



CIVIL ENGINEERING MAGAZINE โยธาสาร

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม - กันยายน 2569

สู่ออนาคตที่ยืดหยุ่น ปรับตัวได้ และยังยืน



01



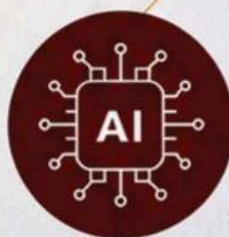
การออกแบบ
และพฤติกรรมการวิบัติ
แรงเฉือนแนวราบ
ในแผ่นเอวของ
คานเหล็กเซลล์ลาร์

02



การประเมินเชิงเปรียบเทียบ
ในภาคสนามของเทคโนโลยี
แบบไม่สัมผัสสำหรับการวัด
การแอ่นตัวของโครงสร้าง
ในการทดสอบการรับ
น้ำหนักบรรทุกของสะพาน

03



Agentic AI
ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ ข้อจำกัด
และการตรวจสอบ
ความน่าเชื่อถือ

04



ตีโมเชนโก:
บิดาแห่งการศึกษาทฤษฎี
วิศวกรรมสมัยใหม่และมรดก
ทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอม
การเรียนการสอน
วิศวกรรมโยธา



Contents

05 สารจาก...บรรณาธิการ

06 เจ้าของวิศวกรรมสาร วสท.

07 วัตถุประสงค์

บทความรับเชิญ

08 ลู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน
ปิยพงษ์ จิวัฒน์กุลไพศาล

18 การออกแบบและพฤติกรรมกรรมการวิบัติ
แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคาน
เหล็กเซลลูลาร์

รศ. ดร.วราเทพ ชาญส่อง

ผศ. ดร.สุธรรม อรุณ

ศ. ดร.สุชาติ สัมปัตตัญญู

31 การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนาม
ของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัสสำหรับการวัด
การแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบ
การรับน้ำ หนักบรรทุกของสะพาน

รศ. ดร.สุเมธ สุภาพ

ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกมลพิศ

ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย

ดร.พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล

ปิยะพงษ์ ชาญ

48 Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ ข้อจำกัด และการตรวจสอบ
ความน่าเชื่อถือ

รศ. ดร.สมโพธิ อยู่ไว

66 ตีโมเซนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์
วิศวกรรมสมัยใหม่และมรดกทางวิชาการ
ที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอน
วิศวกรรมโยธา

ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกมลพิศ

คอลัมน์ประจำ

78 Design Tips “ระบบต้านทานน้ำหนัก
บรรทุกด้านข้าง”
นายหรั่ง ช่างโยธา

81 นวัตกรรมจากผู้พัฒนา “การพัฒนา
เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับ
ชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการ
ขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุ
ก่อสร้าง ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม”
ผศ. ดร.ปานรวิ รุ่งสกุลโรจน์ ร่วมกับ
ผศ.ดร.ประชุม คำพุฒ

91 จากอดีตสู่การใช้งานจริง “ตอน - สะพาน
พระราม 6 จากมรดกแห่งชาติสู่การเรียนรู้
ทางวิศวกรรม
วิศวกรตัวจ้อย

97 โยธายุคถัดไป “จากภาพลู่แบบจำลอง:
ก้าวใหม่ของการวิเคราะห์โครงสร้าง
ในวิศวกรรมโยธา”

ดร.รัฐ ชู

ศ. ดร.เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์

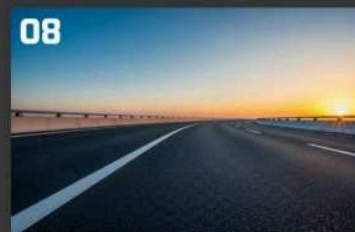
103 มุมมองกฎหมาย “การแล้วเสร็จของงาน
ในสัญญาจ้างก่อสร้าง”
กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา

114 เทคโนโลยีสู่การใช้งานจริง “3D Laser
Scanning กับภาระยกระดับการตรวจสอบ
โครงสร้างยุคใหม่”

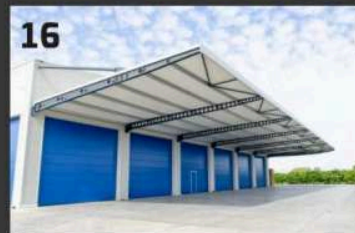
ดร.พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย

122 ชีพจรโยธา
กองบรรณาธิการ

08



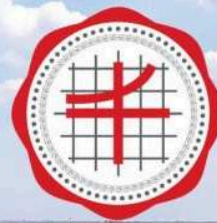
16



31



**CIVIL
ENGINEERING**



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เปิดรับสมัคร ทั้งในระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก

ประจำปีการศึกษา 2569



หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา



หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม



หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา



หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา



NEW!

กรณีสูงกว่าปริญญาตรี มีการเรียนการสอน ทั้งในและนอกเวลาราชการ
พิเศษ สำหรับปริญญาเอก ไม่มี course works โดยเน้นงานวิจัยเป็นหลัก

NEW!

สนใจติดต่อ : รองศาสตราจารย์ ดร.สุริดา ทิปรัชพันธ์

✉ cve.eng.swu@gmail.com



02 649 5000 ต่อ 27065



โครงการอบรม หลักสูตร

ทบทวนความรู้พื้นฐานวิศวกรรม ด้านวิศวกรรมโยธาเพื่อเลื่อนระดับวิชาชีพ



5-7 AUGUST 2026

09.00 - 16.00 น.

เลื่อนจาก 6-8 MAY 2026



ณ ห้องประชุมอาคาร วสท.

ซอยรามคำแหง39 กรุงเทพฯ

รุ่นที่
24

วิทยากร



รศ.เอนก ศิริพานิชกร
CONSTRUCTION
ENGINEERING



ผศ.ดร.รณศ วีระศิริ
GEOTECHNICAL
ENGINEERING



รศ.สิริวัฒน์ ไชยชนะ
STRUCTURAL
ENGINEERING

ค่าลงทะเบียน

☑ สมาชิก วสท. 7,000 บาท

☑ บุคคลทั่วไป 8,000 บาท



บัญชีเงินฝากออมทรัพย์

ชื่อบัญชี สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

ในพระบรมราชูปถัมภ์

ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาสาทร

เลขที่บัญชี 045-2-03026-1

REGISTER NOW



จัดโดย สถาบันวิศวพัฒน์ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

สารจากบรรณาธิการใหญ่

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมามี “โยธาสาร” ได้ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางทางวิชาการและวิชาชีพที่สำคัญของวงการวิศวกรรมโยธาไทย ถ่ายทอดองค์ความรู้ ประสบการณ์ และวิวัฒนาการของศาสตร์และเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมโยธากรุ่นสู่รุ่น ตลอดจนเป็นเวทีแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักวิชาการ วิศวกร ผู้ประกอบวิชาชีพ หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และนิสิตนักศึกษาที่กำลังก้าวเข้าสู่วิชาชีพ

นับตั้งแต่การจัดพิมพ์ฉบับแรกในปี พ.ศ. 2532 โยธาสารได้ก้าวเข้าสู่ปีที่ 26 ของการจัดพิมพ์ อันสะท้อนถึงความมุ่งมั่นในการเป็นเวทีเผยแพร่องค์ความรู้และส่งเสริมการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรมโยธาไทยอย่างต่อเนื่อง นับโยธาสารจะเว้นช่วงการจัดพิมพ์ไปเป็นเวลากว่า 10 ปี แต่คุณค่า ความน่าเชื่อถือ และความผูกพันที่สมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มีต่อโยธาสารไม่เคยเลือนหาย การกลับมาของโยธาสารในครั้งนี้จึงมิใช่เพียงการกลับมาตีพิมพ์วารสารอีกครั้ง หากเป็นการสืบสาน

เจตนารมณ์ในการเป็นเวทีแห่งการสร้างถ่ายทอด และแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ เพื่อร่วมกันขับเคลื่อนวิศวกรรมโยธาไทยสู่อนาคต

วันนี้ โยธาสารกลับมาอีกครั้งในรูปแบบวารสารออนไลน์ (Online Magazine) ภายใต้ฉนวนบท “วิศวกรรมโยธาก้าวหน้าในโลกที่เปลี่ยนแปลง” เพื่อสะท้อนการเปลี่ยนผ่านของวงการวิศวกรรมโยธาในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัล ปัญญาประดิษฐ์ การวิเคราะห์ข้อมูล การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน กำลังเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการวิจัย การศึกษา และการประกอบวิชาชีพ การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบออนไลน์จึงมิใช่เพียงการเปลี่ยนรูปแบบการเผยแพร่ หากแต่เป็นการยกระดับโยธาสารให้สามารถเผยแพร่องค์ความรู้ได้อย่างรวดเร็ว เข้าถึงผู้อ่านได้อย่างกว้างขวาง เปิดโอกาสให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การกลับมาของโยธาสารในครั้งนี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาแห่งความโศกเศร้าของวงการวิศวกรรมไทย กองบรรณาธิการจึงพร้อมแสดงความเสียใจต่อการจากไปของ ศาสตราจารย์กิตติคุณอรุณ ชัยเสรี (ราชบัณฑิต) ผู้ซึ่งอุทิศตนเพื่อการสร้างองค์ความรู้ การผลิตวิศวกรคุณภาพ และการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรมโยธามาอย่างยาวนาน

เพื่อเป็นการแสดงความเศร้าต่อการจากไปของ ศาสตราจารย์กิตติคุณอรุณ ชัยเสรี (ราชบัณฑิต) โยธาสาร ฉบับกรกฎาคม-กันยายน พ.ศ. 2569 จึงใช้ชื่อ “โยธาสาร” ด้วยอักษรสีดำบนปก เพื่อเป็นสัญลักษณ์



แห่งความอาลัย ความเคารพ และการน้อมรำลึกถึงคุณูปการอันยิ่งใหญ่ที่ท่านได้สร้างไว้แก่แวดวงวิศวกรรมโยธาและประเทศชาติ

สำหรับฉบับนี้ ผู้อ่านจะได้พบกับบทความริเริ่มจากผู้ทรงคุณวุฒิ บทความวิชาการ บทเรียนจากโครงการสำคัญของประเทศ ตลอดจนเนื้อหาที่สะท้อนความก้าวหน้าด้านปัญญาประดิษฐ์ นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน ประวัติศาสตร์วิศวกรรม และคอลัมน์ประจำที่มุ่งถ่ายทอดองค์ความรู้ เทคโนโลยี กฎหมาย และกิจกรรมสำคัญของวงการวิศวกรรมโยธาไทย

ในนามของกองบรรณาธิการ ผมขอขอบคุณผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้สนับสนุน และผู้มีส่วนร่วมทุกท่าน ที่ร่วมกันทำให้โยธาสารกลับมาอีกครั้งด้วยความมุ่งมั่นและศรัทธาต่อการพัฒนาวิชาชีพ พร้อมหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โยธาสาร จะยังคงเป็นเวทีแห่งองค์ความรู้ แรงบันดาลใจ และการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ของวิศวกรโยธาทุกภาคส่วน เพื่อร่วมกันขับเคลื่อนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทยให้มีความปลอดภัย ยั่งยืน และพร้อมรับความท้าทายในอนาคต

ศาสตราจารย์ ดร.ปานวัฒน์ จ้อยกลิต
บรรณาธิการใหญ่ (Editor-in-Chief)

โยธาสาร (Civil Engineering Magazine)

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

รายนามคณะกรรมการอำนวยการ วสท. วาระปี พ.ศ. 2569-2571

รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	นายก
ศ. ดร.พานิช	วุฒิพฤกษ์	อุปนายก คนที่ 1
รศ. ดร.สายันต์	ศิริมนตรี	อุปนายก คนที่ 2
ดร.ธีรรส	ธาราไชย	อุปนายก คนที่ 3
รศ. ดร.ณัฐพงศ์	มกระธัช	เลขาธิการ
ดร.กศพร	ศรีเอี่ยม	เหรัญญิก
นายทรงพร	งามจำ	นายกะเบียน
นางสาวบุษกร	แสนสุข	ประธานประชาชนสัมพันธ์
ดร.อิทธิพล	พลชัยโยธิน	ประธานกรรมการสิทธิ และจรรยาบรรณ
ศ. ดร.ปิติ	สุคนธสุกุล	ประธานโครงการ และต่างประเทศ
นายกิตติ	บุญแสง	กรรมการกิจกรรมพิเศษ
ศ. ดร.วิฑิต	ปานสุข	กรรมการกลาง
นายสุวิษ	ลิ้มทอง	กรรมการกลาง
ดร.ณัฐวุฒิ	อุทัยเสน	ประธานวิศวกรรมอาวุโส
นางสาวลาวัลย์	สุ่มประดิษฐ์	ประธานวิศวกรรมหญิง
ดร.จงชัย	ใจตรง	ประธานยุววิศวกร
ศ. ดร.ภาณุวัฒน์	จ้อยกลัด	ประธานสาขาวิศวกรรมโยธา
ดร.เดชกิต	บุรณะอัสกุล	ประธานสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
นายวุฒินันท์	ปัทมวิสุทธิ์	ประธานสาขาวิศวกรรมเครื่องกล
พศ. พิเศษ	แสง-ชูโต	ประธานสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
รศ. ดร.ปิยะบุตร	วานิชพงษ์พันธุ์	ประธานสาขาวิศวกรรมเคมีและปิโตรเคมี
ศ. กิตติคุณ ดร.ธรร	ศรีสถิตย์	ประธานสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
นายสายันต์	ฉิมประดิษฐ์	ประธานสาขาวิศวกรรมยานยนต์
ศ. (วุฒิคุณ) ดร.เชียรช่วง	กัลยาณมิตร	ประธานสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พศ. ดร.ปรีดา	พิชยาพันธ์	ประธานสาขากาหนดือ 1
พศ. ดร.กำพล	ทริพย์สมบูรณ์	ประธานสาขากาหนดือ 2
รศ. ดร.สหภาพ	หอมวุฒิมังค์	ประธานสาขากาหนดือ-วันออกเฉียงเหนือ 1
ว่าที่ร้อยตรี ศักดิ์ชัย	ทราบริมย์	ประธานสาขากาหนดือ-วันออกเฉียงเหนือ 2
พศ. ดร.กิตติ	จันทรา	ประธานสาขากาหนดือ-วันออก 1
ดร.อิทธิพล	เนธิยุปต์ สิงห์แก้ว	ประธานสาขากาหนดือ-วันออก 2
นายธนินรัฐ	เมธิวัชรรัตน์	ประธานสาขากาหนดือ 1
รศ. ดร.นันทชัย	ชูศิลป์	ประธานสาขากาหนดือ 2
นายคำรณ	คล้ายเจ็ก	ประธานสาขากาหนดือ-วันตก

กองบรรณาธิการ

บรรณาธิการใหญ่ (Editor-in-Chief)

ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด

บรรณาธิการ (Editor)

รศ. ดร.กฤษดา เสือเอี่ยม

รศ. ดร.กิตติพัฒน์ ภูววรรณ

ศ. ดร.เกษม ชูจารุกุล

รศ. ดร.ปณิสรชัย เซษุฑูโชติศักดิ์

ดร.ปรนิก จิตต์อารีกุล

พศ. ดร.ปานรวี รุ่งสกุลโรจน์

พศ. ดร.ปิยนุช ใจแก้ว

อ. ดร.พีรสิทธิ์ มหาสุวรรณชัย

อ. ดร.รัฐ ชู

รศ. ดร.วราเทพ แซ่ล่อง

พศ. ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว

พศ. ดร.อภิชาติ บัวกล้า

บรรณาธิการและเลขาฯ

(Editor & Secretary)

ดร.ภาณุภูมิ ลิ้มทอง

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
487 ซอยรามคำแหง 39 (เทพสิทธิ์) ถนนรามคำแหง แขวงพลับพลา
เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310

โทรศัพท์ 0-2184-4600-9

โทรสาร 0-2184-4662

• E-mail : eit@eit.or.th • www.eit.or.th



วัตถุประสงค์ในการจัดทำโยธาสาร ฉบับออนไลน์

1. เพื่อเป็นแหล่งรวมทางปัญญาและความคิดสร้างสรรค์ของวิศวกรโยธาที่มีแนวคิดมุ่งพัฒนาวิชาชีพอย่างยั่งยืนผ่านการบินฝึกและถ่ายโอนความรู้ (technology transfer) สู่เพื่อนในสังคมวิศวกรรม
2. เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผ่านบทความวิชาการและคอลัมน์ประจำรวมถึงสื่อโฆษณาในรูปแบบต่าง ๆ
3. เพื่อเป็นสื่อสิ่งพิมพ์ที่น่าสนใจกิจกรรม ของ วสท. อย่างต่อเนื่องได้มาตรฐานทัดเทียมระดับนานาชาติ ทั้งในแง่คุณภาพและเนื้อหาบทความเทคโนโลยี (technical content) เพื่อนำส่งให้แก่สมาชิกวิศวกร วสท. ทุกท่าน โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย



ภารกิจหน้าที่ ดังนี้

1. จัดทำโยธาสาร ฉบับออนไลน์ ปีละ 4 ฉบับ
2. จัดประชุมคณะกรรมการเพื่อหารือเรื่องการเตรียมบทความ เนื้อหาต่าง ๆ สำหรับโยธาสาร ฉบับออนไลน์
3. ประสานการสื่อสารกับสมาชิก เรื่องการรับโยธาสาร ฉบับออนไลน์
4. ทหารายได้ สำหรับการโฆษณาในโยธาสาร ฉบับออนไลน์
5. จัดหา และตรวจประเมินบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในโยธาสารฉบับออนไลน์
6. ให้คำปรึกษาในการจัดวางรูปแบบเนื้อหา รวมถึงโครงสร้างรายละเอียดต่าง ๆ ในโยธาสาร ฉบับออนไลน์

สู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน

Advancing
Thailand's
Highway and
Motorway
Infrastructure
through
Innovation for
a Resilient and
Sustainable
Future

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี กำลังส่งผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างพื้นฐานทางหลวงของประเทศไทย ทั้งด้านการเสื่อมสภาพของผิวทางและสะพาน ความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง และต้นทุนการก่อสร้างและบำรุงรักษาที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง บทความนี้นำเสนอแนวทางของกรมทางหลวงในการประยุกต์ใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัล อาทิ ปัญญาประดิษฐ์ (AI) แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (BIM) การบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ตลอดจนวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นกรอบในการพัฒนา การดำเนินงาน และการบำรุงรักษาโครงข่ายทางหลวงและทางหลวงพิเศษ

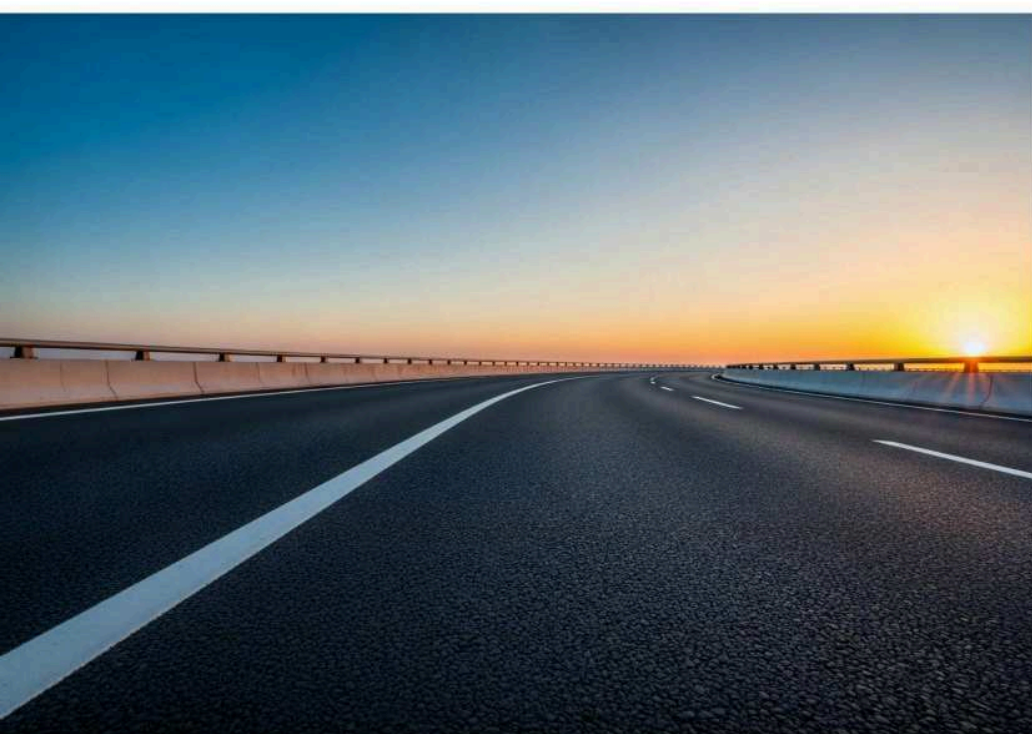
ระหว่างเมืองยุคใหม่ พร้อมยกตัวอย่างโครงการที่สะท้อนแนวคิดดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม ได้แก่ ทางแยกต่างระดับดงอู่ผึ้ง-วนารมย์ จังหวัดอุบลราชธานี อุโมงค์เชื่อมผืนป่าบนทางหลวงหมายเลข 304 จังหวัดปราจีนบุรี และแนวทางโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะดินเชิงนิเวศ ทั้งนี้เพื่อยืนยันเจตนารมณ์ของกรมทางหลวงในการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงที่สะดวก เชื่อมโยง เข้าถึง ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนในทุกมิติ

คำสำคัญ:

ทางหลวงอัจฉริยะ, นวัตกรรมงานทาง, BIM, ปัญญาประดิษฐ์, Green Highway, โครงสร้างพื้นฐานที่ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง (Resilient Infrastructure)

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ได้ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างชัดเจน ปรากฏผ่านสภาพอากาศสุดขั้ว ฝนตกหนัก ภัยแล้ง อุทกภัยฉับพลัน และดินถล่มในพื้นที่ลาดเขา ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อ



สู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน

โดยตรงต่อโครงข่ายทางหลวงอันเป็นเส้นทางคมนาคมหลักของประเทศ ทั้งในรูปแบบของการเชื่อมต่อสภาพของผิวทางและโครงสร้างสะพานที่เร็วกว่าอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้ ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นจากผิวทางเสียหายและจุดเสี่ยงที่เกิดอุบัติเหตุซ้ำซาก ไปจนถึงความเสียหายรุนแรงระดับโครงสร้างวิบัติในบางพื้นที่ ผลกระทบเหล่านี้ทำให้ต้นทุนการก่อสร้างใหม่และการบูรณะซ่อมแซมมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะเป็นภาระต้องงบประมาณแผ่นดินในระยะยาว หากไม่มีการปรับเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาและบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐานให้ทันต่อสถานการณ์

กรมทางหลวง (ทล.) ในฐานะหน่วยงานหลักด้านโครงสร้างพื้นฐานทางบกของประเทศ ตระหนักถึงความท้าทายดังกล่าว จึงได้กำหนดทิศทางของแผนปฏิบัติการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ให้สอดคล้องกับบริบทใหม่ โดยหนึ่งในกลไกสำคัญที่จะนำพากรมทางหลวงไปสู่เป้าหมายดังกล่าวคือการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain) ตั้งแต่การสำรวจออกแบบ การก่อสร้าง การให้บริการ และการบำรุงรักษา ไม่ว่าจะเป็นปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) แบบจำลองสารสนเทศอาคาร (Building Information Modeling: BIM) การปรับเปลี่ยนสู่ดิจิทัล (Digitalization) และการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ควบคู่ไปกับการส่งเสริมการใช้วัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Material) เพื่อยกระดับทั้งคุณภาพ ความปลอดภัย และความยั่งยืนของโครงข่ายทางหลวงและทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองในยุคใหม่



บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบแนวคิดการพัฒนา การดำเนินงาน และการบำรุงรักษาโครงข่ายทางหลวงของกรมทางหลวงที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยี พร้อมยกตัวอย่างโครงการที่เป็นรูปธรรมเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงการนำแนวคิดดังกล่าวไปประยุกต์ใช้จริงในทางปฏิบัติของวิศวกรรมทาง

2. กรอบแนวคิดการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงและทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองด้วยนวัตกรรม

แผนปฏิบัติการของกรมทางหลวง ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570) ได้กำหนดวิสัยทัศน์ไว้อย่างชัดเจน ดังนี้

“มุ่งพัฒนาและดูแลบริหารจัดการโครงข่ายทางหลวงที่สะดวก เชื่อมโยง เข้าถึง ปลอดภัย ตามมาตรฐานลำดับชั้นทางหลวง ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและคนทุกกลุ่ม”

Vision: A highway network that is convenient, connected, accessible, safe, and environmentally friendly for all.



สู่อนาคตที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน

เพื่อให้บรรลุวิสัยทัศน์ข้างต้น กรมทางหลวงได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์ไว้ 5 ด้านซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นกรอบการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงอย่างครบวงจร ตั้งแต่การพัฒนาโครงข่ายใหม่ การบำรุงรักษา การยกระดับความปลอดภัย การบริหารจัดการองค์กรสู่ความเป็นดิจิทัล ไปจนถึงการขับเคลื่อนงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน โดยมีเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นกลไกร่วมที่สอดแทรกอยู่ในทุกประเด็นยุทธศาสตร์ดังสรุปในตารางที่ 1



ประเด็นยุทธศาสตร์	เป้าหมายหลัก	เทคโนโลยี/นวัตกรรมที่ขับเคลื่อน
1. พัฒนาโครงข่ายทางหลวง	เชื่อมโยง เข้าถึง คล่องตัว ตามมาตรฐานลำดับชั้นทางหลวง (Road Hierarchy)	BIM และ VR ในงานสำรวจ-ออกแบบ, อากาศยานไร้คนขับ (UAV)
2. บำรุงรักษาและบริหารจัดการโครงข่าย	บำรุงทาง-สะพานทันสมัย สถานการณ์คุณภาพต่อเนื่อง	Machine Learning/AI ประเมินสภาพสะพาน, Embedded Sensor + Health Monitoring, Big Data วิเคราะห์โครงข่ายเฉพาะบาง
3. ความปลอดภัย	ลดอุบัติเหตุและความรุนแรงเชิงรุก (Proactive)	ระบบกล้องและ AI ควบคุมสัญญาณไฟจราจร, IoT เตือนภัยจุดเสี่ยง, M-Flow
4. บริหารจัดการองค์กรสู่องค์กรดิจิทัล	บุคลากรพร้อมรับโลกยุคใหม่ บริการภาครัฐแบบดิจิทัล	Digital Government Service, Smart Back Office, ระบบ E-Service
5. งานวิจัย สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาที่ยั่งยืน	ทางหลวงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บรรลุเป้าหมาย SDGs	Green Highway Corridor, วัสดุรีไซเคิล (RAP/Hot In-Plant Recycling), พลังงานสะอาด (โซลาร์/LED)

5

ประเด็นยุทธศาสตร์ครอบคลุมทั้งห่วงโซ่คุณค่างานทาง

+3

สายทาง

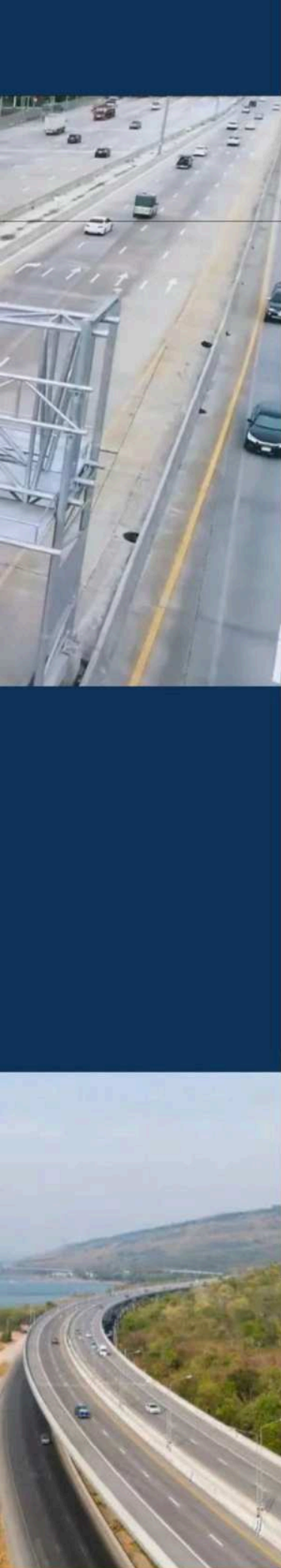
เป้าหมาย Green Highway Corridor ภายใน 5 ปี

100 ปี

อายุการออกแบบ (Design Life) ของโครงสร้างทางหลวงยุคใหม่

ในเชิงปฏิบัติ ยุทธศาสตร์ที่ 1 และ 2 ใช้ BIM และความจริงเสมือน (VR) ร่วมกับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในงานสำรวจและออกแบบ โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาและสะพานขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูง ขณะที่งานบำรุงรักษานำแนวทาง Machine Learning และ AI มาประเมินสภาพสะพาน ร่วมกับการฝังตัวรับรู้ (Embedded Sensor) เพื่อสร้างระบบเฝ้าติดตามสุขภาพโครงสร้าง (Structural Health Monitoring System) แบบต่อเนื่อง ส่วนยุทธศาสตร์ที่ 3 ด้านความปลอดภัยได้นำระบบกล้องและ AI มาควบคุมสัญญาณไฟจราจรและวิเคราะห์จุดเสี่ยงเชิงรุก ประกอบกับยุทธศาสตร์ที่ 4 ที่ผลักดันให้กรมทางหลวงก้าวสู่การเป็นองค์กรดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบ





สู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน



สำหรับยุทธศาสตร์ที่ 5 ด้านงานวิจัย สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาที่ยั่งยืน มุ่งพัฒนา สายทางต้นแบบตามแนวระเบียบโครงข่าย ทางหลวงสีเขียว (Green Highway Corridor Development) ตั้งแต่การออกแบบ การก่อสร้าง การเปิดใช้งาน จนถึงการบริหารรักษา ควบคู่กับการส่งเสริมการใช้วัสดุทางเลือก วัสดุเหลือทิ้ง และวัสดุนำกลับมาใช้ ประโยชน์ใหม่ เช่น การนำวัสดุแอสฟัลต์เก่า กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการ Hot In-Plant Recycling การใช้ไฟ LED และพลังงานจาก แผงโซลาร์เซลล์ในงานอำนวยความปลอดภัย และบริหารจัดการ เพื่อลดการปล่อยคาร์บอน และก๊าซเรือนกระจกตลอดวงจรชีวิตของ โครงการ

ความมุ่งมั่นดังกล่าวยังสะท้อนผ่าน ความร่วมมือกับภาคีวิชาชีพ โดยเมื่อเดือน มีนาคม 2569 กรมทางหลวงได้ลงนาม บันทึกข้อตกลงความร่วมมือ (MOU) ด้าน วิชาการและวิชาชีพวิศวกรรมกับวิศวกรรม สถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เพื่อบูรณาการองค์ความรู้และผลักดัน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในงาน ก่อสร้าง อาทิ BIM และ Digital Twin สำหรับยกระดับคุณภาพและมาตรฐาน วิศวกรรมงานทางของไทยให้ทัดเทียมระดับ สากล นับเป็นอีกหนึ่งกลไกสำคัญที่ช่วย เชื่อมโยงองค์ความรู้ทางวิชาการเข้ากับการ ปฏิบัติงานจริงของกรมทางหลวง

3. ตัวอย่างโครงการที่สะท้อนแนวคิดการพัฒนา ด้วยนวัตกรรม

เพื่อให้เห็นภาพการนำกรอบแนวคิดข้างต้นไปประยุกต์ใช้จริง บทความนี้ขอยกตัวอย่างโครงการของกรมทางหลวง 3 โครงการ ซึ่งแต่ละโครงการสะท้อนมิติที่แตกต่างกันของการพัฒนา ทางหลวงยุคใหม่ ทั้งด้านวิศวกรรมจราจร ด้านระบบนิเวศ และ ด้านวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3.1 ทางแยกต่างระดับดงอู่ผึ้ง-วนารมย์ จังหวัดอุบลราชธานี: วิศวกรรมทางลอด ผสานวงเวียนเพื่อแก้ปัญหาจราจรอย่าง ยั่งยืน

ทางแยกดงอู่ผึ้งเป็นจุดตัดระหว่างทางหลวงหมายเลข 231 (ถนนวงแหวนรอบเมืองอุบลราชธานี) กับทางหลวงหมายเลข 23 (ถนนแจ้งสนิท) ซึ่งเดิมเป็นจุดที่มีปริมาณจราจรหนาแน่นและเป็นคอขวดสำคัญของเมือง กรมทางหลวงได้ออกแบบแก้ไข ปัญหาด้วยแนวคิดทางแยกต่างระดับรูปแบบวงเวียนระดับดิน (At-grade Roundabout) ร่วมกับอุโมงค์ทางลอดขนาด 6 ช่องจราจร สำหรับกระแสจราจรหลักที่ไม่ต้องการเลี้ยว ขณะที่วงเวียนขนาด 3 ช่องจราจรทำหน้าที่รองรับการเลี้ยวและกระจาย กระแสจราจรในทุกทิศทาง ลดจำนวนจุดตัดที่เป็นความเสี่ยง ต่อการเกิดอุบัติเหตุ พร้อมโครงการคู่นานที่ทางแยกวนารมย์ ในรูปแบบเดียวกัน รวมระยะทางดำเนินการประมาณ 4.06 กิโลเมตร

จุดเด่นทางวิศวกรรมของโครงการนี้อยู่ที่การออกแบบ เรขาคณิตของทางแยกที่ผสมผสานหลักการวงเวียนเข้ากับทางลอด ในพื้นที่จำกัด ควบคู่กับการวางระบบบริหารจัดการน้ำผิวดิน และการจัดสรรพื้นที่สีเขียวโดยรอบทางแยก เพื่อรองรับการ ระบายน้ำในช่วงฝนตกหนักและลดผลกระทบทางภูมิทัศน์ ต่อชุมชนเมือง สอดคล้องกับแนวคิด Green Infrastructure ที่ผนวกงานวิศวกรรมจราจรเข้ากับการจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง อย่างเป็นองค์รวม



สู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน

798.65

ล้านบาท:
มูลค่าโครงการ
ทางแยก
ดงอู่ผึ้ง-วนารมย์

4.06 กม.

ระยะทางดำเนินการ
ก่อสร้าง

6+3

ช่องจราจร อุโมงค์
ทางลอด + วงเวียน
(แยกดงอู่ผึ้ง)



ตัวอย่างโครงการทางแยกต่างระดับดงอู่ผึ้ง-วนารมย์ จังหวัดอุบลราชธานี

3.2 อุโมงค์เชื่อมผืนป่า ทางหลวงหมายเลข 304 จังหวัดปราจีนบุรี: Wildlife Corridor เพื่อสมดุลระหว่างคนและสัตว์ป่า

ทางหลวงหมายเลข 304 ช่วงอำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี เป็นเส้นทางหลักที่ตัดผ่านแนวเชื่อมต่อระหว่างอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่และอุทยานแห่งชาติทับลาน ซึ่งเป็นพื้นที่ป่ามรดกโลก กรมทางหลวงจึงออกแบบโครงการทางเชื่อมผืนป่าด้วยแนวคิด Wildlife Corridor ระยะทางประมาณ 3.5 กิโลเมตร โดยปรับให้ถนนช่วงดังกล่าวเป็นอุโมงค์ระดับพื้นถนน และจัดพื้นที่ด้านบนเป็นทางเชื่อมต่อให้สัตว์ป่าสามารถสัญจรข้ามได้อย่างปลอดภัย ออกแบบให้กลมกลืนกับสภาพภูมิประเทศและพฤติกรรมของสัตว์ป่าในพื้นที่ ประกอบกับแนวรั้วป้องกันสัตว์ลงมาบนผิวจราจรและทางลอดขนาดเล็กสำหรับสัตว์ขนาดเล็ก

จากการติดตามผลสัมฤทธิ์ของโครงการร่วมกับกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช พบว่าความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบทางหลวงที่คำนึงถึงระบบนิเวศควบคู่กับการรองรับการสัญจรของมนุษย์สามารถเกิดขึ้นได้จริง และเป็นต้นแบบสำคัญสำหรับการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงในพื้นที่อนุรักษ์อื่น ๆ ของประเทศต่อไป





156→172

ชนิดสัตว์ป่าที่พบ
ในพื้นที่ ก่อน-หลัง
เปิดใช้อุโมงค์

16 ชนิด

ความหลากหลายทาง
ชีวภาพที่เพิ่มขึ้น

3.5 กม.

ระยะทางแนว
Wildlife Corridor
บน ทล.304



ตัวอย่างโครงการอุโมงค์เชื่อมผืนป่า ทางหลวงหมายเลข 304 จังหวัดปราจีนบุรี: Wildlife Corridor

3.3 แนวทางโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของดิน เชิงนิเวศ (Green/Bio-engineered Retaining Structure)

ในพื้นที่ลาดเขาและไหล่ทางที่เสี่ยงต่อการกัดเซาะและดินถล่มอันมีแนวโน้มรุนแรงขึ้นจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง กรมทางหลวงได้ผลักดันแนวทางโครงสร้างป้องกันดินแบบผสมผสาน ซึ่งรวมหลักวิศวกรรมโครงสร้างเข้ากับวิศวกรรมชีวภาพทางดิน (Soil Bioengineering) โดยใช้พืชคลุมดินและระบบรากเสริมความมั่นคงของลาดดินร่วมกับโครงสร้างกันดินแบบมีช่องว่างให้พืชเจริญเติบโต ช่วยลดแรงปะทะของน้ำฝนและกระแสน้ำไหลบนผิวดิน ขณะเดียวกันก็เพิ่มพื้นที่สีเขียวและกลมกลืนกับภูมิทัศน์ธรรมชาติโดยรอบมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป

แนวทางนี้สอดคล้องกับกลยุทธ์ด้านการส่งเสริมวัสดุทางเลือกและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของกรมทางหลวง ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การนำวัสดุแอสฟัลต์เก่ามาใช้ใหม่ในชั้นทาง (Reclaimed Asphalt Pavement) ไปจนถึงการเลือกใช้วัสดุที่มีคาร์บอนฟุตพริ้นต์ต่ำในงานก่อสร้างและบำรุงรักษา ทั้งหมดนี้มีเป้าหมายร่วมกันคือการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของโครงการ ตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบ ก่อสร้าง ใช้งาน จนถึงการบำรุงรักษาในระยะยาว



ตัวอย่างแนวทางการก่อสร้างป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของดินเชิงนิเวศ
(Green/Bio-engineered Retaining Structure)

3.4 นวัตกรรมสะพานเคเบิล: BIM กับการควบคุมคุณภาพสะพาน เอ็กซ์ทราโดสและสะพานหึง

อีกหนึ่งตัวอย่างของการผสมผสานเทคโนโลยีเข้ากับการก่อสร้างขนาดใหญ่ คือสะพาน
หึงเคเบิลและสะพานเอ็กซ์ทราโดส (Extradosed Bridge) ซึ่งกรมทางหลวงนำมาใช้
แก้ปัญหาการข้ามแม่น้ำหรือช่องเขาในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านความสูงตอม่อ การออกแบบ
และควบคุมคุณภาพสะพานประเภทนี้อาศัย BIM ร่วมกับแบบจำลองสามมิติเพื่อประสาน
งานระหว่างทีมออกแบบโครงสร้าง ทีมเคเบิลหึง และทีมก่อสร้างให้แม่นยำตั้งแต่ชั้น
รายละเอียดของระยะเรียง (Stay Cable Layout) ไปจนถึงขั้นตอนการติดตั้งและปรับ
ความตึง ระบบเคเบิลที่ใช้ในปัจจุบันมักออกแบบเป็นระบบเส้นลวดเกลียวคู่ (Parallel
Strand System) ที่มีเกราะป้องกันการกัดกร่อนหลายชั้นซ้อนกัน ทั้งชั้นพลาสติกโพลีเอทิลีน
หุ้มเส้นลวดแต่ละเส้น สารกันความชื้นภายใน และปลอกท่อสเตย์ชั้นนอก พร้อมต้องผ่าน
การทดสอบคุณสมบัติด้านความล้า ความแข็งแรงสูงสุด และความสามารถในการกันน้ำ
ตามมาตรฐานสากลอย่าง PTI Recommendations for Stay Cable Design ก่อนนำ
ไปใช้งานจริง สะท้อนให้เห็นว่าการยกระดับมาตรฐานวิศวกรรมงานทางของไทยจำเป็นต้อง
อาศัยทั้งเทคโนโลยีดิจิทัลและมาตรฐานทางวิศวกรรมที่เข้มงวดควบคู่กัน



4. unสรุป

ความท้าทายจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติทางธรรมชาติ ผลักดันให้กรมทางหลวงต้องปรับเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาโครงข่ายทางหลวงและทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองให้ก้าวข้ามจากกรอบงานวิศวกรรมโยธาแบบเดิม สู่การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัล ปัญญาประดิษฐ์ และวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเข้าไว้ในทุกขั้นตอนของห่วงโซ่คุณค่า ตั้งแต่การวางแผน ออกแบบ ก่อสร้าง ไปจนถึงการบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างพื้นฐาน ตัวอย่างโครงการที่นำเสนอในบทความนี้ ทั้งทางแยกต่างระดับ ดงอู่ผึ้ง-วนารมย์ อุโมงค์เชื่อมผืนป่าบนทางหลวงหมายเลข 304 และแนวทางโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะดินเชิงนิเวศ ต่างสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาทางหลวงที่ดีไม่จำเป็นต้องเลือกกระหว่างประสิทธิภาพการเดินทางกับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม หากแต่สามารถออกแบบให้ทั้งสองมิติเสริมกันได้อย่างกลมกลืน

กรมทางหลวงมุ่งมั่นพัฒนาโครงข่ายทางหลวงและทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองเพื่อรองรับการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ และยิ่งสร้างความสมดุลให้กับสภาพแวดล้อม ระบบนิเวศ และคุณภาพชีวิตของประชาชนในทุกมิติ ความร่วมมือกับภาคีวิชาชีพอย่างวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ สถาบันการศึกษา และภาคเอกชน จะยังคงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยยกระดับองค์ความรู้และมาตรฐานวิศวกรรมงานทางของไทยให้ทัดเทียมระดับสากล เพื่อก้าวไปสู่อนาคตของโครงข่ายทางหลวงไทยที่ Resilient และ Sustainable อย่างแท้จริง



เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. (2566). แผนปฏิบัติราชการของกรมทางหลวง (พ.ศ. 2566–2570). สำนักแผนงาน กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม.

กรมทางหลวง. (2569, 13 มีนาคม). กรมทางหลวง สนีกกำลัง วสท. ลงนาม MOU ยกระดับมาตรฐานวิศวกรรมงานทาง. สืบค้นจาก www.doh.go.th

เดลินิวส์. (2565). เร่งสร้าง “แยกดงอู่ผึ้ง-วนารมย์” เมืองอุบลฯ กว่า 798 ล้าน ปิดจ๊อบ ก.พ. 66.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, และกรมทางหลวง. (2569, 18 กุมภาพันธ์). ผลการติดตามประสิทธิภาพอุโมงค์เชื่อมผืนป่า (Wildlife Corridor) ทางหลวงหมายเลข 304 จังหวัดปราจีนบุรี.

Post-Tensioning Institute. (2012). PTI Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation (6th ed.).

fib. fib Bulletin 30: Acceptance of Stay Cable Systems using Prestressing Steels.



สู่อากาศที่ยืดหยุ่นปรับตัวได้และยั่งยืน

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ดร.ปิยพงษ์ จิววัฒนกุลไพศาล

ดร.ปิยพงษ์ เป็นผู้มีความรู้ประสบการณ์และความเชี่ยวชาญที่มีผลงานในการขับเคลื่อนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ (Mega Projects) ของกรมทางหลวงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยได้ผลักดันการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (Motorways) จนได้รับการอนุมัติโครงการจาก ครม. และมีการดำเนินการประมูลและก่อสร้างให้เห็นอย่างเป็นรูปธรรม จำนวน 9 โครงการ มูลค่าโครงการรวมกันกว่า 2.8 แสนล้านบาท ได้แก่ M6 บางปะอิน-โคราช, M81 บางใหญ่-กาญจนบุรี, M82 บางขุนเทียน-บ้านแพ้ว, M7 พัทยา-มาบตาพุด, M7 เชื่อมสนามบินอู่ตะเภา, M9 บางขุนเทียน-บางบัวทอง, M9 บางปะอิน-บางบัวทอง และ M5 รังสิต-บางปะอิน

ท่านยังมีประสบการณ์และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน (Public Private Partnerships : PPP) โดยเคยมีบทบาทในคณะกรรมการคัดเลือกเอกชนฯ ที่ประสบผลสำเร็จและลงนามสัญญากับเอกชนแล้ว เช่น M6 PPP O&M, M81 PPP O&M, Service Center ศรีราชา บน M7 ในปัจจุบันยังได้รับมอบหมายให้เป็นประธานคณะกรรมการกำกับสัญญาโครงการร่วมลงทุนฯ (PPP) ของกระทรวงคมนาคม ได้แก่ การบริหารจัดการท่าเทียบเรือ ณ ท่าเรือแหลมฉบังจำนวน 4 สัญญา (ปี5, ซี3, เอ3 ซี1 ซี2 ดี1 ดี2 และ ดี3, และ เอ5) ของการทำเรือแห่งประเทศไทย

ประวัติการศึกษา

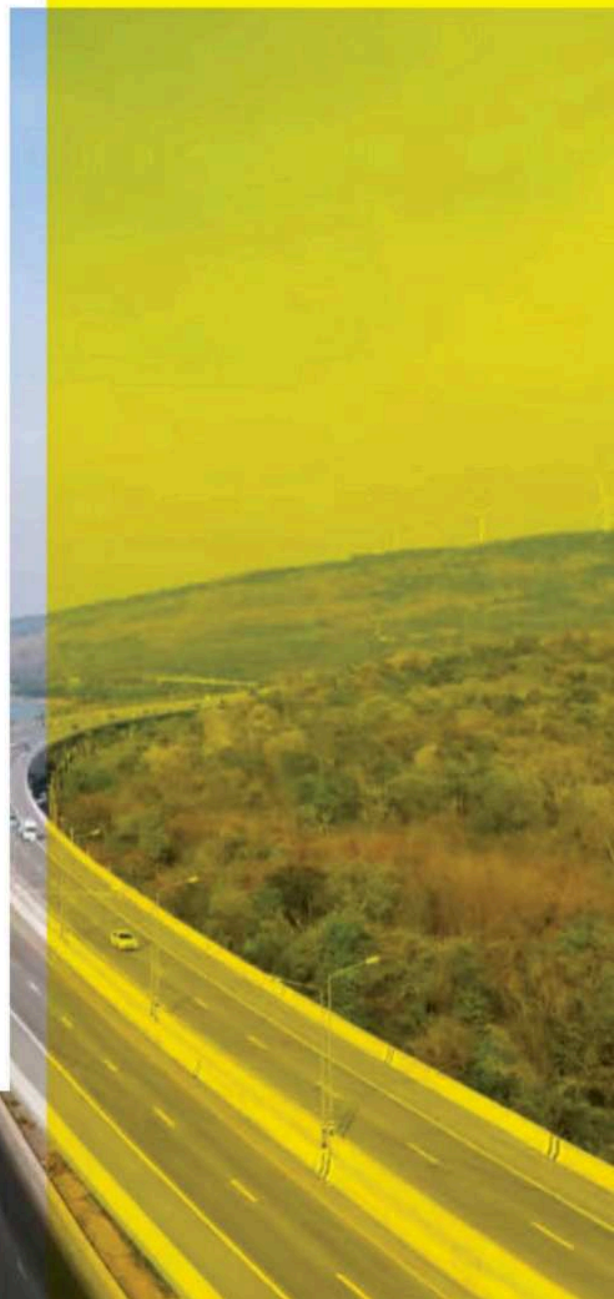
- ปริญญาเอก Transport Economics and Policy, Imperial College London
- ปริญญาโท Transportation Engineering สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)
- ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเชี่ยวชาญ

- โครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ (Mega Infrastructure Development)
- โครงการร่วมลงทุนระหว่างรัฐและเอกชน (Public Private Partnerships)
- เศรษฐศาสตร์และนโยบายการขนส่ง (Transport Economics and Policy)
- วิศวกรรมความปลอดภัยทางถนน (Road Safety Engineering)

ตำแหน่งปัจจุบัน

- อธิบดีกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
- ประธานกรรมการการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.)





จัดโดย สถาบันวิศวกรรมพัฒน์ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อบรมเรื่อง

EIT Mini Civil



วิชา ทฤษฎีโครงสร้าง
(Theory of Structure)

19-20 กันยายน 2569 (เสาร์-อาทิตย์)

เวลา 09.00-16.00 น.

