

แนวทางการพัฒนาสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีด้วยแบบจำลองสารสนเทศอาคาร

Development of mortar in a PVC pipe bridge by using building information modeling

ปิยรัตน์ เปาเล้ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Piyarat Paoleng

King Mongkut's University Of Technology North Bangkok, Thailand

E-mail: piyarat.p@fte.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซี ซึ่งเป็นแนวทางการประยุกต์ใช้โครงสร้างที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีผลกระทบจากน้ำเค็มหรืออาคารเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มต่างๆ เช่น อาคารเลี้ยงกุ้ง อาคารเลี้ยงปลา อาคารเลี้ยงหอย เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจะประสบปัญหาในด้านการเกิดสนิมในเหล็กเสริมของโครงสร้างรวมถึงในกรณีที่มีองค์ประกอบเป็นหลัก จะมีความเสื่อมสภาพของโครงสร้างได้อย่างรวดเร็วและไม่สามารถรับน้ำหนักได้ตามที่ออกแบบ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้โครงสร้างจากท่อพีวีซี (PVC) มาใช้เป็นโครงสร้างสะพานรับน้ำหนักโดยใช้เป็นท่อขนาด 4 นิ้ว บรรจุมอร์ต้า (ปูนทราย) ความกว้างรวม 2.6 เมตร ยาว 6.65 เมตร สูง 0.8 เมตร ดำเนินการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของสะพานท่อพีวีซีบรรจุมอร์ต้าด้วยวิธีให้น้ำหนัก (Load Test) โดยจะเพิ่มน้ำหนักที่บริเวณกึ่งกลางของสะพานครั้งละ 20 กิโลกรัม และบันทึกผลการทดสอบการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นบริเวณกลางสะพาน จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าเมื่อพิจารณาการแอ่นตัวตามมาตรฐาน MBMA2012 (L/120) โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 560 กิโลกรัม ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของความแข็งแกร่งของโครงสร้าง (K, Stiffness) จากความชัน (Slope) ของความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของโครงสร้างมีค่าประมาณ 57.87 กก./มม. จากนั้นจึงใช้การสร้างแบบจำลองสารสนเทศอาคารเพื่อเป็นต้นแบบในการออกแบบให้มีความเหมาะสมต่อไป อย่างไรก็ตามจากการทดสอบโครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีผลกระทบจากน้ำที่มีซัลเฟตเข้มข้นหรือน้ำเค็มได้

คำสำคัญ: โครงสร้างสะพาน; ท่อพีวีซี; ความแข็งแกร่ง; คอนกรีต; ซัลเฟต

Abstracts

This article presents the application of Building Information Modeling for analysis concrete in pipe structural. This provides a method for analyzing structures exposed to the impact of acidic or alkaline substances from various aquaculture buildings, including shrimp farm buildings, fish farm buildings and mussel farm buildings, etc. The structure encountered problems with rust in steel, causing rapid deterioration and inability to bear weight as specified. Thus, a develop structure by used concrete fill in PVC using 4-inch mortar-filled PVC pipes and bridge dimension width of 2.6 meters, length of 6.65 meters, and height of 0.8 meters. A load test was conducted to test the weight-bearing capacity by incrementally adding 20 kilograms to the center of the bridge and recording any deflection that occurred. The test results showed that, when considering deflection according to the MBMA2012 (L/120) standards, the structure was capable of bearing approximately 560 kilograms of weight. However, The relationship between Stiffness(K) of a structure and the slope of the relationship between force and deflection has an approximate value of 57.87 Kg/mm.

Keywords: BIM; PVC Pipe; Stiffness; Concrete; Sulfate

บทนำ

โครงสร้างที่ต้องอยู่ในสภาวะที่มีผลกระทบจากน้ำเค็มหรือน้ำที่มีซัลเฟตเข้มข้นสูง โดยเฉพาะอาคารเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มประเภทต่างๆ อย่างเช่น อาคารเลี้ยงกุ้ง อาคารเลี้ยงปลา อาคารเลี้ยงหอย เป็นต้น มักจะประสบปัญหาในด้านการเกิดสนิมในเหล็กเสริมของโครงสร้าง และทำให้มีความเสื่อมสภาพของโครงสร้างได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการชำรุดเสียหายและโครงสร้างจะไม่สามารถรับน้ำหนักได้เต็มตามประสิทธิภาพที่ออกแบบไว้ หนึ่งในตัวอย่างของโครงสร้างที่ประสบปัญหา คือ โครงสร้างสะพานในบ่อเลี้ยงกุ้งที่ใช้สำหรับการตักสิ่งปฏิกูล และให้อาหารโดยรอบบ่อกุ้ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างของลักษณะสะพานในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม (สะพานยอ)
(ที่มา : [www.youtube.com/ YzWSIZ7we3A](http://www.youtube.com/YzWSIZ7we3A) “ภา-ปากพั่ง บ่อ ครึ่งไร่”)

