



มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
VONGCHAVALITKUL UNIVERSITY

84 หมู่ 4 ถนนมิตรภาพ-หนองคาย ต.บ้านเกาะ อ.เมือง จ.นครราชสีมา
โทรศัพท์ : 044-009711 โทรสาร : 044-009712



วารสาร
มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
Journal of Vongchavalitkul University

ISSN:2672-9911(Print), ISSN:2697-5181(Online) ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2562
Vol. 32 No. 1 January – June 2019



- การทดสอบกำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิธด์
ชวรินทร์ ลิ้มศิริ
- การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย
ในห้องปฏิบัติการของดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูง
อนุชิต อุทัยภักดี
- คำสัมประสิทธิ์ความรุนแรงของการไหลผ่านผักตบชวาและรูปท่ายี่
ประยงค์ กิรติอุไร, ชีรพงษ์ เบี้ยจั่นกัก, ธนบดี เล็งไธสง

วารสาร
มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล





วารสาร

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

เจ้าของ : มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพิมพ์เผยแพร่บทความทางวิชาการของอาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความทางวิชาการของอาจารย์และนักวิชาการ
3. เพื่อเป็นเวทีสำหรับนักศึกษาในระดับปริญญาโทและปริญญาเอกเพื่อนำเสนอบทความวิจัยที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์
4. เพื่อนำเสนอเรื่องราวต่างๆ ในทุกสาขาวิชาเพื่อให้คณาจารย์และนักศึกษาได้มีโอกาสเพิ่มพูนความรู้

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

84 หมู่ 4 ถ.มิตรภาพ-หนองคาย ต.บ้านเกาะ

อ.เมือง จ.นครราชสีมา

โทรศัพท์ : 044-009711

โทรสาร : 044-009712

Website : <https://www.tci-thaijo.org/index.php/vujournal/index>

พิมพ์ที่ : บริษัทสมบุญการพิมพ์

ที่ปรึกษาที่ดัดมศักดิ์

- อาจารย์มุข วงษ์ชวลิตกุล
- อาจารย์ปราณี วงษ์ชวลิตกุล

ที่ปรึกษา

- ศาสตราจารย์ ดร.ประสาธ สืบคำ
- อาจารย์ ดร.กิตติ วงษ์ชวลิตกุล

บรรณาธิการ

- รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี ศุภจินทรรัตน์

รองบรรณาธิการ

- รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต อุทัยภักขิ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยา วงษ์ชวลิตกุล

กองบรรณาธิการ

- รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี ศุภจินทรรัตน์
- รองศาสตราจารย์จันทนา รณฤทธิชัย
- รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต อุทัยภักขิ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวินทร์ ลิ้มศิริ
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยา วงษ์ชวลิตกุล
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงวนพงศ์ ขวนชม
- อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ อุดมพร
- อาจารย์ ดร.มะลิ โพธิ์พิมพ์
- อาจารย์ ดร.รุ่งรัตน์ สุขะเดชะ
- อาจารย์จิราภรณ์ ประธรรมโย
- อาจารย์พรทิพย์ นิพพานนท์

เลขาธิการกองบรรณาธิการ

- อาจารย์ ดร.ธีรยุทธ อุดมพร
- Email : teerayuth_udo@vu.ac.th

ผู้ช่วยเลขาธิการกองบรรณาธิการ

- นางสาวธัญลักษณ์ จินดา
- Email : thunyaluck_jin@vu.ac.th

ฝ่ายศิลปกรรม

- อาจารย์ปรเมศวร์ มะละสาร

ฝ่ายพิสูจน์อักษร

- อาจารย์พรทิพย์ นิพพานนท์

อัตราค่าสมาชิก และค่าตีพิมพ์เผยแพร่บทความ

- 1) ค่าสมัครเป็นสมาชิก
 - สมาชิกประเภทสถาบันการศึกษา ปีละ 400 บาท
 - สมาชิกประเภทบุคคลทั่วไป ปีละ 400 บาท
- 2) ค่าตีพิมพ์เผยแพร่บทความ
 - สมาชิก 2,000 บาท/เรื่อง
 - ไม่ได้เป็นสมาชิก 2,500 บาท/เรื่อง



ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

พิจารณากลับกรองบทความ.....

1. ศาสตราจารย์ ดร.ดารุณี จงอุดมการณ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พยาบาลศาสตร์)
2. ศาสตราจารย์คลินิก นพ.พิชัย ศุภจันทร์รัตน์ มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาศาสตร์การแพทย์)
3. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นพ. ศาสตราจารย์ เสาวคนธ์ มหาวิทยาลัยบูรพา (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
4. พลอากาศตรี ศาสตราจารย์ ดร.สรภัญ ศรีเกษม โรงเรียนนายเรืออากาศ (วิศวกรรมศาสตร์)
5. ศาสตราจารย์ ดร.สุชนันต์ หอพิบูลสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (วิศวกรรมศาสตร์)
6. รองศาสตราจารย์ ดร.กานท์ เกิดชื่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (วิศวกรรมศาสตร์)
7. รองศาสตราจารย์ ดร.คณินิจ พงศ์ถาวรกุล มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
8. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิดา ผาติเสนาะ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
9. รองศาสตราจารย์ ประเสริฐ ดำรงชัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น (วิศวกรรมศาสตร์)
10. รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาพรรณ วิโรจน์รัตน์ มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
11. รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลวรรณ ทองเจริญ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์การแพทย์เจ้าฟ้าจุฬาภรณ (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
12. รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร รุ่งเรืองกลกิจ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
13. รองศาสตราจารย์ สุจิตรา ล้อมอำนวยลาภ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
14. รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธนา กลางคาร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
15. รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ศิลปานันท์กุล มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
16. รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธ์ ชินกุลนิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (วิศวกรรมศาสตร์)
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (วิศวกรรมศาสตร์)
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น (วิศวกรรมศาสตร์)
19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระยุทธ สืบสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (วิศวกรรมศาสตร์)
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรา อังสกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธานี แก้วธรรมานุกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร ไพรีเกรง มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต (สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวฒ ไทยอุดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณรัตน์ ศรีจันทร์นิตย์ มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
25. อาจารย์ ดร.ชมพิศ แก้วมณี มหาวิทยาลัยนเรศวร (วิศวกรรมศาสตร์)
26. อาจารย์ ดร.ธีรวัธ ธรรมกุล มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)
27. ดร.ภูวดล พลศรีประดิษฐ์ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา (วิทยาศาสตร์สุขภาพ)

สารบัญ.....

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิท 1
ชีวินทร์ ลิ้มศิริ

การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มโดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย ในห้องปฏิบัติการของดินทรายผสมซีเมนต์ความพูนสูง 10
อนุชิต อุชายภิชาติ

คำสัมประสิทธิ์ความรุนแรงของการไหลผ่านฝักตบขวาและรูปทึบ 16
ธีรพงษ์ เปี้ยจันทิก ธนบดี เล็งไธสง ประยงค์ กิริติอุไร

การจำแนกรูปแบบของรูปภาพโดยใช้อัลกอริทึม FCM-SASOM 26
ชมพู่ ทรัพย์ปทุมสิน นพดล โคตรพันธ์

การวิเคราะห์และออกแบบความลึกที่เหมาะสมของโครงหลังคาเหล็ก 33
จงศิลป์ สุขุมจริยพงศ์

การหาประสิทธิภาพตัวบ่งชี้พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 42
ธวัชชัย ชาญสูงเนิน จักริน วงษ์ชวลิตกุล

แผนย้อมสีเส้นใยธรรมชาติจากรูปทึบ 49
รุ่งทิพา เวทยะเวทิน นนธิกาญจน์ อาตมียนันท์ ถาวร ธีรเมธาพิรัตน์

ผลกระทบของกระบวนการเปียกสลับแห้งของดินเค็มที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม 57
ลิขิต ศรีสมุทร เอกชัย ม่านโคกสูง

บทบรรณาธิการ.....

วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล เป็นวารสารในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดำเนินการจัดพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการที่มีประโยชน์ต่อวงการวิชาการและวิชาชีพอย่างต่อเนื่องกว่า 30 ปี วารสารฉบับนี้เป็น ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน) พ.ศ. 2562 ปีที่ 32 ได้รวบรวมและจัดพิมพ์เผยแพร่บทความที่มีความสำคัญต่อวงการวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้อง หรือสามารถนำไปต่อยอดเป็นองค์ความรู้ใหม่ได้

วารสารฉบับนี้ประกอบด้วยบทความวิจัย 8 เรื่อง โดยเป็นบทความจากภายนอกสถาบัน 4 เรื่อง และบทความจากภายในสถาบัน 4 เรื่อง เนื้อหาสาระของวารสารฉบับนี้เป็นการศึกษาวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุประเภทต่างๆ ซึ่งได้แก่ ถนนคอนกรีต ดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูง แผ่นยับซึมเสริมเส้นใยธรรมชาติจากธูปฤๅษี และดินเค็มที่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง รวมทั้งการจำลองการไหลของน้ำเพื่อประเมินสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิดที่มีวัชพืชขวางการไหลจำพวกผักตบชวาและธูปฤๅษี นอกจากนี้ในวารสารฉบับนี้ยังมีการวิจัยจากการศึกษาพัฒนาต่อยอด ซึ่งได้แก่ การศึกษาพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และประเมินประสิทธิภาพของตู้อบ การศึกษาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลภาพเพื่อจำแนกรูปแบบของภาพที่มีความแม่นยำสูงกว่าร้อยละ 90 รวมถึงการวิเคราะห์ออกแบบหาความลึกที่เหมาะสมของโครงหลังคาเหล็กเพื่อความประหยัดและปลอดภัย

กองบรรณาธิการ วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล หวังอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านทุกท่าน หากผู้อ่านจะมีข้อเสนอแนะใดในการปรับปรุงวารสารนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น กองบรรณาธิการขออภัยรับไว้ด้วยความยินดี

รองศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต อุชายภิกขิต, Ph.D. (Civil Eng.)

รองบรรณาธิการ



การทดสอบกำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์

Determination of Compressive Strength of Concrete Pavement By Schmidt's Hammer

ชีวินทร์ ลิ่มศิริ, Ph.D.¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ (Schmidt's hammer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบแบบไม่ทำลาย เพื่อทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีต เนื่องจากในปัจจุบันการทดสอบเพื่อหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีตต้องเจาะเก็บตัวอย่างจากถนนแล้วไปทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ ซึ่งไม่สะดวก ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง ซึ่งการทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์เป็นวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่การแปลความผลจากค่าการสะท้อน (Rebound number) ของค้อนกระแทกแบบสมิทท์มาเป็นค่าลำดับรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้กราฟมาตรฐานของค้อนกระแทกแบบสมิทท์จากผู้ผลิตนั้น ยังให้ค่าที่ไม่แน่นอนสำหรับการทดสอบกับถนนคอนกรีตเพราะมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค้นคว้าค้อนกระแทกแบบสมิทท์มาใช้ในการหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีตโดยจัดทำความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกับลำดับรับแรงอัดสำหรับถนนคอนกรีตจากผลการทดสอบแบบจำลองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้การแปลความผลการทดสอบถูกต้องมากขึ้นและนำไปหาลำดับรับแรงอัดในสนามเพื่อทดสอบการใช้งาน ซึ่งพบว่าวัสดุที่ใช้รองพื้นถนนคอนกรีตมีผลต่อค่าการสะท้อน ค้อนกระแทกแบบสมิทท์สามารถนำไปใช้งานในสนามได้เป็นอย่างดีแต่ความสัมพันธ์ที่ใช้แปลความควรเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง

คำสำคัญ: ค้อนกระแทกแบบสมิทท์, ค่าการสะท้อน, ลำดับรับแรงอัด, ถนนคอนกรีต

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

E-mail: cheevin_lim@vu.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to study the use of Schmidt's hammer, that is a widely used tool for non-destructive testing, to test the compressive strength of concrete pavement. At present, the compressive strength of concrete pavement can be determined by the compression test in a laboratory from samples which are cored from a road. This method is inconvenient, time consuming, and costly. Schmidt's hammer test is a non-destructive testing which is convenient to test with a low testing cost. However, the interpretation of the results from the rebound number to the compressive strength of concrete, based on the correlation curves of the manufacturer, still is not quite accurate due to factors, differing from the manufacturer testing. Thus, this study intended to investigate the application of Schmidt's hammer test to determine the compressive strength of concrete pavement by establishing a relationship between the compressive strength and the rebound number for concrete pavement. The correlation that was obtained from the laboratory test of concrete pavement models could provide more accurate interpretation. The in situ test was performed to evaluate the workability of Schmidt's hammer. The test results showed that the rebound number was affected by materials beneath the pavement. Neven theses, Schmidt's hammer showed a good performance for the in situ test but the correlation should be established from the similar testing candies for more accurate results.

Keywords: Schmidt's hammer, rebound number, compressive strength, concrete pavement

1. ความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันสิ่งก่อสร้างต่างๆ ใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างส่วนใหญ่ เพราะคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้หรือโลหะสามารถที่จะดัดแปลงเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ง่าย มีความทนทานและมีกำลังในการรับแรงอัดได้สูง ซึ่งความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างและกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างที่ก่อสร้างไปแล้ว เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอาจน้อยกว่าที่ต้องการได้ทั้งจากการก่อสร้างที่ไม่ดี การควบคุมการก่อสร้างที่ไม่มีคุณภาพและการกัดกร่อนหรือเสื่อมสภาพของคอนกรีตจากสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยทั่วไปการหาลำดับอัดของคอนกรีตที่ก่อสร้างไปแล้วสามารถหาได้ทั้งวิธีแบบทำลาย (Destructive testing) และแบบไม่ทำลาย (Non - destructive testing) โดย

วิธีแบบทำลายจะทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากโครงสร้างแล้วนำไปทดสอบในเครื่องกดคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธียุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนวิธีทดสอบแบบไม่ทำลายจะมีเครื่องมือหลายประเภทที่สามารถใช้ได้แต่เครื่องมือแบบค้อนกระแทกแบบสมิทท์ เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำการทดสอบได้ง่ายและสะดวกมีค่าใช้จ่ายต่ำ (Brencich et al., 2013; Parmar et al., 2017) ค่าที่ได้จากการทดสอบค้อนกระแทก จะต้องนำมาแปลความผลโดยใช้ตารางหรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อนที่ให้มากับเครื่องซึ่งจะเป็นไปตามผลการทดสอบของผู้ผลิตค้อนกระแทกนั้น อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์อาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ มวลรวมและส่วนผสมของคอนกรีตในโครงสร้างที่ตรวจสอบและคอนกรีตที่ผู้ผลิตค้อนกระแทกทดสอบในห้องปฏิบัติ

การแตกต่างกัน รวมถึงลักษณะของโครงสร้างที่จะทำการทดสอบ ตำแหน่ง ทิศทางในการกระแทก อายุของคอนกรีตในการทดสอบ ฯลฯ (ศุภชัย, 2553; Sinthaworn, 2017) ดังนั้นควรมีการเปรียบเทียบให้เหมาะสมกับสภาพที่จะนำไปทดสอบโดยเฉพาะเมื่อจะนำไปทดสอบหากำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีต เนื่องจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อนจากผู้ผลิตไม่มีการจัดทำสำหรับถนนคอนกรีตและโครงสร้างทางสำหรับผิวถนนคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปตามการก่อสร้าง เช่นมีพื้นทรายรองก่อนเทผิวถนนคอนกรีต เทผิวถนนคอนกรีตบนพื้นหินคลุก โดยไม่มีพื้นทรายรองและเทผิวถนนคอนกรีตบนผิวถนนคอนกรีตเดิมเพื่อเสริมกำลังหรือซ่อมแซม ดังนั้นการที่ถนนคอนกรีตมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าการสะท้อนที่ได้จากการทดสอบด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์หรือไม่ควรมีการศึกษาก่อนการใช้งาน

ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ถูกคิดค้นมาตั้งแต่ 1948 และยังคงได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากใช้งานง่าย ทดสอบและได้ผลการทดสอบรวดเร็ว มีค่าใช้จ่ายในการทดสอบน้อย (Gupta, Gupta, & Singh, 2015) การทดสอบโดยใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยอาศัยหลักการกระแทกและกระดอนกลับของมวลสปริง (Spring mass) ค่าการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับความแข็งของผิวที่ทำการกระแทก การทดสอบจะทำตามข้อกำหนดมาตรฐาน มยผ. 1502-51 การตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลายวิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound hammer) (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2551) ซึ่งอ้างอิงมาจาก ASTM C805-02 Standard test method for rebound number of hardened concrete ในปัจจุบันการทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตจะใช้วิธีการเจาะเก็บตัวอย่างของถนนคอนกรีตแล้วไปทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดในห้องปฏิบัติการซึ่งยุ่งยากและเสียเวลามาก ถ้าสามารถนำค้อนกระแทกมาทดสอบหากำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีต

ก็จะทำให้สามารถทดสอบในสถานที่จริงได้และมีความสะดวก เพราะเครื่องมือมีขนาดเล็กวิธีการทดสอบไม่ยุ่งยาก แต่การแปลความผลจากค่าการสะท้อนของค้อนกระแทกมาเป็นค่ากำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตต้องมีการศึกษาเพื่อให้ผลที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้องเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง (Konapure & Richardrobin, 2015) งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาในเรื่องดังกล่าว เพื่อการนำค้อนกระแทกไปทดสอบหากำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตอย่างถูกต้อง โดยจะทำการทดสอบกับแบบจำลองถนนในห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและค่าการสะท้อน ในสภาพที่ คุณสมบัติของวัสดุ โครงสร้าง รูปร่าง และลักษณะการยิงทดสอบเหมือนกับการทดสอบกับถนนจริง ซึ่งจะช่วยให้การประเมินผลการตรวจสอบกำลังรับแรงอัดเป็นไปด้วยความแม่นยำว่าการใช้กราฟความสัมพันธ์จากโรงงานผู้ผลิต และนำค้อนกระแทกไปทดสอบในสนามเพื่อทดสอบการใช้งานจริง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาลักษณะโครงสร้างของถนนคอนกรีตที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.2 หาความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับถนนคอนกรีต

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แบบจำลองถนนคอนกรีตขนาด 0.45×0.45 m หนา 0.20 m ซึ่งมีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตแตกต่างกัน 2 ค่า จัดทำโดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด $0.45 \times 0.45 \times 0.20$ m สำหรับทำการทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่าง และแท่งคอนกรีตทรงกระบอกขนาด $\varnothing 0.15 \times 0.30$ m จำนวน 18 แท่งสำหรับอ้างอิงกำลังรับแรงอัดของแบบจำลองถนนคอนกรีต

3.2 ชั้นพื้นถนน (Base course) จำลอง โดยวัสดุรองพื้นคอนกรีตจะเป็น ทราย หินคลุก และคอนกรีต

3.3 ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ ชนิด Schmidt's

rebound hammer แบบ N มีพลังงานในการกระแทก (Impact energy) ต่อครั้งเท่ากับ 0.225 m.kg สามารถตรวจสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้ระหว่าง 100-600 ksc. ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Schmidt's rebound hammer แบบ N

3.4 Universal testing machine สำหรับการทดสอบ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่ใช้อ้างอิง กำลังรับแรงอัดของแบบจำลองถนนคอนกรีต

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นเรื่องการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destruction Examination) โดยค้อนกระแทกแบบสมิทท์ ทำการทดสอบกับคอนกรีตที่มีลักษณะคล้ายกับถนนคอนกรีตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สำหรับนำไปใช้ในการหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีต ในการทดสอบจะนำค้อนกระแทกแบบสมิทท์ไปทดสอบเพื่อหาค่าการสะท้อนกับแบบจำลองถนนคอนกรีต โดยจำลองสภาพถนนคอนกรีตด้วยแผ่นคอนกรีตขนาด 0.45×0.45 m มีความหนา 0.20 m บนวัสดุรองพื้น 3 ชนิดคือ ทราย หินคลุก และคอนกรีต โดยจะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของค้อนกระแทกแบบสมิทท์กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสำหรับโครงสร้างแบบถนนคอนกรีต สำหรับอายุคอนกรีตที่ 28 วัน 60 วัน และ 90 วัน โดยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine กับ

แท่งคอนกรีตอ้างอิง ϕ 0.15 $\times$ 0.30 m แล้วทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนของค้อนกระแทกแบบสมิทท์กับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเช่น วัสดุที่รองแผ่นคอนกรีตและอายุคอนกรีต และนำไปทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีตในสนามเพื่อประเมินการใช้งานจริง

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เพื่อเป็นการจำลองแผ่นพื้นถนนคอนกรีตได้ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตดังนี้

1) ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด $0.45 \times 0.45 \times 0.20$ m สำหรับการทดสอบจำนวน 2 ตัวอย่างโดยใช้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัด 2 ค่าซึ่งทำการออกแบบส่วนผสมไว้สำหรับกำลังอัด 280 ksc และ 380 ksc ขณะทำการหล่อตัวอย่างแบบจำลองได้ทำการหล่อแท่งคอนกรีตอ้างอิงขนาด ϕ 0.15 $\times$ 0.30 m ด้วยคอนกรีตที่ใช้ทำตัวอย่างแผ่นพื้นถนนคอนกรีตจำนวน 9 แท่งต่อหนึ่งแบบจำลองถนนรวมเป็น 18 แท่ง

2) นำตัวอย่างแผ่นพื้นถนนคอนกรีตและแท่งคอนกรีตอ้างอิงทั้งหมดบ่มด้วยน้ำ เป็นเวลา 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองถนนคอนกรีตและแท่งคอนกรีตทรงกระบอกสำหรับอ้างอิงกำลังรับแรงอัด

3) เมื่อครบเวลา 28 วัน นำตัวอย่างแผ่นพื้นถนนคอนกรีตและแท่งคอนกรีตอ้างอิงทั้งหมดขึ้นจากน้ำและบ่มในอากาศจนถึงวันที่ทดสอบโดยจะทำการทดสอบหาค่าการสะท้อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน 60 วัน และ 90 วัน

การเตรียมชั้นพื้นทางของถนนจำลอง

การจำลองโครงสร้างชั้นพื้นทางของถนนมีการเตรียมการดังนี้

1) จัดเตรียมบริเวณที่จะทำการทำถนนจำลอง ขนาด 0.50×0.50 m

2) ขุดดินให้ได้ความลึก 0.40 m กำจัดวัชพืชออกให้หมดให้เหลือเพียงชั้นดิน ทำการบดอัดชั้นดินเดิมให้ได้ความแน่นไม่ต่ำกว่า 95 % Standard proctor density

3) นำพลาสติกมาปูพื้นเพื่อไม่ให้ความชื้นเข้ามาในชั้นดินที่บดอัด

4) ทำการปูพื้นชั้นแรกด้วยทรายโดยให้ความหนา 0.10 m ทำการบดอัดให้ทรายแน่น

5) ต่อมาปูด้วยหินคลุกให้ได้ความหนา 0.30 m และทำการบดอัดให้มีความแน่นไม่ต่ำกว่า 95 % Modified proctor density

6) ถ้าต้องทดสอบบนทรายจะนำทรายมาปูในชั้นบนหินคลุกและบดอัดแน่นเพื่อรอทำการทดสอบต่อไป

7) นำพลาสติกมาปิดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย

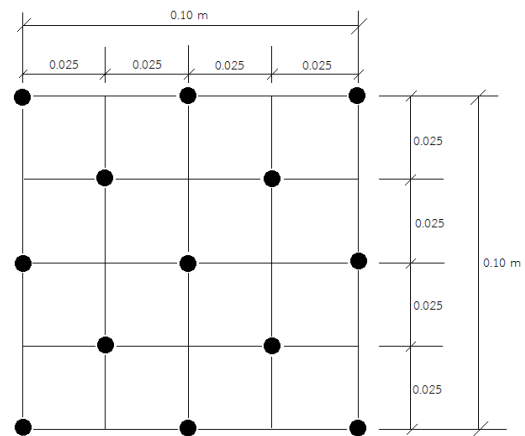
การทดสอบ

1) การทดสอบโดยใช้คอนกรีตแบบสมิทท์ เมื่อถึงระยะเวลาของการทดสอบที่กำหนด ดำเนินการดังนี้

1.1) นำตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่บ่มได้อายุตามกำหนด ขนาด $0.45 \times 0.45 \times 0.20$ m จำนวน 2 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบโดยใช้หินขัด (Abrasive stone) ทำการขีดผิวบริเวณที่จะทดสอบให้เรียบร้อย

1.2) นำตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่ทำการขีดผิวเรียบร้อยแล้ว มากำหนดจุดที่จะใช้คอน

กรีตแบบสมิทท์ กดกรแท่งทดสอบ โดย 1 จุดทดสอบจะทำการกดกรแท่งคอนกรีตในพื้นที่ 0.10×0.10 m โดยทำการยิง 13 ครั้งและแต่ละครั้งห่างกันไม่น้อยกว่า 0.025 m ตามจุดที่กำหนดตามรูปที่ 3 ค่าการสะท้อนที่ใช้ในการแปลความเป็นกำลังรับแรงอัดจะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนที่ทดสอบอย่างน้อย 10 จุด หากค่าการสะท้อนใดมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 6 ให้ตัดออกและเฉลี่ยค่าที่เหลือใหม่ หากมีค่าตั้งแต่สามค่าขึ้นไปที่ต่างจากค่าเฉลี่ยเกิน 6 ต้องทำการทดสอบค่าชุดใหม่



รูปที่ 3 ตำแหน่งการกดกรแท่งทดสอบ

1.3) ทดสอบหาค่าการสะท้อนโดยนำตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีตวางลงบนพื้นทราย ทำการทดสอบในแนวตั้งแบบยิงลงตามจุดที่กำหนดไว้ แล้วนำตัวอย่างคอนกรีตไปวางบนพื้นหินคลุกและพื้นคอนกรีต โดยทำการทดสอบเหมือนการวางบนพื้นทราย

1.4) นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

2) การทดสอบหาลังรับแรงอัดของคอนกรีต

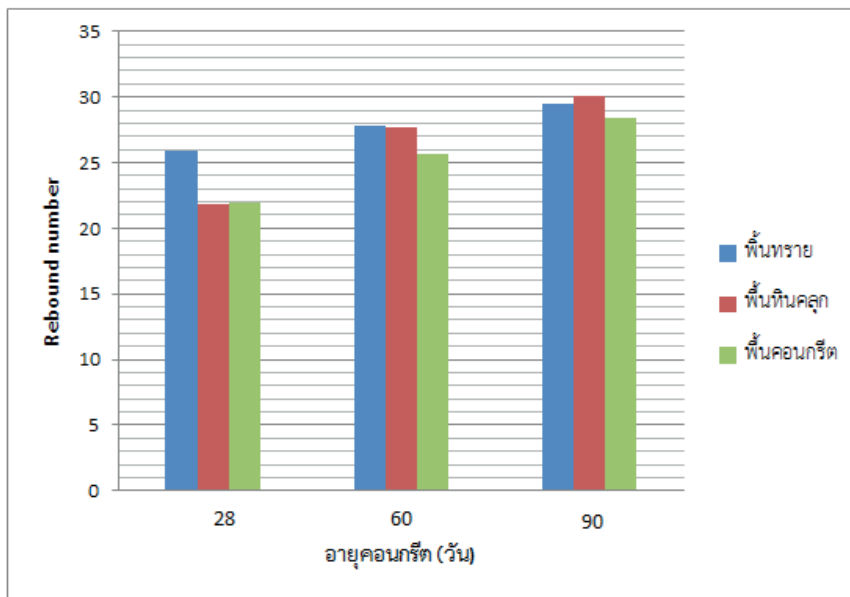
2.1) นำแท่งคอนกรีต $\varnothing 0.15 \times 0.30$ m ที่ใช้อ้างอิงกำลังคอนกรีตของตัวอย่างแผ่นพื้นที่ทดสอบการกระแทกแล้วมาเข้าเครื่องกดคอนกรีต (UTM) เพื่อทดสอบหาลังรับแรงอัดประลัย

2.2) นำผลการทดสอบที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

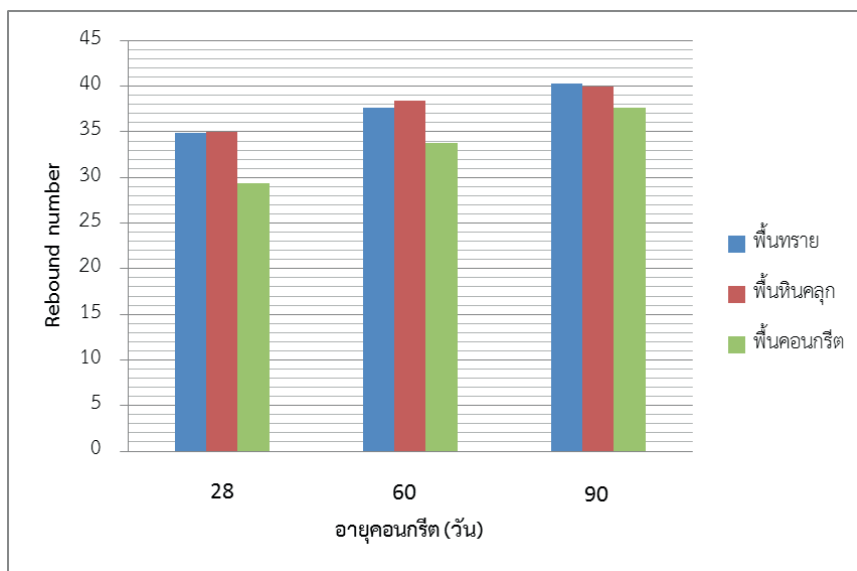
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลของวัสดุที่ใช้รองพื้นคอนกรีตและอายุของคอนกรีตต่อค่าการสะท้อน