อบรมออนไลน์ผ่านโปรแกรม ZOOM

เนื้อหา

Part I : Equilibrium

- Equilibrium Equation
- Support Reaction
- Statically Determinate/Statically Indeterminate/Unstable Structure

Part II : Structural Analysis of Statically Determinate Structure

- Analysis of Truss
- Shear force Diagram / Bending Moment Diagram

Part III : Determination of Deformation of Statically Determinate Structure

Part IV : Structural Analysis of Statically Indeterminate Structure

Part V : Workshop



วิทยากร
ศ.ดร.นคร กุ้วโรดม

ค่าลงทะเบียน

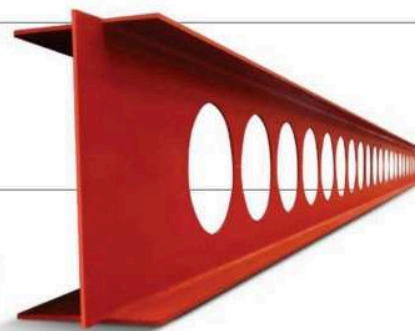
	แยกวิชา	รวมวิชา
สมาชิก วสท.	2,500 บาท	13,000 บาท
บุคคลทั่วไป	3,000 บาท	16,000 บาท

การชำระเงิน

- โอนเงิน เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์
สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาสาภาภาษาไทย เลขที่ 045-2-03026-1
 - ธนาคารกรุงไทย สาขาจามจุรีสแคว เลขที่ 162-0-09914-4



สมัครอบรม



การออกแบบและพฤติกรรมการวิบัติ แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเหล็กเซลล์ลูลาร์

1. บทนำ

คานเซลล์ลูลาร์ (Cellular beam) เป็นคานเหล็กรูปพรรณที่ได้รับการดัดแปลงจากคานหน้าตัดรูปตัวไอ (I-section) หรือเอช (H-section) โดยการตัดและประกอบใหม่ให้เกิดช่องเปิดวงกลมอย่างสม่ำเสมอบริเวณเอวคาน การดัดแปลงดังกล่าวช่วยเพิ่มความลึกหน้าตัดและโมเมนต์ความเฉื่อยของคาน [1] ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโครงสร้างอาคารช่วงกว้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2-5] อีกทั้งยังช่วยให้สามารถเดินระบบวิศวกรรมผ่านช่องเปิดได้สะดวก อย่างไรก็ตาม การมีช่องเปิดในเอวคานย่อมส่งผลให้การกระจายความเค้นและพฤติกรรมการรับแรงของคานเปลี่ยนแปลงไปจากคานเหล็กรูปพรรณดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ [6-8] จึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมการวิบัติของคานชนิดนี้ อย่างรอบด้านเพื่อให้การออกแบบมีความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง [9]

จากการศึกษาที่ผ่านมา [8-12] พบว่าคานเซลล์ลูลาร์สามารถเกิดการวิบัติได้หลายรูปแบบ ทั้งการวิบัติระดับโครงสร้างโดยรวมและการวิบัติเฉพาะที่บริเวณแผ่นเอว เช่น การวิบัติจากแรงดัด การวิบัติจากแรงเฉือน การวิบัติแบบ Vierendeel การโก่งเดาะของแผ่นเอว และการวิบัติจากแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว (Web-post horizontal shear failure, WPHSF) [10] ในบรรดากรณีเหล่านี้ การวิบัติจากแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวนับเป็นรูปแบบการวิบัติที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในคานช่วงสั้นหรือคานที่มีระยะห่างระหว่าง

ช่องเปิดค่อนข้างน้อย [10] เนื่องจากแรงเฉือนที่ถ่ายผ่านช่วงแผ่นเอวสามารถทำให้เกิดการสะสมของความเค้นและนำไปสู่การครากหรือการวิบัติเฉพาะที่ได้อย่างรวดเร็ว [10, 11]

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาพฤติกรรมของคานเซลล์ลูลาร์ภายใต้แรงเฉือนและการวิบัติของแผ่นเอว [13] แต่การศึกษาที่มุ่งเน้นพฤติกรรมการวิบัติจากแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวโดยตรงยังมีอยู่จำกัด โดยเฉพาะการประเมินความสามารถของสมการออกแบบตามมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ANSI/AISC 360-16 [14] และแนวทางของ SCI P355 [15] ในการทำนายกำลังรับแรงเฉือนแนวราบและตำแหน่งการวิบัติบนแผ่นเอว ช่องว่างขององค์ความรู้นี้มีความสำคัญต่อการปฏิบัติวิชาชีพ เนื่องจากหากแบบจำลองหรือสมการออกแบบไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมจริงของคานเซลล์ลูลาร์ได้อย่างเหมาะสม ก็อาจ

นำไปสู่การประเมินกำลังรับแรงที่คลาดเคลื่อนและส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของโครงสร้างในระยะยาว

ด้วยเหตุนี้ บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอการออกแบบและพฤติกรรมการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบบนแผ่นเอวของคานเซลล์ลูลาร์ โดยอาศัยผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านโปรแกรม ABAQUS [16] ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ ขนาดหน้าตัด อัตราส่วนช่องเปิดต่อความลึกหน้าตัด และอัตราส่วนความชะลุดของคาน เนื้อหาจะครอบคลุมทั้งลักษณะการกระจายความเค้น กลไกการวิบัติ การเปรียบเทียบผลกับสมการในมาตรฐานเดิม ตลอดจนการนำเสนอสมการปรับปรุงสำหรับทำนายกำลังรับแรงเฉือนแนวราบและตำแหน่งการวิบัติของแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการออกแบบคานเซลล์ลูลาร์ให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น





2. แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว

แผ่นเอว (Web-post) คือ ส่วนเนื้อเหล็กบริเวณเอวบนหน้าตัดคานที่เหลื่อมอยู่ระหว่างช่องเปิดที่อยู่ติดกันในคานเซลล์ลูลาร์ ซึ่งเป็นบริเวณสำคัญต่อการถ่ายแรงภายในของคาน เมื่อคานรับแรงเฉือนในแนวตั้ง แรงดังกล่าวจะไม่สามารถถ่ายผ่านแผ่นเอวของคานได้อย่างต่อเนื่องเหมือนคานเหล็กตันทั่วไป เนื่องจากมีช่องเปิดขวางกั้นตัดขวางเส้นทางการไหลของความเค้น ทำให้แรงภายในต้องถ่ายอ้อมช่องเปิดผ่านหน้าตัดรูปตัวที (T-section) ด้านบนและด้านล่างของช่องเปิด แล้วถ่ายเชื่อมต่อกันผ่านส่วนแผ่นเอว ส่งผลให้เกิดแรงเฉือนแนวราบ ภายในแผ่นเอวขึ้นโดยธรรมชาติของสมดุลแรงและโมเมนต์ภายในหน้าตัดคานเซลล์ลูลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ตามแนวความคิดการออกแบบตามมาตรฐาน SCI P355 [15] แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว สามารถอธิบายได้จากสมดุลโมเมนต์รอบจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด

รูปตัวที โดยขนาดของแรงเฉือนแนวราบจะแปรตามแรงเฉือนในแนวตั้งที่คานรับอยู่ ระยะห่างระหว่างช่องเปิด และระยะระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัดรูปตัวทีด้านบนและด้านล่าง กล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อระยะห่างระหว่างช่องเปิดมีค่าน้อย หรือเมื่อรูปทรงของหน้าตัดทำให้ระยะแขนโมเมนต์ลดลง ส่วนแผ่นเอวจะต้องรับแรงเฉือนแนวราบสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงเพิ่มโอกาสในการเกิดการวิบัติเฉพาะที่ในบริเวณนี้ [10]

$$V_{hr} = \frac{Vs}{d_{cg}} \quad (1)$$

เมื่อ V_{hr} คือ แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเซลล์ลูลาร์; V คือ แรงเฉือนในแนวตั้งบนหน้าตัดคานเซลล์ลูลาร์; s คือ ระยะห่างระหว่างรูเจาะ; และ d_{cg} คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์ถ่วงและส่วนบนของหน้าตัดรูปตัวที โดย d_{cg} สามารถคำนวณได้ดังนี้ [10]

$$d_{cg} = H - 2y_h \quad (2)$$

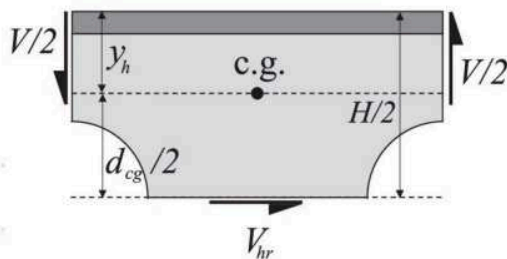
เมื่อ H คือ ความลึกของหน้าตัดคานเซลล์ลูลาร์; และ y_h คือ ระยะแกนสะเทินสามารถนิยามได้ดังนี้ [10]



การออกแบบและพฤติกรรมการวิบัติแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเหล็กเซลล์ลาร์

$$y_h = \frac{\left[\left(\frac{b_f t_f^2}{2} \right) + t_w (s_t - t_f) \left(\frac{s_t - t_f}{2} + t_f \right) \right]}{\left[(b_f t_f) + t_w (s_t - t_f) \right]} \quad (3)$$

เมื่อ b_f คือ ความกว้างของหน้าตัดคานเซลล์ลาร์; t_w คือ ความหนาของแผ่นเอวหน้าตัดคานเซลล์ลาร์; t_f คือ ความหนาของแผ่นปีกหน้าตัดคานเซลล์ลาร์; คือ ความลึกของหน้าตัดรูปตัวทีตลอดถึงกลางช่องเปิด; และ d_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ



รูปที่ 1 แรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว [10]

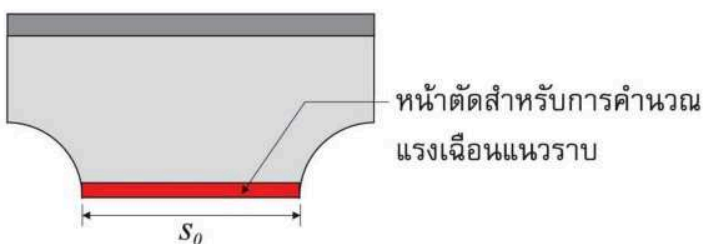
จากมาตรฐานการออกแบบ ANSI/AISC 360-10 [14] แรงเฉือนแนวราบระบุ ณ ตำแหน่งเส้นกึ่งกลางของความลึกคานเซลล์ลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังนี้ [10]

$$V_{hn} = 0.6 A_h f_y \quad (4)$$

เมื่อ V_{hn} คือ แรงเฉือนแนวราบระบุ; f_y คือ ความเค้นครากของหน้าตัดเหล็ก; และ A_h คือ พื้นที่หน้าตัดของส่วนปีกในแนวราบ และสามารถนิยามได้ดังนี้ [10]

$$A_h = s_0 t_w = (s - d_0) t_w \quad (5)$$

เมื่อ s_0 คือ ความกว้างของแผ่นเอวระหว่างช่องเปิดตลอดถึงกลางความลึก



รูปที่ 2 ตำแหน่งด้านทานแรงเฉือนแนวราบวิกฤติ [10]

3. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

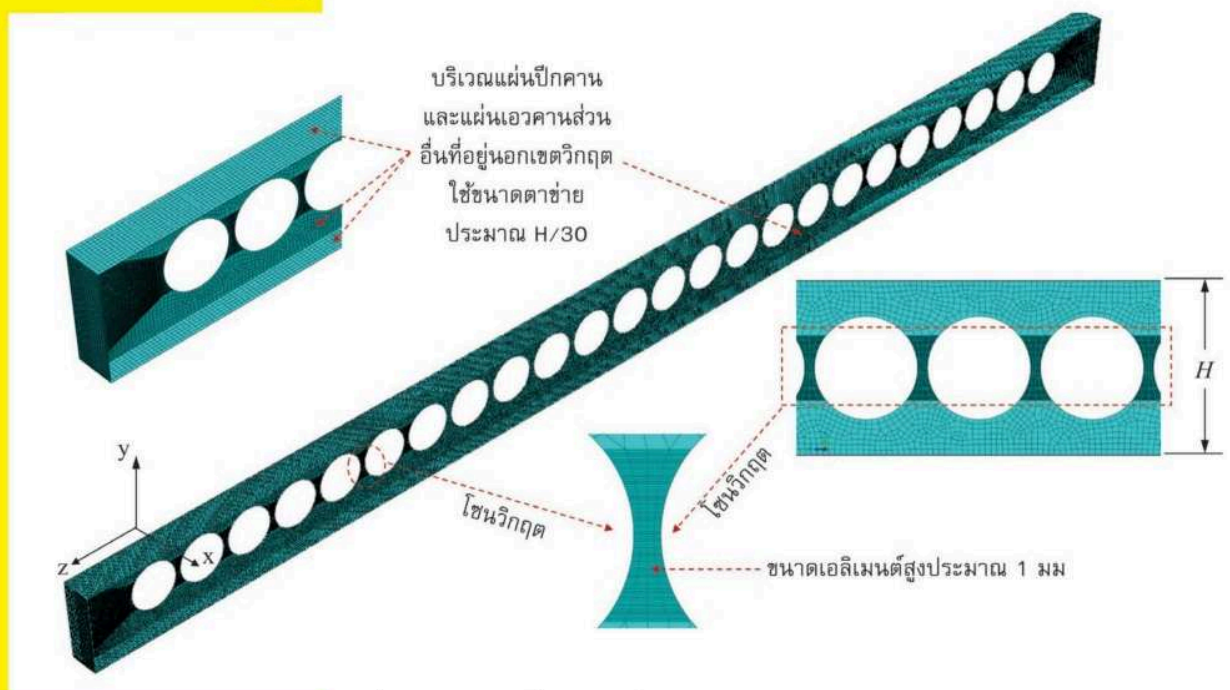
เพื่อศึกษาพฤติกรรมการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบบนส่วนเอวในคานเซลล์ลาร์ บทความวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติด้วยโปรแกรม ABAQUS [16] โดยเลือกใช้เอลิเมนต์เปลือก (Shell element) ชนิด S4R ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ 4 โหนดที่มี 6 องศาอิสระต่อโหนด ได้แก่ การเลื่อนตัว 3 ทิศทางและการหมุน 3 ทิศทาง เอลิเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นบาง และสามารถสะท้อนพฤติกรรมการรับแรงทั้งในลักษณะแผ่นบางและการดัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยลดเวลาและทรัพยากรในการคำนวณ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองสามมิติแบบเอลิเมนต์ชนิดของแข็งในโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผนังบาง เช่น คานเซลล์ลาร์ [6-8]

ในด้านการแบ่งตาข่าย (Mesh) ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับบริเวณแผ่นเอว ซึ่งเป็นตำแหน่งวิกฤติที่คาดว่าจะเกิดการวิบัติ โดยได้ทำการวิเคราะห์การลู่เข้าของการแบ่งตาข่ายเพื่อให้มั่นใจว่าผลการคำนวณมีเสถียรภาพและมีความแม่นยำเพียงพอ ผลการศึกษาพบว่า บริเวณช่วงวิบัติควรใช้ตาข่ายละเอียดกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ดังนั้นบริเวณแผ่นเอวที่กึ่งกลางช่วงคานจึงถูกแบ่งออกเป็นส่วยย่อยและใช้ขนาดเอลิเมนต์ประมาณ 1 มม. ขณะที่บริเวณแผ่นปีกคานและแผ่นเอวคานส่วนอื่นที่อยู่นอกเขตวิกฤติใช้ขนาดตาข่ายประมาณ $H/30$ เพื่อให้เหมาะสมทั้งในด้านความละเอียดของผลลัพธ์และประสิทธิภาพในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 3



CELLULAR BEAM

สำหรับแบบจำลองวัสดุ เหล็กโครงสร้างถูกกำหนดให้มีพฤติกรรมแบบ ยืดหยุ่นสมบูรณ์ เชิงพลาสติก (Elastic-perfectly plastic) ภายใต้เกณฑ์การครากแบบ Von Mises โดยสมมติให้วัสดุเป็นเนื้อเดียวและมีสมบัติไอโซทรอปิก ค่าคุณสมบัติพื้นฐานของเหล็กที่ใช้ในแบบจำลองประกอบด้วย โมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ $E=200$ GPa, อัตราส่วนปัวซอง $\nu=0.3$ และค่าหน่วยแรงคราก $f_y=245$ MPa แนวทางดังกล่าวเป็นสมมติฐานมาตรฐานที่นิยมใช้ในการจำลองพฤติกรรมของคานเหล็ก [1, 6-8] และเพียงพอสำหรับการศึกษาพฤติกรรมการวิบัติเฉพาะที่ในบริเวณแผ่นเอว [10, 11]



รูปที่ 3 ขนาดตาข่ายที่ใช้วิเคราะห์ในโซนวิกฤต [10]

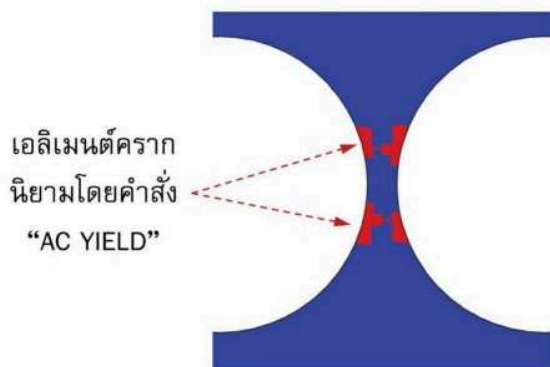


ตามที่นำเสนอในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [10] เงื่อนไขขอบเขตของคานถูกกำหนดให้เป็น คานรองรับอย่างง่าย เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการรับแรงของคานที่ศึกษา โดยที่ปลายคานทั้งสองด้านมีการยึดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและแนวข้างที่จุดกึ่งกลางหน้าตัด ส่วนการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของคานถูกจำกัดไว้เพียงด้านเดียวเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่แบบวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) นอกจากนี้ยังมีการจำกัดการเคลื่อนตัวด้านข้างที่ปลายปีกบนและปีกล่าง เพื่อป้องกันการบิดตัวของหน้าตัดบริเวณปลายคาน ซึ่งช่วยให้สามารถมุ่งวิเคราะห์พฤติกรรมการวิบัติเฉพาะที่ของแผ่นเอวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในส่วนของการให้แรงกระทำ แบบจำลองใช้ แรงกระจายสม่ำเสมอที่ปีกบนของคาน โดยจำลองในลักษณะการเพิ่มภาระแบบขั้นบันไดภายใต้การควบคุมด้วยแรง (Force-controlled



loading) เพื่อให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเค้นและการครากในบริเวณแผ่นเอวได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเพิ่มแรงจนองค์ประกอบในบริเวณแผ่นเอวเกิดการครากอย่างแพร่หลาย และต่อเนื่องข้ามช่วงแผ่นเอวจะถือว่าเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวแล้วดังแสดงในรูปที่ 4 ในการพิจารณาภาวะวิบัตินี้ ผู้วิจัยใช้คำสั่ง “AC YIELD” ของโปรแกรม ABAQUS [16]

เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบการครากของเอลิเมนต์ ซึ่งช่วยให้สามารถระบุภาวะวิบัติเฉพาะที่ได้แม่นยำกว่าการพิจารณาจากเส้นโค้งแรง-การโก่งตัวเพียงอย่างเดียว จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่พัฒนาขึ้นในบทความวิจัยจึงสามารถสะท้อนทั้งพฤติกรรมโดยรวมของคานและพฤติกรรมเฉพาะที่ของแผ่นเอวได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะการติดตามการกระจายความเค้น การเริ่มต้นการคราก และการพัฒนาของกลไกการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวนอน อันเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการประเมินกำลังรับแรงและการพัฒนาสมการออกแบบของคานเซลล์ลูลาร์ต่อไป



รูปที่ 4 รูปแบบการวิบัติจากแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวบนหน้าตัด [10]

4. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สำคัญ

ในการศึกษานี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์เชิงพารามิเตอร์เพื่อประเมินอิทธิพลของตัวแปรทางเรขาคณิตที่มีต่อการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวนอนในส่วนเอวของคานเซลล์ลูลาร์ โดยตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณาได้แก่ ขนาดหน้าตัดคาน อัตราส่วนช่องเปิดต่อความลึกหน้าตัด (d_o/d) และอัตราส่วนความขรุขระของคาน (L/d) การเลือกช่วงของตัวแปรดังกล่าวอ้างอิงจากการคาดการณ์เบื้องต้นตามแนวทางของมาตรฐาน ANSI/AISC 360-16 [14] เพื่อให้ครอบคลุมกรณีที่มีแนวโน้มเกิดการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวอย่างชัดเจน สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ขนาดหน้าตัดคานที่พิจารณามีทั้งหมด 5





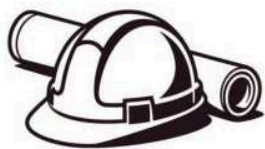
ขนาด ได้แก่ $400 \times 200 \times 66$ kg/m, $350 \times 175 \times 49.6$ kg/m, $300 \times 150 \times 36.7$ kg/m, $250 \times 125 \times 29.6$ kg/m และ $200 \times 100 \times 21.3$ kg/m โดยวัสดุเหล็กทุกกรณีกำหนดให้มีคุณสมบัติพื้นฐานเหมือนกัน คือ โมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ $E = 200$ GPa, อัตราส่วนปัวซอง $\nu = 0.3$ และค่าหน่วยแรงคราก $f_y = 245$ MPa ขณะที่ตัวแปรด้านรูปทรงของคานประกอบด้วยอัตราส่วนช่องเปิด (d_o / d) อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 1.0 และอัตราส่วนความละเอียด (L / d) อยู่ในช่วง 20 ถึง 68.57 เมื่อนำค่าตัวแปรทั้งหมดมาจัดชุดรวมกัน ทำให้มีกรณีศึกษาทั้งหมดทั้งสิ้น 138 กรณี ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับใช้วิเคราะห์แนวโน้มของพฤติกรรมการวิบัติและพัฒนาสมการเชิงประจักษ์สำหรับการออกแบบต่อไป

ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรทั้งสามมีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงและกลไกการวิบัติของคานเซลล์ลาร์อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่คำนวณจากมาตรฐาน ANSI/AISC 360-16 [14] พบว่า มาตรฐานดังกล่าวยังไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมการวิบัติจากแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวบนหน้าตัดได้อย่างแม่นยำในทุกกรณี กล่าวคือ เมื่อพิจารณาในรูปของแรงกระทำวิกฤตหรือ Limit load ที่ทำให้เกิดการวิบัติ ผลจากแบบ



CELLULAR BEAM

จำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากมาตรฐานในหลายกรณี แต่เมื่อพิจารณาในรูปของแรงเฉือนแนวนอนที่แผ่นเอว มาตรฐานกลับมีแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าผลจากแบบจำลอง ซึ่งสะท้อนว่าหลักเกณฑ์เดิมยังไม่สามารถอธิบายการกระจายความเค้นและการต้านทานแรงเฉือนภายในแผ่นเอวได้ครบถ้วน โดยเฉพาะเมื่อรูปทรงของคานเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาผลของ อัตราส่วนความละเอียด พบว่า คานที่มีค่าอัตราส่วนความละเอียดต่ำ หรือเป็นคานที่ค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับความลึกหน้าตัด จะมีความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าจากมาตรฐานมากกว่าคานที่มีความละเอียดสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าในคานช่วงสั้น อิทธิพลของแรงเฉือนต่อแผ่นเอวจะเด่นชัดมากขึ้น และทำให้เกิดการวิบัติจากแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวสูงขึ้นตามไปด้วย ในทางกลับกัน เมื่อค่าอัตราส่วนความละเอียดเพิ่มขึ้น ความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง แม้ว่าคานที่มีความละเอียดสูงมากอาจเริ่มมีความเสี่ยงต่อการโก่งเดาะบิดด้านข้างร่วมด้วยก็ตาม สำหรับผลของ อัตราส่วนช่องเปิด พบว่า เมื่อค่าอัตราส่วนช่องเปิดเพิ่มขึ้น พื้นที่รับแรงเฉือนที่แท้จริงของแผ่นเอวจะลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนแนวนอนลดลงและเกิดการกระจุกตัวของความเค้นรอบช่องเปิดเด่นชัดมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในเชิงเปรียบเทียบกับสมการมาตรฐาน พบว่าเมื่ออัตราส่วนช่องเปิดเพิ่มขึ้น ความแตกต่างระหว่างผลการวิเคราะห์กับค่าจากมาตรฐานมีแนวโน้มลดลง ข้อค้นพบนี้สะท้อนว่าขนาดช่องเปิดมีผลต่อทั้งพฤติกรรมการรับแรงจริงและความแม่นยำของสมการออกแบบเดิมในเวลาเดียวกัน ในด้าน ขนาดหน้าตัดคาน ผลการศึกษาชี้ว่า คานที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงและความสามารถในการต้านแรงเฉือนสูงกว่า เนื่องจากมีแผ่นเอวที่กว้างกว่าและปีกคานที่หนากว่า จึงสามารถหน่วงการเกิดวิบัติจากแรงเฉือนแนวนอนในแผ่นเอวได้ดีกว่าคานหน้าตัดเล็ก อย่างไรก็ตาม หากคานมีช่องเปิดขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับความลึกหน้าตัด ข้อได้เปรียบ

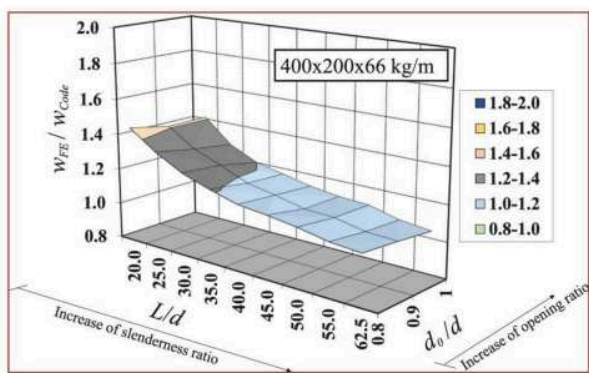


การออกแบบและพฤติกรรมการวิบัติแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเหล็กเซลล์ลูลาร์

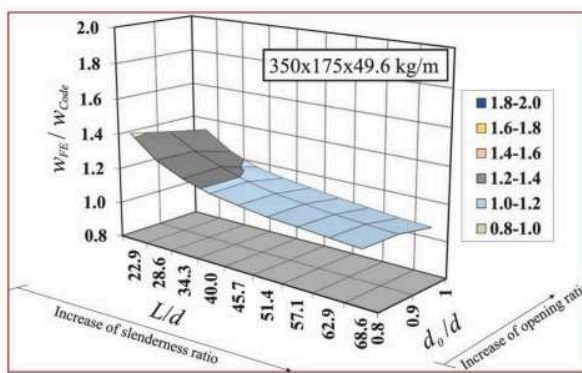
จากการมีหน้าตัดใหญ่จะลดลง เพราะความเค้นจะกระจุกตัวรุนแรงขึ้นบริเวณขอบช่องเปิดและช่วงแผ่นเอว นอกจากนี้ยังพบว่า ความแปรผันของผลและความแตกต่างระหว่างแบบจำลองกับสมการมาตรฐานจะเด่นชัดมากขึ้นในคานหน้าตัดขนาดเล็ก สะท้อนว่าคานขนาดเล็กมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงเรขาคณิตมากกว่า อีกประเด็นสำคัญคือ ทุกกรณีศึกษาที่วิเคราะห์จำนวน 138 กรณีต่างแสดงรูปแบบการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว ซึ่งยืนยันว่าแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวเป็นกลไกการวิบัติเฉพาะ

ที่สำคัญของคานเซลล์ลูลาร์ภายใต้ช่วงตัวแปรที่ศึกษาผลดังกล่าวชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การออกแบบคานเซลล์ลูลาร์ไม่ควรพิจารณาเฉพาะกำลังดัดหรือกำลังเฉือนในภาพรวมเท่านั้น แต่จำเป็นต้องพิจารณาพฤติกรรมการถ่ายแรงและการสะสมความเค้นภายในส่วนแผ่นเอวร่วมด้วย โดยเฉพาะในกรณีคานช่วงสั้น คานหน้าตัดเล็ก และคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่มีแนวโน้มเกิดการวิบัติแบบนี้ได้เด่นชัดที่สุด

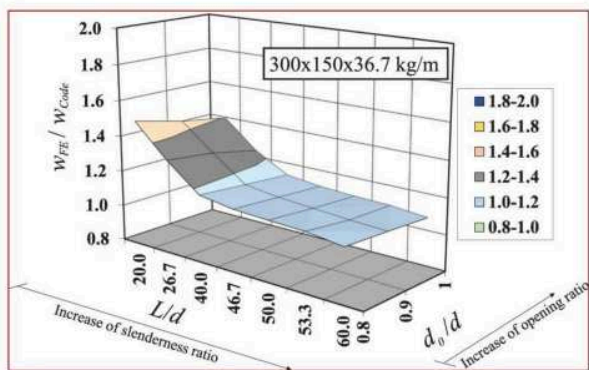
CELLULAR BEAM



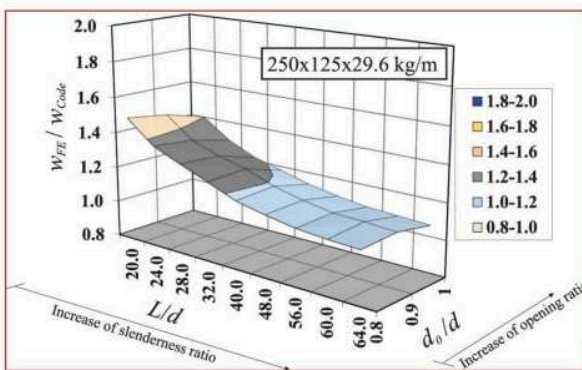
(ก)



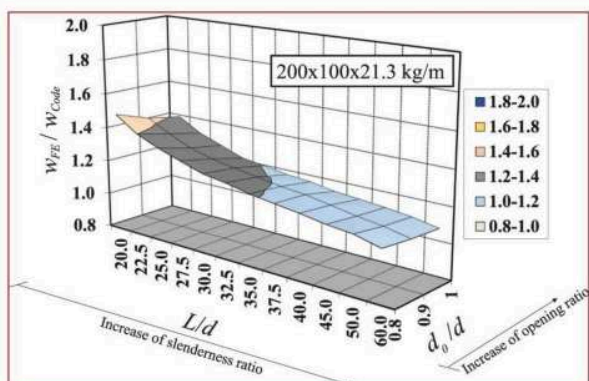
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 5 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สำคัญต่อแรงกระทำวิกฤตที่ขนาดหน้าตัด: (ก) $400 \times 200 \times 66$ kg/m; (ข) $350 \times 175 \times 49.6$ kg/m; (ค) $300 \times 150 \times 36.7$ kg/m; (ง) $250 \times 125 \times 29.6$ kg/m; และ (จ) $200 \times 100 \times 21.3$ kg/m [10]





จากผลการศึกษาเชิงพารามิเตอร์พบว่า สมการเดิมตามมาตรฐาน ANSI/AISC 360-16 [14] ยังไม่สามารถทำนายพฤติกรรมการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบที่แผ่นเอวในคานชลุลาร์ได้อย่างแม่นยำเพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมของขนาดหน้าตัด อัตราส่วนช่องเปิด และอัตราส่วนความขรุขระของคาน ดังนั้น ในงานวิจัยของ Sae-Long และคณะ [10] จึงได้พัฒนาสมการทำนายเชิงประจักษ์ขึ้นใหม่ เพื่อใช้ประมาณทั้ง กำลังรับแรงเฉือนแนวราบที่แผ่นเอวและ ตำแหน่งการวิบัติให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ได้จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์มากยิ่งขึ้น การสร้างสมการดังกล่าวอาศัยข้อมูลจากผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจำนวน 138 กรณีศึกษา ซึ่งครอบคลุมช่วงตัวแปรสำคัญของคานชลุลาร์ ได้แก่ อัตราส่วนช่องเปิดอยู่ใน

ช่วง 0.8 ถึง 1.0 อัตราส่วนความขรุขระอยู่ในช่วง 20 ถึง 68.57 และอัตราส่วน (y_h / d_{cg}) อยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.04 โดยใช้ผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ถดถอยเชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพหุคูณกับพฤติกรรมการวิบัติที่เกิดขึ้นจริงในส่วนแผ่นเอว

ในการพัฒนาสมการสำหรับทำนายกำลังรับแรงเฉือนแนวราบ Sae-Long และคณะ [10] เริ่มจากสมการกำลังเฉือนแนวราบเดิมของมาตรฐาน ANSI/AISC 360-16 [14] แล้วปรับแก้ด้วย ตัวคูณแก้ไข (ϕ) เพื่อให้สามารถสะท้อนอิทธิพลของพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตที่มีผลต่อการกระจายความเค้นในส่วนแผ่นเอวได้ดียิ่งขึ้น สมการที่เสนอมีรูปดังนี้

$$V_{hc} = \phi V_{hn} \quad (6)$$

โดยที่

$$\phi = -8.944 + 5.386(d_o / d) - 0.01254(L / d) + 179.5(y_h / d_{cg}) + 0.000155(L / d)^2 - 1,091(y_h / d_{cg})^2 - 0.1337(L / d)(y_h / d_{cg}) \quad (7)$$

เมื่อ V_{hc} คือ กำลังรับแรงเฉือนแนวราบที่ปรับปรุงแล้ว

ผลการตรวจสอบสมการดังกล่าวกับข้อมูลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า สมการที่เสนอโดย Sae-Long และคณะ [10] สามารถทำนายแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว ได้ในระดับที่ดีมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2=0.9428$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่ถูกเลือกมาใช้ในสมการสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของกำลังรับแรงเฉือนได้อย่างเหมาะสม และสะท้อนว่าพฤติกรรมแรงเฉือนแนวราบที่แผ่นเอวขึ้นกับผลรวมของอัตราส่วนช่องเปิด ความขรุขระของคาน และตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของหน้าตัด้อยอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากการทำนายกำลังรับแรงเฉือนแนวราบแล้ว งานวิจัยของ Sae-Long และคณะ [10] ยังพัฒนาสมการสำหรับทำนาย ตำแหน่งการวิบัติของแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวด้วย เนื่องจากจากผลการวิเคราะห์พบว่า ตำแหน่งวิบัติจริงไม่ได้เกิดตรงแนวกึ่งกลางของแผ่นเอวเสมอไป แต่ขึ้นกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน ความเค้นดัด และลักษณะของหน้าตัดคานชลุลาร์ สมการที่เสนอมีรูปดังนี้

$$y_{cg} = -142.4 + 69.6y_h - 7.41d_{cg} + 19.13s + 160.8(d_o / d) - 146(y_h)(d_o / d) - 6.77(s)(d_o / d) \quad (8)$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสมการกับผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าสมการนี้มีความแม่นยำสูงเช่นกัน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2=0.9565$ แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งการวิบัติของแผ่นเอวสามารถประมาณได้จากตัวแปรเรขาคณิตพื้นฐานของคานอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อค้นพบนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในเชิงออกแบบ เพราะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถคาดการณ์ตำแหน่งวิกฤตของการวิบัติได้ล่วงหน้า และสามารถปรับรายละเอียดของหน้าตัดหรือขนาดช่องเปิดเพื่อลดความเสี่ยงของความเสียหายเฉพาะที่ได้





สมการทั้งสองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ Sae-Long และคณะ [10] สะท้อนให้เห็นว่า พฤติกรรมของการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบที่แผ่นเอว ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์เพียงตัวเดียว แต่เป็นผลรวมของอิทธิพลจากรูปทรงหน้าตัด ขนาดช่องเปิด ความยาวช่วง และตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของส่วนหน้าตัดย่อย การนำสมการเชิงประจักษ์ที่ได้จากข้อมูลการวิเคราะห์จำนวนมากมาใช้ จึงช่วยยกระดับความแม่นยำในการประเมินกำลังรับแรงและตำแหน่งการวิบัติให้ดีกว่าสมการมาตรฐานเดิม โดยเฉพาะในกรณีคานเซลล์ูลาร์ที่มีรูปทรงเรขาคณิตหลากหลายและมีแนวโน้มเกิดการวิบัติจากแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวบนหน้าตัดได้เด่นชัด

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอพฤติกรรมการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเซลล์ูลาร์ โดยอาศัยผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผ่านโปรแกรม ABAQUS [16] เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดหน้าตัด อัตราส่วนช่องเปิดต่อความลึกหน้าตัด และอัตราส่วนความขรุขระของคานต่อการเกิดวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวของคานเซลล์ูลาร์ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการวิบัติแบบแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอวเป็นกลไกการวิบัติเฉพาะที่สำคัญของคานเซลล์ูลาร์ และมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับลักษณะทางเรขาคณิตของหน้าตัดและรูปแบบของช่องเปิด ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่า มาตรฐานการออกแบบ ANSI/AISC 360-16 [14] ยังไม่สามารถทำนายพฤติกรรมการวิบัติรูปแบบนี้ได้เหมาะสมในทุกกรณี โดยเฉพาะในคานที่มีอัตราส่วนความขรุขระต่ำหรือมีอัตราส่วนช่องเปิดต่ำ ซึ่งอาจทำให้การประเมินความปลอดภัยคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ การกระจายความเค้นภายในบริเวณแผ่นเอวของหน้าตัด ยังบ่งชี้ว่าตำแหน่งวิบัติจริงมิได้เกิดตรงบริเวณกึ่งกลางแผ่นเอวเพียงอย่างเดียว แต่ได้รับอิทธิพลจากผลรวมของความเค้นเฉือนและความเค้นดัดภายในหน้าตัดอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เสนอสมการปรับปรุงสำหรับประมาณกำลังรับแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว และสมการสำหรับทำนายตำแหน่งการวิบัติ ซึ่งให้ความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.9428 และ 0.9565 ตามลำดับ ข้อเสนอเหล่านี้จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการออกแบบคานเซลล์ูลาร์ให้มีความปลอดภัยและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งในเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมโครงสร้างเหล็ก

กิตติกรรมประกาศ

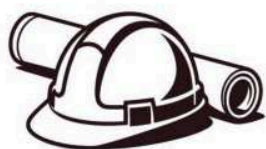
ผู้แต่งขอแสดงความขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปฐมเมศ ผาณิตพจมาน อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับข้อเสนอแนะและคำแนะนำในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง





เอกสารอ้างอิง

- [1] Worathep Sae-Long, Pattamad Panedpojaman, Nattapong Damrongwiriyanupap, Suchart Limkatanyu, Preeda Chaimahawan, Worajak Janwaen, Apichat Buakla. A study of the increase in in-plane flexural capacity of cellular steel sections based on EN1993-1-1 and ANSI/AISC 360-10 codes. RMUTJ Journal 2021;14(3):1-17 (In Thai).
- [2] Erdal F, Doğan E, Saka MP. Optimum design of cellular beams using harmony search and particle swarm optimizers. J Constr Steel Res 2011;67(2):237-247.
- [3] Cashell KA, Malaska M, Khan M, Alanen M, Mela K. Experimental and numerical analysis of stainless steel cellular beams in fire. Fire Saf J 2021;121:103277.
- [4] Liu X-C, Guo L-X, Chen X, Cui W-B. Seismic performance of thin concrete-encased steel cellular beam to column joint. Struct 83;2026:110912.
- [5] Osmani A, Shamass R, Tsavdaridis KD, Ferreira FPV, Khatir A. Deflection predictions of tapered cellular steel beams using analytical models and an artificial neural network. Build 2025;15(6):992.
- [6] Pattamad Panedpojaman, Worathep Sae-Long, Tanan Chub-uppakarn. Cellular beam design for resistance to inelastic lateral-torsional buckling. Thin-Walled Struct 99;2016:182-194.
- [7] Pattamad Panedpojaman, Worathep Sae-Long, Thaksin Thepchatri. Design of cellular beam-columns about the major axis. Eng Struct 236;2021:112060.
- [8] Pattamad Panedpojaman, Worathep Sae-Long, Ruslan Yapa, Passagorn Chaiviriyawong. Design of cellular members under axial-shear-flexure interaction. J Appl Comput Mech 2024;10(4):754-769.
- [9] Dong Y, Jia L, Xu F, Li X. Experimental study on seismic behavior of steel structure with cellular beams and composite concrete slab. Struct 2021;34:507-522.
- [10] Worathep Sae-Long, Sutham Arun, Suchart Limkatanyu, Preeda Chaimahawan, Nattapong Damrongwiriyanupap, Wichaphon Fakkaew, Sangsan Wongchairattana. Behavior and design implications of web-post shear failure in cellular beams. Results Eng 2025;27:106709.
- [11] Worathep Sae-Long, Sutham Arun, Aphisak Witthayapraphakorn, Suchart Limkatanyu, Nattapong Damrongwiriyanupap, Wichaphon Fakkaew, Preeda Chaimahawan, Chanachai Thongchom. Local failure behavior of cellular beams: A parametric finite element study of web-post bending moment. Results Eng 2026;29:109372.
- [12] Kotapati VK and Khatri AP. Failure criteria of cellular steel beams under ambient and elevated temperature. Int J Steel Struct 2022;22:1557-1577.
- [13] Worathep Sae-Long and Pattamad Panedpojaman. Design strength comparison of cellular beam based on EN1933-1-1 and ANSI/AISC 360-10 codes. J Eng Innovation 2015;8(2):14-25.
- [14] ANSI/AISC 360-16. Specification for structural steel buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, 2016.
- [15] Lawson RM and Hicks SJ. Design of composite beams with large openings, SCI P355, SCI Publication, Berkshire UK, 2011.
- [16] ABAQUS Version 2021-EF Documentation. Dassault Systemes Simulia Corp., 2021.



การออกแบบและพฤติกรรมการณ์วิถีแรงเหวี่ยงในแนวราบในแผ่นเอว
ของคานเหล็กเซลล์ลูลาร์

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



รศ. ดร.วรสิน แซ่ล่อง
Worathep Sae-Long (Ph.D.)

อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยพะเยา

สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (เกียรตินิยมอันดับ ๒) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ในปี พ.ศ. ๒๕๕๕ ระดับ
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขาวิชาวิศวกรรม
โครงสร้าง ในปี พ.ศ. ๒๕๕๗ และระดับปรัชญาดุษฎีบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง ในปี พ.ศ. ๒๕๖๒ โดยหัวข้อวิทยานิพนธ์
ในระดับปริญญาโท คือ การสร้างแบบจำลองคานบนฐานรากไร้เชิงเส้นประเภท ๒
ตัวแปร เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาคานที่วาง
อยู่บนฐานราก วิทยานิพนธ์ดังกล่าวได้รับรางวัลวิทยานิพนธ์ดีเด่นจาก
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในประจำปีการศึกษา ๒๕๕๗
สำหรับหัวข้อวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอก คือ แบบจำลองโครงสร้างข้อแข็ง
คอนกรีตเสริมเหล็กที่พิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกน-แรงเฉือน-แรงดัด
ภายใต้แรงแผ่นดินไหว เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นนอกเหนือจากการพิจารณา
อิทธิพลของแรงเฉือนแล้ว ยังสามารถพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง
แรงในแนวแกน-แรงเฉือน-แรงดัด สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาองค์อาคาร
คอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกออกแบบความเหนียวของโครงสร้างไม่เพียงพอที่จะ
ต้านทานแรงแผ่นดินไหว

หลังจากสำเร็จการศึกษา ดร.วรสิน แซ่ล่อง ได้ดำรงตำแหน่งเป็นอาจารย์
ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งแต่
ปี พ.ศ. ๒๕๖๓ จนถึงปัจจุบัน โดยรับผิดชอบการสอนในรายวิชา สถิติศาสตร์
วิศวกรรม คอนกรีตเทคโนโลยี คณิตศาสตร์ประยุกต์ทางวิศวกรรมโยธา
คณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับวิศวกรโยธา การวิเคราะห์โครงสร้าง ๑ และ ๒ งานวิจัย
ของ ดร.วรสิน แซ่ล่อง มุ่งเน้นไปด้านกลศาสตร์วิศวกรรมร่วมกับระเบียบวิธี
ไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้ปัญหาโครงสร้างที่วางบนฐานราก โครงสร้างในระดับ
ไมโคร/นาโน และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงสถิตและแรงแผ่นดินไหว
 เป็นต้น

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ผศ. ดร.สุธรรม อรุณ
Sutham Arun (Ph.D.)

อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยพะเยา

การออกแบบและพฤติกรรมการวิบัติแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว
ของคานาเหล็กเซลล์ลาร์



สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยนเรศวร สาขา วิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในปี พ.ศ.๒๕๔๔ ระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจาก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในปี พ.ศ.๒๕๔๘ และระดับ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิตจาก The University of Manchester สาขา Mechanical Engineering ในปี พ.ศ.๒๕๕๘ โดยหัวข้อวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอกคือ Finite Element Modelling of Fracture & Damage in Austenitic Stainless Steel in Nuclear Power Plant ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยภายใต้โครงการ EU STYLE Project มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับ วิเคราะห์การเติบโตของรอยร้าวของทรงกระบอกผนังหนาภายใต้การทดสอบแบบ ๔-point bending test งานวิจัยนี้มีการพิจารณาอิทธิพลของความเค้นตกค้าง ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการแตกหักแบบเหนียวของเหล็กที่ใช้ทำภาชนะรับความดัน ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในการศึกษา ผู้วิจัยใช้ทั้งแนวคิดกลศาสตร์การแตกหัก ในระดับมหภาค และแบบจำลองความเสียหายของ Rousselier ในระดับจุลภาค เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมดังกล่าว ครอบคลุมตั้งแต่การเริ่มเกิดรอยร้าวไปจนถึง การขยายตัวของรอยร้าว

ปัจจุบัน ดร.สุธรรม อรุณ มีตำแหน่งเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรม เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา โดยรับผิดชอบการสอน ในรายวิชา สมการอนุพันธ์ในงานวิศวกรรมเครื่องกล กลศาสตร์วิศวกรรม ๒ การออกแบบเครื่องจักรกล แมคคาทรอนิกส์ ๒ และการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ การออกแบบทางวิศวกรรมเครื่องกล

งานวิจัยของ ดร.สุธรรม อรุณ มุ่งเน้นไปด้านกลศาสตร์วิศวกรรมร่วมกับ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ภาระขีดจำกัด (limit load) หรือการเสียหาย (failure analysis) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างเหล็กแบบ ต่างๆ





การออกแบบและพฤติกรรมการณ์การวัดแรงเฉือนแนวราบในแผ่นเอว
ของคานเหล็กเซลล์ลูลาร์

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ศ. ดร.สุชาติ ลิมกตัญญู
Suchat Limkatanyu (Ph.D.)

อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
และสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (เกียรตินิยมอันดับ ๒) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ในปี พ.ศ. ๒๕๓๙ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทและเอกจากมหาวิทยาลัย University of Colorado, Boulder, USA ในปี พ.ศ. ๒๕๔๒ และ ๒๕๔๕ ตามลำดับ หัวข้อวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอก คือ แบบจำลองคอนกรีตเสริมเหล็กที่พิจารณาอิทธิพลของแรงยึดเหนี่ยวสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิตและพลศาสตร์ไร้เชิงเส้นของปัญหาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เคยได้รับรางวัล Dean's List in Outstanding Academic Record ในปี พ.ศ. ๒๕๓๖ – ๒๕๓๘ รางวัล Royal Thai Fellowship to study abroad ในปีพ.ศ. ๒๕๔๐ – ๒๕๔๕ รางวัล Listed, Who's Who in Science and Engineering ในปีพ.ศ. ๒๕๔๗ – ๒๕๔๙ และรางวัล Listed, Who's Who in Computational Science and Engineering ในปีพ.ศ. ๒๕๔๘ – ๒๕๔๙

ในปัจจุบัน ดร.สุชาติ ลิมกตัญญู ดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยรับผิดชอบสอนรายวิชา สถิตยศาสตร์วิศวกรรม การวิเคราะห์โครงสร้าง ๑ การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเมทริกซ์ ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ และระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ขั้นสูง

งานวิจัยของ ดร.สุชาติ ลิมกตัญญู ครอบคลุมทั้งปัญหาทางกลศาสตร์วิศวกรรมวิศวกรรมวัสดุ โครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหว โครงสร้างที่วางบนฐานราก โครงสร้างระดับไมโคร/นาโน และการเสริมกำลังโครงสร้าง เป็นต้น



รศ. ดร.สุนิติ สุภาพ^{1,2}, ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด¹,
ผศ. ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย³, ดร.พงษ์ศักดิ์ วิวัฒน์โรจนกุล² และ ปิยะพงษ์ แซ่ลือ²

การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนาม ของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัสสำหรับการวัดการแอ่นตัว ของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

Comparative Field Evaluation of Non-Contact Technologies for Structural Deflection
Measurement in Bridge Load Testing

บทคัดย่อ



การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Testing) เป็นระเบียบวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบสมรรถนะการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่ออกแบบ หรือเพื่อประเมินระดับการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง โดยอาศัยค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างส่วนบนเป็นดัชนีชี้วัดหลัก อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ประเภทสัมผัส (Contact-based Measurement) รูปแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดทางปฏิบัติสูงในกรณีที่พื้นที่ใต้สะพานยากต่อการเข้าถึงและมีระยะเวลาปฏิบัติงานที่จำกัด การศึกษานี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส (Non-contact) จำนวน 3 วิธี ได้แก่ ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์ วิธีแซมปลิงมัวร์ (Sampling Moiré) และการสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ (3D Laser Scanning) โดยทำการทดสอบภาคสนามกับสะพานยกระดับข้ามทางแยกขนาด 6 ช่องจราจรที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น โครงสร้างสะพานยกระดับมีความสูงมากกว่า 20 เมตร และมีเงื่อนไขในการปิดการจราจร เพื่อดำเนินการทดสอบแบบสถิต (Static) ด้วยรถบรรทุกจำนวน 18 คัน ทำการทดสอบจำนวน 2 ตำแหน่ง ภายในระยะเวลาจำกัดเพียง 5 ชั่วโมง เนื่องจากเซนเซอร์

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
²ศูนย์เพื่อความเป็นเลิศทางวิจัยด้านเทคโนโลยี
ระบบรางและนวัตกรรมวัสดุวิศวกรรมโยธาเพื่อโครงสร้าง
พื้นฐานที่ยั่งยืน (RAIL-MATE-INNO) สถาบันยุทธศาสตร์
ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
³ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เลเซอร์มีความละเอียดในการวัดสูงในระดับต่ำกว่ามิลลิเมตร มีความถี่ในการเก็บข้อมูลสูง และสามารถแสดงผลการวัดได้โดยตรงโดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการประมวลผลย้อนหลัง บทความนี้จึงเลือกใช้ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์เป็นตัวเลือกในการประเมินอีกสองวิธี ผลการศึกษาพบว่า วิธีแซมปลิงมัวร์ให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกับระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์เป็นอย่างมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนโดยรวมประมาณ ± 1 มิลลิเมตร แม้ว่าจะมีขั้นตอนที่ต้องติดตั้งเป้าแบบสัมผัสและต้องประมวลผลสัญญาณในภายหลังก็ตาม ในขณะที่ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีจุดเด่นด้านการติดตั้งที่รวดเร็วที่สุดและสามารถวัดการเคลื่อนตัวได้ครบทั้งสามแกนพิกัด แต่พบความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า (สูงสุด 2.3 มิลลิเมตร) และไม่สามารถทำการวัดแบบต่อเนื่องได้ จากการศึกษาสรุปได้ว่า เทคโนโลยีตรวจวัดแบบไม่สัมผัสสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงแม้ในสภาพหน้างานที่มีข้อจำกัดสูง โดยวิธีแซมปลิงมัวร์แสดงให้เห็นถึงความสมดุลที่เหมาะสมที่สุดระหว่างความแม่นยำในการวัดและความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่ตรวจสอบ





การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน



บทนำ

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน (Bridge Load Testing) เป็นขั้นตอนพื้นฐานในการตรวจสอบสมรรถนะของโครงสร้าง และยืนยันความปลอดภัยในการรองรับน้ำหนักบรรทุกให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการออกแบบในบรรดาพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดระหว่างการทดสอบ ค่าการแอ่นตัวในแนวตั้ง (Vertical Deflection) ของโครงสร้างส่วนบนจัดเป็นดัชนีชี้วัดที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสากล อาทิ เกณฑ์ของ AASHTO (AASHTO, 2020) หรือข้อกำหนดการออกแบบดั้งเดิมได้โดยตรง ในอดีตการตรวจวัดการแอ่นตัว

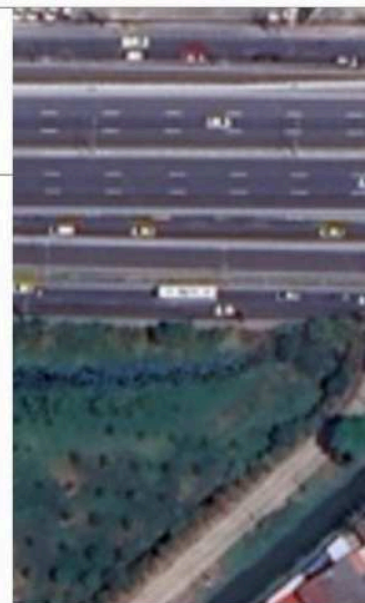
นิยมใช้อุปกรณ์ประเภทสัมผัส (Contact-based Devices) เช่น มาตรวัดการเคลื่อนตัวเชิงเส้นเชิงอนุพันธ์ (LVDT) และไดอัลเกจ (Dial Gauge) ซึ่งมีข้อจำกัดทางปฏิบัติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกรณีที่โครงสร้างได้สะพานยากต่อการเข้าถึง จำเป็นต้องลดผลกระทบต่อการจราจรให้น้อยที่สุดหรือมีระยะเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ที่จำกัด

ด้วยความต้องการระเบียบวิธีตรวจวัดหน้างานที่มีความสะดวกรวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือสูง เทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส (Non-contact Technologies) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในงานประเมินพฤติกรรมโครงสร้างสะพาน เทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมี 3 วิธีหลัก ได้แก่ ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์ วิธีแซมปลิงมัวร์ (Sampling Moiré) และการสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ (3D Laser Scanning) ซึ่งแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นและความเหมาะสมต่อสภาพหน้างานที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามยังปรากฏงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของทั้งสามวิธีดังกล่าวโดยตรงภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริงในสนาม

การศึกษานี้จึงได้นำเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัสทั้งสามระบบมาทำการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากการทดสอบภาคสนามจริง ระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานยกระดับในเขตเมืองซึ่งเป็นโครงสร้างสะพานและทางยกระดับบนโครงข่ายทางหลวงหมายเลข 1 และทางหลวงหมายเลข 31 ของกรมทางหลวง (ทางยกระดับอุดรภูมิ) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวมีเงื่อนไขที่ท้าทายในเชิงวิศวกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากตัวสะพานมีความสูงมากกว่า 20 เมตร ถนนขนาด 6 ช่องจราจรที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น และมีข้อจำกัดด้านเวลาในการปิดการจราจรเพื่อปฏิบัติการทดสอบทั้งแบบสถิต



BRIDGE LOAD TESTING





(Static) ซึ่งอนุญาตให้ดำเนินงานได้เพียง 5 ชั่วโมง การทดสอบในครั้งนี้ ได้ดำเนินการติดตั้งและใช้งานระบบตรวจวัดทั้งสามวิธีควบคู่กันในช่วงเวลาดังกล่าว โดยกำหนดให้ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์เป็นค่าอ้างอิง (Reference Value) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงและได้รับการยอมรับในระดับสากล วัตถุประสงค์หลักของบทความนี้คือการประเมินประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงของแต่ละเทคโนโลยีภายใต้สภาพหน้างานที่มีข้อจำกัดสูง

หลักการพื้นฐาน

เทคโนโลยีแบบไม่สัมผัสที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดการแอ่นตัวของสะพานมี 3 วิธีหลัก คือ ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์ วิธีแซมปลิงมัวร์ และการสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ โดยแต่ละเทคนิคมีหลักการทำงานและข้อได้เปรียบที่แตกต่างกัน

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวด้วยเลเซอร์ (Laser-based Displacement Measurement) จะทำงานบนหลักการคำนวณเชิงสามเหลี่ยม (Triangulation) หรือการวัดระยะเวลาการเดินทางของสัญญาณแสง (Time-of-flight) สำหรับระบบที่ใช้หลักการคำนวณเชิงสามเหลี่ยมจะทำการยิงลำแสงเลเซอร์ไปยังพื้นผิวเป้าหมาย จากนั้นตัวรับสัญญาณที่ไวต่อตำแหน่ง (Position-sensitive Detector) จะทำการตรวจจับแสงที่สะท้อนกลับ โดยระยะการเคลื่อนที่ของจุดแสงบนตัวรับสัญญาณจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทางระหว่างเซนเซอร์และวัตถุ ส่วนระบบ Time-of-flight จะอาศัยระยะเวลาเดินทางไป-กลับของพัลส์เลเซอร์ (Laser Pulse) ในการคำนวณระยะทาง

ด้วยความแม่นยำสูง เทคโนโลยีเลเซอร์ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทดสอบน้ำหนักบรรทุกและการตรวจวัดติดตามสุขภาพโครงสร้าง (Structural Health Monitoring: SHM) เนื่องจากมีความถี่ในการเก็บข้อมูลสูงและความละเอียดในการวัดในระดับต่ำกว่ามิลลิเมตร โดย Olaszek (1999) จัดเป็นหนึ่งในผู้บุกเบิกที่แสดงให้เห็นว่าระบบเลเซอร์สามารถนำมาใช้ตรวจวัดการแอ่นตัวเชิงพลวัตของสะพาน และให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับมาตรวัดประเภทสัมผัสขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านโครงสร้าง

การตรวจวัดด้วยวิธีแซมปลิงมัวร์ (Sampling Moiré Method) เป็นเทคนิคการวัดทางแสงแบบเต็มสนาม (Full-field Optical Technique) ที่ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวจากเฟสเชิงพื้นที่ (Spatial Phase) ของสลายเลตติง (Grating Target) ที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิวของชิ้นส่วนโครงสร้าง กระบวนการเริ่มจากการติดตั้งเป้าเลตติงที่ทราบค่าระยะพิทช์ (Pitch) ที่แน่นอนไว้บนโครงสร้าง จากนั้นใช้กล้องดิจิทัลความละเอียดสูงบันทึกภาพสลายเลตติงดังกล่าวเป็นระยะ และใช้อัลกอริทึมการเลื่อนเฟส (Phase-shifting Algorithm) ร่วมกับการลดทอนสัญญาณเลตติงเชิงคำนวณ (Computational Down-sampling) เพื่อหาค่าการกระจายตัวของเฟสออกมาจากภาพถ่ายทั้งหมด (Wang and Ri, 2022) ค่าการเคลื่อนตัวสุทธิจะคำนวณได้จากผลต่างของเฟสระหว่างสภาวะก่อนและหลังการรับน้ำหนักบรรทุก เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้งานทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนามจริง โดย Ri et al. (2012) ได้นำเสนอระเบียบวิธีการดังกล่าวและพิสูจน์ว่าสามารถวัดความเครียดแบบเต็มสนามได้ด้วยความไวสูง (High Sensitivity) ผ่านชุดอุปกรณ์ทางแสงที่ไม่ซับซ้อน

การตรวจวัดด้วยการสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ (Three-Dimensional Laser Scanning) จะอาศัยหลักการวัดระยะด้วยแสง (LiDAR) โดยทำการยิงพัลส์เลเซอร์ควบคู่กับการวัดระยะเวลาเดินทางหรือผลต่างเฟสของสัญญาณสะท้อนกลับตลอดช่วง





มุมมองที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้คือกลุ่มจุด (Point Cloud) ที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งระบุพิกัดตำแหน่งสามมิติบนพื้นผิวของวัตถุที่ทำการสแกน การประเมินการเสียรูปของโครงสร้างสะพานสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบข้อมูลกลุ่มจุดก่อนและหลังการรับน้ำหนักบรรทุก ร่วมกับการใช้อัลกอริทึมการจับคู่พิกัด เช่น Iterative Closest Point (ICP) หรือการใช้อ้างอิงจากเป้าควบคุมพิกัด (Target-based Registration) (Luo et al., 2020)

การทดสอบในภาคสนาม

ข้อมูลทั่วไป

สะพานทางยกระดับอุตราภิมุขที่ใช้ในการทดสอบเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ประกอบด้วยคานรูปตัวไอ (I-Girder) และพื้นคอนกรีตเป็นโครงสร้างส่วนบน ซึ่งทำหน้าที่ถ่าน้ำหนักลงสู่เสาตอม่อรูปตัววาย (Y-shaped Pier) ตามรูปที่ 1 ส่วนบนของโครงสร้างอยู่สูงจากระดับพื้นดินมากกว่า 20 เมตร โดยมีช่องจราจรทิศทางละ 3 ช่องจราจร ทั้งขาเข้าและขาออก รวม 6 ช่องจราจร เช่นเดียวกับถนนระดับพื้นด้านล่างที่รองรับการจราจรเต็มความกว้างเขตทางทิศทางละ 3 ช่องจราจร รวม 6 ช่องจราจรเช่นกัน เนื่องจากโครงสร้างตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์กลางเมืองซึ่งมีปริมาณการจราจรหนาแน่นและเป็นเส้นทางหลักเชื่อมต่อสู่ท่าอากาศยาน การปฏิบัติงานในพื้นที่จึงมีข้อจำกัดด้านเวลาเป็นอย่างมาก

การศึกษานี้ได้เลือกทดสอบสะพานทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ซึ่งตั้งอยู่ห่างกันประมาณ 2 กิโลเมตร และมีเงื่อนไขสำคัญคือมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลทั้งสองตำแหน่งให้เสร็จสิ้นภายในวันเดียว และทางโครงการได้รับอนุญาตให้ปิดการจราจรเพื่อทำงานภาคสนามเป็นระยะเวลาจำกัดเพียง 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 22:30 น. ถึงเวลา 03:30 น. ซึ่งต้องดำเนินการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test) ให้แล้วเสร็จภายในกรอบเวลาดังกล่าว โดยใช้ขบวนรถบรรทุกจำนวน 18 คันเป็นน้ำหนักบรรทุกทดสอบ (Test Load) ดังแสดงในรูปที่ 1

เงื่อนไขการทดสอบ

จากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และเวลาข้างต้น การดำเนินงานดังกล่าวจึงเลือกใช้เทคโนโลยีตรวจวัดแบบไม่สัมผัสในการประเมินค่าการแอ่นตัวระหว่าง การทดสอบ เพื่อลดระยะเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์และหลีกเลี่ยงการตั้งนั่งร้าน โดยได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจำนวน 3 วิธี ได้แก่ ระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์ วิธีแซมปลิงมัลเร และการสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ ซึ่งมีรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละอุปกรณ์และตำแหน่งการตรวจวัดดังตารางที่ 1

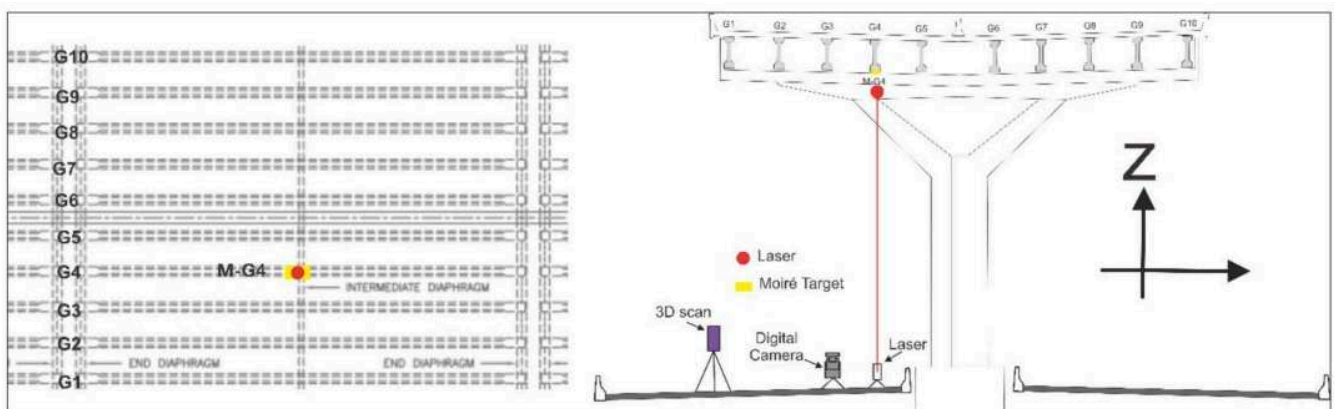


รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปของสะพานยกระดับที่ใช้ในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก



ตารางที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะและหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดแบบไม่สัมผัสทั้งสามวิธี

หัวข้อ	การวัดด้วยเลเซอร์	วิธีแบบปลิงมัวร์	การสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ
รุ่น/อุปกรณ์	เซนเซอร์เลเซอร์ optoNCDT ILR2250	กล้องดิจิทัล Sony FX3 + เลนส์นามอร์ฟิก Sirui T2.9 1.6x + ซอฟต์แวร์ Kyowa DSMC	เครื่องสแกนเลเซอร์ FARO Focus X330
หลักการทำงาน	วัดระยะด้วยลำแสงเลเซอร์โดยตรง รายงานผลได้ทันทีโดยไม่ต้องแปลงสัญญาณ	บันทึกภาพเป้าเกรตติงด้วยกล้อง แล้วประมวลผลย้อนหลังเพื่อหาค่าการเสียรูป (วัดแบบไม่สัมผัสในระยะไกล)	ยิงเลเซอร์แบบอิงเฟส (Phase-shift) วัดจากช่วงความยาวคลื่นและผลต่างเฟสของสัญญาณสะท้อน ได้กลุ่มจุด (Point Cloud)
ความละเอียด/ความเร็ว	ความละเอียด < 0.05 มิลลิเมตร (โหมด High Precision) ความถี่บันทึก 10 เฮิร์ตซ์	บันทึกวิดีโอ 4K (10-bit, 30 fps); ความละเอียดผูกกับขนาดเป้าเกรตติง	บันทึกได้สูงสุด 976,000 จุด/วินาที ได้กลุ่มจุดความหนาแน่นสูง
ระยะตรวจวัด	ไกลสุด 80 ม. โดยไม่ต้องใช้เป้าสะท้อนแสง	ขึ้นกับระยะที่กล้องเก็บภาพเป้าได้ชัดในเฟรม	0.6–300 ม.
เป้า/อุปกรณ์เสริม	ไม่ต้องติดเป้า	ต้องติดเป้าเกรตติงบนกระดาด A3 ระยะพิทช์ 40 × 40 มิลลิเมตร ที่ผิวล่างคาน I-Girder ต้องใช้รถกระเช้าขึ้นไปติด	ไม่ต้องติดเป้าบนคาน (ใช้เป้าทรงกลมยึดพิทช์ในการประมวลผล)
แกนที่วัด	แนวตั้ง (แกน Z)	แนวตั้ง (แกน Z) สำหรับการศึกษา (มีศักยภาพวัดสามมิติได้)	แนวตั้ง (แกน Z) สำหรับการศึกษา (เก็บได้ครบ X, Y, Z)
จุดที่ตรวจวัด	กึ่งกลางช่วงสะพาน 2 จุด (รูปที่ 2)	ตามตำแหน่งที่ติดเป้าได้คาน (รูปที่ 2) วัดหลายจุดพร้อมกันได้ถ้าอยู่ในเฟรมกล้อง	2 ตำแหน่ง ตรงกับจุดของเลเซอร์และเป้ามัวร์
การประมวลผล	แสดงผลทันที (real-time) ไม่ต้องประมวลผลย้อนหลัง	ต้องประมวลผลย้อนหลังด้วยซอฟต์แวร์ Kyowa DSMC	ต้องประมวลผลกลุ่มจุดย้อนหลัง
บทบาทในการศึกษา	ระบบอ้างอิง (reference) สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของอีกสองวิธี	วิธีที่นำมาเปรียบเทียบ	วิธีที่นำมาเปรียบเทียบ



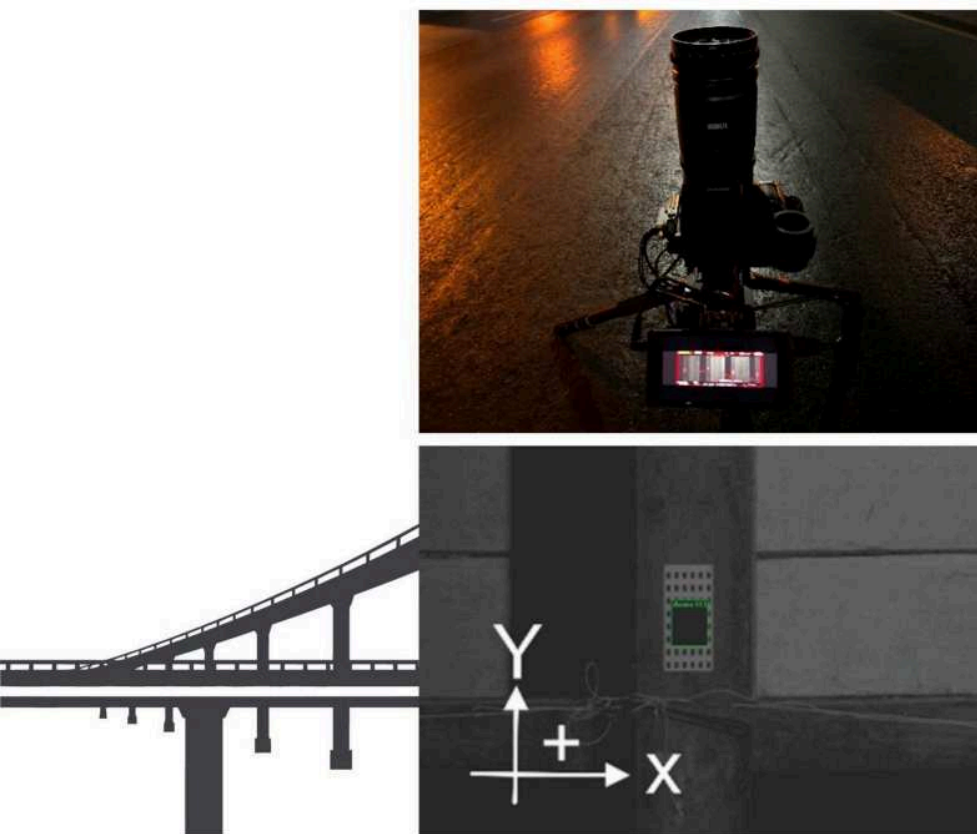
รูปที่ 2 การจัดวางเซนเซอร์แบบไม่สัมผัสสำหรับการวัดการแอ่นตัวของสะพาน: ระบบเลเซอร์และระบบแบบปลิงมัวร์ (เป้า)



การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน



รูปที่ 3 เซนเซอร์วัดการเคลื่อนตัวด้วยเลเซอร์ กล้องดิจิทัล (เป้าม้วเร) และเครื่องสแกนสามมิติ



รูปที่ 4 กล้องดิจิทัลและเป้าม้วเร

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวกับเวลา (time-history deflection) ของสะพานทั้งสองตำแหน่งที่ทำการทดสอบ โดยแต่ละตำแหน่งเปรียบเทียบผลที่วัดด้วยอุปกรณ์แบบไม่สัมผัส 2 ระบบ คือ เซนเซอร์เลเซอร์และวิธีแฮมปลิงม้วเร ณ จุดวัด M-G4 โดยรูปที่ 5 (ก) และ 5 (ข) แสดงผลการทดสอบของสะพานตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ตามลำดับ กระบวนการทดสอบแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน (Step 0 ถึง Step 8) ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นลำดับขั้น (Incremental Loading) จนถึงระดับสูงสุดที่ Step 7 จากนั้นจึงนำรถบรรทุกออกจากสะพานทั้งหมดในขั้นตอนน้ำหนัก (Step 8)

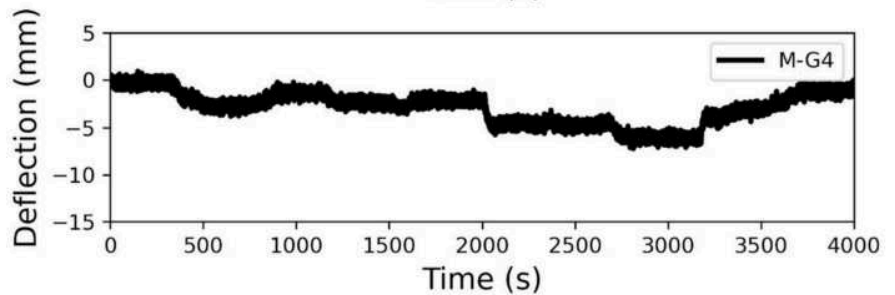
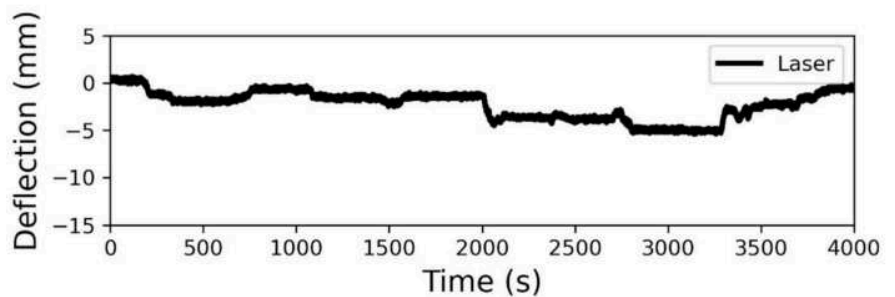
เส้นกราฟของทั้งสองสะพานให้ลักษณะการตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับขั้นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดประมาณ -5 ถึง -6 มิลลิเมตร ณ Step 7 แล้วลดกลับเข้าใกล้แนวเส้นฐานเริ่มต้นเมื่อนำรถออกจากสะพานใน Step 8 พฤติกรรมการคืนตัวในลักษณะนี้ยืนยันว่าโครงสร้างยังตอบสนองอยู่ในช่วงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) และฟื้นกลับสู่สภาพเดิมได้ดีหลังถอนน้ำหนักบรรทุก

เมื่อเทียบผลของทั้งสองระบบ พบว่าค่าที่ได้จากวิธีแฮมปลิงม้วเรมีความสอดคล้องและสม่ำเสมอไปกับผลการวัดของระบบเลเซอร์ตลอดทุกช่วงเวลา โดยมีค่าสูงกว่าเลเซอร์อยู่เล็กน้อยในช่วงรับน้ำหนักมาก และเส้นกราฟของแฮมปลิงม้วเรปรากฏการกระจายของสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เด่นชัดกว่าระบบเลเซอร์อย่างสังเกตได้ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของผลการวัด

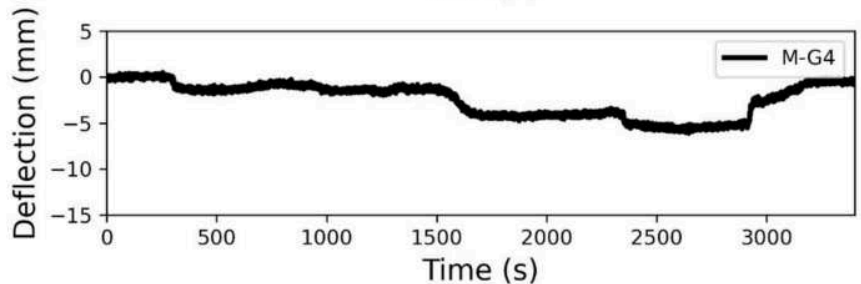
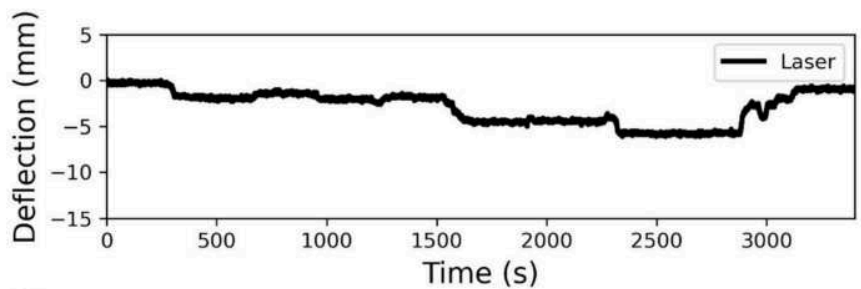


ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับเพียงเล็กน้อย และรูปแบบการตอบสนองโดยรวมยังคงไปในทิศทางเดียวกันทั้งสองตำแหน่ง จึงสะท้อนว่าอุปกรณ์แบบไม่สัมผัสทั้งสองระบบสามารถติดตามพฤติกรรมการแอ่นตัวของสะพานในสภาพหน้างานจริงได้อย่างน่าเชื่อถือ

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างข้อมูลและวิธีคำนวณค่าการแอ่นตัวของคานด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ ภาพด้านซ้ายคือกลุ่มจุด (Point Cloud) ที่ได้จากการสแกนภาพตัดขวางของคาน ซึ่งให้ทั้งรูปทรงเรขาคณิตและพิกัดสามมิติของคาน รวมถึงตำแหน่งจุดรองรับทั้งสองด้านที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณ ส่วนภาพด้านขวอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวสุทธิ (Net Deflection) โดยกำหนดจุดอ้างอิงไว้ที่จุดรองรับสองด้าน เรียกว่าจุด A และจุด B แล้วสร้างเส้นแนวอ้างอิงเชื่อมจุดทั้งสอง (เส้นสีเขียว) ค่าการแอ่นตัวสุทธิวัดที่กึ่งกลางช่วง ($L/2$) จากระยะในแนวตั้งระหว่างเส้นอ้างอิงกับพิกัดจริงของคานที่เสียรูป โดยเส้นสีน้ำเงินแทนรูปทรงคานก่อนรับน้ำหนัก และเส้นสีแดงแทนรูปทรงขณะรับน้ำหนักซึ่งแอ่นตัวลงชัดเจนกว่า การคำนวณด้วยวิธีนี้ช่วยขจัดผลกระทบของการทรุดตัวที่จุดรองรับออกไป ทำให้ค่าการแอ่นตัวสุทธิที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

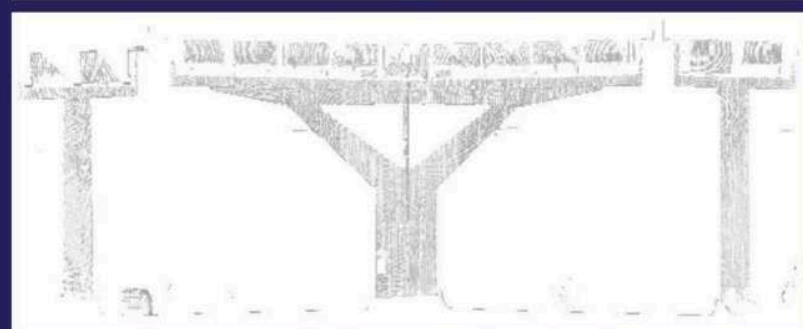
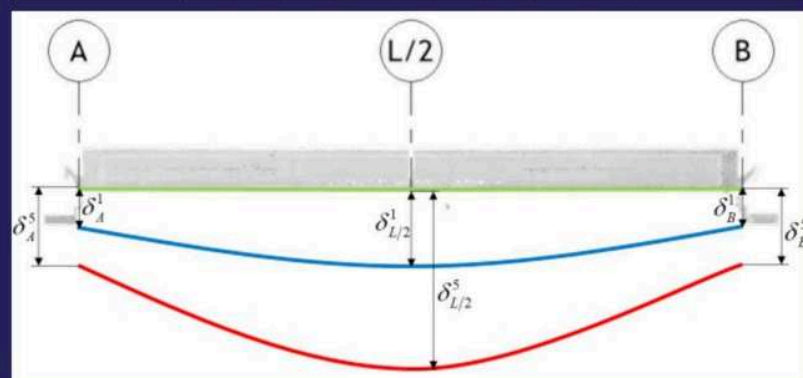


(1) ผลของการทดสอบสะพานตำแหน่งที่ 1



(2) ผลของการทดสอบสะพานตำแหน่งที่ 2

รูปที่ 5 การแอ่นตัวกับเวลาของเซนเซอร์เลเซอร์และเซนเซอร์แบบฝัง (M-G4) ทดสอบสะพานทั้ง 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 6 ตัวอย่างผลกลุ่มจุดจากการสแกนสามมิติของสะพานระหว่างการทดสอบแบบสถิต (Step 0)

ตารางที่ 2 แสดงค่าการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วง (จุดวัด G4) ของสะพานทั้งสองตำแหน่งในแต่ละขั้นตอนการให้น้ำหนัก (Step 0 ถึง Step 8 ซึ่งเป็นขั้นตอนการถอนน้ำหนักบรรทุก) โดยตรวจวัดด้วยเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส 3 ชนิด ได้แก่ ระบบเลเซอร์ วิธีแชมปลิงมัวร์ (M-G4) และระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ (3D-G4) ทั้งนี้ใช้ระบบเลเซอร์เป็นค่าอ้างอิง และตัวเลขในวงเล็บคือผลต่างของผลการวัดจากแต่ละวิธีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงเลเซอร์ (ค่าที่วัดได้ - เลเซอร์) ในหน่วยมิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการแอ่นตัว จะเห็นว่าทั้งสองสะพานตอบสนองในทิศทางเดียวกันคือค่าการแอ่นตัวค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่ Step 7 แล้วลดลงอย่างชัดเจนเมื่อถอนน้ำหนักบรรทุก Step 8 ซึ่งบ่งชี้ว่าโครงสร้างมีพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นและคืนตัวได้ดี โดยค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่วัดด้วยเลเซอร์ของสะพานตำแหน่งที่ 1 และ 2 เท่ากับ -5.90 มิลลิเมตร และ -5.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่วิธีแชมปลิงมัวร์ตรวจวัดค่าได้ -6.12 มิลลิเมตร และ -5.52 มิลลิเมตร และระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติตรวจวัดค่าได้ -5.50 มิลลิเมตร และ -4.10 มิลลิเมตร ที่ขั้นตอนเดียวกัน

ในภาพรวม วิธีแชมปลิงมัวร์ให้ค่าใกล้เคียงกับเลเซอร์มากที่สุด โดยที่สะพานตำแหน่งที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -0.67 ถึง 0.41 มิลลิเมตร และที่สะพานตำแหน่งที่ 2 อยู่ในช่วง -0.32 ถึง 0.95 มิลลิเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของทั้งสองสะพานเกิดที่ Step 1 ซึ่งเป็นช่วงที่ระดับน้ำหนักรับน้ำหนักยังต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 0.67 มิลลิเมตร และ 0.95 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนในช่วงที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกสูง (Step 5 ถึง Step 7) ผลของแชมปลิงมัวร์มีความสอดคล้องกับระบบอ้างอิงเลเซอร์เป็นอย่างมาก โดยพบความคลาดเคลื่อนไม่เกินประมาณ 0.32 มิลลิเมตร ซึ่งสะท้อนให้



เห็นว่าวิธีนี้ติดตามพฤติกรรมการณ์แอ่นตัวได้อย่างสอดคล้องกับระบบเลเซอร์ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

ในทางกลับกัน ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าและผันผวนมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยที่สะพานตำแหน่งที่ 1 ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -1.10 ถึง 1.70 มิลลิเมตร และที่สะพานตำแหน่งที่ 2 อยู่ในช่วง 0.40 ถึง 2.30 มิลลิเมตร อีกทั้งในช่วงที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกทุกสูง ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติยังมีแนวโน้มตรวจวัดค่าการแอ่นตัวได้น้อยกว่าระบบเลเซอร์อย่างต่อเนื่อง (เช่น ที่ Step 5 ของสะพานตำแหน่งที่ 1 เลเซอร์อ่านได้ -4.60 มิลลิเมตร แต่ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติตรวจวัดค่าได้เพียง -2.9 มิลลิเมตร) ซึ่งสะท้อนข้อจำกัดด้านความถูกต้องของวิธีนี้เมื่อใช้งานจริงในภาคสนาม

จากผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า เมื่อใช้ระบบเลเซอร์เป็นค่าอ้างอิง วิธีแชมปลิงมีวามีความแม่นยำสูงกว่าระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ เนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าและมีความสม่ำเสมอมากกว่าในทุกขั้นตอนการทดสอบของสะพานทั้งสองตำแหน่ง ขณะที่ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าและผันผวนมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดทางทฤษฎีของระบบสแกนด้วยเลเซอร์ที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างแบบต่อเนื่องได้ และมีความละเอียดเชิงมิติที่ต่ำกว่าอีกสองเทคโนโลยีข้างต้น

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวและความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์แชมปลิงมีวและ การสแกนสามมิติ เทียบกับค่าอ้างอิงจากเลเซอร์ในแต่ละขั้นตอนการให้น้ำหนัก (หน่วย: มิลลิเมตร)

Step	สะพานตำแหน่งที่ 1			สะพานตำแหน่งที่ 2		
	Laser	M-G4	3D-G4	Laser	M-G4	3D-G4
0	0.00	0.00 (0.00)	0.0 (0.00)	0.00	0.00 (0.00)	0.0 (0.00)
1	-2.00	-2.67 (-0.67)	-3.1 (-1.10)	-2.20	-1.25 (0.95)	-0.1 (2.10)
2	-1.40	-0.99 (0.41)	-1.1 (0.30)	-0.80	-0.71 (0.09)	0.0 (0.80)
3	-2.10	-2.17 (-0.07)	-1.2 (0.90)	-1.70	-1.18 (0.52)	-0.1 (1.60)
4	-1.80	-1.81 (-0.01)	-2.4 (-0.60)	-1.70	-1.23 (0.47)	0.6 (2.30)
5	-4.60	-4.55 (0.05)	-2.9 (1.70)	-3.90	-3.86 (0.04)	-3.5 (0.40)
6	-4.70	-4.51 (0.19)	-3.9 (0.80)	-3.90	-3.87 (0.03)	-3.3 (0.60)
7	-5.90	-6.12 (-0.22)	-5.5 (0.40)	-5.20	-5.52 (-0.32)	-4.1 (1.10)
8 (Unload)	-1.10	-1.03 (0.07)	0.4 (1.50)	-0.70	-0.19 (0.51)	0.7 (1.40)

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือความคลาดเคลื่อนหน่วยมิลลิเมตรเทียบกับค่าอ้างอิงจากระบบเลเซอร์ (ค่าที่วัดได้ - Laser) โดยเครื่องหมายลบหมายถึงวัดได้ค่าการแอ่นตัวมากกว่าระบบเลเซอร์ และเครื่องหมายบวกหมายถึงวัดได้น้อยกว่าระบบเลเซอร์

ข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัด ของเทคโนโลยีตรวจวัดแบบไม่สัมผัส จากสถานะงานจริง

จากการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีทั้งสามระบบควบคู่กันในการทดสอบภาคสนามครั้งนี้ พบว่าแต่ละเทคโนโลยีมีคุณลักษณะเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งแปรผันตามลักษณะของลักษณะงานและเงื่อนไขหน้างาน โดยระบบตรวจวัดด้วยเลเซอร์สามารถรายงานผลข้อมูลได้ทันทีในรูปแบบเวลาจริง (Real-time) และสามารถนำข้อมูลไปใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการประมวลผลเพิ่มเติม จึงมีความเหมาะสมสูงสุดสำหรับใช้เป็นระบบอ้างอิง แต่มีข้อจำกัดที่สามารถตรวจวัดได้เพียงตำแหน่งเดียวและจำกัดเฉพาะในแกนแนวดิ่ง

สำหรับวิธีแชมปลิงมีวามีข้อได้เปรียบหลักในการตรวจวัดค่าการกระจัดได้หลายตำแหน่งพร้อมกัน และให้ผลการวัดที่มีความใกล้เคียงกับระบบอ้างอิงเลเซอร์มากที่สุด แต่จำเป็นต้องมีการติดตั้งเป้าหมายบนโครงสร้างล่วงหน้าและต้องผ่านกระบวนการประมวลผลข้อมูลย้อนหลัง (Post-processing) ในขณะที่ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีจุดเด่นด้านความรวดเร็วในขั้นตอนการติดตั้งและสามารถครอบคลุมพื้นที่การตรวจวัดได้ครบทั้งสามแกนพิกัด อย่างไรก็ตาม เทคนิคดังกล่าวมีความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดต่ำที่สุดในการศึกษานี้ และมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างแบบต่อเนื่องได้ ทั้งนี้ รายละเอียดการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของเทคโนโลยีทั้งสามวิธีได้สรุปไว้ในตารางที่ 3



การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดของวิธีตรวจวัดแบบไม่สัมผัสทั้งสามวิธี

วิธีตรวจวัด	ข้อดี	ข้อเสียและข้อจำกัด
การวัดด้วยเลเซอร์ (optoNCDT ILR2250)	• แสดงผลข้อมูลแบบเวลาจริง (Real-time) ทำให้สามารถติดตามพฤติกรรมโครงสร้างระหว่างการให้น้ำหนักบรรทุกได้ • บันทึกข้อมูลได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณเพิ่มเติม • ความละเอียดเชิงมิติตามคุณลักษณะเฉพาะสูงกว่า 0.05 มิลลิเมตร และมีความถี่ในการบันทึกข้อมูลสูงถึง 10 เฮิร์ตซ์ (Hz) • ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์หรือเป้าหมายใด ๆ บนโครงสร้างสะพาน	• จำกัดการตรวจวัดเฉพาะจุด (Single-point Measurement) หากต้องการเพิ่มตำแหน่งตรวจวัด จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ตามสัดส่วน • รองรับการตรวจวัดเฉพาะพฤติกรรมการเคลื่อนตัวในแกนแนวตั้ง (แกน Z) เท่านั้น • ทำงานได้ดีขึ้นเมื่อมีไฟส่องเสริมในสภาพแสงที่เปลี่ยนไปมา
วิธีแคมปิ้งมัวร์ (กล้อง Sony FX3 + ซอฟต์แวร์ Kyowa DSMC)	• สามารถตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างแบบหลายตำแหน่งพร้อมกัน (Multi-point Measurement) ภายในขอบเขตการรับภาพของเลนส์กล้อง • มีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อรองรับการตรวจวัดพฤติกรรมเคลื่อนตัวเชิงสามมิติ • ผลการตรวจวัดมีความถูกต้องแม่นยำสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอ้างอิงเลเซอร์	• จำเป็นต้องประมวลผลข้อมูลย้อนหลัง (Post-processing) จึงไม่สามารถแสดงผลแบบเวลาจริงในระหว่างทดสอบได้ • เส้นกราฟแสดงผลปรากฏสัญญาณรบกวน (Noise) สูงกว่าระบบเลเซอร์อย่างมีนัยสำคัญ • จำเป็นต้องติดตั้งเป้าหมาย (Grating Target) บนผิวโครงสร้างล่วงหน้า ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์สนับสนุนในพื้นที่สูง (รถกระเช้า) • ความละเอียดเชิงมิติแปรผันตามขนาดของเป้าหมายและระยะทางระหว่างกล้องกับโครงสร้าง • มีความไวสูงต่อสภาวะแสงและการเปลี่ยนแปลงของแสงที่ตกกระทบเป้าหมายและหน้าเลนส์
การสแกนสามมิติ (FARO Focus X330)	• ขั้นตอนการจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์มีความสะดวกและใช้เวลาน้อยที่สุด • สามารถจัดเก็บข้อมูลพิกัดได้ครอบคลุมทั้งสามแกน (X, Y, Z) ช่วยให้สามารถประเมินพฤติกรรมทางเรขาคณิตในภาพรวมของโครงสร้างสะพานได้	• ความถูกต้องแม่นยำของผลการวัดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองระเบียบวิธี • จำเป็นต้องนำกลุ่มจุดข้อมูล (Point Cloud) ไปผ่านกระบวนการประมวลผลและจัดตำแหน่งพิกัดย้อนหลัง • ไม่สามารถติดตามพฤติกรรมโครงสร้างแบบต่อเนื่องเชิงพลวัตได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาในการสแกนประมาณ 5 นาทีต่อรอบ





สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเทคโนโลยีตรวจวัดแบบไม่สัมผัส 3 ระบบ ได้แก่ ระบบเลเซอร์ วิธีแชนปลิงมัวร์ และระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ มาประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการตรวจวัดการแอ่นตัวของสะพานยกระดับระหว่างการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test) บนหน่วยงานที่มีข้อจำกัดสูง ทั้งในด้านความสูงของโครงสร้างที่มากกว่า 20 เมตร ปริมาณการจราจรที่หนาแน่น และมีข้อจำกัดด้านเวลาในการปิดการจราจรเพียง 5 ชั่วโมง ซึ่งต้องดำเนินการทดสอบสะพานทั้งสองตำแหน่งให้เสร็จสิ้นภายในคืนเดียวกันด้วยรถบรรทุกจำนวน 18 คัน โดยกำหนดให้ผลการวัดจากระบบเลเซอร์เป็นค่าอ้างอิง เนื่องจากมีความสามารถในการรายงานผลข้อมูลได้ทันทีในรูปแบบเวลาจริง (Real-time) มีความละเอียดสูงในระดับต่ำกว่ามิลลิเมตร และไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการประมวลผลย้อนหลัง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าวิธีแชนปลิงมัวร์เป็นวิธีที่ให้ผลการวัดใกล้เคียงกับระบบอ้างอิงเลเซอร์มากที่สุด โดยพบความคลาดเคลื่อนของสะพานตำแหน่งที่ 1 อยู่ในช่วงประมาณ -0.67 ถึง 0.41 มิลลิเมตร และสะพานตำแหน่งที่ 2 อยู่ในช่วงประมาณ -0.32 ถึง 0.95 มิลลิเมตร ที่น่าสนใจคือ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเมื่อเทียบกับระบบเลเซอร์กลับเกิดขึ้นในช่วงที่ระดับน้ำหนักบรรทุกยังต่ำ (Step 1) ส่วนในช่วงที่โครงสร้างเกิดการแอ่นตัวสูงสุด (Step 5 ถึง Step 7) ผลการวัดจากวิธีแชนปลิงมัวร์มีความสอดคล้องกับระบบอ้างอิงเลเซอร์เป็นอย่างมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินประมาณ 0.32 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถติดตามพฤติกรรมโครงสร้างในช่วงรับน้ำหนักบรรทุกสูงได้อย่างมีความแม่นยำในระดับที่ใกล้เคียงกับระบบเลเซอร์

สำหรับระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติ แม้จะมีจุดเด่นด้านความเร็วในขั้นตอนการติดตั้งและสามารถจัดเก็บข้อมูลพิกัดได้ครบทั้งสามแกน อย่างไรก็ตามพบว่าผลการตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าระบบเลเซอร์และมีความผันผวนมากกว่า โดยพบความคลาดเคลื่อนของสะพานทั้งสองตำแหน่งอยู่ในช่วงประมาณ -1.10 ถึง 2.30 มิลลิเมตร และในช่วงที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกสูง มีแนวโน้มตรวจวัดค่าการแอ่นตัวได้ต่ำกว่าระบบอ้างอิง (เช่น ใน Step 5 ของสะพานตำแหน่งที่ 1 ระบบเลเซอร์ตรวจวัดค่าได้ -4.60 มิลลิเมตร

แต่ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติตรวจวัดค่าได้เพียง -2.90 มิลลิเมตร) อีกทั้งกระบวนการสแกนในแต่ละรอบจำเป็นต้องใช้เวลานาน จึงไม่สามารถติดตามพฤติกรรมโครงสร้างแบบต่อเนื่องเชิงพลวัตได้ ส่งผลให้ระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมักมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือเสริมมากกว่าการใช้เป็นระเบียบวิธีหลักในงานที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำและความต่อเนื่องของข้อมูล

กล่าวโดยสรุป เทคโนโลยีทั้งสามระบบพิสูจน์ให้เห็นว่าการตรวจวัดแบบไม่สัมผัสสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงแม้ในสภาพงานที่มีข้อจำกัดสูง โดยระบบเลเซอร์มีความเหมาะสมสูงสุดสำหรับใช้เป็นระบบอ้างอิงเนื่องจากรายงานผลข้อมูลได้โดยตรงและทันที ขณะที่วิธีแชนปลิงมัวร์แสดงให้เห็นถึงความสมดุลที่เหมาะสมที่สุดเมื่อต้องการทั้งความถูกต้องแม่นยำและความสามารถในการตรวจวัดครอบคลุมหลายจุดพร้อมกัน ส่วนระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีความเหมาะสมในการตรวจวัดเพื่อประเมินภาพรวมทางเรขาคณิตของโครงสร้าง สำหรับแนวทางการพัฒนาในอนาคต การเพิ่มขนาดของเป้าเกรตติงและการปรับปรุงระบบแสงสว่าง ณ สถานที่ทำการทดสอบ คาดว่าจะสามารถช่วยยกระดับความแม่นยำของวิธีแชนปลิงมัวร์ให้ดียิ่งขึ้นได้ และหากระบบสแกนด้วยเลเซอร์สามมิติมีความเร็วในการประมวลผลที่สูงขึ้น จะช่วยเพิ่มศักยภาพและโอกาสในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสะพานได้มากกว่าในปัจจุบัน



การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

เอกสารอ้างอิง

- AASHTO. (2020), *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, 9th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. (Article 2.5.2.6.2: Criteria for Deflection).
- Olaszek, P. (1999), "Investigation of the Dynamic Characteristic of Bridge Structures Using a Computer Vision Method", *Measurement*, Vol. 25, No. 3, pp. 227–236.
- Ri, S., Muramatsu, T., Saka, M., Nanbara, K. and Kobayashi, D. (2012), "Accuracy of the Sampling Moiré Method and its Application to Deflection Measurements of Large-Scale Structures", *Experimental Mechanics*, Vol. 52, No. 4, pp. 331–340.
- Wang, Q. and Ri, S. (2022), "Sampling Moiré Method for Full-Field Deformation Measurement: A Brief Review", *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, Vol. 12, No. 1, pp. 100327.
- Luo, Y., Zheng, H. and Qiao, G. (2020), "LiDAR-Based Bridge Displacement Estimation Using 3D Spatial Optimization", *Sensors*, Vol. 20, No. 24, pp. 7117.



เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



รศ. ดร.สุบัติ สุภาพ

การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการจัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน



จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หลังจากนั้นได้รับทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษก จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และศึกษาระดับปริญญาโท-เอก สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยระหว่างการศึกษาชั้น ได้ไปศึกษาแลกเปลี่ยนด้านการวิจัยรวมถึงดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ที่ Tokyo Institute of Technology ประเทศญี่ปุ่น เมื่อจบการศึกษาได้เข้าทำงานในฐานะวิศวกรออกแบบสะพานและต่อมาได้ทำงานด้านการสอน การวิจัยและการบริการวิชาการและวิชาชีพในฐานะนักวิชาการ

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นอกจากนั้น ยังได้รับโอกาสในการทำงานให้กับสังคมวิศวกรรมโดยเป็นผู้ชำนาญการของสภาวิศวกรในการสอบสัมภาษณ์เพื่อเลื่อนระดับภาคีวิศวกรเป็นสามัญวิศวกร คณะทำงานส่งเสริมและพัฒนาหลักสูตรการศึกษาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของสภาวิศวกร และประธานคณะกรรมการโครงการสร้างเหล็กและโครงสร้างเชิงประกอบของ วสท. อีกด้วย





การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ศ. ดร.ปานวัฒน์ จัยยกุล

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา เกียรตินิยมอันดับ 1 จากมหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อ พ.ศ. 2546 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ในสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง จนจบการศึกษาเมื่อ พ.ศ. 2548 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรออกแบบสะพานที่บริษัท ทิม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด ซึ่งมีผลงานออกแบบเป็นที่ประจักษ์มากมาย ต่อมาได้รับทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 10 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เพื่อศึกษาระดับปริญญาเอกที่สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในด้านวิศวกรรมโครงสร้าง

ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (มศว.) และดำรงตำแหน่งผู้ช่วยอธิการฝ่ายพัฒนากายภาพ สำหรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ได้รับใบอนุญาตระดับวุฒิวิศวกรโยธา (วย.) และยังเป็นผู้อำนวยการในการสอบสัมภาษณ์เพื่อเลื่อนระดับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมของสภาวิศวกร นอกจากนี้ยังได้เข้าร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ในตำแหน่งประธานสาขาวิศวกรรมโยธาอีกด้วย



เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ผศ. ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย

การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน



จบการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโยธา เกียรตินิยมอันดับ 1 จากมหาวิทยาลัยมหิดล ปี พ.ศ. 2546 และได้ทำงานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเก็บเกี่ยวประสบการณ์โดยเกี่ยวข้องกับงานโครงสร้างสะพานข้ามแม่น้ำถึงปี พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท และปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และจบการศึกษาในปี พ.ศ. 2559 ในช่วงเวลานี้ผู้เขียนได้มีส่วนร่วมในงานทั้งงานออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ทดสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ให้กับภาคอุตสาหกรรม และยังได้ศึกษางานวิจัย อาทิ การเสริมกำลังโครงสร้าง และการออกแบบโครงสร้างด้านทานแผ่นดินไหว

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ อนุกรรมการสาขาวิศวกรรมภัยธรรมชาติและการลดผลกระทบต่อโครงสร้าง และอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างเชิงประกอบ ในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้เขียนได้มีบทบาทในการศึกษาพฤติกรรมและพัฒนาระบบโครงสร้าง ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปภายใต้แรงแผ่นดินไหว โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โดยในส่วนบริการวิชาการ ผู้เขียนได้มีบทบาทในการประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง อาทิเช่น การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างและออกแบบระบบติดตามตรวจวัดพฤติกรรมสะพานข้ามแยกวิภาวดี การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างสะพานกลับรถบริเวณถนนพระรามที่ 2 เป็นต้น





การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ดร.พงษ์ศักดิ์ วิวิธน์โรจนกุล

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา ที่สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้าง เมื่อจบการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2553 และศึกษาระดับปริญญาเอกที่สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ซึ่งมีงานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบโครงสร้าง RC ด้วย Ground Penetrating Radar ในการหาขนาดและการต่อทาบของเหล็กเสริมในโครงสร้าง RC เมื่อจบการศึกษาในปี พ.ศ. 2561 เป็นผู้ทำการตรวจสอบและทดสอบน้ำหนักบรรทุกโครงสร้างขนส่งสาธารณะขนาดใหญ่ เช่น รถไฟฟ้าสายสีแดง ทางด่วนพิเศษบูรพาวิถี สะพานพระราม 9 โครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู สะพานข้ามถนนวิภาวดี (2 สะพาน) สะพานกลับรถบนพระราม 2 (9 สะพาน) สะพานยกระดับอ่อนนุช-ลาดกระบัง เป็นต้น เคยเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปัจจุบันเป็น Artist blacksmith ที่ Theta Forge



เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



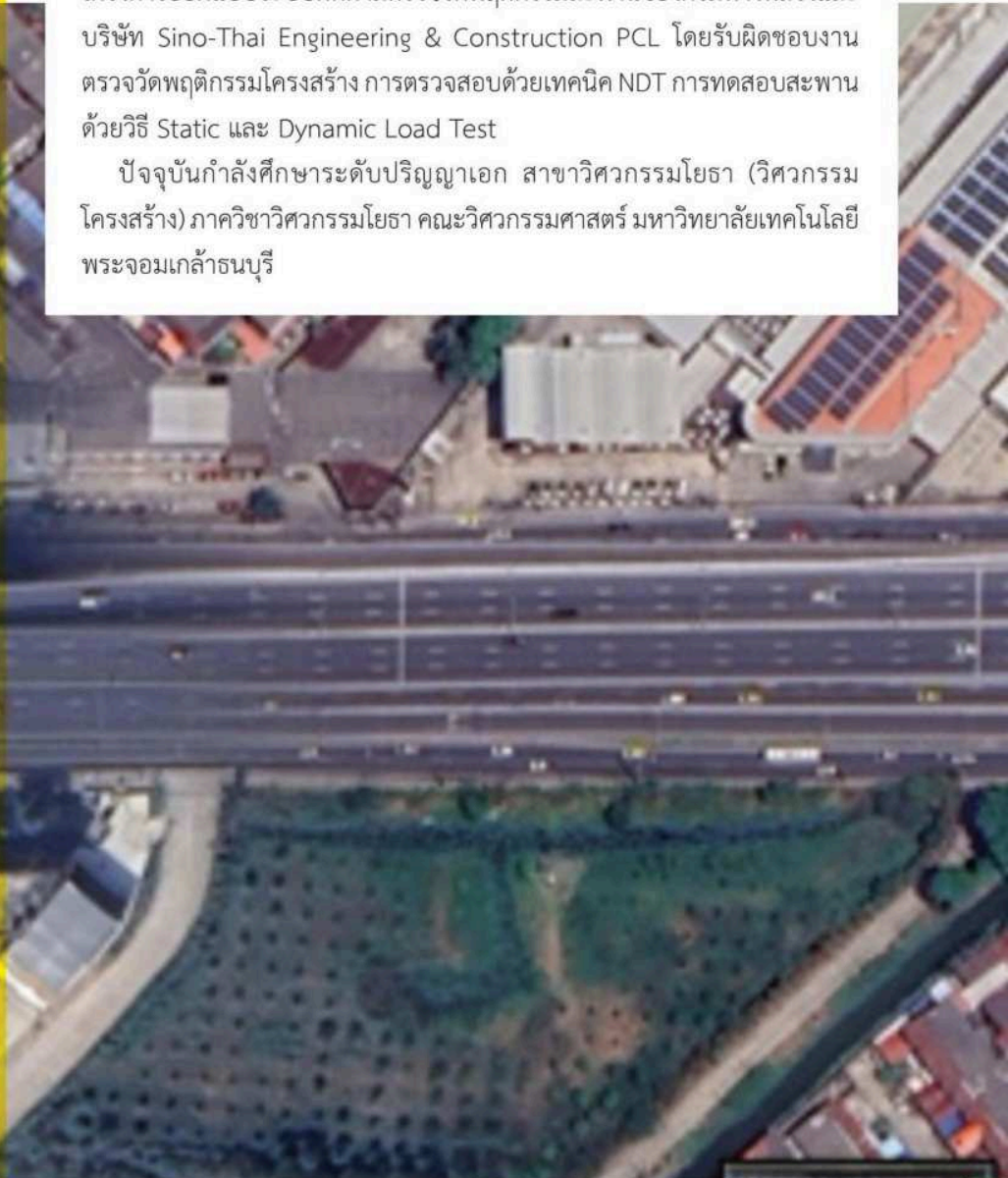
นายปิยะพงษ์ แซ่ล้อ

การประเมินเชิงเปรียบเทียบในภาคสนามของเทคโนโลยีแบบไม่สัมผัส
สำหรับการวัดการแอ่นตัวของโครงสร้างในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน



สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2564 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และสำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2566 ตลอดระยะเวลาการทำงาน ได้ปฏิบัติงานด้านการตรวจสอบและทดสอบกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่หลายโครงการ เช่น โครงการตรวจสอบสะพานพระราม 9 ในรอบ 35 ปี โครงการทดสอบรับน้ำหนักโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู โครงการตรวจสอบสภาพสะพานกลับรถบนทางหลวงหมายเลข 35 (ถนนพระราม 2) โครงการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานยกระดับอ่อนนุช-ลาดกระบัง รวมถึงโครงการออกแบบระบบติดตามตรวจวัดพฤติกรรมสะพานของกรมทางหลวงและบริษัท Sino-Thai Engineering & Construction PCL โดยรับผิดชอบงานตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้าง การตรวจสอบด้วยเทคนิค NDT การทดสอบสะพานด้วยวิธี Static และ Dynamic Load Test

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมโครงสร้าง) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา: ศักยภาพ ข้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ

1. บทนำ

วิศวกรรมโยธาเป็นศาสตร์ที่ตั้งอยู่บนการบูรณาการระหว่างทฤษฎีเชิงกลศาสตร์ ข้อมูลภาคสนาม และดุลยพินิจเชิงวิชาชีพ การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างพื้นฐานในแต่ละโครงการจึงต้องอาศัยการประสานองค์ความรู้จากหลายแขนงเข้าด้วยกัน ตั้งแต่การตีความผลสำรวจชั้นดิน การเลือกแบบจำลองพฤติกรรมของวัสดุ การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ไปจนถึงการสอบทานผลลัพธ์ตามมาตรฐานการออกแบบและความรับผิดชอบทางกฎหมาย ตลอดช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพของกระบวนการเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง ทว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างวิศวกรกับเครื่องมือคำนวณยังคงตั้งอยู่บนหลักการเดียวกัน กล่าวคือ วิศวกรเป็นผู้ดำเนินการโดยตรงในทุกขั้นตอน โดยเครื่องมือทำหน้าที่เป็นเพียงตัวขยายขีดความสามารถของมนุษย์

การถือกำเนิดของแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ และระบบปัญญาประดิษฐ์เชิงตัวแทน (Agentic AI) กำลังท้าทายสมมติฐานพื้นฐานดังกล่าวเป็นครั้งแรกที่ระบบคอมพิวเตอร์มิได้ทำหน้าที่เพียงปฏิบัติตามคำสั่งที่ละชั้น หากแต่สามารถรับโจทย์ในระดับเป้าหมาย วางแผนลำดับการแก้ปัญหา เลือกและเรียกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

ตลอดจนสังเคราะห์ผลลัพธ์ออกมาเป็นรายงานที่สมบูรณ์ได้ด้วยตนเอง พัฒนาการนี้นำมาซึ่งทั้งโอกาสและความท้าทายต่อการวิศวกรรม โอกาสคือศักยภาพในการบูรณาการเครื่องมือวิเคราะห์ที่กระจุกกระจายให้ทำงานภายใต้กระบวนการเดียวอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ความ

ท้าทายคือประเด็นด้านความถูกต้องเชิงตัวเลข ความสามารถในการทำซ้ำ และความรับผิดชอบทางวิชาชีพ ซึ่งล้วนเป็นรากฐานสำคัญของงานวิศวกรรมที่ความปลอดภัยของสาธารณะเป็นเดิมพันสูงสุด

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอกรอบความเข้าใจเชิงระบบเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธาโดยมุ่งเชื่อมโยงพัฒนาการเชิงกระบวนการทัศน์ของซอฟต์แวร์เข้ากับสถาปัตยกรรมเชิงเทคนิคของระบบตัวแทนอัจฉริยะ พร้อมทั้งวิเคราะห์ทั้งศักยภาพและข้อจำกัดอย่างสมดุล เพื่อให้วิศวกรและนักวิจัยสามารถประเมินความเหมาะสมของเทคโนโลยีนี้ต่องานแต่ละประเภทได้อย่างมีวิจารณญาณ มากกว่าการยอมรับหรือปฏิเสธโดยปราศจากการพิจารณาเชิงหลักการ

โครงสร้างของบทความแบ่งออกเป็นห้าส่วนหลัก ส่วนแรกอธิบายวิวัฒนาการของซอฟต์แวร์จากยุค Software 1.0 ที่อาศัยตรรกะซึ่งมนุษย์กำหนดไว้ล่วงหน้า สู่ยุค Software 2.0 ที่ความรู้ถูกฝังในพารามิเตอร์ผ่านการเรียนรู้จากข้อมูล และมาถึงยุค Software 3.0 ที่ภาษาธรรมชาติกลายเป็นอินเทอร์เฟซหลักของการเขียนโปรแกรม โดยวาง Agentic AI ไว้ในฐานะการแสดงออกขั้นสูงสุดของกระบวนการทัศน์ดังกล่าวผ่านวงจรการทำงานแบบสังเกตการณ์ วางแผน และลงมือปฏิบัติ ส่วนถัดมานำเสนอกายวิภาคของระบบ Agentic AI ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองภาษา

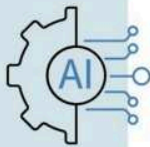




ขนาดใหญ่ในฐานะกลไกการให้เหตุผล เครื่องมือภายนอก หน่วยความจำ และสถาปัตยกรรมแบบหลายตัวแทน รวมถึงบทบาทของโปรโตคอล Model Context Protocol ในการสร้างมาตรฐานการเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์วิศวกรรม พร้อมกรณีศึกษาการวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินอัตโนมัติด้วย PLAXIS ส่วนที่สามวิเคราะห์ข้อจำกัดเชิงหลักการของระบบ โดยเฉพาะความสับสนของผลลัพธ์และปรากฏการณ์การสะสมและขยายตัวของข้อผิดพลาด ส่วนที่สี่อภิปรายบทบาทใหม่ของวิศวกรในฐานะผู้ออกแบบระบบทดสอบผ่านกรอบการทดสอบสามระดับอันได้แก่ การทดสอบกับโจทย์มาตรฐาน การทดสอบความเสถียรของผลลัพธ์ และการทดสอบเชิงปฏิบัติ และส่วนสุดท้ายนำเสนอทิศทางการอนาคตและการเปลี่ยนแปลงบทบาทของวิศวกรในห่วงโซ่การตัดสินใจ ตั้งแต่ผู้กำหนดโจทย์ ผู้ตีความผลลัพธ์ ผู้ตรวจสอบความถูกต้อง ไปจนถึงผู้ตัดสินใจขั้นสุดท้ายภายใต้กรอบความรับผิดชอบทางวิชาชีพ

AGENTIC AI





2. วัฒนาการสู่ Software 3.0

2.1 วัฒนาการซอฟต์แวร์สู่ยุค Agentic AI

ก่อนที่จะพูดถึง Agentic AI ได้อย่างถ่องแท้ เราต้องถามตัวเองว่า ซอฟต์แวร์คืออะไรในเชิงปรัชญา? คำตอบที่ดูเหมือนง่าย แต่ซับซ้อนอย่างยิ่ง คือ “กลไกที่แปลงความตั้งใจของมนุษย์ให้กลายเป็นการกระทำของเครื่องจักร” ตลอดหลายสิบปีที่ผ่านมา วิธีการแปลงความตั้งใจนั้นเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงถึงสามครั้ง และการเปลี่ยนแปลงแต่ละครั้งไม่ใช่แค่การปรับปรุงเชิงเทคนิค แต่เป็นการเปลี่ยนกระบวนทัศน์ (paradigm shift) ที่ส่งผลต่อบทบาทของมนุษย์ในกระบวนการทั้งหมด Andrej Karpathy (Karpathy, 2025) อดีตผู้อำนวยการ AI ของ Tesla และหนึ่งในนักวิจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดในวงการ Deep Learning ได้เสนอกรอบแนวคิดที่เรียบง่ายแต่ทรงพลัง แบ่งวิวัฒนาการนี้ออกเป็นสามยุค ซึ่งไม่เพียงอธิบายอดีต แต่ยังทำนายทิศทางอนาคตได้อย่างแม่นยำ

2.1.1 Software 1.0 - ยุคแห่งตรรกะที่มนุษย์ให้คำสั่ง

ในยุคนี้ วิศวกรซอฟต์แวร์คือผู้สร้างโลกทั้งใบด้วยมือตัวเอง ทุกเส้นทางการตัดสินใจ ทุกกรณีพิเศษ ทุกสูตรคำนวณ ล้วนต้องถูกแปลงเป็นโค้ดด้วยความตั้งใจของมนุษย์ คอมพิวเตอร์เป็นเพียงเครื่องปฏิบัติคำสั่งที่รวดเร็วและแม่นยำ แต่ไม่มีความรู้ใดในตัวเองดังแสดงในรูปที่ 1 กระบวนทัศน์นี้เรียกว่าเป็น Software 1.0 ซึ่งตั้งอยู่บนหลักการพื้นฐานที่ว่าความรู้และตรรกะทั้งหมดต้องถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างชัดเจนโดยมนุษย์ ดังตัวอย่างการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กในรูปที่ 1 วิศวกรต้องถ่ายทอดความเข้าใจในทฤษฎี

โครงสร้างตามมาตรฐาน ACI 318 ออกมาเป็นชุดคำสั่งที่ชัดเจน ตั้งแต่การกำหนดค่าตัวคูณลดกำลัง การคำนวณกำลังรับแรงตามแนวก้น ไปจนถึงเงื่อนไขการตัดสินใจว่าหน้าตัดนั้นปลอดภัยหรือไม่ ทุกองค์ความรู้ที่ปรากฏในโปรแกรมล้วนมีต้นกำเนิดจากผู้เขียนโค้ด มิได้เกิดจากตัวระบบเอง

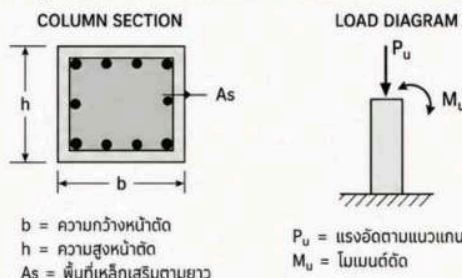
จุดแข็งของกระบวนทัศน์นี้คือความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากทุกบรรทัดของโค้ดสะท้อนการตัดสินใจที่ชัดเจนและสามารถอธิบายได้ตามหลักวิศวกรรม ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความสอดคล้องและสามารถทำซ้ำได้ทุกครั้ง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญอยู่ที่ระบบไม่สามารถรับมือกับสถานการณ์ที่อยู่นอกเหนือจากกรณีที่ผู้เขียนได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า ความฉลาดของโปรแกรมจึงถูกจำกัดด้วยขอบเขตความรู้และจินตนาการของวิศวกรผู้สร้างโดยตรง



ตัวอย่างจำลอง: การตรวจสอบการรับน้ำหนักเสา (Software 1.0)

```
1 def check_column_capacity(axial_load, moment, fc, fy,
2                           Ag, As):
3
4     phi = 0.65 # reduction factor ตาม ACI 318
5     Pn = 0.80 * phi * (0.85 * fc * (Ag - As) + fy * As)
6
7     if axial_load <= Pn:
8         return "ปลอดภัย"
9     else:
10        return f"ไม่ปลอดภัย - ต้องการ Pn = {axial_load:.1f} kN"
```

ปัญหาตัวอย่าง: เสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงอัดและโมเมนต์ดัด



สาระสำคัญของ Software 1.0

- ความรู้ทั้งหมดอยู่ในตัวมนุษย์
- แปลงความรู้เป็นตรรกะ (Logic)
- เขียนโค้ดเพื่อสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงาน
- คอมพิวเตอร์ไม่มีความเข้าใจในสิ่งที่ทำ เพียงทำตามคำสั่ง

รูปที่ 1 แสดงหลักการของ Software 1.0

ทุกสูตร ทุกค่าสัมประสิทธิ์ ทุกเงื่อนไข วิศวกรต้องรู้ ต้องเข้าใจ และต้องเขียนเองทั้งหมด

โปรแกรมที่เป็นสัญลักษณ์ของยุคนี้ในวงการวิศวกรรมโยธา ได้แก่:

- โปรแกรม FEM (Finite Element Method) เช่น SAP2000, PLAXIS, STAADPro - ซึ่งนักพัฒนาต้องเขียนสมการแรงดลยภาพ การประกอบ Global Stiffness Matrix และอัลกอริทึม Solver ทุกบรรทัด
- สเปคชีตออกแบบโครงสร้าง ที่วิศวกรสร้างเองตาม มยผ. หรือ ACI 318 โดยฝังสูตรคำนวณทุกข้อไว้ในเซลล์
- โปรแกรมวิเคราะห์ดิน ที่ใช้สมการ Terzaghi, Biot Consolidation หรือแบบจำลองดิน Mohr-Coulomb ที่เขียนขึ้นอย่างชัดเจน



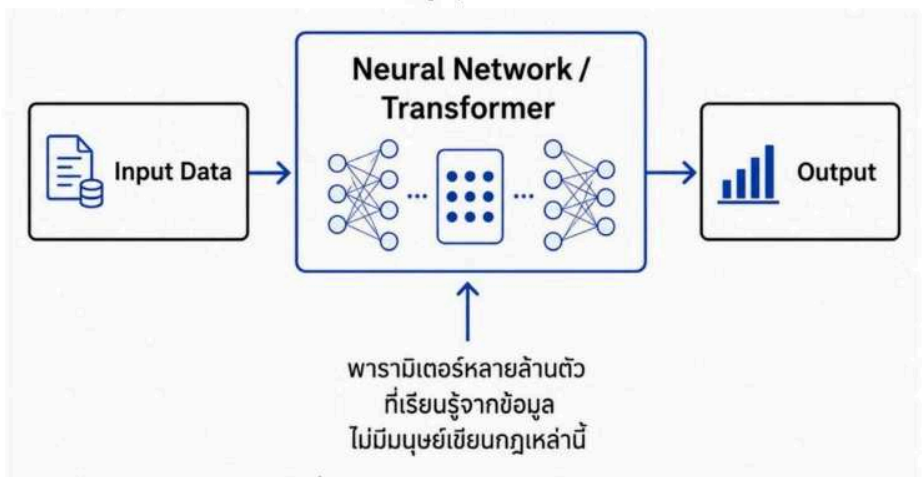
ความโปร่งใสคือจุดแข็งที่สำคัญที่สุดของ Software 1.0 วิศวกรสามารถตรวจสอบทุกขั้นตอนได้ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับงานที่ต้องการความน่าเชื่อถือทางวิศวกรรมและการรับรองทางกฎหมาย แต่ข้อจำกัดอยู่ที่ว่า หากปัญหามีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะเขียนกฎได้ครบถ้วน เช่น การจดจำรูปภาพรอยแตกร้าวในคอนกรีต หรือการแปลความหมายของภาษาธรรมชาติ Software 1.0 จะล้มเหลวโดยสิ้นเชิง เพราะไม่มีใครสามารถเขียนกฎที่ครอบคลุมได้ทุกกรณี

2.1.2 Software 2.0 - ยุคแห่งความรู้ที่ฝังในพารามิเตอร์

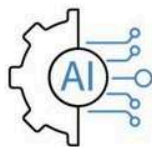
ในยุค Software 2.0 สิ่งที่เปลี่ยนไปอย่างรุนแรงคือ แหล่งที่มาของความรู้ วิศวกรไม่จำเป็นต้องเขียนกฎทุกข้ออีกต่อไป แต่หน้าที่ของพวกเขาคือการออกแบบสถาปัตยกรรมโมเดลและจัดหาข้อมูลสำหรับฝึกสอน ความรู้ “ปรากฏขึ้น” เองจากกระบวนการเรียนรู้ดังแสดงในรูปที่ 2 กระบวนทัศน์นี้ตั้งอยู่บนแนวคิดที่ตรงข้ามกับ Software 1.0 อย่างสิ้นเชิง แทนที่มนุษย์จะกำหนดตรรกะการแปลงข้อมูลนำเข้าไปสู่ผลลัพธ์โดยตรง วิศวกรเพียงนิยามโครงสร้างของแบบจำลอง เช่น โครงข่ายประสาทเทียม หรือสถาปัตยกรรมทรานส์ฟอร์มเมอร์ พร้อม

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ระบบเรียนรู้ ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์จะถูกค้นพบโดยอัตโนมัติผ่านการปรับค่าพารามิเตอร์หลายล้านตัวจากการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่างจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2 ตรรกะที่ซับซ้อนระบบจึงมิได้ถูกเขียนขึ้นโดยมนุษย์ หากแต่ถูกเข้ารหัสไว้ในรูปของน้ำหนักเชิงตัวเลขที่กระจายอยู่ทั่วทั้งโครงข่าย

ในบริบทของวิศวกรรมโยธา การเปลี่ยนแปลงนี้เปิดโอกาสให้ระบบสามารถเรียนรู้พฤติกรรมที่ซับซ้อนซึ่งยากต่อการอธิบายด้วยสมการเชิงทฤษฎีแบบดั้งเดิม เช่น ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างของดินเหนียวที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ หรือการทำนายพฤติกรรมการรับแรงของฐานรากที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยจำนวนมาก แบบจำลองสามารถจับรูปแบบเชิงไม่เชิงเส้นจากข้อมูลภาคสนามหรือข้อมูลการทดสอบได้โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยสมมติฐานที่ลดทอนความซับซ้อนของปรากฏการณ์จริง อย่างไรก็ตาม กระบวนทัศน์นี้นำมาซึ่งความท้าทายที่แตกต่างออกไป คุณภาพและความสมบูรณ์ของข้อมูลฝึกสอนกลายเป็นปัจจัยชี้ขาดต่อสมรรถนะของแบบจำลอง ขณะที่ความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับและอธิบายเหตุผลเชิงตรรกะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความรู้ถูกฝังอยู่ในพารามิเตอร์เชิงตัวเลขที่มนุษย์ไม่สามารถตีความได้โดยตรง ประเด็นด้านความโปร่งใสและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจึงกลายเป็นหัวข้อสำคัญที่ต้องพิจารณาควบคู่กันไป โดยเฉพาะในงานวิศวกรรมที่ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญสูงสุด



รูปที่ 2 แสดงหลักการของ Software 2.0



Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ จ้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ

สถาปัตยกรรม Transformer ซึ่งเป็นหัวใจของโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLM) ในปัจจุบัน ทำงานผ่านกลไก Self-Attention ที่ให้โมเดลเรียนรู้ว่า “คำใดควรให้ความสนใจคำใด” ในบริบทที่กำหนด ความรู้เหล่านี้ไม่ได้ถูกเขียนขึ้นโดยมนุษย์ แต่ถูกค้นพบจากข้อมูลขนาดมหาศาล

ในบริบทของวิศวกรรมธรณีเทคนิค ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Software 2.0 ที่น่าสนใจ เช่น:

- แบบจำลองทำนายการเกิด Liquefaction ของดิน จากข้อมูลแผ่นดินไหวทั่วโลก (Kitkobsin et al., 2026)
- แบบจำลองทำนายความสั่นสะเทือนจากการตอกเสาเข็ม (Youwai and Pamungmoon, 2025)
- การทำนายการทรุดตัวของเสาเข็ม จากฐานข้อมูลทดสอบขนาดใหญ่ (Youwai and Thongnoo, 2025)
- การทำนายผลจากการปรับปรุงคุณภาพดินจากการบดอัดแบบ rapid impact compaction (RCC) (Youwai and Detchewa, 2025)

แม้ Software 2.0 จะทรงพลัง แต่ยังมีขาดสิ่งสำคัญสองประการ ประการแรกคือ **ความสามารถในการดำเนินงาน** โมเดลรับข้อมูลเข้าและส่งออกทำนายออก แต่ไม่สามารถ “ทำงาน” ในโลกจริงได้ด้วยตัวเอง ประการที่สองคือ การสื่อสารเชิงธรรมชาติ การโต้ตอบกับโมเดลยังต้องผ่านอินเทอร์เฟซที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ไม่ใช่ภาษาธรรมชาติที่ยืดหยุ่น



2.1.3 Software 3.0 ยุคที่ภาษาธรรมชาติกลายเป็นโค้ด

นี่คือจุดที่ Karpathy เรียกว่า “การปฏิวัติครั้งใหญ่ที่สุด” ใน Software 3.0 บทบาทของวิศวกรเปลี่ยนจาก ผู้เขียนกฎ หรือผู้รวบรวมข้อมูล มาเป็นผู้กำหนดเป้าหมาย ภาษาธรรมชาติที่มนุษย์ใช้สื่อสารกันมาตลอดประวัติศาสตร์ กลายมาเป็นอินเทอร์เฟซหลักของการเขียนโปรแกรม ความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ใช่แค่ความสะดวกดังรูปที่ 3 แต่คือการขยายขอบเขตของผู้ที่สามารถสั่งให้เครื่องจักรทำงานได้ จากวิศวกรซอฟต์แวร์ผู้เชี่ยวชาญ ไปสู่ผู้เชี่ยวชาญในโดเมนต่าง ๆ รวมถึงวิศวกรโยธา นักธรณีวิทยา และนักวิจัยวิศวกรรม ที่ไม่จำเป็นต้องรู้การเขียนโปรแกรมเชิงลึกอีกต่อไป

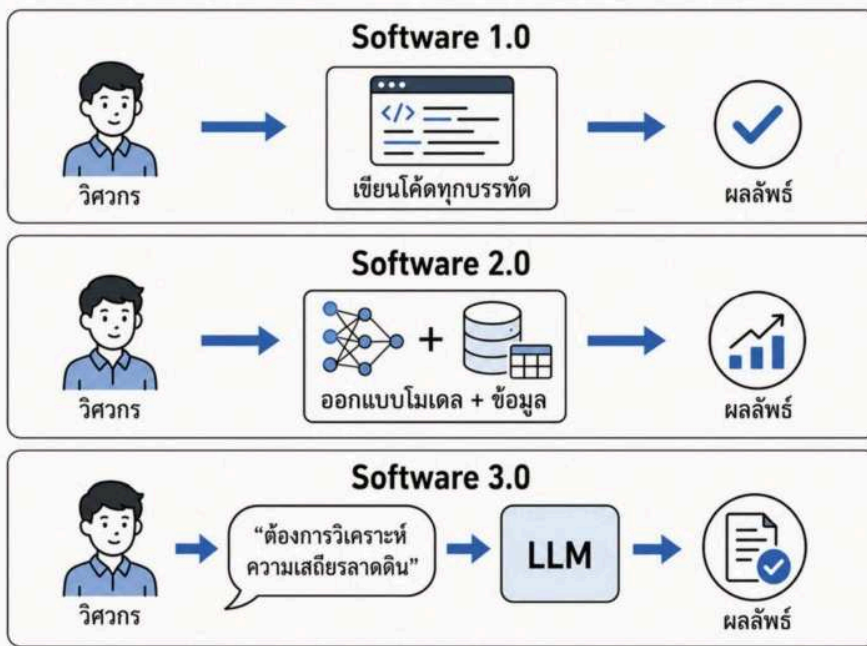
กระบวนทัศน์ Software 3.0 อาศัยแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่เป็นแกนกลางในการประมวลผล โดยมนุษย์สื่อสารความต้องการผ่านคำสั่งภาษาธรรมชาติ และแบบจำลองทำหน้าที่ตีความ วางแผน ขั้นตอนการแก้ปัญหา และสร้างผลลัพธ์ที่ตอบสนองต่อเป้าหมายนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ที่วิศวกรเพียงระบุความต้องการวิเคราะห์ความเสถียรของลาดดิน แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ก็สามารถดำเนินการเชื่อมโยงองค์ความรู้และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างผลลัพธ์ออกมาได้ ความรู้เชิงโดเมนที่เคยต้องถ่ายทอดผ่านโค้ดหรือข้อมูลฝึกสอน จึงสามารถเข้าถึงได้ผ่านบทสนทนาในภาษาที่มนุษย์คุ้นเคย

เมื่อพิจารณาทั้งสามกระบวนทัศน์ร่วมกัน จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการพัฒนาคือการยกระดับนามธรรมของการสื่อสารระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง จากการกำหนดตรรกะทุกบรรทัดอย่างชัดเจน ใน Software 1.0 สู่การออกแบบโครงสร้างและจัดหาข้อมูลใน Software 2.0 และมาถึงการกำหนดเป้าหมายผ่านภาษาธรรมชาติใน Software 3.0 การยกระดับนี้มิได้ลดทอนความสำคัญของความเชี่ยวชาญเชิงวิศวกรรม หากแต่เปลี่ยนรูปแบบการประยุกต์ใช้ความเชี่ยวชาญนั้น จากการแปลความรู้ให้เป็นคำสั่งที่เครื่องจักรเข้าใจ ไปสู่การกำกับทิศทางการตั้งคำถามที่ถูกต้อง และการประเมินความสมเหตุ

AI
AGENTIC



สมผลของผลลัพธ์ที่ได้ อย่างไรก็ตาม การที่แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่สามารถสร้างผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว และน่าเชื่อถือในเชิงรูปแบบ มิได้รับประกันความถูกต้องเชิงวิศวกรรมเสมอไป ความรับผิดชอบในการตรวจสอบและยืนยันความสมเหตุสมผลของผลลัพธ์ยังคงอยู่ที่วิศวกรผู้เชี่ยวชาญ บทบาทของการตัดสินใจเชิงวิชาชีพและความรับผิดชอบทางวิศวกรรมจึงทวีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะในงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของสาธารณะ ซึ่งความผิดพลาดอาจนำไปสู่ผลกระทบร้ายแรง



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบ Software ในแต่ละยุค

2.1.4 Agentic AI - การแสดงออกสูงสุดของ Software 3.0

วงจรสามขั้นตอน Observe → Plan → Act

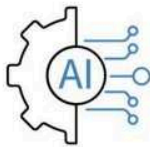
Agentic AI ไม่ใช่แค่ LLM ที่ตอบคำถาม แต่เป็นระบบที่ดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติผ่านวงจรที่เรียกว่า Agentic Loop แสดงในรูปที่ 4 กระบวนการที่ Agentic AI ถือเป็นพัฒนาการขั้นสูงสุดของ Software 3.0 ที่ยกระดับแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่จากบทบาทของผู้ตอบคำถามเชิงรับ ไปสู่ระบบที่สามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นอิสระ ความแตกต่างสำคัญอยู่ที่ความสามารถในการทำงานแบบวนซ้ำเพื่อมุ่งสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ แทนที่จะสร้างผลลัพธ์เพียงครั้งเดียวจากคำสั่งเดียว ระบบจะดำเนินงานผ่านวงจรต่อเนื่องที่ประกอบด้วยสามขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4

ขั้นตอนแรกคือการสังเกตการณ์ ซึ่งระบบรับรู้สภาพแวดล้อมปัจจุบันและอ่านข้อมูลหรือผลลัพธ์จากการใช้เครื่องมือในรอบก่อนหน้า ขั้นตอนที่สองคือการวางแผน ซึ่งอาศัยกระบวนการให้เหตุผลแบบลูกโซ่ความคิดเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ กำหนดขั้นตอนถัดไป และเลือกเครื่องมือที่เหมาะสมกับงาน ขั้นตอนที่สามคือการลงมือปฏิบัติ ซึ่งระบบดำเนินการผ่านเครื่องมือที่เลือกไว้และบันทึกผลลัพธ์เพื่อใช้ในในรอบถัดไป วงจรนี้จะดำเนินซ้ำจนกระทั่ง

ระบบประเมินว่าบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้แล้ว จึงยุติการทำงาน

คุณลักษณะที่ทำให้ Agentic AI แตกต่างจากแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ทั่วไปคือความสามารถในการเชื่อมโยงการให้เหตุผลเข้ากับการกระทำผ่านเครื่องมือภายนอก ระบบสามารถเรียกใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์เชิงวิศวกรรม คำนวณข้อมูลจากฐานความรู้ หรือดำเนินการคำนวณเชิงตัวเลข แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้กลับมาประกอบการตัดสินใจในรอบถัดไป กลไกการป้อนกลับเชิงวนซ้ำนี้ทำให้ระบบสามารถจัดการกับงานที่มีความซับซ้อนหลายขั้นตอน ปรับเปลี่ยนแนวทางตามผลลัพธ์ระหว่างทาง และแก้ไขข้อผิดพลาดได้ด้วยตนเองในระดับหนึ่ง

ในบริบทของวิศวกรรมโยธาและธรณีเทคนิค ความสามารถนี้เปิดโอกาสให้ระบบสามารถดำเนินงานวิเคราะห์ที่ซับซ้อนได้อย่างครบวงจร เช่น การรับโจทย์วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน การเลือกแบบจำลองและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม การเรียกใช้ซอฟต์แวร์คำนวณ และการตีความผลลัพธ์เชิงวิศวกรรม โดยมนุษย์ทำหน้าที่กำกับทิศทางและตรวจสอบความสมเหตุสมผลในจุดสำคัญ อย่างไรก็ตาม ความเป็นอิสระที่เพิ่มขึ้นนี้ย่อมมาพร้อมความจำเป็นในการกำกับดูแลที่รัดกุม เนื่องจากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในรอบใดรอบหนึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังรอบถัดไป การออกแบบกลไกควบคุมและจุดตรวจสอบโดยมนุษย์จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ขาดไม่ได้ในการนำ Agentic AI ไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมที่ความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญสูงสุด

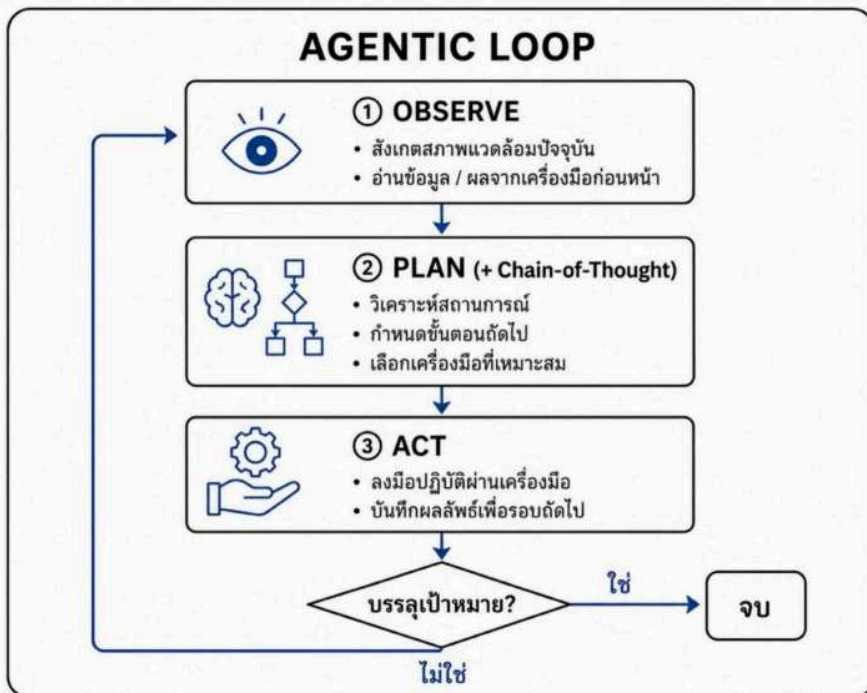


Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ จ้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ



จากการเปรียบเทียบในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าความแตกต่างพื้นฐานมีได้ยู่ที่ความสามารถในการเข้าใจภาษา หากแต่ยู่ที่ระดับความเป็นอิสระในการดำเนินงาน AI แข่งสนทนาทำงานในลักษณะตอบสนองต่อคำสั่งเป็นรายครั้ง โดยภาระในการกำกับลำดับขั้นตอน การจัดหาข้อมูล และการแก้ไขข้อผิดพลาดยังคงตกยู่ที่มนุษย์ในทางตรงกันข้าม Agentic AI สามารถรับโจทย์ในระดับเป้าหมาย แล้วดำเนินการวางแผน จัดหาข้อมูล เรียกใช้เครื่องมือที่หลากหลาย และส่งเคราะห์ผลลัพธ์ออกมาเป็นรายงานที่สมบูรณ์ได้ด้วยตนเอง

ความสามารถในการประสานเครื่องมือหลายชั้นเข้าด้วยกันถือเป็นคุณลักษณะที่สร้างความแตกต่างอย่างชัดเจนที่สุดในบริบทของงานวิศวกรรม เนื่องจากปัญหาทางวิศวกรรมโยธาและธรณีเทคนิคโดยทั่วไปต้องอาศัยการบูรณาการข้อมูลและเครื่องมือจากหลายแหล่ง ตั้งแต่การคำนวณเชิงตัวเลข การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสืบค้นมาตรฐานการออกแบบ ไปจนถึงการรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ความสามารถในการเชื่อมโยงเครื่องมือเหล่านี้เข้าด้วยกันภายในกระบวนการเดียวจึงเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ทำให้ Agentic AI มีศักยภาพในการรองรับงานวิเคราะห์ทางวิศวกรรมที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ



Agentic AI ไม่ใช่แค่ LLM ที่ตอบคำถาม แต่เป็นระบบที่ดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติผ่านวงจร Observe → Plan → Act

รูปที่ 4 การทำงานของ Agentic AI แบบวนซ้ำ

เพื่อให้เห็นภาพความแตกต่างระหว่างแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ แข่งสนทนาและระบบ Agentic AI อย่างชัดเจน พิจารณาสถานการณ์เดียวกันคือการวิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีปรับปรุงดินสำหรับโครงการท่าเรือแห่งใหม่ ความแตกต่างเชิงพฤติกรรมของทั้งสองกระบวนการที่คนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 สถานการณ์: “วิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีปรับปรุงดินสำหรับโครงการท่าเรือแห่งใหม่”

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะการทำงานระหว่าง AI แข่งสนทนาและ Agentic AI

ลักษณะ	AI แข่งสนทนา	Agentic AI
วิธีการงาน	ตอบคำถามทีละข้อ ต้องถามต่อเองทุกชั้น	วางแผนทั้งกระบวนการ ดำเนินงานต่อเนื่อง
การจัดการข้อมูล	รับข้อมูลที่มนุษย์ให้เท่านั้น	เรียกค้นข้อมูลจาก database ดินค้นหามาตรฐานที่เกี่ยวข้องเองได้
การแก้ปัญหา	แจ้งข้อผิดพลาด รอมมนุษย์แก้ไข	ตรวจจับข้อผิดพลาด ปรับกลยุทธ์ลองวิธีอื่นอัตโนมัติ
ผลลัพธ์	ข้อความตอบกลับ	รายงานฉบับสมบูรณ์ พร้อมตารางกราฟ และข้อเสนอแนะ
การประสาน	ไม่สามารถใช้เครื่องมือหลายชั้นพร้อมกัน	ประสาน Python, FEM API, PDF search, Web search ได้พร้อมกัน



3. ReAct Framework: กำไมการคิดก่อนทำจึงสำคัญ

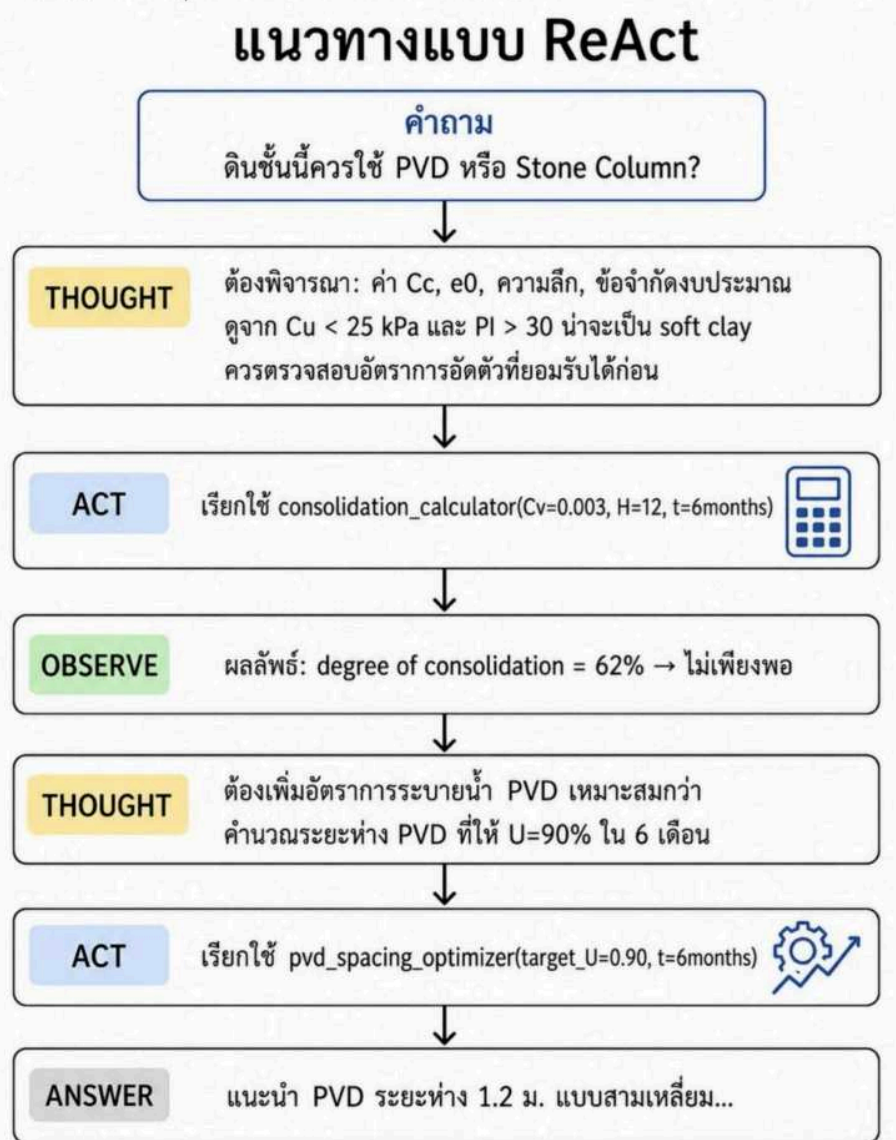
งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในชื่อ ReAct (Reasoning + Acting) (Yao et al., 2022) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ที่แสดงกระบวนการให้เหตุผลแบบลูกโซ่ ความคิดก่อนดำเนินการในแต่ละขั้นตอน มีประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ลงมือปฏิบัติโดยตรงโดยปราศจากการให้เหตุผลกำกับ ดังแสดงตัวอย่างแนวทางการทำงานแบบ ReAct ในรูปที่ 5

แนวคิดหลักของกรอบการทำงาน ReAct คือการสลับสับเปลี่ยนระหว่างการให้เหตุผล และการลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง แทนที่ระบบจะเรียกใช้เครื่องมือทันทีเมื่อได้รับโจทย์ ระบบจะเริ่มด้วยขั้นตอนการคิดเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์และกำหนดแนวทาง ก่อน จากนั้นจึงลงมือปฏิบัติผ่านเครื่องมือที่เลือกไว้ แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่ได้ ก่อนจะนำผลนั้นกลับเข้าสู่ขั้นตอนการคิดในรอบถัดไป การสลับสับเปลี่ยนระหว่างเหตุผล และการกระทำนี้ทำให้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางได้ตามผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง แทนที่จะดำเนินตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างตายตัว

ตัวอย่างในรูปที่ 5 แสดงให้เห็น กระบวนการนี้อย่างเป็นรูปธรรมในงาน ธรณีเทคนิค เมื่อระบบได้รับโจทย์ว่าควร เลือกใช้แผ่นระบายน้ำแนวดิ่งหรือเสาหิน สำหรับชั้นดินที่กำหนด ระบบเริ่มต้นด้วยการให้เหตุผลเพื่อพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ดัชนีการอัดตัว อัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น และคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อน จากนั้น จึงเรียกใช้เครื่องมือคำนวณอัตราการอัดตัว คายน้ำ และสังเกตว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่ เพียงพอตามเกณฑ์ที่ต้องการ ระบบจึงปรับ แนวทางด้วยการให้เหตุผลใหม่และเรียกใช้

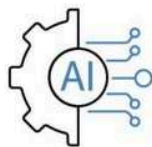
เครื่องมือหาระยะห่างที่เหมาะสมของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง ก่อนจะสรุปเป็นข้อเสนอแนะเชิงวิศวกรรมในขั้นสุดท้าย

ความสำคัญของกรอบการทำงานนี้ต่องานวิศวกรรมอยู่ที่การที่กระบวนการให้เหตุผล ถูกแสดงออกมาอย่างชัดเจนในแต่ละขั้นตอน ทำให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงตรรกะ เบื้องหลังการตัดสินใจของระบบได้ คุณสมบัตินี้ช่วยบรรเทาข้อจำกัดด้านความโปร่งใส ที่เป็นจุดอ่อนสำคัญของแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการนำไป ประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการความรับผิดชอบเชิงวิชาชีพ เนื่องจากวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ สามารถติดตามและประเมินความสมเหตุสมผลของเหตุผลในแต่ละขั้นตอนได้ ไม่ใช่เพียง พิจารณาผลลัพธ์สุดท้ายเท่านั้นแนวทางแบบ ReAct:

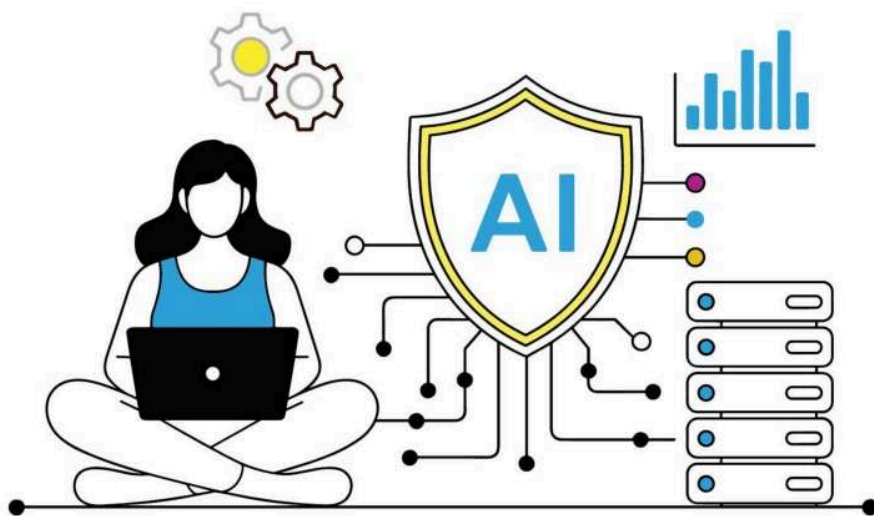


ReAct = Reasoning + Acting + Observing เพื่อช่วยให้ AI ตัดสินใจแบบเป็นขั้นตอน

รูปที่ 5 ตัวอย่างการทำงานของ Agentic AI แบบวนซ้ำ



Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ จ้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ



แนวทางนี้สอดคล้องกับหลักการทำงานของวิศวกรผู้เชี่ยวชาญที่แท้จริง ไม่มีวิศวกรที่คิดค้นโครงสร้างด้วยมือโดยไม่มีวิศวกรที่ช่วยตรวจสอบก่อน การให้ AI “คิดออกเสียง” ก่อนทำ จึงไม่ใช่แค่การเปลี่ยนแบบมนุษย์ แต่เป็นกลไกที่ช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์อย่างพิสูจน์ได้ กรอบแนวคิดของ Karpathy ไม่เพียงอธิบายอดีต แต่ยังเปิดเผยทิศทางที่ชัดเจน บทบาทของมนุษย์ในกระบวนการซอฟต์แวร์ย้ายขึ้นสู่ระดับนามธรรมที่สูงขึ้นเรื่อยๆ สำหรับวิศวกรและนักวิจัย การเข้าใจวิวัฒนาการนี้ไม่ใช่ความรู้เชิงประวัติศาสตร์ที่น่าสนใจเท่านั้น แต่เป็นเข็มทิศสำหรับการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ ว่างานใดควรใช้ Software 1.0 (ที่ต้องการความโปร่งใสทางวิศวกรรม) งานใดควรใช้ 2.0 (ที่มีข้อมูลมากพอให้โมเดลเรียนรู้) และงานใดพร้อมสำหรับ 3.0 (ที่ความซับซ้อนของกระบวนการเกินกว่ามนุษย์จะจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ)

4. กายวิภาคของระบบ Agentic AI

ระบบประกอบด้วยสี่องค์ประกอบที่ขาดกันไม่ได้:

LLM คือ reasoning engine กลาง วิเคราะห์สถานการณ์ ตัดสินใจเลือกเครื่องมือ และสังเคราะห์ผลลัพธ์ในกรอบของวงจร งานวิจัย ReAct framework พิสูจน์ว่า LLM ที่แสดง chain-of-thought ก่อนดำเนินการทุกครั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับหลักการของวิศวกรผู้มีประสบการณ์ที่คิดก่อนลงมือเสมอ

Tools เปลี่ยน LLM จากนักพูดที่ฉลาดเป็นผู้ปฏิบัติงานจริง ครอบคลุม Python interpreter สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข, FEM interface, ฐานข้อมูลมาตรฐานการออกแบบ และ Sensor API รับข้อมูลภาคสนาม ทุกครั้งที่เพิ่มเครื่องมือใหม่ ก็เท่ากับเพิ่มทักษะใหม่ โดยไม่ต้อง train โมเดลใหม่

Memory รักษาความต่อเนื่องข้ามรอบของวงจร ตั้งแต่ Working Memory ในรอบปัจจุบัน ไปจนถึง Long-term Memory ที่สะสมความรู้ข้ามโครงการ ทำให้ agent ไม่ต้องเริ่มต้นใหม่ทุกครั้งที่ถาม

Multi-Agent งานวิจัยของ MetaGPT แสดงให้เห็นว่าทีม agent ที่มีบทบาทเฉพาะทาง อาทิ ผู้ประสานงาน นักวิเคราะห์ดิน วิศวกรโครงสร้าง และผู้ประเมินต้นทุน ทำงานคู่ขนานกันให้ผลลัพธ์ดีกว่า agent เดียวที่ทรงพลังกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

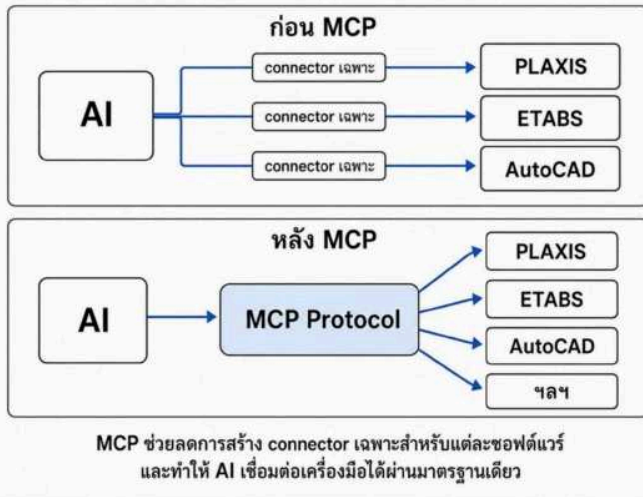
MCP: USB-C ของระบบนิเวศ A

ก่อน Model Context Protocol (Anthropic, 2024) ทุกการเชื่อมต่อระหว่าง AI กับซอฟต์แวร์วิศวกรรมต้องพัฒนา connector เฉพาะทางใหม่ตั้งแต่ต้น MCP ที่ Anthropic เปิดตัวในปี 2024 กำหนด interface มาตรฐานเดียวที่ทุกซอฟต์แวร์พูดได้และทุก agent ฟังได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 ผลคือ MCP Server ที่สร้างขึ้นครั้งเดียวสำหรับ PLAXIS ทำให้





ทุก agent ที่รองรับ MCP ใช้งานได้ทันที โดยไม่ต้องพัฒนาซ้ำ ปัจจุบัน Agentic AI system สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมทางวิศวกรรมได้ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยวิศวกรไม่จำเป็นต้องใช้งานโปรแกรมผ่าน UI ของโปรแกรมสามารถติดให้โปรแกรมทำงานผ่านการให้คำสั่ง หรือการ Chat ได้เลย



รูปที่ 6 การทำงานของ Agentic AI ร่วมกับ Model Context Protocol

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างระบบ Agent กับโปรแกรมประยุกต์ทางวิศวกรรมโยธาผ่านโพรโทคอล Model Context Protocol (MCP) ซึ่งทำหน้าที่เป็นมาตรฐานกลางในการสื่อสารระหว่างแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่กับเครื่องมือซอฟต์แวร์ภายนอก จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล MCP เปิดโอกาสให้ระบบ Agent สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมที่ใช้กันในเชิงวิชาชีพได้หลากหลาย ครอบคลุมทั้งงานวิเคราะห์ธรณีเทคนิคด้วย PLAXIS งานวิเคราะห์โครงสร้างด้วย SAAP และ STAAD Pro งานเขียนแบบด้วย AutoCAD และงานแบบจำลองสารสนเทศอาคารด้วย Revit กลไกนี้ทำให้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่สามารถสั่งการให้โปรแกรมเหล่านี้ดำเนินการสร้างแบบจำลอง กำหนดพารามิเตอร์ และเรียกค้นผลการวิเคราะห์ได้โดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยการป้อนข้อมูลด้วยมือ

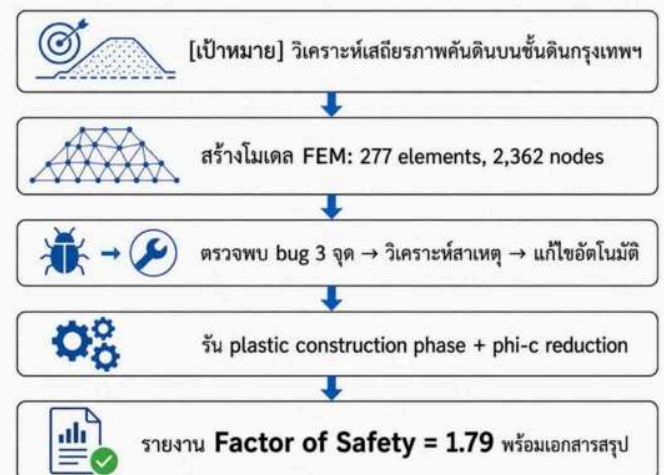
ในทุกขั้นตอน ส่งผลให้สามารถบูรณาการความสามารถในการให้เหตุผลของ Agent เข้ากับความแม่นยำเชิงตัวเลขของซอฟต์แวร์วิศวกรรมเฉพาะทางได้อย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 2 แสดงการติดต่อระหว่าง Agent กับ โปรแกรมทางด้านวิศวกรรมโยธาผ่าน MCP

