากส่วนที่ 3 ในหัวข้อการทดลอง และผลการทดลอง เพื่อหาค่าความผิดพลาดของแต่ละอัตราการสุ่ม เพื่อนำมาแสดงให้เห็นถึงค่าอัตราการสุ่มที่ควรเลือกใช้ในงานที่นำเสนอจะเห็นว่าอัตราการสุ่มที่ 8 ตัวอย่างต่อวินาที เริ่มแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนออกไปจากค่าความผิดพลาดเฉลี่ยโดยทั่วไปมากขึ้นอย่างชัดเจน ดังรูปภาพที่ 9

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด RMSE กับค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาด RMSE กับค่าอัตราการสุ่มตัวอย่าง

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า วิธีการใช้น้ำหนักเฉลี่ยภายในช่วงเวลา 1 วินาทีนั้น ระบบที่นำเสนอ

มีค่า RMSE ที่สูงกว่าค่า RMSE ที่คำนวณจากเอาต์พุตของสเตรนเกจเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการสุ่มค่าตัวอย่าง 1 ตัวอย่างทุกๆ 1 วินาที มาใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักวิธีการที่นำเสนอจะมีค่า RMSE ต่ำกว่า RMSE ที่คำนวณจากเอาต์พุตของสเตรนเกจอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงอัตราการสุ่มตัวอย่างและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งเห็นว่าจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้ในการคำนวณค่าน้ำหนักไม่ควรน้อยกว่า 8 ตัวอย่าง ซึ่งอัตราการสุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุดจึงไม่ควรน้อยกว่า 8 ตัวอย่างต่อวินาที

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จากผลการทดสอบ ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบที่นำเสนอเหมาะสมกับการชั่งน้ำหนักในลักษณะของงานที่ต้องการค่าน้ำหนักอย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง อย่างเช่นระบบการชั่งน้ำหนักในอุตสาหกรรม ระบบการชั่งน้ำหนักรถบรรทุกในขณะที่มีการเคลื่อนที่ (Weight In Motion) โดยระบบมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน รวดเร็ว และใช้ทรัพยากรในการคำนวณน้อย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Zhang, W. Lv and Y. Guo, "A Vehicle Weigh-In-Motion System Based on Hopfield Neural Network Adaptive filter," Conference on Communications and Mobile Computing, pp.123-127, 2015.
- [2] Dhanesh and L. Mathew, "Design of an Adaptive LMS Second Order Volterra Series Filter for Removing Noise from Vibration Signal of Faulty Bearing," Communication and Information, pp.1-5, 2017.
- [3] Q.M. Yang and J.M. Sun, "Study on vibration control based on adaptive filtering algorithm," Mechatronics and Automation, pp.4018-4022, 2009.
- [4] A. Rafique and S.S. Ahmed, "Performance Analysis of a Series of Adaptive Filters in Non-Stationary Environment for Noise Cancelling Setup," World Academy of Science, Engineering and Technology, No.74, p.332, 2013.
- [5] M. Sambur, "Adaptive noise canceling for speech signals," Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, Vol.26, pp.419-423, 1978.
- [6] B. Widrow, S.D. Stearns and J.C. Burgess, "Adaptive signal processing edited by bernard widrow and samuel d.stearns," The Journal of the Acoustical Society of America, 1986.
- [7] W. Hernández, "Improving the response of a wheel speed sensor using an adaptive line enhancer," Measurement, Vol.33, pp.229-240, 2003.
- [8] J.D. Wu and S.L. Lin, "Audio Quality Improvement of Vehicular Hands-Free Communication Using Variable Step-Size Affine-Projection Algorithm," International Journal of Wavelets Multiresolution and Information Processing, Vol.8, pp.875-894, 2010.
- [9] C. Chandrakar and M.K. Kowar, "Denoising ECG signals using adaptive filter algorithm," International Journal of Soft Computing and Engineering, Vol.2, pp.120-123, 2012.

สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์แถบกว้างพร้อมร่องสี่เหลี่ยม สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล

A Broadband Printed Dipole Antenna with Rectangular Slots for DTV Signal Reception

สมภพ พิมพ์พล^{1,*} และ รังสรรค์ วงศ์สรณ์²

^{1,*} สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

² สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Sompop Pimpol^{1,*} and Rangsan Wongsan²

¹ Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus.

² School of Telecommunication, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology.

*Corresponding Author E-mail: sompop.pi@rmu.ac.th

Received: February 2, 2021 Revised: March 23, 2021 Accepted: March 25, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทคนิคการเจาะร่องแผ่นตัวนำเป็นรูปสี่เหลี่ยมบนแขนทั้งสองข้างของไดโพลเพื่อควบคุมแถบความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้ความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้นสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินในย่านความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz สายอากาศที่นำเสนอสามารถสร้างได้ง่าย และมีขนาดกะทัดรัดเท่ากับ 37x240 มม. โดยสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) เท่ากับ 4.3 ความหนา (h) เท่ากับ 1.6 มม. ผลการวัดทดสอบสามารถตอบสนองความถี่ที่ 465.43 MHz ถึง 874.58 MHz หรือ 61.06% ที่ค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 dB มีอัตราขยายที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz เท่ากับ 2.375 dB 2.585 dB และ 2.525 dB ตามลำดับ สายอากาศต้นแบบสามารถนำไปใช้สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ เทคนิคการเจาะร่อง โทรทัศน์ระบบดิจิทัล

Abstract

This article presents a development of a printed dipole antenna with rectangular slots technique on both arms of the dipole, to controllable the resonant frequency bands. To enhance the bandwidth of the antenna for digital television (DTV) terrestrial signal reception of the frequency band at 470 MHz to 862 MHz. The proposed antenna can be easily constructed, and its compact size is 37x240 mm, it's designed

on the printed circuit board (PCB) FR-4 substrate with dielectric constant (ϵ_r)=4.3 and 1.6 mm of the thickness (h). Measured bandwidth about 61.06% at frequency band is 465.43 MHz to 874.58 MHz at $|S_{11}| \leq -10$ dB, the antenna gains are around 2.375 dB 2.585 dB and 2.525 dB at the frequency of 470 MHz, 666 MHz and 862 MHz, respectively. The prototype antennas can be well used for receiving digital terrestrial television signals.

Keywords: Printed dipole antenna, slot technique, digital television (DTV)

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ในโลกปัจจุบันได้แบ่งระบบการสื่อสารออกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ ระบบการสื่อสารที่ใช้สายส่ง (Transmission Line) เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ ซึ่งเรียกว่า ระบบการสื่อสารผ่านสายเคเบิล (Cable Communication System) และอีกรูปแบบหนึ่งจะเป็นการสื่อสารที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กำลังผ่านสายอากาศการส่งออกไปในอากาศเพื่อเชื่อมต่อกับอีกด้านหนึ่งโดยใช้สายอากาศเป็นภาครับ ซึ่งเรียกว่า ระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication System) ซึ่งในปัจจุบันระบบการสื่อสารไร้สายได้รับการพัฒนาหลากหลายรูปแบบเป็นอย่างมากและต่อเนื่อง หนึ่งในนั้นได้แก่ การให้บริการการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน ในระบบ DVB-T2 บนย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) [1], [2] ดังนั้น สายอากาศจึงเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ที่ได้มาตรฐาน มีคุณภาพ ความชัดเจนสูงทั้งภาพและเสียง โดยสามารถใช้งานได้ครอบคลุมตลอดช่วงความถี่ (ความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz หรือประมาณ 58.86%) ซึ่งหน้าที่หลักของสายอากาศคือ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนกำลังงานของคลื่นที่เดินทางในสายส่งต่าง ๆ ให้เดินทางไปในอวกาศว่างในกรณีที่เป็นสายอากาศส่ง หรือในทางกลับกันเมื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศรับ ก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของคลื่นที่เดินทางในอวกาศว่างให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปกำลังงานของคลื่นที่เดินทางในสายส่ง โดยการทำงานทั้งสองหน้าที่จะต้องทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสายอากาศที่นิยมใช้ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินในปัจจุบัน ได้แก่

สายอากาศขาคี-อู๊ด [3] จะเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง มีอัตราขยายและสภาพเจาะจงทิศทางที่สูง แต่มีความกว้างแถบเท่ากับ 18.6% และโดยส่วนมากจะมีการติดตั้งรับสัญญาณโทรทัศน์ไว้ภายนอกอาคาร [15] จากการพิจารณาคุณสมบัติที่ดีของสายอากาศนั้นควรมีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด พกพาได้สะดวก สามารถติดตั้งใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร และสามารถตอบสนองการใช้งานได้ตลอดช่วงความถี่ และมีแบบรูปการแผ่กำลังตลอดช่วงความถี่ใช้งานที่ใกล้เคียงกัน หนึ่งในนั้นที่คณะผู้วิจัยสนใจในการออกแบบ ได้แก่ สายอากาศแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board Antenna) หรือเรียกอีกอย่างว่า สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip Antenna)

คณะผู้วิจัยได้นำแนวคิดของสายอากาศไดโพลที่ออกแบบบนเส้นลวดทั่วไปสำหรับการออกแบบสายอากาศไดโพลที่สร้างบนแผ่นระนาบ [4] เพื่อนำไปสู่การออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน เนื่องจากสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ สามารถออกแบบให้เกิดการตอบสนองความถี่เรโซแนนซ์หลายแถบความถี่ได้ง่าย มีแบบรูปการแผ่กำลังที่สม่ำเสมอ ไม่บิดเบี้ยวตลอดช่วงความถี่ปฏิบัติการ และมีอัตราขยาย (Gain) ที่คงที่ตลอดทั้งย่านความถี่ มีนักวิจัยได้วิจัยและนำเสนอสายอากาศสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินเป็นจำนวนมากแต่มีค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ตลอดย่านความถี่ปฏิบัติการยังไม่ดีพอ สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีการป้อนแบบขึ้น

(Step-shaped Feed Gap) [5], [6] มีการตอบสนองความถี่ในย่านความถี่กว้างที่ประมาณ 50% โดยพิจารณาอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) เท่ากับ 2.5:1 ต่อมาได้มีการนำเสนอสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีการเจาะช่องที่บริเวณแขนข้างเดียวใกล้กับจุดป้อนสัญญาณ [7] ซึ่งสามารถตอบสนองย่านความถี่กว้างประมาณ 73% (ที่ VSWR 3:1) ต่อจากนั้นมีการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ในรูปแบบตัวซีที่ไม่สมมาตรสองข้าง (Dual C Shape Asymmetric) [8] พบว่าสามารถตอบสนองความถี่กว้างได้ประมาณ 59.94% (ที่ VSWR 2.5:1) ต่อมาได้มีงานวิจัยที่มีการใช้เทคนิคการสร้างรูปแบบไม่สมมาตรร่วมกับการป้อนแบบขึ้น [9] พบว่าสามารถตอบสนองความถี่กว้างได้ประมาณ 65.23% (ที่ VSWR 2.5:1) ได้มีนักวิจัยทำการปรับปรุงสมรรถนะของสายอากาศ โดยปรับค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ให้เหมาะสม ซึ่งได้มีการนำเสนอสายอากาศที่สามารถตอบสนองย่านความถี่กว้างและมีแบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัวในระนาบเดียว [10] โดยได้นำเสนอสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์โดยใช้เทคนิคการบากช่อง (Notching) เพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ พบว่าสามารถตอบสนองย่านความถี่กว้างประมาณ 62.77% (ที่ VSWR 2:1) แต่จะมีรูปแบบการควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ที่ซับซ้อน โดยใช้การบากช่องเล็ก ๆ เป็นจำนวน 8 ช่อง เพื่อให้เกิดการตอบสนองทางความถี่ให้ครอบคลุมช่วงแถบความถี่ต่ำ นอกจากนี้ ได้มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการเจาะช่องเพื่อให้เกิดช่วงความถี่เรโซแนนซ์ ดังนี้ ในงานวิจัย [11] เป็นการนำรูปแบบการเจาะช่องบนแผ่นโลหะที่มีลักษณะเป็นช่องสี่เหลี่ยมโดยมีขนาดช่องที่ไม่เท่ากัน มีช่องขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ส่งผลให้เกิดการตอบสนองทางความถี่ 3 ช่วงความถี่ นอกจากนี้การเจาะช่องให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ยังส่งผลให้ความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้น งานวิจัย [12] ได้มีการนำเสนอการเจาะช่องเป็นรูปตัวยู (U-shaped Slot) และมีการเพิ่มการเจาะช่องแบบหลาย ๆ ช่อง (Multiple Slots)