ภายในบ่อกึ่งมีฟอสฟอรัสและไนเตรตค้ำในบ่อปริมาณมาก ประกอบกับของเสียจากการขับถ่ายของกึ่งทำให้เกิดตะกอนแขวนลอย และบางส่วนตกค้ำบริเวณก้นบ่อซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น น้ำและดินมีความเค็มสูง (ปฐมา บุญรักษ์, 2560) ทำให้ผู้ประกอบการเลี้ยงกึ่งเลือกใช้วิธีการกำจัดของเสียในบ่อเลี้ยงกึ่งด้วยวิธีการหลากหลาย หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมคือการใช้สารคลอรีนทั้งแบบแห้งและน้ำในการบำบัดสภาพแวดล้อมในบ่อเลี้ยง

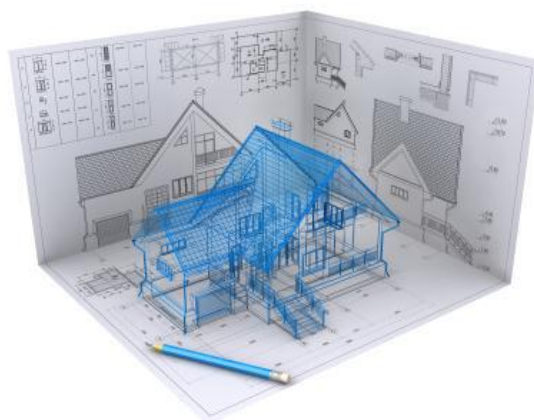
คลอรีนเป็นสารที่ใช้เพื่อบำบัดน้ำในบ่อกึ่งอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นสารที่สามารถใช้ฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพและฆ่าเชื้อก่อโรคได้หลายชนิด ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง คลอรีนที่วางขายตามท้องตลาดมีสองรูปแบบ ได้แก่ คลอรีนในรูปแบบแห้ง (ผงหรืออัดเม็ด) และคลอรีนรูปแบบน้ำ โดยปกติแล้วในสภาพแห้ง คลอรีนจะไม่กัดกร่อนโลหะแต่หากมีความชื้นคลอรีนจะมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง การใช้คลอรีนในฟาร์มเลี้ยงกึ่งทะเลจากเอกสารของกรมประมงพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำสุด 5 พีพีเอ็ม มีปริมาณคลอรีนสูงถึง 10 กิโลกรัมต่อความลึก 1 เมตร ต่อพื้นที่บ่อเลี้ยง 1 ไร่(ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำสงขลา กองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ)

คลอไรด์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิม โดยไอออนของคลอไรด์ (Chloride Ions) ซึมเข้าไปในคอนกรีตทำให้ค่าความเป็นด่างของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อมีน้ำ และ ออกซิเจนเพียงพอจะทำให้เหล็กเกิดสนิม และสนิมเหล็กก็ขยายตัวดันคอนกรีตบริเวณรอบ ๆ เหล็ก เสริมให้แตกร้าวในที่สุด ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตอาจได้รับมาจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ ทะเล ดิน อากาศ หรือมีอยู่ในคอนกรีตเอง เช่น มีอยู่ในน้ำ ที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย น้ำ ยาผสมคอนกรีตบาง ชนิด แต่ปัญหาของคลอไรด์ที่กระทบต่อความทนทานของคอนกรีตนั้น ส่วนมากจะมาจากภายนอก ทั้งนี้คอนกรีตในช่วงเวลาที่ใช้งานคลอไรด์จะเข้าสู่คอนกรีตได้โดยวิธีการแทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตที่แห้งโดยน้ำที่มีคลอไรด์ การแพร่ของคลอไรด์ไอออนจากภายนอกที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่า ภายในคอนกรีต หรือการแทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตของน้ำที่มีคลอไรด์โดยแรงดันของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแหล่งของคลอไรด์ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างคอนกรีตนั้นมาจากน้ำทะเล หรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มต่างๆ ("ทวีชัย สำราญวานิช, (2552 : 28). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการทำการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่อยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมคลอไรด์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา,")

ปัจจุบันสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตเป็นอีกปัจจัยสำคัญในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตนอกเหนือจากคุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากคอนกรีตเสริมเหล็กในสภาวะแวดล้อมทะเล ใกล้ชายฝั่งทะเล หรือแหล่งน้ำที่มีคลอไรด์และซัลเฟตสูง มักประสบปัญหาความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนของสารเคมี และปัญหาเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเป็นสนิมรวมถึงสะพานที่มีโครงสร้างเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักด้วย เนื่องจากเกลือคลอไรด์เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสนิมของเหล็ก อนึ่งการซ่อมแซมโครงสร้างทั้งคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือ โครงสร้างเหล็กหลังจากโครงสร้างเกิดความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อน มักมีค่าใช้จ่ายที่สูง

มาก (PONHSAMPATEA LY, 2559 : 47) ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้โครงสร้างที่สามารถทนทานต่อ
ซัลเฟตได้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ที่ควรได้รับการพิจารณา

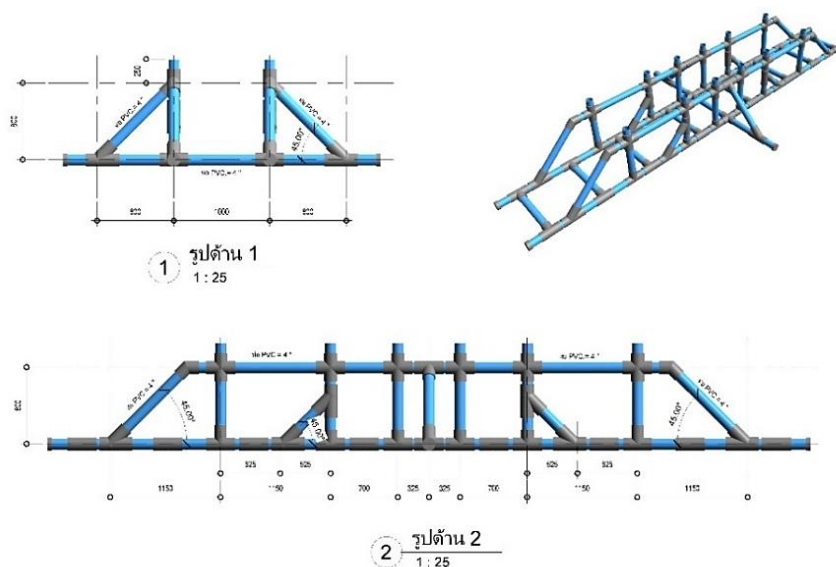
ปัจจุบันแบบจำลองสารสนเทศอาคารมีความนิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านวิศวกรรม อย่างเช่น
งานออกแบบโครงสร้างอาคาร การจัดการทรัพยากรอาคาร (ภณสา จันทร์อุดม, 2560 : 69) การวางแผนงาน
(R. R. Politi, 2018 : 72) และ การเก็บข้อมูลภาพ 3 มิติเพื่อใช้บูรณะสิ่งปลูกสร้าง (Al-Muqdadadi &
Ahmed, 2022 : 81; Murphy, McGovern, & Pavia, 2009 : 30; "P. Nusen, W. Boonyung, S.
Nusen, K. Panuwatwanich, P. Champrasert, and M. Kaewmoracharoen. (2021 : 20) .
Construction planning and scheduling of a renovation project using bim-based multi-objective
genetic algorithm, Appl. Sci., vol. 11, no. 11.,") ในลักษณะที่เป็นการจำลองข้อมูลโมเดล 3 มิติ
(Building Information Modeling : BIM) ซึ่งการนำมาประยุกต์ใช้สามารถควบคุมระบบในกระบวนการ
ทำงานต่าง ๆ ทำให้ลดเวลา และข้อผิดพลาดในขั้นตอนการออกแบบงาน ลดค่าใช้จ่ายส่วนเกิน และ ทำงานได้
รวดเร็วขึ้น การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารสำหรับ ทำงานวิเคราะห์โครงสร้างเป็นแนวทางไปสู่
การออกแบบหรือปรับปรุงแก้ไข โครงสร้างอาคาร ซึ่งสามารถแสดงผลได้ทั้งในรูปแบบ 2 มิติและ แบบโมเดล 3
มิติ (สุนิตา นุเสน et al.) ดังนั้นในการปฏิบัติงานจะทำให้สามารถเข้าใจในลักษณะรูปแบบภายนอก ของ
โครงสร้างก่อนการก่อสร้างจริง ลดข้อผิดพลาดจากงานที่มีความซับซ้อน ลดเวลาในการถอดปริมาณงานและ
สามารถตรวจสอบความขัดแย้งของต้นแบบอาคารในขั้นตอนของการออกแบบหรือการวิเคราะห์โครงสร้าง
และ เข้าถึงการปรับเปลี่ยนข้อมูลของโครงสร้างเพื่อให้สะดวกแก่การนำข้อมูล อาคารมาเปรียบเทียบการ
เปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสมของแต่ละภูมิภาคสำหรับการก่อสร้าง ("วิภาวี แป้นจุลสี และ อุดมวิทย์ ไชย
สกุลเกียรติ (2563 : 73). การ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอาคารกับ โครงการ
ก่อสร้างจริงกรณีศึกษา โครงการ บุษย์ ฟิตเนส อิม. การ ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25,
ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า CEM17-1 – CEM17-8.,") อีกทั้ง BIM สามารถนำข้อมูล
องค์ประกอบของ อาคารมาทำการจำลองเพื่อประเมินสมรรถนะของอาคาร เช่น วิเคราะห์การใช้พลังงาน การ
ประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างต่อผลกระทบจากแรง แผ่นดินไหว แรงลมได้ และ ความสามารถของ
เทคโนโลยี BIM ช่วยสร้างแบบให้เสร็จเร็วขึ้น และการเพิ่มคุณภาพในการพัฒนาโครงการ เช่น การจำลอง
วัตถุตัวอาคารออกมาให้ช่างก่อสร้างได้เห็นก่อนหรือการลด ต้นทุนของโครงการตั้งแต่ในช่วงก่อนพัฒนา
โครงการ และช่วงหลังพัฒนาโครงการ โดย BIM จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัว สนับสนุนในการคำนวณสิ่งต่าง ๆ
ให้และให้ผู้ใช้เป็นเพียงผู้เลือกตัดสินใจ นอกจากนี้ BIM สามารถช่วยเหลือผู้ที่มีส่วนได้ ส่วนเสียกับโครงการ
รวมทั้งผู้ประกอบการโครงการอสังหาริมทรัพย์ได้ (ชาคริต รักษาตา, 2556 : 76)