โปรแกรม	Git Repo
PLAXIS	https://github.com/Sompote/plaxisMCP
SAP	https://github.com/marianfoo/sap-ai-mcp-servers
Autocad	https://github.com/puran-water/autocad-mcp
Revit	https://github.com/mcp-servers-for-revit/revit-mcp
STAAD Pro	https://github.com/BentleySystems/openstaad-mcp

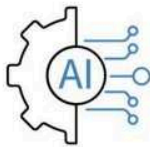
4.1 กรณีศึกษา: การวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินอัตโนมัติ

Claude Code agent ทำงานผ่าน MCP ร่วมกับ PLAXIS สาธิต Agentic Loop ในงานวิศวกรรมจริง การทำงานนอกจากจะสั่งครั้งเดียวให้โปรแกรมทำงาน ยังสามารถทำงานโดยผ่าน Agent Loop จนกว่างานจะแล้วเสร็จดังแสดงในรูปที่ 7 กระบวนการทั้งหมดดำเนินการโดยไม่มีการแทรกแซงจากมนุษย์แม้แต่ขั้นตอนเดียว สิ่งที่น่าสนใจไม่ใช่แค่ผลลัพธ์ แต่คือความสามารถในการตรวจจับและแก้ไข bug ที่ตัวเองสร้างขึ้น ซึ่งเป็นผลจาก Memory, Tools และ LLM ทำงานประสานกันอย่างสมบูรณ์



Workflow ของ Agentic AI สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพคันดินด้วย FEM

รูปที่ 7 การทำงานของ Agentic AI ร่วมกับ Model Context Protocol

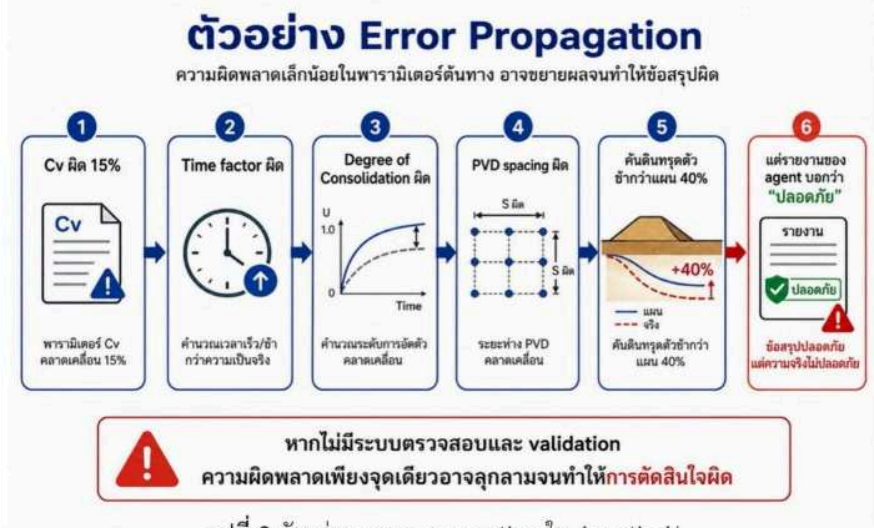


4.2 ข้อควรระวัง: ความจริงที่ต้องยอมรับก่อนนำไปใช้งานจริง

การนำเสนอศักยภาพของ Agentic AI เพียงด้านความสำเร็จโดยปราศจากการกล่าวถึงข้อจำกัด อาจนำไปสู่ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและก่อให้เกิดอันตรายในบริบทวิศวกรรมที่ความผิดพลาดมีต้นทุนสูง การประยุกต์ใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ในงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของสาธารณะจึงจำเป็นต้องตระหนักถึงข้อจำกัดเชิงหลักการสองประการที่สำคัญ ปัญหาประการแรกคือความสับสนในตัวแบบจำลองแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่สร้างผลลัพธ์บนพื้นฐานของความน่าจะเป็น ทำให้คำถามเดียวกันที่ถามซ้ำหลายครั้งอาจให้คำตอบที่แตกต่างกัน คุณสมบัตินี้ขัดแย้งโดยตรงกับหลักการพื้นฐานของงานวิศวกรรมที่ต้องการความสามารถในการทำซ้ำและการสอบทานผลลัพธ์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดทั้งในเชิงกฎหมายและจรรยาบรรณวิชาชีพ ผลลัพธ์ที่ไม่คงเส้นคงวามย่อมเป็นอุปสรรคต่อการตรวจสอบและการรับรองผลงานทางวิศวกรรม ปัญหาประการที่สองคือความถูกต้องเชิงตัวเลข แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ไม่ได้ทำงานในลักษณะเดียวกับเครื่องคำนวณ จึงมีโอกาสดังกล่าวคือความคลาดเคลื่อนที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง (Youwai et al., 2026) การอ้างอิงมาตรฐานจากเวอร์ชันที่ล้าสมัยและถูกแก้ไขไปแล้ว หรือการสะสมข้อผิดพลาดข้ามรอบการทำงานของวงจรจนขยายกลายเป็นความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่โดยที่ระบบไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยตนเอง

ปรากฏการณ์การสะสมและขยายตัวของข้อผิดพลาดนี้แสดงให้เห็นอย่างเห็นเป็นรูปธรรมในรูปที่ 8 ซึ่งจำลองสถานการณ์การวิเคราะห์การทรุดตัวของดิน เมื่อพารามิเตอร์ตั้งต้นคือสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ

คลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 15 ความผิดพลาดดังกล่าวจะถูกส่งต่อและขยายผลผ่านลำดับขั้นของการคำนวณ ตั้งแต่การคำนวณตัวประกอบเวลา ระดับการอัดตัวคายน้ำ ไปจนถึงการกำหนดระยะห่างของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง จนส่งผลให้การประเมินการทรุดตัวของชั้นดินคลาดเคลื่อนจากแผนที่วางไว้ถึงร้อยละ 40 สิ่งที่เป็นอันตรายอย่างยิ่งคือรายงานสรุปที่ระบบสร้างขึ้นอาจรายงานว่าผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย ทั้งที่สภาพความเป็นจริงไม่ปลอดภัย หากปราศจากระบบตรวจสอบและการยืนยันความถูกต้องที่รัดกุม ความผิดพลาดเพียงจุดเดียวที่ต้นทางอาจลุกลามจนนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ ข้อสังเกตนี้ตอกย้ำว่าการนำ Agentic AI ไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมไม่อาจพึ่งพาผลลัพธ์จากระบบโดยปราศจากการกำกับดูแล หากแต่ต้องออกแบบกลไกการตรวจสอบความสมเหตุสมผลเชิงวิศวกรรมและจุดยืนยันโดยมนุษย์ในทุกขั้นตอนที่สำคัญ เพื่อป้องกันมิให้ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่ต้นทางขยายตัวจนกระทบต่อความปลอดภัยของโครงการ



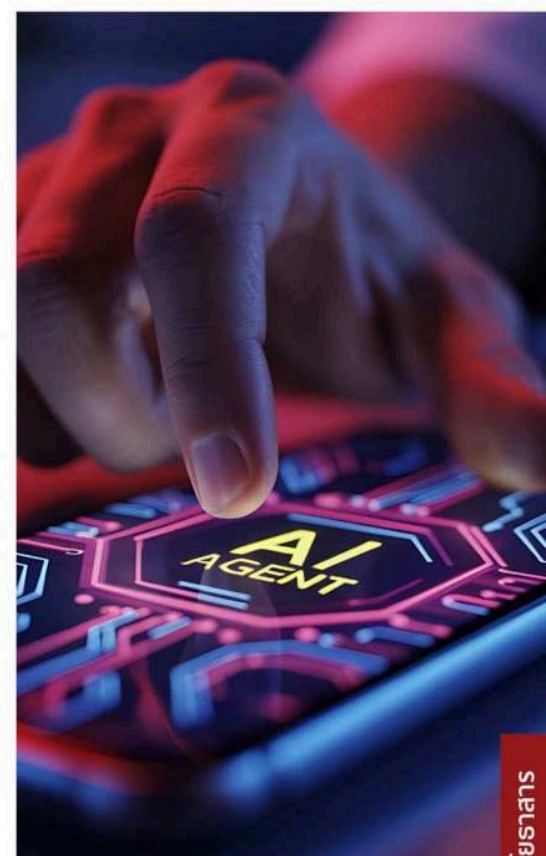
รูปที่ 8 ตัวอย่าง error propagation ใน Agentic AI

4.3 ตัวอย่างระบบ Agentic AI ในทางปฏิบัติ

หลักการเชิงสถาปัตยกรรมที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งกลไกการให้เหตุผล การเรียกใช้เครื่องมือหน่วยความจำ และการประสานงานแบบหลายตัวแทน ได้ถูกนำไปพัฒนาเป็นระบบ Agentic AI ที่ใช้งานได้จริงหลายระบบในปัจจุบัน โดยแต่ละระบบมีจุดเน้นและบริบทการใช้งานที่แตกต่างกัน ระบบกลุ่มแรกมุ่งเน้นงานพัฒนาซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรมเชิงตัวแทน ได้แก่ Claude Code ซึ่งเป็นเครื่องมือเชิงตัวแทนสำหรับงานเขียนโค้ดผ่านบรรทัดคำสั่ง Codex ที่พัฒนาโดย OpenAI สำหรับงานลักษณะเดียวกัน และ AntigraVity ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมการพัฒนาเชิงตัวแทนของ Google ที่ออกแบบบนแนวคิด agent-first ระบบกลุ่มถัดมาขยายขอบเขตจากงานเขียนโค้ดไปสู่ความรู้ทั่วไป เช่น Claude Cowork ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับงานสำนักงานและงานวิเคราะห์สำหรับผู้ใช้ที่มีขั้นกพัฒนาโดยตรง นอกจากระบบเชิงพาณิชย์ดังกล่าว ยังมีระบบในกลุ่มโอเพนซอร์สและระบบที่พัฒนาขึ้นเฉพาะทาง ซึ่งเปิดโอกาสให้องค์กรสามารถติดตั้งและควบคุมระบบได้ด้วยตนเอง เช่น OpenClaw ซึ่งเป็นตัวแทน AI แบบ self-hosted ที่เชื่อมต่อกับช่องทางสื่อสารหลายแพลตฟอร์มและรองรับแบบจำลองภาษาที่หลากหลาย และ Hermes Agent



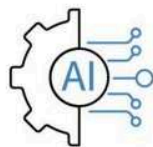
จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าระบบ Agentic AI ที่ใช้งานในปัจจุบันสามารถจำแนกได้เป็นสามกลุ่มตามบริบทการใช้งานและรูปแบบการติดตั้ง กลุ่มแรกคือเครื่องมือเชิงพาณิชย์สำหรับงานพัฒนาซอฟต์แวร์ ได้แก่ Claude Code, Codex และ Antigravity ซึ่งมุ่งเน้นการเขียนโปรแกรมเชิงตัวแทนผ่านสภาพแวดล้อมการพัฒนาที่ออกแบบมาเพื่อรองรับการทำงานของตัวแทนอัจฉริยะโดยตรง กลุ่มที่สองคือระบบที่ขยายขอบเขตไปสู่ความรู้ทั่วไปนอกเหนือจากการเขียนโค้ด เช่น Claude Cowork ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับงานสำนักงานและงานวิเคราะห์สำหรับผู้ใช้ที่มีใจนักพัฒนา และกลุ่มที่สามคือระบบโอเพนซอร์สและระบบที่พัฒนาขึ้นเฉพาะทางซึ่งเปิดโอกาสให้องค์กรติดตั้งและควบคุมระบบได้ด้วยตนเอง ได้แก่ OpenClaw, Hermes Agent และ TigrimOS



ที่เน้นวงจรการเรียนรู้และการสะสมหน่วยความจำระยะยาวข้ามเซสชัน รวมถึง TigrimOS ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการประสานงานตัวแทนอัจฉริยะแบบหลายตัวแทนที่รองรับการติดตั้งภายในองค์กร การคุ้มครองข้อมูล และการผสมผสานแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ที่หลากหลายเข้าด้วยกัน ตัวอย่างของระบบ Agentic AI ที่ใช้งานในทางปฏิบัติพร้อมผู้พัฒนาและบริบทการใช้งาน สามารถสรุปเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างระบบ Agentic AI ในทางปฏิบัติ

ระบบ	ผู้พัฒนา	จุดเน้น/บริบทการใช้งาน	ลิงก์
Claude Code	Anthropic	เครื่องมือเชิงตัวแทนสำหรับงานเขียนโค้ดผ่านบรรทัดคำสั่ง	https://www.claude.com/product/claude-code
Claude Cowork	Anthropic	งานความรู้และงานสำนักงานสำหรับผู้ที่มีใจนักพัฒนา	https://www.claude.com
Codex	OpenAI	เครื่องมือเชิงตัวแทนสำหรับงานเขียนโปรแกรม	https://openai.com/codex
Antigravity	Google	แพลตฟอร์มและสภาพแวดล้อมการพัฒนาเชิงตัวแทน (agent-first IDE)	https://antigravity.google
OpenClaw	Peter Steinberger / OpenClaw Foundation (โอเพนซอร์ส)	ตัวแทน AI แบบ self-hosted เชื่อมต่อหลายช่องทาง รองรับหลายโมเดล	https://github.com/openclaw/openclaw
Hermes Agent	Nous Research (โอเพนซอร์ส)	ตัวแทน AI แบบ self-hosted เน้นวงจรการเรียนรู้และหน่วยความจำระยะยาว	https://github.com/NousResearch/hermes-agent
TigrimOS	สมโพธิ อยู่ไวย (KMUTT, (โอเพนซอร์ส))	แพลตฟอร์มประสานงานหลายตัวแทนแบบ self-hosted รองรับการทำงานคุ้มครองข้อมูลและการผสม LLM	https://github.com/Sompote/Tigrimos



AGENTIC AI



5. บทบาทใหม่ของวิศวกร: ผู้ออกแบบระบบทดสอบ

เมื่อ Agentic AI เข้ามาทำงานคำนวณและวิเคราะห์แทนวิศวกรมากขึ้น คำถามที่มักถูกหยิบยกขึ้นมาคือ “แล้ววิศวกรยังต้องรับผิดชอบอะไร” คำตอบที่ถูกต้องไม่ใช่ว่าความรับผิดชอบทางวิชาชีพลดลง แต่มันเปลี่ยนรูปแบบ จากเดิมที่วิศวกรลงมือคำนวณเอง กลายเป็นผู้ที่ต้องพิสูจน์ให้ได้ว่า ระบบที่คำนวณแทนตนนั้นเชื่อถือได้ก่อนจะนำผลลัพธ์ไปใช้ บทบาทใหม่นี้คือผู้ออกแบบระบบทดสอบ และมันเรียกร้องวินัยทางวิศวกรรมไม่น้อยไปกว่าการออกแบบโครงสร้างเสียเองก่อนจะลงรายละเอียดของกรอบการทดสอบ มีหลักการพื้นฐานที่ต้องวางให้ชัดเจนเสียก่อน นั่นคือ ทุกการคำนวณเชิงตัวเลขต้องเกิดจากการรันโค้ดจริง (deterministic computation) ผ่านเครื่องมือเช่น Python ไม่ใช่ค่าที่ถูก “ทำนาย” ออกมาจากตัวแบบภาษา (LLM) ความแตกต่างนี้เป็นเรื่องสำคัญมากในทางวิศวกรรม เพราะ LLM สร้างผลลัพธ์ด้วยการประมาณความน่าจะเป็นของลำดับโทเค็น ไม่ได้บังคับใช้กฎทางคณิตศาสตร์หรือฟิสิกส์ ตัวเลขที่ได้จึงอาจดู “สมเหตุสมผล” แต่ไม่ผ่านการพิสูจน์เชิงพีชคณิตหรือเชิงตัวเลขแม้แต่ขั้นตอนเดียว สถาปัตยกรรมที่ถูกต้องคือให้ agent ทำหน้าที่ตีความโจทย์ เลือกสมการ และเตรียมพารามิเตอร์ แล้ว ส่งต่อการคำนวณทั้งหมดให้โค้ดที่ตรวจสอบย้อนกลับได้ เป็นผู้ดำเนินการ (tool-based execution) บทบาทของ LLM จึงควรอยู่ในการจัดการตรรกะและการสื่อสาร ส่วนผลลัพธ์เชิงปริมาณต้องมาจากเครื่องคำนวณที่ทำซ้ำได้เสมอ หัวใจของบทบาทนี้คือการกรอบการทดสอบสามระดับที่ต้องสร้างขึ้นก่อน deploy ระบบใด ๆ ไปใช้กับงานจริง

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างระบบเชิงพาณิชย์กับระบบโอเพนซอร์สมิได้อยู่ที่ความสามารถเชิงเทคนิคเพียงอย่างเดียว หากแต่อยู่ที่รูปแบบการควบคุมข้อมูลและการกำกับดูแล ระบบที่รองรับการติดตั้งภายในองค์กรอย่าง TigrimOS มีข้อได้เปรียบในบริบทของงานวิศวกรรมที่ข้อมูลโครงการมีความอ่อนไหวสูง เนื่องจากองค์กรสามารถควบคุมการประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์ โดยไม่ต้องส่งข้อมูลผ่านบริการของบุคคลที่สาม คุณลักษณะนี้สอดคล้องกับข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและความรับผิดชอบทางวิชาชีพที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ ความหลากหลายของระบบเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนทัศน์ Agentic AI มิได้จำกัดอยู่เพียงผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่ง หากแต่กำลังพัฒนาไปสู่ระบบนิเวศที่ครอบคลุมตั้งแต่เครื่องมือเชิงพาณิชย์สำหรับนักพัฒนาไปจนถึงแพลตฟอร์มโอเพนซอร์สที่องค์กรวิศวกรรมสามารถนำไปปรับใช้ได้เงื่อนไขเฉพาะของแต่ละองค์กรได้

5.1 Benchmark Testing - ทดสอบกับโจทย์ที่รู้คำตอบ

ระดับแรกคือการตรวจสอบความถูกต้องพื้นฐาน วิศวกรต้องเตรียมชุดโจทย์ที่ทราบคำตอบอยู่แล้วอย่างน้อย 20–30 กรณี เช่น การทรุดตัวตามทฤษฎี Terzaghi consolidation จากตำรา หรือ bearing capacity ที่เคยคำนวณมือและตรวจสอบแล้ว จากนั้นกำหนด tolerance ที่ยอมรับได้อย่างชัดเจน ไม่ใช่ดูแค่ “ใกล้เคียง” แต่ต้องระบุเป็นตัวเลขว่าคลาดเคลื่อนได้กี่เปอร์เซ็นต์ในแต่ละประเภทปัญหา ชุดทดสอบนี้ทำหน้าที่เหมือน “ข้อสอบมาตรฐาน” ที่ระบบต้องผ่านก่อนได้รับความไว้วางใจ และต้องนำกลับมารันซ้ำทุกครั้งที่มีการอัปเดตโมเดลหรือ prompt



5.2 Reproducibility Testing - วัดความเสถียรของผลลัพธ์

ความถูกต้องในครั้งเดียวยังไม่พอ เพราะธรรมชาติของระบบ AI สมัยใหม่อาจให้ผลลัพธ์ต่างกันเล็กน้อยในแต่ละครั้งที่รัน วิศวกรจึงต้องรันการวิเคราะห์เดิมซ้ำหลายครั้ง และวัดการกระจายตัวของผลลัพธ์ หากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เกินเกณฑ์ที่กำหนด นั่นเป็นสัญญาณว่าระบบยังไม่เสถียรพอ และต้องทบทวนก่อนนำไปใช้งานจริง ระบบที่ดีต้องให้คำตอบเดิมกับโจทย์เดิมอย่างสม่ำเสมอ ความสามารถทำซ้ำได้ (reproducibility) คือเงื่อนไขพื้นฐานของงานวิศวกรรมที่ตรวจสอบได้

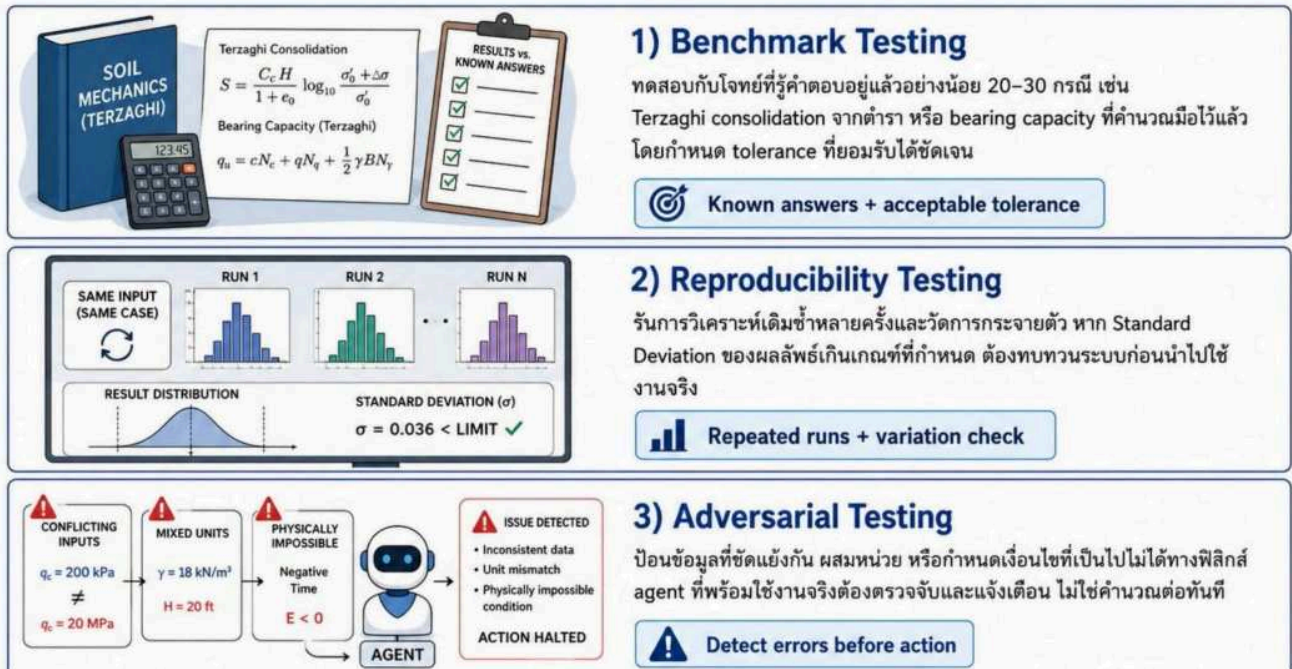
5.3 Adversarial Testing - ทดสอบข้อจำกัดและการป้องกันตัวเอง

ระดับสุดท้ายคือการทดสอบที่ตึงใจ “เล่นงาน” ระบบ ด้วยการป้อนข้อมูลที่ขัดแย้งกันเอง ผสมหน่วยที่ไม่สอดคล้อง หรือกำหนดเงื่อนไขที่เป็นไปไม่ได้ทางฟิสิกส์ agent ที่พร้อมใช้งานจริงต้อง ตรวจสอบและแจ้งเตือน ความผิดปกติเหล่านี้ ไม่ใช่รับข้อมูลแล้วคำนวณต่อทันทีจนได้ตัวเลขที่ดูน่าเชื่อถือแต่ไร้ความหมาย ความสามารถในการ “ปฏิเสธโจทย์ที่ผิด” สำคัญพอ ๆ กับการตอบโจทย์ที่ถูก เพราะในงานจริง ข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดคือต้นเหตุของความเสียหายที่พบบ่อยที่สุด

วิศวกรที่นำผลลัพธ์จาก agent ไปใช้โดยไม่มีระบบทดสอบรองรับ ไม่ต่างอะไรกับวิศวกรที่เซ็นรับรองการคำนวณที่ตัวเองไม่เข้าใจ ในทั้งสองกรณี ลายเซ็นนั้นรับรองสิ่งที่ผู้เซ็นพิสูจน์ไม่ได้ว่าถูกต้อง ดังนั้นการลงทุนสร้าง benchmark suite จึงไม่ใช่การเพิ่มเติมที่ทำให้งานช้าลง แต่คือ ต้นทุนขั้นต่ำของการนำ AI มาใช้อย่างมีความรับผิดชอบ โดยเฉพาะในงานวิศวกรรมที่ชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนเป็นเดิมพัน เครื่องมือเปลี่ยนไป แต่มาตรฐานความรับผิดชอบไม่เคยลดลง สิ่งที่เปลี่ยนคือ วันนี้วิศวกรต้องพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของระบบ ก่อนจะอนุญาตให้มันคำนวณแทนตน

บทบาทใหม่ของวิศวกร: ผู้ออกแบบระบบทดสอบ

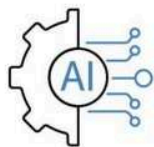
ความรับผิดชอบทางวิชาชีพไม่ได้ลดลงเมื่อใช้ Agentic AI — มันเปลี่ยนรูปแบบ
วิศวกรต้องสร้างกรอบทดสอบสามระดับก่อน deploy ระบบใดๆ



วิศวกรที่ใช้ผลลัพธ์จาก agent โดยไม่มีระบบทดสอบรองรับ
ไม่ต่างจากวิศวกรที่เซ็นรับรองการคำนวณที่ตัวเองไม่เข้าใจ

การลงทุนใน benchmark suite ไม่ใช่การเพิ่มเติม แต่คือต้นทุนขั้นต่ำสำหรับการนำ AI มาใช้ในงานที่ชีวิตและทรัพย์สินเป็นเดิมพัน

รูปที่ 9 การตรวจสอบระบบ Agentic AI ขอบวิศวกร



Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ จ้องจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ



6. กิทางอนาคตและบทบาทของวิศวกรในยุค Agentic AI

วิศวกรรมโยธามุ่งผ่านการเปลี่ยนกระบวนทัศน์มาแล้วหลายครั้ง จากยุคที่คำนวณด้วยมือและตารางสำเร็จรูป สู่ยุคคอมพิวเตอร์และ Finite Element Method (FEM) ที่ทำให้วิเคราะห์โครงสร้างซับซ้อนได้ในเวลาไม่กี่นาที และต่อมาคือ Building Information Modeling (BIM) ที่รวมข้อมูลทั้งโครงการไว้ในแบบจำลองเดียว แต่ครั้งเครื่องมือทรงพลังขึ้น ขอบเขตงานที่ทำได้กว้างขึ้น ทว่ามีสิ่งหนึ่งที่ไม่เคยเปลี่ยน วิศวกรยังคงเป็นผู้ดำเนินการโดยตรงเสมอ เป็นผู้บั่นข้อมูล สั่งให้โปรแกรมคำนวณ ตีความผลทุกบรรทัด และลงมือในทุกขั้นตอนการตัดสินใจด้วยตัวเอง เครื่องมือเหล่านั้นคือ “ปากกาที่คมขึ้น” แต่มือที่จับปากกายังเป็นมือของวิศวกร

Agentic AI คือจุดเปลี่ยนที่ต่างออกไปในเชิงคุณภาพ เพราะเป็นครั้งแรกที่ ระบบจะเป็นผู้ดำเนินการนั้นแทน ไม่ใช่แค่คำนวณตามที่สั่ง แต่วางแผนลำดับงาน เลือกเครื่องมือเรียกใช้ข้อมูล และดำเนินการหลายขั้นตอนต่อเนื่องเองโดยมีเป้าหมายเป็นตัวนำ นี่ไม่ใช่การอัปเดตเครื่องมือแบบเดิม แต่เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งของมนุษย์ในกระบวนการทำงาน ความเข้าใจผิดที่พบบ่อยคือการมองว่า Agentic AI จะมาแทนที่วิศวกร ความจริงคือบทบาทของวิศวกรไม่ได้หายไป แต่เปลี่ยนลักษณะ จากเดิมที่เป็นผู้คำนวณและดำเนินการโดยตรง ไปสู่บทบาทที่อยู่สูงขึ้นไปในห่วงโซ่การตัดสินใจ ได้แก่

และไม่เกี่ยวกับความปลอดภัยโดยตรง” ก่อน เพราะเป็นงานที่หากระบบผิดพลาด วิศวกรตรวจจับได้ง่ายและแก้ไขได้โดยไม่มีผลร้ายแรง ตัวอย่างเช่น

- การสกัดข้อมูลจากรายงาน เช่น ดึงค่าพารามิเตอร์จากรายงานสำรวจดินหรือเอกสารโครงการ
- การสืบค้นและเทียบมาตรฐาน เช่น ค้นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องจาก ACI, Eurocode หรือ มยผ.
- การประมาณราคาเบื้องต้น และงานจัดทำเอกสารที่มีรูปแบบชัดเจน

ส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินโดยตรง เช่น การออกแบบโครงสร้างหลักหรือการรับรอง

ผู้กำหนดโจทย์ แปลงปัญหาวิศวกรรมที่คลุมเครือในโลกจริงให้เป็นโจทย์ที่ชัดเจนระบุเงื่อนไขขอบเขต สมมติฐาน และเกณฑ์ความสำเร็จที่ระบบจะทำงานต่อได้

ผู้ตีความผลลัพธ์ เข้าใจว่าตัวเลขที่ได้หมายความว่าอย่างไรในบริบททางวิศวกรรม สอดคล้องกับสัญชาตญาณเชิงกายภาพหรือไม่ และมีนัยยะอะไรที่ระบบมองข้าม

ผู้ตรวจสอบความถูกต้อง ยืนยันว่าผลลัพธ์เชื่อถือได้ก่อนนำไปใช้ ไม่ใช่ยอมรับเพียงเพราะมัน “ดูสมเหตุสมผล”

ผู้ตัดสินใจขั้นสุดท้าย รับผิดชอบต่อการตัดสินใจภายใต้กรอบความรับผิดชอบทางวิชาชีพ ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบบไม่สามารถแบกรับแทนได้

จุดสำคัญคือ ทักษะที่ต้องใช้ในบทบาทใหม่นี้ “ลึก” กว่าเดิม ไม่ใช่ “ตื้น” กว่า การจะกำหนดโจทย์และตรวจผลของระบบได้ดี วิศวกรต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานแน่นพอที่จะรู้ว่าเมื่อไรผลลัพธ์ผิด - ความเข้าใจเชิงลึกจึงสำคัญขึ้น ไม่ใช่ลดลง

การนำ AI เข้าสู่งานวิศวกรรมจะไม่เกิดขึ้นพร้อมกันทั้งหมด แต่จะไล่ระดับตามความเสี่ยง ในระยะอันใกล้ AI จะเข้ามาสนับสนุนงานที่มีลักษณะ “ตรวจสอบได้ ย้อนกลับได้





ค่าความปลอดภัย จะค่อย ๆ เปิดรับตามระดับ หลักฐานความน่าเชื่อถือที่สะสมได้ ผ่านการทดสอบกับโจทย์มาตรฐาน การวัดความเสี่ยงของผลลัพธ์ และประวัติการใช้งานจริงที่พิสูจน์แล้วว่าระบบทำงานถูกต้องสม่ำเสมอ เส้นทางนี้ไม่ได้ถูกกำหนดด้วยความสามารถทางเทคนิคของ AI เพียงอย่างเดียว แต่ถูกกำกับด้วยมาตรฐานวิชาชีพและความรับผิดชอบที่ไม่ยอมให้นำชีวิตผู้คนไปเสี่ยงกับระบบที่ยังพิสูจน์ไม่พอ กล่าวโดยสรุป การเปลี่ยนผ่านครั้งนี้ไม่ใช่การถอยของวิศวกร แต่เป็นการเลื่อนตำแหน่งขึ้นไปสู่บทบาทที่ต้องใช้วิจารณญาณและความรับผิดชอบมากกว่าเดิม เครื่องมือเปลี่ยนผู้ดำเนินการ แต่ไม่เคยเปลี่ยนผู้รับผิดชอบ



7. บทสรุป

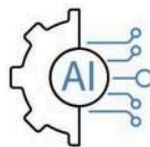
Agentic AI มิใช่เพียงวิวัฒนาการเชิงปริมาณของแชทบอตที่ตอบคำถามได้แม่นยำขึ้น หากแต่เป็นการเปลี่ยนกระบวนทัศน์เชิงคุณภาพที่ปรับนิยามของบทบาท AI จาก “ผู้ตอบคำถาม” ไปสู่ “ผู้ปฏิบัติงาน” บทความนี้ได้ลำดับให้เห็นว่าการเปลี่ยนผ่านดังกล่าวคือปลายทางตามธรรมชาติของวิวัฒนาการซอฟต์แวร์สามยุคตามกรอบของ Karpathy - จาก Software 1.0 ที่มนุษย์เขียนกฎทุกบรรทัด สู่ Software 2.0 ที่ความรู้ปรากฏขึ้นจากข้อมูล และมาถึง Software 3.0 ที่ภาษาธรรมชาติกลายเป็นอินเทอร์เฟซของการสั่งงาน โดยมี Agentic AI เป็นการแสดงออกสูงสุดผ่านวงจร Observe-Plan-Act ที่ทำงานต่อเนื่องด้วยตนเอง

ในเชิงสถาปัตยกรรม ระบบที่ทำงานได้จริงต้องอาศัยองค์ประกอบสี่ส่วนที่ประสานกัน ได้แก่ LLM ในฐานะ reasoning engine ที่ให้เหตุผลก่อนลงมือตามหลัก ReAct, Tools ที่เปลี่ยนแบบจำลองจากนักพูดเป็นผู้ปฏิบัติ, Memory ที่รักษาความต่อเนื่องข้ามรอบและข้ามโครงการ และโครงสร้าง Multi-Agent ที่กระจายงานตามความเชี่ยวชาญ โดยมี Model Context Protocol เป็นมาตรฐานกลางที่เชื่อมต่อเครื่องมือวิศวกรรมเข้ากับ agent ได้โดยไม่ต้องพัฒนา connector ซ้ำ แพลตฟอร์มอย่าง TigrimOS แสดงให้เห็นว่าหลักการเหล่านี้สามารถลงสู่บริบทวิศวกรรมไทยได้จริง ด้วยจุดเด่นด้าน self-hosting การคุ้มครองข้อมูล สถาปัตยกรรม LLM แบบผสม และการแยกการประมวลผลในสภาพแวดล้อม sandbox เพื่อความปลอดภัย

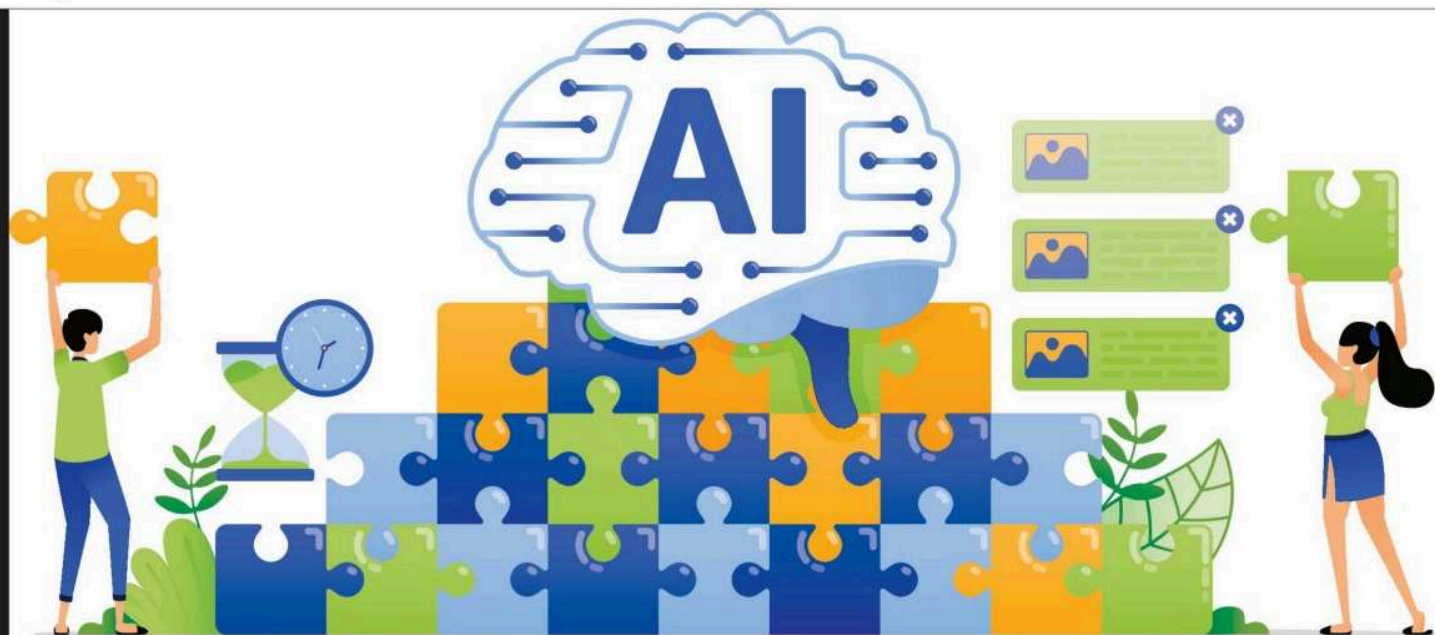
อย่างไรก็ตาม บทความนี้ยืนยันว่าศักยภาพต้องมาคู่กับความรับผิดชอบ ธรรมชาติเชิงสุ่มของ LLM ความเสี่ยงต่อ hallucination เชิงตัวเลข การสะสมข้อผิดพลาดข้ามรอบ และความไม่ชัดเจนของกรอบความรับผิดชอบทางวิชาชีพ ล้วนเป็นข้อจำกัดที่ละเลยไม่ได้ในงานที่ชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนเป็นเดิมพัน คำตอบจึงไม่ใช่การยอมรับผลลัพธ์เพียงเพราะมัน “ดูสมเหตุสมผล” แต่คือการสถาปนากรอบการทดสอบสามระดับ - Benchmark, Reproducibility และ Adversarial Testing - ให้เป็นวินัยพื้นฐานก่อน deploy ระบบใด ๆ สู่งานจริง

ท้ายที่สุด การมาถึงของ Agentic AI ไม่ได้ลดทอนบทบาทของวิศวกร หากแต่เลื่อนตำแหน่งให้สูงขึ้นในห่วงโซ่การตัดสินใจ จากผู้คำนวณและดำเนินการโดยตรงสู่ผู้กำหนดโจทย์ ผู้ตีความผลลัพธ์ ผู้ตรวจสอบความถูกต้อง และผู้ตัดสินใจขั้นสุดท้ายที่รับผิดชอบทางวิชาชีพ ทักษะที่บทบาทใหม่นี้เรียกร้องจึง “ลึก” กว่าเดิม เพราะการจะกำหนดโจทย์ และตรวจสอบระบบได้อย่างน่าเชื่อถือ วิศวกรต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานแน่นพอที่จะรู้ว่าเมื่อใดผลลัพธ์ผิด วิศวกรที่พร้อมรับมือกับโลกใบนี้จึงไม่ใช่ผู้ที่หวั่นเกรง AI แต่คือผู้ที่สามารถออกแบบ กำกับ และตรวจสอบ ระบบที่ทำงานแทนตนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะแม้เครื่องมือจะเปลี่ยนผู้ดำเนินการ แต่ไม่เคยเปลี่ยนผู้รับผิดชอบ





Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ ข้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ



บรรณานุกรม

- Anthropic, 2024. Model Context Protocol (MCP) Specification.
- Karpathy, A., 2025. Software Is Changing (Again).
- Kitkobsin, T., Youwai, S., Leelataviwat, S., Jongpradist, P., 2026. Explainable dual-stream transformer for soil liquefaction prediction. *Advanced Engineering Informatics* 74, 104714. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2026.104714>
- Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., Cao, Y., 2022. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models.
- Youwai, S., Detchewa, S., 2025. Predicting rapid impact compaction of soil using a parallel transformer and long short-term memory architecture for sequential soil profile encoding. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 139, 109664. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109664>
- Youwai, S., Pamungmoon, A., 2025. Developing an explainable artificial intelligent (XAI) model for predicting pile driving vibrations in Bangkok's subsoil. *Neural Comput & Applic.* <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11203-8>
- Youwai, S., Phim, D., Murcia, V.G., Onas, R.C., 2026. Large language model-based multi-agent systems for automated foundation design: router-driven task classification and expert selection framework. *AI in Civil Engineering* 5, 5. <https://doi.org/10.1007/s43503-026-00088-8>
- Youwai, S., Thongnoo, C., 2025. Load-deformation prediction of bored piles using sequential soil profile encoding with transformer architecture: A study of Bangkok subsoil. *Expert Systems with Applications* 275, 127085. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127085>

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



รศ. ดร.สมโพธิ อยุ่ไฉ

รศ. ดร.สมโพธิ อยุ่ไฉ เป็นหนึ่งในนักวิจัยไทยที่บุกเบิกการประยุกต์ปัญญาประดิษฐ์ในงานวิศวกรรมโยธาและปฐพีกลศาสตร์อย่างเป็นระบบ โดยในช่วงสองปีที่ผ่านมาได้ตีพิมพ์งานเฉพาะทางด้านปัญญาประดิษฐ์ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติแล้วกว่า 8 ฉบับ ครอบคลุมหัวข้อ Explainable AI, Transformer Architecture และ Large Language Model สำหรับงานวิศวกรรมโยธาและปฐพีกลศาสตร์งานวิจัยมุ่งเน้นการนำสถาปัตยกรรม Deep Learning สมัยใหม่มาแก้ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน ทั้งการทำนายพฤติกรรมดินและฐานราก การประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐาน และการออกแบบระบบอัตโนมัติสำหรับงานวิศวกรรม โดยมีผลงานตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติชั้นนำด้านปัญญาประดิษฐ์และวิศวกรรม อาทิ Advanced Engineering Informatics, Expert Systems with Applications,



Agentic AI ในงานวิศวกรรมโยธา:
ศักยภาพ จ้อจำกัด และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ



Engineering Applications of Artificial Intelligence, Underground Space และ AI in Civil Engineering

ในด้านสถาปัตยกรรม AI เป็นผู้ริเริ่มแนวทางการเข้ารหัสข้อมูลชั้นดินแบบลำดับขั้นด้วย Transformer Architecture โดยนำเสนอแต่ละชั้นดินและคุณสมบัติของดินในรูปแบบ Token ซึ่งเป็นแนวคิดเดียวกับที่ใช้ในแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ ทำให้สามารถทำนายพฤติกรรมทรุดตัวของเสาเข็มเจาะและผลการบัดดินได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังพัฒนาแบบจำลอง Dual Stream Transformer สำหรับทำนายการเกิด Liquefaction ของดิน และแบบจำลอง Explainable AI สำหรับประเมินค่ากำลังรับแรงเฉือนของขยะมูลฝอยชุมชนและการสันสเทือนจากการตอกเสาเข็ม ซึ่งเน้นความสามารถในการอธิบายผลลัพธ์ของแบบจำลองควบคู่กับความแม่นยำ ในด้าน Computer Vision เป็นผู้พัฒนา YOLO9tr โมเดลตรวจจับความเสียหายผิวทางแบบน้ำหนักเบาที่ถูกนำไปใช้งานจริงผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ยังเป็นผู้บุกเบิกการนำระบบ Agentic AI มาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาของประเทศไทย โดยมีผลงานตีพิมพ์เรื่องระบบ Multi Agent ที่ขับเคลื่อนด้วย Large Language Model สำหรับการออกแบบฐานรากอัตโนมัติ ซึ่งใช้สถาปัตยกรรมแบบ Router ในการจำแนกงานและเลือกผู้เชี่ยวชาญ AI ที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ เป็นผู้พัฒนา TigrimOSR ระบบ Open Loop Agentic System สำหรับการประสานงาน AI หลายเอเจนต์ และ PLAXIS MCP สำหรับการเชื่อมต่อระบบ Agentic AI กับซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางวิศวกรรม และได้้นำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม ทั้งการเป็นผู้จัดการโครงการระบบควบคุมงานตอกเสาเข็มด้วยปัญญาประดิษฐ์ให้กับบริษัทปูนธานีคอนกรีตและวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ในโครงการระบบแจ้งเตือนจุดตัดทางรถไฟสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาเอก วิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมปฐพี Asian Institute of Technology ประเทศไทย พ.ศ. 2546
- ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมปฐพี Asian Institute of Technology ประเทศไทย พ.ศ. 2542
- ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2539

ความเชี่ยวชาญ

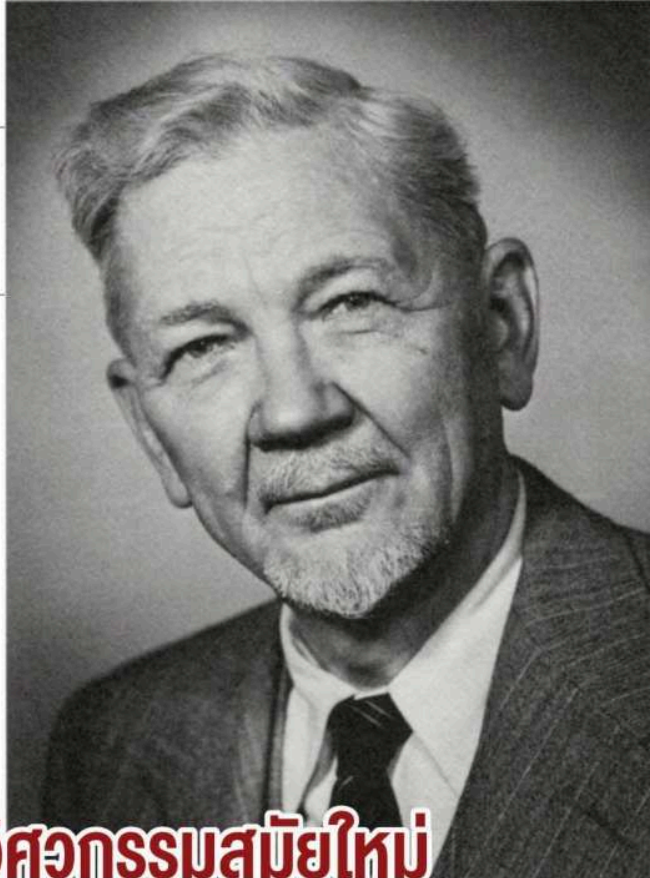
- Artificial Intelligence in Civil Engineering และ Deep Learning Applications
- Transformer Architecture สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลชั้นดินและการทำนายพฤติกรรมฐานราก
- Explainable AI สำหรับงานวิศวกรรมปฐพีและวัสดุก่อสร้าง
- Agentic AI และระบบ Multi Agent สำหรับงานออกแบบวิศวกรรมอัตโนมัติ
- การเชื่อมโยง AI Agent เข้ากับซอฟต์แวร์วิเคราะห์ทางวิศวกรรมผ่าน Model Context Protocol
- Computer Vision สำหรับการตรวจสอบและบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐาน
- Geotechnical Engineering, Soil Liquefaction Analysis, Foundation Engineering และ Ground Improvement

ตำแหน่งปัจจุบัน

- รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ประธานอนุกรรมการสาขาเทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาอัจฉริยะเพื่อการวิเคราะห์เชิงटनाทางวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด

ประธานสาขาวิศวกรรมโยธา
และบรรณาธิการใหญ่ โยธาสาร
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์



ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่ และมรดกทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอมการเรียน การสอนวิศวกรรมโยธา

(Timoshenko: Father of Modern Engineering Mechanics Education and the Academic Legacy that Continues to Shape Civil Engineering Classrooms)

ประวัติย่อ

Stephen Prokopovich Timoshenko (Степан Прокопович Тимошенко) เกิดเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม ค.ศ. 1878 ในดินแดนที่ปัจจุบันอยู่ในประเทศยูเครน ได้รับการศึกษาด้านวิศวกรรม จาก Institute of Engineers of Ways of Communication ณ นครเซนต์ปีเตอส์เบิร์ก ประเทศรัสเซีย ตลอดชีวิตการทำงาน Timoshenko ดำรงตำแหน่งทั้งนักวิจัย อาจารย์มหาวิทยาลัย และที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมในหลายประเทศ ก่อนย้ายไปสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1922 และพัฒนาหลักสูตรด้าน Applied Mechanics ที่ University of Michigan และต่อมาที่ Stanford University

Timoshenko ถึงแก่อสัญกรรมเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม ค.ศ. 1972 ที่ประเทศเยอรมนีตะวันตก ด้วยวัย 93 ปี แม้เขาจะจากไปนานแล้ว แต่การศึกษายังคงถูกยกย่องและนำมาใช้ไปจนถึงเมือง Palo Alto รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสถานที่ที่เขาสร้างผลงานทางวิชาการอันยิ่งใหญ่ ณ Stanford University และเป็นดินแดนที่ทำให้ชื่อของ Timoshenko กลายเป็นหนึ่งในสัญลักษณ์สำคัญที่สุดของกลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่

1. ทำไมต้องพูดถึง Timoshenko

ในประวัติศาสตร์วิศวกรรม มีนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจำนวนมากที่มีบทบาทต่อการพัฒนาองค์ความรู้ของมนุษยชาติ แต่มีเพียงไม่กี่คนเท่านั้นที่สร้างอิทธิพลต่อการวิจัย การศึกษา และการปฏิบัติวิชาชีพได้พร้อมกัน โดย Timoshenko คือหนึ่งในบุคคลนั้น จนเขาได้รับการยกย่องว่าเป็น “บิดาแห่งกลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่ (Father of Modern Engineering Mechanics)”

สำหรับวิศวกรโยธา ชื่อของ Timoshenko อาจไม่ปรากฏอยู่ในชีวิตประจำวันมากเท่ากับชื่อของมาตรฐานการออกแบบ ขอฟต์แวร์วิเคราะห์โครงสร้าง หรือเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่เมื่อพิจารณาให้ลึกซึ้งจะพบว่าหลักการพื้นฐานจำนวนมากที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงของวัสดุ ทฤษฎีความยืดหยุ่น เสถียรภาพของโครงสร้าง การสั่นสะเทือน หรือการวิเคราะห์โครงสร้าง ล้วนได้รับอิทธิพลจากผลงานทางวิชาการของเขาไม่ทางตรงก็ทางอ้อม



ความสำคัญของ Timoshenko มีได้อยู่ที่การพัฒนาทฤษฎีเฉพาะเรื่องเพียงอย่างเดียว หากแต่อยู่ที่ความสามารถในการจัดระบบองค์ความรู้ทางกลศาสตร์และวิศวกรรมให้สามารถถ่ายทอดสู่คนรุ่นต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านตำราที่ได้รับการยอมรับและใช้อ้างอิงในมหาวิทยาลัยทั่วโลกเป็นเวลาหลายทศวรรษ ผลงานของเขาได้สร้างรากฐานให้กับการศึกษาวิศวกรรมสมัยใหม่ และมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาวิศวกรและนักวิจัยที่มีชื่อเสียงหลายคนหลายรุ่นทั่วโลก (Simha, 2002)