บริเวณด้านในของร่องรูปตัวยู ส่งผลให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์หลายช่วงความถี่ พบว่าความกว้างแถบมีค่าเพิ่มมากขึ้น ยังมีงานวิจัยที่มีการเจาะช่องเป็นลักษณะรูปตัวเอช (H-shaped Slot) [13] ทำให้เกิดช่วงความถี่เรโซแนนซ์มากกว่าหนึ่งตำแหน่งก็ส่งผลให้เกิดความกว้างแถบเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ร่วมกับเทคนิคการเจาะช่องรูปสี่เหลี่ยมที่แขนทั้งสองข้างของไดโพล เพื่อควบคุมช่วงแถบความถี่ 2 ย่านความถี่ คือร่องสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ที่บริเวณแขนด้านขวาจะควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ช่วงความถี่ต่ำ และร่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่บริเวณแขนด้านซ้ายจะควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ช่วงความถี่สูง ซึ่งทำให้สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบนี้มีรูปแบบไม่ซับซ้อน มีขนาดกะทัดรัด และสร้างได้ง่าย โดยสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์มีการป้อนสัญญาณแบบกึ่งกลางร่วมกับการป้อนแบบขึ้น ส่งผลให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศตลอดย่านความถี่ปฏิบัติการดีขึ้น

2. การออกแบบสายอากาศและผลการจำลอง

การออกแบบสายอากาศสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินที่มีแถบความถี่กว้างนั้น โดยใช้พื้นฐานมาจากสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ จะเป็นการเทียบเคียงจากการวิเคราะห์สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น [14] โดยพารามิเตอร์ที่นำมาวิเคราะห์คือขนาดความยาว ($L = 0.53\lambda_c$) และความกว้าง ($W = 0.08\lambda_c$) ของสายอากาศ เมื่อ λ_c คือ ความยาวคลื่นความถี่กลางที่ 666 MHz (ความกว้างแถบระหว่าง 470 MHz ถึง 862 MHz)

อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของสายอากาศ ไมโครสตริป คือมีความกว้างแถบที่ค่อนข้างแคบและไม่สามารถรองรับความต้องการของงานวิจัยนี้ได้ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีการเจาะช่องบนแขนของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ตามที่ได้

ทำการศึกษาในข้างต้น เพื่อให้เกิดกลไกของช่วงความถี่เรโซแนนซ์หลายช่วงแถบความถี่ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งมีหลักแนวคิดและขั้นตอนการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ก) ถึง (ง)



(ก)



(ข)



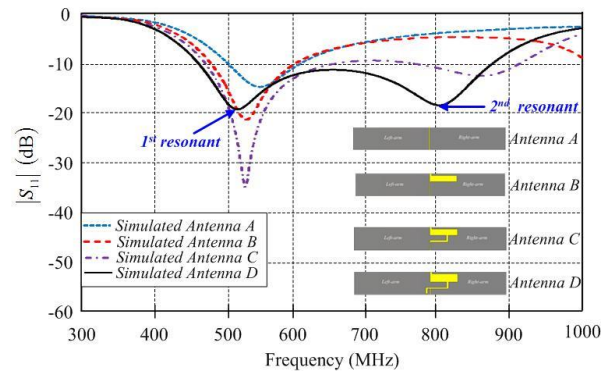
(ค)



(ง)

รูปที่ 1 โครงสร้างแนวคิดการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์

จากรูปที่ 1 แสดงการปรับเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างเพื่อให้เห็น วิวัฒนาการของสายอากาศ ไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ โดยพื้นฐานแนวคิดการออกแบบมาจากสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ก) ต่อมาได้ทำการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมบนแขนด้านขวาของไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ช่วงแถบความถี่ต่ำ แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ข) ขั้นตอนต่อมาได้ทำการศึกษาแบบการป้อนในลักษณะแบบขั้น [5], [6] ร่วมกับการป้อนสัญญาณเข้าที่จุดกึ่งกลาง (Center Fed) แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ค) และขั้นตอนสุดท้าย ได้ทำการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมบนแขนด้านซ้ายของไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ช่วงแถบความถี่สูง แสดงได้ดังรูปที่ 1 (ง) ซึ่งเปรียบเทียบผลการจำลองค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนตามโครงสร้างการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2

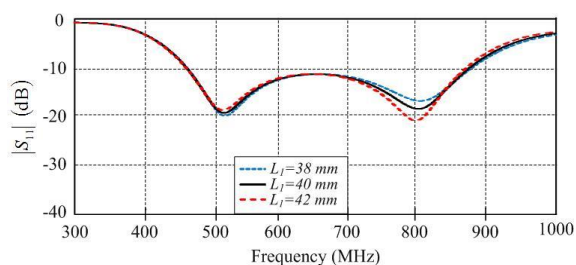


รูปที่ 2 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ

การเปรียบเทียบผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้ง 4 รูปแบบ จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ (Antenna A) จะมีการตอบสนองช่วงแถบความถี่เดียว ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 510.96 MHz ถึง 595.92 MHz (ที่ค่า $|S_{11}|$ ไม่สูงกว่า -10 dB) ต่อมาได้ทำการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมบนแขนด้านขวาของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ (Antenna B) พบว่า การตอบสนองที่แถบความถี่ต่ำมากยิ่งขึ้นในช่วงต้นแถบ อยู่ที่ประมาณ -19.606 dB มีช่วงความถี่ตั้งแต่ 485.09 MHz ถึง 589.77 MHz จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มรูปแบบการป้อนแบบขั้น ร่วมกับการป้อนสัญญาณที่จุดกึ่งกลาง (Antenna C) พบว่า ค่า $|S_{11}|$ ที่ช่วงต้นแถบดีขึ้นและมีการตอบสนองในช่วงความถี่ปลายแถบอีกช่วงความถี่หนึ่ง ที่ช่วงความถี่ต้นแถบ ตั้งแต่ 477.38 MHz ถึง 633.21 MHz และปลายแถบตั้งแต่ 801.01 MHz ถึง 901.42 MHz ซึ่งช่วงความถี่ตรงกลาง ค่าของ $|S_{11}|$ ยังไม่ดีขึ้น และในขั้นตอนสุดท้าย โดยเพิ่มการเจาะรูรูปสี่เหลี่ยมบนแขนด้านซ้ายของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ (Antenna D) พบว่า ค่า $|S_{11}|$ ของความถี่ช่วงปลายแถบดีขึ้น โดยอยู่ที่ประมาณ -16.92 dB และความถี่ช่วงกลางก็มีค่า $|S_{11}|$ ลดลงต่ำกว่า -10 dB จะเห็นได้ว่า ที่ช่วงต้นแถบค่าของ $|S_{11}|$ ต่ำสุด เท่ากับ -17.68 dB ที่ความถี่ 518 MHz และที่ช่วงปลายแถบ ค่าของ $|S_{11}|$ ต่ำสุด เท่ากับ -16.92 dB ที่ความถี่ 801 MHz ซึ่งจากโครงสร้างและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

ไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำการออกแบบ จะทำการพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

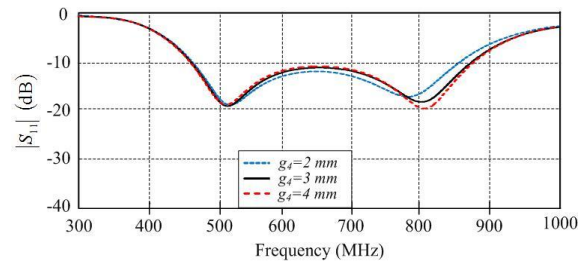
การออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ได้พิจารณาเลือกรูปแบบสายอากาศแบบ D เพื่อให้มีการตอบสนองตลอดช่วงแถบความถี่ โดยมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ เริ่มต้นของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ดังต่อไปนี้ $L=240$ มม. $W=37$ มม. $g_1=1$ มม. ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป CST โดยปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งได้จากการศึกษาบทความวิจัยที่ผ่านมา [11], [12] ดังแสดงในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเมื่อเปลี่ยน L_1

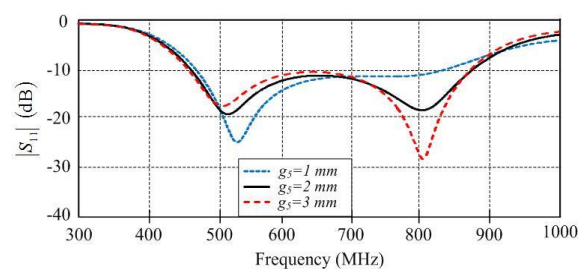
ขั้นตอนแรกโดยใช้เทคนิคการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่บริเวณส่วนบนของแขนด้านขวาเพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ด้านแถบความถี่ต่ำของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ L_1 ที่ขนาด 38 มม. 40 มม. และ 42 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ L_1 เท่ากับ 40 มม. แสดงดังรูปที่ 3

ขั้นตอนต่อมาเพิ่มเทคนิคการป้อนแบบขั้นร่วมกับการป้อนที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ g_1 ที่ขนาด 2 มม. 3 มม. และ 4 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ g_1 เท่ากับ 3 มม. ดังรูปที่ 4



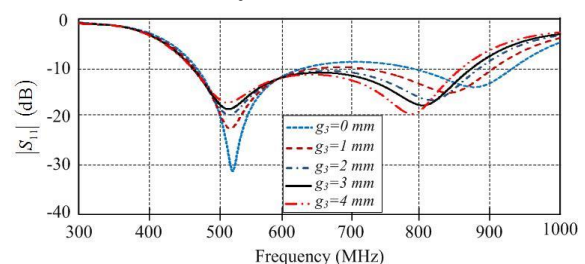
รูปที่ 4 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเมื่อเปลี่ยน g_4

ในขั้นตอนเทคนิคการป้อนแบบขั้นร่วมกับการป้อนที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ g_3 ร่วมด้วย ที่ขนาด 1 มม. 2 มม. และ 3 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ g_3 เท่ากับ 2 มม. ดังรูปที่ 5



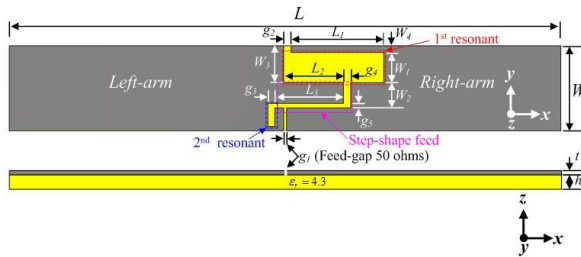
รูปที่ 5 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเมื่อเปลี่ยน g_3

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่แขนด้านซ้ายเพื่อควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ด้านแถบความถี่สูงของสายอากาศสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อช่วยปรับสัมประสิทธิ์การสะท้อน โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ g_2 ที่ขนาด 0 มม. 1 มม. 2 มม. 3 มม. และ 4 มม. ซึ่งการปรับเปลี่ยนค่าดังกล่าวได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ g_2 เท่ากับ 3 มม. ดังรูปที่ 6