ผลการทดสอบค่าการสะท้อนของค้อนกระแทกแบบสมิทท์กับตัวอย่างแผ่นพื้นคอนกรีต ที่มีขนาด $0.45 \times 0.45 \times 0.20$ m จำนวน 2 ค่าความแข็งแรงของคอนกรีตบนรองพื้นที่แตกต่างกันคือ พื้นทราย พื้นหินคลุก พื้นคอนกรีต ที่อายุคอนกรีต 28, 60 และ 90 วัน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5



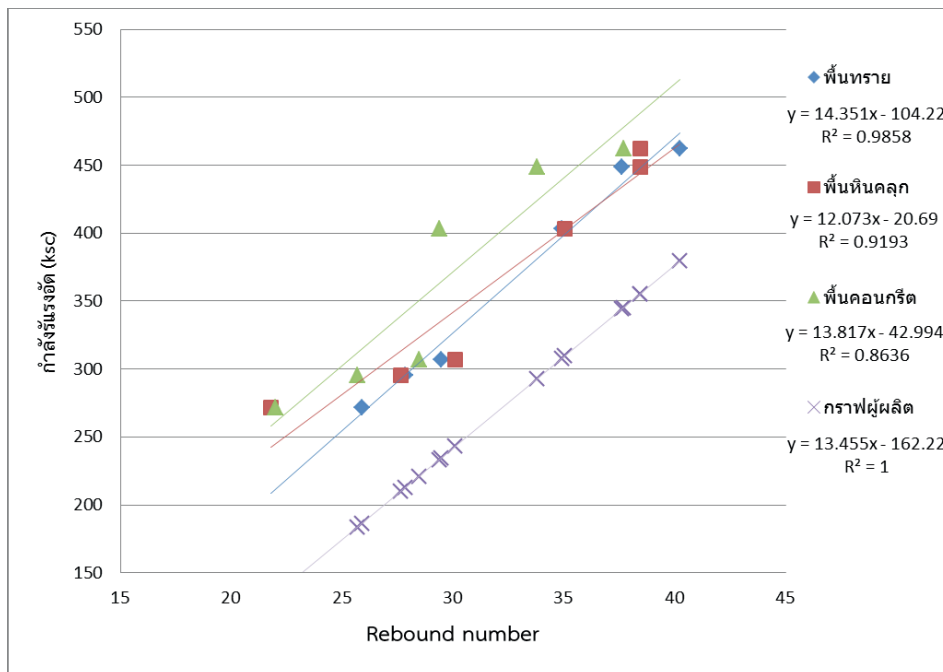
รูปที่ 4 ค่าการสะท้อน (Rebound number) ของการทดสอบที่ 28, 60 และ 90 วันสำหรับคอนกรีตกำลังอัด 280 ksc



รูปที่ 5 ค่าการสะท้อน (Rebound number) ของการทดสอบที่ 28, 60 และ 90 วันสำหรับคอนกรีตกำลังอัด 380 ksc

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าวัสดุที่ใช้รองพื้นแบบจำลองถนนคอนกรีตต่างกันมีผลต่อค่าการสะท้อน ที่อายุคอนกรีต 28 วัน วัสดุที่รองพื้นเป็นทรายจะมีค่าการสะท้อนสูงกว่ารองพื้นหินคลุกและคอนกรีต เมื่ออายุคอนกรีตเพิ่มขึ้นค่าการสะท้อนของวัสดุรองพื้นด้วยทรายและหินคลุกจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยรองพื้นเป็นคอนกรีตจะมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้ ค่าการสะท้อนจะมีค่าสูงขึ้นตามอายุของคอนกรีตในทุกวัสดุรองพื้น แต่เมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นค่าการสะท้อนของรองพื้นด้วยทรายและหินคลุกจะมีค่าใกล้เคียงกันส่วนรองพื้นคอนกรีตจะมีค่าต่ำสุดในทุกอายุของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นผลของวัสดุรองพื้นที่เป็นทรายและหินคลุกต่อค่าการสะท้อนจะลดลง

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อน และกำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อน (Rebound number) และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เมื่อนำค่าการสะท้อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมาหาความสัมพันธ์ จะได้ความสัมพันธ์สำหรับวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันและความสัมพันธ์เมื่อใช้กราฟความสัมพันธ์ของผู้ผลิตดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตน้อยกว่า 400 ksc หรือค่าการสะท้อนน้อยกว่า 35 วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าการสะท้อน เมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมากกว่า 400 ksc หรือค่าการสะท้อนมากกว่า 35 ผลของวัสดุรองพื้นที่เป็นทรายและหินคลุกจะมีน้อยลงจนได้ค่าการสะท้อนที่ใกล้เคียงกัน ส่วนวัสดุรองพื้นเป็นคอนกรีตจะมีค่าต่างจากวัสดุรองพื้นอื่นๆ ในทุกกำลังอัด และเมื่อเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ที่ได้จากผู้ผลิตจะพบว่ามีค่าแตกต่างกันในทุกวัสดุรองพื้น โดยค่ากำลังรับแรงอัดที่แปลความจากความสัมพันธ์จากผู้ผลิตจะมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5.3 การทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีต

ค้อนกระแทกแบบสมิตที่ได้นำไปทดสอบในสนามเพื่อประเมินการใช้งาน โดยได้นำไปทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของถนนคอนกรีตที่ถนนหลังห้างเดอะมอลล์ ในเขตเทศบาลนคร นครราชสีมา ซึ่งเป็นถนนคอนกรีตหนา

0.20 m ยาว 750 m รองพื้นถนนด้วยทราย มีอายุใช้งาน 3 ปี การทดสอบดำเนินการโดยทำการกดกระแทกถนนคอนกรีตด้วยค้อนกระแทกแบบสมิทท์ทุกๆ 25 m ตลอดความยาวถนนจำนวน 30 จุด แล้วทำการแปลความจากค่าการสะท้อนมาเป็นกำลังรับแรงอัดโดยใช้ความสัมพันธ์สำหรับรองพื้นด้วยทรายและด้วยกราฟความสัมพันธ์จากผู้ผลิตในรูปที่ 6 ได้กำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตตามที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ถนนหลังทางเดอะมอลล์

จุดที่	ค่าการสะท้อนเฉลี่ย	ความสัมพันธ์	
		แบบจำลอง	ผู้ผลิต
		กำลังรับแรงอัด ksc	กำลังรับแรงอัด ksc
1	26	264	183
2	25	253	173
3	29	306	223
4	35	404	314
5	30	329	244
6	29	315	231
7	30	326	241
8	32	359	272
9	31	346	260
10	33	364	277
11	32	355	268
12	32	353	266
13	29	313	229
14	32	355	268
15	29	311	227

จุดที่	ค่าการสะท้อนเฉลี่ย	ความสัมพันธ์	
		แบบจำลอง	ผู้ผลิต
		กำลังรับแรงอัด ksc	กำลังรับแรงอัด ksc
16	29	315	231
17	30	324	239
18	29	315	231
19	28	300	217
20	30	320	235
21	29	313	229
22	29	313	229
23	30	324	239
24	29	315	231
25	30	324	239
26	30	331	246
27	30	322	237
28	29	315	231
29	30	326	241
30	29	313	229

จากการทดสอบในสนามพบว่าค้อนกระแทกแบบสมิทท์สามารถใช้ทำการทดสอบได้เป็นอย่างดี ผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนด มยพ. 1502-51 ทุกจุดสามารถใช้ผลการทดสอบในครั้งแรกได้โดยไม่มีจุดใดต้องทำการทดสอบซ้ำและทำการทดสอบเสร็จใน 1 วันและทราบผลทันที โดยกำลังรับแรงอัดของถนนคอนกรีตที่แปลความตามความสัมพันธ์จากแบบจำลองมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 324 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) 28 ksc ส่วนกำลังรับแรงอัดแปลความตามความสัมพันธ์จากกราฟความสัมพันธ์ของผู้ผลิตจะมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 239 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) 26 ksc ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นการแปลความค่าการสะท้อนมาเป็นกำลังอัดคอนกรีตของค้อนกระแทกแบบสมิทท์ต้องกระทำอย่างระมัดระวัง ควรทำการสอบเทียบ (Calibration) หรือใช้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับสภาพที่ทำการทดสอบให้มากที่สุด

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อใช้ค้อนกระแทกแบบสมิทท์ในการหาลำไส้รับแรงอัดของถนนคอนกรีต วัสดุที่ใช้รองพื้นคอนกรีตมีผลต่อค่าการสะท้อนโดยจะมีผลมากเมื่อค่าการสะท้อนมีค่าน้อยกว่า 35 หรือมีกำลังอัดคอนกรีตน้อยกว่า 400 ksc และเมื่อค่าการสะท้อนมากกว่า 35 หรือมีกำลังอัดคอนกรีตมากกว่า 400 ksc จะมีผลน้อยลงเมื่อวัสดุรองพื้นเป็นทรายและหินคลุก

ค้อนกระแทกแบบสมิทท์สามารถนำไปใช้ในสนามได้เป็นอย่างดี ใช้งานง่าย รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายน้อย แต่การแปลความต้องการกระทำอย่างระมัดระวังควรแปลความจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง

7. ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบนี้กระทำกับความหนาของแผ่นคอนกรีตค่าเดียวและใช้แท่งคอนกรีตควบคุมสำหรับหาลำไส้อัด ดังนั้นผลของความหนาของถนนคอนกรีตต่อค่าการสะท้อน และกำลังรับแรงอัดของแผ่นคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดจากตัวอย่างคอนกรีตในแผ่นคอนกรีตที่ได้ทำการก่อกกระแทกควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัวงษ์ชวลิตกุล ที่สนับสนุนอุปกรณ์ สถานที่และบุคลากรในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มยผ. 1502-51 มาตราฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีหาค่าความแข็งแรงของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Rebound hammer) (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
2. ศุภชัย สีนถาวร. (2553). การประเมินกำลังของคอนกรีตด้วยรีบา운드แฮมเมอร์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 5(2), 43-49.
3. Brencich, A., Cassini, G., Pera, D., & Riotto, G. (2013). Calibration and reliability of the rebound (Schmidt) hammer test. *Civil Engineering and Architecture*, 1(3), 66-78.
4. Gupta, P. K., Gupta, N., & Singh, A. (2015). Case study of strength evaluation of structural concrete using rebound hammer test. *The Indian Concrete Journal*, 89(8), 73-82.
5. Konapure, C. G., & Richardrobin, J. J. (2015). Relationship between Non-destructive Testing of Rebound Hammer and Destructive Testing. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(4), 2709 – 2712.
6. Parmar, N., Vatukiya, A., Zala, M., & Gohil, G. (2017). Non-destructive Testing by Rebound Hammer Method. *International Journal for Research Trends and Innovation*, 2(4), 120 – 123.
7. Sinthaworn, S. (2017). Investigation of the Rebound Number and Compressive Strength of Concrete with Quarry Dust as Fine Aggregate. *MATEC Web of Conferences* 130, 04003 (2017), 1-3, doi: 10.1051/mateconf/201713004003.

การศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็มโดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการของดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูง

A Study of Pile Capacity Behavior Using Laboratory Cone Penetration Test on Cemented Loose Sands

อนุชิต อุชายภิชาติ, Ph.D.¹

บทคัดย่อ

แนวคิดของงานวิจัยนี้คือการสร้างชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใต้ดิน โดยปรับเปลี่ยนแอ่งน้ำให้เป็นชั้นน้ำใต้ดินที่สร้างจากดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูง นอกจากนี้พื้นที่เหนือบริเวณชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมของดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูง โครงการวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาพฤติกรรมรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มบนชั้นดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูงทั้งในสภาพแห้งและสภาพแช่น้ำ โดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูงที่อายุการบ่ม 28 วัน ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้คือร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยมวลแห้ง จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังต้านที่ปลายหัวกรวยและค่าแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดินแปรผันตรงกับปริมาณซีเมนต์ อย่างไรก็ตามค่าทั้งสองดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อตัวอย่างผ่านกระบวนการแช่น้ำ

คำสำคัญ: ดินทรายซีเมนต์หลวม, ชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์, การทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย

Abstract

The concept in construction of artificial aquifer using water pond has been introduced to store water below the ground surface. The cemented loose sand is used as artificial aquifer layer. Thus, its behaviors need to be investigated and clarified. In this study, a series of laboratory cone penetration tests was performed on cemented loose sand samples to investigate the variation in cone tip resistance and shaft resistance with cement content. The tests were conducted under both unsoaked and soaked conditions. The loose cemented samples with porosity of 0.5 were prepared and cured for 28 days before testing. The cement content used in this study was 5, 10 and 15 percent. The test results showed that both cone tip resistance and shaft resistance were increased with increasing cement content and was decreased upon soaking.

Keywords: cemented loose sand, artificial aquifer, cone penetration test

¹รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

E-mail: anuchit_uch@vu.ac.th

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยโบราณกาล มนุษย์ได้ใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค รวมทั้งด้านเกษตรกรรม นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมอีกด้วย มนุษย์จึงได้คิดวิธีการชลประทานขึ้นเพื่อให้สามารถมีน้ำใช้อย่างพอเพียงและทั่วถึงสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ อย่างไรก็ตามประชากรที่อยู่นอกเขตชลประทานจำเป็นต้องขุดสระน้ำเพื่อเก็บกักน้ำฝนไว้ใช้ประโยชน์ในการดำเนินชีวิต

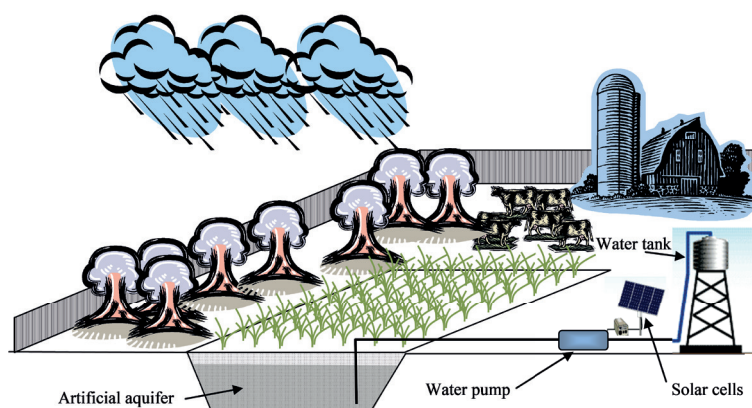
ปัญหาสำคัญของการเก็บกักน้ำในสระก็คือ ชั้นดินในบางพื้นที่ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียจากการรั่วซึม แนวทางแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพทางหนึ่งคือการปรับปรุงดินบริเวณพื้นผิวสระให้มีค่าความซึมได้ลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ตาม การระเหยของน้ำจำนวนมากในสระน้ำสู่ชั้นบรรยากาศไม่สามารถป้องกันได้ เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนและในบางแห่งมีอัตราการระเหยสูงกว่า 200 มิลลิเมตรต่อเดือน (พิศและกฤติกา, 2554) ดังนั้นการกักเก็บน้ำไว้ได้ดินจึงเป็นแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวนี โดยปรับเปลี่ยนสระน้ำให้เป็นชั้นน้ำใต้ดินที่ประดิษฐ์จากดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูง นอกจากนี้พื้นที่บนบริเวณชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1 โครงสร้างอาคารที่ก่อสร้างบนฐานรากที่วางตัวบนชั้น

ดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูงจะต้องมีความปลอดภัยฐานรากที่ใช้อาจเป็นฐานรากหยั่งดินสำหรับโครงสร้างน้ำหนักเบา หรือฐานรากหยั่งลึกเช่น เสาเข็ม สำหรับโครงสร้างน้ำหนักมาก

ที่ผ่านมาการศึกษาพฤติกรรมของดินทรายผสมซีเมนต์ในสภาพที่หลวมมีจำนวนไม่มาก Uchaipichat และ Limsiri (2011) ทดสอบการเนื่อนตรงกับตัวอย่างดินทรายหลวมผสมซีเมนต์ ความเค้นตั้งฉากที่ใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 15 ถึง 100 kPa ซึ่งสอดคล้องกับความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักโครงสร้างเบา ปริมาณซีเมนต์อยู่ระหว่างร้อยละ 0 ถึง 6 จากผลการทดสอบ พบว่าค่าความเค้นเฉือนขณะวิบัติแปรผันตรงกับความเค้นตั้งฉาก และค่ามุมเสียดทานภายในแปรผันตรงกับปริมาณซีเมนต์ อย่างไรก็ตามค่า Cohesion มีค่าเท่ากับศูนย์ ทุกตัวอย่างทดสอบ นอกจากนั้น Uchaipichat และ Limsiri (2012) ศึกษาการยุบตัวของดินทรายหลวมผสมซีเมนต์เนื่องจากน้ำหนักกดทับและการเพิ่มความชื้น ผลการทดสอบ พบว่าค่าการยุบตัวของดินทรายหลวมผสมซีเมนต์เนื่องจากน้ำหนักกดทับและการเพิ่มความชื้นลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มบนชั้นดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูงทั้งในสภาพแห้งและสภาพแช่น้ำ โดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการ (Laboratory cone penetration test)



รูปที่ 1 แนวคิดการประยุกต์ใช้ชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์ร่วมกับทฤษฎีใหม่สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดิน (อนุชิต, 2556)

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเสียดทานที่ผิวและแรงต้านที่ปลายเสาเข็มบนชั้นดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูงทั้งในสภาพแห้งและสภาพแช่น้ำโดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการ

3. ขอบเขตการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูงที่อายุการบ่ม 28 วัน ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้คือร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยมวลแห้ง

4. เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเสียดทานที่ผิวและแรงต้านที่ปลายเสาเข็มบนชั้นดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูงโดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 2 แสดงเครื่องทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วย วงแหวนวัดแรง ไดอัลเกจ แท่งทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย และเครื่องกดตัวอย่าง



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการ

วัสดุทดสอบเป็นตัวอย่างดินทรายผสมซีเมนต์ที่อยู่ในสภาพหลวม ดินทรายที่นำมาใช้ในการทดสอบได้มาจากแหล่งทรายแม่น้ำอำเภอลำพูน จังหวัดนครราชสีมา มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินทราย

ประเภทคุณสมบัติ	ค่าคุณสมบัติ
D_{10}	0.28 mm
D_{30}	0.35 mm
D_{60}	0.44 mm
C_c	0.99
C_u	1.57
$Y_{d \max}$	$16.97 \text{ kN} / \text{m}^3$
OMC	13.28 %
G_s	2.68
Soil Group	SP

5. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ทดสอบกับตัวอย่างดินทรายผสมซีเมนต์บดอัดซึ่งปริมาณความชื้นที่ใช้บดอัดคำนวณจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water to cement ratio) เท่ากับ 0.8 ซึ่งเป็นค่าที่อนุชิต (2556) แนะนำสำหรับการทำดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูง โดยมีการกำหนดให้ความหนาแน่นแห้งของทรายผสมซีเมนต์มีค่าประมาณ 12.37 kN/m^3 หรือมีความพรุนประมาณ 0.5 การเตรียมตัวอย่างใช้วิธีบดอัดแบบสถิตย์เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่มีความชื้นบดอัดและมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งตามที่ต้องการ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำตัวอย่างดินทรายผสมกับซีเมนต์เท่ากับปริมาณที่จะทดสอบ
- 2) เติมน้ำลงไปโดยใช้กระบอกตวงน้ำให้มีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นบดอัดที่ต้องการ
- 3) คลุกเคล้าให้เข้ากัน จนกระทั่งตัวอย่างมีสีสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง

4) ใส่ตัวอย่างดินลงในแบบหล่อบดอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และบดอัดดินลงในแบบหล่อบดอัดตัวอย่างให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการโดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 5 ชั้น

5) บ่มตัวอย่างในแบบหล่อบดอัดต่อให้ครบ 28 วัน โดยใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกห่อหุ้มเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

6) นำแผ่นพลาสติกที่ห่อหุ้มแบบหล่อบดอัดออกและนำตัวอย่างแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในกรณีทดสอบในสภาพแช่น้ำ

7) ติดตั้งแท่งทดสอบปลายหัวกรวยและติดตั้งไดอัลเกจบนตัวอย่างดิน พร้อมทั้งตั้งค่าศูนย์

8) กดแท่งทดสอบลงบนตัวอย่างดินด้วยอัตราเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงกดและการจมตัวของแท่งทดสอบ

6. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยสามารถวิเคราะห์ได้ดังแสดงในรูปที่ 3 แรงกดทั้งหมด (F_t) มีค่าเท่ากับ

$$F_t = F_c + F_s \quad (1)$$

โดยที่ F_c คือแรงต้านที่หัวกรวย และ F_s คือแรงเสียดทานระหว่างดินกับแท่งทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย

ค่า F_t ในสมการที่ (1) สามารถเขียนอยู่ในอีกรูปแบบได้ดังต่อไปนี้

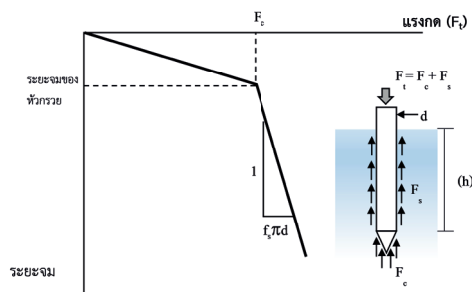
$$F_t = \sigma_c A_c + f_s A_s = \left(\frac{\sigma_c \pi d^2}{4} \right) + (f_s \pi d) h \quad (2)$$

โดยที่ σ_c คือกำลังดันที่หัวกรวย

f_s คือความเสียดทานระหว่างดินกับแท่งทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย

$A_c = \frac{\pi d^2}{4}$ คือพื้นที่หน้าตัดแท่งทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย

$A_s = \pi d h$ คือพื้นที่ผิวสัมผัสด้านข้างระหว่างดินกับแท่งทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย

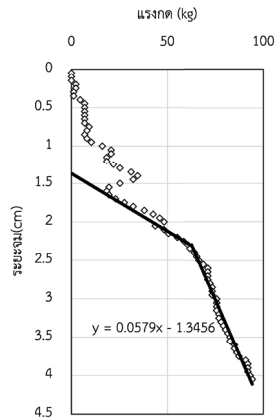


รูปที่ 3 การวิเคราะห์ผลทดสอบ

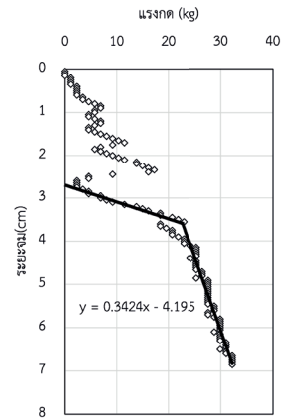
รูปที่ 4 และ 5 แสดงผลการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย (Cone penetration test) กับตัวอย่างดินทรายซีเมนต์ที่อยู่ในสภาพไม่แช่น้ำ (Unsoaked) และแช่น้ำ (Soaked) ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าแรงกดแท่งทดสอบปลายหัวกรวยมีค่าผันผวนขึ้นและลงในช่วงแรกของการกดแท่งทดสอบลงในตัวอย่าง จากการสังเกตการณ์ระหว่างการทดสอบพบว่า มีการแตกร้าวและหลุดร่อนของผิวบนและที่ระดับใกล้ผิวบนของตัวอย่าง เป็นเหตุให้กำลังดันที่หัวกรวยและแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างพัฒนาได้ไม่เต็มที่

จากกราฟผลการทดสอบ แรงดันที่ปลายหัวกรวย (f_c) พัฒนาได้เต็มที่ที่ระยะจุ่ม 1.5 ถึง 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ และที่ระยะจุ่ม 1.5 ถึง 3.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ ระยะจุ่มที่แรงดันที่ปลายหัวกรวยพัฒนาได้เต็มที่ที่มีค่าลดลงเมื่อปริมาณซีเมนต์ที่ผสมในตัวอย่างดินเพิ่มขึ้น หลังจากแรงดันที่ปลายหัวกรวยพัฒนาได้เต็มที่ แรงกดที่วัดได้ (f_t) ประกอบด้วยแรงดันที่ปลายหัวกรวย (f_c) และแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดิน (f_s) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นกับระยะจุ่ม และมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5

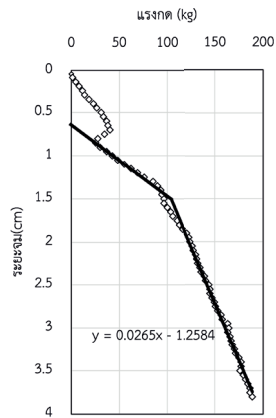
ค่ากำลังดันที่ปลายหัวกรวย (σ_c) และความเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดิน (f_s) ที่คำนวณจากสมการที่ (2) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณลดลงเมื่ออยู่ในสภาพแช่น้ำดังแสดงไว้ในตารางที่ 2



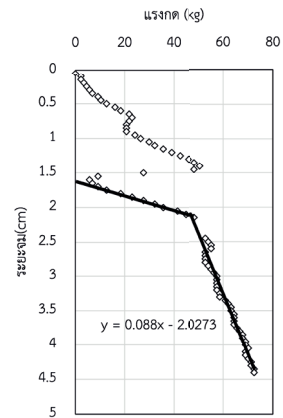
ปริมาณซีเมนต์ = 5%



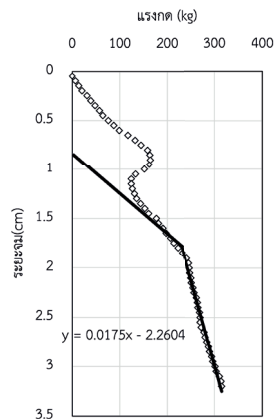
ปริมาณซีเมนต์ = 5%



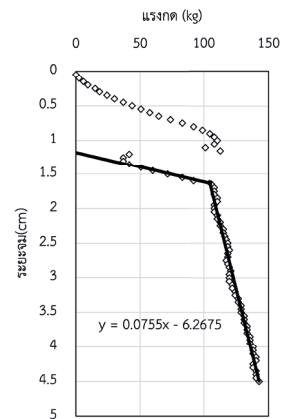
ปริมาณซีเมนต์ = 10%



ปริมาณซีเมนต์ = 10%



ปริมาณซีเมนต์ = 10%



ปริมาณซีเมนต์ = 15%

รูปที่ 4 ผลทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยกับตัวอย่าง
ดินทรายซีเมนต์ในสภาพไม่แช่น้ำ

รูปที่ 5 ผลทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยกับตัวอย่าง
ดินทรายซีเมนต์ในสภาพแช่น้ำ

ตารางที่ 2 กำลังต้านที่ปลายหัวกรวยและความเสียหายระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดินปริมาณซีเมนต์

ปริมาณซีเมนต์ (%)	σ_c (ksc)		f_s (ksc)	
	ไม่แช่น้ำ	แช่น้ำ	ไม่แช่น้ำ	แช่น้ำ
5	82.0	29.3	5.5	0.9
10	140.6	61.5	12.0	3.6
15	296.2	134.7	18.2	4.2

7. สรุปผลการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเสียดทานที่ผิวและแรงต้านที่ปลายเสาเข็มบนชั้นดินทรายผสมซีเมนต์ที่มีความพรุนสูงทั้งในสภาพแห้งและสภาพแช่น้ำ โดยการทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวยในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างดินซีเมนต์ความพรุนประมาณ 0.5 ที่เตรียมไว้ในแบบหล่อปิดอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่อายุการบ่ม 28 วัน การทดสอบกระทำในทั้งสภาพไม่แช่น้ำ (Unsoaked Condition) และในสภาพแช่น้ำ (Soaked Condition) จากการศึกษาพบว่า

1) ค่าแรงกดแท่งทดสอบปลายหัวกรวยมีค่าผันผวนในช่วงแรกของการกดแท่งทดสอบลงในตัวอย่างแรงต้านที่ปลายหัวกรวยพัฒนาได้เต็มที่ที่ระยะจม 1.5 ถึง 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ และที่ระยะจม 1.5 ถึง 3.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ

2) แรงกดที่วัดได้ประกอบด้วยแรงต้านที่ปลายหัวกรวยและแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับ

ตัวอย่างดินมีค่าเพิ่มขึ้นกับระยะจมและมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง

3) สำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ค่ากำลังต้านที่ปลายหัวกรวยที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าเท่ากับ 82.0, 140.6 และ 296.2 ksc ตามลำดับ และแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับ 5.5, 12.0 และ 18.2 ksc ตามลำดับ

4) สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ ค่ากำลังต้านที่ปลายหัวกรวยที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าเท่ากับ 29.3, 61.5 และ 134.7 ksc ตามลำดับ และแรงเสียดทานระหว่างผิวแท่งทดสอบกับตัวอย่างดินมีค่าเท่ากับ 0.9, 3.6 และ 4.2 ksc ตามลำดับ

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

เอกสารอ้างอิง

1. Uchaipichat, A., & Limsiri, C. (2011). Shear strength characteristics of cemented loose sand. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(10), 771-776.
2. Uchaipichat, A., & Limsiri, C. (2012). Compressibility and collapse potential upon wetting of cemented loose sands. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(3), 319-323.
3. พิศ คงบริรักษ์, และ กฤติกา สืบศักดิ์. (2554). การระเหยของน้ำในประเทศไทยคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2544-2553). *เอกสารผลงานวิชาการ อุดุณิยมหาวิทยาลัย*. กรุงเทพฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา, กระทรวงเทคโนโลยีและการสื่อสาร, 30-38.
4. อนุชิต อุชายภิชาติ. (2556). รายงานการวิจัยคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของดินทรายผสมซีเมนต์ความพรุนสูงเพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับชั้นน้ำใต้ดินประดิษฐ์. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านผักตบชวาและธูปฤๅษี

The Roughness Coefficient of Flows through the Water Hyacinths And the Cattails

ธีรพงษ์ เปี้ยจันทิก, วศ.บ.¹

ธนบดี เล็งไธสง, วศ.บ.²

ประยงค์ กิริติอุไร, วศ.ด.³

บทคัดย่อ

ผักตบชวาและธูปฤๅษีสร้างปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำ ทำให้น้ำท่วมและซ้ำเติมแหล่งน้ำเกิดน้ำเสีย อีกทั้งแหล่งน้ำต้นเงิน ซึ่งปัญหาทั้งหลายส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านผักตบชวาและธูปฤๅษี และวิเคราะห์อัตราการไหลผ่านที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณของพืชในแนวยาวของรางน้ำตั้งแต่ 1-5 เมตร รูปแบบที่ใช้ในการศึกษามี 3 ลักษณะคือ รางน้ำเปิดแบบไม่มีพืช รางน้ำเปิดแบบใส่ผักตบชวาและธูปฤๅษี ผลการศึกษาพบว่าผักตบชวาและธูปฤๅษีจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.014 - 0.016 และ 0.028 - 0.032 ตามลำดับ และยังพบอีกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแนวยาวของปริมาณพืช โดยธูปฤๅษีมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลมากกว่าผักตบชวา และพบว่าธูปฤๅษีมีผลกระทบในการกีดขวางการไหลของน้ำมากกว่าผักตบชวา และการไหลผ่านพืชทั้งสองประเภทที่ทำการศึกษานี้มีค่าอัตราการไหลน้อยกว่าการไหลผ่านรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืช

คำสำคัญ: ผักตบชวา, ธูปฤๅษี, ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ

Abstract

The water hyacinths and the cattails create many problems with drainage. They can cause flooding, wastewater, and shallowing of water. These problems have great impact on the environment. The objectives of this research were to evaluate the roughness coefficients (n) of flows through the water hyacinths and the cattails. The flow rates were analyzed in terms of the amount of plants in the longitudinal of the waterway from 1-5 meters. There were 3 types of testing conditions; they were waterway 1) without plants, 2) with the water hyacinths, and 3) with cattails. This study found that the water hyacinths and the cattails had the roughness coefficients of flow in the range of 0.014 - 0.016 and 0.028 - 0.032, respectively. This study also found that the coefficients of roughness of the flow through the plants were likely to increase along the length of the plants. The roughness coefficient of flow of the cattails had a higher tendency to increase more than the water hyacinths. This study also showed that the cattails could impede the flow of the water more than the water hyacinths. In comparison, water flow rates through open channel without plant were higher than those with plants.