แม้เวลาจะผ่านมากกว่าหนึ่งศตวรรษ นับจากการตีพิมพ์ตำราเล่มแรกของเขา และแม้โลกวิศวกรรมในปัจจุบันจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจากความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์ การจำลองเชิงตัวเลข และปัญญาประดิษฐ์ แต่แนวคิดพื้นฐานที่ Timoshenko พัฒนาไว้อย่างคงมีคุณค่าอย่างยิ่ง กล่าวคือ วิศวกรต้องเข้าใจพฤติกรรมทางกายภาพของวัสดุ และโครงสร้าง ไม่ใช่เพียงสามารถใช้สมการหรือเครื่องมือคำนวณได้เท่านั้น

บทความผู้เขียนต้องการรำลึกถึงคุณูปการของ Timoshenko ในฐานะนักวิชาการผู้มีบทบาทสำคัญต่อการก่อรูปการศึกษา กลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่ โดยจะนำเสนอพัฒนาการของแนวคิดทางการศึกษา ผลงานการเขียนตำราที่ทรงอิทธิพล ตลอดจน

ผลกระทบที่ยังคงปรากฏอยู่ในหลักสูตรวิศวกรรมโยธาและการปฏิบัติวิชาชีพในปัจจุบัน เพื่อสะท้อนให้เห็นว่าบรรดากงวิชาการศึกษาของเขายังคงมีชีวิตอยู่ในห้องเรียน และวงการวิศวกรรมทั่วโลกจนถึงทุกวันนี้

2. โลกก่อน Timoshenko

ในช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 และต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 โลกกำลังอยู่ในยุคแห่งการขยายตัวของอุตสาหกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน วิศวกรต้องเผชิญกับความท้าทายใหม่จากการก่อสร้างสะพานช่วงยาว อาคารอุตสาหกรรม ระบบรถไฟ และเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้นกว่าที่เคยมีมา อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้ทางกลศาสตร์และการวิเคราะห์โครงสร้างในขณะนั้นยังคงกระจุกกระจายอยู่ในหลายสาขาวิชา และยังขาดระบบการเรียนการสอนที่เป็นมาตรฐาน

ในยุคนั้น การศึกษาวิศวกรรมจำนวนมากได้รับอิทธิพลจากคณิตศาสตร์บริสุทธิ์และทฤษฎีเชิงกลศาสตร์ที่พัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวยุโรป เช่น Euler, Bernoulli, Navier, Saint-Venant และ Rayleigh ซึ่งได้สร้างรากฐานสำคัญของศาสตร์ด้านความแข็งแรงของวัสดุ (strength of materials) ความยืดหยุ่น (elasticity) และเสถียรภาพ (stability) ของโครงสร้างไว้แล้ว อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้เหล่านี้ส่วนใหญ่มักปรากฏอยู่ในรูปของบทความวิชาการ งานวิจัย หรือหนังสือที่มุ่งเน้นการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์เป็นสำคัญ ซึ่งยากต่อการนำไปใช้เป็นตำราสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมทั่วไป

ในหลายมหาวิทยาลัย การเรียนการสอนด้านกลศาสตร์ยังคงแยกส่วนระหว่างวิชาคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และงานออกแบบทางวิศวกรรม นักศึกษาสอนให้ทราบการแก้สมการและทฤษฎีต่าง ๆ แต่ยังคงขาดความเข้าใจว่าหลักการเหล่านั้นสามารถนำไปอธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างจริงได้อย่างไร ขณะเดียวกัน วิศวกรภาคปฏิบัติจำนวนมากต้องพึ่งพาประสบการณ์และสูตรจากการทดลอง (empirical formula) ในการออกแบบ เพราะองค์ความรู้เชิงทฤษฎียังไม่ถูกถ่ายทอดออกมาในรูปแบบที่เข้าถึงได้ง่าย

ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่โลกวิศวกรรมกำลังเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการวิศวกรที่มีความเข้าใจเชิงกลศาสตร์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก มหาวิทยาลัยหลายแห่งจึงเริ่มตระหนักถึงความจำเป็นในการพัฒนาหลักสูตรวิศวกรรมที่สามารถเชื่อมโยงทฤษฎีกับการปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในบริบทดังกล่าว วงการวิศวกรรมไม่ได้ต้องการเพียงนักวิจัยที่สามารถพัฒนาทฤษฎีใหม่ แต่ต้องการบุคคลที่สามารถจัดระเบียบองค์ความรู้ที่มีอยู่ ถ่ายทอดแนวคิดที่ซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่าย และสร้างสะพานเชื่อมระหว่างคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมได้อย่างเป็นระบบ บุคคลผู้นั้นก็คือ Stephen P. Timoshenko

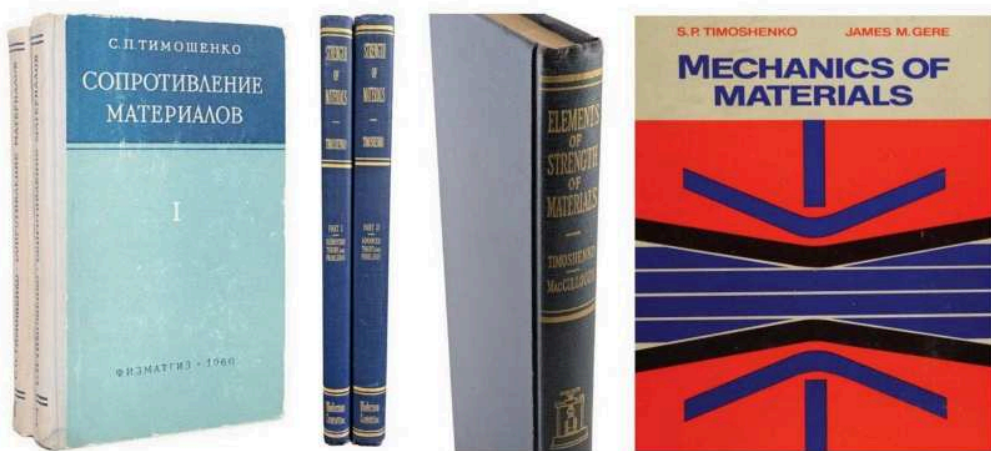




ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่
และมรดกทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอนวิศวกรรมโยธา

3. หนังสือที่เปลี่ยนวงการวิศวกรรม

หลังเริ่มต้นอาชีพการสอนในรัสเซีย Timoshenko ได้พัฒนาบันทึกการสอนของตนเองจนกลายเป็นหนังสือ Strength of Materials (รูปที่ 1) ซึ่งตีพิมพ์เป็นภาษารัสเซียในช่วงปี ค.ศ. 1908-1910 ก่อนจะได้รับการปรับปรุงและเผยแพร่เป็นภาษาอังกฤษในเวลาต่อมา หนังสือเล่มนี้ได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและกลายเป็นหนึ่งในตำราวิศวกรรมที่ทรงอิทธิพลที่สุดในโลกตลอดครึ่งแรกของศตวรรษที่ 20



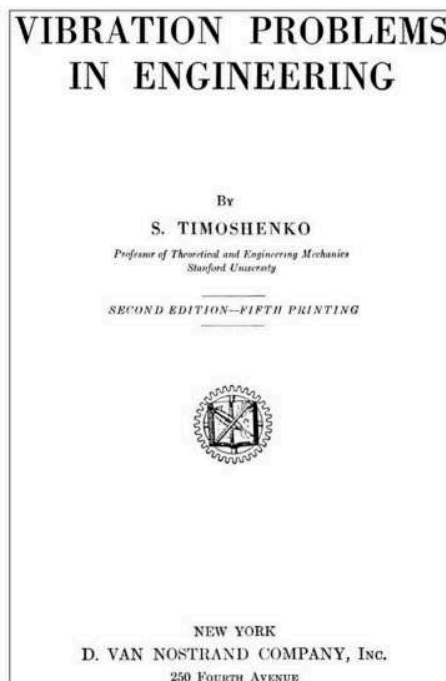
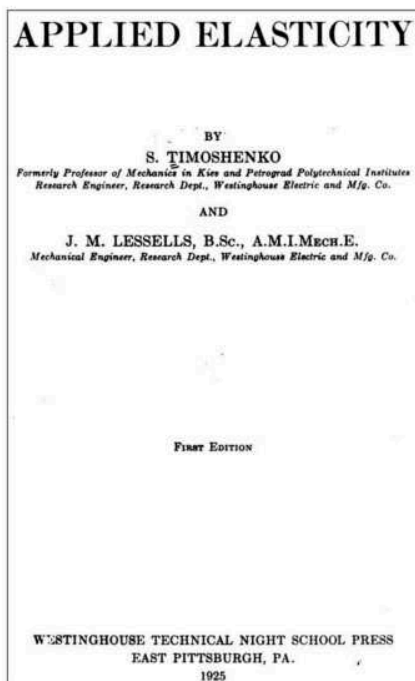
รูปที่ 1 พัฒนาการของหนังสือในแนวทางของกำลังวัสดุ (strength of materials) เริ่มตั้งแต่ในภาษารัสเซีย (Part 1 ในปี ค.ศ. 1908 และ Part 2 ในปี ค.ศ. 1910) โดยในรูปแบบซ้ายสุดเป็นฉบับที่แปลโดย V. N. Fedorov จากภาษาอังกฤษไปเป็นภาษารัสเซียในการพิมพ์ครั้งที่ 3 เมื่อปี ค.ศ. 1960 ต่อมาเป็นหนังสือคู่ของเขาในภาษาอังกฤษที่ตีพิมพ์ครั้งแรกในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1930 และเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจง่ายขึ้นจึงได้มีการกระชับเฉพาะประเด็นสำคัญและสร้างเป็น Elements of Strength of Materials ในปี ค.ศ. 1935 จนกระทั่งหนังสือทั้งสองชุดในสหรัฐอเมริกาได้ผ่านการตีพิมพ์ฉบับแก้ไขหลายครั้ง จนล่าสุดจึงเกิดการเป็นหนังสือ Mechanics of Materials ในปี ค.ศ. 1972 ซึ่งเป็นการพิจารณาพฤติกรรมของวัสดุวิศวกรรมเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก โดยไม่ได้มองเฉพาะส่วนของกำลังเพียงอย่างเดียวเหมือนกับหนังสือในแนวทางเดียวกันก่อนหน้านี้ของ

Timoshenko





หลังจาก Timoshenko ย้ายมาอยู่ที่สหรัฐอเมริกาเมื่อ ค.ศ. 1922 เขาได้ทำงานอยู่ที่ Westinghouse Electric & Manufacturing Company ในระหว่าง ค.ศ. 1923–1927 โดยในช่วงเวลาดังกล่าวถือเป็นการเปลี่ยนผ่านที่สำคัญมากในชีวิต เนื่องจากเขาได้เปลี่ยนจากนักวิชาการและศาสตราจารย์ในยุโรป กลายมาเป็นวิศวกรวิจัยในอุตสาหกรรมอเมริกัน ซึ่ง ณ ที่แห่งนั้น เขาได้รวบรวมแนวทางทฤษฎีขั้นสูงของ Strength of Materials และสร้างตำราที่ทรงคุณค่า คือ Applied Elasticity (1925) ที่เขียนร่วมกับ J. M. Lessells ซึ่งทำให้ผู้อ่านเห็นภาพการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของ Strength of Materials ในงานด้านต่าง ๆ



รูปที่ 2 หนังสือสองเล่มแรกที่ Timoshenko เขียนเมื่อมาอยู่บนแผ่นดินอเมริกา ซึ่งได้รวบรวมความรู้จากการทำงานจริง ทำให้การถ่ายทอดถึงลึกซึ้งและองค์ความรู้ต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ได้จริง

ภายหลังย้ายมาทำงาน University of Michigan เขาได้สร้างหนังสือ Vibration Problems in Engineering ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1928 เนื้อหาของหนังสือพัฒนาขึ้นจากการบรรยายเรื่องการสั่นสะเทือนที่เขาเคยสอนให้แก่วิศวกรของ Westinghouse และจากประสบการณ์จริงในการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและโครงสร้างทางวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้หนังสือเล่มดังกล่าวจึงได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นหนึ่งในตำราที่วางรากฐานของวิชา Engineering Vibrations และ Structural Dynamics สมัยใหม่ (Timoshenko, 1928) ดังแสดงในรูปที่ 2

นอกเหนือจากตำราด้าน Strength of Materials เขายังนำผลงานที่เคยเขียนไว้เป็นภาษารัสเซียมาสร้างเป็นผลงานระดับคลาสสิกอีกหลายเล่มที่ล้วนมีอิทธิพลต่อวงการวิศวกรรมศาสตร์ทั่วโลกอย่างลึกซึ้ง ผลงานอันเลื่องชื่อที่นักศึกษามหาวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ต้องผ่านมือ เล่มแรกคือ Theory of Elasticity (1934) ที่เขียนร่วมกับ John N. Goodier ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นหนึ่งในตำราที่สำคัญที่สุดด้านทฤษฎีความยืดหยุ่น หนังสือเล่มนี้ได้รวบรวมและอธิบายพื้นฐานทางคณิตศาสตร์และกลศาสตร์ของการกระจายหน่วยแรงและความเครียดภายในวัสดุอย่างเป็นระบบ จนกลายเป็นรากฐานสำคัญของการศึกษากลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) และเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ในเวลาต่อมา

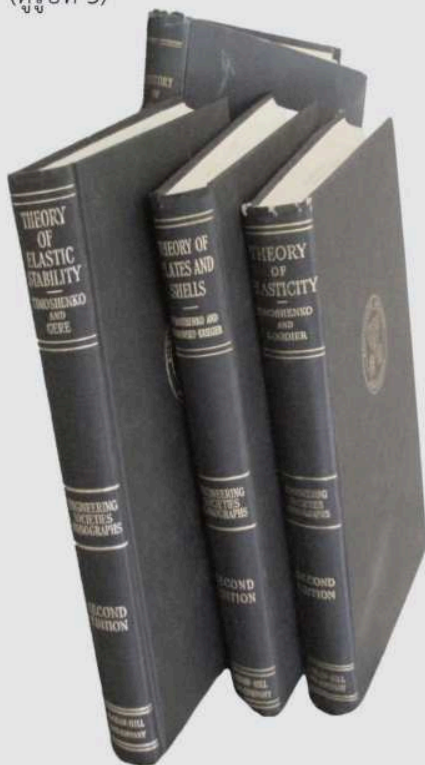
เล่มที่สองอธิบายถึงเสถียรภาพของโครงสร้าง นั่นคือ Theory of Elastic Stability (1936) ซึ่งในฉบับปรับปรุงภายหลังเขียนร่วมกับ J. M. Gere หนังสือเล่มนี้ได้รวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับการโก่งคดและอเสถียรภาพ (instability) ของโครงสร้างไว้อย่างครบถ้วน ตั้งแต่ปัญหาของเสาแบบ Euler ไปจนถึงการโก่งคดของคาน แผ่นบาง และโครงคด (frame) ผลงานดังกล่าวมีอิทธิพลโดยตรงต่อการออกแบบโครงสร้างเหล็ก อาคารสูง สะพาน และโครงสร้างพิเศษจำนวนมาก และยังคงเป็นพื้นฐานสำคัญของมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างสมัยใหม่ทั่วโลก





ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่
และมรดกทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอนวิศวกรรมโยธา

เล่มสุดท้ายในกลุ่มและเป็นที่ได้รับการยกย่องอย่างสูงคือ Theory of Plates and Shells (1940) ที่เขียนร่วมกับ S. Woinowsky-Krieger ตำราเล่มนี้ถูกเขียนขึ้นใหม่โดยถือเป็นผลงานบุกเบิกที่จัดระบบองค์ความรู้เกี่ยวกับแผ่นบางและเปลือกบางไว้อย่างสมบูรณ์เป็นครั้งแรกในภาษาอังกฤษ โดยมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาและออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีต สะพาน แผ่นเปลือกบาง โดม ถังเก็บน้ำ ท่อหล่อเย็น ตลอดจนโครงสร้างอากาศยานและอวกาศในยุคต่อมา หลักการจำนวนมากที่ปรากฏในหนังสือเล่มนี้ยังคงเป็นพื้นฐานของเอลิเมนต์แผ่นบางและเปลือกบาง (plate and shell elements) ที่ใช้ในโปรแกรม Finite Element Analysis สมัยใหม่ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 หนังสือชุดที่สร้างชื่อเสียงอย่างมากของ Timoshenko ซึ่งถูกอ้างอิงอย่างมากทั้งในทางวิชาการและวิชาชีพ และมีอิทธิพลต่อการพัฒนามาตรฐานและโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างขั้นสูงมากมาย

ผลงานที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในเชิงลึกของคนในกลุ่มหลงในวิชากลศาสตร์ คือ การสร้างหนังสือ History of Strength of Materials (1953) ซึ่งถูกพัฒนามาจากการบรรยายเรื่องประวัติศาสตร์ของศาสตร์ด้านความแข็งแรงของวัสดุที่เขาสอนต่อเนื่องมานานกว่า 25 ปี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจพัฒนาการขององค์ความรู้ผ่านบุคคล เหตุการณ์ และปัญหาทางวิศวกรรมที่สำคัญ มากกว่าการรวบรวมรายละเอียดเชิงพรรณานุกรมทั้งหมด เขายังเน้นว่าการพัฒนาของ Strength of Materials มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับทฤษฎีความยืดหยุ่น การวิเคราะห์โครงสร้าง ตลอดจนความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีของแต่ละยุคสมัย ซึ่งสะท้อนมุมมองว่าประวัติศาสตร์ของวิศวกรรมเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิศวกรรมที่สมบูรณ์ (Timoshenko, 1953) ดังแสดงในรูปที่ 4

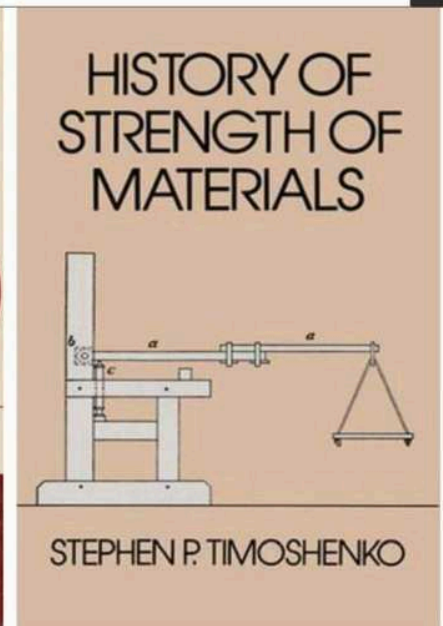
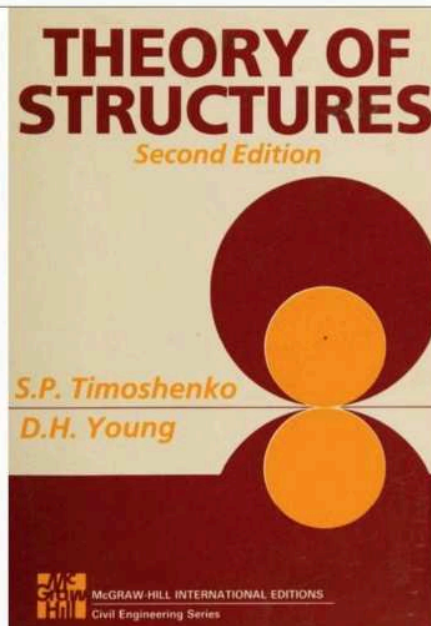
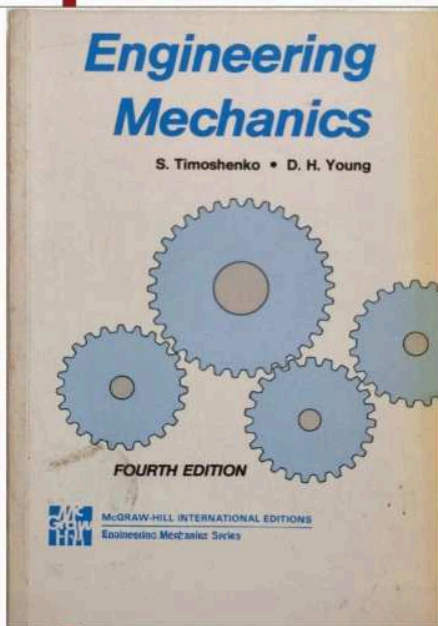
ผลงานชิ้นสุดท้าย (เขียนสำเร็จเมื่อปี ค.ศ. 1971 เมื่ออายุ 92 ปี) ที่สะท้อนพัฒนาการดังกล่าวได้อย่างชัดเจนคือ Mechanics of Materials ซึ่ง Timoshenko เขียนร่วมกับ James M. Gere ในช่วงปลายชีวิต ผู้เขียนได้ระบุไว้ในคำนำของหนังสือว่า แม้ตำราเล่มนี้จะเป็นการนำเสนอวิชากลศาสตร์วัสดุในรูปแบบใหม่ แต่ในอีกด้านหนึ่งก็เป็นผลสืบเนื่องจากชุดตำรา Strength of Materials ที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลากว่าหกทศวรรษ (Timoshenko and Gere, 1972)

ข้อเท็จจริงดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า หนังสือของ Timoshenko มิได้เป็นเพียงผลงานทางวิชาการรายเล่ม หากแต่เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการพัฒนาองค์ความรู้และประสบการณ์การสอนตลอดชีวิตของผู้เขียน ตำราเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการสร้างภาษากลางทางวิศวกรรมให้นักศึกษาและวิศวกรทั่วโลก และกลายเป็นรากฐานที่สนับสนุนการพัฒนาวิชากลศาสตร์วิศวกรรมมาจนถึงปัจจุบัน

4. กำเนิดตำราของเขาจึงแตกต่าง

Timoshenko มองเห็นช่องว่างระหว่างสองแนวการสอนและการเขียนตำราทางกลศาสตร์ในยุคก่อน และเชื่อว่าการศึกษาวิศวกรรมที่มีประสิทธิภาพควรเชื่อมโยงคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ แทนที่จะมองแต่ละศาสตร์เป็นส่วนที่แยกขาดจากกัน แนวคิดนี้จึงกลายเป็นรากฐานสำคัญของตำราทุกเล่มที่เขาเขียนตลอดชีวิต (Timoshenko, 1968)

ลักษณะเด่นประการแรกของตำรา Timoshenko คือ การเริ่มต้นจากความเข้าใจเชิงกายภาพของปัญหา ก่อนนำไปสู่การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ เขาให้ความสำคัญกับการอธิบายว่าทำไมโครงสร้างจึงเกิดการเปลี่ยนรูป เหตุใดจึงเกิดหน่วยแรง หรือเหตุใดสมมติฐานบางประการจึงสามารถนำมาใช้ได้มากกว่าการนำเสนอสมการสำเร็จรูปเพียงอย่างเดียว วิธีการดังกล่าวช่วยให้นักศึกษามองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริง



รูปที่ 4 ผลงานทางวิชาการของ Timoshenko ที่ผ่านมือนักศึกษาระดับปริญญาตรีของภาควิชาวิศวกรรมโยธาไม่มากนัก โดยเล่มด้านซ้ายคือการรวม Statics และ Dynamics เข้าด้วยกัน ในขณะที่เล่มกลางในความเข้าใจคือ Structural Analysis 1 ซึ่งกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างแบบดีเทอร์มิเนท (determinate structure)

Timoshenko

ลักษณะเด่นประการที่สอง คือ การจัดลำดับเนื้อหาอย่างเป็นเหตุเป็นผล โดยเริ่มจากหลักการพื้นฐานที่สุดแล้วค่อยพัฒนาไปสู่ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ผู้อ่านจึงสามารถติดตามกระบวนการคิดได้อย่างต่อเนื่อง และเข้าใจที่มาของสมการต่าง ๆ มากกว่าการจดจำสูตรเพื่อใช้คำนวณเพียงอย่างเดียว โดยตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ ลำดับการเรียนรู้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเริ่มจากวิชาพื้นฐานด้านคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ก่อนเข้าสู่ Engineering Mechanics (1937) รวมถึง Advanced Dynamics (1948) ก่อนนำท่านเข้าสู่หัวใจสำคัญของกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ หรือ Mechanics of Materials (1972) จนไปถึงหนังสือที่วิศวกรโยธาทุกคนต้องพบและเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์โครงสร้าง นั่นคือ Theory of Structures (1945) ดังแสดงในรูปที่ 4 และจึงต่อยอดไปสู่การออกแบบโครงสร้างหรือวิชาชีพเฉพาะทาง แนวทางดังกล่าวช่วยให้นักศึกษาสามารถพัฒนาความเข้าใจ

เชิงกลศาสตร์อย่างเป็นลำดับขั้น และกลายเป็นรูปแบบมาตรฐานของหลักสูตรวิศวกรรมในหลายประเทศ

ลักษณะเด่นประการที่สาม คือ การเชื่อมโยงทฤษฎีกับปัญหาทางวิศวกรรมจริง ตลอดทั้งตำรา Timoshenko มักใช้ตัวอย่างที่สะท้อนพฤติกรรมของคาน เสา สะพาน เครื่องจักร หรือองค์อาคารที่สามารถพบได้ในงานวิศวกรรมจริง วิธีการดังกล่าวช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจว่ากลศาสตร์มิใช่เพียงศาสตร์เชิงคณิตศาสตร์ แต่เป็นเครื่องมือสำหรับอธิบายและคาดการณ์พฤติกรรมของโครงสร้างที่ใช้งานอยู่ในโลกแห่งความเป็นจริง (Weingardt, 2007)

อีกประการหนึ่งที่ทำให้ตำราของ Timoshenko ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง คือ การรักษาสสมดุลระหว่างความเข้มข้นทางวิชาการกับความสามารถในการอ่าน เขาไม่ได้ลดทอนความถูกต้องทางทฤษฎีเพื่อให้เนื้อหาอ่านง่าย แต่ก็ไม่ได้ปล่อยให้คณิตศาสตร์กลายเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ วิธีการเขียนเช่นนี้ทำให้หนังสือของเขาสามารถตอบสนองทั้งนักศึกษาระดับปริญญาตรี นักวิจัย และวิศวกรผู้ปฏิบัติงานได้พร้อมกัน

อีกประการหนึ่งที่สำคัญคือ หนังสือของ Timoshenko ได้กลายเป็นตำรามาตรฐานที่ถูกนำไปใช้ในมหาวิทยาลัยชั้นนำทั่วโลกเป็นเวลากว่าหลายทศวรรษ ส่งผลให้เกิด “ภาษากลาง” ทางการศึกษาวิศวกรรม นักศึกษาที่เรียนในประเทศต่าง ๆ สามารถเข้าใจหลักการพื้นฐานทางกลศาสตร์ผ่านกรอบแนวคิดเดียวกัน ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาวิชาชีพวิศวกรรมในระดับสากล



ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่
และบรรดกทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอนวิศวกรรมโยธา

แม้ปัจจุบันมหาวิทยาลัยทั่วโลกจะใช้ตำรารุ่นใหม่ของผู้เขียนรุ่นหลัง เช่น Hibbeler (1984), Beer and Johnston (1981) หรือ Cook (1974) มากขึ้น แต่โครงสร้างหลักของการจัดลำดับเนื้อหา วิธีการอธิบายพฤติกรรมของโครงสร้าง และปรัชญาการสอนที่เน้นความเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติ ยังคงสะท้อนอิทธิพลของ Timoshenko อย่างชัดเจน

ด้วยเหตุนี้ ความสำเร็จของตำรา Timoshenko จึงมิได้เกิดจากความลึกซึ้งของเนื้อหาทางวิชาการเพียงอย่างเดียว หากเกิดจากความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ซับซ้อนให้กลายเป็นระบบการเรียนรู้ที่เข้าใจได้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง คุณลักษณะดังกล่าวทำให้ตำราของเขากลายเป็นต้นแบบของการเขียนตำราวิศวกรรมสมัยใหม่ และยังคงได้รับการยกย่องมาจนถึงปัจจุบัน

5. ยังสำคัญหรือไม่ในยุค FEM และ AI

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา วงการวิศวกรรมได้เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจากความก้าวหน้าของคอมพิวเตอร์และวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข งานคำนวณที่เคยต้องใช้เวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ในอดีต สามารถดำเนินการได้ภายในเวลาเพียงไม่กี่นาทีผ่านโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสมัยใหม่ ขณะเดียวกัน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่อง (Artificial Intelligence and Machine Learning) ก็กำลังเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการ

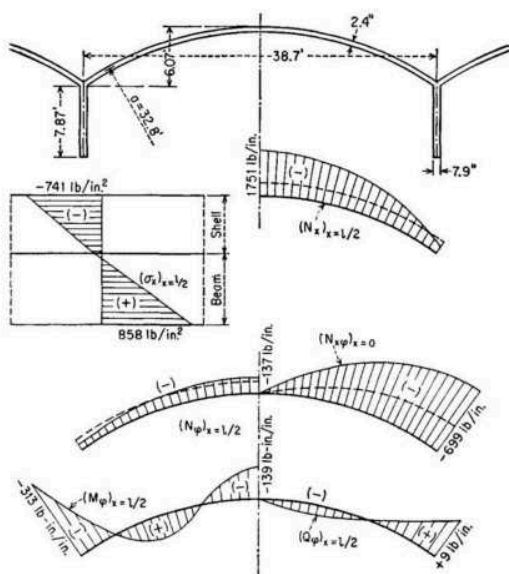
ช่วยออกแบบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐาน

ภายใต้บริบทดังกล่าว จึงเกิดคำถามขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ว่า ความรู้ทางกลศาสตร์ที่ปรากฏอยู่ในตำราของ Timoshenko ยังมีความสำคัญอยู่หรือไม่ หรือได้ถูกแทนที่ด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ไปแล้ว

หากพิจารณาเพียงผิวเผิน อาจดูเหมือนว่าคอมพิวเตอร์ได้เข้ามาแทนที่วิธีการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม เนื่องจากวิศวกรในปัจจุบันไม่จำเป็นต้องแก้สมการเชิงอนุพันธ์จำนวนมากด้วยตนเองเหมือนในอดีต อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในเชิงลึก จะพบว่าคอมพิวเตอร์มิได้เข้ามาแทนที่หลักการทางกลศาสตร์ หากเพียงเข้ามาแทนที่กระบวนการคำนวณที่มนุษย์เคยต้องทำด้วยมือเท่านั้น

ความจริงแล้ว วิธีวิเคราะห์โครงสร้างสมัยใหม่จำนวนมากยังคงตั้งอยู่บนรากฐานทางกลศาสตร์เดียวกับที่ Timoshenko ใช้ศึกษา และถ่ายทอดผ่านตำราของเขา ไม่ว่าจะเป็นแนวคิดเกี่ยวกับสมดุลของแรง การเปลี่ยนรูปของโครงสร้าง ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเปลี่ยนรูป ตลอดจนหลักการพลังงาน ซึ่งล้วนเป็นพื้นฐานสำคัญของการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในปัจจุบัน

ตัวอย่างที่ชัดเจนคือ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์โครงสร้างสมัยใหม่ แม้ FEM จะใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง แต่หลักการพื้นฐานหลายประการที่อยู่เบื้องหลังวิธีดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นหลักการงานเสมือน (virtual work) หลักการพลังงาน หรือวิธีประมาณค่าต่าง ๆ ต่างมีความเชื่อมโยงกับแนวคิดทางกลศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาและเผยแพร่อย่างกว้างขวางผ่านผลงานของ Timoshenko และนักวิทยาศาสตร์ร่วมยุคของเขา



รูปที่ 5 การอธิบายพฤติกรรมและการกระจายตัวแรงภายในโครงสร้างผ่านกราฟิกเพื่อง่ายต่อการพิจารณาใน Theory of Plates and Shells (1940)



นอกจากนี้ แนวคิดที่รู้จักกันในชื่อ Timoshenko Beam Theory ยังคงมีบทบาทสำคัญในงานวิเคราะห์โครงสร้างสมัยใหม่ โดยเฉพาะสำหรับองค์อาคารที่ผลของแรงเฉือนมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างอย่างมีนัยสำคัญ ทฤษฎีดังกล่าวได้รับการนำไปใช้ในองค์ประกอบคานของโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างจำนวนมาก และยังคงเป็นหัวข้อสำคัญในวิชากลศาสตร์โครงสร้างและไฟไนต์เอลิเมนต์จนถึงปัจจุบัน

ในทำนองเดียวกัน แม้ระบบปัญญาประดิษฐ์จะสามารถช่วยประมวลผลข้อมูลจำนวนมากมหาศาล ค้นหารูปแบบ หรือช่วยสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมได้อย่างรวดเร็ว แต่ AI ไม่ได้สร้างกฎทางฟิสิกส์ขึ้นใหม่ ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ยังคงขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูล สมมติฐานของแบบจำลอง และความเข้าใจของวิศวกรที่ทำหน้าที่ตีความผลลัพธ์เหล่านั้น ดังนั้น ยิ่งเครื่องมือมีความซับซ้อนมากขึ้นเท่าใด ความเข้าใจพื้นฐานทางกลศาสตร์ก็ยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นเท่านั้น

ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศกรรมสมัยใหม่
และบรรดกาววิชาการศึกษาที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอนวิศวกรรมโยธา



ประเด็นที่น่าสนใจคือ หากมองย้อนกลับไปยังแนวคิดของ Timoshenko จะพบว่าสิ่งที่เขาพยายามปลูกฝังให้แก่นักศึกษามาตลอดมิใช่ความสามารถในการคำนวณเพียงอย่างเดียว แต่คือความสามารถในการอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพของโครงสร้างบนพื้นฐานของหลักวิทยาศาสตร์และเหตุผล คุณลักษณะดังกล่าวยังคงเป็นสิ่งที่วิศวกรจำเป็นต้องมี ไม่ว่าจะทำงานในยุคของกระดาษคำนวณ ไม่บรรทัดคำนวณ (slide rule) โปรแกรมประเภทไฟไนต์เอลิเมนต์หรือปัญญาประดิษฐ์ก็ตาม (ดูรูปที่ 5)

ดังนั้น หากคอมพิวเตอร์และ AI เปรียบเสมือนเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณและการตัดสินใจ งานของ Timoshenko ก็คือรากฐานทางความคิดที่ทำให้วิศวกรสามารถเข้าใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องมือเหล่านั้นมีความหมายอย่างไร และควรนำไปใช้ในการตัดสินใจทางวิศวกรรมอย่างไร ความสำคัญของเขาจึงไม่ได้ลดลงตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี หากกลับยิ่งเด่นชัดมากขึ้นในยุคที่วิศวกรต้องเผชิญกับข้อมูลและแบบจำลองที่ซับซ้อนกว่าที่เคยมีมา

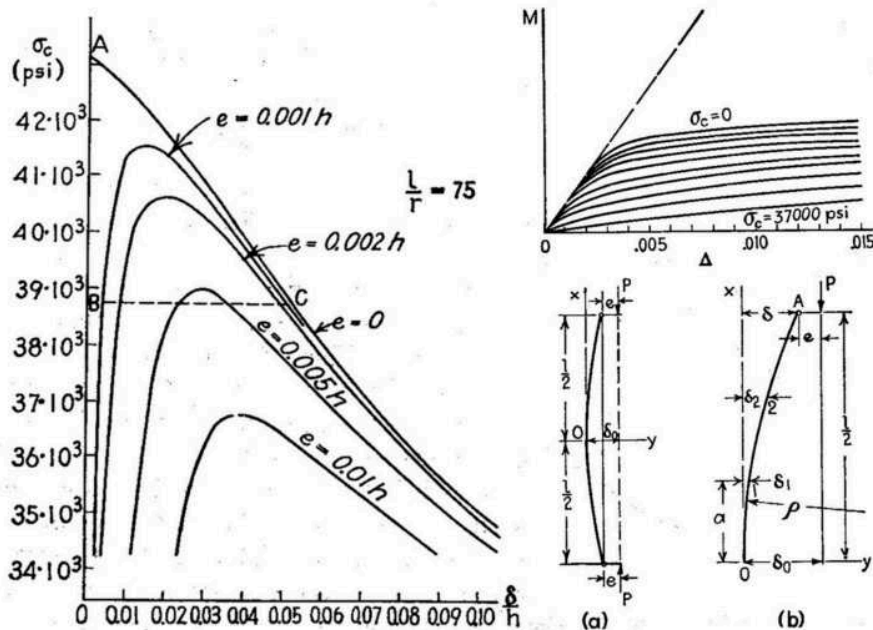
6. ผลกระทบต่อวิศวกรรมโยธาไทย

หากพิจารณาในเชิงวิชาการแล้ว จะพบว่าอิทธิพลของ Timoshenko ได้แทรกซึมอยู่ในระบบการศึกษาวิศกรรมโยธาของไทยมาเป็นเวลาหลายชั่วอายุคน จนกล่าวได้ว่าวิศวกรรมโยธาไทยจำนวนมากเติบโตขึ้นภายใต้กรอบความคิดทางการศึกษาที่ได้รับอิทธิพลจากเขาโดยไม่รู้ตัว

นับตั้งแต่การก่อตั้งหลักสูตรวิศวกรรมโยธาในประเทศไทย การจัดการเรียนการสอนส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากระบบการศึกษาของยุโรปและสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สอง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ตำราของ Timoshenko ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในมหาวิทยาลัยชั้นนำทั่วโลก ด้วยเหตุนี้ โครงสร้างรายวิชาพื้นฐานที่ใช้ในมหาวิทยาลัยไทยจึงมีลักษณะสอดคล้องกับแนวทางการจัดองค์ความรู้ที่ปรากฏในตำราของเขา

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ การเรียนการสอนด้านสถิตยศาสตร์ พลศาสตร์ กลศาสตร์วัสดุ การวิเคราะห์โครงสร้าง ความยืดหยุ่น และเสถียรภาพของโครงสร้าง ซึ่งยังคงเป็นแกนหลักของหลักสูตรวิศวกรรมโยธาไทยจนถึงปัจจุบัน แม้ว่าชื่อวิชาและรายละเอียดของหลักสูตรจะเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย แต่โครงสร้างพื้นฐานขององค์ความรู้ยังคงมีความใกล้เคียงกับแนวทางที่ Timoshenko และนักวิชาการร่วมยุคได้วางรากฐานไว้

นอกเหนือจากห้องเรียนแล้ว อิทธิพลของ Timoshenko ยังสะท้อนอยู่ในวงการวิชาชีพวิศวกรรมโยธาของไทยผ่านการพัฒนาบุคลากรทางวิศวกรรมหลายรุ่น วิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบ วิเคราะห์ ตรวจสอบ และประเมินความปลอดภัยของโครงสร้างพื้นฐาน ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สะพาน เขื่อน หรือระบบขนส่งมวลชน ต่างได้รับการฝึกฝนภายใต้กรอบความรู้ด้านกลศาสตร์ที่มีพัฒนาการสืบทอดมาจากแนวทางการศึกษาที่เขามีสวนสำคัญในการวางรากฐาน (ดูรูปที่ 6)



รูปที่ 6 แนวคิดอันโดดเด่นของ Timoshenko จากหนังสือ *Theory of Elastic Stability* (1961) ในการเชื่อมโยงพฤติกรรมของวัสดุ หน้าตัด และโครงสร้างเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและการเปลี่ยนรูปของหน้าตัดในช่วงที่วัสดุเริ่มเข้าสู่พฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น (บนซ้าย) จากนั้นจึงนำผลดังกล่าวไปวิเคราะห์การโก่งตัวของเสาที่รับแรงอัดและแรงเฉือน (ล่างซ้าย) ก่อนพัฒนาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและการโก่งตัวของเสา จนถึงจุดวิบัติ (ขวา) ผลงานนี้ทำให้วิศวกรสามารถเข้าใจพฤติกรรมของโครงสร้างได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ไม่เพียงว่า “เสาจะเริ่มโก่งเมื่อไร” ตามแนวคิดของ Euler แต่ยังเข้าใจว่า “หลังจากเริ่มโก่งแล้วจะเกิดอะไรขึ้นต่อ” รวมถึงผลของการอ่อนตัวของวัสดุต่อการรับแรงและเสถียรภาพของโครงสร้าง แนวคิดดังกล่าวช่วยสร้าง *engineering sense* ให้แก่วิศวกรนักปฏิบัติในการมองเห็นเส้นทางการวิบัติของโครงสร้าง และถือเป็นรากฐานสำคัญของการวิเคราะห์เสถียรภาพไม่เชิงเส้นและการวิเคราะห์ด้วย *Finite Element Method* ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ผลกระทบดังกล่าวเห็นได้ชัดเป็นพิเศษในสถาบันอุดมศึกษาของไทยที่มีการผลิตวิศวกรโยธามาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายทศวรรษ หลักสูตรและตำราที่ใช้ในการเรียนการสอนจำนวนมากได้รับการพัฒนาต่อยอดจากตำราสากลที่มีรากฐานทางแนวคิดเดียวกับผลงานของ Timoshenko ส่งผลให้แนวคิดด้านกลศาสตร์วิศวกรรมของเขากลายเป็นส่วนหนึ่งของระบบการศึกษาวิศวกรรมโยธาไทยโดยปริยาย

7. คุณูปการและความหมายของมรดกทางวิชาการ

Soderberg (1982) ซึ่งเป็นลูกศิษย์และผู้ร่วมงานของ Timoshenko ได้กล่าวไว้อย่างชัดเจนว่า คุณูปการที่สำคัญที่สุดของเขาอาจอยู่ที่การเป็นครูและผู้สร้างระบบการศึกษาด้านกลศาสตร์ประยุกต์ มากกว่าการเป็นนักวิจัยเพียงอย่างเดียว

แม้โลกวิศวกรรมในปัจจุบันจะขับเคลื่อนด้วยคอมพิวเตอร์ การจำลองเชิงตัวเลข และปัญญาประดิษฐ์ แต่หลักการที่ Timoshenko ยึดถือยังคงมีความสำคัญอย่างยิ่ง นั่นคือ การเชื่อมโยงคณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ และพฤติกรรมจริงของโครงสร้างเข้าด้วยกันเพื่อการตัดสินใจทางวิศวกรรมอย่างมีเหตุผล คุณูปการที่แท้จริงของ Timoshenko จึงมิได้อยู่ที่สมการหรือทฤษฎีใดเพียงอย่างเดียว หากแต่อยู่ที่วิธีคิดเชิงวิศวกรรมที่มุ่งทำความเข้าใจธรรมชาติของปัญหาอย่างเป็นระบบ และใช้หลักวิทยาศาสตร์อธิบายพฤติกรรมของโครงสร้างก่อนนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบที่ถูกต้อง

แม้ Timoshenko จะจากโลกนี้ไปตั้งแต่ปี ค.ศ. 1972 แต่มรดกทางวิชาการของเขายังคงมีชีวิตอยู่ผ่านตำราหลักสูตรงานวิจัย และวิธีคิดที่ยังคงถูกถ่ายทอดจากวิศวกรรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งทั่วโลก กล่าวได้ว่า หากโครงสร้างพื้นฐานสมัยใหม่เป็นผลลัพธ์ของความรู้ทางวิศวกรรมที่สั่งสมมาตลอดศตวรรษที่ผ่านมา Timoshenko ก็เป็นหนึ่งในผู้วางรากฐานสำคัญที่สุดขององค์ความรู้นั้น

ในท้ายที่สุด เรื่องราวของ Timoshenko มิได้เป็นเพียงประวัติของนักวิชาการผู้ยิ่งใหญ่คนหนึ่งเท่านั้น หากยังเป็นเครื่องเตือนใจว่างานวิศวกรรมที่ยั่งยืนมิได้เกิดจากเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากความเข้าใจอย่างลึกซึ้งต่อหลักการพื้นฐาน ความมุ่งมั่นในการเรียนรู้ และความตั้งใจที่จะถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่คนรุ่นต่อไป ซึ่งเป็นคุณค่าที่ยังคงมีความหมายต่อวิชาชีพวิศวกรรมเสมอ ไม่ว่ายุคสมัยจะเปลี่ยนแปลงไปเพียงใด



8. เอกสารอ้างอิง

- Beer, F.P. and Johnston, E.R. Jr. (1981) *Mechanics of Materials*. New York: McGraw-Hill.
- Cook, R.D. (1974) *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Hibbeler, R.C. (1984) *Mechanics of Materials*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Soderberg, C.R. (1982) 'Stephen P. Timoshenko (December 23, 1878–May 29, 1972)', *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences*, Vol. 53, pp. 323–349.
- Simha, K.R.Y. (2002) 'Timoshenko and His Books', *Resonance*, Vol. 7, No. 10, pp. 45–53.
- Timoshenko, S.P. (1968) *As I Remember: The Autobiography of Stephen P. Timoshenko*. Translated from Russian by R. Addis. Princeton, NJ: D. Van Nostrand Company, Inc.
- Weingardt, R.G. (2007) 'Stephen P. Timoshenko: Father of Engineering Mechanics in the U.S.', *STRUCTURE Magazine*, August, pp. 68–71.

9. เอกสารอ้างอิง

1. *Applied Elasticity*, (with J M Lessells), D Van Nostrand Co., Inc., New York, 1925.
2. *Vibration Problems in Engineering*, D Van Nostrand Co., Inc., New York, 1st Ed., 1928, 2nd Ed., 1937, 3rd Ed., 1955, (with D H Young).
3. *Strength of Materials*. Part I, Elementary Theory and Problems, D Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey, 1st Ed., 1930, 2nd Ed., 1940, 3rd Ed., 1955.
4. *Strength of Materials*, Part II. *Advanced Theory and Problems*. D Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey, 1st Ed., 1930, 2nd Ed., 1941, 3rd Ed., 1956.
5. *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill Book Co., Inc., Princeton, New York, 1st Ed., 1934, 2nd Ed., 1951 (with J.N. Goodier).
6. *Elements of Strength of Materials*, D Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey, 1st Ed., 1935, 2nd Ed. 1940, 3rd Ed., 1949 (all with G H MacCullough), 4th Ed., 1962 (with D H Young).
7. *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1st Ed., 1936, 2nd Ed., 1961 (with J.M. Gere).
8. *Engineering Mechanics*, (with D H Young), McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1st Ed., 1937, 2nd Ed., 1940, 3rd Ed., 1951, 4th Ed., 1956.
9. *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill Co., Inc., New York, 1st Ed., 1940, 2nd Ed., 1959 (with S Woinowsky-Krieger).
10. *Theory of Structures*, (with D H Young), McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1st Ed., 1945, 2nd Ed., 1965.
11. *Advanced Dynamics*, (with D H Young), McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1948.
12. *History of Strength of Materials*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1953.
13. *Engineering Education in Russia*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1959.
14. Timoshenko, S.P. (1968) *As I Remember: The Autobiography of Stephen P. Timoshenko*. Translated from Russian by R. Addis. Princeton, NJ: D. Van Nostrand Company, Inc.
15. Timoshenko, S.P. and Gere, J.M. (1972) *Mechanics of Materials*. New York, NY: D. Van Nostrand Company.



ตีโมเชนโก: บิดาแห่งการศึกษากลศาสตร์วิศวกรรมสมัยใหม่
และมรดกทางวิชาการที่ยังคงหล่อหลอมการเรียนการสอนวิศวกรรมโยธา

เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ศ. ดร.ปานวัฒน์ จ้อยกลัด

จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา เกียรตินิยมอันดับ 1 จากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ เมื่อ พ.ศ. 2546 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ในสาขาวิศวกรรมโครงสร้าง จนจบการศึกษา เมื่อ พ.ศ. 2548 ต่อมาได้รับทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 10 จากสำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) เพื่อศึกษาระดับปริญญาเอกที่สถาบันเทคโนโลยี นานาชาติสิรินธร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ปัจจุบันเป็นรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (มศว) และดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยอธิการฝ่ายพัฒนากายภาพ สำหรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ได้รับใบอนุญาตระดับวุฒิวิศวกรโยธา (วย.) นอกจากนี้ยังได้เข้าร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ในตำแหน่งประธานสาขา วิศวกรรมโยธา และบรรณาธิการใหญ่ โยธาสาร (ฉบับออนไลน์) อีกด้วย



จัดโดย
คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรม
โครงสร้างและสะพาน
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อบรมเรื่อง :

Basic Structural Dynamics and Seismic Design of Structures

พลศาสตร์โครงสร้างและการออกแบบโครงสร้าง
ต้านทานแรงแผ่นดินไหวเบื้องต้น



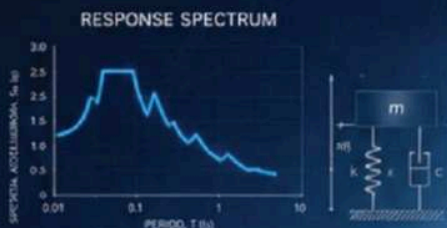
วันที่อบรม
15 & 29
สิงหาคม 2569
(2 วัน)



สถานที่
อาคาร วสท.



CPD
24
หน่วย



การออกแบบโครงสร้างให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้อย่างปลอดภัย และเหมาะสมต่อการใช้งาน จำเป็นต้องอาศัยการออกแบบตามมาตรฐานการต้านทานแรงแผ่นดินไหวที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีพื้นฐานสำคัญมาจากรูปร่างด้านพลศาสตร์โครงสร้างและวิศวกรรมแผ่นดินไหว โดยศาสตร์เหล่านี้มักจะถูกสอนในระดับระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ดังนั้น การอบรมนี้จึงจัดขึ้นเพื่อเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในหลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบโครงสร้างให้สามารถต้านทานแรงแผ่นดินไหว

DAY 1 15 สิงหาคม 2569

พลศาสตร์โครงสร้างพื้นฐาน
(Basic Structural Dynamics)



1



ระบบที่มีระดับชั้นความเสรีเท่ากับหนึ่ง (SDOF)
• Part 1: Free Vibration
• Part 2: Forced Vibration

2



ระบบที่มีระดับชั้นความเสรีมากกว่าหนึ่ง (MDOF)
Part 1:
• Generalized Coordinates
• Formulate Equation of Motion
• Natural Frequencies and Mode Shapes

Part 2:
• Orthogonality Properties
• Modal Analysis
• Numerical Evaluation of Dynamic Responses



วิทยาการ

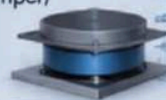
DAY 2 29 สิงหาคม 2569

พื้นฐานการออกแบบโครงสร้างต้านทาน
แรงแผ่นดินไหว (Fundamental of
Seismic Design of Structures)



1

ภาพรวมการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงแผ่นดินไหว
• Overview of Seismic Design of Structures (Outtrigger, Base isolation, BRB, Tuned mass damper)
• Real sample projects
• Response Spectrum Analysis (RSA)



2

มาตรฐานสำหรับการออกแบบต้านทานแรงแผ่นดินไหว
มยผ. 1301/1302-61

3

แนวทางปฏิบัติที่สอดคล้องกับมาตรฐานสำหรับการออกแบบ
ต้านทานแรงแผ่นดินไหว มยผ. 1301/1302-61
• Ex 1: 4-Story Building using Equivalent Statics
• Ex 2: 3-Story Building using Response Spectrum
• Ex 3: 39-Story Building using Response Spectrum



ดร. ประพันธ์ บรชัญญ
คณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง
และสะพาน วสท.



ดร. ชนะ สิ้นกรธยัโรด
คณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง
และสะพาน วสท.



ดร. ประวิทย์ ชุมประดิธา
คณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง
และสะพาน วสท.



ดร. เบลี เชี่ยววณิชยกร
คณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง
และสะพาน วสท.



สมพงษ์ ธีรานพ
คณะอนุกรรมการ
สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง
และสะพาน วสท.