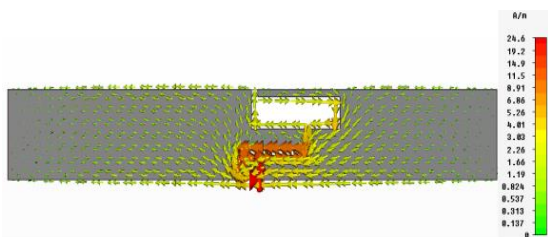
รูปที่ 6 ผลการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับเมื่อเปลี่ยน g_2

จากขั้นตอนการออกแบบและปรับพารามิเตอร์ให้เหมาะสมที่สุด ได้โครงสร้างของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำเสนอ แสดงได้ดังรูปที่ 7

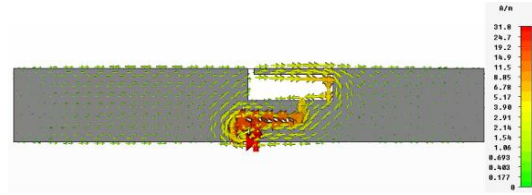


รูปที่ 7 โครงสร้างสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้พัฒนาขึ้น

สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบนั้น ได้ทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบตามลำดับขั้นตอนที่ผ่านมา โดยทำการป้อนสัญญาณทางเข้าด้วยช่องว่างการป้อนที่จุดกึ่งกลาง (Center Feed-gap: g_f) มีค่าเท่ากับ 1 มม. ร่วมกับเทคนิคการป้อนแบบขั้น ซึ่งกำหนดให้มีอิมพีแดนซ์ด้านเข้า 50 Ω โดยมีวัสดุตัวนำวางอยู่บนแผ่นวัสดุฐานรองชนิด FR-4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ($\epsilon_r=4.3$) ค่าการสูญเสียบนผิว (Loss tangent: $\tan \delta$) เท่ากับ 0.02 ความสูงของวัสดุฐานรอง (h)=1.6 มม. และความหนาของวัสดุตัวนำ (t)=0.035 มม. โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ทำการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์และปรับขนาดให้เหมาะสมที่สุด ตลอดช่วงแถบความถี่ปฏิบัติการระหว่าง 470 MHz ถึง 862 MHz นั้น สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ $L=240$ มม. $L_1=40$ มม. $L_2=26$ มม. $L_3=36$ มม. $W=37$ มม. $W_1=13$ มม. $W_2=11$ มม. $W_3=13$ มม. $W_4=3$ มม. $g_1=1$ มม. $g_2=3$ มม. $g_3=3$ มม. $g_4=3$ มม. และ $g_5=2$ มม.



(ก)



(ข)

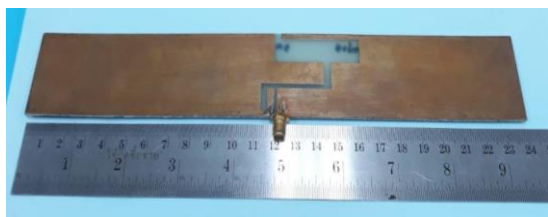
รูปที่ 8 การแจกแจงกระแสที่ความถี่เรโซแนนซ์ (ก) 518 MHz และ (ข) 801 MHz

เมื่อนำโครงสร้างและขนาดของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์มาทำการจำลองสัมประสิทธิ์การสะท้อน เพื่อยืนยันผลเฉลยในส่วนของการคำนวณที่จำเป็นต้องใช้งาน โดยให้มีค่าใกล้เคียง 50 Ω ซึ่งถือว่าสามารถเกิดการแมตช์ได้ตลอดความกว้างแถบโดยไม่เกิดค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันสูงกว่า 2.0:1 เมื่อใช้งานเป็นสายอากาศด้านรับ การจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ได้กำหนดให้มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าใกล้เคียง 50 Ω มากที่สุดเพื่อให้ค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันไม่เกิน 1.5 เมื่อนำไปใช้งานจริงที่อิมพีแดนซ์ 75 Ω ก็จะอยู่ในระดับที่ไม่เกิน 2.0:1 เมื่อต่อเข้ากับหัวสัญญาณอินพุตของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล จากผลการจำลองจะพบว่าสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ทางทฤษฎียังมีความกว้างแถบระหว่าง 467.99 MHz ถึง 867.64 MHz ซึ่งเป็นไปตามกำหนดที่ตั้งสมมติฐานไว้ และเมื่อพิจารณาผลการจำลองการแจกแจงกระแส (Current Distribution) ที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ว่าเป็นไปตามหลักการของสายอากาศไดโพลหรือไม่ เนื่องจากการแจกแจงของกระแสจะส่งผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ดังรูปที่ 8 (ก) และ (ข) เป็นการแจกแจงกระแสที่ความถี่เรโซแนนซ์ ที่ 1 (ความถี่ 518 MHz) มีการแจกแจงของกระแสที่บริเวณการเขาร่องรูปสี่เหลี่ยมบนแขนด้านขวาของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์และความถี่เรโซแนนซ์ ที่ 2 (ความถี่ 801 MHz) การแจกแจงของกระแสที่บริเวณการเขาร่องรูปสี่เหลี่ยมบนแขนซ้ายของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่า การแจกแจงของกระแสที่บริเวณจุดป้อนกำลังตรงกลางจะมีกระแสค่าสูงสุดและค่าของกระแสจะค่อย ๆ ลดลงตลอดความยาวของตัวสายอากาศ

ไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งสองแขนจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ปลายทั้งสองข้างตามหลักการทำงานพื้นฐานเช่นเดียวกับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งมีความสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบเพื่อให้เกิดความกว้างแถบตลอดช่วงความถี่ระหว่าง 470 MHz ถึง 862 MHz

3. การสร้างและการทดสอบสายอากาศ

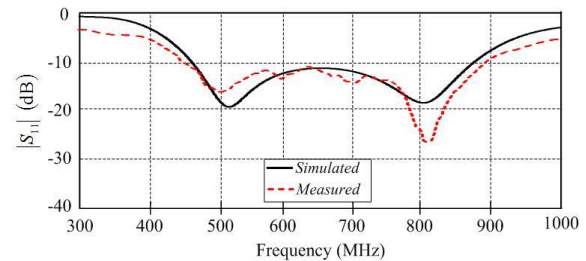
จากการออกแบบสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ตามโครงสร้างในหัวข้อที่ผ่านมา แล้วนำมาสร้างสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ตามขนาดโครงสร้างดังรูปที่ 7 มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวัสดุตามที่ได้จำลองในโปรแกรมสำเร็จรูป CST โดยได้ทำการบัดกรีหัวต่อชนิด SMA 50 Ω เข้ากับสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างขึ้น ซึ่งชิ้นงานของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว แสดงดังรูปที่ 9



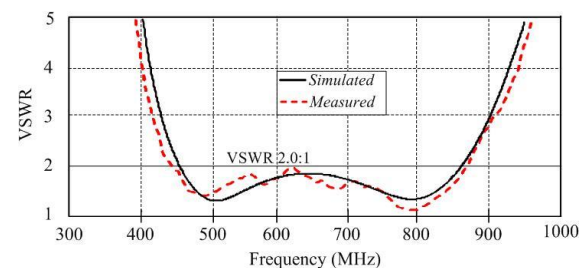
รูปที่ 9 สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์

พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการพิจารณาการแมตช์ คือ ผลการวัดทดสอบเพื่อหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ในการใช้งานด้านวิศวกรรมสายอากาศค่าของ $|S_{11}|$ ที่ยอมรับได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าหรือ เท่ากับ -10 dB ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันที่มีค่าประมาณ 2.0 หรือต่ำกว่า โดยการวัดใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น E501C แล้วนำผลที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับผลการจำลอง แสดงได้ดังรูปที่ 10 พบว่า ผลการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีช่วงแถบความถี่อยู่ที่ 465.43 MHz ถึง 874.58 MHz หรือ 61.06% ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมจะมีความกว้างแถบอยู่ที่ 467.99 MHz ถึง 867.64 MHz หรือ 59.84% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยมีการเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ตลอด

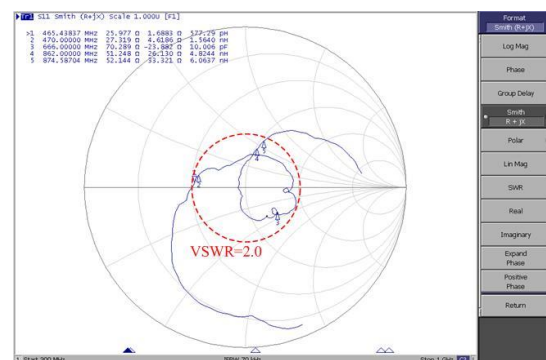
ความถี่แถบที่ 465.43 MHz ถึง 874.58 MHz ผลที่ได้จากการวัดมีค่าอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดัน ไม่เกิน 2.0 แสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการวัดสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ



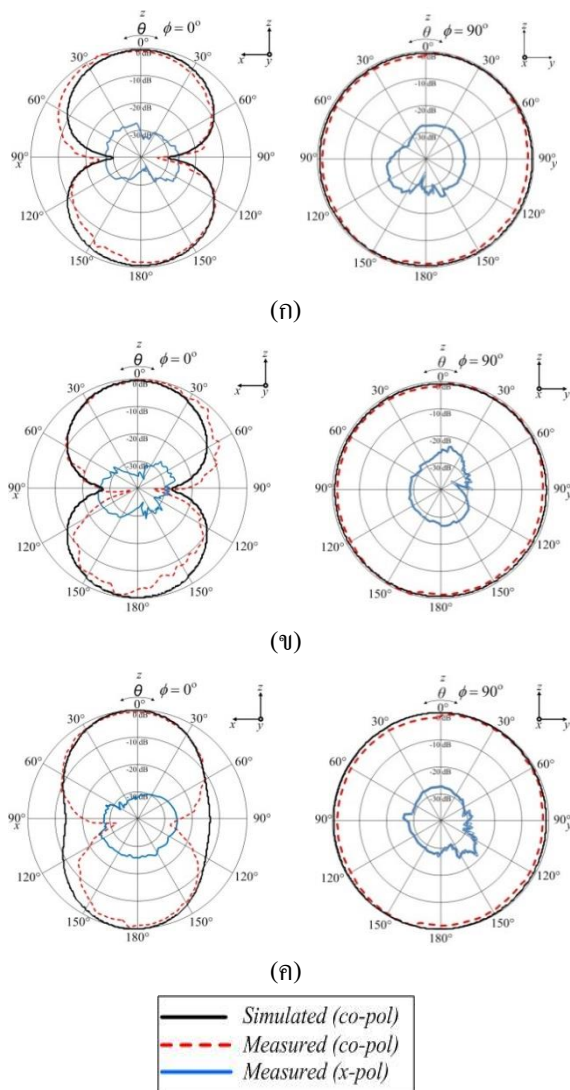
รูปที่ 11 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการวัดอัตราส่วนคลื่นนิ่งแรงดันของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 12 ผลการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์

ในทำนองเดียวกันจากการวัดค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ ในช่วงแถบความถี่ปฏิบัติการที่ความถี่ 465.43 MHz ถึง 874.58 MHz นั้น มีค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้า เท่ากับ $27.31 + j4.62 \Omega$ $70.28 - j23.88 \Omega$ และ $51.24 + j26.13 \Omega$ ที่ความถี่ปฏิบัติการ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 12 จะ

เห็นได้ว่า สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำเสนอ เมื่อทำการวัดทดสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีข้อดีกว่าสายอากาศสำหรับการรับสัญญาณโทรศัพท์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดินในรูปแบบเดิมที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้ได้แก่ มีความกว้างแถบที่ครอบคลุมตลอดช่วงความถี่ปฏิบัติการและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ตลอดช่วงความถี่ปฏิบัติการได้ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 13 แบบรูปการแผ่กำลังในระนาบ xz และระนาบ yz ที่ความถี่ (ก) 470 MHz (ข) 666 MHz และ (ค) 862 MHz

การวัดแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์นั้น จะทำการวัดที่บริเวณสนามไกล

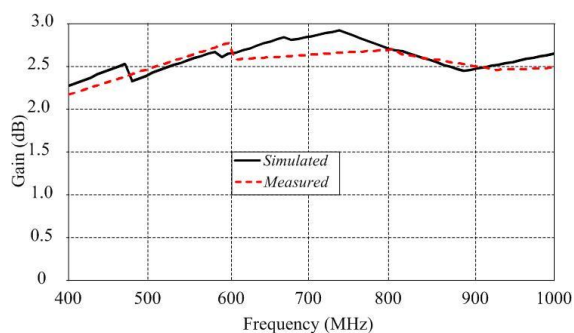
(Far-Fields Region) ซึ่งได้คำนวณหาค่าระยะห่าง (R) ของสนามไกลขั้นต่ำจากสมการ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดย (D) คือ ขนาดที่ยาวที่สุดของสายอากาศและ λ คือ ความยาวคลื่นของความถี่ใช้งาน จากการคำนวณบริเวณสนามไกลได้ระยะ $R > 0.33$ ม. ซึ่งในการวัดทดสอบนี้ ได้กำหนดให้มีระยะห่าง เท่ากับ 0.8 ม. โดยใช้สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น (Half-wave Dipole Antenna) ในแต่ละความถี่ใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่งและหมุนสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ (สายอากาศภาครับ) โดยมีการหมุนรอบแกนหมุนในแต่ละระนาบเพื่อรับคลื่นจากสายอากาศภาคส่ง ตั้งแต่มุม 0° ถึง 360° ผลจากการวัดแบบรูปการแผ่กำลังแบบโพลาไรซ์ร่วม (Co-polarization) ทั้งในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane; xz -plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane; yz -plane) โดยได้ทำการพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจำลองของสายอากาศใน 3 ช่วงแถบความถี่ (ที่ความถี่ ต่ำ กลาง และสูง) ได้แก่ ที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ เพื่อพิจารณาผลกระทบจากความถี่ที่แตกต่างกันว่าส่งผลต่อแบบรูปการแผ่กำลังหรือไม่ พบว่าสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างขึ้นนี้ มีแบบรูปการแผ่กำลังในระนาบสนามไฟฟ้าแบบมีทิศทางในทิศทางด้านหน้าและด้านหลัง โดยมีขนาดความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half-power Beam Width: HPBW) เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลอง/ผลการวัดทดสอบ มีค่าดังนี้ $80.9^\circ/80.5^\circ$ $69.2^\circ/71.5^\circ$ และ $55.1^\circ/54.8^\circ$ ที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862 MHz ตามลำดับ ส่วนในระนาบสนามแม่เหล็กจะมีแบบรูปการแผ่กำลังแบบรอบตัว ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ทำการวัดทดสอบแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่เป็นการโพลาไรซ์ไขว้ (Cross Polarization) เพื่อพิจารณาว่าสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำการออกแบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในขณะที่ทำงานในแบบของการโพลาไรซ์แบบเส้นตรงในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น พบว่า มีความแตกต่างระหว่างความแรงของกำลังโพลาไรซ์ไขว้กับโพลาไรซ์ร่วมอย่าง

มาก โดยในแต่ละระนาบของการวัดจะมีค่าที่แตกต่างกัน ประมาณ -25 dB และ -24 dB ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 13

การวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพล แผ่นวงจรพิมพ์ มีขั้นตอนการวัดโดยการสร้างสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นในแต่ละความถี่ใช้งานเพื่อทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศไดโพล แผ่นวงจรพิมพ์ทำหน้าที่เป็นสายอากาศภาครับ จากนั้นนำมาคำนวณด้วยสมการการส่งผ่านของฟรีส (Friis Transmission Equation) [14] ดังสมการ

$$(P_r/P_t) = (\lambda/4\pi R)^2 G_{ot} G_{or}$$

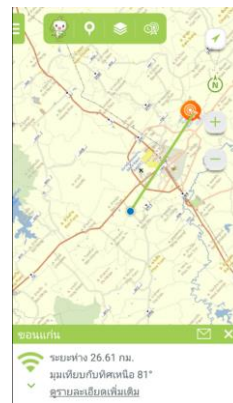
โดยที่ (P_r/P_t) คือ อัตราส่วนของกำลังที่รับได้โดยสายอากาศภาครับต่อกำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง R คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศภาครับและภาคส่ง G_{ot} และ G_{or} คือ ค่าอัตราขยายของสายอากาศภาคส่งและภาครับ ตามลำดับ และ λ คือ ความยาวคลื่นของแต่ละความถี่ที่ใช้ในการวัดทดสอบ เมื่อทำการวัดทดสอบตามลำดับขั้นตอนในทุกความถี่ใช้งาน แล้วสามารถนำค่าอัตราขยายที่ได้จากการวัดมาคำนวณและพล็อตเป็นกราฟเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์

จากรูปที่ 14 เปรียบเทียบผลการวัดค่าอัตราขยายกับผลการจำลองของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างขึ้น พบว่าผลการจำลองมีอัตราขยายอยู่ระหว่าง 2.3 dB ถึง 2.865 dB และผลการวัดมีอัตราขยายอยู่ระหว่าง 2.375 dB ถึง 2.725 dB ตลอดย่านความถี่ปฏิบัติการ 470 MHz ถึง 862 MHz โดยผลการวัดที่ความถี่ 470 MHz 666 MHz และ 862

MHz มีค่าอัตราขยาย เท่ากับ 2.375 dB 2.585 dB และ 2.525 dB ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราขยายของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์มีค่าใกล้เคียงกันตลอดย่านความถี่ปฏิบัติการ โดยมีค่าอัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 2.725 dB ที่ช่วงความถี่ 584 MHz



(ก)

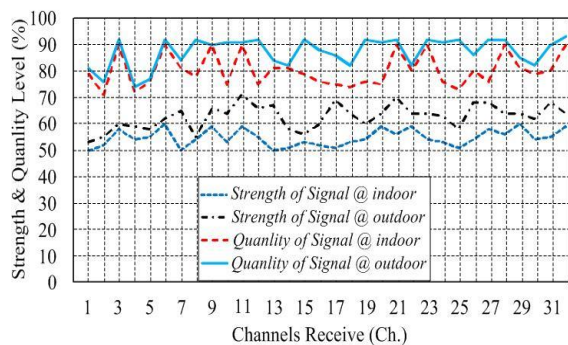
รายละเอียดสถานี	
NAME	Khon Kaen [ERP=50kW Ht=156m]
LATITUDE	16.463686
LONGITUDE	102.946222
MUX1 (Frequency Channel)	59
MUX2 (Frequency Channel)	45
MUX3 (Frequency Channel)	52
MUX4 (Frequency Channel)	56
MUX5 (Frequency Channel)	48
ADDRESS	สถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ ส.ส.ท. เขตที่ 205 หมู่ที่ 8 ถนนขอนแก่น-เชียงใหม่ บ.พรมนิมิตร ต. โกลี อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

(ข)

รูปที่ 15 (ก) แผนที่แสดงระยะทางอากาศระหว่างสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์และพื้นที่วัดทดสอบและ (ข) รายละเอียดช่องความถี่สำหรับมัลติเพล็กซ์ของสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์

การทดสอบใช้งานจริงเพื่อประเมินสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างขึ้นให้เห็นเป็นที่ประจักษ์ทางคณะผู้วิจัยจึงได้สุ่มพื้นที่ในการวัดทดสอบสัญญาณโทรทัศน์ที่ถูกส่งออกจากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ด้วยกำลังส่งประสิทธิภาพ (Effective Radiated Power: ERP) ขนาด 50 กิโลวัตต์ ในรัศมีที่ทำการรับสัญญาณโทรทัศน์ประมาณ 27 กม. ซึ่งรูปแบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ส่วนมากที่ผ่านมามีการติดตั้งสายอากาศแบบมีทิศทางไว้บนหลังคาภายนอกอาคารหรือใช้สายอากาศภายในอาคารแบบแอคทีฟ (Active Indoor Antenna) [15] ในการทดสอบการรับสัญญาณโทรทัศน์ของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรพิมพ์ โดยวางระดับความสูงของสายอากาศจากพื้นดินไว้ที่ความสูงประมาณ 3.5 ม. เพื่อให้สอดคล้องกับการติดตั้งใช้งานจริง ทดสอบการรับสัญญาณโทรทัศน์เปรียบเทียบในลักษณะการติดตั้งสายอากาศไว้ที่บริเวณภายในและภายนอกอาคาร โดยแผนที่แสดงระยะทางอากาศระหว่างสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์และพื้นที่วัด

ทดสอบ แสดงได้ดังรูปที่ 15 (ก) ส่วนรายละเอียดข้อมูลของสถานีส่งสัญญาณ โทรทัศน์ของผู้บริหาร โครงข่ายโทรทัศน์ระบบดิจิทัลหรือมัลติเพล็กซ์ (Multiplex: MUX) ซึ่งแสดงจำนวนและช่องความถี่ของมัลติเพล็กซ์ที่ให้บริการ โดยมีจำนวนทั้งหมด 5 มัลติเพล็กซ์ ใช้ช่องความถี่สำหรับมัลติเพล็กซ์ ได้แก่ ช่องความถี่ที่ 59 45 52 56 และ 48 สำหรับมัลติเพล็กซ์ที่ 1 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 15 (ข)



รูปที่ 16 ระดับความแรงและคุณภาพของการรับสัญญาณโทรทัศน์โดยทดสอบการรับของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิม

จากผลการวัดทดสอบการรับสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งมีการส่งสัญญาณโทรทัศน์จำนวนทั้งหมด 5 มัลติเพล็กซ์ โดยการใช้สายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมเพื่อเข้ากับขั้วสัญญาณอินพุตของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล ซึ่งติดตั้งไว้ที่ความสูงประมาณ 3.5 ม. ระยะทางอากาศจากสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ประมาณ 27 กม. เมื่อติดตั้งสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมไว้ในอาคาร พบว่าสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ทั้งหมดจำนวน 32 ช่องรายการ มีระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ มีค่าประมาณ 50-60% และคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งปรากฏอยู่บนจอภาพเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ มีค่าประมาณ 71-90% ขึ้นตอนต่อมาได้เปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมไว้ภายนอกอาคาร จะได้ว่า สามารถรับสัญญาณได้ทั้งหมดจำนวน 32 ช่องรายการ ระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ มีค่าประมาณ 53-71% และคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ซึ่งปรากฏอยู่บน

จอภาพเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ มีค่าประมาณ 74-93% แสดงดังรูปที่ 16 ดังนั้น จะเห็นได้ว่า จากการออกแบบและสร้างสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิม แล้วทำการวัดทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศในห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการจำลองและผลจากการวัดทดสอบ จะมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ส่วนผลการทดสอบนำไปต่อไปสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์จริงของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมนั้น พบว่าสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมตลอดย่านความถี่ได้เป็นอย่างดี

4. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างสำหรับการรับสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลภาคพื้นดิน โดยการออกแบบใช้พื้นฐานจากสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมร่วมกับเทคนิคการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมที่แขนทั้งสองข้างของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความง่ายสำหรับการออกแบบและการสร้าง โดยให้มีสภาวะการเกิดคลื่นเรโซแนนซ์เพื่อควบคุมช่วงแถบความถี่ตลอดย่านความถี่ปฏิบัติการ โดยมีการป้อนแบบช่องตรงกึ่งกลางร่วมกับการป้อนแบบขึ้น ซึ่งส่งผลให้การแมตช์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลแผ่นวงจรมิมตลอดทั้งย่านความถี่ 470 MHz ถึง 862 MHz ได้ดียิ่งขึ้น การออกแบบสายอากาศได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศให้มีโครงสร้างที่มีขนาดกะทัดรัดเป็นอย่างมาก โดยมีขนาดเท่ากับ 37x240 มม. ซึ่งเหมาะสำหรับการพกพา สามารถใช้งานได้ทั้งการติดตั้งสายอากาศภายในและภายนอกอาคาร ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบใช้งานจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยและโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตามสัญญาเลขที่ ENG08/64