Keywords: water hyacinth, cattail, roughness coefficient

¹วิศวกร

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ศศิธารา กรู๊ป

²วิศวกร

การประปาส่วนภูมิภาค สาขาท่าเรือ

³อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ผู้เขียนหลัก (Corresponding author), E-mail: prayong_kee@vu.ac.th

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการขยายตัวของแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยริมแม่น้ำ ลำคลองมากขึ้น ส่งผลให้มีการปล่อยน้ำเสียลงในแหล่งน้ำธรรมชาติมากขึ้นตามไปด้วย องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปะปนอยู่ในน้ำเสียด้วยเสมอ โดยที่ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารของพืชน้ำ เมื่อพืชน้ำได้รับสารอาหารดังกล่าวก็จะเจริญเติบโต กีดขวางการไหลของน้ำในลำน้ำ อีกทั้งจากผลกระทบของภาวะโลกร้อน ทำให้น้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น พืชน้ำจึงเจริญเติบโตมากขึ้น (ประยงค์, 2559) โดยทั่วไปประเทศไทยมักพบผักตบชวาและรูดากิในลำน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งเมื่อพืชดังกล่าวเจริญเติบโตและขยายพันธุ์กีดขวางการไหลของน้ำในลำน้ำก็จะส่งผลทำให้อัตราการไหลของน้ำในลำน้ำลดลง และกีดขวางการระบายน้ำของประตูน้ำ จึงทำให้เกิดน้ำท่วม และซ้ำเติมแหล่งน้ำทำให้เกิดน้ำเสีย



รูปที่ 1 ผักตบชวา เป็นที่พบและสร้างปัญหามาก
ที่มา : <https://www.samunpri.com/ผักตบชวา>



รูปที่ 2 รูดากิ เป็นพืชที่พบบ่อย
ที่มา : http://www.biogang.net/product_view.php

การไหลในทางน้ำเปิดคือการไหลของน้ำไปตามทางน้ำโดยมีผิวอิสระสัมผัสกับอากาศด้านบน การไหลจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของความดันบรรยากาศโดยรอบ รูปร่างของรูปตัดขวางของทางน้ำ ความลาดเทของท้องทางน้ำซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพพื้นที่ และแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งการไหลในลักษณะนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไป เช่น การไหลในแม่น้ำ ลำคลอง การไหลในคลองส่งน้ำ หรือรางระบายน้ำ เป็นต้น (กิริติ, 2537)

กิริติ (2537) กล่าวว่า Robert Manning ได้พัฒนาสมการของ Chezy โดยนำผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและข้อมูลในภาคสนามมาวิเคราะห์ อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิดพบว่า

$$\text{สำหรับระบบ SI} \quad Q = \frac{1}{n} * A * (R)^{\frac{2}{3}} * (S)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

โดยที่ n คือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง ซึ่งมีลักษณะเป็นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานชนิดหนึ่ง โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของทางน้ำและความหยาบของพื้นผิวทางน้ำ

S คือความลาดชันของท้องทางน้ำ

R คือรัศมีชลศาสตร์ เป็นตัวแปรที่สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดการไหลต่อความยาวเส้นขอบด้านสัมผัสกับทางน้ำ

$$R = \frac{A}{P} \quad (2)$$

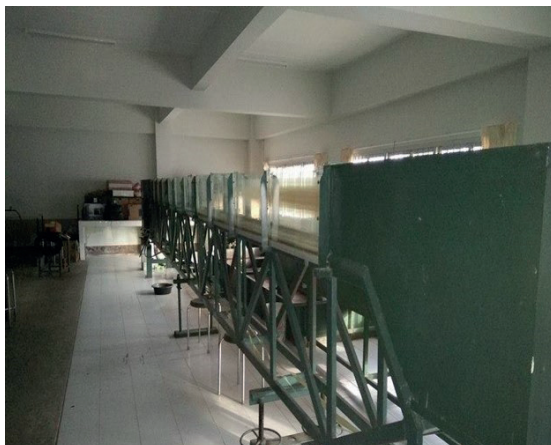
ดังนั้นจากปัญหาที่กล่าวมาในตอนต้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านผักตบชวาและรูดากิ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการสภาพการไหลของน้ำ ลดปัญหาการเกิดอุทกภัยจากความสามารถในการระบายน้ำของลำน้ำ หรือลดเวลาของน้ำที่รอการระบายให้สั้นลงได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในรางน้ำเปิดที่น้ำไหลผ่าน พืชลอยน้ำและพืชยึดติดกับที่

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและขอบเขตการศึกษา

1) เป็นการศึกษาโดยใช้รางน้ำเปิดจำลองที่ขนาดความกว้าง 0.30 เมตร ยาว 8.00 เมตร และสูง 0.30 เมตร ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ดังรูปที่ 3



(a) รางน้ำเปิดที่ใช้ทำการศึกษ



(b) การวัดอัตราการไหลโดยการตวงปริมาตรเทียบกับเวลา

รูปที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

2) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการไหล และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่แปรเปลี่ยนตามปริมาณของพืชในแนวยาวของรางน้ำ ทั้ง 2 ประเภท ตั้งแต่ 1-5 เมตร ตามลำดับ

3) กำหนดให้ผักตบชวาและรูดุลาซีมีความสูงเท่ากับความสูงของรางน้ำเปิดที่ทำการศึกษา

4) ความหนาแน่นของพืชทั้ง 2 ประเภทให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติ ในสภาวะที่มีความหนาแน่นมากที่สุด และน้ำสามารถไหลผ่านได้ โดยในทุกๆ 1 ตารางเซนติเมตร จะมีพืช 1 กอ

5) รูปแบบที่ใช้ในการศึกษามี 3 ลักษณะคือ รางน้ำเปิดแบบไม่ใส่พืช รางน้ำเปิดแบบใส่ผักตบชวาที่ผิวหน้า และรางน้ำเปิดแบบใส่รูดุลาซีที่พื้นรางน้ำ

6) ปรับชุดรางทดลองให้มีความลาดชันต่ำสุดคงที่ตลอดการศึกษา โดยน้ำต้องสามารถไหลผ่านพืชที่ทำการศึกษาได้ ตามแนวยาวของปริมาณพืชทั้ง 2 ประเภทที่กำหนด

7) กำหนดความลึกของน้ำในรางน้ำบริเวณต้นราง ก่อนไหลผ่านพืชที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 3 ลักษณะ ลักษณะละ 4 ค่า โดยมีค่าความลึกเท่ากับ 0.253 เมตร 0.224 เมตร 0.2 เมตร และ 0.173 เมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความลึกของน้ำที่กำหนดขึ้นมานี้อยู่บนข้อจำกัดของการศึกษาคือที่ความลึกของน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.253 เมตร ในรางน้ำบริเวณต้นรางก่อนไหลผ่านพืช โดยน้ำต้องไม่ไหลล้นรางน้ำของการไหลผ่านพืชที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ลักษณะตามแนวยาวของปริมาณพืชที่ 5 เมตร เมื่อน้ำไหลปะทะกับต้นพืช และในขณะที่ความลึกต่ำสุดของน้ำเท่ากับ 0.173 เมตร ในรางน้ำบริเวณต้นรางก่อนไหลผ่านพืช น้ำต้องสามารถไหลผ่านพืชที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ลักษณะตามแนวยาวของปริมาณพืช 5 เมตรได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระด้วยกราฟของการไหลของน้ำผ่านผักตบชวาและรูปภาชนะ ตามปริมาณของพืชในแนวยาวของรางน้ำที่ใช้ทดสอบได้แก่ 1 เมตร 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ รวมทั้งรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืช ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมหรือเปรียบเทียบ

4.2 การเตรียมตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้ผักตบชวาเป็นตัวแทนของพืชประเภทลอยน้ำ ในขณะที่พืชประเภทยึดติดกับที่ใช้รูปภาชนะเป็นตัวแทน โดยกำหนดความหนาแน่นของพืชทั้งผักตบชวาและรูปภาชนะคือ 1 ตารางเซนติเมตร จะมีพืช 1 กอ โดยติดตั้งแปลงรูปภาชนะที่พื้นรางน้ำจำลอง และแปลงผักตบชวาที่ผิวน้ำของรางน้ำจำลอง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงระดับขึ้นหรือลงได้ตามความสูงของระดับน้ำ โดยมีแนวความยาวของปริมาณพืชที่ใช้ในการศึกษาคือ ยาว 1 เมตร 2 เมตร 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ใช้สมการแมนนิ่งประกอบการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และแนวยาวของปริมาณพืชทั้ง 2 ชนิดใน 2 ลักษณะที่ทำการศึกษาเทียบกับอัตราการไหลในรางน้ำที่ไม่มีพืช นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ และแนวยาวของปริมาณพืชทั้ง 2 ชนิด ใน 2 ลักษณะที่ทำการศึกษาเทียบกับอัตราการไหลในรางน้ำที่ไม่มีพืช

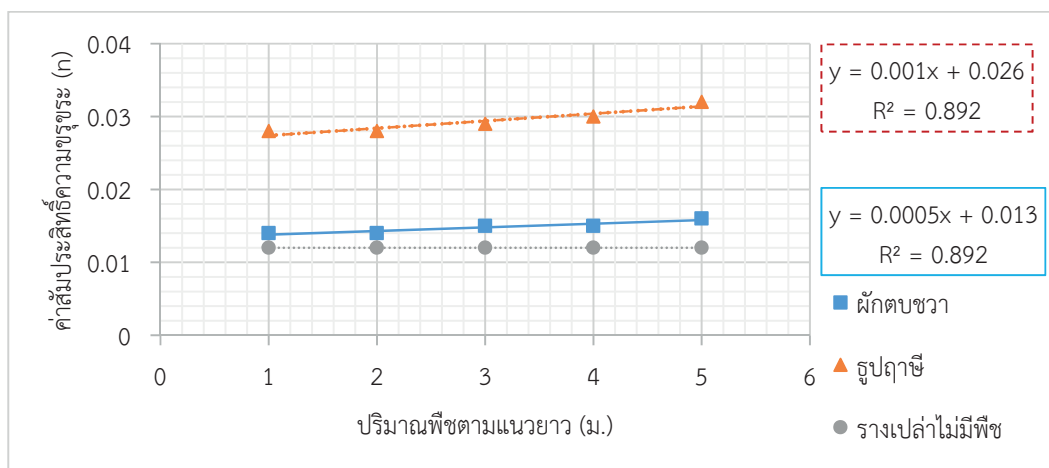
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านผักตบชวาและรูปภาชนะในรางน้ำเปิดเทียบกับรางเปล่าที่ไม่มีพืช โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านพืชและรางเปล่านี้จะวิเคราะห์จากความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ และ Q ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1 ผักตบชวาจะมี

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.014 - 0.016 จากการไหลผ่านปริมาณพืชตามแนวยาวตั้งแต่ 1 - 5 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่รูปภาชนะจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.028 - 0.032 จากการไหลผ่านปริมาณพืชตามแนวยาวตามลำดับ ซึ่งการไหลผ่านพืชทั้งสองประเภทที่ทำการศึกษานี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระสูงกว่าการไหลผ่านรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืช โดยพื้นรางน้ำที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นไม้อัด ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ความขรุขระของการไหลผ่านเท่ากับ 0.012 นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังได้ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพืชกับปริมาณพืชตามแนวยาว (ม.) เทียบกับรางน้ำที่ไม่มีพืช พบว่าผักตบชวาและรูปภาชนะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพืชกับปริมาณพืชตามแนวยาว (ม.) ดังสมการ $y = 0.0005x + 0.0133$ ที่ $R^2 = 0.8929$ และ $y = 0.001x + 0.0264$ ที่ $R^2 = 0.8929$ ตามลำดับ โดยรูปภาชนะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านมากกว่าผักตบชวา ในทุกปริมาณพืชตามแนวยาว ดังที่แสดงผลการศึกษาไว้ในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพีชเทียบกับรางที่ไม่มีพีช

ปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)		
	ผักตบชวา	รูปถาชี	รางเปล่าไม่มีพีช
1	0.014	0.028	0.012
2	0.014	0.028	
3	0.015	0.029	
4	0.015	0.030	
5	0.016	0.032	



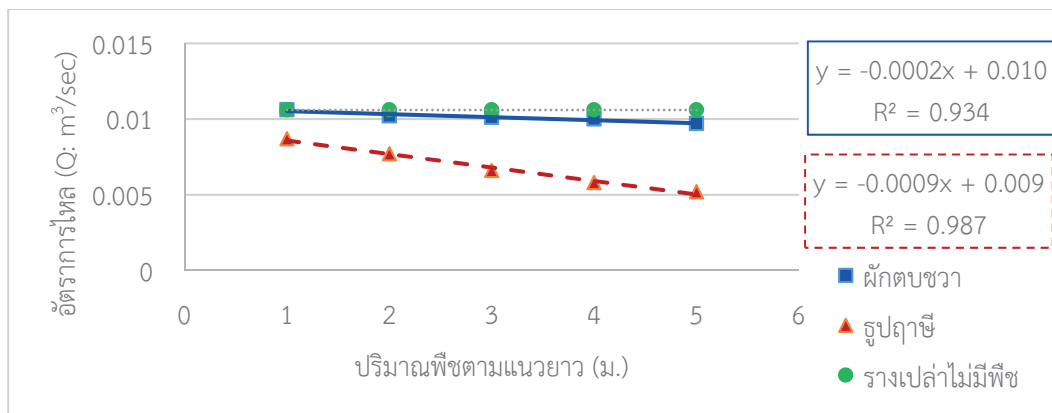
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) กับปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.)

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพีชกับปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.) เทียบกับรางที่ไม่มีพีช ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพีชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแนวยาวของปริมาณพีชที่กีดขวางการไหล โดยรูปถาชีมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลมากกว่าผักตบชวา ซึ่งจะสามารถเห็นได้จากกราฟของรูปถาชีที่กีดขวางการไหลของน้ำว่ามีค่าความชันเท่ากับ 0.001 ในขณะที่กราฟของผักตบชวาที่กีดขวางการไหลของน้ำมีค่าความชันเท่ากับ 0.0005 และผลการวิเคราะห์ยังพบอีกว่าพีชทั้งสองประเภทนี้มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในรางน้ำเปิด โดยจะทำให้อัตราการไหลในรางน้ำเปิดลดลงเมื่อเทียบกับรางน้ำเปิดที่ไม่มีพีชซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระน้อยกว่า

และการวิจัยครั้งนี้ยังได้ศึกษาถึงอัตราการไหลของน้ำในรางน้ำเปิดที่ได้รับผลกระทบจากการไหลผ่านผักตบชวาและรูปถาชีเทียบกับรางเปล่าที่ไม่มีพีช ซึ่งผลการวิเคราะห์อัตราการไหล (Q) ของการไหลผ่านพีชตามแนวยาวของปริมาณพีชในรางน้ำเปิดเทียบกับรางน้ำที่ไม่มีพีช สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5

ตารางที่ 2 อัตราการไหล (Q) ของการไหลผ่านพีชเทียบกับรางที่ไม่มีพีช

ปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.)	อัตราการไหล (Q: m ³ /sec)		
	ผักตบชวา	รูปถาชี	รางเปล่าไม่มีพีช
1	0.0106±0.0006	0.0087±0.0018	0.0106±0.0002
2	0.0102±0.0005	0.0077±0.0018	
3	0.0101±0.0004	0.0066±0.0016	
4	0.0100±0.0004	0.0058±0.0014	
5	0.0097±0.0004	0.0052±0.0013	



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) ของการไหลในรางน้ำเปิดผ่านพีชกับปริมาณพีชตามแนวยาว (ม.) เทียบกับการไหลในรางน้ำเปิดที่ไม่มีพีชพบว่า รูปถาชีมีผลกระทบในการกีดขวางการไหลของน้ำมากกว่าผักตบชวา โดยการไหลของน้ำในรางน้ำเปิดผ่านผักตบชวาจะมีอัตราการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.0106±0.0006 (m³/sec) ถึง 0.0097±0.0004 (m³/sec) จากการไหลผ่านปริมาณของผักตบชวาตามแนวยาวตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรตามลำดับ ในขณะที่การไหลของน้ำในรางน้ำเปิดผ่านรูปถาชีจะมีอัตราการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.0087±0.0018 (m³/sec) ถึง 0.0052±0.0013 (m³/sec) จากการไหลผ่านปริมาณของรูปถาชีตามแนวยาวตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตรตามลำดับ และผลการศึกษายังพบอีกว่าการไหลผ่านพีชทั้งสองประเภทที่ทำการศึกษานี้มีค่าอัตราการไหลน้อยกว่าการไหลผ่านรางน้ำเปิดที่ไม่มีพีช โดยพื้นที่รางน้ำที่ทำการศึกษาในครั้งนี้เป็นไม้อัด ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านเท่ากับ 0.012 จะมีค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.0106±0.0002 (m³/sec) ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าพีชที่อยู่ในลำน้ำและกีดขวางการไหลของน้ำ ไม่ว่าจะเป็นพีชประเภทลอยน้ำหรือพีชประเภทยึดติดกับที่จะส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลโดยทำให้อัตราการไหลของน้ำในลำน้ำลดลง

นอกจากนี้ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) ของการไหลในรางน้ำเปิดผ่านพีชกับปริมาณพืชตามแนวยาว (ม.) เทียบกับการไหลในรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืช ดังที่แสดงในรูปที่ 5 ยังพบว่าค่าอัตราการไหล (Q) ของการไหลผ่านพีชมีแนวโน้มลดลงตามแนวยาวของปริมาณพืชที่กีดขวางการไหลที่เพิ่มขึ้น โดยรูปถ่ายมีแนวโน้มของการลดลงของอัตราการไหลมากกว่าผักตบชวา ซึ่งจะสามารถเห็นได้จากกราฟของรูปถ่ายที่กีดขวางการไหลของน้ำว่ามีค่าความชันเท่ากับ -0.0009 ที่ $R^2 = 0.9877$ ในขณะที่กราฟของผักตบชวาที่กีดขวางการไหลของน้ำว่ามีค่าความชันเท่ากับ -0.0002 ที่ $R^2 = 0.9346$ และผลการวิเคราะห์ยังพบอีกว่าพืชทั้งสองประเภทนี้มีผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำในรางน้ำเปิด โดยผลกระทบนี้จะแปรผันตรงตามปริมาณพืชในแนวยาวที่กีดขวางการไหลของน้ำในรางน้ำเปิดที่ทำการศึกษา

ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านผักตบชวาและรูปถ่ายตามปริมาณในแนวยาวของรางน้ำเทียบกับการไหลผ่านรางน้ำที่ไม่มีพืชพบว่า อัตราการไหลผ่านผักตบชวาที่ทำการศึกษามีเปอร์เซ็นต์การลดลงน้อยกว่าอัตราการไหลผ่านรูปถ่าย ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้วัดอัตราไหลที่ปริมาณตามแนวยาวของพืชตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร จะเห็นได้ว่าผักตบชวามีเปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 0% ถึง 8.49% ในขณะที่รูปถ่ายมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 17.92% ถึง 50.94% โดยปริมาณตามแนวยาวของผักตบชวาและรูปถ่ายที่ยาวขึ้นจะทำให้อัตราการไหลผ่านลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านพืชที่ทำการศึกษิตตามปริมาณในแนวยาวของรางน้ำ

ปริมาณพืชตามแนวยาว (ม.)	เปอร์เซ็นต์อัตราการไหลผ่านพืชที่ลดลง (%)	
	ผักตบชวา	รูปถ่าย
1	0.00 %	17.92 %
2	3.77 %	27.36 %
3	4.72 %	37.74 %
4	5.66 %	45.28 %
5	8.49 %	50.94 %

สำหรับการบริหารจัดการน้ำในลำน้ำนั้น การควบคุมเพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ในระดับคงที่ตามระดับเป้าหมายที่กำหนด มีความยุ่งยาก และซับซ้อน เนื่องจากลำน้ำตามธรรมชาติมักจะมีพืชขึ้นกีดขวางการไหลของน้ำ และระดับน้ำในลำน้ำนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามระยะทางที่น้ำเคลื่อนที่ผ่าน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจึงเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพ อาทิการคาดการณ์ผลของการรบกวนระบบส่งน้ำจากพืชในลำน้ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของการไหลผ่านพืชทั้งสองชนิดที่ทำการศึกษิตตามระยะทางที่น้ำเคลื่อนที่ผ่าน โดยตัวอย่างของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับระยะทางของการไหลผ่านผักตบชวาและรูปถ่าย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6(a) และ 6(b) ตามลำดับ และผลการศึกษิตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับระยะทาง (water surface profile) ของการไหลผ่านผักตบชวาและรูปถ่ายที่อัตราการไหลต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่าการไหลของน้ำผ่านพืชทั้งสองประเภทมีผลกระทบต่อระดับน้ำ โดยที่ผักตบชวามีผลกระทบต่อการไหลน้อยกว่ารูปถ่าย ซึ่งสามารถสังเกตได้จาก

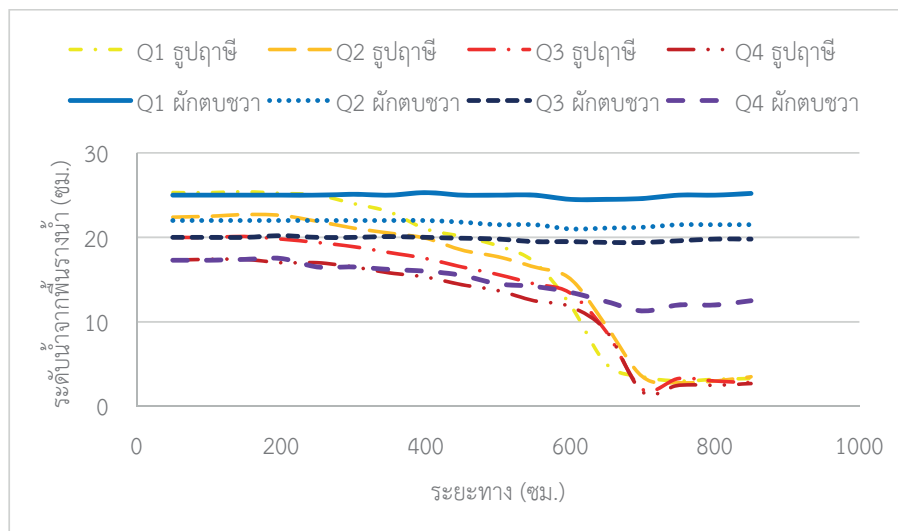
ระดับน้ำของการไหลผ่านพืชที่ทำการศึกษาดังแต่ระยะทาง 0.5 เมตรซึ่งเป็นจุดแรกของการวัดระดับน้ำจนถึง 8.50 เมตร โดยจะเห็นได้ชัดตั้งแต่ระยะ 2 เมตรเป็นต้นไปว่ากลุ่มเส้นระดับน้ำของผักตบชวาอยู่สูงกว่ากลุ่มเส้นระดับน้ำของธูปฤาษี ทั้งๆ ที่มีจุดเริ่มต้นของการไหลเดียวกัน นอกจากนี้จากรูปที่ 7 ยังสามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ว่าปริมาณของพืชในแนวยาวที่อยู่ในรางน้ำจะไปเพิ่มแรงเสียดทานการไหลของน้ำผ่านพืช โดยปริมาณของพืชในแนวยาวของรางน้ำยิ่งมากก็จะทำให้เกิดแรงเสียดทานของการไหลมากขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้ระดับน้ำลดลงตามระยะทางของการไหล



(a) water surface profile ของการไหลผ่านผักตบชวา

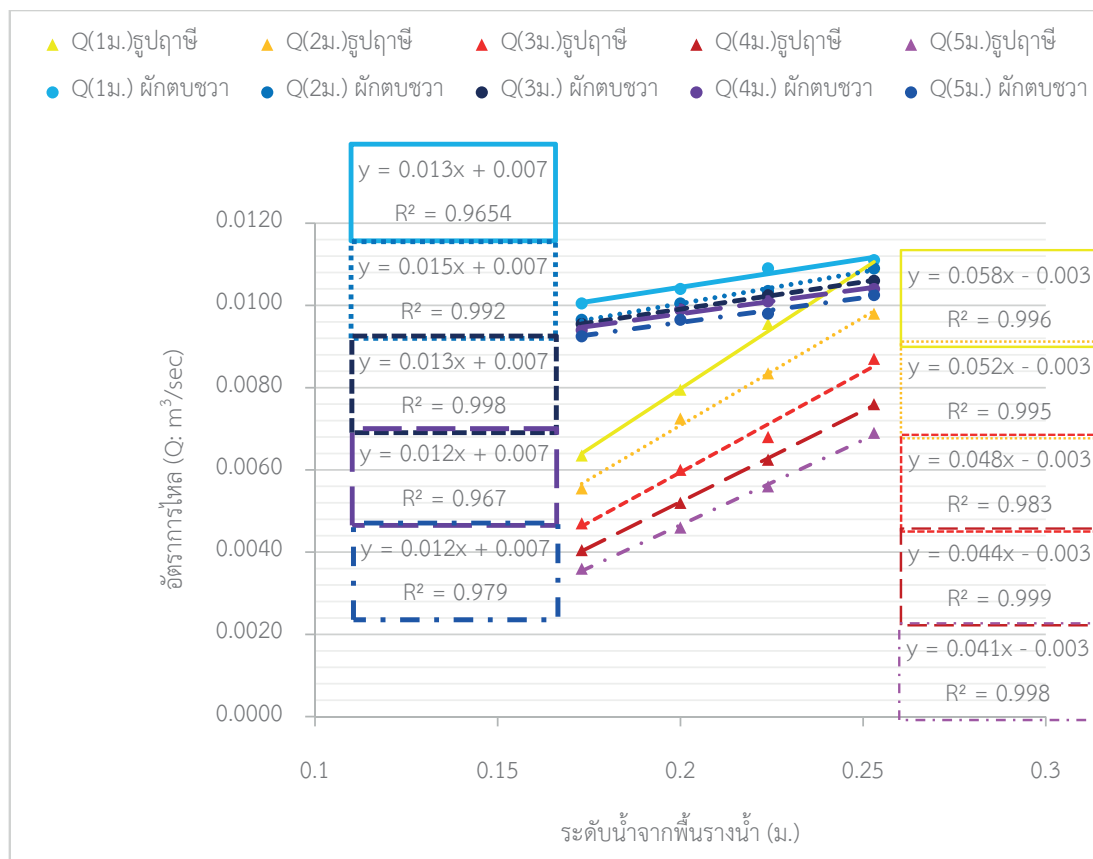
(b) water surface profile ของการไหลผ่านธูปฤาษี