รูปที่ 2 ลักษณะของแบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling (BIM) แบบ 3D

(ที่มา : <https://www.cohenseglias.com/construction-law-now/the-legal-risks-of-building-information-modeling-bim>)

การนำซอฟต์แวร์ประยุกต์แบบจำลองสารสนเทศอาคารมาใช้ในการกระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานมอรัตในทอพีวีซี โดยมีหลักเกณฑ์ในการพัฒนาโครงสร้างสะพานที่ใช้กับสภาพแวดล้อมที่มีซัลเฟตคลอไรด์สูงอยู่ 4 ประการคือ 1.สามารถเลือกวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น 2.สามารถประกอบขึ้นรูปได้โดยไม่ใช้วิธีซับซ้อน 3.สามารถใช้งานโครงสร้างได้ในระยะยาว 4.มีต้นทุนของโครงสร้างสะพานต่ำ จึงเลือกวัสดุเป็นทอพีวีซีขนาด 4 นิ้วยึดต่อกันด้วยกาวทั่วไป กรอกด้วยคอนกรีตค่ากำลังทั่วไปประมาณ 140 กก./ชม.² บริเวณส่วนล่างของโครงสร้างเสริมเหล็กข้ออ้อยบริเวณตรงกลางทอขนาด DB 9 ขนาดสะพานความกว้าง 1 เมตร ความยาว (จากจุดรองรับถึงจุดรองรับ)ประมาณ 6.6 เมตร ความสูง (Lower Chord to Upper Chord) 0.8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับการทดสอบกำลังและเป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในลำดับต่อไป



รูปที่ 3 ขนาดและมิติของโครงสร้างสะพานที่บรรจุมอร์ต้าในท่อพีวีซี (PVC)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อทดสอบพฤติกรรมทางกลของสะพานคอนกรีตในท่อและพิจารณาการนำไปประยุกต์ใช้งานโดยเปรียบเทียบการแอ่นตัวตามมาตรฐาน MBMA2012
2. เพื่อสร้างแบบจำลองที่สัมพันธ์กับผลการแอ่นตัวของโครงสร้างโดยพิจารณาตามค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากผลการทดสอบพฤติกรรมทางกลจากการทดสอบโครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีจากห้องปฏิบัติการ
3. เพื่อได้แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การทดสอบสะพานมอรั้ด้าในท่อพีวีซี

การทดสอบกำลังของโครงสร้างสะพานมอรั้ด้าในท่อพีวีซี (PVC) ขนาดท่อ 4 นิ้ว ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยมีลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างลักษณะของสะพานมอรั้ด้าในท่อพีวีซี (PVC) 4"

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดสอบประกอบด้วย 1. ภูเขาทรายน้ำหนัก 10 กิโลกรัม 2. เครื่องวัดการเสียรูป / การแอ่นตัว (Dial-Gauge) ของโครงสร้างบริเวณตำแหน่งของชิ้นส่วนโครงสร้าง (member) บริเวณกึ่งกลางของสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 5



