



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 37 ฉบับที่ 4

ตุลาคม – ธันวาคม 2563

1. อิทธิพลของการติดตั้งลิ้นสามเหลี่ยมในกลุ่มท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
ปสฎา ยี่สุนแซม และ อนุสรณ์ ชินสุวรรณ 1
2. อิทธิพลของการเติมน้ำและการสูบน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง
ต่อการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ 9
พินิจ ธนชัยโชคศิริกุล และ สรวิชญ์ สังข์เทศ
3. สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวบนตัวสะท้อนสำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่กว้างยิ่งยวด 18
พลอยไพลิน พรหมพันธุ์กรณ์ สิทธิชัย เด่นตรี และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์
4. ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อ 26
ความได้เปรียบในการแข่งขัน
สร้อยรัชต์มี แก้วจันทน์ และ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

“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) และเพื่อให้รูปแบบการพิมพ์ของบทความมี มาตรฐานเดียวกันจึงขอให้ผู้เขียนจัดเตรียมเอกสารโดยใช้เวิร์ดโปรเซสเซอร์ 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 การอ้างอิงบทความให้ใช้หมายเลขประจำเอกสารหรือบทความที่อ้างอิง 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 โดยลงทะเบียนและส่งบทความ ได้ที่ ลิงก์ <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

กองบรรณาธิการ

นายทงศักดิ์ ใจชื่นแสน

ออกแบบปก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภศูล วงษ์วานิช

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

นายสถาพร พงษ์ประยูร

ติดต่อประสานงานและสมาชิกสัมพันธ์

จัดทำต้นฉบับ Artwork

พิสูจน์อักษร และรูปเล่ม

จัดจำหน่ายโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

นางอาทิสดา ขาววิจิตร

โทร. 02-329-8317



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 ผู้เขียนบทความสามารถเสนอรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องในสาขาที่ท่านส่งมา จำนวน 2 ท่าน โดยแนบมาพร้อมแบบฟอร์มการส่งบทความด้วยทุกครั้ง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

อิทธิพลของการติดตั้งลิ่มสามเหลี่ยมในกลุ่มท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อเถ้าสะสม

Effect of Triangular Cross-sectional Wedges Inserted into an In-line Tube Bundle on the Tube Deposition

ปัสญา ยี่สุนแซม* และ อนุสรณ์ ชินสุวรรณ

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Pasada Yisunzam* and Anusorn Chinsuwan

Department of Mechanical Engineering, Khon Kaen University

*Corresponding Author E-mail: cake_zza@hotmail.com

Received: September 9, 2020 Revised: November 28, 2020 Accepted: December 2, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบผลของการไหลตามขวางเนื่องจากลิ่มหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมที่สอดเข้าไปในกลุ่มท่อ การทดลองดำเนินการในกลุ่มท่อ 6 แถว 3 คอลัมน์ โดยความสูงของลิ่มมีขนาดเท่ากัน ต่างกันที่มุมยอดของลิ่มสี่ขนาด คือ 3.58, 7.125, 14.036 และ 26.36 องศา ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศคงที่และความเข้มข้นของเถ้าเท่ากับ 2.1 m/s และ 0.00365 kg/s ตามลำดับ โดยตำแหน่งการวางลิ่มจากระยะปากทางกลุ่มท่อเท่ากับ 7.1%, 29%, 57% และ 86% ของระยะความยาวกลุ่มท่อทั้งหมด พบว่าลิ่มไม่เพียงทำให้ ความเร็วในการไหลเพิ่มเท่านั้น แต่ยังทำให้ทิศทางการไหลเปลี่ยนไปด้วย เป็นผลให้การสะสมเถ้าที่ท่อลดลง ผลกระทบนี้จะเพิ่มขึ้นตามมุมยอดของลิ่ม นอกจากนี้การสะสมเถ้าจะต่ำที่สุดเมื่อลิ่มติดตั้งอยู่ที่ระยะ 29% ของระยะความยาวกลุ่มท่อทั้งหมด

คำสำคัญ : เถ้าลอยสะสม กลุ่มท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ลิ่ม เถ้าสะสม

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of the transverse flow due to the triangular cross-sectional wedges inserted into an in-line bundle. The experiment was carried out on an in-line 6 rows – 3 columns tube bundle. The wedges have the same height with four difference apex angles: 3.58, 7.125, 14.036 and 26.36 degree. The experiment was performed at a constant air velocity and ash concentration of 2.1 m/s, and 0.00365 kg/s, respectively. Four wedge positions from the tube bundle inlet, 7.1%, 29%, 57% and 86% of the tube bundle length, were investigated. It was found that the wedge causes not only the increase in the flow velocity but also the change in flow direction. As a result, the tube deposition was decreased. This effect increases with the apex angle. In addition, the deposition was lowest when the wedges were at the distance of 29% the tube bundle length.

Keywords : fouling, tube bundle, wedge, deposition

1. บทนำ

เครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหินหรือชีวมวลจะมีบริเวณสำหรับติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Convective part) เพื่อนำความร้อนจากแก๊สไอเสีย (Flue gas) กลับมาใช้ใหม่ (Recovery boiler) เป็นการใช้พลังงานให้คุ้มค่าที่สุด ก่อนที่จะปล่อยแก๊สไอเสียออกสู่บรรยากาศ เรียกว่า ส่วนของการนำความร้อนกลับมามีใหม่ [1] แต่ในแก๊สไอเสีย จะมีอนุภาคเถ้าลอยที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เมื่อแก๊สไอเสียกระทบกับผิวท่อที่มีอุณหภูมิต่ำ ทั้งแก๊สและอนุภาคเถ้าลอยเกิดการหลอมเหลวที่ผิวท่อ เกิดชั้นกาวเหนียว (Stick layer) รอบผิวท่อ อนุภาคเถ้าที่เคลื่อนผ่านชั้นกาวเหนียวรอบผิวท่อดังกล่าว จะสะสมจนเป็นชั้นเถ้าสะสม และหนาขึ้นตามเวลา ยิ่งชั้นเถ้าสะสมมีความหนามากขึ้นการนำความร้อนยิ่งลดลง จนเปรียบเสมือนการมีฉนวนที่ผิวท่อ ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อจึงมีประสิทธิภาพต่ำ จึงต้องมีการกำจัดเถ้าสะสมดังกล่าวทั้งในขณะเวลาเดินเครื่อง และหลังจากการหยุดเดินเครื่องเมื่อเถ้าสะสมมากขึ้นจนกระทั่งไม่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้

การกำจัดเถ้าสะสมที่ใช้กันโดยทั่วไปในเครื่องกำเนิดไอน้ำ ทำโดยการฉีดอากาศแรงดันสูง (Soot Blow) เข้าไปทำลายการเกาะของเถ้าสะสมให้หลุดออก แต่ปัญหาของการฉีดอากาศแรงดันสูง จะทำให้ผนังท่อแลกเปลี่ยนความร้อนบางส่วนเกิดการผุกร่อน (Corrosion) กัดกร่อน (Erosion)

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาถึงแนวทางการลดเถ้าสะสม โดยแบ่งเป็น 2 วิธี วิธีแรกคือวิธีโดยตรง (Active method) คือ การกำจัดเถ้าสะสม ยกตัวอย่างเช่น การฉีดอากาศแรงดันสูงเข้าไปทำลายการเกาะตัวของเถ้าดังที่กล่าวข้างต้น หรือหยุดเครื่องเพื่อระเบิดเถ้าสะสม ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายสูง และเสียเวลาการทำงานสำหรับการเดินเครื่อง และในการเดินเครื่องใหม่ต้องใช้ระยะเวลา นานกว่าเครื่องจะเข้าสู่สภาวะการทำงาน นอกจากนี้ยังส่งผลให้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ได้รับความเสียหายด้วย วิธีที่สองคือแบบโดยอ้อม (Passive method) คือการป้องกันก่อนที่จะเกิดเถ้าสะสม ยกตัวอย่างเช่น การ

ปรับปรุงเงื่อนไขการเดินเครื่อง การปรับอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิง [1] การปรับความเร็วการไหลของอากาศ [2] การปรับเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การเปลี่ยนรูปร่างท่อแลกเปลี่ยนความร้อน [3] การเปลี่ยนระยะการจัดวางท่อการเปลี่ยนขนาดท่อ [4] แนวทางดังที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเถ้าลอยที่เข้ามาเกาะติดที่ผิวท่อ [2,5] แสดงถึงความเร็ววิกฤติของอนุภาคเถ้า คือความเร็วต่ำที่สุดของอนุภาค ที่สามารถเอาชนะแรงยึดเกาะของชั้นกาวเหนียว ทำให้ไม่เกิดการสะสมของเถ้าที่ผิวท่อ โดยตัวแปรความเร็ววิกฤติดังกล่าวจะเกี่ยวเนื่องกับพฤติกรรมการเกาะติดของเถ้าสะสมซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน [6,8] คือ ส่วนของการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Transport) และส่วนของชั้นกาวเหนียว (Sticky Layer) ในส่วนของการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น อนุภาคที่มีขนาดเล็กน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร จะมีความเฉื่อยต่ำ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านผิวท่อที่มีชั้นกาวเหนียว จะเกิดการเกาะติดที่ผิวท่อ แต่สำหรับอนุภาคนานกว่า 10 ไมโครเมตร จะมีความเฉื่อยอนุภาคสูง ทำให้ไหลไปตามกระแสอากาศหลัก (Main stream) คือบริเวณช่องการไหลระหว่างท่อ อนุภาคนานใหญ่จึงไหลไปบริเวณดังกล่าวมากกว่าที่จะถูกยึดติดจากชั้นกาวเหนียวที่ผิวท่อ นั่นคือ ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ประกอบกับความเร็วการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีค่าสูง จะส่งผลต่อพฤติกรรมการเกาะติดของเถ้าสะสม ทำให้โอกาสที่จะเกิดการสะสมของเถ้าลดลง

เนื่องจากอนุภาคที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหินโดยทั่วไป มีขนาดเท่ากับ 0-450 ไมโครเมตร ดังนั้นการเพิ่มความเฉื่อยของอนุภาคให้สูงขึ้น โดยการเพิ่มความเร็วของอนุภาครวมทั้งการปรับทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค เพื่อทำให้อนุภาคไหลเข้าสู่บริเวณกระแสอากาศหลักให้มากที่สุด จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการสะสมของเถ้าได้ [7] พิจารณาการติดตั้งลิ้นสามเหลี่ยมภายในกลุ่มท่อ ด้วยการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เพื่อศึกษาการกระจายความเร็วที่เกิดขึ้นรอบท่อ แต่เป็นเพียงการศึกษาเฉพาะกรณีที่มีเฉพาะการ

ไหลของอากาศ แต่ในสภาวะการทำงานจริงจะมือนุภาค
เฝ้าลอยในอากาศด้วย รวมทั้งไม่ได้พิจารณาถึง ขนาดของ
ลิ่มและตำแหน่งการติดตั้งลิ่ม ซึ่งมีความสำคัญต่อลักษณะ
การไหลรอบผิวท่อ ดังนั้น ทั้งการไหลของอากาศที่มี
อนุภาคเฝ้าลอยผสมอยู่ด้วย และการพิจารณาถึงขนาดและ
ตำแหน่งการติดตั้งลิ่ม จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยครั้งนี้
โดยการทำการทดลองจำลองการเกาะติดเฝ้าสะสมในกลุ่ม
ท่อที่มีการจัดเรียงแบบเรียง 6 แถว 3 คอลัมน์พิจารณาที่
เลขเรย์โนลด์ (Reynold number, Re) คัดจากขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 1800 โดย
เลขเรย์โนลด์ ดังกล่าวอยู่ในช่วง 1800-22000 ซึ่งเป็นช่วง
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการเดินเครื่องบริเวณ
ที่นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ [8] โดยงานวิจัยนี้ศึกษาผล
ของปริมาณเฝ้าสะสมที่เกาะติดท่อในแต่ละแถว

2.เครื่องมือการทดลองและเงื่อนไขการทดลอง

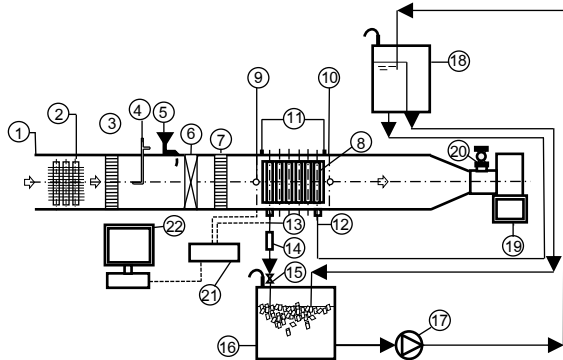
การจำลองสภาวะการเกาะติดของเฝ้าสะสมในกลุ่ม
ท่อ ทำโดยใช้ท่อลมหุ้มฉนวนตลอดแนวการไหล (1)
ขนาด 0.1425 x 0.1425 เมตร ดังรูปที่ 1 โดยใช้อากาศฝั่ง
ด้านดูด (Suction) ของพัดลม (Blower) (19) ดูดอากาศ
ไหลผ่านขดลวดความร้อน (2) ทำให้อากาศไหลแบบ
สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดด้วยการปล่อยอากาศไหล
ผ่านท่อเรียง (Straightener) (3) วัดความเร็วการไหลของ
อากาศด้วยปีตอต (Pitot) ซึ่งสามารถปรับความเร็วการ
ไหลของอากาศด้วยวาล์ว (20) ความเร็วของอากาศที่ใช้
เท่ากับ 2.1 เมตร/วินาที (4) หลังจากนั้นจะปล่อยเฝ้าจากถัง
ป้อนเฝ้า (5) โดยด้านล่างถังป้อนเฝ้าจะเป็นเกลียวป้อน
(Screw Feeder) ซึ่งจะป้อนเฝ้าที่อัตรา 0.00365 กิโลกรัม/
วินาที ซึ่งจำลองจากอยู่ในช่วงการกระจายตัวของเฝ้าใน
เตาเผา Vanbeek et. al. [8] เฝ้าถูกปล่อยลงมาด้วยแรงโน้ม
ถ่วงของโลก เฝ้าผสมกับอากาศด้วย ใบพัดแบบหยุดนิ่ง
(Fix Blade) (6) อากาศจะถูกทำให้ไหลสม่ำเสมออีกครั้ง
ด้วยการผ่านท่อเรียง (7) ทั้งอากาศและอนุภาคจะเคลื่อนที่
ผ่านชุดกลุ่มท่อทดสอบ (8) จุด (9)(10) วัดอุณหภูมิอากาศ
ขาเข้าและขาออก ตามลำดับ วัดความดันลดคร่อมชุดกลุ่ม
ท่อทดสอบด้วยมาร์นีมิเตอร์แบบเอียง (Inclined

manometer) (11) โดยน้ำอุณหภูมิต่ำจากถังยกสูงจะไหลเข้า
สู่ชุดท่อกลุ่มท่อทดสอบ วัดอุณหภูมิน้ำขาเข้า (12) และขา
ออก (13) วัดอัตราการไหลของน้ำด้วยโรตามิเตอร์
(Rotameter) (14) ปรับอัตราการไหลของน้ำด้วยวาล์ว
ควบคุมการไหล (15) หลังจากนั้นน้ำไหลออกจากชุดกลุ่มท่อ
ทดสอบน้ำจะไหลกลับเข้ามาเก็บที่ถังน้ำเย็นซึ่งตั้งอยู่
ด้านล่างชุดกลุ่มท่อทดสอบ (16) น้ำในถังดังกล่าวจะ
รักษาให้อุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส ตลอดเวลาและ
รักษาอุณหภูมิด้วยการเติมน้ำแข็ง น้ำในถังดังกล่าวจะถูก
สูบขึ้นไปเก็บที่ถังยกสูง (18) เหนือชุดกลุ่มท่อทดสอบ 3
เมตร การวัดอุณหภูมิทั้งหมดใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด T ต่อ
เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (21) และบันทึกข้อมูลลงเครื่อง
คอมพิวเตอร์ (22)

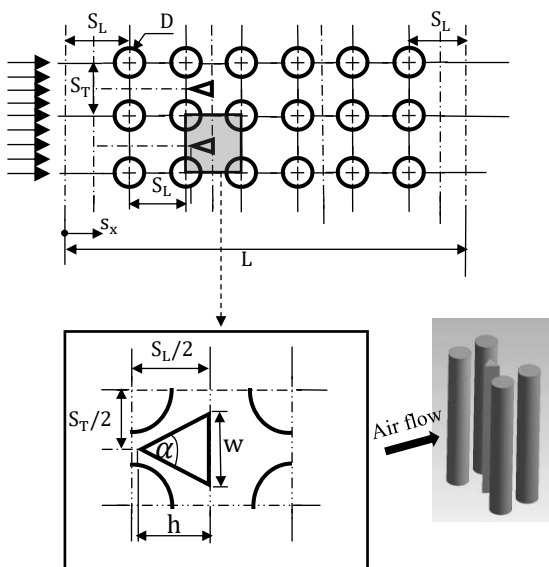
ชุดกลุ่มท่อทดสอบและลักษณะรูปร่างของลิ่ม
รวมถึงการติดตั้งลิ่ม แสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยท่อ
ทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 0.015 เมตร
โดยใช้ท่อทั้งหมด 18 ท่อ การจัดเรียงตัวของกลุ่มท่อ
แบ่งเป็น 3 คอลัมน์ 6 แถว ระยะในแนวขวาง (Transverse
pitch, S_T) เท่ากับ 0.03 m. ระยะในแนวแนวยาว
(Longitude pitch, S_L) เท่ากับ 0.0225 m. ลิ่มสามเหลี่ยม
ทำจากเส้นใยเทอร์โมพลาสติกด้วยวิธีการพิมพ์จาก
เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ฐานของลิ่ม (Width, W) มีทั้งหมด 4
ขนาด 0.001875, 0.00375, 0.0075 และ 0.015 เมตร ซึ่งจะ
ทำให้ลิ่มมีมุมยอด (Apex angle; α) ทั้งหมด 4 ค่า คือ
3.576, 7.125, 14.36 และ 26.256 องศา การวางตำแหน่ง
ลิ่มพิจารณาในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่างระยะจาก
ปากทางเข้าชุดทดสอบ (S_x) เทียบกับความยาวของกลุ่ม
ชุดทดสอบ (L) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1575 เมตร ทำให้เกิด
อัตราส่วน S_x/L เท่ากับ 0.071, 0.29, 0.57 และ 0.86
ตามลำดับ