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of The National Broadcasting and Telecommunication Commission. [Online] <https://www.nbtc.go.th/getattachment/Services/academe/%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%99%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%A2%E0%B8%B5/Spectrum-and-Standard-for-Digital-TV/Spectrum-and-Standard-for-Digital>.
- [2] Office of The National Broadcasting and Telecommunication Commission. [Online] <http://www.nbtc.go.th/getattachment/News/Information/38862/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%9A.pdf.aspx>.
- [3] Y. Ya-li, F. Guang, M. Hirano, G. Shu-xi and Dongchao, "Design of a wide-band Yagi-Uda Antenna Using Differential Evolution Algorithm," International Symposium on Signals, Systems and Electronics (ISSSE2010), pp. 1-4, 2010.
- [4] C. M. Butler, "The Equivalent Radius of a Narrow Conducting Strip," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-30, No. 4, pp.755-758, 1982.
- [5] Y. W. Chi and K. L. Wong, "Wideband Printed Dipole Antenna for DTV Signal Reception," IEEE Region 10 Conference (TENCON2007), pp. 1-4, 2007.
- [6] Y. W. Chi, K. -L. Wong and S.-W. Su, "Broadband Printed Dipole Antenna With a Step-Shaped Feed Gap for DTV Signal Reception," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 11, pp. 3353-3356, 2007.
- [7] S. Y. Lin, Y. C. Chu, Y. Z. Lin and S. K. Yen, "Concavo-Convex Dipole for DTV/GSM Applications," Asia Pacific Microwave Conference (APMC2009), pp. 1763-1766, 2009.
- [8] M. Bhujbal, D. C. Karia and A. Desai, "Planar Dipole Antenna Design for DTV Broadcasting Applications," International Conference on Advances in Communication and Computing Technologies, pp. 1-4, 2014.
- [9] D. C. Karia, M. Bhujbal and A. Desai, "Wideband Printed Dipole Antenna with Embedded Loops and Coupling Patches for Digital TV Signal Reception," International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI2014), pp. 2512-2516, 2014.
- [10] S. Pimpol and R. Wongsan, "Bandwidth Improvement of Band-Notched Printed Dipole Antenna for DTV Signal Reception," 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT2013), pp. 138-142, 2013.
- [11] K. L. Wong and C. Y. Huang, "Triple-Wideband Open-Slot Antenna for the LTE Metal-Framed Tablet device," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 63, No. 12, pp. 5966-5971, 2015.
- [12] H. T. Hu, F. C. Chen and Q. X. Chu, "A Wideband U-Shaped Slot Antenna and Its Application in MIMO Terminals," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 15, pp. 508-511, 2016.
- [13] C. Wang, Y. Chen and S. Yang, "Bandwidth Enhancement of a Dual-Polarized Slot Antenna Using Characteristic Modes," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 17, No. 6, pp. 988-992, 2018.
- [14] C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," John Wiley & Sons. New York.
- [15] Office of The National Broadcasting and Telecommunication Commission. [Online] <https://broadcast.nbtc.go.th/data/academic/file/590700000003.pdf>

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

Factors Influencing Competitive Aggressiveness of Small and Medium Housing Contractors in Bangkok

ศตพร วัฒนาวัตถุ^{1*} และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Sattaporn Watthanawatthu¹ and Laemthong Laokhongthavorn²

^{1,2}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

*Corresponding Author E-mail: owen.stp1998@gmail.com

Received: February 8, 2021 Revised: March 22, 2021 Accepted: March 24, 2021

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้การก่อสร้างเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบทางสังคม เศรษฐกิจและอีกหลากหลายด้าน มีบริษัทรับเหมาก่อสร้างมากมายที่ต้องยุติกิจการ เนื่องจากไม่มีความรู้มากพอในการจัดการจากสถานการณ์ต่างๆ โดยเฉพาะในบริษัทขนาดเล็กและขนาดกลาง ความก้าวร้าวในการแข่งขันเป็นหนึ่งในสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงโดยมาจากคุณลักษณะของความเป็นผู้ประกอบการ ผู้รับเหมาจึงจำเป็นต้องมีเพื่อเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จ จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ยังไม่พบงานวิจัยที่กล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยดังกล่าว โดยใช้การวิจัยเชิงคุณภาพด้วยแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวกับการบริหารบริษัทรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัยถึงระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์โดยทำการทดสอบโครงสร้างปัจจัย โดยโครงสร้างปัจจัยสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์, ด้านการแข่งขัน, ด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า, และ การจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร จากผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยหลักที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดคือ ด้านการแข่งขัน (35.33%), ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์ (26.50%) และ ด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร (19.56%) ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปัจจัย ความก้าวร้าวในการแข่งขัน การก่อสร้างบ้านพักอาศัย องค์ประกอบเชิงยืนยัน

Abstract

Nowadays, construction is one of the industries that are impacted by society, economy etc. Many contractors went out of business due to their poor administration. Especially in small and medium companies. Competitive aggressiveness is regarded as one of the Entrepreneurial orientations. Contractors must have competitive aggressiveness to increase their chances of success in business. The literature review shows that no researches did about factors influencing competitive aggressiveness of small and medium contractors in Thailand. Thus, this research aims to study these factors. It is qualitative research method by using a questionnaire to collect data from people who have involve in management of housing construction contractors about the degree of importance of factors influencing competitive aggressiveness of small and medium housing contractors in Bangkok. The data were analyzed by testing the structure of factors. The factors are divided into 4 groups: Vision and Strategic management, Competitive performance, Client relationship, and Machines and raw materials management. By the results, it finds that the main factors that weigh the most importance are Competitive performance (35.33%), Vision and Strategic management (26.5%), Machines and raw materials management (19.56%), respectively.

Keywords: factors, competitive aggressiveness, housing construction, Confirmatory Factor Analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีบริษัทที่ทำธุรกิจรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทยมากมายนับพันบริษัท จนทำให้เกิดการแข่งขันอย่างสูงเพราะความต้องการในการสร้างบ้านของคนไม่ได้เพิ่มมากเพียงพอกับความต้องการในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยของบริษัทรับเหมาก่อสร้างมีผู้รับเหมานขนาดเล็กและขนาดกลางหลายรายมากมายที่ต้องยุติกิจการ เนื่องจากไม่มีความรู้ ความสามารถ และความเป็นมืออาชีพเพียงพอจึงควรที่จะพัฒนาศักยภาพขององค์กรของตนเองให้ดียิ่งขึ้นเพราะฉะนั้น ปัจจัยใดต่างๆที่สามารถจะนำพาทำให้ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยสามารถเติบโตและสามารถเอาชนะบริษัทรับเหมาก่อสร้างคู่แข่งรายอื่นได้ จึงเป็นสิ่งที่ควรค่าแก่การศึกษาและปฏิบัติตาม

โดยสิ่งที่ผู้รับเหมาก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง นั้นต้องเผชิญคือการที่มีองค์กรประสิทธิภาพต่ำและมีทักษะการเอาตัวรอดต่ำเพราะว่าความไม่แน่นอนของ

สิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมการก่อสร้าง [1] บริษัทจะต้องตอบสนองโดยหากกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่ทำให้แน่ใจว่าจะสามารถอยู่รอดและประสบความสำเร็จ ทำทางที่ก้าวร้าวในการแข่งขันเป็นหนึ่งในแนวทางขององค์กรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับธุรกิจ ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยโดยมีการแข่งขันเพื่อหาลูกค้าและทรัพยากร ความก้าวร้าวในการแข่งขันเป็นหนึ่งในห้ามิติของคุณลักษณะของความเป็นผู้ประกอบการ (EO) [2]

การศึกษาเกี่ยวกับห้ามิติของคุณลักษณะของความเป็นผู้ประกอบการ (EO) โดยเฉพาะในมิติด้านความก้าวร้าวในการแข่งขัน มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยแล้วบ้างบางส่วนในต่างประเทศ[1][4][5][6][7][9][10][11] แต่การนำความก้าวร้าวในการแข่งขันเพียงด้านเดียวมาศึกษาในผู้รับเหมานขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในประเทศไทยยังไม่พบ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร
- 2.2 เพื่อให้ทราบแนวทางในการประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัย

3. ความก้าวร้าวในการแข่งขัน (Competitive Aggressiveness)

Lumpkin and Dess [2][3] ความก้าวร้าวในการแข่งขัน เป็นหนึ่งในสิ่งที่ดีที่สุดในการขับเคลื่อนขององค์กร สำหรับธุรกิจสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย การแข่งขันที่สูงทั้งในด้านลูกค้าและทรัพยากร ความก้าวร้าวในการแข่งขันเป็นหนึ่งในห้ามิติของคุณลักษณะของการเป็นผู้ประกอบการ (Entrepreneurial Orientation หรือ EO) มันเป็นลักษณะท่าทางที่แข็งแกร่งหรือการตอบสนองอย่างมุ่งมั่นต่อการกระทำของคู่แข่ง ท่าทางที่ก้าวร้าวในเชิงแข่งขันที่แข็งแกร่งช่วยให้ บริษัท สามารถเป็นผู้เล่นที่เด็ดขาดในแวดวงคู่แข่งและดำเนินการอย่างแข็งขันเพื่อปกป้องตำแหน่งหรือก้าวสู่ตำแหน่งของตน การเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วอาจรวมถึงการลดราคา การเพิ่มการลงทุนในตลาด และพัฒนาคุณภาพและกำลังการผลิตที่ดีขึ้น

คุณลักษณะของการเป็นผู้ประกอบการ 5 มิติ มีดังนี้

1. การมีนวัตกรรม (Innovativeness)
2. การกล้าเสี่ยง (Risk Taking)
3. การทำงานเชิงรุก (Proactiveness)
4. ความก้าวร้าวในการแข่งขัน (Competitive Aggressiveness)
5. การมีอิสระ (Autonomy)

Vij and Vedi [4] ความก้าวร้าวในการแข่งขันหมายถึงความโน้มเอียงของ บริษัท ที่จะท้าทายคู่แข่งโดยตรงและรุนแรงเพื่อประสบความสำเร็จหรือปรับปรุงตำแหน่งของตน นั่นคือเพื่อเอาชนะคู่แข่งในตลาดใดเมื่อนำงานวิจัยของ

Abdullahi, et al. [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความก้าวร้าวในการแข่งขันของบริษัทรับเหมาก่อสร้างในประเทศไนจีเรียทั้งขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีผลต่อประสิทธิภาพของบริษัท จากการศึกษาพบว่า แต่ละบริษัทย่อมมีกลยุทธ์ที่ใช้เพื่ออยู่รอดและเพื่อประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมความก้าวร้าวในการแข่งขันก็ถือว่าเป็นหนึ่งในสิ่งที่เหมาะสมต่อการดำเนินการของธุรกิจ ความก้าวร้าวในการแข่งขันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพของบริษัทก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับบริษัทรับเหมาก่อสร้างขนาดเล็กและขนาดกลาง Rahman et al. [5] ได้ใช้ความสามารถเชิงรุกความก้าวร้าวในการแข่งขันในการศึกษาผู้ประกอบการ (EO) ระหว่างวิสาหกิจขนาดเล็กกับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)

ดังนั้นจากการทบทวนวรรณกรรมจึงทำให้ผู้วิจัยสามารถสรุปความหมายของความก้าวร้าวในการแข่งขันคือ การที่องค์กรมีลักษณะท่าทางที่แข็งแกร่งหรือตอบสนองในการที่จะท้าทายคู่แข่ง เพื่อความอยู่รอดเติบโต และประสบความสำเร็จ

4. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร โดยศึกษาและพัฒนาโครงสร้างปัจจัย [1][4][5][6][7][8][9][10][11][12]โดยอ้างอิงจากปัจจัยที่ได้มาจากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาตั้งสมมติฐานและกำหนดกลุ่มปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัย ในกรุงเทพมหานครโดยแบ่งออกมาได้ 4 ด้านดังนี้

1. ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์
 - 1.1 กลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจเพื่อจัดและเอาชนะคู่ต่อสู้
 - 1.2 กลยุทธ์ทางการตลาด
 - 1.3 กลยุทธ์การจัดการการเงิน
 - 1.4 ความมีชื่อเสียงในด้านการเป็นบริษัทที่มีความก้าวหน้า
 - 1.5 สภาพแวดล้อมและการลงมือปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย
 - 1.6 การมีทัศนคติที่ก้าวร้าวเพื่อรับมือกับอุปสรรค
2. ด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า
 - 2.1 การทำหน้าที่เป็นผู้แก้ปัญหาให้แก่ลูกค้า
 - 2.2 การสร้างและรักษาความเชื่อมั่นของลูกค้า
 - 2.3 การรักษาความสัมพันธ์ที่ดีกับลูกค้า
 - 2.4 การให้ความสำคัญกับความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก
3. ด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร
 - 3.1 องค์กรมีสินค้าหรือวัตถุดิบทดแทนที่เกิดจากเทคโนโลยีใหม่
 - 3.2 ความสามารถของผู้จัดหาวัตถุดิบ
 - 3.3 การลงทุนกับการใช้เครื่องจักรเพื่อการผลิตวัตถุดิบใหม่ๆ
 - 3.4 การนำเสนอสินค้าและบริการที่ดีแก่ลูกค้า
4. ด้านการแข่งขัน
 - 4.1 การมีประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน
 - 4.2 การมีความแตกต่างเมื่อเทียบกับคู่แข่ง
 - 4.3 การมีความก้าวหน้าและแรงจูงใจในการก้าวล้ำนำคู่แข่ง
 - 4.4 การมีกิจกรรมที่สามารถชนะคู่แข่ง
 - 4.5 มีการตระหนักรู้ถึงคู่แข่ง

5. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือใน

การเก็บข้อมูลจากประชากรกลุ่มเป้าหมายและนำข้อมูลมาวิเคราะห์และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวหน้าในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานครโดยผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางคือ มีการจ้างงานไม่เกินกว่า 100 คน และรายได้ไม่เกิน 300 ล้านบาทต่อปี ประชากรที่ใช้ในการศึกษาจึงใช้ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการบริหารองค์กร หรือโครงการก่อสร้างของบริษัทรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร โดยควรมีจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 95 ราย ดำรงตำแหน่งเกี่ยวกับการบริหารองค์กร บริหารโครงการ บริหารกลยุทธ์ขององค์กรโดยกำหนดมาจากสูตรการหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างกรณีมีกลุ่มประชากรแน่นอนของ Yamane [13] ดังสมการที่ 1

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

e = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่าง (0.1)

N = ขนาดของประชากร (2210)

แบบสอบถามถูกออกแบบเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

ส่วนที่ 1: ข้อมูลส่วนนี้เป็นการถามถึงคุณสมบัติของผู้ทำแบบสอบถามได้แก่ ตำแหน่งปัจจุบัน ระยะเวลาที่ดำรงตำแหน่ง หน้าที่ความรับผิดชอบ สาขาการศึกษา รวมไปถึงข้อมูลขององค์กร ระยะเวลารวมทั้งองค์กรได้ก่อตั้งมูลค่าเฉลี่ยขององค์กร และลักษณะงานที่ดำเนินการ

ส่วนที่ 2: ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวหน้าในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ส่วนนี้แยกคำถามออกเป็นกลุ่มปัจจัย 4 ปัจจัยและแยกปัจจัยย่อยตามกลุ่มของปัจจัยนั้นๆ โดยกำหนดช่วงวัดที่มีค่าต่อเนื่อง 5 ระดับ(น้อยที่สุด, น้อย, ปานกลาง, มาก, มากที่สุด) และจะต้องทำการทดสอบหาความตรง (Validity) และความเชื่อถือได้ (Reliability) ของเนื้อหา ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's alpha เท่ากับ $0.865 > 0.70$ ถือว่ามีความน่าเชื่อถือได้ [14]

6. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลจากการสำรวจที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS และ Amos

6.1 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบและองค์กร

โดยทำการวิเคราะห์ข้อคำถามในส่วนที่ 1 ด้วยการหาค่าความถี่ ร้อยละ ด้วยฟังก์ชันในโปรแกรม SPSS จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบและวิจารณ์ผลที่ได้

6.2 วิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามส่วนที่ 2: ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

การวิเคราะห์หาระดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลที่บันทึกจากโปรแกรม SPSS เข้ามาร่วมกับโปรแกรม Amos (Analysis of Moment Structures) ในการสร้างโครงสร้างปัจจัย โดยการวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis, CFA) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องขององค์ประกอบเชิงสำรวจตามกรอบแนวคิดของการวิจัยที่วางไว้ว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกตหรือไม่ ซึ่งมีเกณฑ์วัดระดับความสอดคล้องดังตารางที่ 1

1. การวิเคราะห์กลุ่มปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ทีละกลุ่มตามกรอบแนวความคิดการวิจัย โดยขึ้นรูปในโปรแกรม Amos
2. การวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่ง (1st Order CFA) เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัย
3. การวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสอง (2nd Order CFA) เพื่อยืนยันโครงสร้างปัจจัย

7. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องขององค์ประกอบเชิงสำรวจตามกรอบแนวความคิดว่าโครงสร้างปัจจัยมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต [15] คือ

- (1) ค่าระดับความน่าจะเป็นของไคสแควร์, $p > 0.05$
 - (2) ค่าไคสแควร์สัมพัทธ์, $CMIN/DF < 3$
 - (3) ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง, GFI ยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งดี
 - (4) ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน, $RMSEA < 0.08$
- ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินความสอดคล้องของโมเดล
ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้ [15][16]

การประเมินความสอดคล้องของโมเดล	เกณฑ์
ρ value	> 0.05
CMIN/DF	< 3
GFI	เข้าใกล้ 1
RMSEA	< 0.08

7.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

7.1.1 การวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัย ผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นดังตารางที่ 2 นี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัย

การประเมินความสอดคล้องของโมเดล	เกณฑ์	ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์
ρ value	> 0.05	0.075
CMIN/DF	< 3	1.189
GFI	เข้าใกล้ 1	0.863
RMSEA	< 0.08	0.045

ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยที่ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต

7.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสองเพื่อยืนยันโครงสร้างปัจจัยผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานครผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นดังตารางที่ 3 นี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสองเพื่อยืนยันโครงสร้างปัจจัยผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างปัจจัย

การประเมินความสอดคล้องของโมเดล	เกณฑ์	ค่าสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์
ρ value	> 0.05	0.06
CMIN/DF	< 3	1.202
GFI	เข้าใกล้ 1	0.865
RMSEA	< 0.08	0.046

ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยที่ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต แสดงว่าปัจจัยเหล่านี้สามารถบ่งชี้ความก้าวร้าวในการแข่งขัน

ของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

จากการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัยจากสมการที่ 2

$$\text{น้ำหนักความสำคัญ} = \frac{\text{ค่าน้ำหนักถดถอยนั้น}}{\text{ผลรวมของน้ำหนักถดถอย}} \quad (2)$$

และผลการหาน้ำหนักความสำคัญ[17]แสดงดังตารางที่ 4 นี้

ตารางที่ 4 ผลการหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร	น้ำหนักถดถอย	น้ำหนักความสำคัญ
ด้านการแข่งขัน	1.12	35.33%
การมีประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน	0.61	19.06%
การมีความแตกต่างเมื่อเทียบกับคู่แข่ง	0.44	13.75%
การมีความก้าวร้าวและแรงจูงใจในการก้าวล้ำหน้าคู่แข่ง	0.6	18.75%
การมีกิจกรรมที่สามารถชนะคู่แข่ง	0.82	25.63%
มีการตระหนักรู้ถึงคู่แข่ง	0.73	22.81%
ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์	0.84	26.50%
กลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจเพื่อขจัดและเอาชนะคู่แข่ง	0.51	20.48%
กลยุทธ์ทางการตลาด	0.56	22.49%
กลยุทธ์การจัดการการเงิน	0.41	16.47%
การมีชื่อเสียงในด้านการเป็นบริษัทที่มีความก้าวร้าว	0.17	6.83%
สภาพแวดล้อมและการลงมือปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย	0.61	24.5%
การมีทัศนคติที่ก้าวร้าวเพื่อรับมือกับอุปสรรค	0.23	9.24%

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร	น้ำหนักถดถอย	น้ำหนักความสำคัญ
ด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร	0.62	
องค์กรมีสินค้าหรือวัตถุดิบทดแทนที่เกิดจากเทคโนโลยีใหม่	0.87	34.25%
ความสามารถของผู้จัดหาวัตถุดิบ	0.69	27.17%
การลงทุนกับการใช้เครื่องจักรเพื่อการผลิตวัตถุดิบใหม่ๆ	0.77	30.31%
การนำเสนอสินค้าและบริการที่ดีแก่ลูกค้า	0.21	8.27%
ด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า	0.59	18.61%
การทำหน้าที่เป็นผู้แก้ปัญหาให้แก่ลูกค้า	0.77	24.92%
การสร้างและรักษาความเชื่อมั่นของลูกค้า	0.78	25.24%
การรักษาความสัมพันธ์ที่ดีกับลูกค้า	0.68	22.01%
การให้ความสำคัญกับความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก	0.86	27.83%

8. วิเคราะห์ผล

จากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานครและทราบแนวทางในการประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้างบ้านพักอาศัย

ปัจจัยหลักที่สำคัญมากที่สุดตามลำดับ ได้แก่

1. ด้านการแข่งขัน
2. ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์
3. ด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร
4. ด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า

ปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านการแข่งขัน

3 อันดับ ได้แก่

1. การมีกิจกรรมที่สามารถชนะคู่แข่ง
2. มีการตระหนักรู้ถึงคู่แข่ง
3. การมีประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน

ปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์ 3 อันดับ ได้แก่

1. สภาพแวดล้อมและการลงมือปฏิบัติที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย
2. กลยุทธ์ทางการตลาด
3. กลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจเพื่อจัดและเอาชนะคู่แข่ง

ปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร 3 อันดับ ได้แก่

1. องค์กรมีสินค้าหรือวัตถุดิบทดแทนที่เกิดจากเทคโนโลยีใหม่
2. การลงทุนกับการใช้เครื่องจักรเพื่อการผลิตวัตถุดิบใหม่ๆ
3. ความสามารถของผู้จัดหาวัตถุดิบ

ปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า

3 อันดับ ได้แก่

1. การให้ความสำคัญกับความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก
2. การสร้างและรักษาความเชื่อมั่นของลูกค้า
3. การทำหน้าที่เป็นผู้แก้ปัญหาให้แก่ลูกค้า