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับระยะทางของการไหลผ่านผักตบชวาและธูปฤาษี



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับระยะทาง (water surface profile)

การบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะการป้องกันน้ำท่วมตลิ่ง จากความสามารถในการรับน้ำของลำน้ำที่มีพืชกีดขวางการไหลของน้ำ มีความจำเป็นที่ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในลำน้ำและอัตราการไหล เพื่อใช้ในการประเมินอัตราการไหลของน้ำผ่านผักตบชวาหรือธูปฤาษีในรางน้ำเปิด โดยที่การศึกษาครั้งนี้ได้จำลองรางน้ำเปิดที่ใช้ศึกษาแทนลำน้ำธรรมชาติ เพื่อจะได้เข้าใจถึงปัญหาของผักตบชวาและธูปฤาษีที่กีดขวางการไหลของน้ำในลำน้ำ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 โดยผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ บ่งชี้ให้เห็นว่าระดับน้ำจากพื้นรางน้ำสูงขึ้นจะมีอัตราการไหลผ่านรางที่มีพืชสูงขึ้นตามไปด้วย และผลการวิเคราะห์พบว่า ผักตบชวามีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลน้อยกว่าธูปฤาษี โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ทำการศึกษาจาก 0.173 ถึง 0.253 เมตร ค่าความชันของเส้นกราฟกลุ่มผักตบชวามีค่าเท่ากับ 0.012 ถึง 0.0137 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าความชันของเส้นกราฟกลุ่มธูปฤาษีซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0413 ถึง 0.0582 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับน้ำ

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

ผักตบชวาและรูกาซีมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลผ่านอยู่ในช่วง 0.014 ถึง 0.016 และในช่วง 0.028 ถึง 0.032 จากการไหลผ่านปริมาณพืชตามแนวยาว ตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการไหลผ่านพืชทั้งสองประเภทที่ทำการศึกษานี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระสูงกว่าการไหลผ่านรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืช และยังพบอีกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของการไหลผ่านพืชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามแนวยาวของปริมาณพืชที่เกิดขวางการไหล โดยรูกาซีมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลมากกว่าผักตบชวา และจากผลการศึกษาค่าสัมพันธระหว่างอัตราการไหล (Q) ของการไหลในรางน้ำเปิดผ่านพืชกับปริมาณพืชตามแนวยาว (m.) เทียบกับการไหลในรางน้ำเปิดที่ไม่มีพืชพบว่า รูกาซีมีผลกระทบในการเกิดขวางการไหลของน้ำมากกว่าผักตบชวา โดยที่ผักตบชวามีเปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 0.00% ถึง 8.49% ในขณะที่รูกาซีมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราการไหลผ่านเท่ากับ 17.92% ถึง 50.94% ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าพืชที่อยู่ในลำน้ำและเกิดขวางการไหลของน้ำไม่ว่าจะเป็นผักตบชวาหรือรูกาซีจะส่งผลกระทบต่อการไหลโดยทำให้อัตราการไหลของน้ำในลำน้ำลดลง และยังพบอีกว่าค่าอัตราการไหล (Q) ของการไหลผ่านพืชมีแนวโน้ม

ลดลงตามแนวยาวของปริมาณพืชที่เกิดขวางการไหลที่เพิ่มขึ้น โดยรูกาซีมีแนวโน้มของการลดลงของอัตราการไหลมากกว่าผักตบชวาอีกด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้สามารถนำผลการวิจัยไปช่วยในการวางแผนบริหารจัดการสภาพการไหลของน้ำในลำน้ำได้ อาทิ การขยายขนาดหน้าตัดลำน้ำ การติดตั้งเครื่องผลักดันน้ำ หรือการขุดลอกกำจัดวัชพืชที่เกิดขวางการไหลของน้ำในลำน้ำ ให้สัมพันธ์กับปริมาณของน้ำฝนหรือน้ำหลากและปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ในลำน้ำ และลดปัญหาการเกิดอุทกภัยจากความสามารถในการระบายน้ำของลำน้ำ หรือลดเวลาของน้ำที่รอการระบายให้สั้นลงได้ รวมทั้งสามารถนำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการชะลอการไหลของน้ำในลำน้ำธรรมชาติด้วยพืชทั้ง 2 ประเภทแทนการใช้ฝายแม้ว เพื่อเป็นการรักษาระบบนิเวศในธรรมชาติ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล สำหรับการเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณ คุณวิเชษฐ์ คลังพินาย สำหรับการสละเวลาช่วยซ่อมแซม ดูแลอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ รวมทั้งการเปิดห้องปฏิบัติการเพื่อให้ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

1. กิรติ ลิ่วจันทกุล. (2537). *วิศวกรรมชลศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. กรุงเทพฯ: SPEC.
2. ประยงค์ กิรติอุไร. (2559). *การประปาและวิศวกรรมสุขาภิบาล* (เอกสารประกอบการสอน). นครราชสีมา: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.
3. สมุนไพร ดอทองม. (2560). *ผักตบชวา*. สืบค้น 18 กุมภาพันธ์ 2561, จาก <https://www.samunpri.com/ผักตบชวา>
4. สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. (2558). *กระดาศดับกลิ่นจากใยรูกาซี*. สืบค้น 17 ตุลาคม 2560, จาก http://www.biogang.net/product_view.php
5. สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ. (2558). *ผลิตภัณฑ์จากผักตบชวา*. สืบค้น 17 ตุลาคม 2560, จาก http://www.biogang.net/product_view.php

การจำแนกรูปแบบของรูปภาพโดยใช้อัลกอริทึม FCM-SASOM

Image Classification System Based on FCM-SASOM Algorithm

ชมพู ทรัพย์ปทุมสิน, วศ.ด.^{1,2}

นพดล โคตรพันธ์, วศ.ม.¹

บทคัดย่อ

การจำแนกรูปแบบของรูปภาพเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของเทคโนโลยีประมวลผลภาพ และได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างตัวจำแนกรูปแบบของรูปภาพโดยได้ประยุกต์รวมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแผนผังคุณลักษณะการจัดการตัวเองแบบโครงสร้างปรับค่าได้ (Structure self-organizing feature map) หรือ SASOM กับฟัซซีคลัสติกแบบฟัซซีซีมีนส์ (Fuzzy C-Means) หรือ FCM ซึ่งทำให้ได้โครงสร้างใหม่ที่สามารถคัดแยกรูปแบบได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการจดจำภาพ (Pattern recognition) และได้ทำการทดสอบระบบกับการจำแนกรูปแบบของภาพรถ ภาพหน้าคน และภาพที่ไม่ใช่รถและไม่ใช่น้ำคน ซึ่งผลการทดสอบระบบมีความแม่นยำมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การจำแนกรูปแบบของรูปภาพ, โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแผนผังคุณลักษณะการจัดการตัวเองแบบโครงสร้างปรับค่าได้, ฟัซซีคลัสติกแบบฟัซซีซีมีนส์

Abstract

This paper presents image classification system, which is based on structure-adaptive self-organizing maps (SASOM) and fuzzy C-means (FCM), is called FCM-SASOM algorithm. Main structure of FCM-SASOM is adapted ability of SASOM structure that can adapt FCM algorithm to be a new training rule. In order to show the performance of the proposed method, we applied experiments with the car images, face images and not the car or face images. These allow the system to sufficient achieve a desirable image pattern with respectively performance up to 90% of accuracy for using in the variety of real applications.

Keywords: image classification, structure self-organizing feature map, fuzzy C-means

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

²ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: chompoo_sup@vu.ac.th

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นเทคโนโลยีที่มีการขยายตัวและมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นเรื่อยๆ เช่นทางด้าน วงการแพทย์ (Nagarajan et al., 2016; Wang et al., 2017; Alharbi & Tchier, 2017) อุตสาหกรรม (Shanthi & Papa, 2017; Hu et al., 2016) การขนส่ง (Alexandre et al., 2015) การจัดการ (Eroglu & Kilic, 2017) การเกษตร (Meunkaewjinda et al., 2008) และทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย อัลกอริทึมของการประมวลผลภาพส่วนใหญ่มิพื้นฐานอยู่บนคุณลักษณะสำคัญของภาพ (Local image features) ซึ่งจำเป็นต้องใช้จุดภาพ (Pixels) จำนวนมากให้เป็นอินพุตของระบบในการคำนวณ การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ในทศวรรษที่ผ่านมาได้ทำให้เกิดเทคโนโลยีการประมวลผลภาพขึ้นเป็นจำนวนมากการจำแนกรูปแบบของภาพ (Image classification) เป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ เพราะเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนซึ่งได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย จุดประสงค์หลักของการจำแนกประเภทของภาพคือการคัดแยกจุดภาพทั้งหมดในภาพให้กลายเป็นหมวดหมู่ใด หมวดหมู่หนึ่งของหลายๆ หมวดหมู่ในภาพ โดยที่จุดภาพที่จัดหมวดหมู่แล้วนี้ จะมีการนำไปใช้ในการหาใจความสำคัญของภาพ เช่น การคัดแยกวัตถุในภาพ (Object classification) การแยกส่วนภาพ (Image segmentation) เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้เสนอการสร้างตัวจำแนกรูปแบบของรูปภาพโดยได้ประยุกต์รวมโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแผนผังคุณลักษณะการจัดการตัวเองแบบโครงสร้างปรับค่าได้ (Structure self-organizing feature map) (Cho, 2000) กับฟัซซีลอจิกแบบฟัซซีซีมีนส์ (Fuzzy C-means) หรือ FCM (Dunn, 1973; Bezdek, 1981) ซึ่งทำให้ได้โครงสร้างใหม่ที่สามารถคัดแยกรูปแบบได้อย่างอัตโนมัติเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการจดจำภาพ (Pattern recognition)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

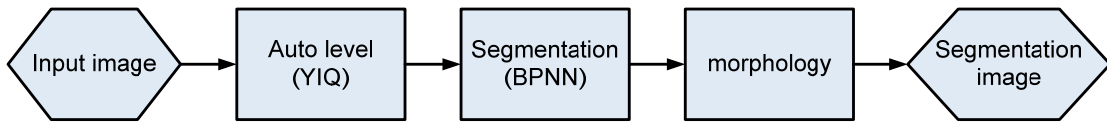
งานวิจัยนี้พัฒนาอัลกอริทึมด้วยโปรแกรม MATLAB และทำการทดสอบระบบด้วยรูปภาพต่างๆ จากฐานข้อมูล UIUC Image database

4. วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลอง (Model) เป็นตัวแทนข้อมูลภาพ (Representation) โดยแบบจำลองนี้ได้ใช้วิธีการดึงคุณลักษณะเด่น (Feature extraction) ออกมา ซึ่งตัวแทนข้อมูลภาพนี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นการช่วยลดขนาดมิติของภาพที่นำไปวิเคราะห์ข้อมูลของภาพได้ โดยได้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่เพื่อดึงลักษณะเด่นและใช้เป็นตัวแทนข้อมูลภาพซึ่งได้ประยุกต์มาจากโครงสร้างของ SASOM และ FCM โดยทำการนำเสนอการสร้างแบบจำลองที่สามารถลดข้อจำกัดทางด้านแสงสว่างของภาพ ความแตกต่างของช่วงเวลาที่ทำการบินถ่ายภาพ เช่น ช่วงเช้า ช่วงกลางวัน ช่วงมืดครีမ် เป็นต้น ข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลในรุ่นที่แตกต่างกัน ความซับซ้อนของภาพพื้นหลัง ลักษณะการวางตัวของภาพที่แตกต่างกัน ขนาดภาพที่แตกต่างกันได้โดยอัตโนมัติ โดยมีกระบวนการทำงานดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 กระบวนการประมวลผลก่อน (Preprocessing)

ก่อนนำภาพเข้าไปในขั้นตอนการคัดแยกภาพต้องผ่านกระบวนการประมวลผลก่อน เพื่อลดข้อจำกัดทางด้านแสงสว่างของภาพ ความแตกต่างของช่วงเวลาที่ทำการบินถ่ายภาพ และความแตกต่างของกล้องที่ใช้บันทึกข้อมูล แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของกระบวนการประมวลผลก่อน

รายละเอียดของการประมวลผลก่อนมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การปรับระดับสีและแสงภายในภาพแบบอัตโนมัติ เนื่องจากปัญหาของการบันทึกภาพในช่วงเวลาและสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันทำให้ข้อมูลของสีและแสงของวัตถุภายในภาพที่ได้แตกต่างกัน ทำให้การตัดแยกได้ผลไม่ดีนัก ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ งานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการปรับระดับความเหมาะสมของสีและแสงในภาพแบบอัตโนมัติ โดยนำภาพต้นแบบมาทำการแปลงปริภูมิสีจาก RGB เป็น YIQ แล้วหาความสัมพันธ์ในการปรับระดับสีและแสง เมื่อทำการปรับระดับสีและแสงแล้วจึงแปลงปริภูมิสีกลับเป็น RGB

2) การแยกส่วนของรูปแบบที่ต้องการในงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับในการแยกส่วนสี โดยมีการนำเสนออินพุตตัวอย่างให้กับโครงข่ายในรูปของคู่อินพุตและเป้าหมายที่ต้องการให้โครงข่ายตอบสนอง โดยระบบทำการเปรียบเทียบอินพุตกับเป้าหมายแล้วทำการปรับค่าน้ำหนักประสาทและไบอัสตามกฎการเรียนรู้ เพื่อให้เอาต์พุตของโครงข่ายเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการ เมื่อระบบมีการนำเสนอคู่อินพุตและเป้าหมายให้โครงข่ายเรียนรู้ เอาต์พุตที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมาย เพื่อให้ค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตและเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตและเป้าหมายเป็นตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองเฉลี่ย (Mean-square error) เป็นตัวชี้ประสิทธิภาพ

3) กระบวนการทางรูปร่าง (Morphology) หลังจากทำการตัดแยกรูปภาพตามขั้นตอนเบื้องต้นแล้วในการแยกส่วนภาพพื้นหลังยังคงมีส่วนที่เป็นข้อมูลจุดเล็กๆ ที่ไม่สามารถแยกส่วนออกได้ด้วยกระบวนการแยกส่วนทางสีเป็นผลให้การตัดแยกมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบจึงต้องทำการกำจัดบริเวณดังกล่าวออกด้วยกระบวนการทางรูปร่าง โดยการ

ลดขอบภาพ แปลงเป็นภาพขาวดำ (Binary image) ลบบริเวณที่เป็นจุดเล็กๆ ที่ไม่ต้องการออก แปลงภาพกลับเป็นภาพสี

4.2 กระบวนการเรียนรู้ของระบบ (Training process)

สำหรับขั้นตอนการเรียนรู้ของระบบในงานวิจัยนี้ ใช้การเรียนรู้ในการดึงลักษณะเด่นของภาพเพื่อสร้างแบบจำลองของคุณลักษณะเด่นของภาพโดยสร้างโดยใช้หลักการของแผนผังโนด SASOM ร่วมกับ FCM เรียกว่าแผนผังแบบจำลองคุณลักษณะเด่นของภาพ (Feature model map) ซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลภาพที่มีรายละเอียดของจุดสีและรูปร่างของอินพุต โดยขั้นตอนการเรียนรู้ได้นำหลักการของ SASOM กับ FCM มาประยุกต์เข้าด้วยกัน โดยใช้แผนผังโนดของ SASOM มาฝึกสอนด้วยกระบวนการของ FCM เพื่อสร้างแผนผังแบบจำลองคุณลักษณะเด่น ระบบนำค่าอินพุตเข้ามาทำการฝึกสอนแผนผังโนด โดยที่แผนผังโนดของ SASOM แบบดั้งเดิมใช้อัลกอริทึมซึ่งเหมาะสำหรับการตัดแยกข้อมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นอัลกอริทึมของ SASOM แบบดั้งเดิมเมื่อนำมาใช้ในการตัดแยกข้อมูลที่มีความคลุมเครือจึงให้ผลการตัดแยกที่ไม่ดีนัก และเนื่องจากข้อมูลที่ทำการตัดแยกมีความคลุมเครือดังนั้น จึงทำการปรับเปลี่ยนการฝึกสอนแผนผังแบบจำลองใหม่โดยได้นำหลักการของฟัซซีลอจิกแบบ FCM เข้ามาประยุกต์ในการฝึกสอนแผนผังแบบจำลอง ซึ่งอัลกอริทึมของ FCM แบบดั้งเดิมนั้นสามารถตัดแยกกลุ่มของข้อมูลเวกเตอร์แบบตายตัวเท่านั้น จึงจำเป็นต้องนำเข้าไปประยุกต์ใช้กับแผนผังแบบจำลอง เพื่อให้สามารถตัดแยกข้อมูลที่แตกต่างในแง่ของข้อมูลสีและรูปร่าง รายละเอียดของกระบวนการเรียนรู้หรือก็คือการฝึกสอนแผนผังโนดเพื่อให้กลายเป็นแผนผังแบบจำลองคุณลักษณะเด่นมีขั้นตอนดังนี้

1) เริ่มต้นจากแผนผังโนดเริ่มต้นซึ่งมีโนดขนาด 4x4 โหนดเชื่อมต่อกันทุกโนดแต่ละโนดมีค่าเวกเตอร์น้ำหนักประสาทที่ได้จากการสุ่ม

2) แบ่งข้อมูลอินพุตออกเป็นตารางขนาด 4x4 ตามขนาดของแผนผังโนด เพื่อให้แผนผังโนดเป็นตัวแทนทั้งข้อมูลและรูปร่างของอินพุต

3) ลบโนดที่ไม่มีข้อมูลอินพุตอยู่ทั้ง และทำการแบ่งโนดที่มีข้อมูลอินพุตไม่เต็มโนดออกเป็นโนดย่อยขนาด 2x2 ทำซ้ำในส่วนที่มีข้อมูลอินพุตไม่เต็มโนดจนไม่เหลือโนดที่มีข้อมูลอินพุตไม่เต็มโนดแล้ว

4) ฝึกสอนแผนผังโนดในแต่ละโนดตามการแบ่งโนดย่อยของข้อมูลอินพุต โดยใช้อัลกอริทึม FCM ในการฝึกสอนโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าสมาชิก $\{\mu_{ij}(0)\}$
- ณ ลำดับเวลาที่ t ทำการคำนวณเวกเตอร์น้ำหนักประสาท $\{w_j(t)\}$ ด้วย $\mu_{ij}(0)$ ดังสมการที่ 1

$$w_j(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ij}^m(t) x_i}{\sum_{i=1}^N \mu_{ij}^m(t)} \quad (1)$$

- ทำการปรับค่าสมาชิก $\{\mu_{ij}^m(t+1)\}$ ดังสมการที่ 2

$$\mu_{ij}^m(t+1) = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{\|x_i - w_j\|}{\|x_i - w_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2)$$

- ถ้า $\|\mu_{ij}^m(t+1) - \mu_{ij}^m(t)\| < \epsilon$ แล้วให้จบการทำงานมิฉะนั้นให้กลับไปเริ่มทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่ โดยที่ μ_{ij} คือ ค่าความเป็นสมาชิกของ x_i ในกลุ่มที่ j w_j คือ เวกเตอร์น้ำหนักประสาทของกลุ่มที่ j m คือ สัมประสิทธิ์ความเป็นฟัซซีมีค่าคือ $1 \leq m < \infty$

x_i คือ ข้อมูลเวกเตอร์อินพุตลำดับที่ i

N คือ จำนวนข้อมูลอินพุต

C คือ จำนวนกลุ่มทั้งหมด

5) เมื่อฝึกสอนแผนผังโนดในแต่ละโนดเสร็จแล้วนำค่า μ_{ij} ของแต่ละโนดมาคำนวณหากลุ่มผู้ชนะโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 3 โดยที่ค่า μ_{ij} ของกลุ่มใดมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด แสดงว่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลอินพุตในกลุ่มสินนั้นมีค่ามากที่สุด กำหนดให้เป็นกลุ่มผู้ชนะ J_{winner} ดังสมการที่ 4

$$\bar{\mu}_j = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ij}}{N} \quad (3)$$

$$J_{winner} = \arg \max_j (\bar{\mu}_j) \quad (4)$$

6) เมื่อได้กลุ่มผู้ชนะของโนดแต่ละโนดแล้วให้หาว่าโนดใดต้องทำการแบ่งโนดเป็นโนดย่อยขนาด 2x2 โหนด โดยคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation : S.D.) ของค่าความเป็นสมาชิกของกลุ่มผู้ชนะในแต่ละโนดซึ่งค่า S.D. นี้ช่วยวัดการกระจายของข้อมูล เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลอินพุตในแต่ละโนด ถ้าค่า S.D. มีค่าสูงแสดงว่าข้อมูลอินพุตมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นให้ทำการแบ่งโนดให้เป็นโนดย่อยขนาด 2x2 โหนด ฝึกสอนโนดย่อยแต่ละโนดอีกครั้งตามขั้นตอนที่ 4 – 6 ซ้ำจนไม่สามารถแบ่งโนดย่อยได้อีกแล้ว ให้จบการทำงาน

7) ทำการรวมโนดที่อยู่ใกล้เคียงกันที่มีค่าจุดสีใกล้เคียงกันเข้าด้วยกัน โดยนำค่าเวกเตอร์น้ำหนักประสาท w_j ของโนดข้างเคียงที่มีขนาดของโนดเท่ากันและวางตัวกันในลักษณะเป็นกลุ่มขนาด 2x2, 3x3, 4x4 และ 5x5 มาคำนวณหาค่า S.D. ถ้าค่า S.D. ของกลุ่มโนดใดมีค่า S.D. น้อยกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่ากลุ่มโนดนั้นมีความแตกต่างทางสิน้อย ให้รวมกลุ่มโนดเข้าด้วยกันเป็นโนดเดียว แล้วคำนวณหาค่าน้ำหนักประสาทเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักประสาทของโนดใหม่

8) ลบโนดที่มีขนาดเล็กเกินไปทิ้ง เพื่อให้แผนผังโนดลดจำนวนข้อมูลลง โดยเทียบอัตราส่วนของรัศมีของโนดหลักกับรัศมีของโนด j โดยถ้าค่าอัตราส่วนมีค่าน้อยกว่าค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ให้ลบโนดนั้นทิ้ง

9) ปรับขนาดและมุมของแผนผังโนดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Normalization) ปรับขนาดโดยยึด

ขนาดของโนดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเป็นโนดหลักให้มีขนาดรัศมีเป็น 100 แล้วปรับโนดอื่นตามค่าอัตราส่วนของโนดหลัก ปรับมุมของแต่ละโนดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยปรับเอามุมระหว่างโนดหลัก กับโนดที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากโนดหลัก เรียกว่า โนดรอง ให้ทำมุม 0 องศา แล้วหมุนโนดอื่นในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตามค่ามุมระหว่างโนดหลักและโนดรอง

4.3 การจำแนกรูปแบบของรูปภาพ (Classification process)

หลักการทำงานของระบบการจำแนกรูปภาพบนพื้นฐานของ FCM-SASOM นั้น ได้ทำการการจำแนกรูปแบบของภาพโดยใช้หลักการของ FCM โดยนำแผนผังโนดที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว มาใช้เป็นรูปแบบของรูปภาพที่ต้องการจำแนก เก็บรูปแบบแต่ละรูปแบบไว้เป็นฐานข้อมูล นำภาพที่ต้องการจำแนกรูปแบบป้อนให้กับระบบระบบจะทำการเปรียบเทียบรูปแบบกับแผนผังโนดที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมของ FCM ถ้ารูปแบบที่เปรียบเทียบคล้ายกับแผนผังโนดใด ให้จัดเป็นรูปแบบนั้น

5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบด้วยรูปภาพรถจำนวน 170 รูปจากฐานข้อมูลของ UIUC (Agarwal, Awan, & Roth, 2012) และรูปภาพหน้าคนจำนวน 200 รูปจากฐานข้อมูลของ MIT CBCL (CBCL, 2000) ซึ่งวิธีการประเมินประสิทธิภาพของการจำแนกรูปแบบในงานวิจัยนี้ได้ใช้การคำนวณค่าความแม่นยำของระบบ (Precision) หรือ PRE เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการจำแนกรูปแบบของระบบได้ตรงกับรูปแบบจริง ซึ่งหาได้ดังสมการที่ 5

$$PRE = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

โดยที่ TP (True positive) หมายถึงสถานะจริงเป็นรูปแบบตามจริงและคัดแยกได้ว่าเป็นภาพรูปแบบจริง, TN (True negative) หมายถึงสถานะจริงไม่เป็นรูปแบบตามจริงและคัดแยกได้ว่าเป็นภาพรูปแบบตามจริง ซึ่งค่า PRE เป็นค่าที่บอกประสิทธิภาพของการจำแนกรูปแบบที่ตรงกับรูปแบบจริง ค่าที่ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 1 หรือคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งค่า PRE ใกล้เคียง 1 มากเท่าใดแสดงว่าประสิทธิภาพความแม่นยำของการจำแนกรูปแบบของระบบมีมากไปด้วย นอกจากค่า PRE แล้ว งานวิจัยนี้ยังได้คำนวณค่าอัตราการจำแนกรูปแบบถูกต้องตามจริง (True positive rate) หรือ TPR ซึ่งหาได้ดังสมการที่ 6

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

โดยที่ TP (True positive) หมายถึงสถานะจริงเป็นรูปแบบที่ต้องการจำแนกและจำแนกได้ว่าเป็นรูปแบบนั้นจริง, FN (False negative) หมายถึงสถานะจริงเป็นรูปแบบที่ต้องการจำแนกแต่จำแนกได้ว่าเป็นรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งค่า TPR นี้เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงประสิทธิภาพของการจำแนกรูปแบบที่ถูกต้อง ซึ่งค่าที่ดีที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 1 หรือคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่า REC ใกล้เคียง 1 มากเท่าใดแสดงว่าประสิทธิภาพการตรวจจับรูปแบบของระบบมีความถูกต้องตามจริงมากประสิทธิภาพของระบบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของระบบ

รูปแบบ	จำนวน รูป	ผลการจำแนกรูปแบบ				
		จำนวนรูป			เปอร์เซ็นต์	
		TP	FN	FP	PRE	TPR
รถ	170	159	11	8	95.20	93.52
หน้าคน	200	187	13	9	95.40	93.50
ไม่ใช่รถ และ หน้าคน	100	92	8	5	94.84	92.00

6. อภิปรายผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยรวมพบว่าผลการจำแนกรูปแบบในส่วนของการระบุว่าเป็นรูปรถ ได้ค่าความแม่นยำคิดเป็น 95.20 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการจำแนกรูปแบบถูกต้อง 93.52 เปอร์เซ็นต์ การจำแนกรูปแบบหน้าคนมีค่าความแม่นยำ 95.40 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการจำแนกรูปแบบ 93.50 เปอร์เซ็นต์ และการจำแนกรูปแบบว่าไม่ใช่รถและหน้าคน มีค่าความแม่นยำ 94.84 เปอร์เซ็นต์ ค่าอัตราการจำแนกรูปแบบ 92.00 เปอร์เซ็นต์

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบระบบโดยใช้ค่าความแม่นยำของระบบในการวัดประสิทธิภาพของระบบโดยใช้รูปภาพรถ หน้าคน และไม่ใช่รถและหน้าคน ในการทดสอบระบบ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถจำแนกรูปแบบของรถและหน้าคนได้อย่างถูกต้อง และเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนที่หลากหลายและมีจำนวนเพียงพอที่จะใช้แทนกลุ่มข้อมูลได้ทุกกลุ่ม ประสิทธิภาพของระบบการจำแนกรูปแบบของรูปภาพสามารถปรับปรุงได้โดยพิจารณาปรับปรุงการดึงลักษณะเด่นของภาพรถออกมาให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Agarwal, S., Awan, A., & Roth, D. (2002). *UIUC image database for car detection*. Retrieved from <http://cogcomp.org/Data/Car/>
2. Alexandre, E., Cuadra, L., Salcedo-Sanz, S., Pastor-Sanchez, A., & Casanova-Mateo, C. (2015). Hybridizing extreme learning machines and genetic algorithms to select acoustic features in vehicle classification applications. *Neurocomputing*, (152), 58-68.
3. Alharbi, A., & Tchier, F. (2017). Using a genetic-fuzzy algorithm as a computer aided diagnosis tool on Saudi Arabian breast cancer database. *Mathematical Biosciences*, (286), 39-48.
4. Bezdek, J. C. (1981). *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. New York: Plenum Press.
5. Center for Biological and Computational Learning at MIT and MIT. (2000). *CBCL face database*. Retrieved from <http://cbcl.mit.edu/software-datasets/FaceData.2.html>
6. Cho, S.B. (2000). Ensemble of structure-adaptive self-organizing maps for high performance classification. *Information Sciences*, (123), 103-114.
7. Dunn, J. C. (1973). A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters. *Journal of Cybernetics*, (3), 32-57.
8. Eroglu, D.Y., & Kilic., K. (2017). A novel hybrid genetic local search algorithm for feature selection and weighting with an application in strategic decision making in innovation management. *Information Sciences*, (405), 18-32.
9. Hu, H., Liu, Y., Liu, M., & Nie, L. (2016). Surface defect classification in large-scale strip steel image collection via hybrid chromosome genetic algorithm. *Neurocomputing*, (181), 86-95.
10. Meunkaewjinda, A., Kumsawat, P., Attakitmongkol, K., & Srikaew, A. (2008). Grape leaf disease detection from color imagery using hybrid intelligent system. *Proceedings of ECTI Conference*, 513-516.
11. Nagarajan, G., Minu, R. I., Muthukumar, B., Vedanarayanan, V., & Sundarsingh, S. D. (2016). Hybrid genetic algorithm for medical image feature extraction and selection. *Procedia Computer Science*, (85), 455-462.
12. Shanthi, C., & Papa, N. (2017). An artificial intelligence based improved classification of two-phase flow patterns with feature extracted from acquired images. *ISA Transactions*, (68), 425-432.
13. Wang, H., Feng, Y., Sa, Y., Lu, J.Q., Ding, J., Zhang, J., & Hu, X. H. (2017). Pattern recognition and classification of two cancer cell lines by diffraction imaging at multiple pixel distances. *Pattern Recognition*, (61), 234-244.