เงื่อนไขการทดลองทั้งหมดจะหยุดเมื่อการสะสม
ของเฝ้า เข้าสู่ภาวะอิ่มตัว (Asymptotic) [12-13] ซึ่งเป็น
สภาวะที่พบได้ทั่วไปสำหรับการเกิดเฝ้าสะสมในเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อน โดยสำหรับการทดลองครั้งนี้ การ
สะสมของเฝ้าจะเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวที่เวลาประมาณ 3
ชั่วโมง โดยทำการศึกษามวลเฝ้าสะสมของแต่ละแถวกรณี

ก่อนติดลิ้ม (m) และหลังติดลิ้ม (m_w) ตามลำดับ มวลทั้งหมดของอนุภาคเถ้าลอยที่ปล่อย (m_o)



รูปที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทดลอง ประกอบด้วย (1) ท่อลม (2) ขดลวดทำความร้อน (3) ท่อรังผึ้ง (4) ปิดท่อ (5) ถังป้อนเถ้า (6) ใบพัดผสมเถ้า (7) ท่อรังผึ้ง (8) ชุดทดสอบ (9) จุดวัดอุณหภูมิอากาศขาเข้า (10) จุดวัดอุณหภูมิอากาศขาออก (11) มานอร์มิเตอร์แบบเอียงวัดความดันลดคร่อมชุดกลุ่มท่อทดสอบ (12) จุดวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้า (13) จุดวัดอุณหภูมิน้ำขาออก (14) โรตาริมิเตอร์ (15) วาล์วควบคุมการไหลของน้ำ (16) ถังน้ำเย็น (17) ปั๊มน้ำ (18) ถังยกสูง (19) พัดลม (20) วาล์วควบคุมความเร็วอากาศ (21) เครื่องบันทึกข้อมูล (22) คอมพิวเตอร์



รูปที่ 2 การจัดเรียงกลุ่มท่อและการจัดวางตำแหน่งลิ้ม

3. ทฤษฎี

ในการพิจารณาภาวะเข้าสู่จุดอิ่มตัว Elhady et al. [12] คือ เมื่อเวลาผ่านไปถึงจุดหนึ่ง อัตราการสะสมของเถ้าเท่ากับอัตราการหลุดออกของเถ้าสะสม ทำให้การเปลี่ยนแปลงความต้านทานความร้อนคงที่ ณ เวลาดังกล่าวเป็นต้นไป โดยการพิจารณาความต้านทานความร้อน R_f ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หาได้จากสมการที่ (1)

$$R_f = \frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_c} \quad (1)$$

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หาได้จากสมการที่ 2 ตัวห้อย f และ c คือสภาวะที่เกิดเถ้าสะสมบนผิวท่อและสภาวะที่ผิวท่อสะอาด ตามลำดับ

$$U = \frac{Q_w}{\sum A_o \Delta T_{ln}} \quad (2)$$

โดย Q_w คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่น้ำ หาได้จากสมการที่ 3 $\sum A_o$ คือ พื้นที่ผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ΔT_{ln} คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (Logarithm Mean Temperature Difference, LMTD) ซึ่งหาได้จากสมการ สมการ 4

$$Q_w = \dot{m} C_{p,w} (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (3)$$

โดย $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ $T_{w,out}$ คืออุณหภูมิน้ำขาออก $T_{w,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำขาเข้า

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_{a,in} - T_{w,out}) - (T_{a,out} - T_{w,in})}{\ln \left(\frac{T_{a,in} - T_{w,out}}{T_{a,out} - T_{w,in}} \right)} \quad (4)$$

เมื่อ $T_{a,in}$ คือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า $T_{a,out}$ คือ อุณหภูมิอากาศขาออก $T_{w,in}$ คือ อุณหภูมิน้ำขาเข้า $T_{w,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำขาออก โดยการสูญเสียความร้อนพิจารณาจากความแตกต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างฝั่งด้านท่อน้ำและฝั่งด้านอากาศโดยมีค่าการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 3 %

ความดันลดคร่อมชุดกลุ่มท่อทดสอบ สามารถคำนวณได้ตามสมการ ดังต่อไปนี้

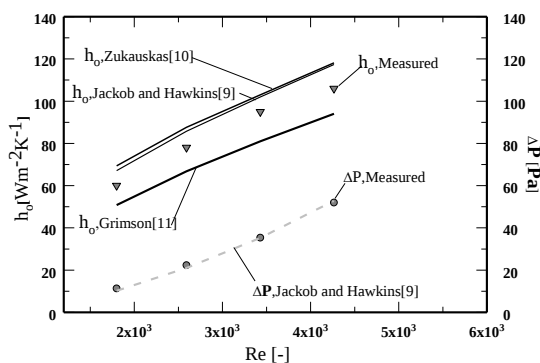
$$\Delta P = \rho g h_w \quad (5)$$

โดย ρ_a คือ ความหนาแน่นอากาศ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, h_w คือ ความแตกต่างของระดับน้ำเนื่องจากความดัน

4.ผลการคำนวณและการอภิปราย

4.1 การสอบทานผลที่ได้จากอุปกรณ์ทดลอง

การพิจารณาความถูกต้องของเครื่องมือวัด ทำโดยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันลดคร่อมกลุ่มท่อที่เลขเรโนลด์ส์ ต่างๆ โดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าสหสัมพันธ์ของ George et al., Özişik et al. และ Frank et al. [9 - 11] มีความแตกต่างเท่ากับ 7%, 10% และ 10% ตามลำดับ และค่าความดันลดระหว่างการทดลองและค่าสหสัมพันธ์ของ George et al. และ Özişik et al. [9,10] มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและความดันลดระหว่างการทดลองกับผลของนักวิจัยท่านอื่น

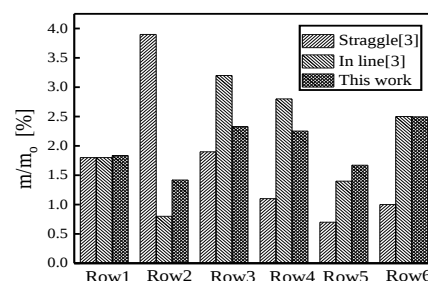
4.2 ปริมาณสัดส่วนไส้สะสมเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

การสะสมตัวของไส้ในกลุ่มท่อชุดทดสอบที่สภาวะเข้าสู่จุดอิมพัลส์ มีลักษณะดังรูป 4 โดยสมมติฐานของไส้สะสมที่เกาะติดรอบท่อคงที่ตลอดความยาวท่อ [12]



รูปที่ 4 ลักษณะการเกาะตัวของไส้สะสมในกลุ่มท่อชุดทดสอบ

เมื่อพิจารณาอัตราส่วน m/m_o ของการไหลผ่านกลุ่มท่อที่มีการจัดเรียงท่อแบบเรียง (In-Line Arrangement) พบว่าผลของการวิจัยครั้งนี้แนวโน้มของ m/m_o ของท่อแต่ละแถวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Bouris et al. [3] ดังรูป 5 ตั้งแต่แถวที่ 1 ถึงแถวที่ 6 โดยพบว่าแถวที่ 2 มีไส้สะสมต่ำที่สุด เนื่องจากการกระดอน (Rebound) ของอนุภาคไถลลอยที่ท่อฝั่งด้านข้างท่อแถว 1 เข้าสู่กระแสน้ำหลักแล้วผ่านท่อแถว 2 อนุภาคไถลลอยบางส่วนได้รับอิทธิพลจากการไหลวนหลังท่อแถว 2 ทำให้เกิดการสะสมบริเวณที่ท่อแถว 3 เป็นจำนวนมากและท่อแถวที่ 4-5 มีการสะสมไถลลดลงจากท่อแถวที่ 3 ตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคไถลลอยที่มีความเฉื่อยต่ำ ที่มา 1-3 ขัดขวางการไหล และเกิดการเกาะติดท่อไปบางส่วน อนุภาคไถลลอยที่ผ่านมาจึงเกิดการสะสมลดลง ที่แถวที่ 4 และ 5 แต่แถวที่ 6 ไม่มีกลุ่มท่อด้านหลัง ทำให้เกิดการไหลวนปั่นป่วนที่ฝั่งด้านหลัง อนุภาคจึงมีการกระทบที่ผิวท่อทำให้มีการสะสมของไส้มากขึ้น

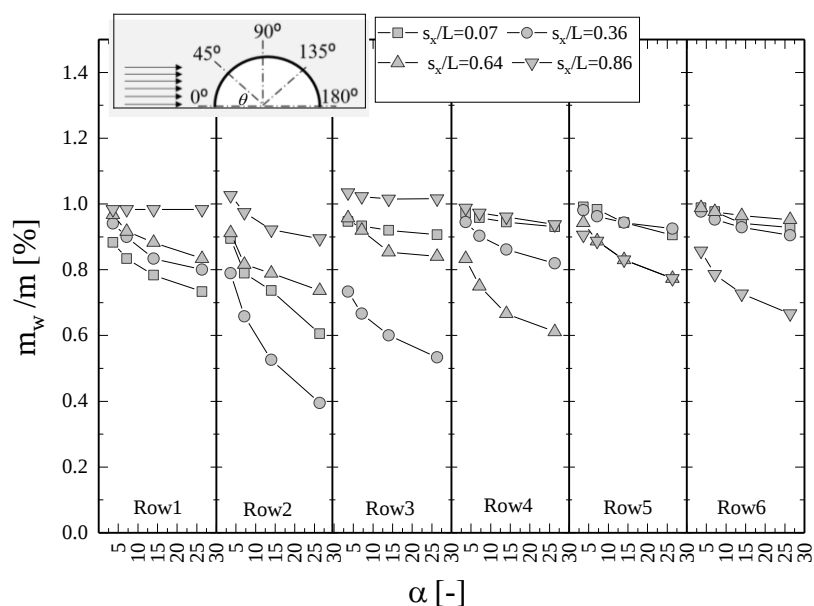


รูปที่ 5 เปอร์เซ็นมวลไส้สะสม (m_o/m) ในแต่ละแถวเปรียบเทียบกับ Bouris et al. [3]

4.3 อิทธิพลของลิ้มที่มีต่อเสถียรภาพแต่ละแถว

เมื่อพิจารณารูป 6 ที่ตำแหน่ง s_x/L คงที่ m_w/m ของท่อทุกแถวจะลดลงตาม α ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อพิจารณา ท่อแถวที่ 1 กรณีที่ $s_x/L = 0.07$ ค่าของ m_w/m จะให้ค่าต่ำสุด และ $s_x/L = 0.86$ แทบจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า m_w/m ที่ท่อแถวที่ 2 กรณีเมื่อ $s_x/L = 0.36$ ค่าของ m_w/m จะต่ำสุด และ $s_x/L = 0.86$

ค่า m_w/m สูงสุด เช่นเดียวกับท่อแถวที่ 3 ที่ท่อแถวที่ 4 $s_x/L = 0.64$ ค่าของ m_w/m จะให้ค่าต่ำสุด และ $s_x/L = 0.07$ และ 0.86 ให้ค่า m_w/m สูงสุดใกล้เคียงกันและเป็นค่าสูงสุด ที่ท่อแถวที่ 5 ที่ $s_x/L = 0.64$ ค่าของ m_w/m จะให้ค่าต่ำสุด และ $s_x/L = 0.07, 0.86$ ค่า m_w/m สูงสุดให้ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ท่อแถวที่ 6 $s_x/L = 0.86$ ค่าของ m_w/m จะให้ค่าต่ำสุด และ $s_x/L = 0.07, 0.36$ และ 0.86 ค่า m_w/m ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 เปอร์เซ็นมวลเสถียรภาพระหว่างกรณีติดลิ้มเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีลิ้ม (m_w/m) ที่มุมยอดของลิ้ม (α) และตำแหน่งการวางลิ้ม (s_x/L) ต่างๆ

จะเห็นว่า α ที่มีขนาดใหญ่ หรือการที่มุมยอดของลิ้มกว้าง ลิ้มจะมีฐานที่กว้าง ส่งผลให้พื้นที่การไหลระหว่างรอบท่อและลิ้มแคบ ความเร็วการไหลบริเวณพื้นที่ดังกล่าวสูงขึ้น ส่งผลให้อนุภาคเด้งลอยที่มีความเฉื่อยต่ำเมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าว ความเฉื่อยมีค่าสูงขึ้น ซึ่งลักษณะการไหลด้านหลังลิ้มอาจจะมีส่วนทำให้เกิดทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเด้งลอย กลับเข้าสู่กระแสอากาศหลัก ทำให้การสะสมเถ้าที่ผิวท่อลดลง ปริมาณเถ้าสะสมที่เกาะติดที่ผิวท่อจึงลดลงตามไปด้วยและข้อสังเกตที่เห็นได้ชัดที่ตำแหน่ง $s_x/L = 0.36$ ส่งผลให้

m_w/m ของท่อแถว 2, 3, 4 ก่อนข้างต่ำกว่าตำแหน่ง s_x/L อื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าตำแหน่ง s_x/L อื่นๆ มีแนวโน้มคล้ายกันคือ ท่อที่อยู่ฝั่งด้านหน้า และท่อด้านหลังลิ้มถัดไปอีก 2-3 แถว จะได้รับอิทธิพลของการติดลิ้มด้วย ส่งผลให้การสะสมเถ้าต่ำ

5. สรุป

การติดตั้งลิ้มในกลุ่มท่อ โดยอิทธิพลของขนาดลิ้มและตำแหน่งการติดตั้งลิ้ม จะช่วยส่งผลให้เสถียรภาพที่ท่อแต่ละแถวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการติดลิ้มจะส่งผลให้ความเฉื่อยของการเคลื่อนที่ของอนุภาคเด้ง

ลอยสูงขึ้น สามารถเคลื่อนผ่านผิวท่อโดยไม่เกิดการสะสมหรือการเกาะติดที่ผิวท่อ เป็นสาเหตุที่ทำให้การสะสมเถ้าที่ท่อแต่ละแถวลดลง โดยลิมที่มีขนาดใหญ่จะยิ่งส่งผลให้เถ้าสะสมของท่อแต่ละแถวลดลง และตำแหน่งการติดตั้งลิมที่ติดตั้งภายในกลุ่มท่อ จะส่งอิทธิพลต่อการสะสมเถ้าของท่อแต่ละแถวมากกว่า การติดตั้งลิมที่ฝั่งทางเข้าและทางออกของกลุ่มท่อ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากบัณฑิตวิศวกรรมศาสตร์ เป็นทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ดุษฎีนิพนธ์ หรือการศึกษาอิสระ สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คำสัญลักษณ์

ΣA_o	พื้นที่ผิวท่อถ่ายเทความร้อน [m^2]
h_o	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมภายนอกท่อ [$Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$]
h_{ow}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมท่อ [$Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$]
m_o	มวลของเถ้าสะสมทั้งหมด [kg]
m_w	มวลเถ้าสะสมกรณีติดตั้งลิม [kg]
r_i	รัศมีภายในท่อ [m]
r_o	รัศมีภายนอกท่อ [m]
$T_{a,i}$	อุณหภูมิอากาศขาเข้า [$^{\circ}C$]
$T_{a,o}$	อุณหภูมิอากาศขาออก [$^{\circ}C$]
$T_{w,i}$	อุณหภูมิน้ำขาเข้า [$^{\circ}C$]
$T_{w,o}$	อุณหภูมิน้ำขาออก [$^{\circ}C$]
ΔT_{lm}	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก [$^{\circ}C$]
ΔP	ความดันลด [Pa]
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ [m]
L	ระยะกลุ่มท่อ [m]
v	ความเร็วอากาศเฉลี่ย [ms^{-1}]
h_i	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของไหลท่อ [$Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$]

m	มวลเถ้าสะสม [kg]
k	ค่าการนำความร้อน [$Wm^{-1}^{\circ}C^{-1}$]
$R_{f,i}$	ค่าความต้านทานความร้อน [$W^{-1}m^{\circ}C$]
Re	เลขเรโนลด์ $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$ [-]
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม [$Wm^{-2}^{\circ}C^{-1}$]

ตัวอักษรกรีก

ρ	ความหนาแน่นอากาศ [$kg \cdot m^{-3}$]
μ	สัมประสิทธิ์ความหนืด [Pa. s]

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Walawiak, S. Kalisz, "Using fluent code to predic deposit during combustion of solid fuels". Proceedings of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning . Crete Island. Greece, Jun, 2011.
- [2] M.S. Abd-Elhady, C. C. M. Rindt, J. G. Wijers, A. A. Steenhoven, "Modelling the Impaction of a Micron Particle with a Powdery Layer," Powder Technology, Vol.168, pp.111-124, Oct, 2006.
- [3] D. Bouris, G. Papadakis, G. Bergeles, "Numerical Evaluation of Alternate Tube Configurations for Particle Deposition Rate Reduction in Heat Exchanger Tube Bundles", International Journal of Heat and Fluid Flow, pp.525-536, Oct, 2001.
- [4] D. Bouris, E. Konstantinidis, S. Balabani, D. Castiglia, and G. Bergeles, "Design of a Novel, Intensified Heat Exchanger for Reduced Fouling Rates," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.48, pp.3817-3832, Aug, 2005.
- [5] M.S. Abd-Elhady, C.C.M. Rindt, J.G. Wijers, A.A. van Steenhoven, E.A. Bramer, T.van der Meer, "Minimum gas speed in heat exchangers to avoid particulate fouling," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.47 pp.3943-3955, Aug, 2004.