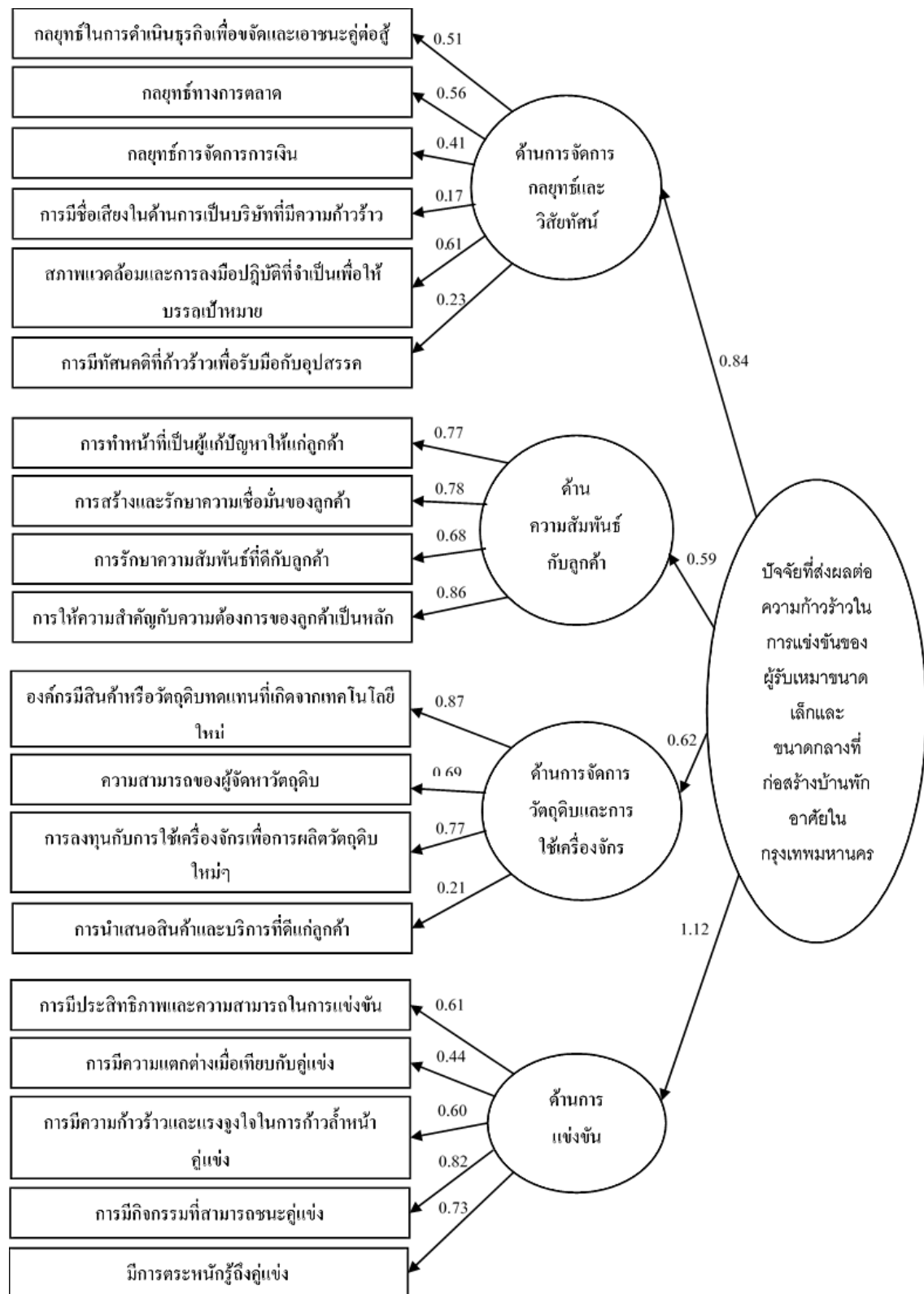
9. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร จากผลการศึกษาวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดคือ “ด้านการแข่งขัน” (35.33%) ปัจจัยหลักที่มีน้ำหนักความสำคัญมากเป็นอันดับถัดไป คือ ด้านการจัดการกลยุทธ์และวิสัยทัศน์ (26.5%) และ ด้านการจัดการวัตถุดิบและการใช้เครื่องจักร (19.56%) ตามลำดับ

ปัจจัยหลักที่มีน้ำหนักความสำคัญน้อยที่สุด คือ ด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า (18.61%) จากการที่ด้านการแข่งขันมีความสำคัญมากที่สุดอาจเป็นเพราะในปัจจุบันผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางมีจำนวนมากจึงทำให้เกิดการแข่งขันที่สูงในการเอาชนะคู่แข่งผู้รับเหมาแต่ละรายจึงต้องสร้างความแตกต่าง และเพิ่มประสิทธิภาพของตนเองให้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับคู่แข่งรายอื่น ส่วนปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดของด้านการแข่งขันคือ “การมีกิจกรรมที่สามารถชนะคู่แข่ง(25.63%)” หมายถึง การที่องค์กรมีกลยุทธ์และกิจกรรมที่ดีในการบริการลูกค้าที่จะทำให้เอาชนะคู่แข่งรายอื่นในตลาดได้ เช่น เมื่อลูกบ้านพบปัญหาหลังจากเข้าอยู่บริษัทจะดำเนินการแก้ไขภายใน 24 ชม. เป็นต้น “มีการตระหนักถึงคู่แข่ง(22.81%)” หมายถึง องค์กรจำเป็นต้องรู้ถึงความสามารถในการแข่งขันหรือความสามารถในด้านต่าง ๆ ของคู่แข่งเป็นอย่างดี เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุง วางแผนในการแข่งขัน หากผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานครเลยปัจจัยต่างๆเหล่านี้ อาจจะส่งผลทำให้องค์กรของท่านมีความก้าวร้าวในการแข่งขันน้อยกว่าองค์กรอื่นได้

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และท่านอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่สนับสนุน มอบโอกาส และให้คำปรึกษา เพื่อให้งานวิจัยนี้ลุล่วงไปด้วยดี



Chi-square=152.652, df=127, p=0.060, CMIN/df=1.202, GFI=0.865, RMSEA=0.046

รูปที่ 1 การวิเคราะห์หองค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสองจากโปรแกรม Amos ของปัจจัยที่ส่งผลต่อความก้าวร้าวในการแข่งขันของผู้รับเหมาขนาดเล็กและขนาดกลางที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] U. Abdullahi., S.U. Kunya and S.A. Bustanman, "Impact of Competitive Aggressiveness on Performance of Small and Medium Construction Firms in Nigeria", *FUTY Journal of the Environment*, Vol.13, No.1, pp.65-74, 2019.
- [2] G.T. Lumpkin and G.G. Dess, "Clarifying the entrepreneurial construct and linking it to performance", *The Academy of Management Review*, Vol. 21, No. 1, pp.135-172, 1996.
- [3] G.T. Lumpkin and G.G. Dess, "Linking Two Dimensions of Entrepreneurial Orientation to Firm performance: The moderating role of environment and industry life cycle", *Journal of Business Venturing*, Vol. 16, No. 5, pp.429-451, 2001.
- [4] S. Vij and H.S. Bedi., "Relationship between Entrepreneurial Orientation and Business Performance", *The IUP Journal of Business Strategy*, Vol. 9, No. 3, pp.17-31, 2012.
- [5] A. Rahman, M. Civelek and L. Kozubíková, "Proactiveness, Competitive Aggressiveness and Autonomy: A Comparative Study from the Czech Republic", *Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, Vol.11, No.3, pp.631-650, 2016.
- [6] A. Ključnikov, J. Belás, L. Smrčka, "The Role Of Risk-Taking And Competitive Aggressiveness In Management Of Smes", *Polish Journal of Management Studies*, Vol.14, No.1, 2016.
- [7] H. Setiawan, B. Erdogan and S. O. Ogunlana, "Competitive aggressiveness of contractors: A study of Indonesia", *Procedia Engineering*, Vol.125, pp.68-74, 2015.
- [8] W. Chokpromanan, "The affect entrepreneur characteristic on business success of store entrepreneur in Don Wai floating market, Nakhon Pathom province", 2014.
- [9] B. M. Linyiru, R. P. Ketyenya, "Influence Of Competitive Aggressiveness On Performance Of State Corporations In Kenya", *International Journal of Entrepreneurship*, Vol.2, No.1, pp.1-14, 2017.
- [10] Aroyeun, F. Taiwo, Adefulu, D. Adesoga, Asikhia, and U. Olalekan, "Effect of Competitive Aggressiveness on Competitive Advantage of Selected Small and Medium Scale Enterprises in Ogun State, Nigeria", *European Journal of Business and Management*, Vol.10, No.35, pp.124-135, 2018.
- [11] S. Muhonen, "The Profitability of Competitive Aggressiveness: The Moderating Effect of Industry-Related and Organizational Factors", *Aalto University School of Business*, 2017.
- [12] T. Leekulpitak, "The Components of Corporate Entrepreneurship of Rubber-Wood Businesses in Thailand", *Christian University of Thailand*, 2017.
- [13] T. Yamane, "Statistic: An Introductory Analysis", 2nd ed., New York:Harper and Row, 1967.
- [14] SPSS Training, "SPSS Training Series. IT Services", *Queensland University of Technology*, 2001.
- [15] T. Silpcharu, "Research and statistical data analysis by SPSS and AMOS", 13th ed., S.R. Printing Mas Product, Thailand, 2012.
- [16] G. Rangsunгноen, "Factor analysis by SPSS and Amos for research", *Se-Education*, Thailand, 2011.
- [17] J. Jr. Deegan, "On the Occurrence of Standardized Regression Coefficients Greater Than One", *Educational and Psychological Measurement*, Vol.38, No. 4, pp.873-888, 1978.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ

- “บทความทางวิชาการ”** หมายความว่า บทความที่เขียนขึ้นในลักษณะวิเคราะห์ วิจัย หรือเสนอแนวความคิดใหม่ ๆ จากพื้นฐานทางวิชาการที่ได้เรียบเรียงจากผลงานทางวิชาการของตนเอง หรือของผู้อื่น หรือเป็นบทความทางวิชาการที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นความรู้ทั่วไปสำหรับประชาชน
- “บทความวิจัย”** หมายความว่า บทความที่มีลักษณะเป็นเอกสารที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น มีการตั้งสมมติฐาน หรือมีการกำหนดปัญหาที่ชัดเจนสมเหตุสมผล โดยจะต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน มีการค้นคว้าอย่างมีระบบ มีการรวบรวมข้อมูลพิจารณาวิเคราะห์ ตีความ และสรุปผลการวิจัยที่สามารถให้คำตอบบรรลุวัตถุประสงค์ หรือหลักการบางอย่างที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการ หรือการนำวิชานั้นมาประยุกต์ใช้

1. การเรียงลำดับเนื้อหาบทความ

1.1 ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทำการชัดเจน

1.2 ชื่อ-นามสกุลของผู้เขียนใส่ทุกคน เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุสถานที่ทำงาน สำหรับผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding Author)

1.3 บทคัดย่อ (Abstract) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และผลสรุป มี 1 ย่อหน้า

1.4 คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ให้ใส่คำสำคัญ 3-5 คำ ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษา

1.5 เนื้อหา (Text) บทความวิจัยควรประกอบด้วย

- บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ และอาวรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

- วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และทดลองที่กระชับและชัดเจน

- ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่าง

ชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน

- อภิปรายผลและสรุป (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความและการวิเคราะห์ในแง่มุมต่างๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้อง หรือขัดแย้งกับผลงานของผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุน หรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.6 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) (ถ้ามี) ระบุสั้นๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากที่ใดบ้าง

1.7 เอกสารอ้างอิง (References) การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข เอกสารอ้างอิงท้ายบททุกฉบับ จะต้องมีการอ้างอิงในบทความ และมีการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ตามรูปแบบของ IEEE ซึ่งประกอบด้วย ชื่อผู้เขียน ชื่อหนังสือหรือชื่อบทความ ชื่อของเอกสารที่พิมพ์สำนักหรือสถานที่พิมพ์ ฉบับที่ เล่มที่ เลขหน้า และปีที่พิมพ์ ทั้งนี้การเขียนให้เป็นไปตามรูปแบบของชนิดเอกสารที่อ้างอิง ดังรูปแบบดังนี้

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, "The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic," *Ladkrabang Engineering Journal*, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, "Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits," *IEEE Trans. Circuits and Systems*, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

1.8 ภาคผนวก (ถ้ามี)

1.9 ตารางและรูป ต้องมีความคมชัด และให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูปให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..." และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

2.1 คำแนะนำทั่วไป บทความต้องมีความยาวไม่เกิน 8 หน้ากระดาษ A4 พิมพ์ด้วย Microsoft Word หรือซอฟต์แวร์อื่น ที่ขนาดตัวอักษรกำหนดได้ใกล้เคียงกัน การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะบน (Top Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- ระยะล่าง (Bottom Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- กั้นซ้าย (Left Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.
- กั้นขวา (Right Margin) 1" หรือ 2.54 ซม.