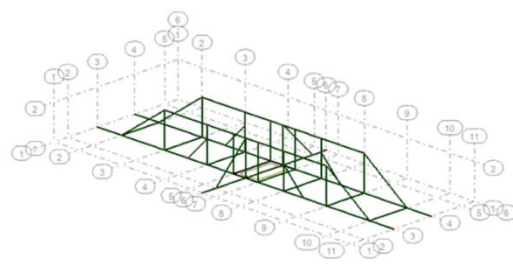
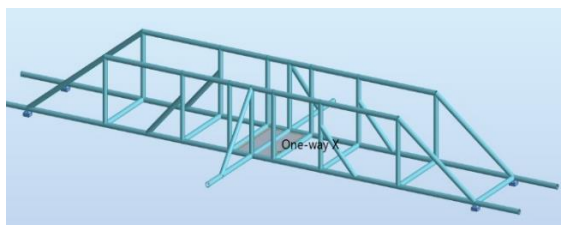


รูปที่ 5 การติดตั้งเครื่องเครื่องมือสำหรับการทดสอบ

2. การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์สะพานคอนกรีตในทอพีวีซี

2.1 การสร้างแบบจำลองของโครงสร้าง (Structural Model)

การสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อวิเคราะห์ผลและพฤติกรรมตอบสนองของโครงสร้างเบื้องต้นใช้โปรแกรม Autodesk Robot Structure Analysis (RSA :student version) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยมีรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์สะพานทอคอนกรีต ดังนี้



รูปที่ 6 แบบจำลองโครงสร้างสะพานทอคอนกรีต 4 นิ้ว

โครงสร้างเบื้องต้นจำลองเป็นโครงสร้างแบบคอนกรีตหน้าตัดกลมขนาดหน้าตัด 4" ($d = 114 \text{ mm.}$) กำลังคอนกรีต 140 กก./ซม.^2 (Cylindrical 140 kgf/cm^2) สมบัติของวัสดุอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties)

คุณสมบัติของวัสดุ	ค่าจากคุณสมบัติของวัสดุ
Young modulus, E	(จากรายการคำนวณเพื่อปรับแก้ มอดุลัสยืดหยุ่นใน 2.2) (kg/cm^2)
Passion ratio, v	0.17

คุณสมบัติของวัสดุ	ค่าจากคุณสมบัติของวัสดุ
Share modulus, G	80,277.35 (kg/cm ²)
Specific weight (unit weight)	2,400.00 (kg/m ³)
Damping ratio	0.15

1110000000ตารางที่ 2 ข้อมูลหน้าตัดวัสดุ (Data Section) โครงสร้างสะพานท่อพีวีซี 4 นิ้ว

Section name	Bar list	
CONC.PIPE	1to49 51 52 54 55 57to72	
	AX (mm ²)	AY (mm ²)
	10,207.03	8,612.19
	AZ (mm ²)	IX (mm ⁴)
	8,612.19	1,6581,327.60
	IY (mm ⁴)	IZ (mm ⁴)
	8,290,663.80	8,290,663.80

2.2 รายการคำนวณเพื่อปรับแก้มอดุลัสยืดหยุ่น (Young modulus, E) และแบบจำลองในส่วนของการคำนวณเพื่อหามอดุลัสยืดหยุ่นและการทำแบบจำลองมีดังนี้

ความสัมพันธ์ของความแข็งแรงในระบบโครงสร้างจริง และ โครงสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$F_1 = K_1 \times D_1$$

สมการที่ 1

$$F_2 = K_2 \times D_2$$

สมการที่ 2

โดยที่

$F(Force)$ = แรงที่กระทำในระบบ

$K(Stiffness)$ = ความแข็งแรง หรือสตีฟเนส

$D(Displacement)$ = การแอ่นตัวของโครงสร้าง

จัดรูปแบบสมการที่ 1 และ 2 ใหม่เพื่อเปรียบเทียบการแอ่นตัวระหว่างโครงสร้างจริง และ แบบจำลอง
จะได้

$$D_1 = \frac{F_1}{K_1} \quad \text{และ} \quad D_2 = \frac{F_2}{K_2}$$

เนื่องจากแรงจากการทดสอบและแรงจากการใส่เพิ่มเข้าในแบบจำลองจะใช้แรงเทียบเท่ากัน ดังนั้น