- [6] M.J. Li, S.Z. Tang, F. Wang, Q.X. Zhao, W.Q. Tao, "Gas-side fouling erosion and corrosion of heat exchangers for middle/low temperature waste heat utilization: A review on simulation and experiment," *Applied Thermal Engineering*, Vol.126, pp.737–761, Nov, 2017.
- [7] B. Kilkovský, V. Turek, Z. Jegla, P. Stehlík, "Aspects of Fouling in Case of Heat Exchangers with Pollutes Gas," *International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, Pointe Aux Piments. Mauritius, Jul, 2011.
- [8] M.C. Vanbeek, "Gas-side fouling in heat recovery boilers," Degree of Doctor of Philosophy Thesis, Eindhoven University of technology, Eindhoven, Netherlands, 2001.
- [9] M. George A. Hawkins Jakob, "Elements of Heat Transfer, John Wiley & Sons, 1957.
- [10] M.N. Özışık, "Heat Transfer: A Basic Approach, McGraw-Hill, 1985.
- [11] P. Incropera, P. Dewitt "Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons, 1985.
- [12] M.S. Abd-Elhady, M.R. Malayeri, "Asymptotic characteristics of particulate deposit formation in exhaust gas recirculation (EGR) coolers," *Applied Thermal Engineering*, Vol.60, pp.96–104. Oct, 2013.
- [13] P. Yisunzam, A. Chinsuwan, Effect of transverse triangular cross-sectional wedges on the asymptotic fouling deposition behavior of the flow through an inline tube bundle, *International journal of heat and mass transfer*, In press.

อิทธิพลของการเติมน้ำและการสูบน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทางต่อการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

Influence of Recharge and Pumping of Heterogenous and Anisotropic Aquifer in 2D Groundwater Flow

พินิจ ธนชัยโชคศิริกุล^{1,*} และ สรวิษฐ์ สังข์เทศ²

¹ นักวิชาการอิสระ

² วิศวกรระดับปฏิบัติการ, สำนักทรัพยากรน้ำบาดาล เขต 10 อุตรธานี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

Pinit Tanachaichoksirikun^{1,*} and Sorawit Sungted²

¹ Independent Scholar

² Engineer, Bureau of Groundwater Resource Regional 10, Department of Groundwater Resources

*Corresponding Author E-mail: pinit.mp3@gmail.com

Received: November 3, 2020 Revised: December 8, 2020 Accepted: December 14, 2020

บทคัดย่อ

อิทธิพลจากการเติมน้ำและการสูบน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความไม่เท่ากันทุกทิศทาง บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงถึงแบบจำลองที่พิจารณาถึงอิทธิพลเหล่านี้ว่าเป็นตัวแปรสำคัญที่ไม่อาจละเลยได้ วิธีการวิจัยจะพิจารณาถึงเหตุการณ์ใน 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง 2) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เท่ากันทุกทิศทาง 3) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง และ 4) เหตุการณ์ที่ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยทุกเหตุการณ์มีกรณีที่จะได้รับการเติมน้ำและการสูบน้ำออกจากแบบจำลองในปริมาณที่เท่ากันและกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำหรือการสูบน้ำจากแบบจำลอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทางจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น

คำสำคัญ: การไหลของน้ำบาดาล ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เท่ากันทุกทิศทาง การเติมน้ำบาดาล การสูบน้ำบาดาล

Abstract

Influence of recharge and pumping in the aquifers directly impacted to the quantity and flow direction of groundwater, especially, in heterogeneity and anisotropy aquifer. this article aims to describe these parameters which cannot be ignored. The groundwater model was separated into 4 scenarios i.e. 1) homogeneity and isotropy, 2) homogeneity and anisotropy, 3) heterogeneity and isotropy and 4) heterogeneity and anisotropy materials. In each scenario was recharge and pumping and without recharge and pumping. The finding reveals that the heterogeneity and anisotropy model was significantly change in groundwater flow rate and pattern because the hydraulic conductivity were more complex than the others.

Keywords: Groundwater flow, Heterogeneity, Anisotropy, Recharge, Pumping

1 บทนำ

น้ำบาดาลมีส่วนสำคัญต่อการมีชีวิต การไหลของน้ำบาดาลเป็นการไหลอย่างช้า ๆ ทั้งนี้ลักษณะชั้นดินที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ยังส่งผลให้การไหลของน้ำบาดาลเกิดการเปลี่ยนแปลง ทั้งในด้านความเร็วและทิศทาง [1] การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลที่สมมติให้ชั้นดินมีความเป็นเนื้อเดียวกัน จะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวดิ่งมีค่าสูงกว่าปกติ และค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแนวนอนมีค่าน้อยกว่าปกติ จึงทำให้เส้นทางและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลผิดพลาดได้ นอกจากนี้ สัมประสิทธิ์การซึมได้ยังเป็นตัวกำหนดลักษณะการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งหากค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่ามากจะเป็นการไหลในระดับเล็ก และหากค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้มีค่าน้อยจะเป็นการไหลในระดับภูมิภาค หรือกล่าวได้ว่าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำบาดาลมีความเร็วและทิศทางเปลี่ยนแปลง [2] นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ทั้งแนวดิ่งและแนวนอนที่มีค่าใกล้เคียงกันยังส่งผลให้ค่าความลาดชันมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ [3] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า การพิจารณาการเลือกใช้ชั้นดินที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลต่อการไหลของน้ำบาดาลให้ผิดพลาดไปมาก ทั้งด้านทิศทาง ความเร็วและลักษณะการไหลของน้ำบาดาล

การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณน้ำบาดาล เช่นการสูบน้ำบาดาล หรือการเติมน้ำจากน้ำฝน ส่งผลให้ระดับศักยภาพของน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งหากพิจารณาว่าการซึมของน้ำบาดาลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลเป็นอัตราการไหลอย่างหนึ่ง จะพบว่า อัตราการไหลของน้ำบาดาลมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชันค่าต่าง ๆ ดังนั้นหากอัตราการเติมน้ำจากปริมาณน้ำฝนมีค่าเพิ่มขึ้น และอัตราการสูบน้ำก็มีค่าเพิ่มขึ้นตาม จะทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความลาดชันค่าต่าง ๆ แต่ถ้าวัดค่าชั้นดินมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีความไม่เท่ากันในด้านทิศทาง ค่าความลาดชันค่าต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นไปในทิศทางอย่างไร การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งหวังให้เกิดความตระหนักถึง คุณสมบัติของชั้นดินที่มีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความไม่เท่ากันในทุกทิศทาง และอิทธิพลจากการเติมน้ำหรือสูบน้ำบาดาล และเพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำบาดาล

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการไหลของน้ำบาดาล

สมการการไหลของน้ำบาดาลเกิดจากกฎของดาร์ซี และสมการความต่อเนื่อง ในการศึกษาในครั้งนี้พิจารณาการ

ไหลของน้ำบาดาลในลักษณะ 2 มิติ และเป็นการไหลในสภาวะคงที่ มีการเติมหรือสูบใช้น้ำบาดาล ซึ่งจากสมการ (1) จะเห็นได้ว่า ศักย์ของน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นดิน และการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำที่เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + R = 0 \quad (1)$$

โดย h คือ ศักย์ของน้ำบาดาล x และ y คือ ตำแหน่งในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ K_x และ K_y คือ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และ R คือการเติมน้ำหรือการสูบน้ำบาดาล

ในการศึกษาในครั้งนี้ได้วิเคราะห์ความเร็วและทิศทางในการไหลของน้ำบาดาล โดยกำหนดให้ลักษณะชั้นดินมีทั้งเป็นแบบความเป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน การเท่ากันทุกทิศทาง และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และกำหนดให้แบบจำลองมีการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนและการสูบน้ำบาดาลโดยบ่อสูบน้ำบาดาล

2.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยใช้ค่าความลาดชันศาสตร์ เป็นตัวควบคุมในแบบจำลอง ซึ่งการทดลองนี้มีที่มาจาก กฎของดาร์ซี ซึ่งกล่าวว่า ความเร็วของน้ำบาดาลแปรผันตามค่าความลาดชันศาสตร์ หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$v_x = K_x \frac{dh}{dx} \quad (2a)$$

$$v_y = K_y \frac{dh}{dy} \quad (2b)$$

โดย v_x , v_y คือความเร็วในการไหลของน้ำบาดาล dh คือค่าความต่างศักย์ของน้ำบาดาล dx , dy คือ ระยะทางในการไหลของน้ำบาดาลในแนวนอนและแนวตั้ง

หากพิจารณาถึงอัตราการไหลของน้ำบาดาล และกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและพื้นที่หน้าตัดการไหลมีค่าเท่ากันในทุกกรณี จะได้ว่า

$$\Delta Q \propto \frac{dh}{dL} \quad (3)$$

โดยอัตราการไหลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำและการเปลี่ยนแปลงของการสูบน้ำบาดาล จะได้ว่า

$$\Delta Q \propto \Delta \text{Recharge} - \Delta \text{Pumping} \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) จะได้ว่า

$$\frac{dh}{dL} \propto \Delta \text{Recharge} - \Delta \text{Pumping} \quad (5)$$

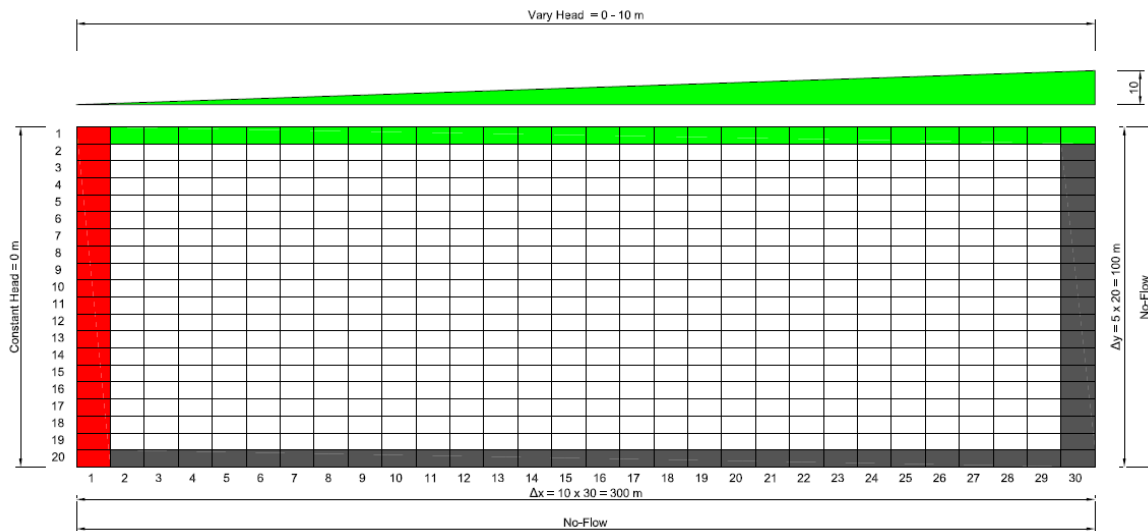
จะได้ว่า ค่าความลาดชันศาสตร์ $\frac{dh}{dL}$ จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงการเติมน้ำบาดาล Recharge และการสูบน้ำบาดาล Pumping ดังนั้นถ้าหากแบบจำลองถูกลดหรือเพิ่มค่าทั้งการเติมน้ำบาดาลและค่าการสูบน้ำบาดาล โดยจะทำให้ค่า $\frac{dh}{dL}$ ยังค่ามีคงที่เท่าเดิม

3 วิธีการดำเนินการ

3.1 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติกำหนดให้ มีค่าคุณสมบัติความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง และมีการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนและการสูบน้ำบาดาล แบบจำลองกำหนดในมี 20 แถว $\times$ 30 คอลัมน์ โดยแต่ละคอลัมน์มีระยะห่างทุก ๆ 10 เมตร และแต่ละแถวมีระยะห่าง ๆ 5 เมตร ดังนั้นแบบจำลองครอบคลุมพื้นที่ 300×100 ตารางเมตร ขอบเขตเงื่อนไขกำหนดให้ด้านขวาและด้านล่างเป็นขอบเขตไม่มีการไหล ด้านซ้ายเป็นขอบเขตศักย์ของน้ำบาดาลคงที่ ด้านบนกำหนดให้ขอบเขตศักย์ของน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นจากซ้ายที่ 0 เมตร ไปด้านขวาที่ 10 เมตร เพื่อต้องการให้น้ำบาดาลไหลไปในทิศทางเดียวคือ จากด้านบนไปด้านซ้าย แสดงถึงการเติมน้ำบาดาลและไหลออกสู่พื้นที่สูญเสียน้ำ ดังรูปที่ 5

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้เปลี่ยนแปลงจาก 1×10^{-4} ถึง 1×10^{-6} เพื่อให้สามารถสังเกตให้ การเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้อย่างชัดเจน จากอิทธิพลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและค่าสัมประสิทธิ์ในแนวแนวจะแตกต่างจากสัมประสิทธิ์ในแนวตั้งเพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 100 เท่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวเกิดจากการสุ่มค่าให้มีความไม่เท่ากันในทุก ๆ ตำแหน่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรณีของแบบจำลองซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 1 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในรูปแบบ 2 มิติ และขอบเขตเงื่อนไข

3.2 การเติมน้ำและการสูบน้ำบาดาล (Recharge and Pumping)

การเติมน้ำและการสูบน้ำบาดาล เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำบาดาลและมีส่วนทำให้ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไป ด้วย ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้อัตราการเติมน้ำบาดาลและอัตราการสูบน้ำบาดาลมีค่าเท่ากันที่ 1 ลบ.ม.ต่อวัน เพื่อแสดงถึงอิทธิพลที่มีต่อการไหลของแบบจำลอง และกำหนดช่องเปิดสำหรับน้ำบาดาลตลอดทั้งหน้าตัดเพื่อให้การไหลของน้ำบาดาลอยู่ในแนวระนาบ และเพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

3.3 รูปแบบการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ตารางที่ 4 แสดงถึงรูปแบบการจำลองโดยกำหนดให้เป็น 4 รูปแบบ คือ แบบจำลองที่ 1 กำหนดให้แบบจำลองเป็นชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง แบบจำลองที่ 2 กำหนดให้แบบจำลองเป็นชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เท่ากันทุกทิศทาง

แบบจำลองที่ 3 กำหนดให้ ชั้นหินอุ้มน้ำมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง และแบบจำลองที่ 4 กำหนดให้ชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง โดยทุกเหตุการณ์มีกรณีที่จะได้รับการเติมน้ำและการสูบน้ำออกจากแบบจำลองในปริมาณที่เท่ากัน และกรณีที่ไม่มีการเติมน้ำหรือการสูบน้ำบาดาลเพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความลาดชันศาสตร์แบบจำลองเปรียบเทียบใน 2 กรณี คือ 1 เปรียบเทียบในด้านความเร็วการไหลของน้ำบาดาล 2 เปรียบเทียบในด้านทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

4 ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ

ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และการไม่เท่ากันทุกทิศทาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านความเร็วการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงถึงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากแบบจำลองในทิศทางด้านซ้าย ในกรณีที่ไม่มีกรณีเติม

ตารางที่ 1 แสดงถึงกรณีและการตั้งค่าแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์

Scenario	K_x (m/s)	K_y (m/s)	Anisotropy (K_x/K_y)	Recharge and Pumping
Case 1.1	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	No
Case 1.2	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	Yes
Case 2.1	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	No
Case 2.2	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	Yes
Case 3.1	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	1	No
Case 3.2	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	1	Yes
Case 4.1	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-8}$	1-100	No
Case 4.2	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-8}$	1-100	Yes

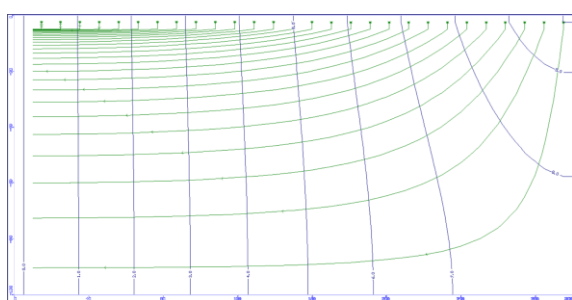
น้ำและสูบใช้น้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1.1 คือกรณีที่กำหนดแบบจำลองมีความเป็นเนื้อเดียวกันและเท่ากันทุกทิศทาง ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและออกจากแบบจำลองมีปริมาณมากที่สุดเนื่องจากน้ำบาดาลสามารถไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำเข้าสู่ด้านล่างของแบบจำลองได้อย่างรวดเร็ว น้ำบาดาลในแบบจำลองจึงมีปริมาณมาก ในขณะที่แบบจำลองที่ 4.4 คือกรณีที่กำหนดให้แบบจำลองมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าสู่แบบจำลองและไหลออกมีปริมาณลดลง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่มีค่าไม่เท่ากัน ทำให้น้ำบาดาลไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำได้ไม่สะดวก จึงพยายามที่จะไหลผ่านชั้นดินเหนียวที่เกิดการกักตัวเพื่อให้ค่าศักย์ของน้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้นจนสามารถไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันเหล่านั้นไป