การแบ่งส่วน (Section) ควรแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรก กำหนด (format) เป็นคอลัมน์เดี่ยว และส่วนที่สองกำหนดเป็น 2 คอลัมน์ โดยระยะห่างระหว่างคอลัมน์เป็น 0.26" หรือ 0.7 ซม.

การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่องให้ใช้เลขกำกับบทหน้าเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย และสามารถเว้นโคลงตรงละเอียดได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>

2.2 แบบและขนาดตัวอักษร ใช้ตัวอักษรแบบ **Angsana New** สำหรับบทความภาษาไทย และให้ใช้รูปแบบตัวอักษร **Times New Roman** สำหรับบทความภาษาอังกฤษ

บทความภาษาไทย กำหนดรูปแบบดังนี้

- ขนาดของตัวอักษรให้ใช้ **Angsana New** เท่านั้น
- ชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
ขนาด **26 ตัวหนา** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน
ขนาด **14 ตัวปกติ** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- สถานที่ทำงาน
ขนาด **12 ตัวปกติ** (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- คำว่า "บทคัดย่อ"
ขนาด **16 ตัวหนา**
- คำสำคัญ (Key Words)
ให้ใส่คำสำคัญ 3 – 5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ใต้บทคัดย่อภาษาอังกฤษ
- ส่วนของเนื้อความในบทคัดย่อ
ขนาด **14 ตัวปกติ** (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- ส่วนของเนื้อความทั้งหมด
ขนาด **14 ตัวปกติ** (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์)
- คำว่า "Abstract"
ขนาด **16 ตัวหนา**
- ส่วนของเนื้อความใน Abstract
ขนาด **16 ตัวปกติ** (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- หัวข้อใหญ่และหมายเลขประจำหัวข้อใหญ่
ขนาด **16 ตัวหนา** (พิมพ์แบบชิดซ้าย)
- หัวข้อย่อยและหมายเลขประจำหัวข้อย่อย
ขนาด **14 ตัวหนา**
- คำว่า "กิตติกรรมประกาศ" หรือ "Acknowledgement" ขนาด **16 ตัวหนา** (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- คำว่า "เอกสารอ้างอิง" หรือ "Reference" ขนาด **16 ตัวหนา** (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- สมการ หรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน
ควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก

บทความอังกฤษ กำหนดรูปแบบดังนี้

- ขนาดของตัวอักษรให้ใช้ Times New Roman เท่านั้น
- ชื่อเรื่อง
ขนาด 18 ตัวหนา (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน
ขนาด 12 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- สถานที่ทำงาน
ขนาด 10 ตัวปกติ (พิมพ์กลางหน้ากระดาษ)
- คำว่า “Abstract”
ขนาด 12 ตัวหนา
- คำสำคัญ (Key Words)
ให้ใส่คำสำคัญ 3 – 5 คำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนอ โดยให้จัดพิมพ์ได้บทความด้วยภาษาอังกฤษ
- ส่วนของเนื้อความใน “Abstract”
ขนาด 11 ตัวปกติ (พิมพ์แบบเต็มขอบ)
- ส่วนของเนื้อความทั้งหมด
ขนาด 11 ตัวปกติ (แบ่งเป็น 2 คอลัมน์)
- หัวข้อใหญ่และหมายเลขประจำหัวข้อใหญ่
ขนาด 12 ตัวหนา (พิมพ์แบบชิดซ้าย)
- หัวข้อย่อยและหมายเลขประจำหัวข้อย่อย
ขนาด 11 ตัวหนา
- คำว่า “กิตติกรรมประกาศ” หรือ “Acknowledgement” ขนาด 12 ตัวหนา (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- คำว่า “เอกสารอ้างอิง” หรือ “Reference” ขนาด 12 ตัวหนา (ใส่หมายเลขลำดับหัวข้อด้วย)
- สมการ หรือพจน์ทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนควรเขียนโดยใช้ Equation Editor โดยจัดแยกบรรทัด และมีเลขกำกับอยู่ในวงเล็บเล็ก

3. เกณฑ์การพิจารณาบทความ

มีดังนี้ ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คุณค่าทางวิชาการ ความสมบูรณ์ของเนื้อหา และโครงสร้าง ภาษาที่ใช้ ความชัดเจนของสมมุติฐาน / วัตถุประสงค์ ความชัดเจนของการนำเสนอ และการจัดระเบียบบทความ ความถูกต้องทางวิชาการ การอภิปรายผล และการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน ซึ่งกองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และสงวนสิทธิ์ในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยส่งเป็นไฟล์งาน .pdf และ .doc เป็น Word 2010

4. วิธีการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารลาดกระบัง

บทความที่ส่ง เปิดรับทั้งจากบุคคลภายใน และภายนอกสถาบันฯ โดยบทความนั้น ต้องมีความยาวไม่เกิน 8 หน้า 2 คอลัมน์ ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยหน้าแรกของบทความจะมีชื่อที่อยู่ของผู้เขียน 1 หน้า และหน้าแรกของบทความที่ไม่ระบุชื่อผู้เขียนอีก 1 หน้า รวมทั้งหมด 9 หน้า และกรุณาระบุชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในรูปแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความ ได้ที่ ลิงก์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions> ผู้ประสานงานและสถานที่ติดต่อ: นางสาวชนัญชิตา นอนน้อย งานวิจัยและนวัตกรรม (ส่วนวารสารลาดกระบัง) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 6 ชั้น (ตึก A) ชั้น 2 เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail : kmitleng.jnl@gmail.com หมายเลขติดต่อ :

โทรศัพท์(เบอร์กลาง) 02-329-8000 ต่อ 3465

โทรศัพท์สายตรง/โทรสาร : 02-327-8317

โทรศัพท์มือถือ 086-106-4414



เลขที่อ้างอิง.....

แบบฟอร์มการส่งบทความ

วันที่ส่ง.....

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ).....

ประเภทบทความ ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความวิจัย

Keywords (คำสำคัญ).....

ชื่อ - นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาไทย)	และ	(ภาษาอังกฤษ)
1.....	1.....	
2.....	2.....	
3.....	3.....	

จำนวนหน้า.....หน้า

ชื่อและที่อยู่ผู้เขียนที่สามารถติดต่อได้

ชื่อ - นามสกุล.....

ที่อยู่.....

เบอร์โทรศัพท์..... E-mail.....

ข้าพเจ้าได้แนบบทความที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามคำแนะนำรูปแบบการเขียนบทความมาพร้อมนี้ และรับรองว่า

- ☐ ได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความครั้งนี้จากผู้ร่วมเขียนบทความแล้ว (ถ้ามี)
- ☐ ข้าพเจ้า และผู้ร่วมเขียนบทความ (ถ้ามี) จะรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
- ☐ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความยังไม่เคยตีพิมพ์ หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารอื่น

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งสามารถประเมินบทความของท่านได้ จำนวน 2 ท่าน โดยระบุชื่อ-นามสกุล ตำแหน่งทางวิชาการ, E-mail และเบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้)

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |
| 2. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |

ใบรับรอง

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
ตำแหน่ง.....สถานที่ทำงาน.....
ที่อยู่.....
โทรศัพท์.....มือถือ.....โทรสาร.....
e-mail : Line :
ขอรับรองว่า(นาย/นาง/นางสาว).....
เป็นนิสิต/นักศึกษามหาวิทยาลัย.....ปีการศึกษา.....
ระดับปริญญา.....ชั้นปีที่ จริง และได้พิจารณาบทความแล้วว่ามีความเหมาะสมที่จะ
ขอเสนอเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง

***กรณีที่เป็นนิสิตนักศึกษา ต้องให้อาจารย์ที่ปรึกษากรอกใบรับรอง (วิทยานิพนธ์ / การศึกษาค้นคว้าอิสระ)

Ladkrabang Engineering Journal

The Ladkrabang Engineering Journal is a technical journal belonging to the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, (KMITL).

Contents:

The journal contains research reports, articles concerning development work and research activities carried out by the faculty staff. The objectives are to publicize and promote the research contributions and innovative works in the field of engineering.

Frequency :

The journal is published quarterly.

Policy :

Articles and reports should have engineering research values whether containing substantial supported theories, innovative works, substantial experiment results and/or fulfilled with useful and constructive discussions or reviews standardized to regional or international acceptance.

Manuscripts :

Four copies which are not exceed 8 pages with two-columns (one copy with author names, three copies without author names) of either Thai or English are to be submitted in camera ready form. The page charge from the 9th page is 500 Baht per page. To ensure that all papers are at the same standard, authors are asked to prepare their manuscripts in computerized format. Microsoft Word for windows[®] is recommended as a text processor. Others associated components such as graphs or figures should be prepared using windows-based packages.

Manuscripts are to be reviewed by at least 3 referees who are specialists in that fields. Comments and suggestions (if any) are summarized before they are passed to authors. Revised form of the manuscripts have to be resubmitted with a copy of the manuscript in a disk file.

For convenience in printing and to common standard in publication, submitted manuscripts should conform to the following orders.

Titles : Should be given in both Thai and English.

Author and co-authors : Are given without any title.

Correspondent address: Specify short address of authors. If authors are students, institution address (department, faculty and institution) is required.

Abstract : Should be given in both Thai and English.

Main theme : Should contain the following sections.

1. Introduction
2. Theory
3. Construction and experimental procedures
4. Experimental results and discussions
5. Conclusion or Summary

Acknowledgement : (if required)

References : Should follow the pattern given below.

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, "The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic," Ladkrabang Engineering Journal, Vol.30, No.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, "Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits," IEEE Trans. Circuits and Systems, Vol.39, No.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

Submission :

1. Please submit your manuscript as ONE original .pdf file. The first page of the manuscript contains the authors' names and complete affiliations. Please also duplicate the first page of the manuscript with the names and affiliations made anonymous. The total number of pages for a manuscript shall be nine (9).

2. Please clearly fill out the submission form. Authors can submit their manuscript online via the journal system at the url : <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

Published by :

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Tel : (662) 329-8000 Ext. 3464, 3465

Fax : (662) 329-8317

Advisors :

Dean of Engineering

Assoc.Prof. Dr.Somyot Kaitwanidvilai

Editor-in-chief :

Assoc.Prof. Dr. Uma Seeboonruang

Associate Editor :

Assoc.Prof.Dr. Jakrapong Pongpeng

Editorial Staff :

Miss.Chanunchida Nobnom

Liaise & Member Relationships

Create Original Artwork & Proofreading and Photo Books.

Mr.Thanongsak Chaichuensaen

Cover Design.



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

Volume 38 Number 1

March 2021

Research Papers

1. Analyzing a mixed toll collection system using traffic microsimulation
models: A case study of Din Daeng toll plaza 1
T. Indee and J. Pitaksringkarn
2. Vibration Noise Cancellation of Weighing with Adaptive Filter Base on
Reference Signal AC from Accelerometer and DC with Constant 15
N. Moonthongnoi S. Boonjun P. Wardkein and A. Manosueb
3. A Broadband Printed Dipole Antenna With Rectangular Slots for DTV
Signal Reception 23
S. Pimpol and R. Wongsan
4. Factors Influencing Competitive Aggressiveness of Small and Medium
Housing Contractors in Bangkok 34
S. Watthanawatthu and L. Laokhongthavorn