การวิเคราะห์และออกแบบความลึกที่เหมาะสมของโครงหลังคาเหล็ก

Analysis and Design of the Optimum Depth of Steel Roof Truss

จงศิลป์ สุขุมจริยพงศ์, วศ.ด.¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความลึกที่เหมาะสมของโครงถักรองรับหลังคาที่ใช้ทั่วไปในงานก่อสร้างรูปแบบโครงถักรองรับหลังคาที่นำมาวิเคราะห์เชิงทฤษฎีมี 3 รูปแบบ โดยแปรผันค่าระยะห่างจุดรองรับโครงถัก (L) ระหว่าง 15 ถึง 30 เมตร และแปรผันค่าระยะห่างโครงถักระหว่าง 5 ถึง 7 เมตร ความลึกที่เหมาะสมเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างค่าน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำที่จุดต่อโครงถักต่อค่าน้ำหนักของโครงถักมีค่าสูงสุด ในการศึกษาพบว่าคุณค่าความลึกที่เหมาะสมของโครงถักรองรับหลังคาสำหรับรูปแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าระหว่าง $L/12.5$ ถึง $L/7.5$, $L/11.5$ ถึง $L/6$ และ $L/14$ ถึง $L/7.5$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: โครงถัก, โครงหลังคาเหล็ก, ความลึกที่เหมาะสมของโครงถัก

Abstract

The objective of this research was to study the optimum depth of steel roof trusses which are typically chosen for constructions. Three patterns of steel roof with the truss span (L) ranging from 15 to 30 m and the spacing between trusses ranging from 5 to 7 m were theoretically analyzed. The optimum depth of truss can be obtained at the maximum value of ratio of total nodal loads to self-weight load. In this study, the optimum depths of roof truss pattern no. 1, 2 and 3 were between $L/12.5$ to $L/7.5$, $L/11.5$ to $L/6$ and $L/14$ to $L/7.5$, respectively.

Keywords: truss, steel roof truss, optimum depth of truss

¹สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

E-mail: aob_32@hotmail.com

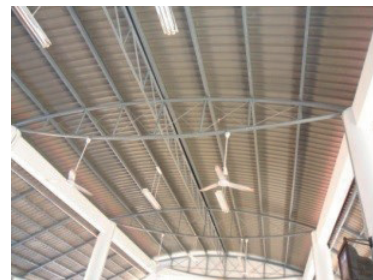
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเหล็กรูปพรรณนิยมนำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักของโครงหลังคา เนื่องจากเหล็กรูปพรรณเป็นวัสดุที่หาง่ายในท้องตลาด อีกทั้งมีรูปแบบและขนาดต่างๆ ให้เลือกมากมายเพื่อให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักและรูปทรงที่แตกต่างกันของอาคารแต่ละหลัง นอกจากนี้เหล็กยังเป็นวัสดุที่ให้ความแข็งแรงและความคงรูปเป็นอย่างดีจึงนิยมนำมาออกแบบเป็นโครงถัก ในการออกแบบโครงสร้างนั้นมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ได้รับผลการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งานตามขนาดของโครงสร้างประหยัดค่าใช้จ่ายและสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกขณะใช้งานได้อย่างปลอดภัย สิ่งที่พบในปัจจุบันสำหรับการออกแบบโครงถักคือการกำหนดใช้สัดส่วนโครงถักที่ไม่สมดุลกับอาคารซึ่งอาจจะเล็กหรือใหญ่จนเกินไป (Kaur, Bansal, & Kumar, 2016; Vikas & Singh, 2017) ที่ผ่านมานักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของโครงถัก เช่น วรพรรณ (2538) ได้เสนอการคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กกระนาบอย่างเหมาะสมโดยวิธีงานสมมุติ โดยคำนึงถึงพฤติกรรมการโก่งเดาะเนื่องจากการดัดขององค์อาคารรับแรงอัดและมีความเคลื่อนไหวตัวไม่เกินค่าที่ยอมให้ วีระพงษ์ (2539) ได้ศึกษาพัฒนาการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสม สำหรับโครงถักที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นด้วยวิธีงานสมมุติ พบว่าวิธีงานสมมุติสามารถนำมาใช้ในการคำนวณออกแบบที่เหมาะสมสำหรับโครงถักกระนาบที่มีพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น โดยเฉพาะในโครงสร้างที่มีความสูงหรือความชันสูงมาก การคำนวณออกแบบโดยวิธีดังกล่าวจะให้น้ำหนักคัตที่เหมาะสม ปลอดภัย และการเปลี่ยนตำแหน่งมากที่สุดมีค่าไม่เกินค่าที่ยอมให้ตามข้อกำหนดโดยมีปริมาตรรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าการออกแบบด้วยการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นประมาณ 0-11% วรรณถ (2548) เสนอว่าการออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมนั้น สามารถประยุกต์กับการออกแบบโครงสร้างได้ดี จากตัวอย่างที่ทำการศึกษาพบว่า การออกแบบที่ได้จะให้โครงสร้างที่มีขนาดเล็กและเบาลง 20-30% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีงานสมมุติ และยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรง

และปลอดภัยตามมาตรฐานการออกแบบ Upendra และ Vivek (2015) ได้วิเคราะห์โครงถักเหล็กที่มีความยาวช่วง 16 เมตร โดยปรับเปลี่ยนรูปแบบและขนาดหน้าตัดเหล็กเพื่อหารูปแบบและขนาดเหล็กที่เหมาะสมที่สุดและพบว่าเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากัน โครงถักแบบ A (A-type truss) จะมีน้ำหนักของโครงถักน้อยที่สุดและชิ้นส่วนที่มีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมหรือทอกลมจะทำให้มีน้ำหนักน้อยกว่าเหล็กฉาก แต่รูปแบบโครงถักหลังคาที่ศึกษาผ่านมามีรูปแบบแตกต่างจากที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน สำหรับตัวอย่างรูปแบบโครงถักหลังคาที่ใช้งานในปัจจุบัน แต่มีการพัฒนาเป็นรูปแบบที่ต่างจากที่นำเสนอไว้ตามทฤษฎี โดยประยุกต์ตามความต้องการในการใช้งานได้แสดงในรูปที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ 1 โครงหลังคารูปแบบที่ 1



รูปที่ 2 โครงหลังคารูปแบบที่ 2



รูปที่ 3 โครงหลังคารูปแบบที่ 3

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์และออกแบบโครงถักหลังคาเหล็กเป็นกรณีศึกษา เพื่อให้โครงสร้างมีขนาดที่เหมาะสมที่สุด และนำเสนอแนวทางการประเมินขนาดที่เหมาะสมของโครงถักกรณีศึกษา การศึกษาได้เลือกวิธีการออกแบบโครงสร้างเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design, ASD) และกำหนดรูปแบบโครงหลังคากรณีศึกษา 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 1-3 ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อแนะนำสำหรับขั้นตอนการออกแบบสำหรับวิศวกรโครงสร้าง ในการกำหนดขนาดรูปทรงของโครงถักเพื่อให้มีความเหมาะสมมากที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดวัสดุและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อวิเคราะห์และออกแบบโครงถักหลังคาเหล็กที่มีความลึกที่เหมาะสมมากที่สุด และเสนอแนวทางการออกแบบดังกล่าวเพื่อให้โครงถักหลังคาเหล็กมีน้ำหนักเหล็กและค่าก่อสร้างต่ำสุด

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การออกแบบโครงสร้างเหล็กในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable stress design; ASD) ตามข้อกำหนดของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) โดยแบ่งวิธีออกแบบสำหรับโครงสร้างรับแรงดึงและโครงสร้างรับแรงอัด ดังนี้

- โครงสร้างรับแรงดึง

มีขั้นตอนการออกแบบตั้งแต่สมการ

(1) ถึง (5)

(1) หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่

ต้องการ $A_{s(req)}$

$$A_{s(req)} = \frac{F_t}{0.6 F_y} \quad (1)$$

F_t = แรงดึงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน (กก.)

F_y = กำลังครากของเหล็ก (กก./ชม.²)

(2) เลือกใช้เหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดจริง

A_s ไม่น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ $A_{s(req)}$

$$A_s > A_{s(req)} \quad (2)$$

A_s คือพื้นที่หน้าตัดเหล็กที่เลือก (ตร.ชม.)

3) ตรวจสอบแรงดึงที่รับได้จริงของขนาดเหล็กที่เลือกใช้

$$[0.6 F_y][A_s] \geq F_t \quad (3)$$

4) ตรวจสอบอัตราส่วนความขรุขระ ($\frac{KL}{r}$) ของชิ้นส่วน

$$\frac{KL}{r} \leq 240 \text{ (สำหรับโครงสร้างหลัก)} \quad (4)$$

$$\frac{KL}{r} \leq 300 \text{ (สำหรับโครงสร้างรอง)} \quad (5)$$

r คือรัศมีจอยชิ้นของเหล็กที่เลือกใช้ (ชม.)

L คือความยาวของค้ำอาคาร (ชม.)

- โครงสร้างรับแรงอัด

มีขั้นตอนการออกแบบตั้งแต่สมการ

(6) ถึง (13)

1) หาพื้นที่หน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่

ต้องการ $A_{s(req)}$

$$A_{s(req)} = \frac{F_c}{0.6 F_y} \quad (6)$$

F_c = แรงดึงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน (กก.)

2) เลือกใช้เหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดจริง

A_s ไม่น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ $A_{s(req)}$

$$A_s > A_{s(req)} \quad (7)$$

3) ตรวจสอบแรงอัดที่รับได้จริงของ
ขนาดเหล็กที่เลือกใช้

$$[0.6F_y][A_s] \geq F_c \quad (8)$$

4) ตรวจสอบหน่วยแรงอัดที่ยอมให้
เลือกใช้ค่า K จากตารางที่ 1

5) ตรวจสอบอัตราส่วนความชะลุด
($\frac{KL}{r}$) ของชิ้นส่วน

$$\frac{KL}{r} \leq 200 \text{ (สำหรับโครงสร้างหลัก)} \quad (9)$$

$$\frac{KL}{r} \leq 240 \text{ (สำหรับโครงสร้างรอง)} \quad (10)$$

(1) เมื่อ $\frac{KL}{r} < C_c$ หน่วยแรงอัดที่ยอม
ให้ F_a คำนวณจากสมการ (11)

$$F_a = \frac{1 - \frac{1}{2} \left[\frac{KL/r}{C_c} \right]^2}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left[\frac{KL/r}{C_c} \right] - \frac{1}{8} \left[\frac{KL/r}{C_c} \right]^3} \times F_y \quad (11)$$

(2) เมื่อ $\frac{KL}{r} < C_c$ หน่วยแรงอัดที่ยอม
ให้ F_a คำนวณจากสมการ (12)

$$F_a = \frac{12\pi^2 Es}{23(KL/r)^2} \quad (12)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2Es\pi^2}{F_y}} \quad (13)$$

Es คือโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก (กก./ชม.²)

ตารางที่ 1 ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผลของส่วน
โครงสร้างหลัก

รูปการโก่งตัว ของเสาที่มีจุด รองรับแบบ ต่างๆ	(a) 	(b) 	(c) 	(d) 	(e) 	(f) 
ค่า k ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า k ที่แนะนำ	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สภาวะการดัด ของจุดรองรับ		ด้านการหมุน			ด้านการเคลื่อนที่	
		หมุนอิสระ			ด้านการเคลื่อนที่	
		ด้านการหมุน			เคลื่อนที่ได้	
		หมุนอิสระ			เคลื่อนที่ได้	

ในการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ
คำนวณโครงสร้างแบบสองมิติ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้กำหนดขั้นตอนดำเนินการดังนี้

- 1) กำหนดรูปแบบโครงถักกรณีศึกษา
- 2) ทำการวิเคราะห์และออกแบบโครงถักกรณีศึกษา โดยกำหนดขอบเขตสำคัญในการศึกษาดังนี้

(1) ระยะห่างระหว่างจตุรรองรับ 15
20 25 และ 30 เมตร

(2) ระยะห่างระหว่างโครงถัก 5 6
และ 7 เมตร

(3) ความลาดเอียงโครงถักไม่เกิน 18
องศา และเลือกใช้วัสดุผนัง คือ Metal sheet

(4) ดำเนินการออกแบบเฉพาะชิ้น
ส่วนโครงถักโดยใช้เหล็กกลมกลวง (Pipe) เท่านั้น
โดยเลือกใช้ขนาดเหล็กจากตารางที่แสดงขนาดและ
คุณสมบัติเหล็กตามตารางเหล็กสำหรับมาตรฐานใน
ประเทศไทยของบริษัทเหล็กสยามยามาโมโตะ จำกัด (SYS)

3) เปรียบเทียบหาความลึกที่เหมาะสมของ
โครงถักแต่ละกรณีศึกษา โดยพิจารณาจากความลึกที่ให้
ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำที่จุดต่อ

โครงถัก (Nodal load; NL) ต่อน้ำหนักของโครงถักเหล็ก (Self-weight load; SL) ที่มากที่สุด

4) สรุปผลการศึกษา

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบโครงถักเหล็กที่เหมาะสมกับการใช้งานและสามารถรับน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งานได้ อย่างปลอดภัยในการศึกษานี้ได้กำหนดตัวบ่งชี้ที่ใช้ระบุ ความลึกที่เหมาะสมของโครงถักในการวิเคราะห์และ ออกแบบ คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำ ที่จุดต่อโครงถัก (Nodal load; NL) ต่อน้ำหนักของ โครงถักเหล็ก (Self-weight load; SL) ซึ่งโครงถักที่มี ความลึกที่เหมาะสมจะเป็นรูปแบบที่มีค่า NL/SL ที่มากที่สุด ผลการวิเคราะห์และออกแบบมีดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์และการออกแบบแปเหล็ก (Purlin)

1) การใช้แปสำหรับโครงถักรูปแบบที่ 1

(1) ระยะระหว่างโครงถัก 5 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้า ตัดรูปตัวซี [- 150x 65x 20 x 3.2 มม.

(2) ระยะระหว่างโครงถัก 6 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้า ตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 20 x 4 มม.

(3) ระยะระหว่างโครงถัก 7 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้า ตัดรูปตัวซี [- 200 x 75x 20 x 4 มม. หน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75x 25 x 4.5 มม. และเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75x 25 x 4 มม. ตามลำดับ

2) การใช้แปสำหรับโครงถักรูปแบบที่ 2

(1) ระยะระหว่างโครงถัก 5 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี [- 150x 50x 20 x 3.2 มม.

(2) ระยะระหว่างโครงถัก 6 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 20 x 3.2 มม.

(3) ระยะระหว่างโครงถัก 7 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 20 x 3.2 มม. เมื่อมีความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 และ 20 เมตรและเหล็กหน้าตัดรูปตัวซี [- 200x 75x 25 x 3.2 มม. เมื่อมีความยาวระหว่างจุดรองรับ 25 และ 30 เมตร

3) การใช้แปสำหรับโครงถักรูปแบบที่ 3

(1) ระยะระหว่างโครงถัก 5 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัด รูปตัวซี [- 150 x 65 x 20 x 3.2 มม. หน้าตัดรูปตัวซี [- 150 x 75 x 20 x 3.2 มม. และหน้าตัดรูปตัวซี [- 150 x 75 x 20 x 4 มม. ตามลำดับ

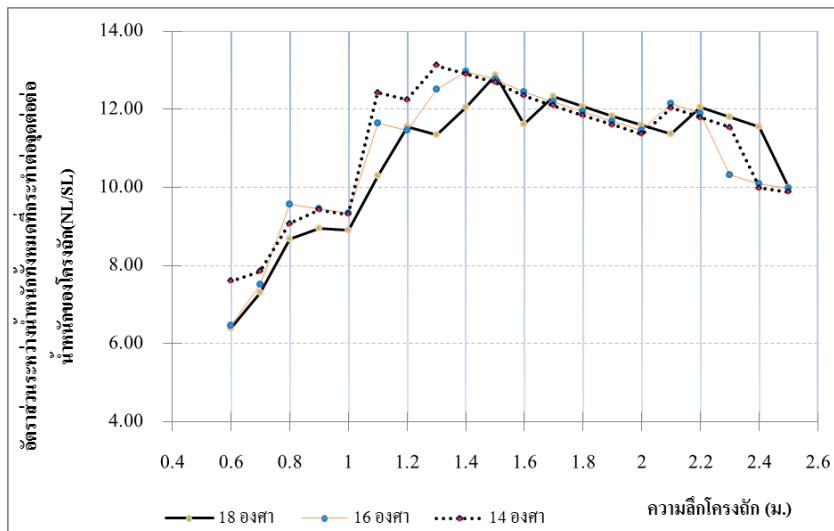
(2) ระยะระหว่างโครงถัก 6 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัด รูปตัวซี [- 150 x 75 x 25 x 4.5 mm หน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 20 x 3.2 มม. และหน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 25 x 3.2 มม. ตามลำดับ

(3) ระยะระหว่างโครงถัก 7 เมตร
ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 20 25 และ 30 เมตร
มุมลาดเอียง 14 16 และ 18 องศา เลือกใช้แปเหล็กหน้าตัด รูปตัวซี [- 200 x 75 x 20 x 4 มม. หน้าตัดรูปตัวซี [- 200 x 75 x 25 x 4.5 มม. และหน้าตัดรูปตัวซี [- 250 x 75 x 25 x 4.5 มม. ตามลำดับ

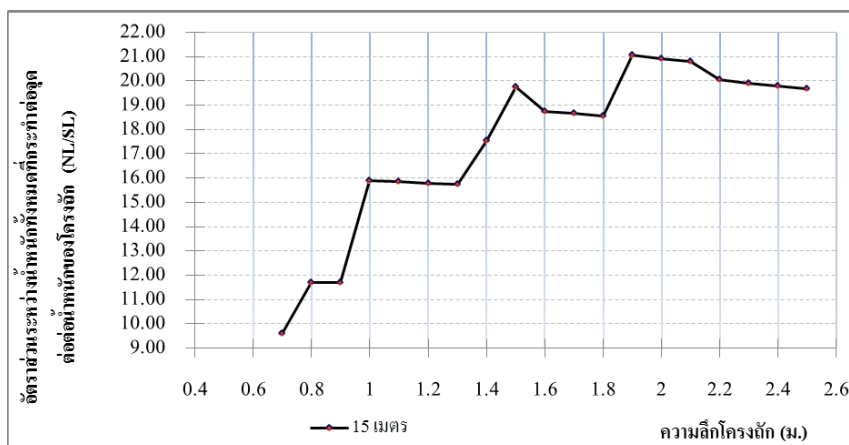
5.2 การวิเคราะห์ความลึกที่เหมาะสมของโครงถัก

การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อ หาความลึกที่เหมาะสมของโครงถักดำเนินการโดย คำนวณหาแรงกระทำที่จุดต่อโครงถัก กำหนดความลึก โครงถักเริ่มต้น วิเคราะห์และออกแบบเพื่อเลือกใช้ขนาด เหล็กที่เหมาะสม และคำนวณหาอัตราส่วน NL/SL ของ

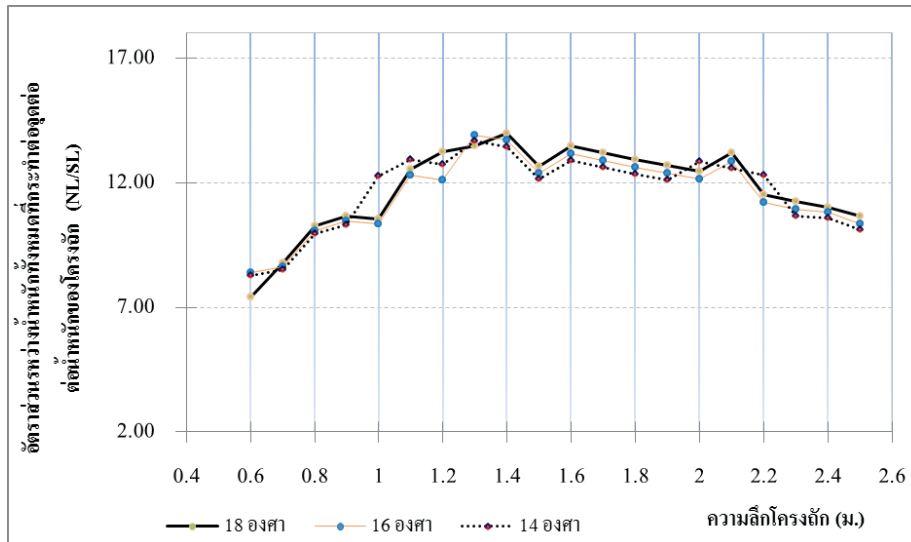
รูปแบบโครงถักนั้นๆ จากนั้นเพิ่มความลึกโครงถักครั้งละ 10 เซนติเมตร และทำซ้ำตามขั้นตอนข้างต้น จากนั้นนำอัตราส่วน NL/SL ของแต่ละรูปแบบและแต่ละกรณีมาเขียนกราฟ เพื่อวิเคราะห์ความลึกที่เหมาะสมของโครงถักนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 6



รูปที่ 4 โครงถักรูปแบบที่ 1 กรณีที่ 1 ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 เมตร ระยะห่างระหว่างโครงถัก 5 เมตร และความชันโครงถัก 14 16 และ 18 องศา



รูปที่ 5 โครงถักรูปแบบที่ 2 กรณีที่ 1 ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 เมตร ระยะห่างระหว่างโครงถัก 5 เมตร



รูปที่ 6 โค้งถึกรูปแบบที่ 3 กรณีที่ 1 ความยาวระหว่างจุดรองรับ 15 เมตร ระยะห่างระหว่างโครงถึก 5 เมตร

จากรูปที่ 4 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน NL/SL จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่โครงถึกมากขึ้น และเมื่อถึงค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่ง อัตราส่วน NL/SL จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งจะทำให้สามารถพิจารณาหาความถี่ที่เหมาะสมของโครงถึกแต่ละกรณีได้

5.3 ผลการวิเคราะห์ความถี่ที่เหมาะสมของโครงถึก รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 3

เมื่อนำโครงถึกทุกรูปและทุกกรณีมาพิจารณาอัตราส่วน NL/SL ที่ดีที่สุด จะได้ความถี่ที่เหมาะสมของโครงถึกแต่ละกรณีและรูปแบบซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2 3 และ 4 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และออกแบบความถี่ที่เหมาะสมสำหรับโครงถึกรูปแบบที่ 1

ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (เมตร)	14 องศา (เมตร)	16 องศา (เมตร)	18 องศา (เมตร)
15	1.3	1.4	1.5
20	2.1	2.1	2.1
25	2.6	2.7	2.7
30	2.5	2.6	2.6

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และออกแบบความลึกที่เหมาะสมสำหรับโครงถักรูปแบบที่ 2

ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (เมตร)	ความลึก (เมตร)
15	1.9
20	2.3
25	2.3
30	2.8

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การวิเคราะห์และออกแบบความลึกที่เหมาะสมสำหรับโครงถักรูปแบบที่ 3

ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (เมตร)	14 องศา (เมตร)	16 องศา (เมตร)	18 องศา (เมตร)
15	1.3	1.3	1.4
20	2.3	2.3	2.1
25	1.9	2.0	2.0
30	2.2	2.2	2.3

สำหรับโครงถักรูปแบบที่ 1 ความลึกที่เหมาะสมของโครงถักสามารถพิจารณาในช่วงความลึกตั้งแต่ $L/12.5$ ถึง $L/7.5$ เมตร โครงถักรูปแบบที่ 2 สามารถพิจารณาในช่วงความลึก $L/11.5$ ถึง $L/6$ เมตร และโครงถักรูปแบบที่ 3 สามารถพิจารณาในช่วงความลึก $L/14$ ถึง $L/7.5$ เมตร

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความลึกที่เหมาะสมของโครงถักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ มีค่ามากขึ้น แต่ความลึกที่เหมาะสมไม่ได้เพิ่มขึ้นทุกกรณีและความลึกที่เหมาะสมก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่ตามการเพิ่มขึ้นของปัจจัยต่างๆ สาเหตุหลักเกิดจากคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้าง ที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่เช่นกัน การวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาความลึกที่เหมาะสมสำหรับโครงถักทั้ง 3 รูปแบบนั้น ไม่สามารถกำหนดแนวทางการประเมินที่แน่นอนได้ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดความลึกที่เหมาะสมได้ โดยใช้ประกอบกับการวิเคราะห์เฉพาะช่วงความลึกที่นำเสนอครั้งนี้โครงถักรูปแบบที่ 1 ให้พิจารณาในช่วงความลึก $L/12.5$ ถึง $L/7.5$ เมตร โครงถักรูปแบบที่ 2 ให้พิจารณาในช่วงความลึก $L/11.5$ ถึง $L/6$ เมตร โครงถักรูปแบบที่ 3 ให้พิจารณาในช่วงความลึก $L/14$ ถึง $L/7.5$ เมตร เมื่อ L คือระยะห่างระหว่างจุดรองรับของโครงถัก (เมตร) โดยเมื่อทำการออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วความลึกที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นค่าความลึกที่มีค่า NL/SL มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. วรนาถ แซ่มสุวรรณ. (2548). การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงถักเหล็กในระนาบโดยใช้วิธีอีล็กอริทึมเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. วรพรรณ วงศ์สรครกร. (2538). การคำนวณออกแบบโครงถักเหล็กกระนาบอย่างเหมาะสมโดยวิธีงานสมมุติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. วีระพงษ์ ไชยสถิตวานิช. (2539). การคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับโครงถักกระนาบที่มีพฤติกรรมไม่เชิงเส้นโดยใช้วิธีดัชนีความไว. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. Kaur, G., Bansal, R. S., & Kumar, S. (2016). Shape optimization of roof truss. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(06), 696-700.
5. Upendra, P., & Vivek, G. (2015). Optimization and rationalization of truss design, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2(05), 624-636.
6. Vikas & Singh, B. (2017). Effect of variation in geometrical parameters on the roof trusses. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 5(7), 6-10.

การหาประสิทธิภาพตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

The Efficiency of Sun-tracking Solar Dryer

รัชชัย ชาญสูงเนิน, วศ.บ.^{1,2}

จักริน วงษ์ชวลิตกุล, M.Eng.¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่ เพื่อนำไปพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยทำการศึกษาตู้อบที่สามารถหมุนตามดวงอาทิตย์และตู้อบที่ติดตั้งอยู่กับที่ ซึ่งมีขนาดของตู้อบ 0.45×1.08 ตารางเมตร มีพื้นที่รับรังสีของดวงอาทิตย์ 0.61 ตารางเมตร การหมุนติดตามดวงอาทิตย์นี้จะใช้เซ็นเซอร์ชนิดแอลดีอาร์แปลงความเข้มของแสงให้เป็นค่าความต้านทานและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่จะให้ตู้อบหมุนไปยังตำแหน่งที่ตรงกับดวงอาทิตย์ โดยเกณฑ์การศึกษาคือการเปรียบเทียบการอบแห้งพริกสดด้วยตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์กับตู้อบแห้งแบบตั้งอยู่กับที่ โดยใช้พริกสดน้ำหนัก 1 kg ใช้ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากันที่ 8 ชั่วโมง พบว่าแบบแรกสามารถอบแห้งให้น้ำหนักลดลงเหลือ 0.240 kg ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งแบบแรกได้ 10.23% ส่วนแบบที่ 2 สามารถอบแห้งให้น้ำหนักลดลงเหลือ 0.276 kg ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งแบบที่ 2 ได้ 8.62% แต่ถ้าเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งของตู้อบทั้ง 2 แบบแล้วตู้อบแห้งแบบแรกจะใช้เวลาเร็วกว่าตู้อบแบบที่ 2 ประมาณ 1 ชั่วโมง

คำสำคัญ: ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์, การอบแห้ง, แอลดีอาร์

Abstract

The main purpose of this research was to improve the efficiency of solar dryer by including a Sun – tracking system. A comparative study between the use of Sun – tracking solar dryer and conventional solar dryer were performed. The dryers with the dimension of 0.45×1.08 square meter, providing solar collecting area of 0.61 square meter, were used in this study for both types of dryer. The principle of the developed solar dryer is that the intensity of light can be transformed to the electrical resistance using the LDR Sensor and the value of resistance is then processed by the microcontroller to find the Sun position. Thus, the dryer can rotate to the position normal to the direction to the Sun. The test results show that, using 1 kg of fresh chilies, the first one was dried to the weight of 0.240 kg, the efficiency of the first dryer was 10.23% , and the second model was able to reduce the weight to 0.276 kg with the efficiency of 8.62% . Both were used for the same drying time at 8 hours. However, compared with the drying time of the two drying systems, the first one was about 1 hour faster than the second one.

Keywords: Solar Dryer, Drying, LDR Sensor

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

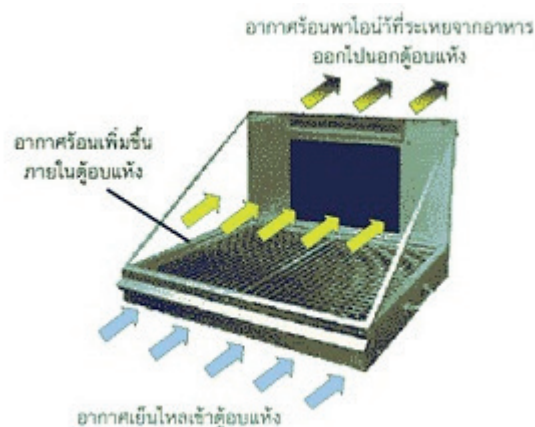
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

²ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: tawatchai_cha@vu.ac.th

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตากแห้ง เป็นกระบวนการลดน้ำหนักของวัตถุดิบหรือการกำจัดน้ำโดยการลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity) คือ การถ่ายเทความร้อนจากบรรยากาศไปสู่วัตถุดิบที่มีขึ้นอยู่ แล้วรับความชื้นจากวัตถุดิบนั้นไปสู่อากาศภายนอก ทำให้วัตถุดิบนั้นมีความชื้นลดลงไปเรื่อยๆ จนทำให้วัตถุดิบนั้นแห้ง โดยสามารถลดและยับยั้งป้องกันการเกิดจุลินทรีย์ทุกชนิดเพื่อให้วัตถุดิบนั้นสามารถเก็บไว้ได้นานมากที่สุด เพราะการเกิดโตของจุลินทรีย์หรือสารเคมีที่ตกค้างเนื่องจากการปฏิกิริยาเคมีส่งผลต่อการถนอมอาหาร การตากแห้งจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อหยุดเอนไซม์และลดปริมาณแบคทีเรียที่มีอยู่ เพราะการตากให้แห้งมีต้นทุนต่ำและค่าใช้จ่ายน้อย กรรมวิธีการตากแห้งที่ง่ายและ ประหยัดมากที่สุดคือการพลังงานจากแสงอาทิตย์ เพราะต้นทุนนั้นถูกกว่า แก๊สหุงต้ม ไฟฟ้าหรือน้ำมัน ซึ่งเป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นทางเลือกอีกวิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับภูมิประเทศ ภูมิอากาศโดยเฉพาะในเขตร้อนและไม่มี ความซับซ้อน แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือ ฝน ฝุ่นละออง แผลงและเชื้อรา ทำให้การตากแห้งแบบลักษณะเดิมมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะความชื้นและการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในปัจจุบันที่มีการนิยมใช้กันอยู่มากที่สุด คือการอบแห้งระบบ Passive คือระบบที่เครื่องอบทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และอาศัยกระแสลมที่พัดจากธรรมชาติ ได้แก่ ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง วัสดุที่อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่โซ่อบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวเอง อากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1

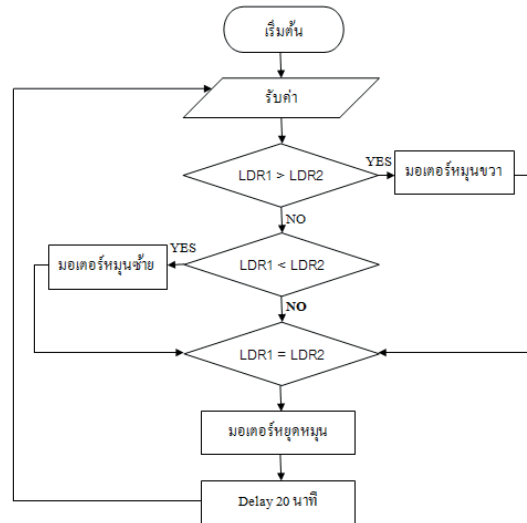


รูปที่ 1 การหมุนเวียนของอากาศภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านมา นั้นจะอาศัยการรับรังสีจากดวงอาทิตย์แบบโดยตรง โดยจะเลือกตำแหน่งที่กลางแจ้งและจะตั้งอยู่กับที่ แต่ก็ยังรับรังสีจากดวงอาทิตย์ได้อย่างไม่เต็มที่ ฉัตรและคณะ (2553) ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์สำหรับอบแห้งกระจุต โดยใช้พื้นที่รับแสงอาทิตย์ขนาด 8.64 ตารางเมตร เป็นแหล่งความร้อนหลักและใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อนไหลตามท่อทองแดงไปแลกเปลี่ยนกับอากาศขึ้นภายในห้องอบแห้งที่มีความจุ 22.5 ลูกบาศก์เมตร จากการทดสอบพบว่าสมรรถนะของระบบอบแห้งกระจุต 22 กิโลกรัม ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 – 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบ 16 ชั่วโมง ต่อเนื่อง สามารถลดความชื้นในการผลิตถัสดจาก 167.03 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เหลือ 9.56 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อีราเดช และคณะ (2553) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้า โดยการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักและพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริม โดยใช้ตู้อบชนิดโปร่งแสง แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ขนาด 4.08 ตารางเมตร ขดลวดนำความร้อนขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 ชุด จูปลาได้ 50 กิโลกรัม การทดลองอบแห้งปลา 2 ชนิดคือปลาช่อนและปลาดุก โดยกำหนดอุณหภูมิ 40, 50, 60 องศาเซลเซียส โดยปลา

ซ่อน ใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 5.54 % ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง ส่วนปลาตากใช้อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการอบแห้ง 2.98 % ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง ธวัชชัยและอานนท์ (2557) ได้ศึกษาวิเคราะห์การเปรียบเทียบของตู้อบทั้ง 2 แบบ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ตู้อบแบบแรกนั้นในช่วงระยะเวลา 6 ชั่วโมงแรก จะลดค่าปริมาณความชื้นของพริกอยู่ที่ 4.67 % db เปรียบเทียบกับแบบหลังจะลดค่าปริมาณความชื้นของพริกได้เพียง 9.77 % db ซึ่งพบว่าแบบแรกสามารถอบแห้งได้ดีกว่าแบบหลัง สุพรพิศ (2558) ได้ทำการศึกษการอบแห้งปลาเกล็ดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไฟฟ้าเพื่อต้องการทำการกระบวนการผลิตปลาเกล็ดแห้งอนามัย การออกแบบเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตู้อบชนิดทึบ ใช้หลอดอินฟราเรดสำหรับให้ความร้อนขนาด 500 วัตต์ จำนวน 4 หลอด ทำการทดลองอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี ในตู้อบที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า การอบแห้งปลาเกล็ดแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบน้อยที่สุด เท่ากับ 300 MJ/kg H₂O evap โดยที่ยังคงได้ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งทั่วไปประมาณ 20 – 30 % db และมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 1.2 % โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ยังคงได้คุณภาพปลาเกล็ดอบแห้งที่เนื้อและสีของปลาใกล้เคียงกับที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาพัฒนาและผสมผสานเทคนิคตู้อบแบบเดิมที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยให้ทำงานโดยการหมุนตามดวงอาทิตย์เพื่อให้รับรังสีดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ไม่ว่าตำแหน่งดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใดก็ตามโดยการติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งใช้เซ็นเซอร์ชนิดแอลดีอาร์และค่าความต้านทานที่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพความนำไฟฟ้าเมื่อมีแสงมาตกกระทบ จะแปลงค่าความต้านทานโดยการนำเซ็นเซอร์จำนวน 2 ตัว มาทำการเปรียบเทียบกัน ถ้าเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวได้รับค่าความต้านทานที่เท่ากันนั้นหมายความว่าได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ที่เท่ากันและเซ็นเซอร์นี้จะส่งค่าที่ได้รับไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เพื่อใช้ในการประมวลผลและจากนั้นจะสั่งให้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบกระแสตรง 12 โวลต์ ทำการหมุนตู้อบไปยังตำแหน่งที่ได้รับค่ารังสีที่มากที่สุดและจะหยุดหมุน จนกระทั่งทุก 20 นาทีจะทำการเปรียบเทียบค่ารังสีของดวงอาทิตย์และจะปรับตามค่าที่มากที่สุด ตามผังขั้นตอนการทำงานในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังงานขั้นตอนการทำงานระบบติดตามดวงอาทิตย์

ในการศึกษาและพัฒนากระบวนการดังกล่าวได้นำตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่ที่อาศัยรังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้าไปในวัตถุดิบ แล้วจะดูดกลืนรังสีและเปลี่ยนไปเป็นความร้อนมาพัฒนาและเปรียบเทียบกับตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะเปรียบเทียบระหว่างการตั้งอยู่กับที่และมีการเคลื่อนที่โดยหมุนตามดวงอาทิตย์ ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการกระจายอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอและนำไปสู่การอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์กับตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตั้งอยู่กับที่ดังรูปที่ 3 และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4 ตู้อบจะถูกนำไปวางยังที่โล่งแจ้ง เพื่อให้ได้รับรังสีของดวงอาทิตย์ให้มากที่สุด โดยขนาดของตู้อบแห้งกว้าง 0.45 เมตร ยาว 1.08 เมตร โดยมีพื้นที่รับรังสีของดวงอาทิตย์ 0.61 ตารางเมตร ตู้อบแห้งเป็นแบบกระจกโปร่งใสทั้งตู้ รูปทรงสามเหลี่ยม โดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ ส่วนตู้อบแห้ง ชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับดวงอาทิตย์และระบบควบคุม ติดตั้งให้เป็นชุดเดียวกันเพื่อให้สะดวกในการใช้งานและการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 3 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตั้งอยู่กับที่



รูปที่ 4 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์

การทำงานของตู้อบแห้งทั้ง 2 แบบเป็นดังนี้ ตู้อบแห้งแบบตั้งอยู่กับที่จะถูกตั้งให้หันหน้าตู้อบไปทางทิศใต้โดยไม่มีการเคลื่อนที่ และตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ตัวตรวจวัดเป็นเซ็นเซอร์แอลดีอาร์ 2 ตัว ทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานที่แตกต่างกัน ถ้าค่าที่วัดได้ต่างกันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ จะหมุนซ้ายหรือขวาเพื่อให้เซ็นเซอร์แอลดีอาร์ทั้ง 2 ตัว มีค่าเท่ากันมอเตอร์ไฟฟ้าจะหยุดหมุนทันทีและเป็นตำแหน่งที่ตรงกับดวงอาทิตย์มากที่สุด

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทดลองการอบฟริกสด โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบ ซึ่งแบบแรกจะทดลองโดยการให้ตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบที่สองจะใช้แบบตู้อบตั้งอยู่กับที่แล้วหันหน้าตู้อบแห้งไปทิศใต้ นำฟริกสดน้ำหนัก 1 kg มาทำการทดลอง ในแบบแรกตัวเซ็นเซอร์แบบแอลดีอาร์ จำนวน 2 ตัวจะทำการตรวจวัดแสงอาทิตย์และจะเปรียบเทียบความเข้มแสง เมื่อได้ค่าที่เท่ากันแล้วตู้อบแห้งจะหันตู้อบไปยังดวงอาทิตย์โดยให้ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักฟริกของตู้อบทั้ง 2 แบบ ทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 8 ชั่วโมงเพื่อหาค่าความชื้นสุดท้ายจากการคำนวณความชื้นตามมาตรฐานของ AOAC (Association of official analytical chemists, 1970) โดยความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1 (ธีรเดชและคณะ, 2553)

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% db)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุ (kg)

d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง (kg)

คำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) ตามสมการที่ 2 และหาประสิทธิภาพ ตามสมการที่ 3 (สุภวรรณและคณะ, 2556)

$$SEC = \frac{3.6 E_p}{m_{in} - m_f} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}}{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

SEC คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg H₂O evap)

E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kW – hr)

3.6 คือ ตัวเลขค่าแปดเตอร์การแปลงหน่วย (kW – hr) เป็น (MJ/kg H₂O evap)

m_{in} คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)

m_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (kg)

5. ผลการวิจัย

การทดลองในส่วนที่ 1 เป็นการทดลองอบพริกแบบตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และวัดความชื้นของรังสีด้วยอาทิตย์ได้ 641 watt/m² โดยเฉลี่ย และเตรียมวัตถุดิบที่นำมาอบแห้งเป็นพริกสดหนัก 1 kg ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลที่วัดได้จากตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

เวลา (hr)	น้ำหนักหลังอบ (kg)	Md (% db)	ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)	SEC (MJ/kg H ₂ O evap)	ประสิทธิภาพ (%)
1	0.865	15.60	0.135	28.00	12.86
2	0.721	19.97	0.144	26.25	13.71
3	0.602	19.76	0.199	18.99	20.89
4	0.489	23.17	0.133	28.42	12.66
5	0.430	13.72	0.059	64.07	5.62
6	0.391	9.97	0.039	96.92	3.71
7	0.274	42.70	0.117	32.31	11.14
8	0.240	14.17	0.034	111.17	3.24

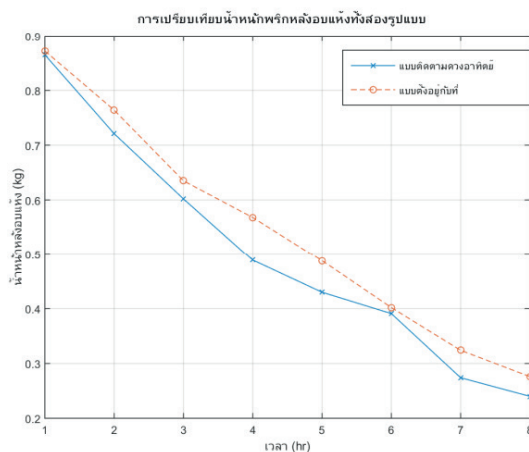
การทดลองในส่วนที่ 2 เป็นการทดลองอบพริกแบบตู้อบแห้งแบบตั้งอยู่กับที่ โดยหันหน้าตู้อบแห้งไปทางทิศใต้ ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และวัดความชื้นของรังสีด้วยอาทิตย์ได้ 641 watt/m² โดยเฉลี่ย และเตรียมวัตถุดิบที่นำมาอบแห้งเป็นพริกสดหนัก 1 kg ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลที่วัดได้จากตู้อบแห้งแบบตั้งอยู่กับที่

เวลา (hr)	น้ำหนักหลังอบ (kg)	Md (% db)	ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)	SEC (Mj/kg H ₂ O evap)	ประสิทธิภาพ (%)
1	0.872	14.68	0.128	29.53	12.19
2	0.764	14.14	0.108	35.00	10.28
3	0.635	20.31	0.129	29.30	12.26
4	0.568	11.80	0.067	56.42	6.38
5	0.488	16.40	0.080	47.25	7.62
6	0.402	21.39	0.086	43.95	8.19
7	0.324	24.07	0.078	48.46	7.43
8	0.276	17.39	0.048	78.75	4.57

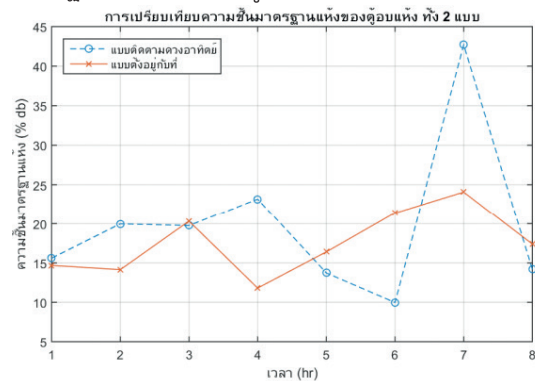
6. อภิปรายผล

จากรูปที่ 5 ผลการทดลองอบพริกในตู้อบแห้งทั้ง 2 แบบ น้ำหนักพริกก่อนอบ 1 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง อุณหภูมิของตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะสูงสุดช่วงเวลา 12.00 -13.00 น. ที่ 71 องศาเซลเซียส น้ำหนักพริกหลังอบจะลดเหลือ 0.240 kg และอุณหภูมิของตู้อบแบบตั้งอยู่กับที่จะสูงสุดช่วงเวลา 12.00 -13.00 น. ที่ 65 องศาเซลเซียส น้ำหนักพริกหลังอบจะลดเหลือ 0.276 kg



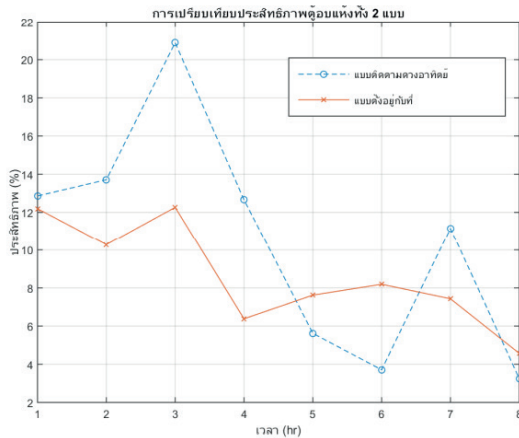
รูปที่ 5 กราฟการเปรียบเทียบน้ำหนักพริกอบแห้งทั้ง 2 แบบ

จากรูปที่ 6 ผลการทดลองอบพริกในตู้อบแห้งทั้ง 2 แบบ น้ำหนักก่อนพริกก่อนอบ 1 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง แบบตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ยจะอยู่ที่ 19.88 % db และตู้อบแบบตั้งอยู่กับที่ ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งเฉลี่ยจะอยู่ที่ 17.52 % db



รูปที่ 6 กราฟการเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานแห้งทั้ง 2 แบบ

จากรูปที่ 7 ผลการทดลองอบพริกในตู้อบแห้งทั้ง 2 แบบ น้ำหนักก่อนพริกก่อนอบ 1 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง แบบตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเฉลี่ยจะอยู่ที่ 10.23 % และตู้อบแบบตั้งอยู่กับที่ ประสิทธิภาพเฉลี่ยจะอยู่ที่ 8.62 %



รูปที่ 7 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้ง 2 แบบ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

การอบแห้งพริกสดด้วยตู้อบแห้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์กับตู้อบแห้งแบบตั้งอยู่กับที่ โดยใช้พริกสดน้ำหนัก 1 kg พบว่าแบบแรกสามารถอบแห้งให้น้ำหนักลดลงเหลือ 0.240 kg ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งแบบแรกได้ 10.23 % ส่วนแบบที่ 2 สามารถอบแห้งให้น้ำหนักลดลงเหลือ 0.276 kg ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งแบบที่ 2 ได้ 8.62 % ใช้ระยะเวลาอบแห้งเท่ากันที่

8 ชั่วโมง แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งของตู้อบทั้ง 2 แบบแล้ว ตู้อบแห้งแบบแรกจะใช้เวลาเร็วกว่าตู้อบแบบที่ 2 ประมาณ 1 ชั่วโมง

7.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองอุปสรรคเกิดจากสิ่งแวดล้อมเช่นเมฆและฝน มีผลต่อแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิในบางครั้งมีความแปรผันไม่เป็นไปตามค่าที่ต้องการ ควรเลือกการทดลองในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง และการทดลองมีความจำเป็นที่จะต้องเปิดตู้อบทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำพริกมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าบันทึกผลในการทดลอง จึงส่งผลให้เกิดการสูญเสียอุณหภูมิภายในบางส่วนของตู้อบออกสู่ภายนอก ควรออกแบบหรือพัฒนาตู้อบแห้งให้มีการวัดน้ำหนักและส่งค่าน้ำหนักได้โดยไม่ต้องเปิดตู้อบแห้งเพื่อนำวัตถุที่ทดลองออกมาชั่งน้ำหนักบ่อยๆ เพื่อลดการสูญเสียอุณหภูมิ

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ฉัตร ผลนาค, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, ภรพนา บัวเพชร, ปิติ พานิชายุนนท์และนฤทธิ์ กล่อมพงษ์. (2553). ระบบอบแห้งพลังงานรังสีดวงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งกระจุต. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 12(3), 99-108.
- ธีราเดช ไหมงมาก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แวค์ศักดิ์, มาริษา มะหิณีและภรพนา บัวเพชร. (2553). การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 12(3), 109-118.
- ธวัชชัย ชาญสูงเนิน และ อานนท์ ศรีสว่าง. (2557). *การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุน*

ติดตามดวงอาทิตย์(รายงานการวิจัย).

นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล.

- สุพรพิศ ณ พินุลย์. (2558). กระบวนการอบแห้งปลาเกลือด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไฟฟ้า โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 12(2), 1-11.
- สุวรรธณ ฐิระวนิชย์กุล, สลิลลา ชาญเขียว และ ยุทธนา ฐิระวนิชย์กุล. (2556). การอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งขงดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ ความสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพ. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 18(2), 311-324.

แผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติจากธูปฤๅษี

Using Cattail Fiber for Reinforcement in Gypsum Boards

รุ่งทิwa เวทยะเวทิน, วศ.ม.¹
นนธิกาญจน์ อาตมียนันท์, วศ.ม.²
ถาวร อีระชาติพรรัตน์, วศ.บ.³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติจากธูปฤๅษีเพื่อใช้ในการก่อสร้างฝ้าเพดาน โดยใช้ปูนปลาสเตอร์ผสมกับเส้นใยของวัชพืชที่เป็นปัญหาต่อการทำการเกษตรอย่างต้นธูปฤๅษี ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่น่าสนใจเข้าสู่กระบวนการศึกษาโดยทดสอบกำลังรับแรงดัด, ความสามารถทนไฟ, ความสามารถดูดซึมน้ำและการถ่ายเทความร้อน การศึกษานี้จะใช้สัดส่วนผสมของปูนปลาสเตอร์ต่อเส้นใยธูปฤๅษีอัตราส่วน 90 : 10 และ 85 : 15 ผลการทดสอบพบว่า แผ่นยิปซัมสูตร 90 : 10 มีความเหมาะสมมากที่สุดนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างฝ้าเพดานโดยมีค่าโมดูลัสแตกร้าว 2.52 เมกะปาสคาล (MPa) ค่าการดูดซึมน้ำต่ำ มีคุณสมบัติความทนไฟตามมาตรฐาน ASTM D 35-98 และมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีโดยมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก 2 องศาเซลเซียสซึ่งดีกว่าแผ่นยิปซัมที่มีขายในท้องตลาด

คำสำคัญ: เสริมเส้นใยจากธูปฤๅษี, โมดูลัสแตกร้าว, ความสามารถทนไฟ, การถ่ายเทความร้อน

Abstract

This research was performed to investigate the utilization of fiber from the cattail leaves for reinforcement in gypsum boards which can be used for the construction of ceiling. This research was conducted by controlling the mixed ratio between plaster to cattail fiber at 90:10 and 85:15. The test results showed that the suitable ratio between plaster to cattail leaves for reinforcement in gypsum boards was 90:10 since it's modulus of rupture was 2.52 MPa, with a low water adsorption while meeting flammability standards (ASTM D 35-98). Furthermore, the heat transfer test result showed that the inside of the test shelter with the fiber of cattail leaves for reinforcement in gypsum boards was 2°C lower than the outside temperature which is superior to than the conventional gypsum boards.

Keywords: Cattail fiber reinforcement, modulus of rupture, flammability, heat transfer

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: rungtiwa_vet@vu.ac.th

²QC Dimension/Survey บริษัทเบสท์เทคแอนด์เอ็นจิเนียริงจำกัด

³สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ขนส่ง และทรัพยากรธรณี สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นที่เป็นผลพวงจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ประเทศญี่ปุ่นได้เสนอนโยบายแผนปฏิบัติการเพื่อหยุดยั้งปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (Action program to arrest global warming) โดยการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและปลูกป่าให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมน่าจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมกับยุคสมัยสอดคล้องกับกระแสความต้องการเทคโนโลยีสะอาด (Clean technology หรือ Green technology) เพราะปัญหาสิ่งแวดล้อมมิใช่เป็นแต่เพียงปัญหาท้องถิ่นหรือภูมิภาคแต่เป็นปัญหาที่เชื่อมโยงกันทั่วโลก ดังแนวคิดของการออกแบบอาคารให้สามารถลดอุณหภูมิจากสภาพอากาศภายนอกที่ร้อนมากขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุธรรมชาติหรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสภาวะแวดล้อมการส่งเสริมการขายผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมหรือที่เรียกว่า “ธุรกิจสิ่งแวดล้อม (Eco-business)” จึงเป็นที่สนใจเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะวัสดุก่อสร้าง

แผ่นยิปซัมเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นผนังกันห้องและเพดานเพราะมีคุณสมบัติติดตั้งง่าย ทนไฟเป็นกึ่งฉนวนกันความร้อนและราคาไม่แพง ในกระบวนการผลิตแผ่นยิปซัมเพื่อให้ได้ความแข็งแรงนั้น ต้องใช้กระดาษกาวชนิดพิเศษปิดด้านหน้า-หลัง แกนกลางเป็นเนื้อปูนปลาสเตอร์ ปัจจุบันมีการผลิตแผ่นยิปซัมเสริมใยแก้ว (Fiber glass) ที่ไม่ต้องใช้กระดาษปิดหน้า-หลัง เนื่องจากใยแก้วจะยึดปูนปลาสเตอร์ให้คงรูปเป็นแผ่นอยู่ได้แต่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตใยแก้วเป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศและละอองใยแก้วเป็นวัสดุอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ การนำต้นรูปยาซึ่งเป็นวัชพืชที่เป็นปัญหาต่อการทำการเกษตรแต่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่น่าสนใจและหาได้ทั่วไปในท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจากพบว่าตรงส่วนใบมีเส้นใย (Fiber) ถึงร้อยละ 40 ที่สามารถปั่นเป็นเส้นด้ายแล้วนำไปทอเป็นผ้าและทำกระดาษได้ด้วย (กฤษฎาและพรณี, 2538) จากคุณสมบัติของรูปยาซึ่งดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยของรูปยาเข้ามาแทรกเสริมเข้าไปในแผ่นยิปซัมเพื่อช่วยลดการใช้แร่ยิปซัมให้

น้อยลงรวมถึงทดแทนการใช้ใยแก้ว เพิ่มการใช้วัสดุธรรมชาติให้มากขึ้นเป็นการช่วยลดวัชพืชทางการเกษตร

โดยผู้วิจัยมุ่งที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติจากรูปยาเพื่อหาคุณสมบัติในกำลังรับแรงดัด การดูดซึมน้ำ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ความสามารถทนไฟ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาวัสดุในงานก่อสร้างของแต่ละท้องถิ่นสำหรับการใช้งานเป็นฝ้าเพดานในอาคารที่มีความสวยงามและปลอดภัยต่อสุขภาพโดยนำทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ส่งเสริมเทคโนโลยีสะอาด รักษาสิ่งแวดล้อมและลดปัญหาโลกร้อนอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนปลาสเตอร์กับเส้นใยของรูปยาสำหรับแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติจากรูปยา
2. ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมประกอบด้วยกำลังรับแรงดัดประลัย (Ultimate flexural strength) หรือค่าโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture)
3. ทดสอบการถ่ายเทความร้อน ความทนไฟ การดูดซึมน้ำและความหนาแน่น

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษา ได้แก่ มีดสำหรับตัดและหั่นต้นรูปยา เครื่องปั่นผลไม้ ไฟฟ้า ปูนปลาสเตอร์ ต้นรูปยา ดาชั่ง เครื่องเหล็กและไม้อัดสำหรับทำแบบหล่อ ในการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนปลาสเตอร์กับเส้นใยของรูปยาในการผลิตแผ่นยิปซัมจะใช้ส่วนผสมจำนวน 2 สูตร ดังนี้

- สูตรที่ 1 ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 90 และเส้นใยรูปยาชนิด ร้อยละ 10

- สูตรที่ 2 ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 85 และเส้นใยรูปยาชนิด ร้อยละ 15