$$D_2 - D_1 = \frac{F}{K_2 - K_1} \quad \text{สมการที่ 3}$$

ในการปรับแก้แบบจำลองให้มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงจะใช้ค่าปรับแก้ (Coefficient: C) โดย
อาศัยความสัมพันธ์ของความแข็งแรงโครงสร้างระหว่าง โมดูลัสยืดหยุ่นและความแข็งแรง ดังแสดงในสมการ
ที่ 4 และ สมการที่ 5 จะได้

$$K_1 = C \cdot E_1 \quad \text{สมการที่ 4}$$

$$K_2 = C \cdot E_2 \quad \text{สมการที่ 5}$$

โดยที่

$C(\text{Coefficient}) =$ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้

เมื่อนำสมการที่ 4 และ 5 ไปแทนในสมการที่ 3 จะได้

$$D_2 - D_1 = \frac{F}{C \cdot E_2 - C \cdot E_1} \quad \text{สมการที่ 6}$$

จากสมการที่ 6 สามารถหาค่า C ได้ดังสมการที่ 7

$$C = \frac{E_1 \cdot F - E_2 \cdot F}{D_1 E_1 \cdot E_2 - D_2 E_1 \cdot E_2} \quad \text{สมการที่ 7}$$

ทำการสมมุติข้อมูลลงแบบจำลองใน RSA เพื่อหาค่า C ดังนี้

$$F = 1000 \quad E_1 = 1 \quad E_2 = 2$$

(ผลที่ได้รับจากแบบจำลองได้ค่า $D_1 = 14,357.7$ และ $D_2 = 7178.8$)

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 7

$$\text{จะได้ } C = \frac{[(1) \cdot 1000 - (2) \cdot 1000]}{[14,357.7(1)(2) - 7178.8(1)(2)]} = 0.05692$$

จาก $K = \frac{F}{D} = C \cdot E$ ดังนั้น $E = \frac{1}{C} \times \frac{F}{D}$ สมการที่ 8

ในกระบวนการพิจารณาเพื่อหาค่ามอดูลัสสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงอาจแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1. กรณีพิจารณาเฉพาะช่วงที่โครงสร้างเริ่มเสียรูป (มีการแอ่นตัว)

$$E = \frac{(850-200)}{1.08} \times \frac{1}{C} = 10,572.77 \quad \text{kg/cm}^2$$

2. กรณีพิจารณาค่า E จากการถอนน้ำหนัก (Unload)

$$E = \frac{750}{(1.214-0.533)} \times \frac{1}{C} = 19,346.98 \quad \text{kg/cm}^2$$

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบกำลังของสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซี (PVC) 4 นิ้ว

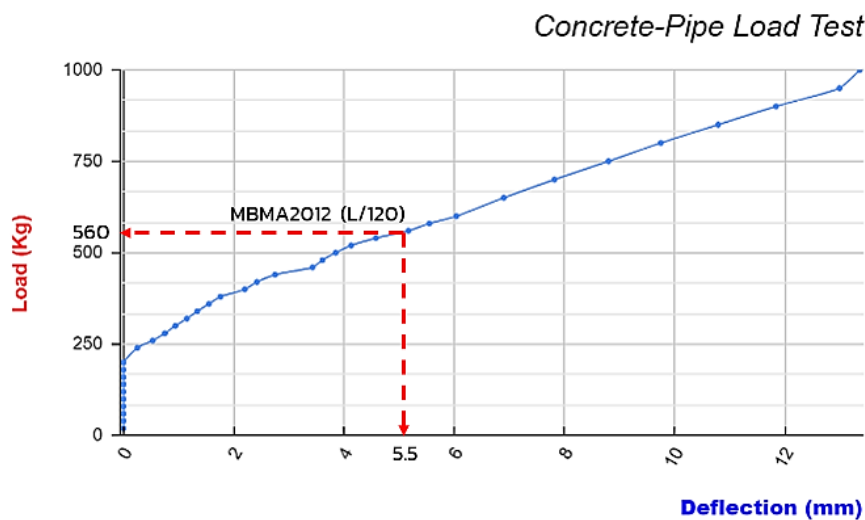
การทดสอบพฤติกรรมของสะพาน ดำเนินการโดยเพิ่มน้ำหนักที่บริเวณกึ่งกลางของสะพานครั้งละ 20 กิโลกรัม เมื่อเพิ่มน้ำหนักแล้วเสร็จค้างน้ำหนักไว้ 10 นาที และบันทึกผลการทดสอบการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นบริเวณกลางสะพาน ดังแสดงในตารางที่ 3 และ รูปที่ 7

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการทดสอบกำลังของสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีและการแอ่นตัว

การแอ่นตัว, มม.	แรง, กิโลกรัม
0	20
0	40
...	...
0.25	240
0.53	260
0.75	280
9.75	800
10.79	850