รูปที่ 2 แสดงเส้นทางการไหลของน้ำบาดาลและระยะเวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่ไม่มีกรณีเติมน้ำและสูบใช้น้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ

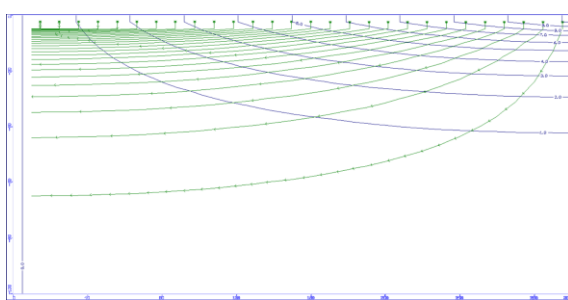
ความไม่เท่ากันทุกทิศทาง จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ที่ 1.1 และ 2.1 คือแบบจำลองที่มีทิศทางการไหลราบเรียบ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ แบบจำลองที่ 2.1 จะมีลักษณะการไหลที่ตื้นกว่า เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในแนวตั้งที่มีค่าน้อย ทำให้น้ำบาดาลเลือกเส้นทางการไหลที่สะดวกมากกว่า ซึ่งคือการไหลในแนวนอน เพราะน้ำบาดาลจะใช้เวลาในการไหลที่น้อยกว่าการไหลลงในแนวตั้ง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 3.1 และ 4.1 มีเส้นทางการไหลที่คดเคี้ยวไปมา ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นหินอุ้มน้ำ เมื่อน้ำบาดาลไหลมาพบกับชั้นหินอุ้มน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ที่ต่ำ น้ำบาดาลจะเปลี่ยนเส้นทางการไหลเพื่อให้สามารถไหลผ่านไปชั้นหินอุ้มน้ำนั้นได้สะดวก ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่ 3.1 และ 4.1 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำแบบจำลองที่ 4.1 จะใช้ระยะเวลาในการไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำที่มากกว่า เนื่องจากค่าความไม่เท่ากันทุกทิศทางของแบบจำลองก็มีผลต่อทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากแบบจำลอง

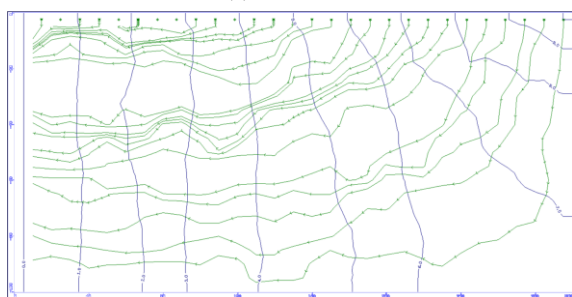
Scenario	Kx (m/s)	Ky (m/s)	Anisotropy (Kx/Ky)	Groundwater Budget (m^3/day)
Case 1.1	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	27.893
Case 2.1	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	5.809
Case 3.1	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	1	2.534
Case 4.1	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-8}$	1-100	0.727



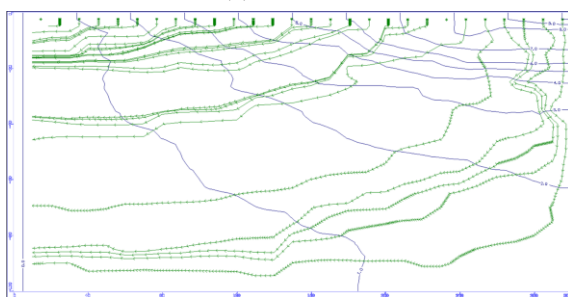
(a) กรณีที่ 1.1



(b) กรณีที่ 2.1



(c) กรณีที่ 3.1



(d) กรณีที่ 4.1

รูปที่ 2 แสดงผลการศึกษาด้านทิศทางการไหลของน้ำบาดาล เส้นสีเขียวคือเส้นทางการไหล และเส้นสีน้ำเงินคือระดับศักย์ของน้ำบาดาล

4.2 การวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่มีการเติมน้ำบาดาล และการสูบน้ำบาดาล

ผลการวิเคราะห์หัตถิพลของน้ำบาดาลในกรณีที่มีการเติมน้ำบาดาล และการสูบน้ำบาดาล ทำให้เกิดการเปลี่ยนทั้งปริมาณการไหลเข้าและไหลออกของน้ำบาดาล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการไหลของน้ำบาดาล

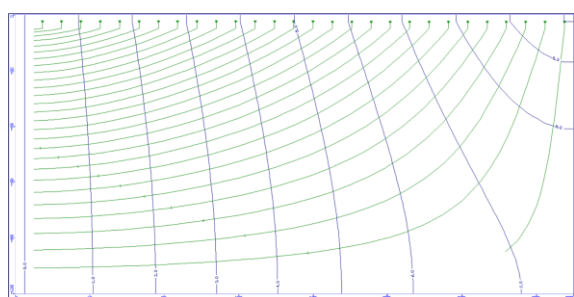
ตารางที่ 3 แสดงถึงปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเดิมและไหลออกจากแบบจำลองจากการสูบน้ำบาดาล เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการเติมน้ำบาดาลและการสูบน้ำบาดาลภายใต้ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและการไม่เท่ากันทุกทิศทาง จากการเปรียบเทียบจะเห็นว่า แบบจำลองที่ 1.2 คือกรณีที่กำหนดแบบจำลองมีความเป็นเนื้อเดียวกันและ

เท่ากันทุกทิศทาง ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและออกจากแบบจำลองมีความสมบูรณ์ โดยที่มีปริมาณการเติมน้ำบาดาลเข้าสู่แบบจำลองมากที่สุดเนื่องจากความเป็นเนื้อเดียวกันของชั้นหินอุ้มน้ำทำให้การไหลในแนวดิ่งทำได้สะดวก น้ำบาดาลจึงสามารถไหลมาเติมให้กับชั้นหินอุ้มน้ำได้ตลอดเวลา ในทางตรงกันข้ามหากชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณการไหลของน้ำบาดาลจะลดลงจนกระทั่งมีค่าใกล้เคียงกับการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่ไม่มีการเติมและสูบน้ำบาดาล เนื่องจากน้ำบาดาลไม่สามารถไหลมาเติมได้ทัน ทำให้แบบจำลองมีความแห้งขึ้น จนปริมาณน้ำบาดาลไหลออกมีค่าใกล้เคียงกับกรณี 1.1

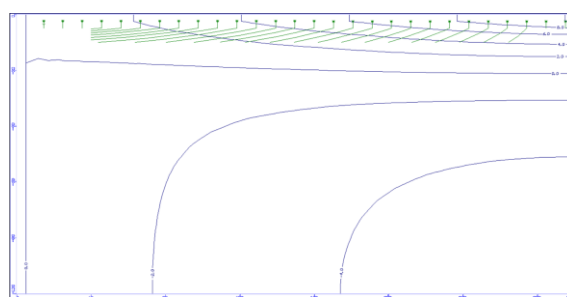
จากรูปที่ 3 แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในกรณีที่มีการเติมและการสูบน้ำบาดาล จะสังเกตเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1.2 จะมีความคล้ายคลึงกับแบบจำลอง 1.1 เนื่องจากน้ำบาดาลสามารถไหลมาเติมได้ทัน ทำให้การไหลของน้ำบาดาลยังคงราบรื่น แต่ในทางตรงกันข้ามกับแบบจำลองที่เหลือ น้ำบาดาลไม่สามารถไหลมาเติมได้ทัน จึงเป็นเหตุให้ระดับศักย์ของน้ำบาดาลลดลง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้น้ำบาดาลเปลี่ยนเส้นทางการไหลโดยสิ้นเชิง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันและไม่เท่ากันทุกทิศทาง

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณน้ำบาดาลที่ถูกเติมเข้าและปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจากแบบจำลอง

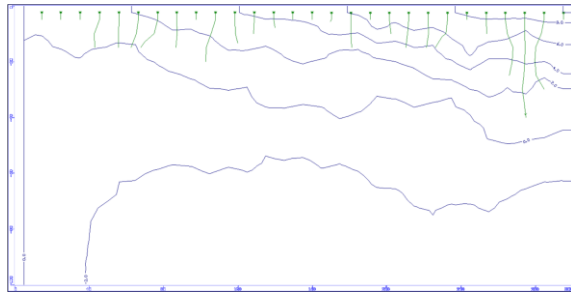
Scenario	K_x (m/s)	K_y (m/s)	Anisotropy (K_x/K_y)	Recharge and Pumping
Case 1.2	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1	50.741
Case 2.2	1×10^{-4}	1×10^{-6}	100	28.628
Case 3.2	1×10^{-4} - 1×10^{-6}	1×10^{-4} - 1×10^{-6}	1	27.187
Case 4.2	1×10^{-4} - 1×10^{-6}	1×10^{-4} - 1×10^{-8}	1-100	27.182



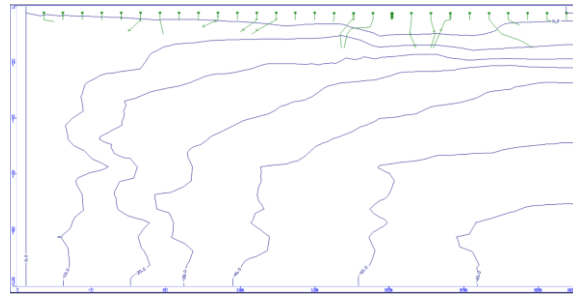
(a) กรณีที่ 1.2



(b) กรณีที่ 2.2



(c) กรณีที่ 3.2



(d) กรณีที่ 4.2

5 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการจะอธิบายว่า ตัวแปร ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความไม่เท่ากันทุกทิศทาง และการเติมน้ำและการสูบน้ำบาดาล เป็นตัวแปรที่ไม่ควรละเลย เพราะเป็นตัวแปรที่ส่งผลถึงปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่ถูกต้อง หากผู้ทำแบบจำลองละเลยตัวแปรเหล่านี้ จะส่งผลให้แบบจำลองมีความผิดพลาด และทิศทางการไหลของน้ำบาดาลไม่ถูกต้อง

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มอบโอกาสสำหรับการทำวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำหรับการมอบทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับศาสตราจารย์ Graham E. Fogg จากมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เดวิส ประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับการให้คำแนะนำ แนวคิด และการสนับสนุนในบทความวิจัยนี้

7 เอกสารอ้างอิง

- [1] C.W. Beckwith, A.J. Baird and A.L. Heathwaite, "Anisotropy and Depth-Related Heterogeneity of Hydraulic Conductivity in a Bog Peat. II: Modelling the Effects on Groundwater Flow," Hydrology Process, Vol.17, pp.103-113, 2003.
- [2] V.A. Zlotnik, M.B. Cardenas and D. Tondykov, "Effects of Multiscale Anisotropy on Basin and Hyporheic Groundwater Flow," Ground Water, Vol.49, pp.576-583, 2011.
- [3] G.E. Fogg, "Groundwater Flow and Sand Body Interconnectedness in a Thick, Multiple-Aquifer System," Water Resource Research, Vol.22, pp.679-694, 1986.
- [4] Department of Groundwater Resources, Thailand, "Groundwater Situation, Thailand: 2015 Quarter 1," Department of Groundwater Resources, Thailand, Bangkok, 2015.
- [5] Ministry of Natural Resources and Environment, "Criteria and Measure Definition of the Public Health and Poison Protection," In the Government Gazette, Vol.125, No.85, 2009.
- [6] H. Mohammadzadeh, M.A. Dadgar and H. Nassery, "Prediction of the Effect of Water Supplying from Shirindare Dam on the Bojnourd Aquifer using MODFLOW-2000," Water Resources, Vol.44, No. 2, pp.216-225, 2017. doi.org/10.1134/s009780781702004x

-
- [7] P. Saraphirom, W. Wirojanagud and K. Srisuk, "Potential Impact of Climate Change on Area Affected by Waterlogging and Saline Groundwater and Ecohydrology Management in Northeast Thailand," *Environment Asia*, Vol.7, No.1, pp.104–111, 2014. doi.org/10.14456/ea.201 0.32
- [8] K.S. Voudouris, "Groundwater Balance and Safe Yield of the Coastal Aquifer System in NEastern Korinthia, Greece," *Applied Geography*, Vol.26, No.3–4, pp.291–311, 2006. doi.org/10.1016/j.apg eog.2006.04.001

สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวนตัวสะท้อน สำหรับประยุกต์ใช้งานย่านความถี่กว้างยิ่งยวด

Surface Monopole Antenna on Reflector for Ultra-Wideband Applications

พลอยไพลิน พรหมพันธุ์กรณ¹ สติธิชัย เด่นตรี² ชูวงศ์ พงศ์เจริญพานิชย์^{1,*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Ploypailin Phomphankorn¹ Sittichai Dentri² Chuwong Phongcharoenpanich^{1,*}

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

²Department of Electronics Engineering, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

***Corresponding Author E-mail:** chuwong.ph@kmitl.ac.th

Received: September 30, 2020 **Revised:** December 14, 2020 **Accepted:** December 16, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสายอากาศที่ทำงานในช่วงความถี่ต่ำของย่านความถี่กว้างยิ่งยวดซึ่งมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz ตามข้อกำหนดของ FCC โดยส่วนที่ท้าทายที่ในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศมีโครงสร้างเป็นโมโนโพลเชิงพื้นผิวนตัวสะท้อน มีแบนด์วิดท์ 1.3 GHz ซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 200 MHz ถึง 1.3 GHz โดยพิจารณาคุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นทิศทางเดียว มีอัตราขยายสูงสุด ที่ 3.62 dBi ป้อนสัญญาณด้วยคอนเนคเตอร์ N-type สายอากาศถูกสร้างจากวัสดุทองแดง สามารถทนกำลังงานได้สูง สายอากาศเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับวงจรกำเนิดพัลส์สำหรับระบบเรดาร์หยั่งลึก

คำสำคัญ: ย่านความถี่กว้างยิ่งยวด สายอากาศทิศทางเดียว โมโนโพลเชิงพื้นผิว

Abstract

This article presents the design of an antenna that operate in the low frequency range of ultra-wideband, that yields more than 500 MHz bandwidth in accordance with the FCC regulations. The radiator of the antenna is of a surface monopole on reflector achieving 1.3 GHz bandwidth that cover frequency range from 200 MHz to 1.3 GHz by considering the characteristics $|S_{11}|$ (dB) less than or equal to -10 dB. The radiation pattern is unidirectional beam. The maximum gain is 3.62 dBi. The signal is input with N-type connector. The antenna is made of copper material to handle high power. The antenna is suitable for using with pulse generator of Ground Penetrating Radar (GPR) system.

Keywords: Ultra-Wideband (UWB), Unidirectional Antenna, Surface Monopole

1. บทนำ

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารไร้สายโดยคลื่นวิทยุย่านความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra-Wideband) ใช้การส่งผ่านข้อมูลแบบพัลส์ (Pulse) สั้น ๆ ผ่านคลื่นแถบความถี่กว้างมากๆ ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมากได้ในระยะทางสั้น ๆ ต่างจากการส่งผ่านข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุแบบแถบความถี่แคบ สายอากาศตอบสนองแถบความถี่กว้างยิ่งยวดยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการค้นหาวัตถุ โดยสามารถอ่านตำแหน่งของวัตถุด้วยความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ซึ่งถือว่าแม่นยำมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีระบบระบุตำแหน่งพื้นโลก (GPS) ที่ให้ความแม่นยำเพียงแค่หน่วยเมตรเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นเครื่องเรดาร์ตรวจสอบชั้นใต้ผิวดิน [1]

ปัจจุบันเทคโนโลยีไร้สายได้รับความสนใจมากขึ้น ระบบการสื่อสารแบบแถบความถี่กว้างยิ่งยวดถูกกำหนดความถี่ตั้งแต่ 3.1 GHz ถึง 10.6 GHz โดย Federal Communication Commission (FCC) [2] หรือมีช่วงความถี่ใช้งานที่ต่ำกว่า 960 MHz และมีแบนด์วิดท์มากกว่า 500 MHz นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเพื่อพัฒนาการปรับปรุงสายอากาศอย่างต่อเนื่อง [3] ให้สามารถใช้งานในช่วงความถี่ต่ำกว่า 960 MHz เช่น เรดาร์เครื่องบิน เรดาร์หยั่งลึกและอื่น ๆ [4-5] สำหรับเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งยวดของสายอากาศขนาดเล็กได้รับการพัฒนามาตามลำดับ [6] สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว (Surface Monopole Antenna) ได้ถูกนำเสนอเพื่อให้สายอากาศมีโครงสร้างที่เรียบง่ายและมีการสะท้อนที่ต่ำเกินไปยังทิศทางที่ต้องการโดยทำงานตั้งแต่ความถี่ 410 MHz ถึง 12 GHz [7]

บทความนี้ นำเสนอการออกแบบสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว ครอบคลุมแถบความถี่กว้างยิ่งยวดที่สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบเรดาร์หยั่งลึกและวงจรถ่ายสัญญาณพัลส์โดยมีความถี่ตั้งแต่ 200 MHz ถึง 1.3 GHz สายอากาศนี้ ประกอบไปด้วยตัวแพร่กระจายคลื่น (Radiator) และตัวสะท้อน (Reflector) โครงสร้างของการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบพื้นผิวและมีระนาบกราวด์ด้านหลังทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนด้วย