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูป

4.1.1 การเตรียมเส้นใยต้นธูปฤาษี

การศึกษานี้จะใช้วิธีการผลิตเส้นใยธูปฤาษีด้วยวิธีทางกลเพราะเส้นใยจะถูกทำลายน้อยกว่าการแยกเส้นใยธูปฤาษีด้วยกรรมวิธีทางเคมี (ทรงศักดิ์, ศิลปชัย และณัฐพร, 2545) การผลิตเส้นใยธูปฤาษีเริ่มต้นจากการตัดธูปฤาษีเอาตรงส่วนกลาง (ตัดส่วนโคนและส่วนปลายธูปฤาษีทิ้ง) นำมาหั่นยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วใส่ในเครื่องปั่นไฟฟ้าทำการปั่นจนละเอียดจากนั้นนำไปตากให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมเส้นใยธูปฤาษี

4.1.2 การเตรียมอัตราส่วนผสม

ในการผลิตแผ่นยับซึมเสริมเส้นใยธูปฤาษี ขนาด 600 x 600 x 9 มิลลิเมตร (มาตรฐาน มอก. 219-2524) จะใช้ปูนปลาสเตอร์ 3,500 กรัม น้ำสะอาด 2,500 กรัม อัตราส่วนผสมของเส้นใยธูปฤาษีใช้วิธีการตวงแบบชั่ง

น้ำหนักคิดเป็นร้อยละของวัสดุผสม (สุพะไชย์, 2551) ดังนี้

- สูตรที่ 1 ใช้ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 90 และเส้นใยธูปฤาษี ร้อยละ 10

- สูตรที่ 2 ใช้ปูนปลาสเตอร์ ร้อยละ 85 และเส้นใยธูปฤาษี ร้อยละ 15

การเตรียมอัตราส่วนผสมได้แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเตรียมอัตราส่วนผสม

4.1.3 การขึ้นรูป

ขั้นตอนการผสมดังรูปที่ 3 เริ่มต้นจากการผสมผงปูนปลาสเตอร์กับเส้นใยธูปฤาษีแห้งบดละเอียดคลุกเคล้าให้เข้ากันแบบย่ำกองไปมาจนเนื้อของผสมมีความสม่ำเสมอทั่วกัน ทำเป็นกองที่มีปากคล้ายปล่องภูเขาไฟ แล้วจึงเทสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปปากปล่องนั้นแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วินาที แล้วคนเป็นเวลา 60 ถึง 120 วินาที จนของผสมมีความชื้นเหลวทั่วกัน ทาน้ำมันที่แบบหล่อแล้วเทลงในแบบหล่อทันที ใช้เกรียงเหล็กเกลี่ยปาดกตเบาๆ เพื่อกำจัดฟองอากาศ ใช้ไม้สำหรับตักแต่งความหนาที่เตรียมไว้ปาดส่วนที่เกินออกจากแบบหล่อ แต่ให้คงเหลือของผสมไว้เกินขนาดที่ต้องการเล็กน้อย (เพื่อการหดตัวจากการสูญเสียน้ำ) ซึ่งขั้นตอนนี้ต้องปฏิบัติโดยเร็วที่สุดหลังจากการผสม จากนั้นทิ้งไว้พองหมาดๆ ประมาณ 10 นาที จึงใช้แผ่นวัสดุเรียบปิดหน้าแล้วกดทับด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเพื่อให้เนื้อยับซึมแน่นและป้องกันการสูญเสียน้ำ ปล่อยของผสมทิ้งไว้ในแบบหล่อและระวังไม่ให้แบบหล่อถูกรบกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3 แสดงการขึ้นรูปแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยรูปภาชี

4.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรม

4.2.1 การทดสอบแรงกดประลัยและโมดูลัสแตกร้า

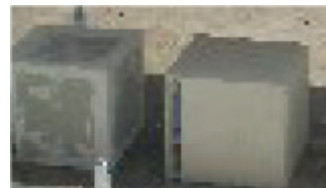
การทดสอบหาค่าแรงกดประลัยและค่าโมดูลัสแตกร้าได้ดำเนินการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิปซัม มอก. 219 – 2524 ซึ่งได้แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบแรงกดประลัยและโมดูลัสแตกร้า

4.2.2 การทดสอบการถ่ายเทความร้อน

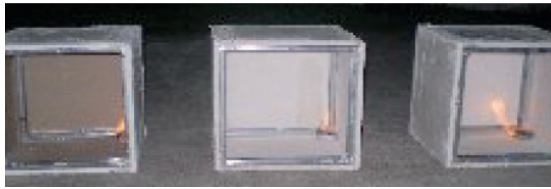
การทดสอบการถ่ายเทความร้อนได้ใช้ห้องทดสอบความร้อน ขนาด 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตรจำนวน 3 ชุดซึ่งจัดทำจากแผ่นยิปซัมธรรมดาและยิปซัมเสริมเส้นใยรูปภาชีทั้ง 2 อัตราส่วนโดยวางห้องทั้งสามห่างกันประมาณ 70 เซนติเมตร ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ไว้ในห้องทดสอบเจาะช่องใส่กระจกใสให้มองเห็นเทอร์โมมิเตอร์ที่อยู่ด้านในห้องทดสอบ ปิดผนึก ยาแนวขอบรอยต่อให้สนิท ไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าออกได้ นำไปทดสอบบริเวณโค้งแจ้งโดยได้จำลองให้คล้ายกับการใช้งานในร่ม จึงวางห้องทดสอบไว้ใต้หลังคาอาคารจำลองโดยติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดเหนือและใต้หลังคา (นอกห้องทดสอบ) ดังแสดงในรูปที่ 5 แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ใช้ค่าอุณหภูมิที่จุดใต้หลังคาเป็นอุณหภูมิภายนอกในการเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่ได้อ่านภายในแต่ละห้องทดสอบ โดยจดบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมง ทั้งกลางวันและกลางคืน รวม 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5 การทดสอบการถ่ายเทความร้อน

4.2.3 การทดสอบความทนไฟและการลามไฟ

ใช้ห้องทดสอบขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตรทำด้วยแผ่นยิปซัมทั้ง 5 ด้าน เปิดผนัง 1 ด้าน เพื่อให้มีช่องทางให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาเผาไหม้ จากนั้นใช้แอลกอฮอล์เจล 1 อันจุดไฟเผาที่มุมห้องทดสอบรองนไฟดับมอดสนิท แล้วตรวจพินิจความเสียหาย เปรียบเทียบผลกับห้องทดสอบที่ทำจากแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังแสดงในรูปที่ 6 ก การทดสอบอัตราการลามไฟจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 35 – 98 จะใช้แผ่นยิปซัมที่ต้องการทดสอบขนาดตัวอย่าง ความกว้าง 13 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และหนา 9 มิลลิเมตร จุดไฟเผาานาน 30 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6 ข



ก



ข

รูปที่ 6 การทดสอบความทนไฟและการลามไฟ

4.2.4 ความดูดซึมน้ำและความหนาแน่น

ใช้แผ่นอีพ็อกซีเสริมเส้นใยธรรมชาติจากรูปภาชีที่ผลิตขนาด 300 x 400 x 9 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักก่อนการแช่น้ำ (อบแห้งจนมวลคงที่) และหลังแช่น้ำนาน 15 นาที (รูปที่ 7) หาค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน คำนวณหาค่าความดูดซึมน้ำและความหนาแน่น เปรียบเทียบกับผลการทดสอบโดยใช้แผ่นอีพ็อกซีที่จำหน่ายในท้องตลาดในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 7 การทดสอบความดูดซึมน้ำและความหนาแน่น

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบแรงกดประลัยและโมดูลัสแตกร้าว

ผลการทดสอบกำลังรับแรงกดประลัยและโมดูลัสแตกร้าวแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าแรงกดประลัย โมดูลัสแตกร้าวและน้ำหนักของแผ่นอีพ็อกซี

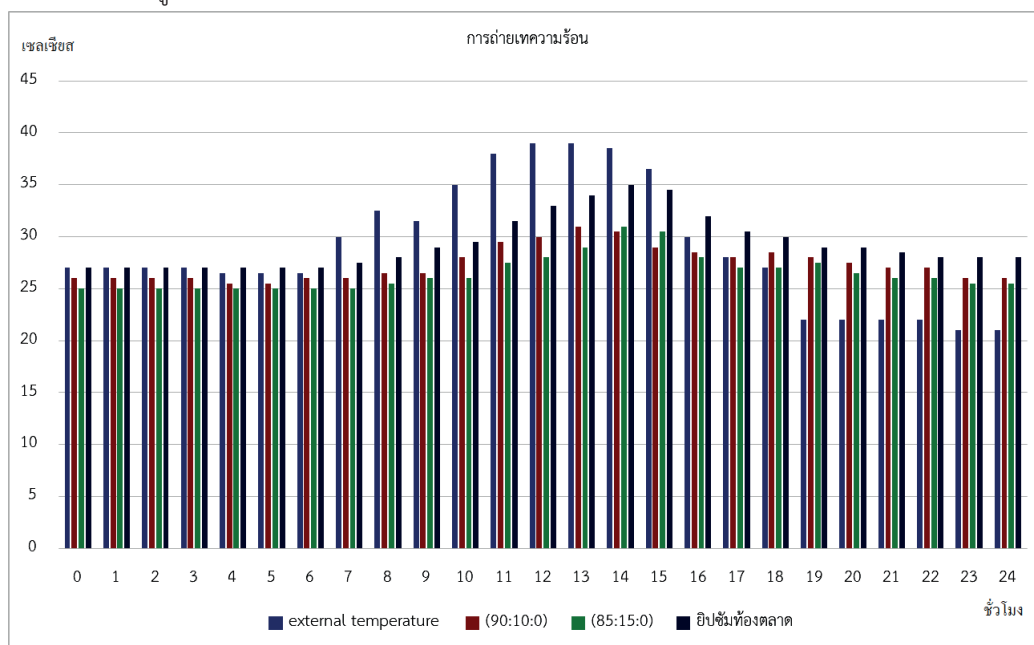
อัตราส่วน ปูนปาสเตอร์ : รูปภาชี	การผสม สารยึดติด	ตัวอย่างที่	แรงกด ประลัย (นิวตัน)	โมดูลัสแตกร้าว (เมกะปาสคาล)	น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)
90 : 10	ไม่ผสม	1	118.96	2.64	1,009
		2	108.89	2.42	986
		3	112.44	2.50	989
		ค่าเฉลี่ย	113.43	2.52	994.67
85 : 15	ไม่ผสม	1	82.66	1.84	893
		2	77.75	1.73	871
		3	92.47	2.05	940
		ค่าเฉลี่ย	84.29	1.87	901.33
แผ่นอีพ็อกซีที่ จำหน่าย ในท้องตลาดทั่วไป	-	1	103.26	2.90	747
		2	105.22	2.96	758
		3	106.20	2.98	765
		ค่าเฉลี่ย	104.90	2.95	756.67

การทดสอบหาแรงกดประลัยและโมดูลัสแตก
ร้าวของแผ่นยิปซัมตัวอย่าง โดยวิธีการประยุกต์เครื่องมือ
ต่างๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
(มอก. 219-2524) ได้ผลการทดสอบ คือ แผ่นยิปซัมเสริม
เส้นใยรูปภาชี อัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อเส้นใยรูปภาชี
90 : 10, 85 : 15 และแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายตามท้องตลาด
สามารถรับแรงกดประลัยได้ 113.43, 84.29 และ 132.36
นิวตัน (N.) ตามลำดับในขณะที่แผ่นยิปซัมตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 219-2524) ต้องรับแรง
กดประลัยได้ไม่ต่ำกว่า 135 นิวตันและค่าโมดูลัสแตกร้าว
ต้องไม่น้อยกว่า 3 เมกะปาสคาล (MPa.) เมื่อพิจารณา
ค่าโมดูลัสแตกร้าวแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยธรรมชาติจาก

รูปภาชีเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายตาม
ท้องตลาดพบว่าแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีค่า
โมดูลัสแตกร้าวใกล้เคียงมาตรฐาน มอก. เมื่อพิจารณา
แผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยรูปภาชีที่อัตราส่วนผสม 90 : 10
พบว่ามีการรับแรงกดประลัยสูงกว่าอัตราส่วนผสม 85 : 15
ดังนั้นการเพิ่มเส้นใยในส่วนผสมมีผลต่อการเพิ่มกำลังรับ
แรงโดยจะรับแรงกดได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการ
ศึกษาของการเพิ่มความสามารถในการรับแรงโดยผสม
วัสดุเส้นใยทางธรรมชาติซึ่งจะมีขีดจำกัดในปริมาณหนึ่ง
ถ้าผสมมากกว่าปริมาณนี้จะทำให้ความสามารถในการ
รับแรงลดลงได้ เช่นผสมมากอ้อยไม่เกินร้อยละ 6
(ประชุม, 2550 ; จรูญศรี, 2553)

5.2 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนและการลามของไฟ

ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนและการลามของไฟของแผ่นยิปซัมเสริมเส้นใยรูปภาชี อัตราส่วน
ปูนปลาสเตอร์ต่อเส้นใยรูปภาชี 90 : 10, 85 : 15 และแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายตามท้องตลาดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ
ภายนอกดังแสดงในรูปที่ 8 และตารางที่ 2



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอก

จากการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแผ่นยิปซัมแต่ละอัตราส่วนผสมเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัม
ที่จำหน่ายในท้องตลาดดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าแผ่นยิปซัมสูตรอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ต่อเส้นใยรูปภาชี 85 : 15
และ 90 : 10 มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยิปซัมที่จำหน่ายในท้องตลาด โดยแผ่นยิปซัมผสม

เส้นใยรูปภาชี 85 : 15 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 3 องศาเซลเซียสและแผ่นยับยั้งผสมเส้นใยรูปภาชี 90 : 10 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ย 2 องศาเซลเซียสในขณะที่แผ่นยับยั้งที่ขายในท้องตลาดมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 1 องศาเซลเซียส

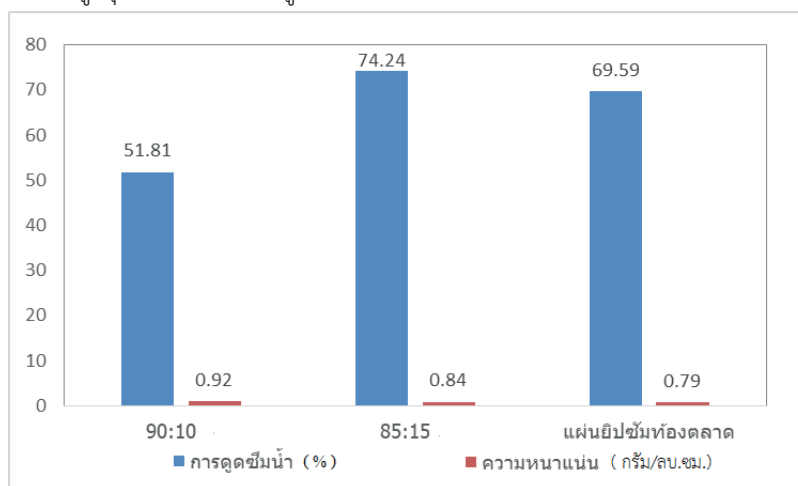
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความทนไฟและการลามไฟของแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชีเปรียบเทียบกับแผ่นยับยั้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ	ความทนไฟ	การลามไฟ
แผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชี อัตราส่วน 90 : 10	ไม่ติดไฟ	ไม่เกิดควัน ไฟไม่ลาม เมื่อเอาไฟออก
แผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชี อัตราส่วน 85 : 15	ไม่ติดไฟ	ไม่เกิดควัน ไฟไม่ลาม เมื่อเอาไฟออก
แผ่นยับยั้งที่จำหน่ายตามท้องตลาด	ไม่ติดไฟ	ไม่เกิดควัน ไฟไม่ลาม เมื่อเอาไฟออก

การทดสอบอัตราการลามไฟตามมาตรฐาน ASTM D 35-98 พบว่าแผ่นยับยั้งตัวอย่างทั้งหมดไม่ติดไฟไม่เกิดควัน (No smoke developed) และไม่มีการลามไฟเมื่อเอาไฟออก (No flame spread)

5.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่น

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชีแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับแผ่นยับยั้งที่จำหน่ายในท้องตลาดดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าการดูดซึมน้ำของแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชีอัตราส่วน 90:10 มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดถัดมาคืออัตราส่วน 85:15 และแผ่นยับยั้งที่ขายตามท้องตลาดโดยแผ่นยับยั้งที่ดีควรมีการดูดซึมน้ำน้อย เมื่อพิจารณาความหนาแน่นพบว่าแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชีอัตราส่วน 90:10 มีความหนาแน่นสูงสุดคือ 0.92 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 9 ผลการทดสอบหาความดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชีเปรียบเทียบกับแผ่นยับยั้งที่จำหน่ายในท้องตลาด

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบพบว่าแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชนะที่อัตราส่วนผสมปูนปลาสเตอร์ต่อเส้นใยรูปภาชนะ 90 : 10 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นผ้าเพดานมากที่สุด กล่าวคือมีความทนน้ำสูงส่งผลให้ในกรณีที่ผ้าเพดานถูกความชื้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเนื่องจากการหดตัวจากการได้รับความชื้นหรือผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันและสามารถลดแรงดัดที่เกิดจากการบิดงอเนื่องมาจากการหดตัว เมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนพบว่ามีความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยับยั้งที่ขายตามท้องตลาดโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าภายนอก 2 องศาเซลเซียสและมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันไฟและการไม่ลามของไฟตามมาตรฐาน เมื่อพิจารณาความสามารถเชิงกลคือกำลังรับแรงดัดประลัยหรือโมดูลัสแตกร้าวจะต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 219-2524 กำหนด แต่มีความแข็งแรงเพียงพอที่นำไปใช้เป็นวัสดุผนังเพดานเนื่องจากตัวผ้าเพดานไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการรับน้ำหนักหรือแรงดัดของวัสดุประกอบอื่น นอกจากนี้ในการศึกษาพบว่าแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยรูปภาชนะมีคุณสมบัติเด่นด้านการเป็นฉนวนความร้อนซึ่งจะสามารถพัฒนาต่อยอดคุณสมบัติกันเสียงหรือประหยัดพลังงานในการทำมาเย็นของระบบเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งเพื่อลดความร้อนที่ส่งผ่านจากหลังคาเข้าสู่ตัวอาคารพักอาศัยในประเทศแถบเขตร้อนชื้น ซึ่งนับว่าเป็นอีกหนทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อระบบหายใจและลดภาวะโลกร้อนซึ่งน่าจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมกับยุคสมัยสอดคล้องกับกระแสความต้องการเทคโนโลยีสะอาด (Clean technology หรือ Green technology)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาอัตราส่วนและขนาดความยาวของเส้นใยรูปภาชนะที่เหมาะสมในการนำมาผสมเพื่อให้มีคุณสมบัติต่างๆ ดีขึ้น
2. ทำการพัฒนาอัตราส่วนผสมที่ลดน้ำหนักของแผ่นยับยั้งแต่คงความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนและความสามารถในการทนน้ำและเพิ่มความสามารถของกำลังรับแรงดัดประลัยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมอก. 219-2524

เอกสารอ้างอิง

1. กฤษฎา บุญนิล และ พรณี รัตนชัยสิทธิ์. (2538). การผลิตผ้าจากเส้นใยต้นธูปฤาษี. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 33 สาขาประมง วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ การจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม* (น. 288-295). กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
2. จริญญา โชคศิริวรรณ. (2553). *คุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของก้อนอิฐดินดิบ*. วิทยานิพนธ์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
3. ทรงศักดิ์ สมจักษ์, ศิลปชัย ศรีอุทัย และ ณัฐพร ชุมสมุย. (2545). *การวางเส้นใยของธูปฤาษีด้วยเครื่องจักรต้นแบบ* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
4. ประชุม คำพุ่ม. (2550). การใช้เส้นใยอ้อยและเส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรงในแผ่นยับยั้ง. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
5. สุพะไชย จินดาวิมลกุล. (2551). การผลิตแผ่นยับยั้งเสริมเส้นใยธรรมชาติจากหญ้าแฝก. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, ปีที่ 56(177), 20-26.

ผลกระทบของกระบวนการเปียกสลับแห้งของดินเค็มที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

Effect of Wetting and Drying Process of Saline Soil on Engineering Properties

ลิขิต ศรีสมุทร, วศ.บ.¹

เอกชัย ม่านโคกสูง, วศ.ม.^{1,2}

บทคัดย่อ

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีหลายพื้นที่ที่เป็นดินเค็ม ซึ่งความเค็มในดินจะมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ในการก่อสร้างถนนการวางแนวเส้นทางไม่อาจจะหลีกเลี่ยงพื้นที่ดังกล่าวนี้ได้ บางครั้งอาจจะต้องนำดินดังกล่าวมาเป็นวัสดุการทางเพื่อลดต้นทุนการก่อสร้าง เมื่อการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จและเปิดใช้งาน โครงสร้างถนนจะผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้งเนื่องจากการเปลี่ยนฤดูกาลตลอดเวลา ซึ่งอาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินได้และส่งผลต่อถนนที่หลังจากเปิดใช้งานไปแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการเปียกสลับแห้งของดินเค็มที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม โดยการใช้เกลือสินเธาว์ธรรมชาติปรับสภาพดินให้มีระดับความเค็มของดินเป็น 3 ระดับ งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและสมบัติทางด้านวิศวกรรมของตัวอย่างดินเค็ม รวมทั้งทดสอบหาค่า California bearing ratio (CBR) กับตัวอย่างดินเค็มที่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง โดยการปรับใช้วิธีการที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM D 559-03 ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างที่ได้รับความเค็มจะสูญเสียค่าความเป็นพลาสติกไป ค่าพิกัดเหลวลดลงตามลำดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบการบดอัดดินแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มระดับความเค็มค่าความชื้นบดอัดที่เหมาะสม (Optimum moisture content, OMC) เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งลดลง นอกจากนี้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่า CBR ลดลงตามลำดับความเค็มที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อนำตัวอย่างดินเค็มผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง พบว่าดินปกติได้รับผลกระทบน้อย ส่วนดินเค็มมีค่า CBR สูงขึ้นตามจำนวนรอบของกระบวนการเปียกสลับแห้งทุกระดับความเค็ม

คำสำคัญ: ดินเค็ม, วัสดุก่อสร้าง, กระบวนการเปียกสลับแห้ง, คุณสมบัติทางวิศวกรรม

¹ส่วนงานวิศวกรรม บริษัทศรรายจำกัด อ.เมือง จ.นครราชสีมา

²ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: aunetun@hotmail.com

Abstract

In the Northeastern region of Thailand, the saline soil can be widely found. The salinity can affect engineering properties of soil. In road construction, the positioning of road alignment over the saline soil areas may not be avoided. The saline soils are sometimes used as highway materials for cost saving purpose. When roads are opened after completion of construction, the road structure generally experiences the wetting-drying process due to seasonal change, causing the variation in the engineering properties and affecting serviceability of the roads. Thus, this study aimed to investigate the effect of the wetting-drying process of the saline soil on the engineering properties. The saline soil samples with three salinity levels were prepared by adding different amount of natural rock salt into the original soil samples. The basic properties and engineering properties of saline soil samples were determined. The California bearing ratio tests were performed on the saline soil samples undergoing the modified wetting-drying process in accordance with ASTM D 559-03. The test results show that the soil became non-plastic after adding salt. The liquid limit decreased with increasing salinity level. From compaction tests, with increasing salinity level, the optimum moisture content increased while the dry unit weight decreased. Moreover, the unconfined compressive strength and CBR value decreased with increasing salinity level. For the samples undergoing wetting-drying process, there was no effect of wetting-drying on CBR value of the original soil sample. However, in case of saline soil samples, the CBR value increased with respect to the number of wetting-drying cycles at the all salinity levels.

Keywords: saline soil, construction material, wetting and drying process, engineering properties

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดินเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรมโยธาเพราะดินเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดแนวทางในการออกแบบฐานรากของสิ่งก่อสร้าง แต่เนื่องจากดินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามแหล่งกำเนิดบางชนิดมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีทำให้ง่ายต่อการเลือกใช้งาน แต่บางชนิดมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงาน ดังนั้นคุณสมบัติทางวิศวกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องทราบก่อนนำดินมาใช้ในงานก่อสร้าง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีหลายบริเวณที่ดินมีความเค็มจากเกลือธรรมชาติโดยดินได้รับอิทธิพลของเกลือ (Salt affected soils) หรือเป็นดินที่ประกอบด้วยเกลือที่ละลายน้ำได้อยู่มากและในบริเวณดังกล่าวก็มีงานก่อสร้างต่างๆ โดยเฉพาะถนนอยู่ด้วย ซึ่งผลของความเค็มในดินที่มีต่อคุณสมบัติทางด้าน

วิศวกรรมของดินจำเป็นต้องมีการศึกษา (ยุทธลักษณ์, 2548 ; รุ่งลาวัลย์, 2555) เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเมื่อนำดินเค็มนั้นมาเป็นวัสดุก่อสร้างทาง (Alain-achi & Alobaidy, 2010 ; Jafer, 2013) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการก่อสร้างถนนแล้วเสร็จ ใ้การใช้งานจะเกิดการเปื่อยสลับแห้งในโครงสร้างของถนนตลอดเวลา ซึ่งปัจจัยนี้อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมได้จึงยังคงเป็นสิ่งที่ต้องทำการศึกษาดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการเปื่อยสลับแห้งของดินเค็มที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม โดยศึกษาดินหนึ่งชนิดที่ใช้ในการก่อสร้างทางและมีความเค็ม 3 ระดับ นำมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม และทำการกระบวนการเปื่อยสลับแห้ง เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาถึงผลของความเค็มที่มีต่อคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและผลกระทบของกระบวนการเปียกสลับแห้งของดินเค็มที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

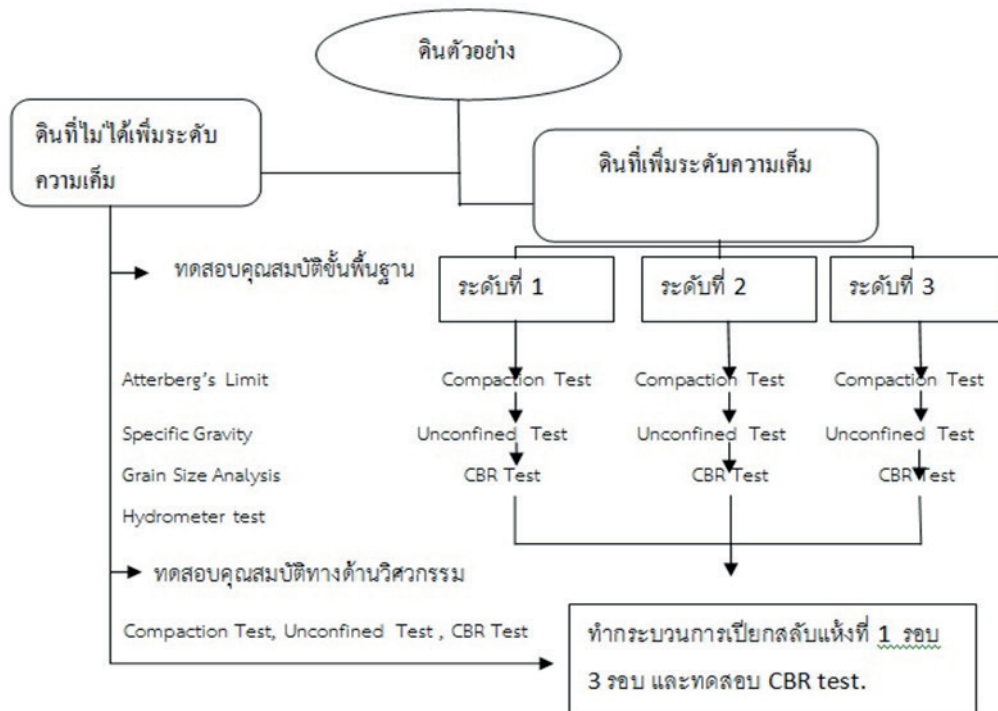
- ดินประเภท Low plasticity clay (CL) ที่นำไปใช้ในงานก่อสร้างทาง
- เกลือสินเธาว์และสารละลาย Sodium chloride (NaCl) ใช้เปลี่ยนระดับความเค็มของดินเป็น 3 ระดับ
- เครื่องมือวัดระดับความเค็มของดินโดยการวัดระดับความเค็มของดินจากค่าความนำไฟฟ้า
- เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานได้แก่ Atterberg's Limit, ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน, ตะแกรงร่อนดิน
- เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมได้แก่ Compaction test, Unconfined compression test และ California bearing ratio (CBR) test.
- กระบวนการเปียกสลับแห้งโดยปรับใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM D 559 – 03 (Uchaipichat, 2015)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบได้กระทำตามขั้นตอนการทดสอบ ดังแสดงตามรูปที่ 1 โดยนำดินตัวอย่างไปทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานประกอบด้วย การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน การหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง และวิธีตกตะกอน การวิเคราะห์หาขนาดคละ การทดสอบ Atterberg's limits การทดสอบหาความเค็มในดินและนำดินตัวอย่างไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ประกอบด้วย การทดสอบการบดอัดดินโดยวิธี Modified proctor test การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดและการทดสอบ California bearing ratio (CBR)