การแอ่นตัว, มม.	แรง, กิโลกรัม
11.84	900
12.99	950
13.36	1000

จากการทดสอบพฤติกรรมของสะพานสามารถพล็อตรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวและน้ำหนักที่กระทำกับสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซี (PVC) 4 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของโครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซี (PVC)

จากรูปที่ 7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของโครงสร้างสะพานท่อพีวีซีพบว่า ค่ากำลังที่โครงสร้างสะพานท่อพีวีซีมีพฤติกรรมทางโครงสร้างแบบไม่ยืดหยุ่น (non-Elastic) ในช่วงแรก แต่หลังจากแรงที่กระทำมากกว่า 240 กก. การแอ่นตัวของโครงสร้างจึงค่อยๆเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำหนักที่ใช้ทดสอบสูงสุด 1,000 กิโลกรัม (1 ตัน) โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความแข็งแกร่งของโครงสร้าง (K, Stiffness) จากความชัน (Slope) ของความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของโครงสร้างมีค่าประมาณ 57.875 กก./มม. (พิจารณาในช่วงเริ่มต้นการเสียรูปถึงช่วงระยะส่วนปลายของกราฟที่มีลักษณะของความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง (240-850 กก.)) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการแอ่นตัวตามมาตรฐาน MBMA2012 ($L/120$) ≈ 5.5 มม. พบว่าโครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 560 กิโลกรัม

1. ผลการทดสอบกำลังของสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซี (PVC) 4 นิ้วจากแบบจำลอง RSA

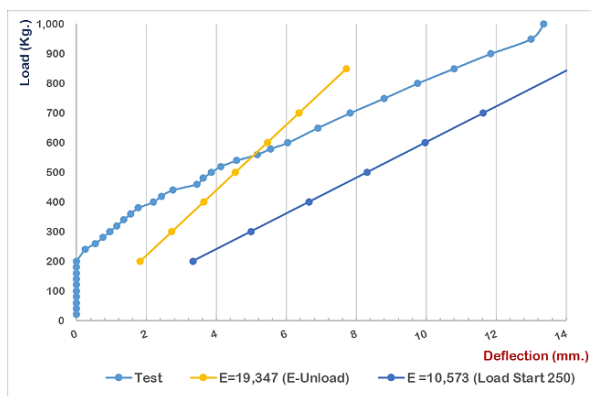
ทั้งนี้ในการพิจารณาการปรับค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ของโครงสร้าง จะใช้ผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการคำนวณเบื้องต้นทั้ง 2 ค่า พล็อตกราฟเทียบหาการเสียรูปที่ได้จากการทดสอบจริง

โดยที่ช่วงการพิจารณาจะอยู่ระหว่างช่วงที่โครงสร้างมีพฤติกรรมการรับแรงแบบยืดหยุ่นคือระหว่างแรง 200 - 850 กิโลกรัม ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4 และ รูปที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้าง

น้ำหนัก (กิโลกรัม)	E - Unload	E – Load Start 250 kg.
	E = 19,347 kg/cm ²	E = 10,573 kg/cm ²
	Deflection (mm.)	Deflection (mm.)
0	-	-
200	1.816	3.323
300	2.724	4.985
400	3.632	6.646
500	4.54	8.308
600	5.448	9.97
700	6.356	11.631
850	7.718	14.123

โดยค่าจากตารางที่ 4 เมื่อนำไปพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลของการแอ่นตัว หรือ การเสียรูปของโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการสร้างแบบจำลองกับโครงสร้างที่ทำการทดสอบจริง ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบจากการแอ่นตัวของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างแบบจำลองกับการทดสอบการรับแรงของโครงสร้างจริง

จากรูปที่ 8 ผลการสอบเทียบจากผลการเอนตัวของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของโครงสร้างแบบจำลองทั้งค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากการถอนน้ำหนัก (Unload) และ จากมอดุลัสจากการทดสอบพบว่า ค่าที่มีผลสัมพันธ์กับผลการเอนตัวของโครงสร้างจากการทดสอบจริง มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่พิจารณาในกรณีที่โครงสร้างจริงมีพฤติกรรมของโครงสร้างเป็น Elastic ซึ่งค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่มีพฤติกรรมแนวโน้มสอดคล้องกับผลของการทดสอบมีค่าประมาณ 10,573 กก./ชม.² ทั้งนี้ผลของค่ามอดุลัสยืดหยุ่นดังกล่าวจะนำไปเพื่อวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดโครงสร้างในลำดับต่อไป

สรุป

1. ผลการทดสอบเมื่อพิจารณาการเอนตัวตามมาตรฐาน MBMA2012 โครงสร้างสะพานท่อพีวีซีในท่อสามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 560 กิโลกรัม โดยความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของโครงสร้าง (K, Stiffness) จากความชัน (Slope) ของความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเอนตัวของโครงสร้างมีค่าประมาณ 57.87 กก./มม.