2. การออกแบบและโครงสร้าง

การจำลองคุณลักษณะสายอากาศโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เริ่มต้นจากการออกแบบโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ โดยอ้างอิงรูปแบบของตัวแพร่กระจายคลื่นและระนาบกราวด์ รวมถึงการทำงานของสายอากาศโมโนโพลในย่านความถี่กว้างยิ่งยวด จากบทความที่มีมาก่อน [3-4] [8-10] โดยทำการหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบสายอากาศและการหาอิมพีแดนซ์เบนคัลเวิร์ธเพื่อให้ทราบว่าสายอากาศสามารถทำงานได้ดีในช่วงความถี่ใดบ้างด้วยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์การสะท้อนพิจารณาแบนด์วิดท์ซึ่งสัมพันธ์กับคุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ -10 dB

อิมพีแดนซ์คุณลักษณะคืออิมพีแดนซ์ในอุดมคติของสายนำสัญญาณมีค่าเป็น $Z_0 = 50 \Omega$ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบจะต้องมีค่าเข้าใกล้ 50 ohms ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้งาน

อิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและสายอากาศที่เท่ากัน ($Z_0 = Z_A$) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเป็นศูนย์ ($\Gamma = 0$) แต่ถ้าอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน ($Z_0 \neq Z_A$) ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับมายังสายนำสัญญาณ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาจาก

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}$$

คุณลักษณะ $|S_{11}|$ (dB) สามารถคำนวณได้จากค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบผ่านสัมประสิทธิ์การสะท้อน

$$|S_{11}| \text{ (dB)} = 20 \log |\Gamma|$$

อัตราขยายของสายอากาศเป็นคุณลักษณะที่ใช้พิจารณาว่าสายอากาศที่ออกแบบสามารถแพร่กระจายคลื่นในทิศทางที่ต้องการเทียบกับตัวแพร่กระจายคลื่นไอโซทรอปิก โดยหน่วยของอัตราขยายจะเป็น dBi การทดสอบคุณลักษณะการแพร่กระจายคลื่นต้องติดตั้งสายอากาศภาคส่งและสายอากาศภาครับมีระยะห่างกันมากกว่าหรือเท่ากับสามระยะไกล

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

เมื่อ D คือมิติที่ยาวที่สุดของสายอากาศ และ λ คือความยาวคลื่น

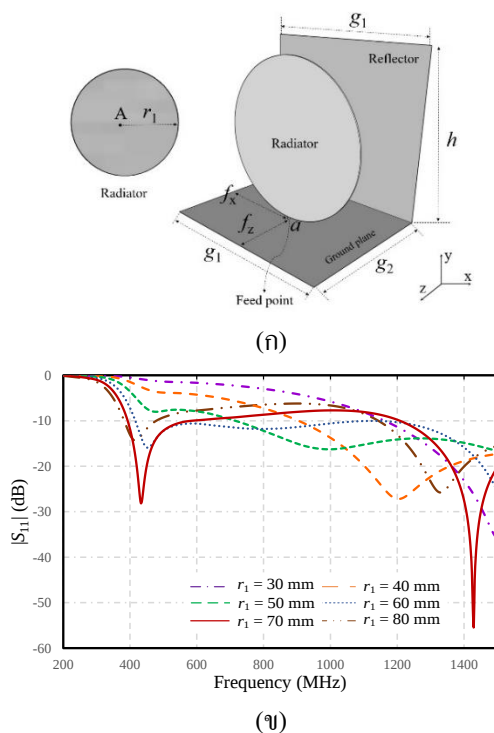
กรณีที่สายอากาศภาครับและภาคส่งเหมือนกัน ($G_t = G_r$) การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศสามารถพิจารณาจากกำลังงานของภาคส่ง (P_t) และภาครับ (P_r) คือ

$$G_t = G_r = 0.5 \left(20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right)$$

2.1 การออกแบบสายอากาศ

2.1.1 สายอากาศรูปวงกลม

โครงสร้างของสายอากาศวงกลมมีรัศมีของตัวแผ่กระจายคลื่นคือ r_1 วางบนระนาบกราวด์และตัวสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ความยาวและความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อนคือ g_1 และ g_2 ความสูงของตัวสะท้อนคือ h จุดป้อนแสดงด้วย a ตำแหน่งของจุดป้อนคือ f_x และ f_z ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์จากการปรับรัศมี (r_1) ของรูปวงกลมเริ่มจากรัศมีที่ 30 mm จนถึง 80 mm โดยเพิ่มทีละ 10 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ 433.14 MHz ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 โครงสร้างและผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ r_1

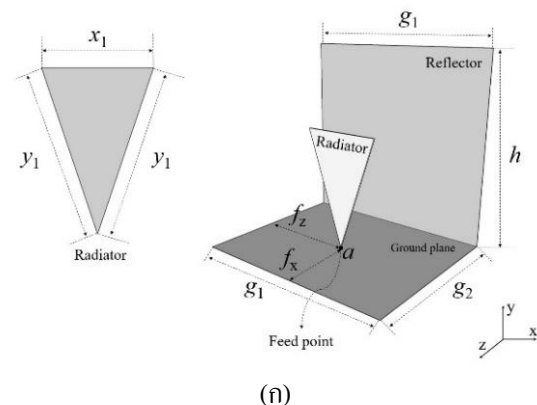
จากรูปที่ 1 เมื่อทำการจำลองของสายอากาศวงกลมโดยการปรับพารามิเตอร์ r_1 ซึ่งคือรัศมีของสายอากาศโดยพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ (dB) พบว่าที่รัศมีที่ 70 mm นั้น มีค่า $|S_{11}|$ (dB) ที่ดีที่สุด -24.88 dB ที่ความถี่ที่ 433.14 MHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีเมื่อเทียบกับค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรัศมีอื่น ๆ แต่ผลของแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเอียงของทิศทางการเคลื่อน จากการจำลองของสายอากาศรูปวงกลมพบว่ามีแบนด์วิดท์ที่แคบ โดยสังเกตผลจากกระแสที่วิ่งบริเวณขอบของวงกลม และให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำได้ดีเพราะมีระยะการเดินทางของกระแสได้หลากหลาย

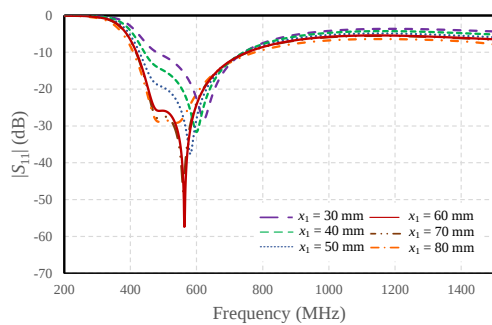
ตารางที่ 1 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศวงกลม

พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	f_x	80
g_2	130	f_z	60
r_1	70	a	1
h	150		

2.1.2 สายอากาศรูปสามเหลี่ยม

โครงสร้างของสายอากาศรูปสามเหลี่ยมมีฐานยาว x_1 และความสูงเอียง y_1 ระนาบกราวด์และตัวสะท้อนมีรูปแบบและขนาดเดียวกันแบบวงกลม ดังแสดงในตารางที่ 2 การปรับพารามิเตอร์โดยการปรับขนาดฐาน (x_1) ของสามเหลี่ยมโดยเริ่มที่ 30 mm จนถึง 80 mm โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ 562.17 MHz ดังแสดงในรูปที่ 2





(ข)

รูปที่ 2 โครงสร้างและผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB)เมื่อปรับพารามิเตอร์ x_1

จากรูปที่ 2 เมื่อทำการจำลองของสายอากาศสามเหลี่ยมโดยการปรับพารามิเตอร์ x_1 ซึ่งคือรัศมีของสายอากาศโดยพิจารณาที่ $|S_{11}| \leq -10$ (dB) พบว่าที่ฐานที่ 60 mm นั้น มีค่า $|S_{11}|$ (dB) ที่ดีที่สุดคือ -57.21 dB ที่ความถี่ที่ 562.17 MHz ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรัศมีอื่น ๆ แต่ผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ตั้งแต่ 1.3 GHz เกิดการเอียงของทิศทางคลื่นสายอากาศรูปสามเหลี่ยม จะได้แบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าสายอากาศรูปวงกลม จึงได้ทำการจำลองเพื่อลดระยะการเดินทางของกระแสบริเวณขอบด้านข้าง และในช่วงมุมของสามเหลี่ยมมีการกลับเฟส จึงทำให้มุมทั้งสามของสายอากาศรูปสามเหลี่ยมนั้นเป็นแหล่งกำเนิดใหม่

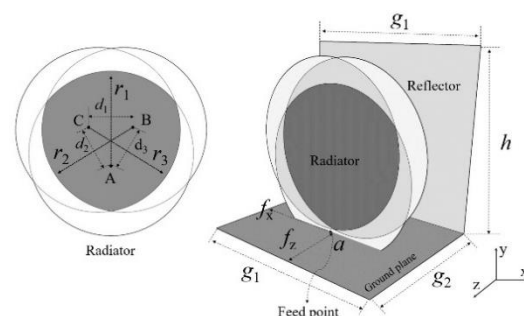
จากการเปรียบเทียบค่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศวงกลมและแบบสามเหลี่ยม พบว่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศวงกลมมีช่วงใช้งานของความถี่กว้างกว่าและให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ต่ำได้ดีกว่าแบบสามเหลี่ยมซึ่งเหมาะสมที่สุดกับเทคโนโลยีแถบความถี่กว้างยิ่งยวด

ตารางที่ 2 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศสามเหลี่ยม

พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	y_1	107.34
g_2	130	f_x	80
h	150	f_z	60
x_1	60	a	1

2.1.3 การรวมกันของจุดตัด (Intersection)

เนื่องจากค่า $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศรูปวงกลมขนาดรัศมี 70 mm มีแนวโน้มที่ดีกว่าค่า $|S_{11}|$ (dB) ของรูปสามเหลี่ยม จึงได้ออกแบบสายอากาศรูปวงกลมให้มีการซ้อนทับกันจำนวน 3 วง คือ AB และ C โดยมีรัศมี 70 mm ที่วงกลม A มีจุดศูนย์กลางห่างมาจากระนาบกราวด์เป็นระยะ 50.28 mm และที่วงกลม B และ C มีจุดศูนย์กลางห่างมาจากระนาบกราวด์เป็นระยะ 70 mm แล้วจึงนำมาหาจุดตัดด้วยทฤษฎีบทพีทาโกรัส ได้ระยะห่างระหว่างจุด A, B และ C เป็น d_1 , d_2 และ d_3 ตามลำดับ ซึ่งได้เป็นรูปแบบของโมโนโพลเชิงพื้นผิว [9] และจุดป้อนแสดงด้วย a ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 3 โครงสร้างและขนาดของสายอากาศ

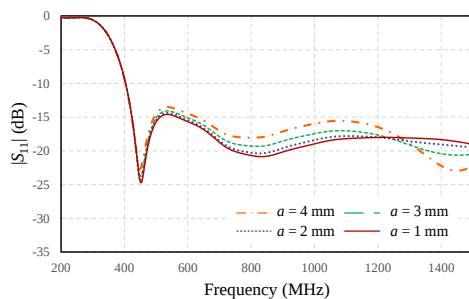
จากการซ้อนกันของวงกลม 3 วง

การรวมกันของจุดตัดเกิดจากการจำลองป้อนแผ่นแพร่กระจายแบบวงกลมพบว่าได้แบนด์วิดท์แคบ จึงสังเกตผลจากกระแสที่วิ่งบริเวณขอบวงกลม พบว่ากระแสมีความเข้มจากจุดป้อนสัญญาณไปยังบริเวณขอบกลางเท่านั้น โดยขอบของวงกลมมีลักษณะกระแสที่อ่อนมากเหมือนเป็นจุดที่มีความต้านทานสูง ดังนั้นจึงจำลองโดยใช้แผ่นแพร่กระจายคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อลดระยะการเดินทางของกระแสบริเวณขอบด้านข้าง เพื่อต้องการให้ความต้านทานบริเวณพื้นที่ที่กระแสเดินทางลดลง พบว่าสามารถขยายแบนด์วิดท์ได้ จากนั้นจึงออกแบบให้ด้านข้างมีระยะเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้กระแสมีความยาวคลื่นที่ความถี่ต่ำ ด้วยจุดมุมเดิมของสามเหลี่ยม โดยกำหนดจุดหมุนของวงกลมสามจุดในลักษณะสามเหลี่ยมขอบบนที่ 70 mm และขอบล่างที่ 50 mm โดยมีระยะห่างกับระนาบกราวด์ 1 mm พบว่า

แบนด์วิดท์ที่ได้มีความกว้างมากขึ้น ครอบคลุมมาตรฐานของ UWB เมื่อเปลี่ยนแปลงระยะห่าง 1 mm ให้เข้าใกล้แผ่นระนาบกราวด์มากขึ้น พบว่าสามารถแมตชิงได้ดีที่ความถี่ต่ำ โดยระยะห่างที่ดีที่สุดคือ 0.72 mm ดังนั้นระยะห่างจากจุดกึ่งกลางของวงกลมวงล่างกับระนาบกราวด์จึงมีขนาด 50.28 mm

2.1.4 การปรับตำแหน่งของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว

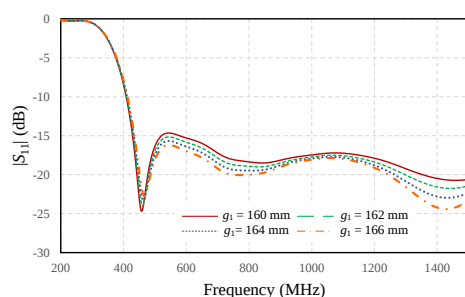
การปรับตำแหน่งของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวนั้นจะทำการปรับความสูงระหว่างสายอากาศแบบพื้นผิวกับระนาบกราวด์ที่แสดงด้วยพารามิเตอร์ a ปรับขนาดตั้งแต่ 1 mm จนถึง 4 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุด ณ ที่ตำแหน่งที่ 1 mm ที่ความถี่ 453.64 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 4 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ a

2.1.5 การปรับขนาดความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อน

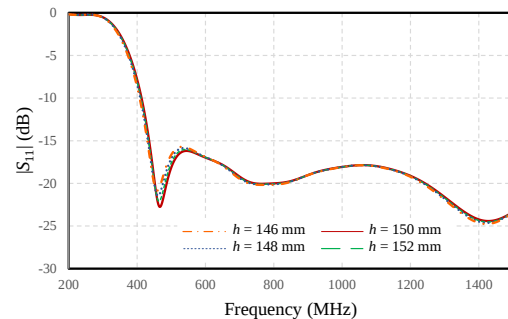
การปรับขนาดความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อน จะทำการเพิ่มขนาดความกว้างของ g_1 โดยเริ่มตั้งแต่ที่ 160 mm ถึง 166 mm โดยจะทำการเพิ่มทีละ 2 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ตำแหน่งที่ 160 mm ที่ความถี่ 457.31 MHz ดังแสดงในรูปที่ 5 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 5 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ g_1

2.1.6 การปรับความสูงของตัวสะท้อน

การปรับความสูงตัวสะท้อน (h) โดยเริ่มตั้งแต่ที่ 146 mm ถึง 152 mm โดยเพิ่มทีละ 2 mm จนได้ค่า $|S_{11}|$ (dB) ต่ำสุดที่ตำแหน่งที่ 150 mm เป็นค่าที่ดีที่สุดที่ความถี่ 463.54 MHz ดังแสดงในรูปที่ 6 ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 6 ผลการจำลอง $|S_{11}|$ (dB) เมื่อปรับพารามิเตอร์ h

ตารางที่ 3 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว

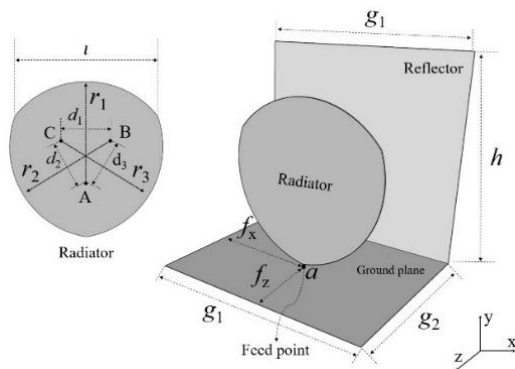
พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	h	150
g_2	130	a	1

ตารางที่ 3 แสดงขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศซึ่งได้จากการปรับตำแหน่งของสายอากาศความกว้างของระนาบกราวด์ ตัวสะท้อน และความสูงของตัวสะท้อน

2.2 สายอากาศที่นำเสนอ

โครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวประกอบด้วยจุดตัดของวงกลมสามส่วนโดยมีการรวมกันของรัศมีของตัวแปรกระจายคลื่นคือ ΔABC คือ r_1 r_2 และ r_3 เท่ากัน ระยะห่างระหว่างจุด A B และ C คือ d_1 d_2 และ d_3 ความยาวของตัวแปรกระจายคลื่นคือ l ระนาบกราวด์และตัวสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 7 โดยจะใช้แผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm ในการสร้างองค์ประกอบของสายอากาศ ระนาบกราวด์และตัวสะท้อน ตัวแปรกระจายคลื่นแบบพื้นผิวเหนือระนาบกราวด์โดยสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวอยู่

ระหว่างระนาบกราวด์และตัวสะท้อนซึ่งระนาบกราวด์และตัวสะท้อนนั้นเชื่อมต่อกันในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน ความยาวและความกว้างของระนาบกราวด์และตัวสะท้อนคือ g_1 และ g_2 ความสูงของตัวสะท้อนคือ h ระยะระหว่างสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวและระนาบกราวด์แสดงด้วย a ตำแหน่งของจุดป้อน คือ f_x และ f_z ระนาบอ้างอิงสำหรับการทดสอบถูกตั้งไว้ที่จุดป้อนตัวเชื่อมต่อ (SMA) ซึ่งอยู่ด้านล่างระนาบกราวด์ขนาดและพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 7 โครงสร้างและขนาด

สายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวบนตัวสะท้อน

ตารางที่ 4 ขนาดและพารามิเตอร์ของสายอากาศที่นำเสนอ

พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)	พารามิเตอร์ (Parameter)	ขนาด (Physical Size: mm)
g_1	160	h	150
g_2	130	l	113
r_1, r_2, r_3	70	f_x	80
d_1	20	f_z	60
d_2, d_3	22.36	a	1

สายอากาศโมโนโพลแบบพื้นผิวที่นำเสนอนี้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีกว่า สามารถแพร่กระจายคลื่นได้ดีกว่าและกว้างมากกว่าแบบวงกลมและแบบสามเหลี่ยม

3. การทดสอบสายอากาศ

3.1 สายอากาศต้นแบบ

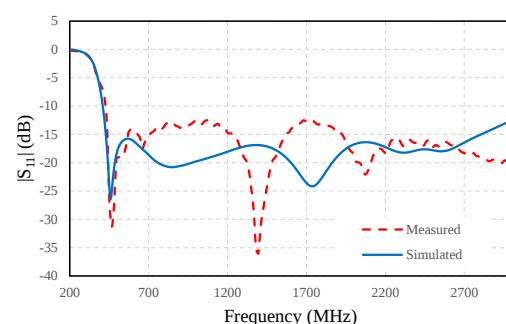
สายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดสร้างขึ้นจากแผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm โดยมีส่วนประกอบเป็นสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิว ระนาบกราวด์และตัวสะท้อน ขนาดของสายอากาศโมโนโพลเชิงพื้นผิวเกิดจากการซ้อนกันของวงกลม 3 วง โดยมีรัศมีวงละ 70 mm ขนาดโดยรวมของระนาบกราวด์คือ 130 mm × 160 mm และขนาดตัวสะท้อนคือ 150 mm × 160 mm ใช้คอนเนคเตอร์ N-type ในการเชื่อมต่อสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปถ่ายสายอากาศที่นำเสนอ

3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศที่นำเสนอโดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย Agilent รุ่น 8720C การทดสอบเริ่มต้นจากการนำสายอากาศที่นำเสนอเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อทดสอบพารามิเตอร์การกระจาย (Scattering parameters) ทดสอบที่ความถี่ตั้งแต่ 200 MHz จนถึง 3 GHz แต่ความถี่ที่ใช้ได้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 460 MHz จนถึง 1.3 GHz และค่าต่ำสุดอยู่ที่ความถี่ 467.6 MHz โดยผลจากการทดสอบคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 $|S_{11}|$ (dB) ของสายอากาศที่นำเสนอ

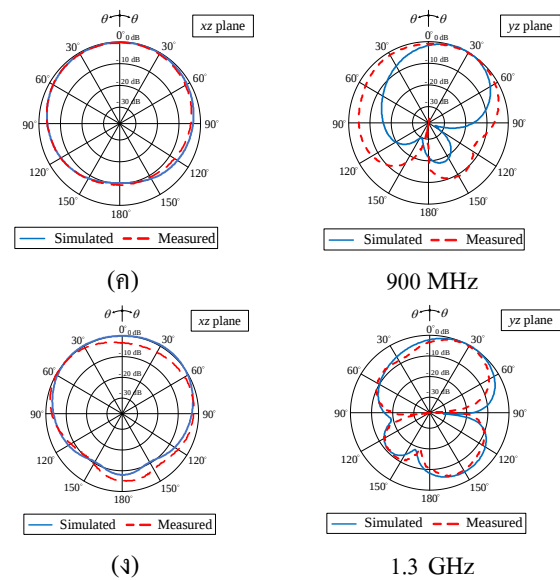
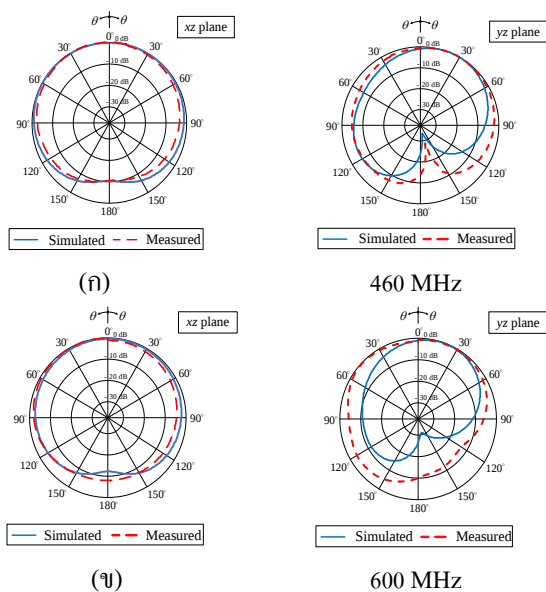
3.3 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

การทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ใช้ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าเท่ากับ 1.5 m ซึ่งอยู่ในระยะของสนามระยะไกล โดยมีทิศทางสายอากาศหันหน้าเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบการแพร่กระจายคลื่น
ของสายอากาศ

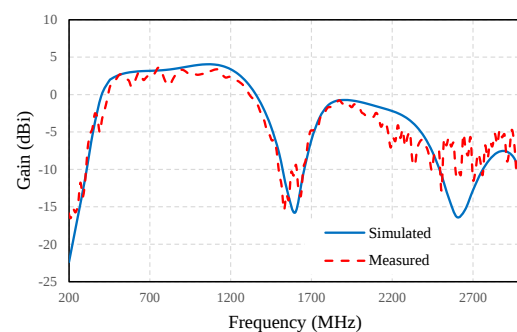
ผลการจำลองและผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศในระนาบ xz และระนาบ yz ที่ความถี่ตั้งแต่ 460 MHz ถึง 1.3 GHz แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบทั้งสองเป็นแบบทิศทางเดียวที่ความถี่ 460 MHz ซึ่งเหมาะสมที่สุดในการใช้งาน การแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดในทิศทางด้านหน้าของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

3.4 อัตราขยาย

อัตราขยายของสายอากาศเทียบกับความถี่แสดงดังรูปที่ 12 สายอากาศมีอัตราขยายสูงในช่วงความถี่ 460 MHz 900 MHz และ 1.3 GHz อัตราขยายของสายอากาศจะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ที่ความถี่ 900 MHz จะได้อัตราขยายสูงสุดคือ 3.62 dBi จากการจำลอง และจากการทดสอบมาจากสมการที่ 4 คือ 3.37 dBi ที่ความถี่ 1.3 GHz จะได้อัตราขยายต่ำสุดอยู่ที่ 1.66 dBi จากการจำลอง และจากการทดสอบมาจากสมการที่ 4 คือ 0.23 dBi ที่มุม 0 องศา



รูปที่ 12 อัตราขยายของสายอากาศ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบเรดาร์ยังเล็ก ในการออกแบบสายอากาศแถบความถี่กว้างยิ่งยวดเริ่มต้นจากงานวิจัยที่มีมาก่อน โดยเน้น

ศึกษาเฉพาะวิธีการที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์การออกแบบ จากนั้นจึงนำทฤษฎีการออกแบบมาทำการคำนวณ และจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ พบว่าความยาวและความกว้างของสายอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $|S_{11}|$ (dB) และแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น

สายอากาศที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัยนี้มีรูปร่างโมโนโพลเชิงพื้นผิวโดยมีระนาบกราวด์และตัวสะท้อน โดยสายอากาศนี้สร้างจากแผ่นทองแดงมีความหนา 1 mm สายอากาศนี้มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางเดียวและมี $|S_{11}|$ (dB) ต่ำกว่า -10 dB ตลอดความถี่ตั้งแต่ 200 MHz จนถึง 3 GHz โดยช่วงความถี่ที่ใช้งานตั้งแต่ 460 MHz จนถึง 1.3 GHz แต่ในช่วงความถี่สูงมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายมีค่า 3.37 dBi จากการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 0.23 dBi จากการทดสอบที่ความถี่ 1.3 GHz ที่มุม 0 องศา

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ultra-Wideband (UWB) [Online] Available: <https://sites.google.com/site/322462wirelesspan/wireless-personal-area-network/thechnoloyi-thi-keiywkhxng-kab-wireless-pan/ultra-wide-band-uwb?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- [2] "Federal Communications Commission, First Order and Report: Revision of Part 15 of The Commission's Rules Regarding UWB Transmission Systems," Apr. 22, 2002.
- [3] A. Ruengwaree, A. Ghose and G. Kompas, "A Novel UWB Rugby-Ball Antenna for Near Range Microwave Radar System," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. 54, No. 6, Jun., 2006.
- [4] S. Tourette, N. Fortino, J. Y. Dauvignac and G. Kossiavas, "Compact UWB Printed Antennas for Low Frequency Applications Matched to Different Transmission Lines," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 49, No. 6, pp. 1282-1287, Jun., 2007.
- [5] J. C. Diot, P. Delmote, J. Andrieu, M. Lalande, V. Bertrand, B. Jecko, S. Colson, R. Huillerey and M. Brishoual, "A Novel Antenna for transient Application the Frequency Band 300 MHz-3 GHz: The valentine Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 3, pp. 987 - 990, Mar., 2007.
- [6] I. Hertl and M. Strycek, "UWB Antennas for Ground Penetrating Radar Application," Applied Electromagnetics and Communications, 2007, pp. 1-4, Sept., 2007.
- [7] S. Dentre, C. Phongcharoenpanich and K. Kaemarungsi "Scutcheon Antenna for UWB-GPR Applications" Thailand-Japan Microwave, 2012.
- [8] A. Ruengwaree, R. Yowuno and G. Kompas, "Novel Rugby-Ball UWB Antenna for Base Band Transmission," TELSIKS 2005, Sept. 28-30, 2005.
- [9] P. Osklang, A. Sakonkanapong, S. Dentre, K. Lertsakwimarn, C. Phongcharoenpanich and B. Luadang, "Wideband UHF Reflector Antenna for DVB Applications," Research, Invention and Innovation Congress, 2019.
- [10] M. Serhir and D. Lesselier, "Wideband Reflector-Backed Folded Bowtie Antenna for Ground Penetrating Radar," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. 66, No. 3, Mar., 2018.

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคาร ของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน

Factors for Evaluating Building Sustainability of Contractors Affecting Competitive Advantage

สรณัฐศรี แก้วจุนันท์* และ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Saranrat Kaewjunant* and Jakrapong Pongpeng

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

*Corresponding Author E-mail: saranrat.tun8@gmail.com

Received: December 1, 2020 Revised: December 21, 2020 Accepted: December 23, 2020

บทคัดย่อ

ในยุคโลกาภิวัตน์การก่อสร้างเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น ผู้รับเหมาจึงต้องพัฒนาการก่อสร้างอย่างยั่งยืนเพื่อความอยู่รอดทางเศรษฐกิจขององค์กร และในปัจจุบันองค์กรจะอยู่รอดได้ต้องอาศัยการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ในอนาคต ดังนั้นผู้รับเหมาจึงจำเป็นต้องมองหาข้อได้เปรียบเพื่อเพิ่มโอกาสในการชนะการประกวดราคา แต่จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ยังไม่พบงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างปัจจัยที่ใช้ประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาโครงสร้างของปัจจัยดังกล่าว โดยใช้การวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนเชิงกลยุทธ์ให้กับผู้รับเหมาเกี่ยวกับระดับความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ดังนี้ (1) ทดสอบโครงสร้างปัจจัย (2) หาระดับความมีอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่มีผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน ผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างปัจจัยสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มปัจจัยหลักพร้อมน้ำหนักความสำคัญ ดังนี้ “บุคลากรและการพัฒนาการก่อสร้างและชุมชนโดยรอบ” (28.38%), “สุขภาพและความปลอดภัยในการก่อสร้าง” (24.32%), “คุณธรรมและจริยธรรม” (24.32%) และ “การจัดการการก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม” (22.98%) ซึ่งโครงสร้างปัจจัยนี้ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขันเรียงตามน้ำหนักความสำคัญดังนี้ “ความสามารถทางการตลาด” (18.51%), “ประสิทธิภาพและความมั่นคงทางการเงิน” (17.87%), “ความสามารถในการจัดการโครงการ” (17.87%), “การจัดการเชิงกลยุทธ์” (17.24%), “เทคโนโลยีและนวัตกรรม” (14.89%) และ “การเสนอราคา” (13.62%) โดยโครงสร้างของปัจจัยที่ใช้ประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขันเท่ากับ 0.89 ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาแล้วนำไปสู่ความได้เปรียบในการแข่งขันขององค์กรผู้รับเหมาได้มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ปัจจัย ความยั่งยืน การก่อสร้างอาคาร ผู้รับเหมา ความได้เปรียบในการแข่งขัน

Abstract

In the globalization era, construction is one of the industries that has a negative impact on the environment and society. To reduce the impact, contractors should improve their construction toward sustainability and maintain economic viability. In addition, contractors have to adjust themselves according to the changes of future events. As such, the contractors have to look for the advantages to increase the chances to win the bidding. The literature review shows that few research works have explored the structure of factors for evaluating building sustainability of contractors affecting competitive advantage. Hence, the research was aimed to develop the structure of such factors. The research method was used survey research by using a questionnaire to take the opinions from people who have involved in strategic planning for contractors about the degree of importance of factors. The data were analyzed by (1) testing the structure of factors and (2) finding the level of influence of factors for evaluating the building sustainability of contractors on competitive advantage. The structure of factors can be divided into 4 groups with their weight of relative importance as follows: “personnel and the development of construction and surrounding community” (28.38%), “health and safety in construction” (24.32%), “moral and ethics” (24.32%), and “construction management and environment” (22.98%). These factors affect the competitive advantage in terms of “marketing capability” (18.51%), “efficiency and financial stability” (17.87%), “project management capability” (17.87%), “strategic management” (17.24%), “technology and innovation” (14.89%), and “bidding” (13.62%). The factors for evaluating the building sustainability of contractors affect competitive advantage with a value of 0.89. These results can be used as a guideline to evaluate the building sustainability of contractors leading to a higher level of competitive advantage.

Keywords: factors, sustainability, building, contractor, competitive advantage

1. บทนำ

เป็นที่ตระหนักว่าวิกฤตการณ์ทางสิ่งแวดล้อมและสังคม นับวันจะมีความรุนแรงมากขึ้น การก่อสร้างเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่เป็นสาเหตุของวิกฤตการณ์นี้ในบางครั้งระหว่างการก่อสร้างวิกฤตการณ์ดังกล่าวนี้อาจจะนำไปสู่การยุติหรือระงับโครงการก่อสร้างได้ ทำให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจแก่เจ้าของโครงการ ผู้รับเหมาก่อสร้าง และผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับโครงการ เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากวิกฤตการณ์นี้

ผู้รับเหมาก่อสร้างควรพัฒนาการก่อสร้างให้มีความยั่งยืน นอกจากนี้ในยุคโลกาภิวัตน์ที่การแข่งขันมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ผู้รับเหมาจึงต้องสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้เหนือกว่าคู่แข่ง จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านแนะนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความยั่งยืนในอุตสาหกรรมก่อสร้างและปัจจัยที่บ่งชี้ความได้เปรียบในการแข่งขัน ตัวอย่างเช่น Pham and Kim (2019) [1] ได้ทำการศึกษาผลของการปฏิบัติการที่ยั่งยืน และความเป็นผู้นำของผู้จัดการ สมรรถนะด้านความยั่งยืน

ของบริษัทรับเหมาก่อสร้าง โดยความยั่งยืนคือการที่เราเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ สามารถทำธุรกิจการก่อสร้างได้โดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม และทำให้คุณภาพสังคมและเศรษฐกิจดีขึ้น Whang and Kim (2015) [2] ได้ทำการศึกษาความสมดุลที่ยั่งยืนของการดำเนินการในอุตสาหกรรมก่อสร้างจากมุมมองของผู้รับเหมาชาวเกาหลี โดยการพัฒนายั่งยืนคือความกลมกลืนของสภาพแวดล้อมกับอุตสาหกรรมตามการประชุมสุดยอดโลกแห่งสหประชาชาติเรื่องการพัฒนาเศรษฐกิจ การพัฒนาทางสังคมและการปกป้องสิ่งแวดล้อมมีการพึ่งพาซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้องรักษาสมดุลระหว่างด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างกลมกลืน Cruz et al. (2019) [3] ได้ร่วมกันศึกษาการพัฒนาอย่างยั่งยืนเพื่อประยุกต์ใช้กับการก่อสร้างในประเทศโปรตุเกส โดยแบ่งความยั่งยืนออกเป็น 3 ด้านคือ ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจคือการเพิ่มประสิทธิภาพและการเติบโตผ่านการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมคือการลดผลกระทบด้านลบให้น้อยที่สุด ความยั่งยืนทางสังคมคือการตอบสนองความต้องการของประชากรและสังคมที่เกี่ยวข้องในกระบวนการก่อสร้าง รับประกันความพึงพอใจโดยรวมของลูกค้า Yilmaz and Bakis (2015) [4] ได้ทำการศึกษาถึงความยั่งยืนในภาคการก่อสร้าง ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้หลักการพัฒนายั่งยืนไปสู่วงจรชีวิตของอาคาร จุดมุ่งหมายเพื่อรักษาความกลมกลืนระหว่างธรรมชาติกับสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้น Norkhum and Pongpeng (2011) [5] ได้ทำการศึกษาปัจจัยสำหรับประเมินจริยธรรมของผู้รับเหมาช่วงและผู้ขายวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างตามโครงสร้างองค์กรจากมุมมองผู้รับเหมาหลัก เพื่อช่วยในการคัดเลือกผู้รับเหมาช่วงและผู้ขายวัสดุก่อสร้างที่มีจริยธรรมในการทำงานเพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด แล้วเสร็จในระยะเวลาที่กำหนด โดยมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม ซึ่งล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่จะไม่ให้เกิดความล้มเหลวภายในองค์กรผู้รับเหมา Pusamlee and Pongpeng (2008) [6] ได้ทำการศึกษาการประเมินจริยธรรมของผู้รับเหมาจากมุมมองของเจ้าของโครงการ เพื่อใช้ในการ

การคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีจริยธรรมเข้าไปร่วมทำงานด้วย เพื่อให้การดำเนินงานในด้านการเงิน เวลา และคุณภาพสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยมีดังนี้ วิศวกรรมและการก่อสร้าง การจัดซื้อจัดจ้าง การเงินและบัญชี บุคลากร ระบบคุณภาพ ผู้จัดการโครงการ เครื่องมือและเครื่องจักร และความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม Tan and Shen (2011) [7] ได้ทำการศึกษาวิธีการประเมินความสามารถทางการแข่งขันของผู้รับเหมาในอุตสาหกรรมก่อสร้างของฮ่องกง สำหรับการช่วยเหลือผู้รับเหมาให้สามารถดำเนินการวิเคราะห์ภายในองค์กร ช่วยลูกค้าในการเลือกผู้รับเหมาได้อย่างเหมาะสม Samee and Pongpeng (2016) [8] ได้ศึกษาแบบจำลองสมการโครงสร้างสำหรับการเลือกอุปกรณ์ก่อสร้างและข้อได้เปรียบในการแข่งขันของผู้รับเหมา โดยข้อได้เปรียบในการแข่งขันประกอบด้วยปัจจัย 4 กลุ่มได้แก่ ความมั่นคงทางการเงิน ความสามารถทางเทคนิค โอกาสในการเสนอราคา และภาพลักษณ์และชื่อเสียง Orozco et al. (2011) [9] ได้ร่วมกันศึกษาความสามารถในการแข่งขันโดยใช้ปัจจัยและดัชนีสำหรับบริษัทก่อสร้างในชิลี ได้แบ่งปัจจัยออกเป็นปัจจัยภายในได้แก่ ความเป็นผู้นำ การฝึกอบรมและนวัตกรรม และปัจจัยภายนอกได้แก่ กฎระเบียบ จำนวนคู่แข่ง อัตราดอกเบี้ย และการลงทุนภาครัฐ และยังมีดัชนีในการช่วยวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขัน เพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่งทางการแข่งขันของบริษัท Nurisra et al. (2018) [10] ได้กล่าวว่าความสามารถในการแข่งขันคือความสามารถของบริษัทในการแข่งขันกับคู่แข่ง ดังนั้นบริษัทต่างๆจึงต้องมีกลยุทธ์ในการแข่งขันและความได้เปรียบในการแข่งขันโดยมุ่งเน้นในกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบไม่หยุดนิ่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลุ่มปัจจัยที่ใช้ประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างและกลุ่มปัจจัยที่บ่งชี้ความได้เปรียบในการแข่งขัน แต่ยังไม่พบงานวิจัยใดที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัยทั้งสองกลุ่มนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโครงสร้างปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของ

ผู้รับเหมาที่มีอิทธิพลต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยจะดำเนินการหา (1) น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา (2) น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน และ (3) ระดับความมีอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามเพื่อหาระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย (1: ระดับความสำคัญของปัจจัยอยู่ในระดับต่ำมาก หรือไม่มี ความสำคัญเลย 5: ระดับความสำคัญของปัจจัยอยู่ในระดับสูงมาก) โดยทำการสอบถามความคิดเห็นกับผู้ที่เกี่ยวข้องหรือปฏิบัติหน้าที่บริหาร โครงการก่อสร้าง รวมทั้งการบริหารด้านกลยุทธ์ของบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้าง ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการพัฒนาปัจจัยและแบบสอบถามดังต่อไปนี้

- ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น [1-10]
- วางกรอบแนวคิดหลัก เกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน
- สร้างแบบสอบถามตามกรอบแนวคิด โดยอาศัยพื้นฐานจากวรรณกรรมทั้งปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาและปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน
- ทดสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของแบบสอบถามโดยทำการทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านการก่อสร้างและการจัดการองค์กร ไม่น้อยกว่า 10 ปี
- ทดสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) โดยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของ Spearman (The Spearman's Rank Correlation Coefficient) ของทุกปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาและปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน [11]
- ทดสอบความเชื่อถือได้ของสเกล (Reliability) โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ Crobach's Alpha ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา เท่ากับ 0.922 และปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน เท่ากับ 0.902 ซึ่งทั้งสองส่วนมีค่ามากกว่า 0.70 แสดงว่าปัจจัยที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือได้ของสเกล [12]
- การรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามทำการสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 130 ชุด ได้รับการตอบกลับ 94 ชุด คิดเป็น 72.30% ซึ่งถือว่าดีมาก [13] โดยกลุ่มตัวอย่างดำรงตำแหน่ง บริหารโครงการก่อสร้าง 24 คน (25.53%) ควบคุมงานก่อสร้าง 43 คน (45.75%) เกี่ยวกับกลยุทธ์องค์กร 3 คน (3.19%) อื่นๆ 24 คน (25.53%) และมีประสบการณ์ทำงานโดยเฉลี่ย 6 ปี
- การวิเคราะห์ข้อมูลที่สำรวจได้จากกลุ่มตัวอย่างมีดังนี้
 - (1) ทดสอบโครงสร้างปัจจัยโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis, CFA) ด้วยการวิเคราะห์กลุ่มปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาและปัจจัยที่ทั้งชี้ความได้เปรียบในการแข่งขันที่ละกลุ่มตามกรอบแนวความคิด หลังจากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งและอันดับสอง (1st and 2nd Order CFA) โดยโปรแกรม Amos
 - (2) หาระดับความมีอิทธิพลของโครงสร้างปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบท่อความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equations Modeling, SEM) ด้วย โปรแกรม

Amos และหาน้ำหนักความสำคัญจากค่า
น้ำหนักถดถอย (Regression Weight)

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การทดสอบโครงสร้างปัจจัย

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน ซึ่งวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Amos เพื่อตรวจสอบความถูกต้องขององค์ประกอบเชิงสำรวจตามกรอบแนวความคิดของการวิจัยที่วางไว้ว่าโครงสร้างปัจจัยมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต คือ [14] (1) ค่าระดับความน่าจะเป็นของไคสแควร์, $p > 0.05$ (2) ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง, GFI ยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งดี [15] (3) ค่าไคสแควร์สัมพัทธ์, $CMIN/DF < 3$ และ (4) ค่าดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน, $RMSEA < 0.08$ ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา

- การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่ง เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัย ผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างของปัจจัยใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา ซึ่งพบว่าค่า $p = 0.071$ ซึ่งมากกว่า 0.05, $CMIN/DF = 1.177$ ซึ่งน้อยกว่า 3, $GFI = 0.854$ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1, $RMSEA = 0.044$ ซึ่งน้อยกว่า 0.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยที่ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต แสดงว่าปัจจัยเหล่านี้สามารถบ่งชี้การประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา
- การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสอง เพื่อยืนยันโครงสร้างปัจจัยผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าค่า $p = 0.209$ ซึ่งมากกว่า 0.05, $CMIN/DF = 1.093$ ซึ่งน้อยกว่า 3, $GFI = 0.866$ ซึ่งเข้าใกล้ 1, $RMSEA = 0.032$ ซึ่ง

น้อยกว่า 0.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยที่ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต แสดงว่าปัจจัยเหล่านี้สามารถบ่งชี้การประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา

3.1.2 ความได้เปรียบในการแข่งขัน

- การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่ง เพื่อยืนยันโครงสร้างปัจจัยผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างปัจจัยที่บ่งชี้ความได้เปรียบในการแข่งขัน ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าค่า $p = 0.103$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05, $CMIN/DF = 1.620$ ซึ่งน้อยกว่า 3, $GFI = 0.948$ ซึ่งเข้าใกล้ 1, $RMSEA = 0.082$ ซึ่งน้อยกว่า 0.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยที่ได้พัฒนาขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกต แสดงว่าปัจจัยเหล่านี้สามารถบ่งชี้ความได้เปรียบในการแข่งขัน

3.2 หาระดับความมีอิทธิพล

การหาระดับความมีอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยโปรแกรม Amos ดังแสดงในรูปที่ 3 จากการวิเคราะห์พบว่าค่า $p = 0.059$ ซึ่งมากกว่า 0.05, $CMIN/DF = 1.139$ ซึ่งน้อยกว่า 3, $GFI = 0.822$ ซึ่งเข้าใกล้ 1, $RMSEA = 0.039$ ซึ่งน้อยกว่า 0.08 ซึ่งผ่านเกณฑ์ทั้งหมดหมายความว่าแบบจำลองสมการโครงสร้างของปัจจัยนี้สอดคล้องกับข้อมูลเชิงสังเกตและพบว่าปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน เท่ากับ 0.89 ซึ่งค่อนข้างสูง

จากการวิเคราะห์แบบจำลองสมการ โครงสร้างข้างต้นสามารถหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยดังตารางที่ 1 และ 2 โดยการหาน้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัยและปัจจัยใช้สมการที่ (1) และ (2)

$$\text{น้ำหนักความสำคัญของกลุ่มปัจจัย} = \frac{\text{ค่าน้ำหนักถดถอยของกลุ่มปัจจัย}}{\text{ผลรวมค่าน้ำหนักถดถอยของทุกกลุ่มปัจจัย}} \quad (1)$$

$$\text{น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย} = \frac{\text{ค่าน้ำหนักถดถอยของปัจจัยนั้น}}{\text{ผลรวมของน้ำหนักถดถอยของทุกปัจจัย}} \quad (2)$$

ตารางที่ 1 น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากผลการวิเคราะห์โมเดลสมการ โครงสร้างสำหรับปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา	น้ำหนักถดถอย	น้ำหนักความสำคัญ (%)
บุคลากรและการพัฒนาการก่อสร้างและชุมชนโดยรวม	0.84	28.38
ความสามารถของบุคลากร	0.75	20.27
การจัดการแรงงาน	0.76	20.54
การพัฒนาความรู้และทักษะของบุคลากร	0.84	22.70
การพัฒนาสภาพแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างที่ดีต่อชุมชน	0.74	20.00
ส่งเสริมภาพลักษณ์และชื่อเสียงโครงการต่อเจ้าของและชุมชนโดยรวม	0.61	16.49
สุขภาพและความปลอดภัยในการก่อสร้าง	0.72	24.32
การวางแผนความปลอดภัย	0.83	21.96
ความปลอดภัยในขณะก่อสร้าง	0.84	22.22
อาชีวอนามัย	0.70	18.52
การมีคุณภาพชีวิตที่ดีของบุคลากร	0.67	17.72
การมีระบบพิทักษ์งานก่อสร้าง	0.74	19.58
คุณธรรมและจริยธรรม	0.72	24.32
การไม่ขอเบิกเงินเพิ่มจากเจ้าของพื้นที่ที่ไม่มีปริมาณงานเพิ่ม	0.84	22.64
การไม่จ่ายเงินให้กับบุคคลใดบุคคลหนึ่งเพื่อผลประโยชน์	0.83	22.37
การดำเนินการตามขั้นตอนที่กำหนด	0.76	20.49
การไม่ขอขยายระยะเวลาในการก่อสร้างโดยไม่มีเหตุอันควร	0.63	16.98
การใช้วัสดุที่มีคุณภาพและตรงตามรายการก่อสร้าง	0.65	17.52
การจัดการการก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม	0.68	22.98
การจัดการคุณภาพ	0.81	23.83
การจัดการด้านการสื่อสาร	0.63	18.53
การจัดการด้านความเสี่ยง	0.64	18.82
การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม	0.64	18.82
การจัดการค่าใช้จ่าย	0.68	20.00

ตารางที่ 2 น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างสำหรับความได้เปรียบในการแข่งขัน

ปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน	น้ำหนักถดถอย	น้ำหนักความสำคัญ (%)
ความสามารถทางการตลาด	0.87	18.51
ประสิทธิภาพและความมั่นคงทางการเงิน	0.84	17.87
ความสามารถในการจัดการ โครงการ	0.84	17.87
การจัดการเชิงกลยุทธ์	0.81	17.24
เทคโนโลยีและนวัตกรรม	0.70	14.89
การเสนอราคา	0.64	13.62

4.บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน พบว่า

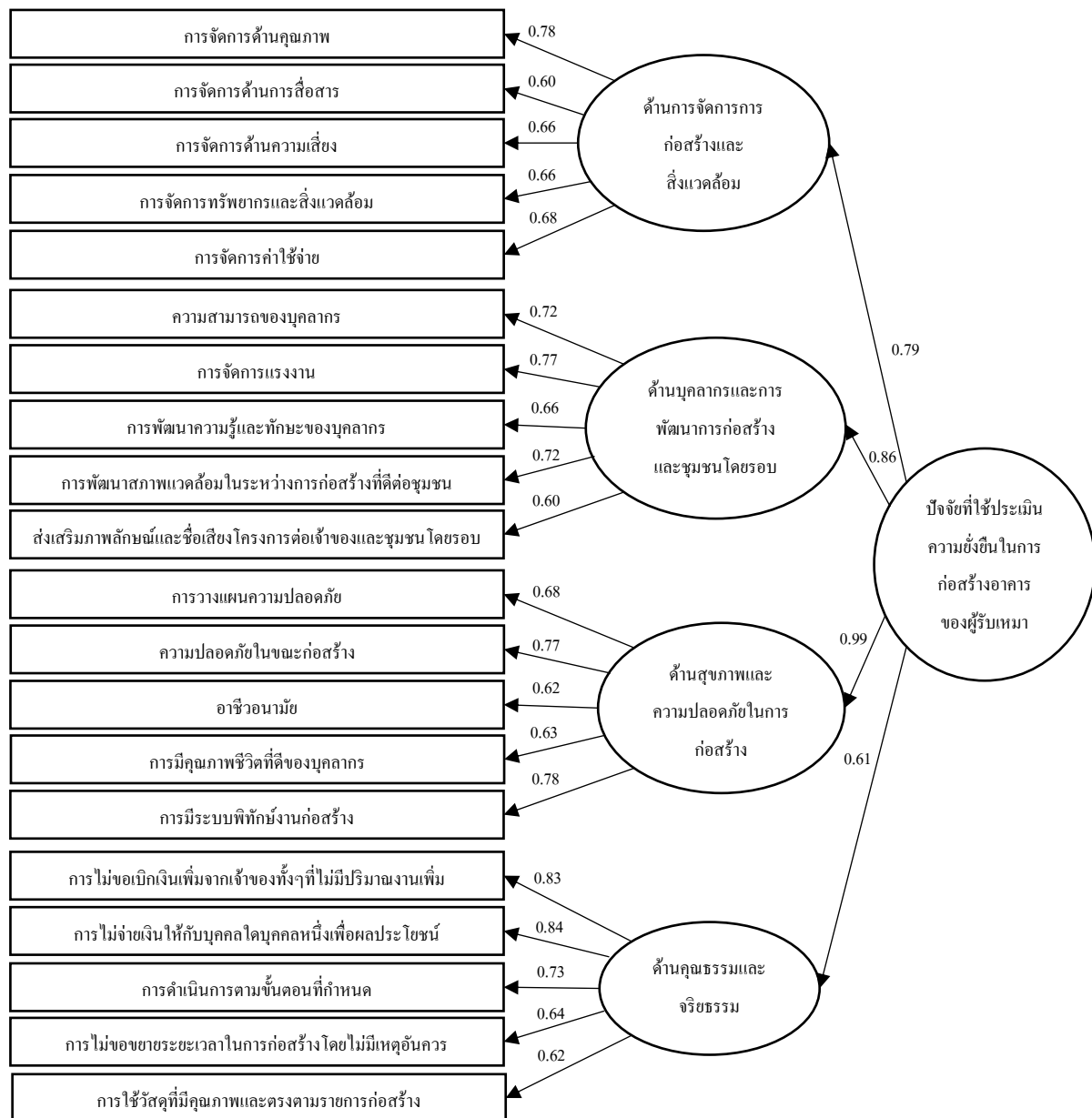
น้ำหนักความสำคัญของโครงสร้างปัจจัยใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่แสดงดังรูปที่ 3 มีดังนี้ “บุคลากรและการพัฒนาการก่อสร้างและชุมชนโดยรวม” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.84 (28.38%) “สุขภาพและความปลอดภัยในการก่อสร้าง” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.72 (24.32%) “คุณธรรมและจริยธรรม” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.72 (24.32%) “การจัดการการก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.68 (22.98%) จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าความสำคัญของปัจจัยใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา อันดับหนึ่งคือ “บุคลากรและการพัฒนาการก่อสร้างและชุมชนโดยรวม” ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากบุคลากรเป็นกำลังสำคัญในการขับเคลื่อนงานให้สามารถดำเนินไปได้ โดยผู้รับเหมาจะต้องมีการพัฒนาความรู้ ทักษะ และความสามารถของบุคลากรให้มีการพัฒนาก้าวหน้าอยู่เสมอ นอกจากนี้จะต้องมีการพัฒนาการก่อสร้างและชุมชนโดยรวม เพื่อเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์และชื่อเสียงของโครงการ ปรับปรุงสภาพแวดล้อมในระหว่างการก่อสร้างให้ดียิ่งขึ้น เพื่อให้การก่อสร้างสามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น อันดับที่สองคือ “สุขภาพและความปลอดภัยในการก่อสร้าง” และ