จากนั้นทำการเพิ่มระดับความเค็มของดิน ดำเนินการโดยการแช่ดินในน้ำเกลือ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตรจนถึง 300 กรัม/ลิตร เป็นเวลา

48 ชั่วโมง หลังจากแช่น้ำเกลือจนครบกำหนด นำดินมาทำการอบจนแห้ง จากนั้นนำมาวัดความเค็ม จะได้ตัวอย่างดินที่เพิ่มความเค็มดังนี้ ระดับที่ 1 ค่าความนำไฟฟ้า (Electric conductivity, EC) = 5-10 mmho/cm. ซึ่งเป็นระดับความเค็มปานกลางตามความสัมพันธ์ระหว่างค่า EC กับระดับความเค็มตามตารางที่ 1 (U.S. Soil Salinity Laboratory Staff, 1954), ระดับที่ 2 EC = 10-15 mmho/cm. เป็นระดับความเค็มมาก, และระดับที่ 3 EC = 15-20 mmho/cm. เป็นระดับความเค็มมากที่สุด นำตัวอย่างดังกล่าวมาทำการบดอัดดินด้วยวิธี Modified proctor test จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการกระบวนการเปียกสลับแห้ง โดยปรับใช้มาตรฐาน ASTM D 559-03 โดยแช่ตัวอย่างทดสอบพร้อมแบบ (mold) เพื่อไม่ให้ตัวอย่างเสียรูป โดยแช่น้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าสู่ตู้อบโดยอบที่อุณหภูมิ 71°C เป็นเวลา 42 ชั่วโมง ถือเป็น 1 รอบ ทำซ้ำกับตัวอย่างทั้งหมด 3 รอบ โดยก่อนการทดสอบต้องแช่น้ำก่อน 3 ชม. และรอให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปทดสอบหา ค่า CBR ที่กระบวนการเปียกสลับแห้ง 1 รอบและ 3 รอบ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่านำไฟฟ้ากับปริมาณเกลือในดิน

ค่า EC (mmho/cm)	ปริมาณเกลือเฉลี่ยในดิน (%)	ระดับความเค็มของดิน
น้อยกว่า 2	น้อยกว่า 0.1	ไม่เค็ม
2 - 4	0.1 – 0.15	เค็มเล็กน้อย
4 - 8	0.15 – 0.35	เค็มปานกลาง
8 - 16	0.35 – 0.70	เค็มมาก
มากกว่า 16	มากกว่า 0.70	เค็มมากที่สุด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางวิศวกรรม

หลังจากทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินตัวอย่างแล้ว ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งดินตัวอย่างก่อนเพิ่มความเค็มจะมีปริมาณเกลือเฉลี่ยน้อยกว่า 0.1 % จัดเป็นดินไม่เค็มหรือดินปกติและเป็นดินประเภท Low plasticity clay (CL)

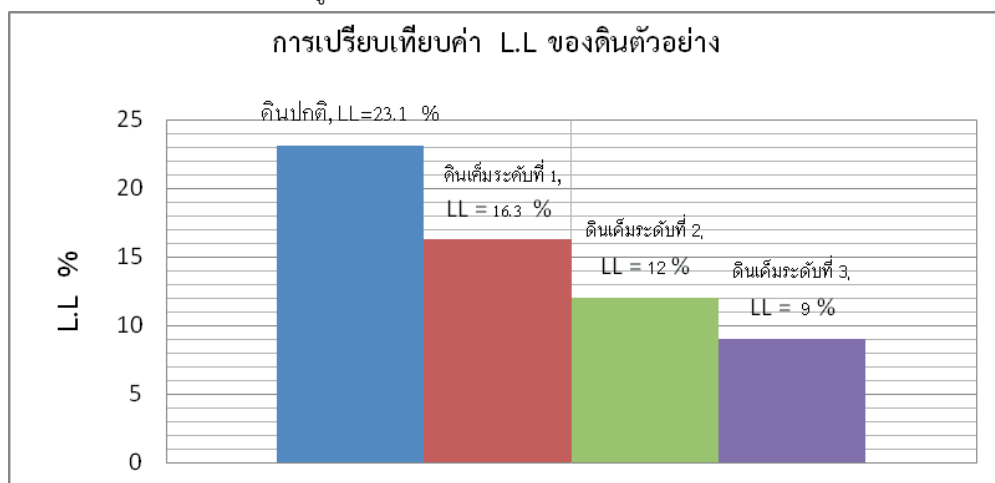
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินปกติ

คุณสมบัติขั้นพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม	
Plastic Limit (PL)	13.11 %
Liquid Limit (LL)	23.1 %
Plasticity Index (PI)	9.99 %
กลุ่มดินในระบบ USCS	CL
ความถ่วงจำเพาะ G_s	2.67
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด γ_{dmax}	21.55 kN/m ³
ความชื้นบดอัดที่เหมาะสม OMC.	5.8 %
Unconfined Compressive Strength.	8 ksc.
CBR (Unsoaked)	18.63 %
CBR (Soaked)	6.28 %

เมื่อเพิ่มความเค็มจำนวน 3 ระดับแล้ว ได้ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเค็มทั้งหมดและทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมระหว่างดินปกติกับดินเค็มได้ผลดังนี้

Atterberg's Limits

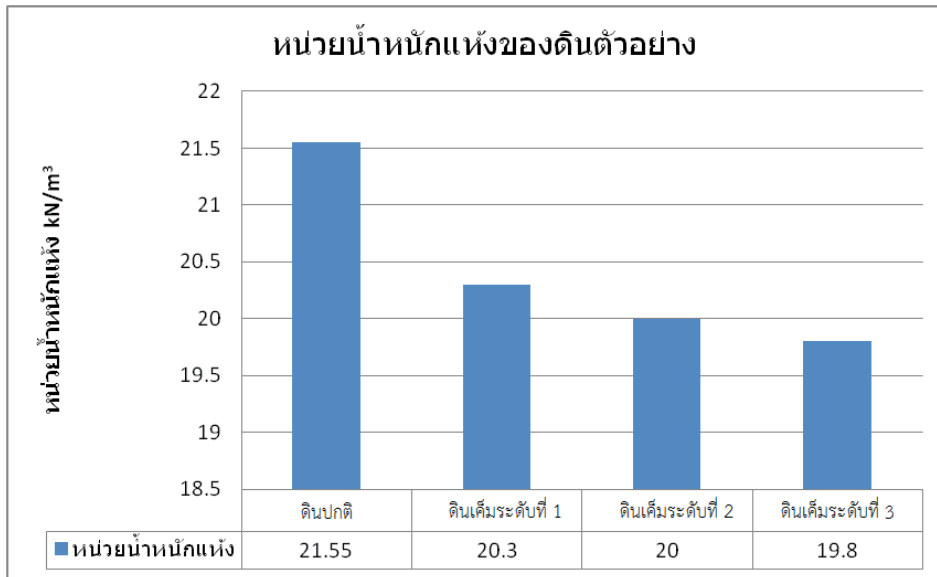
จากผลการทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติก (PL) พิกัดเหลว (LL) ของดินเค็ม พบว่าดินที่เพิ่มความเค็มทั้งสามระดับจะสูญเสียความเป็นพลาสติกไปไม่สามารถทดสอบหาค่า PL ได้ ส่วนค่า LL ของดินเค็มทั้งสามระดับมีค่าลดลงตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2



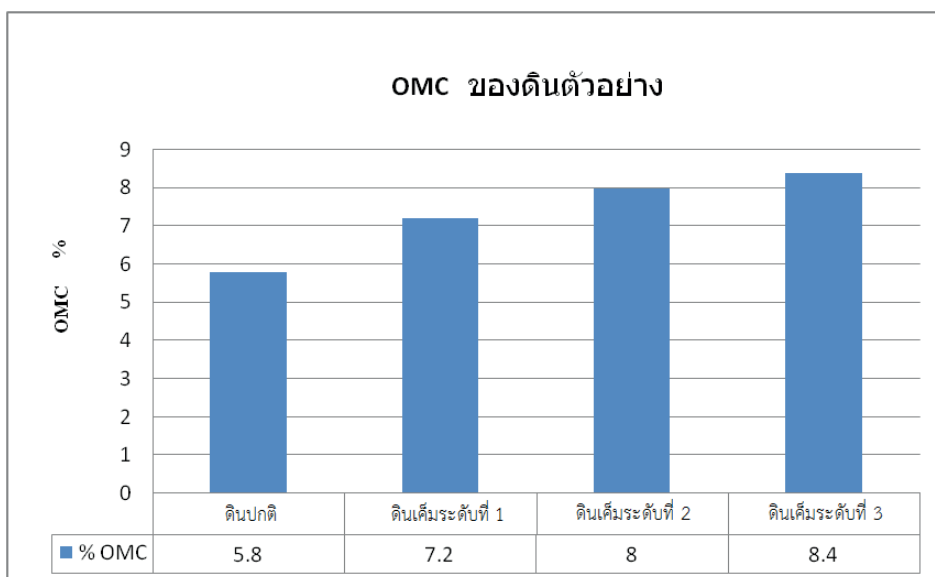
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่า L.L ของดินตัวอย่าง

Compaction Test

จากการทดสอบการบดอัดดินแบบ Modified proctor เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด γ_{dmax} และค่าความชื้นที่เหมาะสม (OMC.) พบว่าตัวอย่างดินมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลงตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น และค่า OMC เพิ่มขึ้น ตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินตัวอย่าง



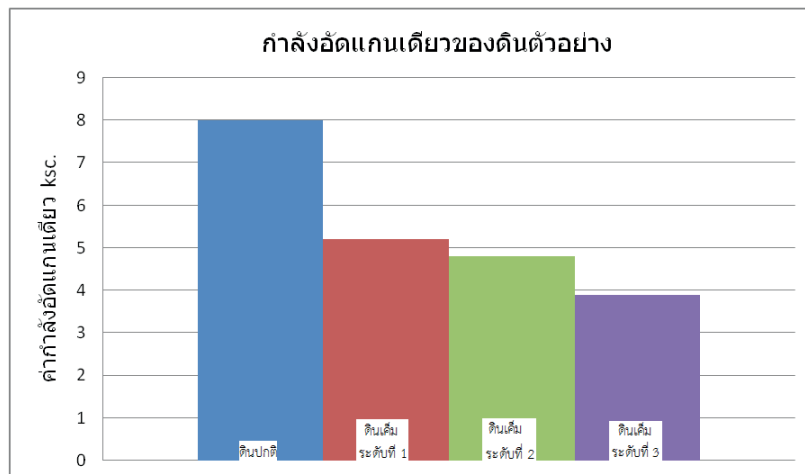
รูปที่ 4 ค่า OMC ของดินตัวอย่าง

Unconfined Compression Test

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดลดลงตามระดับความเค็มของดินที่เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของตัวอย่างดิน

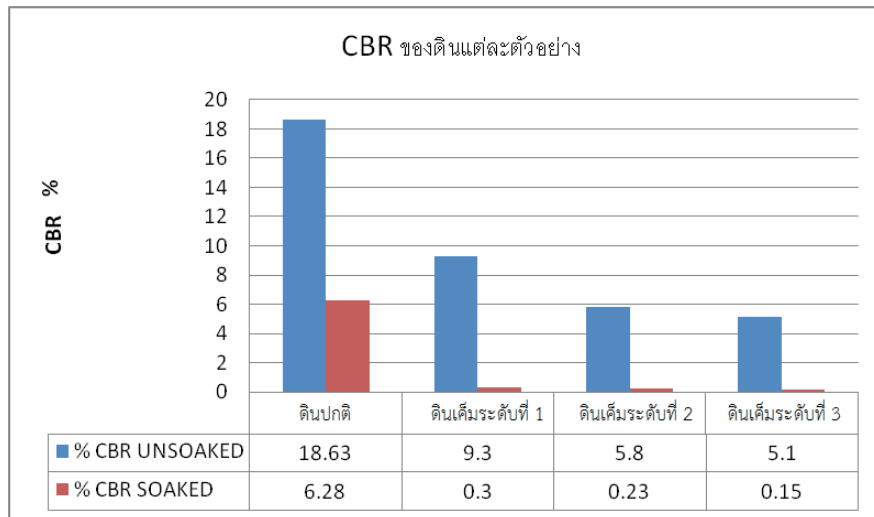
ดิน	Unconfined Compressive Strength. (ksc.)
ดินปกติ	8
ดินเค็มระดับที่ 1	5.2
ดินเค็มระดับที่ 2	4.8
ดินเค็มระดับที่ 3	3.9



รูปที่ 5 ค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินตัวอย่าง

CBR Test

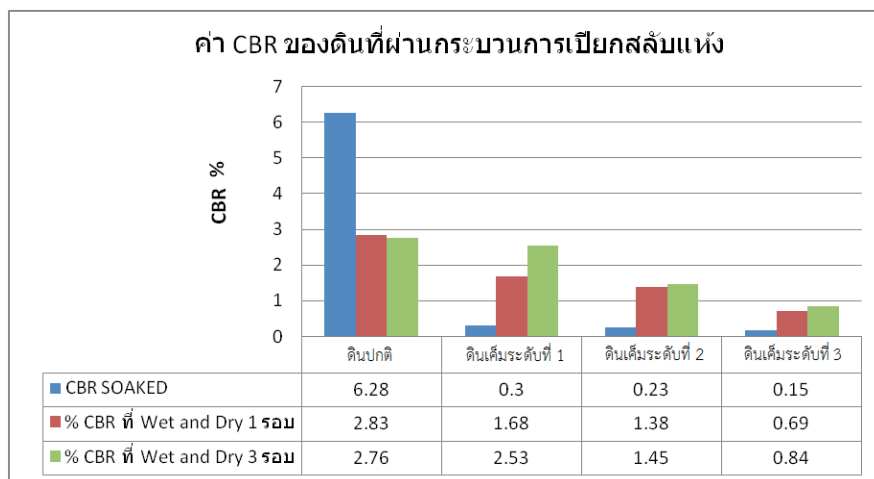
จากการทดสอบค่า CBR แบบ Unsoaked และ Soaked ของดินตัวอย่างพบว่า ค่า CBR ของดินตัวอย่างลดลงตามระดับความเค็มที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6 โดยค่า CBR แบบ Soaked ของดินเค็มจะมีค่าต่ำมากจนถ้าจะนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้มีค่า CBR สูงขึ้นก่อน



รูปที่ 6 ค่า CBR ของดินแต่ละระดับความเค็ม

5.2 กระบวนการเปียกสลับแห้ง (Wetting and Drying Process)

กระบวนการเปียกสลับแห้งได้ปรับใช้วิธีการมาตรฐาน ASTM D 559-03 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความคงทนของหินคลุกมาใช้สำหรับดินเหนียว โดยปรับเปลี่ยนวิธีการแช่ตัวอย่าง จากที่ต้องดันตัวอย่างทดสอบออกจาก Mold แล้วนำไปแช่น้ำ เป็นการแช่ตัวอย่างทดสอบพร้อม Mold เพื่อไม่ให้ตัวอย่างเสียรูป โดยแช่น้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 71°C เป็นเวลา 42 ชั่วโมง ถัดเป็น 1 รอบ ทำซ้ำกับตัวอย่างที่ต้องการทำ 3 รอบ โดยก่อนการทดสอบต้องแช่น้ำก่อน 3 ชม. และรอให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปทดสอบหาค่า CBR ซึ่งผลการทดสอบและการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างค่า CBR ของดินเค็มแต่ละระดับที่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง กับ CBR แบบ Soaked ของดินเค็มที่ไม่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง

จากรูปที่ 7 หากเราพิจารณาค่า CBR ที่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้งที่ 1 รอบ และ 3 รอบ เทียบกับค่า CBR ของดินปกติและดินเค็ม (แบบ Soaked) ที่ไม่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้ง พบว่าค่า CBR จะเพิ่มขึ้น ตามรอบของกระบวนการเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น ค่าที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากในระหว่างการทำกระบวนการเปียกสลับแห้ง ซึ่งต้องมีการแช่ตัวอย่างสลับกับการอบแห้งอาจทำให้ดินมีการสูญเสียเกลือในระหว่างที่แช่ และเมื่ออบแห้งดินมีการหดตัว ส่งผลให้ดินมีความแน่นเพิ่มขึ้น ค่า CBR จึงเพิ่มขึ้น

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษากระบวนการเปียกสลับแห้งที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติพื้นฐานและทางด้านวิศวกรรมของดินเค็ม พบว่าความเค็มมีผลกระทบกับดินที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้งดังนี้ ความเป็นพลาสติกจะสูญเสียไปเมื่อดินมีความเค็มและเมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้น ค่า LL ค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง กำลังรับแรงอัดและค่า CBR ทั้งแบบ Soaked และ Unsoaked จะลดลง ส่วนค่า OMC จะสูงขึ้น เมื่อนำดินไปผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้งที่ 1 รอบ และ 3 รอบ พบว่าดินปกติได้รับผลกระทบน้อยมากเพราะค่า CBR ใกล้เคียงกับก่อนเข้ากระบวนการเปียกสลับแห้ง ส่วนดินเค็มมีค่า CBR สูงขึ้นตามจำนวนรอบของกระบวนการเปียกสลับแห้งทุกระดับความเค็ม

ข้อเสนอแนะ

ควรมีศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบของชนิดของเกลือและระดับความเค็มที่มีค่าสูงมากที่อาจมีในสภาพธรรมชาติได้ รวมถึงการศึกษาผลกระทบกับดินประเภทอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

1. ยุทธลักษณ์ ชูวรเชษฐ์. (2548). การศึกษาระดับของ ความเค็มที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
2. รุ่งลาวัลย์ ราชนัน. (2555). อิทธิพลของความเค็มต่อ คุณสมบัติพื้นฐานและกำลังของดินทรายฝั่งทะเล ผสมวัสดุผสมเพิ่ม. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 35(4), 455-468.
3. Alainachi, I. H., & Alobaidy, G. A. (2010). The effects of Basra gulf salt water on the proctor compaction and CBR test results of soil samples at Baniyas city, Abu Dhabi, UAE. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15(A), 1-17.
4. Jafer, H. M. (2013). Stabilization of soft soils using salts of chloride, *Journal of Babylon University/Engineering Sciences*, 5(21), 1546-1554.
5. Uchaipichat, A. (2015). Influence of repeated wetting-drying process on unconfined compressive strength of cement modified crushed rock base. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20(13), 5151-5157.

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

(Mr./Mrs./Miss).....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความปริทัศน์

ชื่อเรื่อง

(ภาษาไทย).....

.....

ชื่อเรื่อง

(ภาษาอังกฤษ).....

.....

ตำแหน่งทางวิชาการ.....

ประวัติการศึกษา

.....

.....

ที่อยู่

.....

.....หมายเลขโทรศัพท์.....

สถานที่ทำงาน

.....

หมายเลขโทรศัพท์.....อีเมล.....หมายเลขโทรศัพท์มือถือ.....

ประวัติการทำงาน

.....

.....

.....

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าที่ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้ายินยอมให้ตีพิมพ์ลงในวารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ภายใต้การพิจารณาของกองบรรณาธิการ

(ลงนาม).....

(.....)

คำแนะนำ ในการเตรียมและการส่งต้นฉบับ

วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุลเป็นวารสารที่เกิดขึ้นมาเพื่อรับรองการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ งานวิจัย วิทยานิพนธ์ (ทั้งระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษา ด้านสาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

การกำหนดระยะเวลาในการตีพิมพ์วารสาร

วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล มีกำหนดระยะเวลาการตีพิมพ์ปีการศึกษาละ 2 ฉบับ ได้แก่ ฉบับแรกตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนมิถุนายน และฉบับที่สองตั้งแต่เดือนกรกฎาคม - เดือนธันวาคม ผลงานที่จะลงตีพิมพ์ ในวารสารจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน บทความวิจัยและวิชาการจะได้รับพิจารณาลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิตาม สาขาความเชี่ยวชาญจากภายนอก 2 คน ผู้ประสงคจะส่งบทความให้กรอกรายละเอียดในหนังสือแนส่งบทความวิจัย พร้อมกับส่งต้นฉบับเอกสารบทความจำนวน 2 ฉบับและ CD บทความวิชาการจำนวน 1 แผ่น

ประเภทของบทความ

1. **บทความวิจัย** หมายถึง บทความที่นำเสนอผลการวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ การดำเนินการวิจัย รวมถึงบทความวิจัยจากวิทยานิพนธ์ภาคนิพนธ์ สารนิพนธ์ และ การศึกษาอิสระ ทั้งในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษา

2. **บทความวิชาการ** เป็นบทความหรืองานเขียนซึ่งเป็นเรื่องที่นำเสนอ เป็นความรู้ใหม่ ถ่ายทอดความรู้ โดยมีแนวความคิด วิธีการดำเนินการ และบทสรุปที่น่าสนใจ

การเรียงลำดับเนื้อหา

1. ชื่อเรื่อง (Title) ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. ชื่อผู้เขียน (Author) ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ, วุฒิการศึกษาสูงสุดของผู้เขียนแต่ละคน
3. บทคัดย่อภาษาไทย ความยาว 15-20 บรรทัด (300-350 คำ) จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกมีหัวข้อ ได้แก่ ชื่อเรื่องวิจัย และชื่อผู้วิจัย ส่วนที่สองให้สรุปเนื้อหาของบทความทั้งหมดให้เข้าใจวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย วิธีการโดยย่อ ผลที่ได้จากการวิจัย และการนำไปใช้ประโยชน์
4. คำสำคัญภาษาไทย ไม่เกิน 5 (ไม่ใช่วลี หรือ ประโยค) เป็นการระบุคำสำคัญหลักในเนื้อเรื่องงานวิจัยที่สามารถใช้ในการสืบค้นหรืออ้างอิงได้
5. บทคัดย่อภาษาอังกฤษ แปลจากบทคัดย่อภาษาไทย มีขนาดและเนื้อหาเหมือนกับบทคัดย่อภาษาไทย
6. คำสำคัญภาษาอังกฤษ (Key words) แปลจากคำสำคัญภาษาไทย
7. สถานที่ทำงาน หรือสถานศึกษา ของผู้เขียนแต่ละคน
8. ผู้เขียนหลัก (Correspondent author) ที่อยู่และอีเมล ของผู้เขียนหลัก
9. บทนำ (Introduction) ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของเรื่องที่ทำ และขอบเขตของปัญหาวิจัย
10. วัตถุประสงค์ (Objective) ระบุวัตถุประสงค์การวิจัยหรือวัตถุประสงค์เฉพาะที่นำเสนอในบทความวิจัยนี้
11. วิธีดำเนินการ (Method) อธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยในสาระสำคัญที่จำเป็น เช่น กลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือ วิธีการเก็บข้อมูล ผลการวิจัย/ข้อค้นพบ (Result/Finding) แสดงผลที่เกิดขึ้นจากการวิจัย โดยตรง ซึ่งอาจมีภาพประกอบ แผนภูมิ ตาราง หรือการสื่อในลักษณะอื่นๆ ที่เข้าใจได้ง่าย

12. อภิปรายผล (Discussion) อภิปรายปรากฏการณ์ที่เกิดจากผลการดำเนินงานให้เห็นเป็นรูปธรรมได้อย่างไร และอ้างอิงให้เห็นว่าผลการวิจัยดังกล่าวนี้เหมือนหรือแตกต่างจากผลการวิจัยอื่นๆ และได้สร้างองค์ความรู้ใหม่ในส่วนใด
13. ข้อเสนอแนะ (Suggestion) แนะนำการไปใช้ และแนะนำเพื่อนำไปต่อยอดการวิจัย
14. สรุป (Conclusion) สรุปประเด็นข้างต้นทุกข้อให้ได้ความกะทัดรัดประมาณ 1 ย่อหน้า
15. เอกสารอ้างอิง (Reference) ใช้ระบบการอ้างอิงแบบ APA

การพิมพ์ ขนาดตัวอักษร และความห่างระหว่างบรรทัด

ผู้ประสงค์จะส่งบทความวิชาการต้องพิมพ์ต้นฉบับด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2007 มีความยาวรวมทุกรายการ (ชื่อเรื่อง – เอกสารอ้างอิง) จำนวน 10-15 หน้า (4,500 – 6,000 คำ) ขนาดกระดาษ A4 ห่างจากขอบทุกด้าน 1 นิ้ว ใช้แบบอักษร Cordia New ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะห่างระหว่างบรรทัด 1 บรรทัด (Single Space) โดยมีรายละเอียดแต่ละรายการดังต่อไปนี้

1. ชื่อเรื่อง (Title) ขนาดตัวอักษร 24 pt. ตัวหนา จัดไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2. ชื่อผู้เขียน (Author) และหัวข้อ “บทคัดย่อ” หรือ “Abstract” ขนาดตัวอักษร 16 pt. ตัวหนา จัดไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
3. คำสำคัญ (Key words) และ หัวข้อหลัก (Heading) ขนาดตัวอักษร 18 pt. ตัวหนา เนื้อหาของคำสำคัญ ขนาดตัวอักษร 16 pt. ตัวหนา จัดชิดขอบกระดาษด้านซ้าย
4. ชื่อหัวข้อย่อย (Sub-heading) และชื่อตารางขนาด 16 pt. ตัวหนา ข้อความในตารางขนาดตัวอักษร 14 pt. จัดไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษความห่างระหว่างข้อความ เมื่อสิ้นสุดเนื้อหาแล้วขึ้นหัวข้อหลักเว้นวรรค 2 ตัวอักษร เนื้อหาบรรทัดใหม่ถัดจากหัวข้อให้เว้นวรรค 1 ตัวอักษร ตามปกติ

การลงรายการเอกสารอ้างอิงในเนื้อเรื่องของบทความ (Citation)

การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text Citation) ของบทความ ให้ใช้การอ้างอิงแบบนามปี (Author-year) ปรากฏแทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความ

การส่งต้นฉบับ

ผู้ประสงค์จะส่งบทความ สามารถส่งต้นฉบับพร้อมแนบไฟล์ข้อมูลได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

84 หมู่ 4 ถ.มิตรภาพ-หนองคาย ต.บ้านเกาะ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

***ทั้งนี้บทความวิจัย หรือผลงานวิจัย บทความวิชาการนั้น จะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดๆ มาก่อน สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ กองบรรณาธิการ หรือ

นางสาวธัญลักษณ์ จินดา

โทรศัพท์ 044 009711 ต่อสำนักวิจัยและบริการวิชาการ (233) โทรสาร 044-009712

E – mail : thunyaluck_jin@vu.ac.th

ข้อกำหนดบทความวิชาการหรือบทความวิจัยที่ลงตีพิมพ์ ในวารสาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

1. เป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พร้อมบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. มีความยาวของต้นฉบับไม่เกิน 15 หน้า กระดาษ A4
3. ใช้ระบบการอ้างอิงแบบนาม-ปี (Author-date)

ตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

ตัวอักษร Cordia New 16

ด้านบน 1.5 นิ้ว

ด้านซ้าย 1.5 นิ้ว

ด้านล่าง 1.5 นิ้ว

ด้านขวา 1.0 นิ้ว

รายการ	ลักษณะตัวอักษร	รูปแบบอักษรการพิมพ์	ขนาดตัวอักษร
ชื่อบทความ	หนา	กลางหน้ากระดาษ	24
ชื่อผู้แต่ง	เอน	ชิดขวา	16
บทคัดย่อ	หนา	ชิดซ้าย	18
หัวข้อแบ่งตอน	หนา	ชิดซ้าย	18
หัวข้อย่อย	หนา	ใช้หมายเลขกำกับ	16
บทความ	ปกติ	-	16
การเน้นความในบทความ	หนา	-	16
ข้อความในตาราง	ปกติ	-	14
ข้อความอ้างอิง	เอน	-	14
เอกสารอ้างอิง	หนา	กลางหน้ากระดาษ	22

ตัวอย่างบรรณานุกรมหนังสือ

การเขียนเอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง (reference) จะต้องสอดคล้องตรงกันทั้งในเนื้อหาและเอกสารอ้างอิงท้ายบทความใช้รูปแบบของ Publication Manual of The American Psychological Association : APA (ระบบนาม-ปี) การอ้างอิงเอกสารไม่ควรเกิน 5 ปี ยกเว้นหนังสือตำราที่เป็นทฤษฎีหรือปรัชญา ไม่ใช้การอ้างอิงเอกสาร online และควรอ้างอิงบทความวิชาการบทความวิจัยจากวารสารทั้งไทยและต่างประเทศ

ตัวอย่างบรรณานุกรมหนังสือ เอกสารอ้างอิง APA

รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่างๆ

1. วารสารและนิตยสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร, ปีที่ (ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

2. หนังสือ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อหนังสือ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

3. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม, วัน เดือน ปี สถานที่จัด. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

4. บทความจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์, เดือน, วันที่). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์, หน้าที่น่าสนใจ.

5. วิทยานิพนธ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับปริญญาของวิทยานิพนธ์, สถาบันการศึกษา. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

6. สื่ออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง, วันที่ทำการสืบค้น. ชื่อฐานข้อมูล. URL Author (s).