ค่าลงทะเบียน

สมาชิก วสท.
4,500
บาท

บุคคลทั่วไป
5,500
บาท

สแกนเพื่อลงทะเบียน



MORE DETAILS

คุณภาพพร เสมือนใจ



0-2184-4600-9 ต่อ 211

E-mail : chadaporn.eit@gmail.com



ในวาระการดำเนินการภายใต้ประธานสภาวิศวกรรมโยธา
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด
คอลัมน์นี้จะกลับมานำเสนอบทความที่สร้างความเข้าใจในเรื่องการออกแบบและคำนวณ
สำหรับความปลอดภัยสาธารณะ ในวันที่ขอนำเสนอระบบต้านทานน้ำหนักบรรทุก
ด้านข้าง (lateral load) เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหมู่มวลสมาชิก

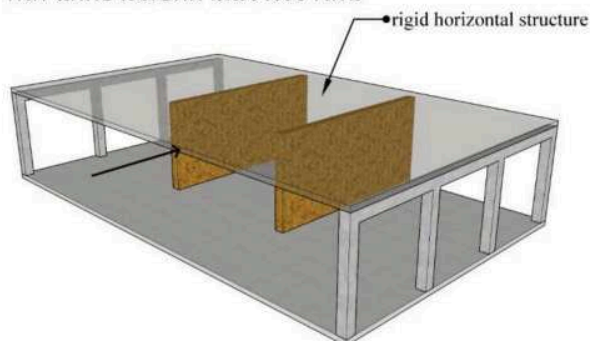
ระบบต้านทานน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง Resistive System for Lateral Load



ความเข้าใจของวิศวกรโดยทั่วไปมักคิดว่าการรับ
น้ำหนักบรรทุกด้านข้างเป็นภาระขององค์อาคาร
ทางดิ่งขนาดใหญ่ เช่น ผนังรับแรงเฉือน ผนังบันได
โดยอาจไม่ได้พิจารณาองค์ประกอบสำคัญของระบบ
ที่ใช้ในการรับน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง ซึ่งต้อง
ประกอบไปด้วย องค์ประกอบทางราบ (horizontal
components) และองค์ประกอบทางดิ่ง (vertical
components)

องค์ประกอบทางราบ คือ ระบบทางราบที่มีเป็น
เพียงการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแนวตั้ง (gravity load)
เท่านั้น แต่ยังมีหน้าที่เป็น horizontal diaphragm
หรือเรียกว่า “กะบังลม” รับและรวบรวมแรงลม
และถ่ายไปสู่องค์ประกอบทางดิ่งอย่างเป็นระบบ ดัง
นั้น horizontal diaphragm จึงต้องมีความแข็งแรง

เพียงพอ (enough strength) และมีสติฟเฟนสที่เพียงพอ
(sufficient stiffness) ซึ่งได้แก่ ระบบแผ่นพื้นใดระบบใด
ก็ได้ แต่ต้องสมบัติตามแจ้งไว้ข้างต้น



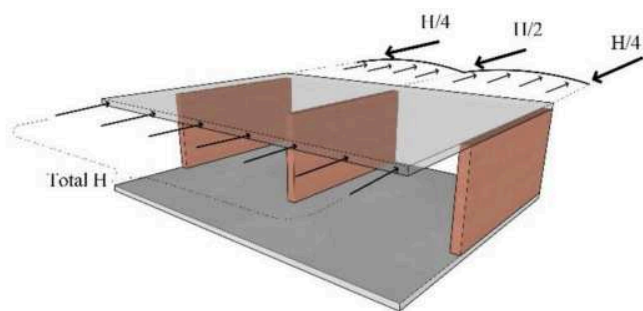
หากพิจารณาจากรูปข้างบนจะเห็นว่าองค์ประกอบแนว
ดิ่งของอาคารนี้ประกอบไปด้วย portal frames ข้างของ
อาคาร และผนังรับแรง 2 แผ่นที่อยู่ตรงกลาง ดังนั้นระบบ
รับน้ำหนักบรรทุกด้านข้าง จึงประกอบไปด้วย โครงสร้างใน
แนวนอนที่แข็งแรง (rigid horizontal structure) และโครงสร้าง
แนวตั้งที่แข็งแรง (strong vertical structure) และหน้าที่
ของ diaphragm จะทำให้การรวบรวมแรงลมหรือน้ำหนัก
บรรทุกทางด้านข้างนี้เป็นไปอย่างมีระบบ

มาพิจารณาหน้าที่ของ “กะบังลม” ซึ่งต้องมีความแข็งแรง
เพียงพอ และมีสติฟเฟนสเพียงพอ จึงจะทำให้ได้ระบบ
ทางราบที่แข็งแรง (rigid horizontal diaphragm) จากรูปต่อไป
นี้ เมื่อเปรียบเทียบ diaphragm ที่มีสภาพแตกต่างกันไปดัง

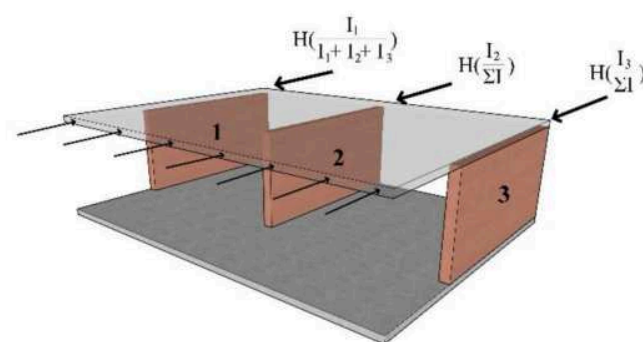




รูปล่างจะให้ผลกระทบของการกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกด้านลงไป
ยังองค์อาคารแนวดิ่งที่แตกต่างกันออกไป



Flexible Horizontal Diaphragm



Rigid Horizontal Diaphragm

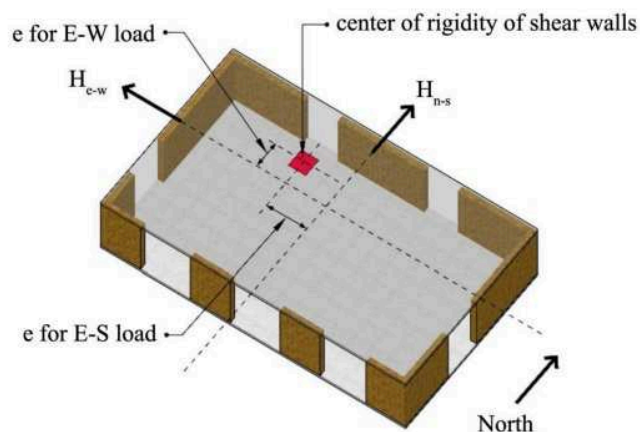
ความสำคัญของ “กะบังลม” ที่แข็ง จะทำให้ระนาบนั้นสามารถ
ที่จะรวมแรงลม และถ่ายน้ำหนักบรรทุกกระทำด้านข้างนั้นไปอย่าง
เป็นระบบ ซึ่งแตกต่างอย่างมากกับ flexible diaphragm ที่เสียรูป
ทำให้น้ำหนักกลางรับน้ำหนักบรรทุกทุกด้านข้างไปมากกว่าผนังด้านข้าง
ทั้งสอง ขณะที่ rigid diaphragm จะกระจายน้ำหนักบรรทุกทุกด้าน

ข้างไปตามสัดส่วนของสติฟ (เทอมแบบง่ายคือ EI)
ที่เป็นความแข็งแรงของผนังแต่ละแผ่น การ
พิจารณาระนาบของกะบังลมเหมือนกับการ
กำหนดให้ระนาบของหลังคาที่มุงด้วยเครื่องมุง
ที่ต้องใช้ X-bracing ในตำแหน่งที่เหมาะสม และ
เป็นที่น่าเสียดายว่าวิศวกรผู้ออกแบบปัจจุบันไม่ได้
ดำเนินการในส่วนนี้เพราะใน computer program
มี default ที่กำหนดให้องค์อาคารมีทางราบคุณสมบัติ
ที่ทำให้เกิดความแข็งแรงตามแนวแกนมาก (EA =
ค่ามากมาก) และหลายอาคารที่ดำเนินการออกแบบ
และคำนวณขาดองค์ประกอบสำคัญที่ต้องให้ระนาบ
หลักคาแข็ง

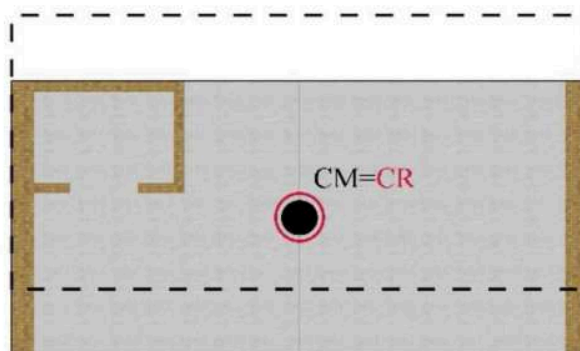
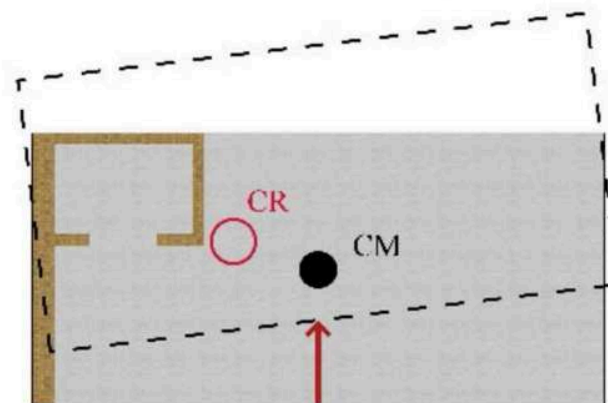
เมื่อเราทราบหน้าที่และสมบัติของ horizontal
diaphragm แล้ว ในอาคารทั่วไปที่น้ำหนักบรรทุก
จะถ่ายไปยังองค์อาคารแนวดิ่ง การกำหนดความ
แข็งแรงขององค์อาคารจึงมีความสำคัญเพื่อมิให้เกิด
การบิด (torsional effect) ดังตัวอย่างอาคาร
ในรูปด้านล่าง เป็นอาคารหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า
จะเห็นได้ว่าจุดศูนย์กลางของมวล (center of
mass, CM) จะอยู่จุดกลางของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
ในขณะที่อาคารนี้มีผนังจำนวนมากรอบอาคาร
และพบว่าผนังด้านทิศเหนือมีความแข็งแรง
มากกว่าทิศใต้ และผนังด้านทิศตะวันตกมีความ
แข็งแรงมากทิศตะวันออก จึงทำให้จุดศูนย์กลาง
ความแข็งแรง (center of rigidity, CR) ของอาคาร
อยู่ในตำแหน่งไปทางทิศเหนือเฉียงไปทางทิศตะวันตก



ระบบต้านทานน้ำหนักบรรทุกทุกด้านข้าง



จุด CR จะเป็นจุดหมุนในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกทุกด้านข้างจะกระทำผ่านจุด CM เมื่อสองจุดนี้ไม่ทับกันจะทำให้อาคารหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและอาคารจะได้ผลกระทบของแรงบิด ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงเฉือนในผนังโดยตรง และหากอาคารไม่ได้ออกแบบรับแรงดังกล่าวไว้ ก็จะทำให้เกิดแรงเกินจากการการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมพื้นฐานที่ใช้โดยทั่วไปที่พิจารณาผนังแต่ละด้านเป็น shell element ไปตามส่วนประกอบของผนังรวม (pier)



จากรูปข้างบน จะเห็นว่าในกรณีที่วางผนังไว้ที่ด้านซ้ายสุดร่วมกับ core wall ตำแหน่งของ CR จะอยู่ใกล้ไปทางซ้ายและห่างมากจาก CM เป็นผลให้อาคารนี้บิดและหมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามมาตรฐานการออกแบบและคำนวณจะเรียกเป็นผนังไม่ปกติ (irregularity Plan) เมื่อกำหนดผนังรับแรงเฉือนไปอีกด้านทางขวามือสุด จะทำให้อาคารนี้มีการเปลี่ยนตำแหน่งที่เป็นปกติ ซึ่งกรณีนี้ถือเป็นหลักสำคัญของการกำหนดระบบโครงสร้างที่ต้องหลีกเลี่ยงการเกิดการบิดของอาคาร





การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการจัดการขยะ ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้าง ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ปัญหาขยะมูลฝอยนับเป็นหนึ่งในความท้าทายสำคัญ
ของชุมชนเมืองและท้องถิ่นในปัจจุบัน โดยเฉพาะขยะที่
ไม่สามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลแบบดั้งเดิมได้ เช่น
พลาสติกชนิดอ่อน บรรจุภัณฑ์ปนเปื้อน เศษแก้ว ขงมัลติเลเยอร์
และขยะกำพร้าประเภทต่าง ๆ ขยะเหล่านี้มักถูกส่งไปกำจัด
ด้วยวิธีการฝังกลบหรือเผา ซึ่งไม่เพียงเพิ่มภาระต่อระบบ
จัดการขยะของชุมชน แต่ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
ทั้งในด้านมลพิษทางอากาศ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
และการสะสมของสารตกค้างในระยะยาว

ในขณะเดียวกัน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องแบกรับ
ค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการจัดเก็บ ขนส่ง และกำจัดขยะ
ปลายทาง หากการจัดการไม่เป็นระบบหรือไม่เหมาะสมกับ
บริบทพื้นที่ อาจนำไปสู่ปัญหาด้านสุขอนามัย สิ่งแวดล้อม
ตลอดจนข้อขัดแย้งระหว่างหน่วยงานและประชาชนในชุมชนได้
ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนา
แนวทางจัดการขยะที่ไม่เพียงลดปริมาณขยะ แต่ยังสามารถ
สร้างมูลค่าเพิ่มและเกิดประโยชน์ต่อชุมชนอย่างเป็น
รูปธรรม

อีกด้านหนึ่ง ชุมชนยังคงมีความต้องการใช้วัสดุก่อสร้าง
พื้นฐานอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นอิฐบล็อก แผ่นทางเท้า
บล็อกปูพื้น หรือวัสดุสำหรับซ่อมแซมสาธารณูปโภคในพื้นที่
อย่างไรก็ตาม วัสดุก่อสร้างทั่วไปในท้องตลาดมีต้นทุนค่อนข้างสูง
และกระบวนการผลิตจำนวนมากยังพึ่งพาทรัพยากร

ธรรมชาติและพลังงาน การนำขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้
กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบวัสดุก่อสร้าง จึงเป็นแนวทาง
ที่ช่วยตอบโจทย์ทั้งการลดขยะ ลดการใช้ทรัพยากรใหม่
และเพิ่มทางเลือกด้านวัสดุให้แก่ชุมชน

การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชนจึงเป็นหัวใจ
สำคัญของการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน เทคโนโลยีดังกล่าวควร
เป็นกระบวนการที่เข้าใจง่าย ใช้งานได้จริง ต้นทุนไม่สูง และ
สามารถประยุกต์ใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้ เพื่อเปิดโอกาส
ให้ประชาชนและผู้ประกอบการชุมชนมีส่วนร่วมในการ
เปลี่ยน “ขยะ” ให้กลายเป็น “ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า” ผ่าน
แนวคิดการเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้ง หรือ Upcycling
เช่น การอัดขึ้นรูปหรือการหลอมขยะร่วมกับวัสดุประสาน
เพื่อผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่
เหมาะสมกับบริบทชุมชน สำหรับนำขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิล
ได้มาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างต้นแบบ ได้แก่ อิฐปูพื้นที่มีส่วน
ผสมของขยะพลาสติก อิฐปูพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นวัสดุ
ผสม และแผ่นปาติเกิ้ลบอร์ดจากขยะของมัลติเลเยอร์
โดยให้ความสำคัญทั้งด้านกระบวนการผลิต สมบัติของวัสดุ
การทดสอบเทียบเคียงกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และการนำ
ไปใช้งานจริงในพื้นที่

นอกจากการลดปริมาณขยะและผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อมแล้ว แนวทางดังกล่าวยังสอดคล้องกับแนวคิด



การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เศรษฐกิจ BCG ที่มุ่งใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า สร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถต่อยอดสู่การสร้างอาชีพ วิสาหกิจชุมชน และรายได้เสริมให้แก่ประชาชนในพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม อันเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชนควบคู่ไปกับการพัฒนานวัตกรรมด้านวัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืน

ระเบียบวิธีการวิจัย:

งานวิจัยนี้ทำการนำขยะที่ไม่ได้นำไปรีไซเคิล คือ ขยะพลาสติกทั่วไปในชุมชน ขยะของ มัลติเลเยอร์ และขยะเศษแก้วสี มาทำการผลิตเป็นต้นแบบวัสดุด้วยเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชน ดังนี้

(1) วัสดุพื้นที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้

(2) วัสดุพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นวัสดุผสม และ

(3) แผ่นปาติเกิ้ลบอร์ดจากขยะของ มัลติเลเยอร์ ทำการทดสอบสมบัติของวัสดุเทียบเคียงกับมาตรฐาน มอก. ที่เกี่ยวข้อง และนำไปทดสอบการใช้งาน

ในพื้นที่จริง จากนั้นทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับผู้ที่เกี่ยวข้อง



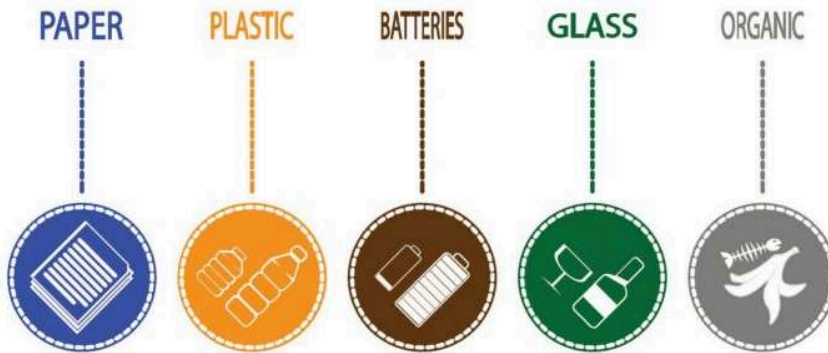
ผลการวิจัย:

การพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้างจากขยะที่ไม่ได้นำไปรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชน ในโครงการวิจัยนี้สามารถผลิตวัสดุก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมและเครื่องจักรที่ผู้ประกอบการร่วมทุนได้ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อชุมชนที่มีต้นทุนต่ำ ดังนี้ (1) วัสดุพื้นที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ใช้วิธีการบดย่อยขยะพลาสติกทดแทนมวลรวมธรรมชาติบางส่วนผสมในคอนกรีตและอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล็อกปูพื้น (2) วัสดุพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นวัสดุผสม ใช้วิธีการบดย่อยขยะเศษแก้วทดแทนมวลรวมธรรมชาติบางส่วนผสมในคอนกรีตแล้วเทลงในแบบหล่อ จากนั้นทำการขัดผิวหน้าแบบพื้นหินขัด (3) แผ่นปาติเกิ้ลบอร์ดจากขยะของมัลติเลเยอร์ ใช้วิธีการบดย่อยของมัลติเลเยอร์แล้วนำไปอัดร้อนเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดร้อนแผ่นพลาสติกแล้วทำการให้แรงค้ำงพร้อมกับการลดอุณหภูมิแผ่นด้วยเครื่องคูลลิ่ง (cooling) ที่เหมาะสมสำหรับชุมชน ทั้งนี้เครื่องจักรอัดบล็อกปูพื้นที่เหมาะสมกับชุมชนที่ผู้ประกอบการประดิษฐ์ขึ้นนั้น ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับเครื่องจักรราคาแพงที่จำหน่ายในท้องตลาด ส่วนเครื่องเครื่องอัดร้อนแผ่นพลาสติกมัลติเลเยอร์ไม่ต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพกับเครื่องในท้องตลาด เนื่องจากกระบวนการที่โครงการวิจัยนี้ทำเป็นนวัตกรรมใหม่ในกระบวนการอัดแผ่นมัลติเลเยอร์ที่ยังไม่มีที่ใดสามารถทำได้มาก่อน

ทดสอบสมบัติของวัสดุก่อสร้างที่ได้จากการผลิตเทียบเคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยโครงการนี้ได้ทำการทดสอบมาตรฐานเทียบเคียงเพื่อให้ได้สูตรในการผลิตและสามารถนำข้อมูลผลการทดสอบมาอ้างอิงในการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ของชุมชนได้ โดยผลการทดสอบมีดังนี้

(1) วัสดุพื้นที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ทำการอัดขึ้นรูปบล็อกปูพื้นขนาด 20 x 20 x 6 ซม. ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.827-2565 เรื่อง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่าลักษณะทั่วไปผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยสูตรที่สามารถผสมขยะพลาสติกได้มากที่สุดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : หินปูน : เศษขยะพลาสติก : น้ำ เท่ากับ 1 : 2.90 : 0.10 : 0.5 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 411.54 กก./ตร.ซม. ความหนาแน่น 2011.02 กก./ลบ.ม. ปริมาณความชื้นร้อยละ 2.63 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 7.85 เมื่อนำสูตรที่ได้มาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักร พบว่าเครื่องอัดบล็อกที่ผู้ประกอบการประดิษฐ์ขึ้นมาให้คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นใกล้เคียงกับเครื่องอัดบล็อกราคาสูงที่จำหน่ายในท้องตลาด

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



(2) อิฐปูพื้นหินขัดที่ใช้เศษแก้วเป็นวัสดุผสม ทำการเทหล่อแผ่นอิฐปูพื้นหินขัด โดยแบ่งออกเป็น 2 ผลิตภัณฑ์ คือ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.827-2565 เรื่อง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และกระเบื้อง คอนกรีตปูพื้น ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.378-2531 เรื่อง กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น พบว่าทั้งสองผลิตภัณฑ์มีลักษณะทั่วไปผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน และสูตรที่มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. มีดังนี้ อัตราส่วนของคอนกรีตชั้นล่าง คือ อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : หินปูนหินปูน : เศษแก้วบดย่อยขนาด 4-8 มม. เท่ากับ 1 : 3 : 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.83 ในส่วนของคอนกรีตชั้นบนผิวหน้าใช้ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ขาว : เศษแก้วบดย่อยขนาดเล็กกว่า 4 มม. : เศษแก้วบดย่อยขนาด 4-8 มม. เท่ากับ 1 : 0.5 : 0.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.3

(3) แผ่นปาติเกิ้ลบอร์ดจากขยะของมัลติเลเยอร์ ทำการบดย่อยพลาสติกแล้วอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยไม่ต้องใช้ตัวเชื่อมประสาน ให้น้ำหนักคงค้างพร้อมกลดความร้อนด้วยคุลิ่ง ได้แผ่นขนาด 35 x 50 x 1 ซม. สำหรับเป็นวัสดุเอกประสงค์หรือวัสดุตกแต่ง เนื่องจากแผ่นอัดจากขยะพลาสติกยังไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ จึงทำการทดสอบตามมาตรฐานที่มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานมากที่สุด คือ มอก.876-2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ พบว่ามีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ดูดความชื้นน้อยมาก ไม่พองตัว มีความต้านแรงดัด และความต้านแรงดึงดัดฉากกับผิวหน้า ใกล้เคียงกับมาตรฐาน และมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแผ่นลามิเนตสำหรับปิดผิวหน้าวัสดุอื่นเนื่องจากกันน้ำได้ดี มีเงา สวยงาม

ทดสอบการใช้งานในพื้นที่จริง ได้ทำการทดสอบปูพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และพื้นที่บริเวณข้างอาคาร วช.4 ผลการทดสอบพบว่าสามารถใช้งานได้จริงเหมือนกับวัสดุก่อสร้างประเภทเดียวกันที่จำหน่ายในท้องตลาด และทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับกลุ่มเป้าหมาย ชุมชนบ้านอำเภอบ้านอ่าว อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี, ชุมชนเทศบาลนครหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ชุมชนบ้านขุนสมุทรจีน อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ สามารถสร้างอาชีพใหม่หรืออาชีพเสริมของวิสาหกิจชุมชนได้ มีรายได้เพิ่มครัวเรือนมากกว่า 5,000 บาทต่อเดือน หรือ 60,000 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง:

1. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง “การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” งบประมาณปี 2566 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

2. โครงการวิจัย เรื่อง “การขยายผลนวัตกรรมวัสดุหมุนเวียนมาตรฐานอุตสาหกรรมสู่ห่วงโซ่อุปทานการก่อสร้างและตกแต่งเพื่อเพิ่มรายได้สุทธิครัวเรือนในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย” งบประมาณปี 2569 สำนักงานเร่งรัดการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มความสามารถการแข่งขันและการพัฒนาพื้นที่ (องค์การมหาชน)





การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

รางวัลจากการประกวด:

1) รางวัลจากการประกวดผลงานวิจัยระดับนานาชาติ รางวัล GOLD MEDAL การประกวดในงาน “2023 Japan Design, Idea and Invention Expo (JDIE 2023)” ผลงานเรื่อง “High Value Upcycling Products from Plastic Pollution” จัดโดย World Invention Intellectual Property Associations (WIIPA) ณ Tokyo Ariake Garden Convention Center กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ระหว่างวันที่ 7-8 กรกฎาคม 2566

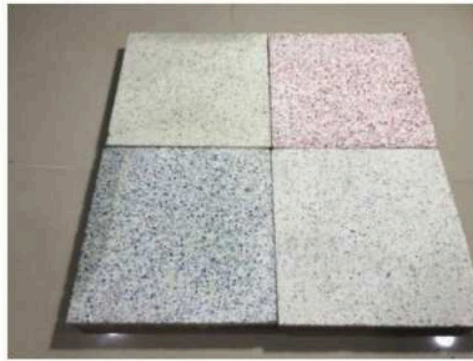


2) รางวัลจากการประกวดผลงานวิจัยระดับนานาชาติ รางวัล WIIPA SPECIAL AWARD จาก World Invention Intellectual Property Associations การประกวดในงาน “2023 Japan Design, Idea and Invention Expo (JDIE 2023)” ผลงานเรื่อง “High Value Upcycling Products from Plastic Pollution” จัดโดย World Invention Intellectual Property Associations (WIIPA) ณ Tokyo Ariake Garden Convention Center กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ระหว่างวันที่ 7-8 กรกฎาคม 2566

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ
ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ตัวอย่างผลิตภัณฑ์:



แผ่นปูพื้นหินขัดจากเศษแก้ว



บล็อกปูพื้นที่มีส่วนผสมของขยะพลาสติกที่ไม่
สามารถรีไซเคิลได้



แผ่นปาดิเกลบอร์ดจากขยะของมัลติเลเยอร์





การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ
ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การทดสอบในสถานที่จริง:

จัดสวนข้างอาคาร วช.4 สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ



การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ
ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ถ่ายทอดเทคโนโลยี:



ชุมชนเทศบาลนครหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



ชุมชนบ้านขุนสมุทรจีน อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ



การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ
ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ชุมชนบ้านอำเภอ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี



เกี่ยวกับผู้ประพันธ์



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชุม คำพูด

prachoom_k@rmutt.ac.th,
prachoom.k@en.rmutt.ac.th

การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะ
ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



การศึกษา

- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- รัฐประศาสนศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ตำแหน่งปัจจุบัน

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- ผู้อำนวยการหน่วยจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดเทคโนโลยีแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
- หัวหน้าหน่วยวิจัยวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี





จัดโดย สถาบันวิศวกรรม วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อบรมเรื่อง

EIT Mini Civil



วิชา การออกแบบโครงสร้างเหล็ก
ขั้นพื้นฐาน

5-6 กันยายน 2569 (เสาร์-อาทิตย์)

เวลา 09.00-16.00 น.

อบรมออนไลน์ผ่านโปรแกรม ZOOM

เนื้อหา

5 กันยายน 2569

- Steel as structural material
- Design Codes and Philosophy
(Load & Resistance Factor Design / Allowable Strength Design)
- Tension Member
- Simple Compression Member
- Flexural Member

6 กันยายน 2569

- Compression Member in a Frame
- Beam-Column
- Introduction to Connection Design



วิทยากร



ผศ.ดร.จรัญ ศรีชัย



ผศ.ดร.วงศ์ วรารักษ์สัจจะ

ค่าลงทะเบียน

แยกวิชา

รวมวิชา

สมาชิก วสท.

2,500 บาท

13,000 บาท

บุคคลทั่วไป

3,000 บาท

16,000 บาท

การชำระเงิน

โอนเงิน เข้าบัญชีเงินฝากออมทรัพย์

สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

- ธนาคารไทยพาณิชย์ สาขาสาทรทาวเวอร์ เลขที่ 045-2-03026-1

- ธนาคารกรุงไทย สาขาจามจุรีสแคว เลขที่ 162-0-09914-4

PDU
24 หน่วย

รุ่นที่ 8

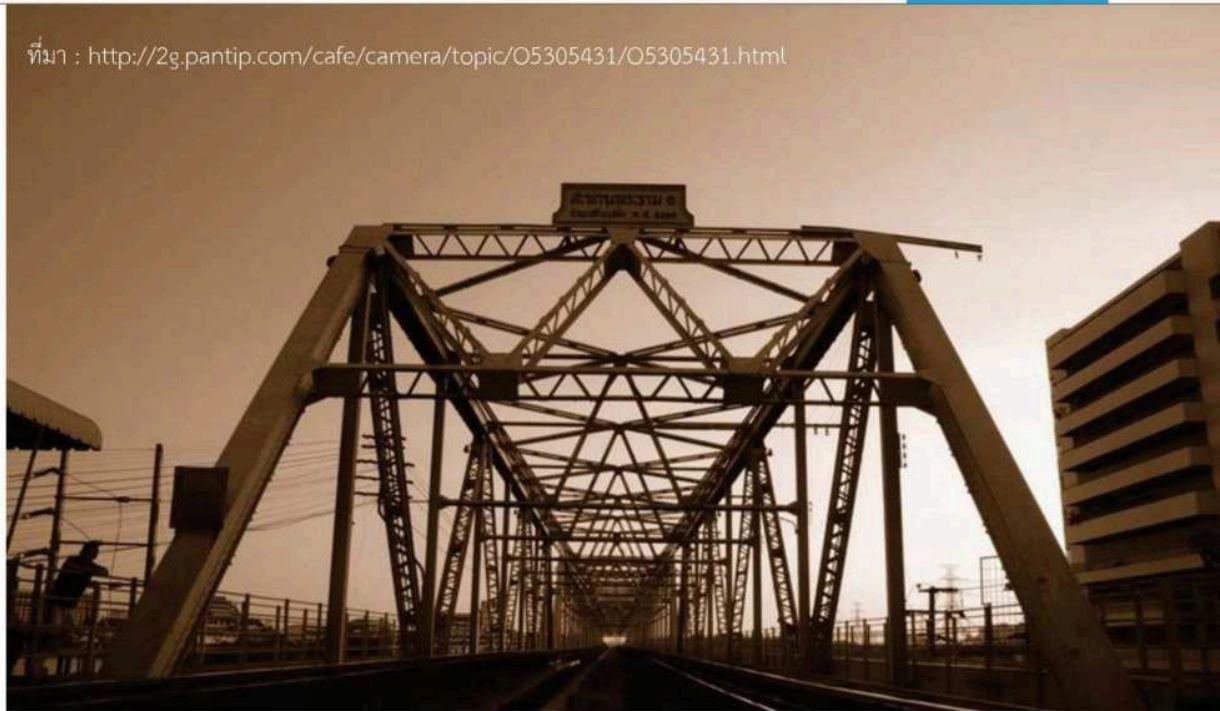


สมัครอบรม

สอบถามเพิ่มเติม คุณสรารัตน์ พงษ์ตัน Tel : 02-184-4600 ต่อ 210 E-mail : saranrat@eit.or.th



ที่มา : <http://2g.pantip.com/cafe/camera/topic/O5305431/O5305431.html>



ตอน - สะพานพระราม 6 จากมรดกแห่งชาติ สู่บทเรียนทางวิศวกรรม

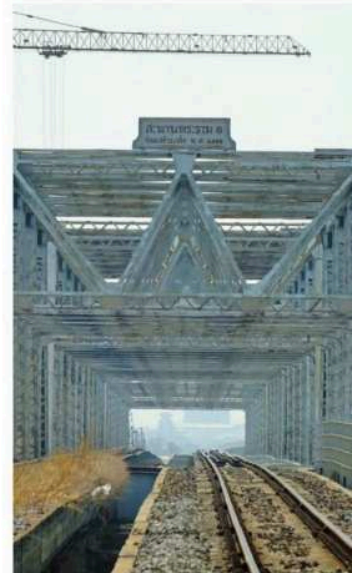
--Rama VI Bridge: From National Heritage to an Engineering Lesson--

ด้วยสายพระเนตรอันยาวไกลของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 5) ในการพัฒนาระบบคมนาคมของประเทศ จึงทรงมีพระบรมราชโองการจัดตั้งกิจการรถไฟหลวงขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1890 และเริ่มก่อสร้างทางรถไฟสายแรกของประเทศไทย ในปี ค.ศ. 1891 หลังจากนั้นทำให้เครือข่ายรถไฟของประเทศไทย ได้เริ่มมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จนถึงปลายรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 6) ประเทศไทยมีทางรถไฟที่ก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดใช้งานรวมมากกว่า 2,500 กิโลเมตร

อย่างไรก็ตาม ทางรถไฟทั้งสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยายังคงแยกขาดจากกัน ทำให้ต้องมีการถ่ายลำผู้โดยสารและสินค้า อีกทั้งสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาก็ยังใช้รถจักรและเครื่องล้อเลื่อนที่ต่างมาตรฐานกัน ก่อให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานและการซ่อมบำรุงเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ในตอนปลายรัชสมัยรัชกาลที่ 6 จึงมีพระราชดำริให้ก่อสร้างสะพานรถไฟข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อเชื่อมเครือข่ายรถไฟของประเทศไทยให้เป็นระบบ

เดียวกัน โดยโปรดเกล้าฯ ให้กรมรถไฟหลวง ภายใต้การบัญชางานของนายพลเอก พระเจ้าบรมวงศ์เธอ กรมพระกำแพงเพชร อัครโยธิน ดำเนินการประกวดราคาก่อสร้างในระดับนานาชาติ ซึ่งมีผู้ยื่นข้อเสนอ 2 ราย ได้แก่ บริษัท Les Établissements Daydé แห่งประเทศฝรั่งเศส และบริษัท The Cleveland Bridge & Engineering Co., Ltd. แห่งประเทศอังกฤษ โดยบริษัท Daydé เป็นผู้ชนะการประกวดราคาในวงเงิน 2,714,113.30 บาท

บริษัท Daydé (เป็นบริษัทวิศวกรรมสะพานเหล็กชั้นนำของยุโรปในขณะนั้น) ลงนามสัญญาก่อสร้างเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน ค.ศ. 1922 และภายหลังการขยายระยะเวลาก่อสร้างหลายครั้ง งานจึงแล้วเสร็จ

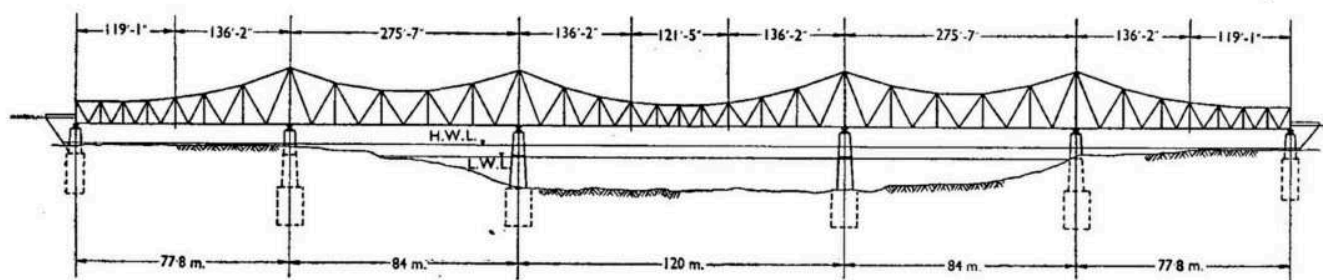


ที่มา : <https://www.thetrippacker.com/th/place/%E0%B8%AA%E0%B8%B0%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A16RamaVIBridge/16620>



ที่มา : <https://www.facebook.com/photo/?fbid=10549110+50012714&set=pcb.1054911080012711>

ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1926 ซึ่งตรงกับรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 7) ต่อมาทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้อัญเชิญพระบรมนามาภิไธยย่อ “ราม 6” ของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวมาเป็นพระราชทานนามของสะพาน แห่งนี้ว่า “สะพานพระราม 6” และประกอบพระราชพิธีเปิดสะพานให้ขบวนรถไฟเดิน ผ่านเป็นปฐมฤกษ์เมื่อวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1927 ซึ่งตรงกับวันคล้ายวันพระราชสมภพ ของรัชกาลที่ 6 (SRT, 1953)



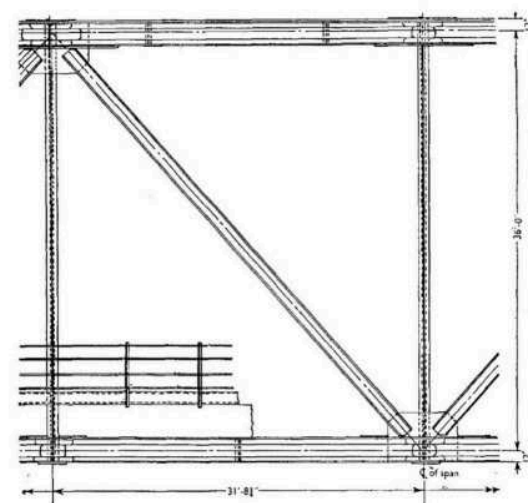
รูปที่ 1 ผังแบบเส้น (line diagram) ของสะพานพระราม 6 ตัวเดิม (ที่มา : Kerensky & Hyatt, 1954)

สะพานพระราม 6 (Rama VI Bridge) ตัวเดิมได้รับการออกแบบให้เป็นสะพานเหล็ก โครงข้อหมุนยื่นแบบโครงขึ้น 5 ช่วง (five-span steel cantilever through truss bridge) ที่มีการถักแบบวอร์เรนชนิดมีค้ำอาคารแนวตั้ง (Warren with verticals) ด้วยความยาว รวม 443.6 เมตร ประกอบด้วยช่วงพาดยาว 77.8 + 84 + 120 + 84 + 77.8 เมตร (Kerensky and Hyatt, 1954) อย่างไรก็ตาม เอกสารของการรถไฟแห่งประเทศไทย (SRT, 1953) ระบุว่าช่วงพาดแรกและช่วงพาดสุดท้ายมีความยาวเพียง 77.04 เมตร ส่งผลให้ ความยาวรวมของสะพานเท่ากับ 442.08 เมตร ความแตกต่างดังกล่าวน่าจะเกิดจากวิธีการกำหนดจุดอ้างอิงในการวัดระยะของแต่ละแหล่งข้อมูล (ผู้เขียน)

ระบบโครงสร้างประกอบด้วยช่วงสมอ (anchor span) แขนยื่น (cantilever arm) และช่วงแขวน (suspended span) ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นหลักการเดียวกับที่ใช้ใน สะพานคานยื่นขนาดใหญ่ของโลก เช่น Forth Bridge (Paxton, 2001) และ Quebec Bridge (Pearson and Delatte, 2006) แม้ว่าช่วงพาดหลักของสะพานพระราม 6 จะมี ความยาวเพียง 120 เมตร โดยมีแขนยื่นด้านละประมาณ 41.5 เมตร และช่วงแขวนยาว 37 เมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าสะพานคานยื่นขนาดใหญ่ของโลกอย่างมาก แต่ในบริบทของ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในคริสต์ทศวรรษ 1920 สะพานแห่งนี้นับเป็นหนึ่งในสะพานรถไฟ โครงข้อหมุนเหล็กช่วงยาวที่ก้าวหน้าที่สุดแห่งหนึ่ง และเป็นโครงสร้างเหล็กที่มีความ ซับซ้อนทางวิศวกรรมสูงสุดของประเทศไทยในยุคนั้น

สะพานมีความกว้างรวม 10 เมตร โดยจัดพื้นที่ส่วนหนึ่งไว้สำหรับทางหลวงกว้าง 5 เมตร และอีกส่วนหนึ่งเป็นทางรถไฟพร้อมทางเดินเท้าทั้งสองด้านกว้างด้านละ 1.5 เมตร แม้ว่าส่วนทางหลวงดังกล่าวจะมีได้ก่อสร้างขึ้นจริง แต่การจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการสัญจร ทางถนนควบคู่กับทางรถไฟสะท้อนให้เห็นถึงวิสัยทัศน์ของผู้ออกแบบที่มุ่งใช้โครงสร้าง พื้นฐานร่วมกันระหว่างระบบรางและระบบถนน หรือที่ปัจจุบันเรียกว่า “การขนส่งหลาย รูปแบบ (multimodal transportation)”

ตัวสะพานใช้เหล็กประมาณ 2,630 เมตริกตัน และตะม่อกลางน้ำก่อสร้างด้วยวิธีเคของ แบบอัดอากาศ (pneumatic caisson) เช่นเดียวกับสะพานปฐมบรมราชานุสรณ์ โดยฐานรากลึกจากระดับน้ำทะเลประมาณ 27 เมตร ส่วนโครงสร้างเหล็กมีระดับ ท้องสะพานสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 10 เมตร และสูงกว่าระดับน้ำท่วมสูงสุด ประมาณ 8 เมตร จึงทำให้เรือขนาดทั่วไป



ที่มา : kerensky & Hyatt, 1954



รูปที่ 2 สะพานพระราม 6 ตัวเดิม เมื่อสร้างเสร็จ (รูปด้านซ้าย) และสะพานเมื่อครั้งถูกระเบิดทางอากาศครั้งใหญ่จนวิบัติในสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1945 (ที่มา : State Railway of Thailand, 1953)

สามารถลอดผ่านใต้สะพานได้ตลอดเวลา (SRT, 1953) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ซ้าย)

ในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่สอง สะพานพระราม 6 กลายเป็นเป้าหมายทางยุทธศาสตร์ของฝ่ายสัมพันธมิตร เนื่องจากเป็นจุดเชื่อมโยงการขนส่งทางรางที่สำคัญของประเทศไทย โดยการโจมตีทางอากาศทำให้ช่วงกลางของสะพานพังถล่มลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ขณะที่บางส่วนของโครงสร้างยังคงตั้งอยู่บนตอม่อเดิม (รูปที่ 2 ขวามือ) ส่งผลให้การเดินรถไฟหยุดชะงัก และต้องจัดระบบขนส่งชั่วคราวด้วยสะพานเบลิย (Bailey bridge) สะพานโป๊ะ (pontoon bridge) และเรือข้ามฟาก ทดแทนในช่วงระยะเวลาหนึ่ง



ภายหลังสงคราม เมื่อคริสต์ศักราช 1949 รัฐบาลของจอมพล ป. พิบูลสงคราม (นายกรัฐมนตรี) ในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระมหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ฯ (รัชกาลที่ 9) จึงได้จัดสรรเงินแผ่นดินเพื่อบูรณะสะพานพระราม 6 ให้กลับมาใช้งานได้อีกครั้ง ในครั้งนี้ได้จ้าง Cleveland Bridge & Engineering Co., Ltd. จากประเทศอังกฤษมาเป็นผู้รับเหมาหลัก นอกจากนั้นยังได้ผู้รับเหมาช่วงอีก 2 บริษัท นั่นคือ Dorman Long Engineering Limited แห่งประเทศอังกฤษ กับ Christiani & Nielsen (Thai) Public Company Limited เข้ามาร่วมงาน

ในการนี้รัฐบาลได้กำหนดผู้รับเหมาใช้ฐานรากและตอม่อเดิมให้มากที่สุด ข้อกำหนดดังกล่าวทำให้วิศวกรต้องออกแบบโครงสร้างใหม่ภายใต้ข้อจำกัดของระบบรองรับเดิม สะพานรุ่นใหม่ซึ่งเปิดใช้งานในปี ค.ศ. 1953 ยังคงใช้ช่วงพาดเดิม แต่ลดความยาวแขวนยื่นจากประมาณ 41.5 เมตร เหลือประมาณ 21.3 เมตร ส่งผลให้โมเมนต์ดัดเหนือตอม่อและแรงปฏิกิริยาที่ฐานรากลดลงอย่างมาก และทำให้สามารถใช้โครงสร้างที่มีความลึกของหน้าตัดน้อยลง นับเป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างภายใต้ข้อจำกัดของฐานรากเดิม

การก่อสร้างสะพานใหม่สะท้อนถึงความก้าวหน้าของวิศวกรรมสะพานเหล็กหลังสงครามโลกครั้งที่สองอย่างชัดเจน โดยมีการใช้เหล็กกำลังสูงตามมาตรฐาน B.S. 548 (high-tensile steel) ในองค์อาคารหลัก ส่งผลให้น้ำหนักโครงสร้างลดลงจากประมาณ 2,630 ตัน เหลือประมาณ 2,060 ตัน หรือลดลงร้อยละ 22 ขณะที่ความสามารถในการรับน้ำหนักจรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 50 นอกจากนี้ยังเปลี่ยนจากโครงข้อหมุนแบบคอร์ดโค้ง (curved-chord truss) เป็นโครงข้อหมุนแบบคอร์ดขนาน (parallel-chord truss) ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนของจุดต่อ (joint) ทำให้การผลิต การประกอบ และการบำรุงรักษาทำได้ง่ายขึ้น โดยยังคงรักษารูปแบบของโครงสร้างเดิมไว้ดังแสดงในรูปที่ 3

ที่มา : <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=5002958626498331&set=p.5002958626498331&type=3>

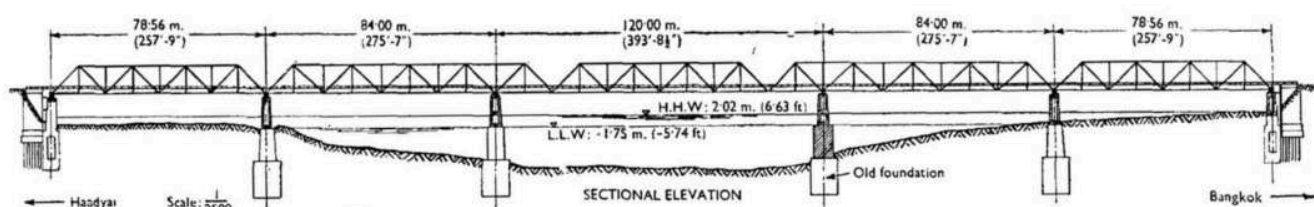


ที่มา : <https://www.lib.ru.ac.th/journal2/?p=18449>



ที่มา : <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=625462134248702&set=p.625462134248702&type=3>

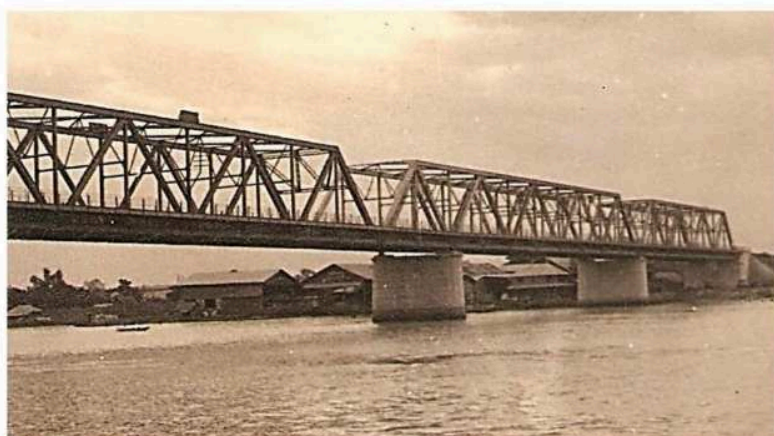
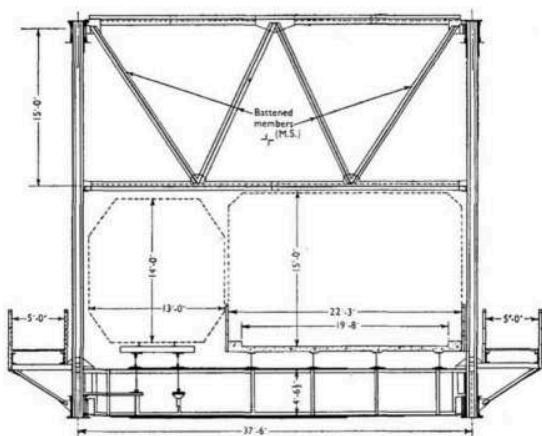
ในการคำนวณออกแบบนี้ การรถไฟแห่งประเทศไทยได้คำนึงถึงการเติบโตของการคมนาคมในอนาคต โดยเพิ่มน้ำหนักเพลาจักรออกแบบจาก 10.5 ตัน เป็น 15 ตัน เปลี่ยนมาใช้รางขนาด 60 ปอนด์ แทนรางขนาด 50 ปอนด์ และเปลี่ยนพื้นถนนจากพื้นไม้เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก พร้อมกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐานของกรมทางหลวงในขณะนั้น (ดูรูปที่ 4)



รูปที่ 3 ผังแบบเส้นของสะพานพระราม 6 ตัวใหม่ (ที่มา : Kerensky & Hyatt, 1954)

ในด้านรายละเอียดทางวิศวกรรม สะพานพระราม 6 ตัวใหม่ได้นำแนวคิดการก่อสร้างเชิงอุตสาหกรรม (industrialized bridge construction) มาใช้ โดยกำหนดมาตรฐานขนาดขององค์อาคารและชิ้นส่วนให้สามารถใช้ร่วมกับสะพานอื่น ๆ ที่ก่อสร้างในประเทศไทยในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อลดต้นทุนการผลิต การขนส่ง และการบำรุงรักษา นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์แนวความคิดการทำงานร่วมกันระหว่างเหล็กและคอนกรีต (steel-concrete composite construction) ผ่านการเชื่อมต่อระหว่างคานเหล็กและแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยสลักกรับแรงเฉือน (shear connector) ซึ่งนับเป็นหนึ่งในตัวอย่างแรกของสะพานเชิงประกอบ (composite bridge) ในประเทศไทย

ด้านการออกแบบเพื่อความทนทาน (durability design) สะพานได้รับการพิจารณาอย่างรอบด้าน โดยเลือกใช้แผ่นเหล็กทึบ (solid web member) การเคลือบผิวโลหะ (metallized surface) การบุโลหะผสม (gunmetal) ในบริเวณที่เกิดการเสียดสี และการอุดช่องว่างที่เข้าถึง



รูปที่ 4 ภาพถ่ายตามยาวของสะพานพระราม 6 ภายหลังการสร้างใหม่ (บางส่วน) และหน้าตัดของสะพาน (ที่มา : Kerensky & Hyatt, 1954)



ได้ยากด้วยคอนกรีต เพื่อลดความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย

นอกจากนี้ ยังใช้ระบบค้ำยันทางข้างรูปเพชร (diamond lateral bracing) ทั้งด้านบนและด้านล่างของโครงสร้าง เพื่อเพิ่มความเสถียรทางข้าง (lateral stiffness) ลดหน่วยแรงรอง (secondary stress) และลดการถ่ายแรงร่วมระหว่างโครงหลักกับระบบค้ำยัน ซึ่งสะท้อนถึงความเข้าใจด้านพฤติกรรมสามมิติของสะพานโครงข้อหมุนที่ก้าวหน้าอย่างมากสำหรับยุคทศวรรษ 1950

ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การออกแบบและก่อสร้างสะพานได้ให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ขณะก่อสร้าง (construction stage analysis) อย่างชัดเจน โดยใช้วิธีติดตั้งแบบยื่น (cantilever erection) จากทั้งสองฝั่งเข้าหากัน และคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนแยกจากสภาวะใช้งานปกติ หลักการดังกล่าวได้รับการยอมรับในปัจจุบันว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบและก่อสร้างสะพานช่วงยาวให้มีความปลอดภัยตลอดช่วงการก่อสร้างและอายุการใช้งาน

งานซ่อมแซมสะพานพระราม 6 ได้เริ่มต้นแต่เดือนกันยายน ค.ศ. 1950 จนแล้วเสร็จเมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1953 โดยรัฐบาลได้กำหนดให้จัดงานรัฐพิธีเปิดสะพานในวันที่ 12 ธันวาคม ค.ศ. 1953 โดยมีในหลวงรัชกาลที่ 9 และสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินี (พระอิสริยยศ ณ ขณะนั้น) เป็นองค์ประธานในพิธี

เมื่อปลาย ค.ศ. 2021 สะพานพระราม 6 ได้ปิดเพื่อรับการบูรณะครั้งใหญ่ภายหลังตรวจพบการทรุดตัวของช่วงแขวน อันเกิดจากการเลื่อน (slip) ของจุดต่อในองค์อาคารทแยงของโครงข้อหมุน การดำเนินงานครั้งนี้ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย



รูปที่ 5 การติดตั้งช่วงแขวนของสะพานพระราม 6 ด้วยเทคนิคสุดท้าย แต่ทรงไว้ซึ่งประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไวส โปรเจ็ค คอนซัลติ้ง จำกัด และ บริษัท อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)



ที่มา : <https://travel.trueid.net/detail/GgRGw19N7zVA>



การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสมกับชุมชนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้เข้าร่วมสังเกตการณ์และให้ข้อเสนอแนะทางวิศวกรรมแก่การรถไฟแห่งประเทศไทย

การซ่อมแซมจำเป็นต้องยกปรับระดับช่วงแขวนก่อนจึงจะสามารถแก้ไขจุดต่อที่เกิดปัญหาเสียหายได้ อย่างไรก็ตาม กระแสน้ำที่เชี่ยวและการสัญจรทางน้ำที่หนาแน่นบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาทำให้ไม่สามารถติดตั้งค้ำยันชั่วคราวกลางลำน้ำเพื่อรองรับแม่แรงตามวิธีปกติได้ ขณะที่การใช้ปั้นจั่นขนาดใหญ่เพื่อยกช่วงแขวนก็มีความยุ่งยากและมีต้นทุนสูง

วิศวกรจึงเลือกใช้แนวทางที่อาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ นั่นคือ “แรงลอยตัว (buoyancy force)” โดยนำโป๊กลวงที่สามารถควบคุมระดับน้ำภายในได้มาใช้เป็นฐานรองรับชั่วคราว ณ ตำแหน่งที่จะทำการยกปรับระดับ วิศวกรได้ควบคุมตำแหน่งของโป๊ด้วยเรือกำกับ จากนั้นจึงติดตั้งแม่แรงและค้อย ๆ สูบน้ำออกจากโป๊ ทำให้โป๊ลอยตัวสูงขึ้นและถ่ายแรงยกผ่านแม่แรงเข้าสู่โครงสร้าง ส่งผลให้สามารถยกปรับระดับช่วงแขวนได้อย่างค่อยเป็นค่อยไปจนกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม โดยรูปที่ 5 แสดงภาพกิจกรรมของโครงการ

ตลอดระยะเวลาเกือบหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมา สะพานพระราม 6 มิได้เป็นเพียงสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาแห่งแรกของสยามประเทศเท่านั้น หากแต่เป็นพยานแห่งวิวัฒนาการทางวิศวกรรมของประเทศไทย ตั้งแต่ยุคบุกเบิก การฟื้นฟูหลังสงคราม จนถึงการบูรณะด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ และยังคงเป็นห้องเรียนทางวิศวกรรมสะพานที่มีชีวิตสำหรับวิศวกรไทยตราบนานปัจจุบันแล้วพบกันใหม่ตอนต่อไปครับ



บรรณานุกรม (bibliography)

- 1) Joyklad, P. (2026) 'The Origins of Trusses: From Ancient Timber Bridges to the Long-Span Structures of the Modern World', Civil Insight Series Content Ep.36 (CE-Committee/003), The Department of Civil Engineering, The Engineering Institute of Thailand Under His Majesty The King's Patronage (EIT), Available at: <https://www.facebook.com/share/p/1DELxhEo66/> (Accessed: 16 June 2026).
- 2) Kerensky, O.A. and Hyatt, K.E. (1954) 'Design and Construction of Rama VI, Surat, and Bandara Bridges in Thailand', Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 3(4), pp. 449–485.
- 3) Paxton, R. (2001) 'The Evolution of the Forth Bridge and Its Engineering Significance', International Engineering History and Heritage, pp. 50–57.
- 4) Pearson, C. and Delatte, N. (2006) 'Collapse of the Quebec Bridge, 1907', Journal of Performance of Constructed Facilities, 20(1), pp. 84–91.
- 5) State Railway of Thailand (1953) History of Rama VI Bridge. Bangkok: State Railway of Thailand.