“คุณธรรมและจริยธรรม” ซึ่งมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากัน โดยในด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการก่อสร้างมีความสำคัญเนื่องจากเมื่อบุคลากรมีคุณภาพชีวิตที่ดี สุขภาพกายที่ดี สุขภาพจิตที่ดีก็จะตามมา สามารถทำงานออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และถ้ามีการวางแผนความปลอดภัยที่ดีก็จะสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุที่ไม่คาดคิดได้มากขึ้น และในด้านคุณธรรมและจริยธรรม เป็นสิ่งที่ผู้รับเหมาจะต้องตระหนักไม่ถือโอกาสเอารัดเอาเปรียบผู้อื่น ใช้วัสดุที่มีคุณภาพ ได้มาตรฐานตรงตามรายการก่อสร้าง อาศัยจรรยาบรรณเป็นฐานในอาชีพ กลุ่มปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุดคือ “การจัดการการก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม” เหตุผลอาจเนื่องมาจากเพียงแค่ผู้รับเหมาสามารถจัดการและควบคุมการก่อสร้างอันได้แก่ คุณภาพ การสื่อสาร ความเสี่ยง ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่าย ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก็เพียงพอที่จะสามารถดำเนินโครงการต่อไปได้

ส่วนปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขัน มีน้ำหนักความสำคัญดังนี้ “ความสามารถทางการตลาด” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.87 (18.51%) “ประสิทธิภาพและความมั่นคงทางการเงิน” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.84 (17.87%) “ความสามารถในการจัดการโครงการ” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.84 (17.87%) “การจัดการเชิงกลยุทธ์” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.81 (17.24%) “เทคโนโลยีและนวัตกรรม” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.70 (14.89%) “การเสนอราคา” ได้ค่าน้ำหนักถดถอย 0.64 (13.62%) จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่า ความสำคัญของปัจจัยความได้เปรียบในการแข่งขันอันดับหนึ่งคือ “ความสามารถทางการตลาด” ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้รับเหมาจำเป็นต้องเรียนรู้และปรับตัวให้เข้ากับตลาดเพื่อความอยู่รอด สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงทางการตลาดได้เพื่อสร้างความได้เปรียบและสามารถเติบโตในตลาดอุตสาหกรรมได้อย่างมั่นคง อันดับที่สองคือ “ประสิทธิภาพและความมั่นคงทางการเงิน” และ “ความสามารถในการจัดการโครงการ” ซึ่งมีน้ำหนักความสำคัญเท่ากัน โดยประสิทธิภาพและความมั่นคงทางการเงินมีความสำคัญเนื่องจากผู้รับเหมาจะต้องทราบถึงฐานะและความสามารถในการจ่ายเงินของ

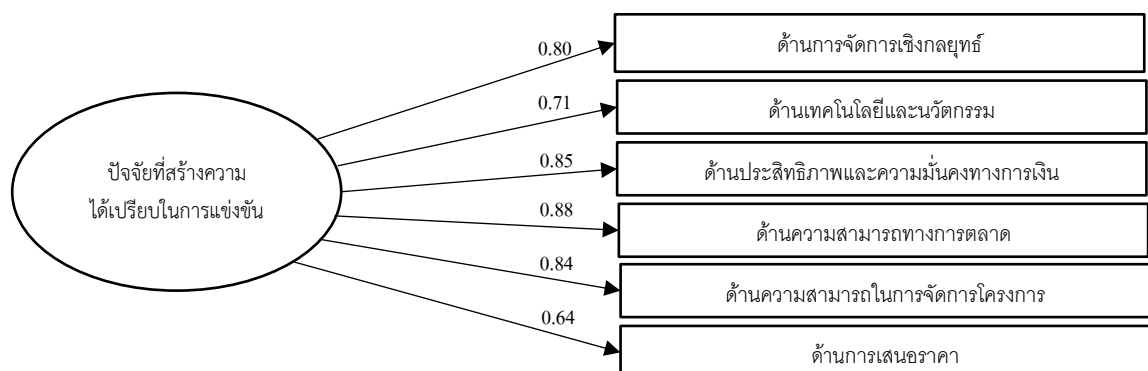
องค์กร มีเสถียรภาพทางการเงินที่ดีจะทำให้องค์กรมีความได้เปรียบในการปรับตัวทางการเงินดีกว่าคู่แข่งเมื่อเกิดวิกฤตทางเศรษฐกิจ และในด้านความสามารถในการจัดการโครงการ ผู้รับเหมาจำเป็นต้องมีการติดตาม ควบคุม ตรวจสอบการทำงานภายในไซต์งาน เพื่อให้ดำเนินการตามสัญญาอย่างถูกต้องเพื่อให้เหนือกว่าคู่แข่ง อันดับที่สองคือ “การจัดการเชิงกลยุทธ์” เนื่องจากผู้รับเหมาจำเป็นต้องมีการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารงานอาจมีการใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์สภาพองค์กรภายในและภายนอก มีการสร้างภาพลักษณ์และชื่อเสียงที่ดีเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า อันดับที่ยี่ห้าคือ “เทคโนโลยีและนวัตกรรม” หากผู้รับเหมามีความสามารถทางเทคนิค ทราบถึงจุดยืนทางเทคโนโลยีขององค์กรตนสามารถค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการก่อสร้างจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงมากยิ่งขึ้น อันดับหกคือ “การเสนอราคา” มีลำดับความสำคัญน้อยที่สุดอาจเนื่องจากผู้รับเหมามุ่งเน้นปัจจัยด้านอื่นทั้งห้าด้านโดดเด่นกว่า แต่กระนั้นปัจจัยนี้ยังมีความสำคัญเพื่อช่วยให้ผู้รับเหมามีโอกาสในการเสนอราคาที่มากกว่าคู่แข่งและยังช่วยให้เกิดความคล่องตัว และเข้าใจหลักการของการข้อเสนอขึ้นประมวลที่ดีกว่าคู่แข่ง

นอกจากนี้ผลการหาระดับความมีอิทธิพลของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน โดยวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง เท่ากับ 0.89 ซึ่งเป็นค่าที่สูง แสดงว่าโครงสร้างปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่มีอิทธิพลต่อความได้เปรียบในการแข่งขันในระดับที่สูง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางให้กับผู้รับเหมาในการปรับปรุงการก่อสร้างขององค์กรเพื่อเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันแล้วนำไปสู่โอกาสการชนะการประกวดราคาได้เพิ่มขึ้น



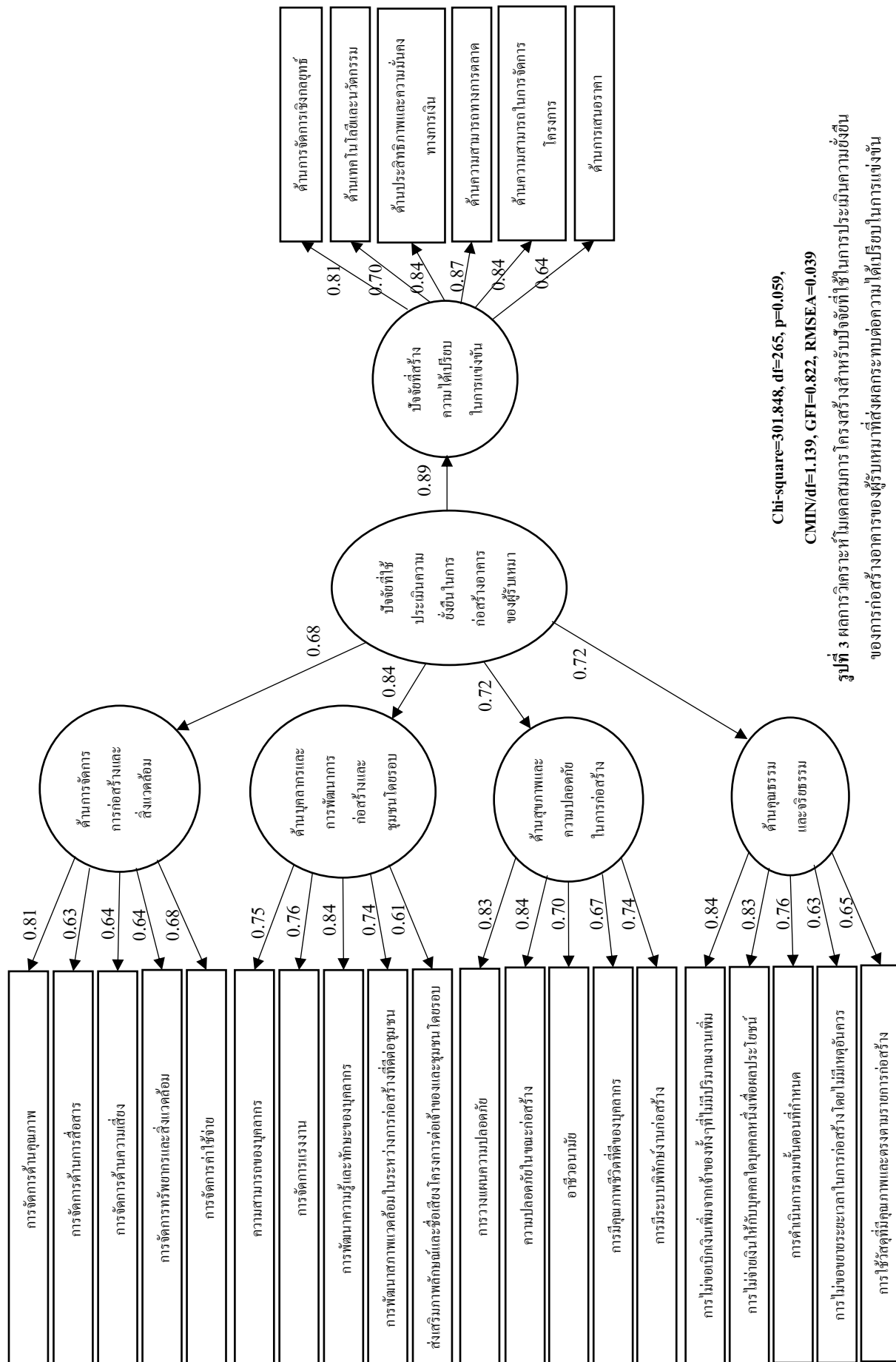
Chi-square=159.584, df=146, p=0.209, CMIN/df=1.093, GFI=0.866, RMSEA=0.032

รูปที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับสองจากโปรแกรม Amos ของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมา



Chi-square=14.580, df=9, p=0.103, CMIN/df=1.620, GFI=0.948, RMSEA=0.082

รูปที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งจากโปรแกรม Amos ของปัจจัยที่สร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างสำหรับปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความยั่งยืนของการก่อสร้างอาคารของผู้รับเหมาที่ส่งผลกระทบต่อความได้เปรียบในการแข่งขัน

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Pham and S. Y. Kim, "The effects of sustainable practices and managers' leadership competences on sustainability performance of construction firms," *Sustainable Production and Consumption*, Vol.20, pp.1-14, 2019.
- [2] S. W. Whang and S. Kim, "Balanced sustainable implementation in the construction industry: The perspective of Korean contractors," *Energy and Buildings*, Vol.96, pp.76-85, 2015.
- [3] C. O. Cruz, P. Gaspar and J. Brito, "On the concept of sustainable sustainability: An application to the Portuguese construction sector," *Journal of Building Engineering*, Vol.25, 2019.
- [4] M. Yilmaz and A. Bakis, "Sustainability in Construction Sector," *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Vol.195, pp.2253-2262, 2015.
- [5] S. Norkhum and J. Pongpeng, "Factors for Evaluating Ethics of Subcontractors and Suppliers based on Organizational Structure: A view from Contractors," *The 16th National Convention on Civil Engineering*, Engineering Institute of Thailand, Thailand, pp.1-10, 2011.
- [6] R. Pusamlee and J. Pongpeng, "Evaluating ethics of contractors: a view from owners," *The 13th National Convention on Civil Engineering*, Engineering Institute of Thailand, Thailand, pp.1-6, 2008.
- [7] Y. Tan and L.-Y. Shen, "A fuzzy approach for assessing contractors' competitiveness," *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol.18, No.3, pp.234-247, 2011.
- [8] K. Samee and J. Pongpeng, "Structural Equation Model for Construction Equipment Selection and Contractor Competitive Advantages," *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol.20, No.1, pp.77-89, 2016.
- [9] F. Orozco, A. Serpell and K. Molenarr, "Competitiveness factors and indexes for construction companies: findings of Chile," *Revista de la Construcción*, Vol.10, No.1, pp.91-107, 2011.
- [10] Nurisra, N. Malahayati and Mahmuddin, "The main factor affecting the competitiveness of Contractor Company," *The 7th AIC-ICMR on Sciences and Engineering*, Article ID 352, pp.012034, 2018.
- [11] S. Prasith-rathsint, "Social science research methodology," 12th ed., Fueang Fa Printing, Thailand, 2003.
- [12] SPSS Training. *SPSS Training Series. IT Services*, Queensland University of Technology, 2001.
- [13] E. Babbie, *The Practice of Social Research*, 5th ed., Wadsworth Publishing, Belmont, CA, 1989.
- [14] T. Silpcharu, *Research and statistical data analysis by SPSS and AMOS*, 13th ed., S.R. Printing Mas Product, Thailand, 2012.
- [15] G. Rangsunnoen, *Factor analysis by SPSS and Amos for research*, Se-Education, Thailand, 2011.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความในวารสารลาดกระบัง

ทางกองบรรณาธิการวารสารลาดกระบัง ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการพิจารณาบทความด้วยความชอบคุณยิ่ง และหวังว่าคงได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีในโอกาสต่อไป

ศาสตราจารย์ ดร.อุมา	สีบุญเรือง
ศาสตราจารย์ ดร.วรวงศ์	ตั้งศรีรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร.พิทยา	แจ่มสว่าง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิหิตา	เจษฎารัตนชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สายสุนีย์	พุทธานุเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์	ทิมพุด
รองศาสตราจารย์ ดร.กอบร	ศรีนาวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.ชูวงศ์	พงศ์เจริญพาณิชย์
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน	กิจไพศาลสกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.บัญชา	เหลื่องแดง
รองศาสตราจารย์ ดร.วีรยา	ฉิมอ้อย
รองศาสตราจารย์ ดร.จันทพร	ผลากรกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.นวกัทร	หนูนาค
รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลี	อุณหวานิชย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกช	ทวีสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์	ประสาทแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นที	สุรียานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย	วรเศวต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณิพร	พัชรวรโชติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรพิน	ชาญนำสิน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎาพร	สถานทรัพย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย	ธรรมารักษ์วัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา	ชัยโณม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสวรรค์	อัสวแสงรัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภินันท์	นัมคณิสร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม	ปทุมสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย	มานะดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	เด่นตรี
ดร.ณัฐเศรษฐ์	หมวดทองอ่อน
ดร.สมภาพ	พิมพ์ล
ดร.ฉัตรเพชร	ยศพล
ดร.พิชชานันท์	วงศ์ศิริธร

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ

“บทความทางวิชาการ” หมายความว่า บทความที่เขียนขึ้นในลักษณะวิเคราะห์ วิจัย หรือเสนอแนวความคิดใหม่ ๆ จากพื้นฐานทางวิชาการที่ได้เรียบเรียงจากผลงานทางวิชาการของตนเอง หรือของผู้อื่น หรือเป็นบทความทางวิชาการที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นความรู้ทั่วไปสำหรับประชาชน

“บทความวิจัย” หมายความว่า บทความที่มีลักษณะเป็นเอกสารที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น มีการตั้งสมมติฐาน หรือมีการกำหนดปัญหาที่ชัดเจนสมเหตุสมผล โดยจะต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน มีการค้นคว้าอย่างมีระบบ มีการรวบรวมข้อมูลพิจารณาวิเคราะห์ ตีความ และสรุปผลการวิจัยที่สามารถให้คำตอบบรรลุวัตถุประสงค์ หรือหลักการบางอย่างที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการ หรือการนำวิชาการนั้นมาประยุกต์ใช้

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 และอาจรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (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 และสงวนสิทธิ์ในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้ 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

Editorial Staff :

*Mr.Thanongsak Chaichuensaen
Cover Design.*

*Asst. Prof. Dr.Napasool Wongvanich
Miss.Chanunchida Nobnom*

*Mr.Sataporn Pongprayoon
Liaise & Member Relationships
Create Original Artwork & Proofreading
and Photo Books.*

Distributed by :

*Faculty of Engineering,
Miss.Chanunchida Nobnom
Mrs.Atisuda Chanvikorn
Tel : (662) 329-8317*



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม
ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

Volume 37 Number 4

October – December 2020

1. Effect of Triangular Cross-sectional Wedges Inserted into an In-line Tube Bundle on the Tube Deposition 1
P. Yisunzam and A. Chinsuwan
2. Influence of Recharge and Pumping of Heterogenous and Anisotropic Aquifer in 2D Groundwater Flow 9
P. Tanachaichoksirikun and S. Sungted
3. Surface Monopole Antenna on Reflector for Ultra-Wideband Applications 18
P. Phomphankorn S. Dentri and C. Phongcharoenpanich
4. Factors for Evaluating Building Sustainability of Contractors Affecting Competitive Advantage 26
S. Kaewjunant and J. Pongpeng