2. ผลจากแบบจำลองที่สัมพันธ์กับผลการเอนตัวของโครงสร้างจากการทดสอบจริงจะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่พิจารณาในกรณีที่โครงสร้างจริงมีพฤติกรรมของโครงสร้างเป็น Elastic ซึ่งค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของวัสดุที่มีพฤติกรรมแนวโน้มสอดคล้องกับผลของการทดสอบมีค่าประมาณ 10,573 กก./ชม.²

3. จากแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานมอร์ต้าในท่อพีวีซีสามารถนำค่าที่ได้จากการทดสอบและการปรับแบบจำลอง (Model) ไปประยุกต์ใช้กับขนาดท่อที่มีขนาดหลากหลายตามรูปแบบการใช้งานด้วยแบบจำลองต้นแบบสำหรับโครงสร้างที่ต้องอยู่ในสถานะที่มีผลกระทบจากน้ำเค็ม ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ชาคริต รักษมาตา. (2556). ความแม่นยำในการถอดแบบประมาณปริมาณวัสดุก่อสร้างในการพัฒนาโครงการอสังหาริมทรัพย์ โดยวิธีทั่วไปและวิธีที่ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคาร : กรณีศึกษาอาคารชุดพักอาศัยประเภท A1 บริษัทแอลพีเอ็น ดีเวลอป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทพัฒนศาสตร์มหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย: ฐานานุกรณมหาวิทยาลัย.
- ทวีชัย สำราญวานิช. (2552). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการทำนายการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่อยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมคลอไรด์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยบูรพา.

- ปฐมา บุญรักษ. (2560). การบำบัดฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงกุ้งโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง สีม่วงที่ไม่
สะสมซัลเฟอร์ที่คัดแยกได้จากบ่อเลี้ยงกุ้ง (Phosphorus Removal in Rearing Water from
Shrimp Cultivation by Selected Purple Non-Sulfur Bacteria from Shrimp Ponds).
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ศูนย์วิจัยสุขภาพสัตว์น้ำสงขลา กองวิจัยและพัฒนาสุขภาพสัตว์น้ำ.
การใช้คลอรีนในฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล.
- ภณสา จันทร์อุดม. (2560). แนวทางการใช้แบบจำลองสารสนเทศ อาคาร (BIM) จัดการข้อมูลอาคารและ
แบบก่อสร้างจริงเพื่อการดำเนินงานและการบำรุงรักษาอาคารสำนักงาน. ปรินญานิพนธ์
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิภาวี แป้นจุลสี และ อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ (2563). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เทคโนโลยี
สารสนเทศอาคารกับ โครงการก่อสร้างจริงกรณีศึกษา โครงการ บุสท์ ฟิตเนส ยิม. การประชุม
วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า CEM17-1 –
CEM17-8.
- สุนิตา นุเสน และคณะ. (2565). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสารสนเทศอาคารใน การวิเคราะห์โครงสร้าง
อาคารในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย THE APPLICATION OF BUILDING
INFORMATION MODELING IN STRUCTURAL ANALYSIS OF BUILDINGS IN
EACH REGION OF THAILAND Paper presented at the. การประชุมวิชาการวิศวกรรม
โยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, จ.เชียงใหม่. 24-26 สิงหาคม 2565.
- Al-Muqdad, F., & Ahmed, A. (2022). *APPLYING HERITAGE BUILDING INFORMATION
MODELLING (HBIM) TO LOST HERITAGE IN CONFLICT ZONES: AL-
HADBAMINARET IN MOSUL, IRAQ*. International Archives of the
Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.
- Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling
(HBIM). *Structural Survey*. 27 (4), 311-327.
- P. Nusen, W. Boonyung, S. Nusen, K. Panuwatwanich, P. Champrasert, and M.
Kaewmorachoen. (2021). Construction planning and scheduling of a renovation
project using bim-based multi-objective genetic algorithm. *Appl. Sci*. 11, 11.
- PONHSAMPATEA LY. (2559). ความคงทนของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันหลังแช่น้ำทะเลเป็น
เวลา 5 ปี. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา). มหาวิทยาลัยบูรพา.
- R. R. Politi, E. A., and M. E. İlal,. (2018). *Project Planning and Management Using Building
Information Modeling (BIM)*. Paper presented at the 13th International Congress on
Advances in Civil Engineering, Izmir, Turkey. 12-14 September 2018