RAMA VI BRIDGE



ที่มา : <https://www.lib.ru.ac.th/journal2/?p=18449>



จากภาพสู่แบบจำลอง: ก้าวใหม่ของการ วิเคราะห์โครงสร้าง ในวิศวกรรมโยธา

From Image to Model: A New Step in
Structural Analysis for Civil Engineering

1. บทนำ

ในอดีต การวิเคราะห์กลศาสตร์ของโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธามักเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิตและกำหนดโครงข่ายคำนวณด้วยกระบวนการที่ค่อนข้างใช้เวลาและต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะทางสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อโลกวิศวกรรมกำลังก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลอย่างเต็มตัว วิธีคิดและวิธีทำงานแบบเดิมได้เริ่มเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ โดยในปัจจุบัน ข้อมูลไม่ได้อยู่เพียงในรูปแบบของแบบก่อสร้างหรือค่าตัวเลขเท่านั้น แต่ยังสามารถอยู่ในรูปแบบของภาพถ่าย ภาพสแกน และข้อมูลดิจิทัลประเภทอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้เป็นจุดตั้งต้นของการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ได้โดยตรงมากขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงทิศทางใหม่ของวิชาชีพวิศวกรรมโยธาที่กำลังขับเคลื่อนจากกระบวนการทำงานแบบ manual ไปสู่ระบบอัตโนมัติที่ฉลาดขึ้น รวดเร็วขึ้น และเชื่อมโยงข้อมูลได้มากขึ้น [1]

หนึ่งในแนวคิดที่น่าจับตามองและสามารถใช้ได้จริง คือการนำ “ข้อมูลภาพ” มาใช้สร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างโดยอัตโนมัติ แทนที่จะเริ่มจากการวาดหรือจัดเตรียมแบบจำลองทั้งหมดด้วยมือ วิศวกรสามารถใช้ภาพเป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นของรูปทรง ขอบเขต และลักษณะทางกายภาพของปัญหา ก่อนแปลงข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการคำนวณ แนวทางนี้มีความสำคัญ

อย่างยิ่งในยุคที่การทำงานทางวิศวกรรมต้องการทั้งความเร็ว ความแม่นยำ และความสามารถในการจัดการกับรูปทรงหรือข้อมูลที่ซับซ้อนมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นงานด้านการประเมินสภาพโครงสร้าง การวิเคราะห์วัสดุที่มีโครงสร้างภายในซับซ้อน หรือแม้แต่งานที่เชื่อมโยงกับระบบตรวจสอบอัจฉริยะในอนาคต [2-4]

เบื้องหลังแนวคิดดังกล่าวคือการพัฒนาเครื่องมือคำนวณหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ตอบโจทย์การทำงานกับข้อมูลรูปภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะการสร้างโครงข่ายคำนวณแบบอัตโนมัติด้วยอัลกอริธึมควอดทรี (Quadtree) และผสมรวมกันกับการวิเคราะห์โครงสร้างเชิงกลศาสตร์ด้วยระเบียบวิธี Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้การจัดการกับแบบจำลองที่มีรายละเอียดไม่สม่ำเสมอทำได้ยืดหยุ่นกว่าวิธีดั้งเดิม บทความนี้จึงต้องการนำเสนอและเชิญชวนให้ผู้อ่านมองไปข้างหน้าว่า การวิเคราะห์โครงสร้างในวิศวกรรมโยธาอาจไม่ได้เริ่มต้นจาก “การเขียนแบบจำลอง” เพียงอย่างเดียวอีกต่อไป แต่กำลังก้าวสู่ยุคที่ “ภาพ” สามารถกลายเป็นประตูบานแรกของการคำนวณและการตัดสินใจทางวิศวกรรมได้อย่างแท้จริง



2. วิศวกรรมโยธากับการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคดิจิทัล

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา วิศวกรรมโยธาเป็นหนึ่งในวิชาชีพที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องบนฐานของความแม่นยำ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพจากการปฏิบัติงานจริง อย่างไรก็ตาม เมื่อเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทมากขึ้น กระบวนการทำงานของวิศวกรรมโยธาก็เริ่มเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ตั้งแต่การออกแบบ การวิเคราะห์ การก่อสร้าง ไปจนถึงการติดตามสภาพการใช้งานของโครงสร้างในระยะยาวงานที่เคยอาศัยเอกสาร แบบก่อสร้าง และการคำนวณแบบแยกส่วน กำลังถูกเชื่อมโยงเข้าหากันผ่านข้อมูลดิจิทัลที่เข้าถึงได้รวดเร็วและประมวผลได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น

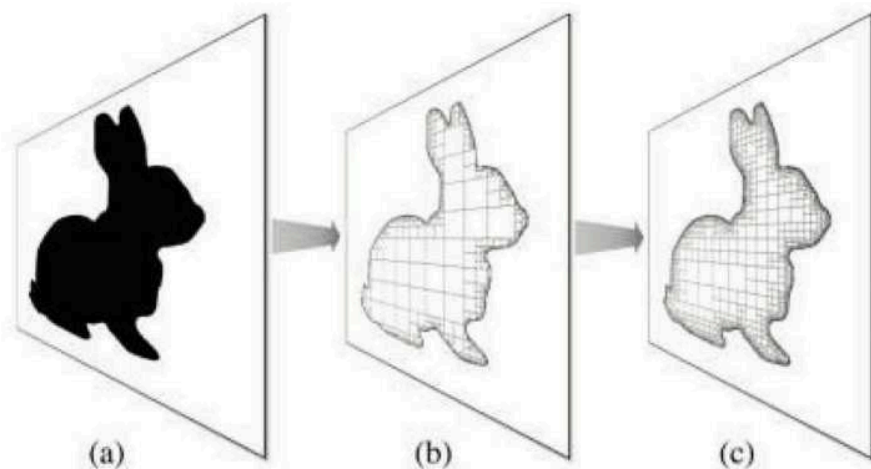
การเปลี่ยนผ่านนี้ไม่ได้หมายถึงเพียงการเปลี่ยนจากกระดาษไปสู่หน้าจอคอมพิวเตอร์เท่านั้น แต่หมายถึงการเปลี่ยนวิธีคิดในการทำงานด้วย ในอดีต วิศวกรมักสร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่จัดเตรียมไว้ล่วงหน้าอย่างเป็นขั้นตอน แต่ในปัจจุบัน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานโยธามีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งข้อมูลเชิงเรขาคณิต ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลจากเซนเซอร์ รวมถึงข้อมูลในรูปของภาพถ่ายและภาพสแกน สิ่งเหล่านี้ทำให้วิศวกรรมโยธาเริ่มขยับจากการทำงานแบบ “ป้อนข้อมูลเพื่อคำนวณ” ไปสู่การทำงานแบบ “เชื่อมโยงข้อมูลเข้าสู่การวิเคราะห์” อย่างต่อเนื่องและชาญฉลาดยิ่งขึ้น [5]

ในบริบทนี้ การนำ “ข้อมูลภาพ” มาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์จึงเป็น

ตัวอย่างที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เพราะภาพเป็นข้อมูลที่พบได้มากในงานวิศวกรรม ไม่ว่าจะเป็นจากการถ่ายภาพหน้างาน การสแกนชิ้นส่วน หรือการแสดงลักษณะทางกายภาพของวัสดุและโครงสร้าง หากข้อมูลเหล่านี้สามารถแปลงเข้าสู่กระบวนการคำนวณได้อย่างเป็นระบบ ก็จะช่วยลดขั้นตอนการเตรียมแบบจำลอง เพิ่มความรวดเร็วในการวิเคราะห์ และเปิดโอกาสให้เกิดรูปแบบการทำงานใหม่ที่เชื่อมโยงโลกกายภาพกับโลกดิจิทัลได้ใกล้ชิดยิ่งขึ้น นี่จึงเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของคำถามที่น่าสนใจว่า เราจะพา “ภาพ” ไปสู่ “แบบจำลอง” ได้อย่างไร [6, 7]

3. จากข้อมูลภาพสู่โครงข่ายคำนวณแบบ Quadtree

เมื่อก้าวถึงข้อมูลภาพในงานวิศวกรรมโยธา มักจะนึกถึงภาพถ่ายหน้างาน ภาพจากการตรวจสอบสภาพโครงสร้าง หรือภาพสแกนที่ใช้บันทึกลักษณะของวัสดุและองค์ประกอบต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ในมุมมองของการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ ภาพสามารถมีบทบาทได้มากกว่าการเป็นเพียงข้อมูลประกอบรายงาน หากมีการประมวลผลอย่างเหมาะสม ข้อมูลที่ปรากฏในภาพ เช่น ขอบเขตของวัตถุ รูปร่างของโดเมน ช่องว่าง รอยแตก หรือความแตกต่างของวัสดุ สามารถถูกแปลงให้กลายเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการสร้างแบบจำลองคำนวณได้โดยตรง



รูปที่ 1 ตัวอย่างการแปลงข้อมูลจากรูปภาพให้กลายเป็นข้อมูลโครงข่ายคำนวณ โดย (a) รูปภาพดั้งเดิม, (b) การใช้โครงข่าย Quadtree แบบไม่คำนึงถึงอัตราส่วนข้างเคียง และ (c) การประยุกต์ใช้อัตราส่วน 1:2 กับโครงข่าย Quadtree เพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูล [8]



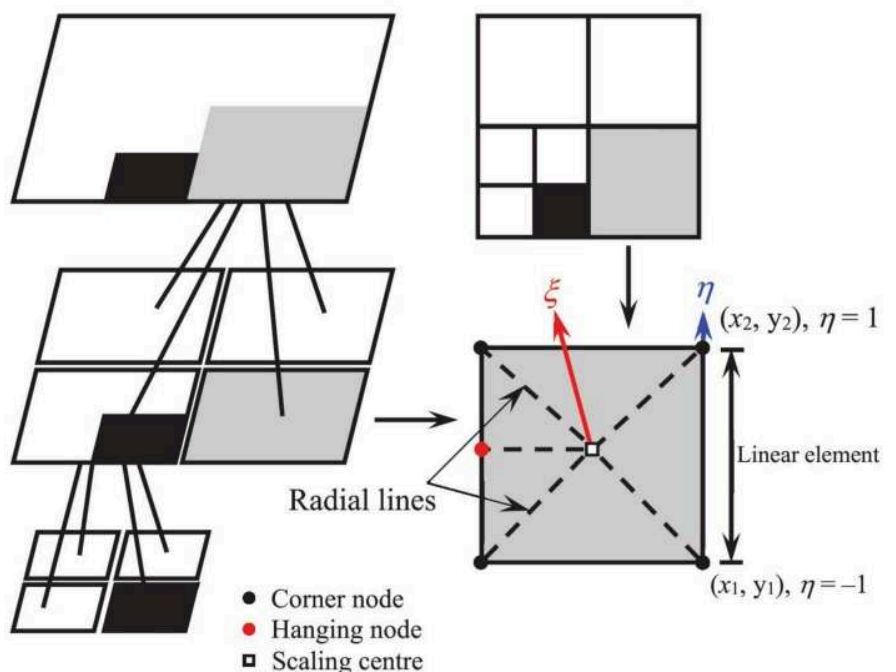
ขั้นตอนสำคัญของแนวทางนี้คือการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นโครงข่ายคำนวณ หรือ mesh สำหรับใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข หนึ่งในเทคนิคที่เหมาะสมคือการแบ่งโครงข่ายแบบ Quadtree ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็นช่องสี่เหลี่ยมย่อยอย่างเป็นลำดับชั้นดังที่แสดงในรูปที่ 1 บริเวณที่มีรายละเอียดมาก เช่น ขอบเขตโค้ง ช่องว่าง หรือความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ สามารถถูกแบ่งให้ละเอียดขึ้น ขณะที่บริเวณที่เรียบง่ายไม่จำเป็นต้องใช้ mesh

ที่ละเอียดเท่ากันทั้งโดเมน วิธีนี้จึงช่วยลดจำนวนองค์ประกอบที่ไม่จำเป็น และยังคงรักษารายละเอียดสำคัญของภาพไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. SBFEM: ทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์

เมื่อโครงข่ายคำนวณถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลภาพด้วยวิธี Quadtree ลักษณะของ mesh ที่ได้มักมีความยืดหยุ่นสูง แต่ขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนมากกว่า mesh แบบสม่ำเสมอทั่วไป บางบริเวณมีองค์ประกอบขนาดเล็กเพื่อเก็บรายละเอียดของภาพ ขณะที่บางบริเวณใช้องค์ประกอบขนาดใหญ่เพื่อลดภาระการคำนวณ ลักษณะเช่นนี้อาจก่อให้เกิดจุดต่อระหว่างองค์ประกอบที่มีขนาดต่างกัน หรือที่เรียกว่า hanging nodes ซึ่งเป็นหนึ่งในความท้าทายของการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบดั้งเดิม

หนึ่งในระเบียบวิธีการคำนวณเชิงกลศาสตร์ชื่อว่า Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM) [1] จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความสามารถในการจัดการกับองค์ประกอบที่มีรูปทรงทั่วไปได้ดี โดยเฉพาะองค์ประกอบหลายเหลี่ยมที่เกิดจากการแบ่ง mesh แบบ Quadtree แทนที่จะต้องบังคับให้ mesh มีรูปแบบสม่ำเสมอหรือแก้ไขโครงข่ายให้เป็นไปตามข้อจำกัดของวิธีดั้งเดิม SBFEM ช่วยให้การวิเคราะห์สามารถดำเนินต่อไปบน mesh ที่สร้างจากภาพได้โดยตรงมากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการจาก “ภาพ” ไปสู่ “แบบจำลองเชิงกลศาสตร์” มีความต่อเนื่องและเป็นอัตโนมัติมากขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการบูรณาการระหว่างโครงข่ายคำนวณ Quadtree จากภาพถ่ายอัตโนมัติร่วมกับระเบียบวิธี SBFEM เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างเชิงกลศาสตร์ [3]

จุดเด่นอีกประการของ SBFEM คือแนวคิดการคำนวณที่ผสมผสานข้อดีของวิธีเชิงตัวเลขและวิธีเชิงวิเคราะห์เข้าด้วยกัน กล่าวโดยง่าย วิธีนี้ต้องการการแบ่งโครงข่ายเฉพาะบริเวณขอบขององค์ประกอบบางรูปแบบ และใช้การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ในทิศทางภายในโดเมน ทำให้สามารถลดข้อจำกัดบางประการที่พบใน FEM แบบดั้งเดิมได้ [2] โดยเฉพาะในกรณีที่รูปทรงของปัญหามีความซับซ้อน หรือ mesh มีระดับความละเอียดแตกต่างกันอย่างมากดังรูปที่ 3

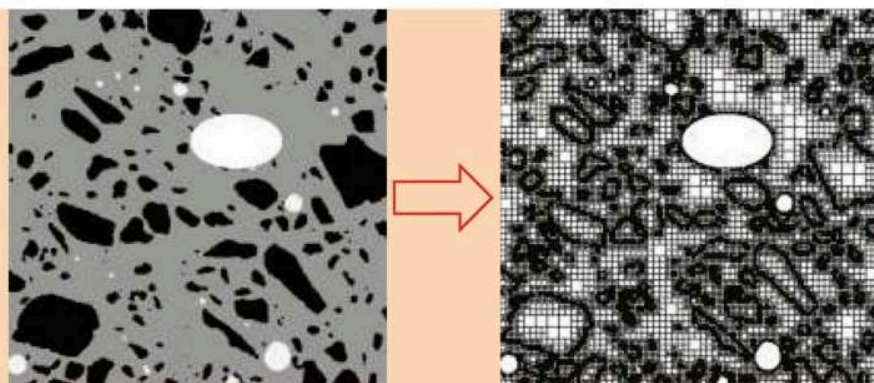




จากภาพรูปแบบจำลอง: ก้าวใหม่ของการวิเคราะห์โครงสร้างในวิศวกรรมโยธา



อย่างไรก็ตาม SBFEM ไม่ได้ถูกนำเสนอในฐานะวิธีที่เข้ามาแทนที่ FEM ในทุกกรณี แต่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีศักยภาพสูงสำหรับปัญหาที่ FEM แบบดั้งเดิมอาจต้องใช้ขั้นตอนเตรียม mesh เพิ่มเติมหรือมีข้อจำกัดด้านความยืดหยุ่น เมื่อใช้ร่วมกับการสร้าง mesh จากภาพแบบ Quadtree วิธีนี้จึงเปิดโอกาสให้การวิเคราะห์โครงสร้างมีความรวดเร็ว ยืดหยุ่น และสอดคล้องกับข้อมูลจริงมากขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของเครื่องมือวิเคราะห์ในวิศวกรรมโยธายุคดิจิทัล

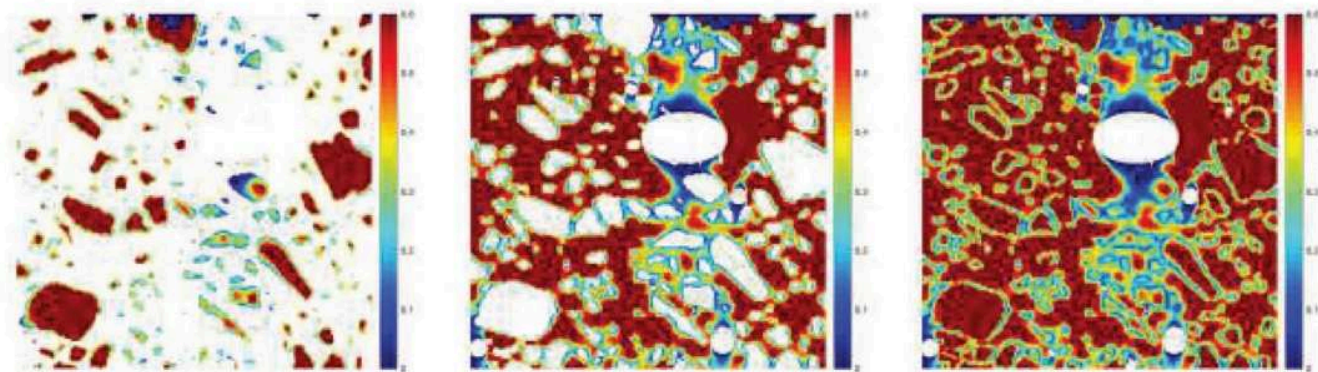


รูปที่ 3 การสร้างแบบจำลองโครงข่าย Quadtree จากภาพถ่ายสแกนภายในคอนกรีต ซึ่งมีมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และช่องว่างภายใน

ด้วยมือเป็นหลัก ไปสู่การเชื่อมโยงข้อมูลจริงเข้าสู่การวิเคราะห์ได้อย่างเป็นระบบรวดเร็ว และมีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น เมื่อภาพถ่าย ภาพสแกน หรือข้อมูลจากการตรวจสอบภาคสนามสามารถถูกแปลงเป็นแบบจำลองเชิงกลศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 4 นอกจากนี้วิศวกรก็จะมีเครื่องมือใหม่ที่ช่วยลดเวลาในการเตรียมแบบจำลอง และเพิ่มความสามารถในการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากขึ้น

5. บทส่งท้าย: จากงานวิจัยสู่อนาคตของวิชาชีพโยธา

แม้แนวทางการวิเคราะห์โครงสร้างจากข้อมูลภาพร่วมกับ Quadtree และ SBFEM จะยังไม่ได้แพร่หลายในงานปฏิบัติทั่วไป แต่แนวคิดนี้สะท้อนให้เห็นทิศทางสำคัญของวิศวกรรมโยธายุคถัดไปอย่างชัดเจน นั่นคือการเปลี่ยนจากกระบวนการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากภาพถ่ายแบบอัตโนมัติโดยแสดงผล (จากซ้ายไปขวา) ในค่าความเค้นหลักของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และ รวมทั้งโดเมนของปัญหา



ในอนาคต แนวทางลักษณะนี้อาจต่อยอดไปสู่การประเมินสภาพโครงสร้างจากภาพถ่าย การสร้างแบบจำลองจากข้อมูลสแกน การวิเคราะห์วัสดุที่มีโครงสร้างภายในซับซ้อน รวมถึงการเชื่อมต่อกับปัญญาประดิษฐ์ ระบบตรวจสอบโครงสร้างอัจฉริยะ และ Digital Twin อย่างไรก็ตาม การผลักดันเทคโนโลยีเหล่านี้จากงานวิจัยไปสู่การใช้งานจริงยังต้องอาศัยการพัฒนา ด้านความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความง่ายในการใช้งานสำหรับวิศวกรภาคปฏิบัติ ท้ายที่สุด “โยธายุคถัดไป” อาจไม่ได้หมายถึงการแทนที่ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรมด้วยเทคโนโลยีใหม่ แต่คือการใช้เทคโนโลยีเพื่อขยายขีดความสามารถของวิศวกรให้มองเห็น วิเคราะห์ และตัดสินใจได้ดีขึ้นในโลกที่ข้อมูลและความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



เอกสารอ้างอิง

- [1] Song, C. (2018). The scaled boundary finite element method: introduction to theory and implementation. John Wiley & Sons.
- [2] Saputra, A., Talebi, H., Tran, D., Birk, C., & Song, C. (2017). Automatic image-based stress analysis by the scaled boundary finite element method. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 109(5), 697-738.
- [3] Su, R., Tangaramvong, S., & Song, C. (2024). Automatic image-based SBFE-BESO approach for topology structural optimization. International Journal of Mechanical Sciences, 263, 108773.
- [4] Su, R., Tangaramvong, S., & Song, C. (2025). Adaptive mesh SBFE-BESO approach for multi-material topology optimization with tunable volume constraints. Composite Structures, 119583
- [5] Liu, P., Zhao, M., Zhang, J., Zhang, G., Gao, Z., & Du, X. (2024). An explicit-implicit hybrid SBFEM with quadtree mesh for fluid-solid interaction. Engineering Analysis with Boundary Elements, 165, 105799.
- [6] อรรวรา ภาวลักษณะาวดี, เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์ และ รัฐ ชู. (2025). Automatic Adaptive SBFE-SERA Approach for Structural Topology Optimization under Dynamic Forces. การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 30, ประจวบคีรีขันธ์, 28-30 พฤษภาคม, 6 หน้า
- [7] ปภินวิช นามบุตร, เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์ และ รัฐ ชู (2025). การปรับโครงสร้างเชิงทอพอโลยีของโครงสร้างที่มีวัสดุคอมโพสิตโดยใช้ SBFE-BESO. การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 30, ประจวบคีรีขันธ์, 28-30 พฤษภาคม, 6 หน้า
- [8] Su, R., Zhang, X., Tangaramvong, S., & Song, C. (2024). Adaptive scaled boundary finite element method for two/three-dimensional structural topology optimization based on dynamic responses. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 425, 116966.



จัดโดย คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อบรม และ WORK SHOP การออกแบบและก่อสร้าง โครงสร้างคอนกรีตเสริม GFRP

รุ่นที่ 7



วิทยากร
ศ.ดร.วิฑิต ป่านสุข
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วันที่ 5 กันยายน 2569

09.00-16.00 น.

ณ ห้องประชุมอาคาร วสท. ซอยรามคำแหง 39

BEST
PRICE

สมาชิก วสท. 1,800 บาท
บุคคลทั่วไป 2,000 บาท



FREE!

คู่มือการออกแบบและก่อสร้าง
โครงสร้างคอนกรีตเสริมด้วย
แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใย พ.ศ. 2566



ชำระผ่าน : ธนาคารไทยพาณิชย์
สาขาสมาคมฯไทย 045-2-03026-1

POU 12 หน่วย

SCAN ME



คุณชฎาพร เสมือนใจ



02-184-4600-9 ต่อ 211



chadaporn@eit.or.th



การแล้วเสร็จของงาน ในสัญญาจ้างก่อสร้าง

ปัญหาการแล้วเสร็จของงาน

ในงานก่อสร้างมักได้ยินข้อถกเถียงที่ผู้ว่าจ้างมักบอกว่า “งานยังมีความชำรุดบกพร่อง (Defect) อยู่ ยังรับมอบงานไม่ได้ ต้องคิดค่าปรับ” ส่วนผู้รับจ้างก็มักบอกว่า “งานเสร็จแล้ว เหลือเพียงความชำรุดบกพร่องเล็กน้อย (Minor Defects) ต้องถือว่างานเสร็จแล้ว จะมาคิดค่าปรับไม่ได้” ปัญหาที่เกิดขึ้นในวงการก่อสร้างประเทศไทยอยู่เป็นประจำ บ้างตกลงกันได้ก็จบด้วยดี แต่ถ้าตกลงกันไม่ได้ก็กลายเป็นข้อพิพาทนำไปสู่การพิจารณาของศาลหรืออนุญาโตตุลาการมาแล้วหลายคดี

สาเหตุที่ปัญหานี้กลายเป็นข้อพิพาทก็เพราะ การแล้วเสร็จของงานก่อสร้าง (Completion of Works) ไม่ได้มีความหมายเฉพาะการแล้วเสร็จที่วัดว่างานนั้นได้คุณภาพหรือไม่เท่านั้น แต่ยังเป็นจุดตัดทางด้านสัญญาที่เชื่อมโยงกับสิทธิและหน้าที่ของคู่สัญญาหลายอย่าง ทั้งเป็นจุดสิ้นสุดการคิดค่าปรับงานก่อสร้างล่าช้า (Delay Damages หรือ Liquidated

Damages) เป็นจุดเริ่มต้นของการเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง (Defect Liability Period) เป็นเงื่อนไขในการเบิกเงินงวดสุดท้าย การขอคืนเงินประกันผลงาน (Retention Money) ตลอดจนหลักประกันต่าง ๆ เช่น หลักประกันการปฏิบัติตามสัญญา (Performance Security)

ปัญหาการตีความความหมายของ การแล้วเสร็จ (Completion) ของงานก่อสร้างนี้ไม่ได้เกิดขึ้นแค่ในประเทศไทย ต่างประเทศเขาก็เคยเกิดขึ้นมาแล้ว สาเหตุมักเกิดจากความคาดหวังและความเข้าใจที่ไม่ตรงกัน



การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง

ระหว่างคู่สัญญา ผู้ว่าจ้างก็ต้องการงานที่แล้วเสร็จสมบูรณ์ หากยังพบข้อบกพร่องเพียงเล็กน้อย ก็มักจะปฏิเสธการรับมอบงาน บ่อยครั้งจึงทำให้เกิดการตรวจงานกันซ้ำหลายรอบ ผลที่ตามมาคือ ผู้ว่าจ้างก็เข้าใช้งานก่อสร้างนั้นไม่ได้ ในขณะเดียวกัน เมื่อผู้ว่าจ้างยังไม่รับมอบ งานของผู้รับจ้างก็ถือว่ายังไม่เสร็จ เมื่องานยังไม่เสร็จ ผู้รับจ้างก็อาจถูกปรับเพราะงานไม่แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนดในสัญญา ท้ายที่สุดสถานการณ์อย่างนี้ทำให้เกิดความเสียหายกับทั้งผู้ว่าจ้างและผู้รับจ้าง

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ สัญญาจ้างก่อสร้างมาตรฐานต่างประเทศจึงหาทางออกที่เป็นประโยชน์กับทั้งสองฝ่ายด้วยการกำหนดเป็นเงื่อนไขในสัญญาให้ชัดเจนไปเลยว่า งานก่อสร้างแล้วขนาดไหนถึงจะถือว่าแล้วเสร็จพอที่จะส่งมอบและรับมอบกันได้ โดยแบ่งการแล้วเสร็จออกเป็น 2 ส่วน คือ การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) และ การแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion)¹

นอกเหนือจากการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ และการแล้วเสร็จสมบูรณ์แล้ว สัญญาจ้างก่อสร้างมาตรฐานหลายฉบับได้แบ่งการแล้วเสร็จตาม “ขอบเขตของเนื้องาน” ที่ส่งมอบด้วยได้แก่ การแล้วเสร็จของส่วนงานที่สัญญากำหนดให้แล้วเสร็จ (Sectional Completion) ซึ่งหมายถึง กรณีที่สัญญากำหนดให้งานส่วนหนึ่งส่วนใดของสัญญาต้องแล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในสัญญา และการแล้วเสร็จเพราะครอบครองหรือการเข้าใช้ประโยชน์ของผู้ว่าจ้าง (Partial Completion)

¹ กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, คำอธิบาย สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐาน (สัญญาศรีปทุม) (นนทบุรี, 2563).

ซึ่งแม้สัญญาจะไม่ได้กำหนดให้ส่งมอบงานส่วนหนึ่งส่วนใดไว้ในสัญญา แต่ผู้ว่าจ้างได้เข้าครอบครองหรือเข้าใช้งานใช้ประโยชน์ในพื้นที่ส่วนนั้นไปแล้ว สัญญา ก็จะถือว่างานส่วนนั้นเป็นอันแล้วเสร็จ

จะเห็นได้ว่า แม้การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้างจะถูกแบ่งไว้หลายประเภท แต่ปัญหามักอยู่ที่การตีความการแล้วเสร็จของงานเพื่อส่งมอบและรับมอบกัน ดังนั้น เพื่อให้เห็นภาพปัญหาการตีความความหมายของการแล้วเสร็จและเป็นแนวทางในการหลีกเลี่ยงข้อพิพาทในการส่งมอบและรับมอบงาน ซึ่งเป็นจุดตัดสำคัญในการหยุดคิดค่าปรับงานก่อสร้างล่าช้า การเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง การทำหน้าที่ยื่น ๆ ตามสัญญา บทความนี้จะจึงจะมุ่งเน้นไปที่การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) และการแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) เท่านั้น

การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) และการแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion)

สัญญาจ้างก่อสร้างมาตรฐานต่างประเทศและในประเทศไทย มีรายละเอียดและการเรียกชื่อการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ ไว้แตกต่างกันออกไป บางฉบับเรียกว่า Substantial Completion บางฉบับเรียกว่า Practical Completion หรือบางฉบับไม่ได้ใช้ชื่อเรียกเฉพาะ แต่ใช้วิธีการอธิบายผ่านหลักเกณฑ์การส่งมอบและรับมอบงาน ในบทความนี้จะขอเรียกการแล้วเสร็จ





ลักษณะนี้ว่า “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” เพื่อให้เห็นภาพจะขอยกตัวอย่างสัญญามาตรฐานของต่างประเทศ 3 ฉบับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

สัญญา FIDIC (International Federation of Consulting Engineers) ไม่ได้ระบุชื่อเรียกของการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ไว้เป็นชื่อเฉพาะ แต่กำหนดเป็นเงื่อนไขในการออกหนังสือรับมอบงาน (Taking-Over Certificate)² โดยเขียนไว้ว่า

“The Engineer shall, within 28 days after receiving the Contractor’s Notice (of application for Taking-Over Certificate) issue the Taking-Over Certificate to the Contractor, stating the date on which the Works or Section were completed in accordance with the Contract, except for any minor outstanding work and defects (as listed in the Taking-Over Certificate) which will not substantially affect the safe use of the Works or Section for their intended purpose (either until or whilst this work is completed and these defects are remedied).”

สัญญา JCT (Joint Contract Tribunal) เรียกการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ไว้เป็นชื่อเฉพาะว่า Practical Completion³ โดยเขียนไว้ว่า

When in the Architect/Contract Administrator’s opinion practical completion of the Works or a section is achieved and the Contractor has complied sufficiently with clauses 2.40 and 3.23 in respect of the supply of documents and information, then ... In the case of the Works, the Architect/Contract Administrator shall forthwith issue a certificate to that effect (“the Practical Completion Certificate”)

สัญญา AIA (The American Institute of Architects) เรียกการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้เป็นชื่อเฉพาะว่า Substantial Completion⁴ โดยเขียนไว้ว่า

Substantial Completion is the stage in the progress of the Work when the Work or designated portion thereof is sufficiently complete in accordance with the Contract Documents so that the Owner can occupy or utilize the Work for its intended use.

วงการก่อสร้างในประเทศไทยมีการปรับใช้และเรียกชื่อการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ต่างกันออกไปยกตัวอย่างเช่น

สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐานฉบับศรียุค เขียนเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า⁵

“แล้วเสร็จตามแบบ” (Substantial Completion) หมายความว่า การแล้วเสร็จของงานที่ครบถ้วนและถูกต้องตามแบบและข้อกำหนด และตามคำสั่งเปลี่ยนแปลงงานของที่ปรึกษาผ่านการทดสอบและทดลอง (Testing and Commissioning) แล้วผลปรากฏว่าสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ไม่รวมงานเก็บ

² FIDIC (International Federation of Consulting Engineers), “Conditions of Contract for Construction” (2nd ed., 2017), Sub-Clause 10.1.

³ Joint Contracts Tribunal (JCT), “Standard Building Contract” (2016 ed.), Clause 2.30 [Practical Completion].

⁴ The American Institute of Architects, “AIA Document A201-2017: General Conditions of the Contract for Construction” (2017), Section 9.8.1.

⁵ สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐาน ฉบับศรียุค 2 (พ.ศ. 2565), ข้อ 1.1 [คำจำกัดความ].



การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง



⁶ ราชบัณฑิตยสภา, พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมโยธา (กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสภา, 2567).

⁷ FIDIC (International Federation of Consulting Engineers), “Conditions of Contract for Construction” (2nd ed., 2017), Sub-Clause 11.9[Performance Certificate].

⁸ JCT Standard Building Contract 2016, Clause 4.26 [Final Certificate and final Payment].

พจนานุกรม ศัพท์วิศวกรรมโยธา ฉบับราชบัณฑิตยสภา เขียนเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า⁶

Practical Completion; Substantial Completion งานเสร็จเชิงสาระ หมายถึง งานที่เสร็จในระดับที่มากพอที่ผู้ว่าจ้างสามารถใช้ประโยชน์ได้ แต่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ ยังมีการเรียกการแล้วเสร็จลักษณะนี้ในชื่ออื่น ๆ อีก เช่น การแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์ การแล้วเสร็จขั้นต้น ฯลฯ

จากตัวอย่างเงื่อนไขสัญญาข้างต้น จะเห็นได้ว่า “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” ในแต่ละสัญญาอาจมีความแตกต่างกันในรายละเอียด เช่น สัญญาศรีปทุม การแล้วเสร็จลักษณะนี้เรียกว่า “แล้วเสร็จตามแบบ” ซึ่งหมายถึง งานก่อสร้างจะต้องแล้วเสร็จครบถ้วนและถูกต้องตามแบบและข้อกำหนด จะคงเหลืองานบางส่วน (Minor Outstanding Work) ที่ยังไม่แล้วเสร็จอย่างที่สัญญา FIDIC เขียนไว้ไม่ได้

อย่างไรก็ตามแม้สัญญาจ้างก่อสร้างมาตรฐานต่างประเทศและในประเทศไทย

จะเรียกชื่อและมีรายละเอียดแตกต่างกัน แต่การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ก็ตั้งอยู่บนหลักการเดียวกัน คือ งานก่อสร้างต้องแล้วเสร็จจนสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ตามสัญญา เป็นจุดที่ผู้รับจ้างส่งมอบงานให้ผู้ว่าจ้างได้และผู้ว่าจ้างรับมอบงานกับเข้าครอบครองเพื่อใช้ประโยชน์ได้ แม้ว่างานก่อสร้างยังมีความชำรุดบกพร่องที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ก็ตาม สำหรับการแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) สัญญามาตรฐานต่างประเทศและในประเทศไทยมีรายละเอียดและชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปเช่นกัน สัญญามาตรฐานของต่างประเทศ มักไม่ได้ใช้ชื่อเรียกเฉพาะว่า Final Completion โดยตรงแต่มักจะเขียนเป็นเงื่อนไขไว้กับการตรวจสอบงานตามสัญญาเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาแก้ไขความชำรุดบกพร่องแล้ว ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สัญญา FIDIC ไม่ได้เรียกชื่อว่า Final Completion แต่จะใช้การออก หนังสือรับรองการปฏิบัติตามสัญญา (Performance Certificate) แทน โดยการออกหนังสือนี้ไม่ได้ออกเฉพาะในช่วงงานก่อสร้างแล้วเสร็จแต่จะออกให้เมื่อผู้รับจ้างได้ปฏิบัติตามสัญญาทุกอย่างเสร็จสิ้นแล้ว⁷ โดยเขียนว่า

Performance of the Contractor’s obligations shall not be considered to have been completed until the Engineer has issued the Performance Certificate to the Contractor, stating the date on which the Contractor completed his obligations under the Contract.

สัญญา JCT ใช้การออก Final Certificate เมื่อพ้นระยะเวลาซ่อมแซมงานชำรุดบกพร่องและได้แก้ไขงานชำรุดบกพร่องเรียบร้อยแล้ว (คล้ายกับ Performance Certificate ของสัญญา FIDIC)⁸ โดยเขียนว่า

“The Architect/Contract Administrator shall issue the Final Certificate not later than 2 months ... the end of the Rectification Period in respect of the Works or (where there are Sections) the last such period to expire...”



⁹ AIA A201-2017, ibid., Section 9.10.1 [Final Completion and Final Payment].

¹⁰ สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐาน ฉบับปรับปรุง 2 (พ.ศ. 2565), ข้อ 1.1 [คำจำกัดความ].

¹¹ ราชบัณฑิตยสภา, พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมโยธา (กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสภา, 2567).

สัญญา AIA เขียนเกี่ยวกับการแล้วเสร็จสมบูรณ์ไว้ในลักษณะเดียวกันกับสัญญา FIDIC และ JCT โดยการใช้การออก Final Certificate for Payment⁹ โดยเขียนว่า

“Upon receipt of the Contractor’s notice that the Work is ready for final inspection and acceptance and upon receipt of a final Application for Payment, the Architect will promptly make such inspection. When the Architect finds the Work acceptable under the Contract Documents and the Contract fully performed, the Architect will promptly issue a final Certificate for Payment stating that to the best of the Architect’s knowledge, information and belief, and on the basis of the Architect’s on-site visits and inspections, the Work has been completed in accordance with the Contract Documents and that the entire balance found to be due the Contractor and noted in the final Certificate is due and payable...”

สำหรับวงการก่อสร้างในประเทศไทย มักกำหนดความหมายของ “การแล้วเสร็จสมบูรณ์” ในลักษณะที่แตกต่างไปจากสัญญาต่างประเทศโดยเน้นความสมบูรณ์ของงานก่อสร้างโดยตรง ดังตัวอย่างดังต่อไปนี้ สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐานฉบับปรับปรุง¹⁰ เขียนว่า

“แล้วเสร็จสมบูรณ์” หมายความว่า การแล้วเสร็จของงานที่ได้ทำงานเก็บจนแล้วเสร็จครบถ้วนและเรียบร้อยแล้ว

“งานเก็บ” (Minor defects and imperfection) หมายถึงงานก่อสร้างที่ยังชำรุดบกพร่องเล็กน้อยและที่ยังทำไม่เรียบร้อยสมบูรณ์หลังจากงานแล้วเสร็จตามแบบหรือแล้วเสร็จเพราะผู้ว่าจ้างครอบครอง

พจนานุกรมศัพท์วิศวกรรมโยธา ฉบับราชบัณฑิตยสภา¹¹ เขียนเกี่ยวกับเรื่องนี้ว่า

Final Completion งานแล้วเสร็จสมบูรณ์ หมายความว่า งานครบถ้วนตามสัญญาที่ผู้รับจ้างทำแล้วเสร็จสมบูรณ์ตามเงื่อนไขสัญญา



การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง

จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นได้ว่าการแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) ในสัญญาแต่ละฉบับมีรายละเอียดที่ต่างกันไป แต่โดยหลักการแล้ว การแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) จะเกิดหลังจากที่งานก่อสร้างแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) เสมอ

วงการก่อสร้างไทยมักตีความการแล้วเสร็จสมบูรณ์ไว้ว่าหมายถึง การแล้วเสร็จของงานก่อสร้างที่ผู้รับจ้างได้ทำครบถ้วนตามแบบและข้อกำหนด และได้แก้ไขงานชำรุดบกพร่องตามที่ได้ทำรายการไว้ในรายการงานชำรุดบกพร่อง (Defect Lists) ในช่วงการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ครบถ้วนแล้ว ในขณะที่สัญญาต่างประเทศมักไม่มีการแล้วเสร็จสมบูรณ์อย่างชัดเจน แต่จะเขียนเงื่อนไขผูกพันไว้กับการจ่ายเงินงวดสุดท้าย (Final Payment) ที่ผู้รับจ้างจะต้องปฏิบัติตามสัญญาครบถ้วนแล้ว

อย่างไรก็ตาม แม้แนวทางปฏิบัติของสัญญาต่างประเทศและในประเทศจะมีความหมายแตกต่างกัน แต่วัตถุประสงค์ของการกำหนดเงื่อนไขในสัญญาลักษณะนี้ ก็เพื่อแยก “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” (ที่งานก่อสร้างอาจยังมีความชำรุดบกพร่องอยู่) ออกจาก “การแล้วเสร็จสมบูรณ์” (ที่ได้แก้ไขความชำรุดบกพร่องแล้ว) ซึ่งการแบ่งแยกที่ชัดเจนนี้ คือสิ่งสำคัญที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาข้อถกเถียงเรื่องงานนั้นสมบูรณ์แล้วหรือยัง ลดปัญหาเรื่องจุดตัดการหยุดคิดค่าปรับ และการเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่องได้นั่นเอง

¹² FIDIC (International Federation of Consulting Engineers), “Conditions of Contract for Construction” (2nd ed., 2017), Sub-Clause 17.1 [Responsibility for Care of the Works].

จากความหมายและตัวอย่างข้อสัญญาที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้เขียนเห็นว่า เจตนารมณ์สำคัญที่สัญญามาตรฐานต่างประเทศและในประเทศ ต้องแบ่งแยกการแล้วเสร็จทั้งสองอย่างออกจากกันให้ชัดเจน ก็เพื่อกำหนดจุดตัดที่ชัดเจนว่าเมื่อใดจึงจะถือว่าผู้รับจ้างมีสิทธิส่งมอบงาน และผู้ว่าจ้างมีหน้าที่ต้องเพื่อรับมอบงาน

จุดตัดในการรับมอบงานนี้เองที่เป็นเงื่อนไขสำคัญในการเกิดสิทธิและหน้าที่ตามสัญญาในเงื่อนไขข้ออื่นๆ ในสัญญาจ้างก่อสร้างตามมาอีกหลายเรื่อง เช่น การคิดค่าปรับงานก่อสร้างล่าช้า การเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง การคืนเงินประกันผลงานและหลักประกันต่าง ๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สัญญา FIDIC กำหนดว่าหากผู้รับจ้างทำงานแล้วเสร็จในลักษณะเดียวกับ “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” แล้ว ผู้ว่าจ้างจะต้องออกหนังสือรับรองการรับมอบงาน (Taking-Over Certificate) ให้แก่ผู้รับจ้างเพื่อรับมอบงาน ซึ่งเมื่อผู้ว่าจ้างได้ออกหนังสือรับรองการรับมอบงานแล้ว สัญญา FIDIC ก็กำหนดเงื่อนไขหลายอย่าง เช่น เงื่อนไขการโอนความรับผิดชอบในการดูแลรักษางาน (Care of the Works) จากผู้รับจ้างไปยังผู้ว่าจ้าง¹² โดยเขียนว่า

“...the Contractor shall take full responsibility for the care of the Works, Goods and ... from the Commencement Date until the issue of ... the Taking-Over Certificate ..., when responsibility for the care of the Works shall pass to the Employer...”



สัญญา FIDIC ยังเขียนเกี่ยวกับเรื่องค่าปรับไว้ว่า¹³

“If the Contractor fails to comply with Sub-Clause 8.2 [Time for Completion], the Employer shall be entitled subject to Sub-Clause 20.2 [Claims For Payment and/or EOT] to payment of Delay Damages by the Contractor for this default. Delay Damages shall be the amount stated in the Contract Data, which shall be paid for every day which shall elapse between the relevant Time for Completion and the relevant Date of Completion of the Works or Section.”

ในทำนองเดียวกัน สัญญาจ้างก่อสร้างในประเทศไทยก็มีการกำหนดสิทธิและหน้าที่ในลักษณะนี้ไว้ด้วยเช่นกัน เช่น สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐานฉบับศรีปทุม ได้เขียนเกี่ยวกับการหยุดคิดค่าปรับ¹⁴ และการรับประกันความชำรุดบกพร่อง¹⁵ ไว้โดยเขียนว่า

“...ความรับผิดในค่าปรับเพราะงานแล้วเสร็จล่าช้าของผู้รับจ้างสิ้นสุดลงเมื่องานแล้วเสร็จตามแบบหรือเมื่อผู้ว่าจ้างเข้าครอบครอง...”

“...ระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่องตามสัญญานี้มีกำหนด 1 (หนึ่ง) ปี เว้นแต่ข้อมูลของสัญญาจะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น โดยนับถัดจากวันที่แล้วเสร็จตามแบบหรือแล้วเสร็จเพราะการครอบครองของผู้ว่าจ้างเป็นต้นไป...”

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่า “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” (Substantial Completion) ถูกกำหนดมาเพื่อให้เป็นจุดตัดสำคัญที่ส่งผลโดยตรงกับสิทธิและหน้าที่ต่าง ๆ ของคู่สัญญาโดยตรง โดยเฉพาะเรื่อง การโอนความเสี่ยงในความรับผิดชอบงานก่อสร้าง การหยุดคิดค่าปรับล่าช้า และการเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง อย่างไรก็ตาม ข้อพิพาทเกี่ยวกับการแล้วเสร็จของงานที่เกิดขึ้นในวงการก่อสร้างในประเทศไทย ไม่ได้มีแค่การตีความในสัญญานั้น เพราะบ่อยครั้งการตีความว่างานแล้วเสร็จหรือไม่ ส่งมอบรับมอบกันได้หรือยัง อาจต้องดูจาก “พฤติกรรม” ที่คู่สัญญาปฏิบัติต่อกันประกอบด้วย สิ่งเหล่านี้ส่งผลให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมาทั้งเรื่องการผิดสัญญา การคิดค่าปรับ และเมื่อปัญหาแก้ไม่ได้ก็กลายเป็นข้อพิพาทขึ้นสู่กระบวนการพิจารณาของศาล ดังกรณีศึกษาที่น่าสนใจที่จะพูดถึงในหัวข้อถัดไป

กรณีศึกษาจากคำพิพากษาของศาลในประเทศไทย

แม้สัญญามาตรฐานของต่างประเทศและในประเทศจะมีการเขียนเงื่อนไขแบ่งแยกการแล้วเสร็จเอาไว้ชัดเจน แต่ปัญหาเกี่ยวกับข้อสัญญาและการปฏิบัติในวงการก่อสร้างไทยก็ยังคงเกิดขึ้นบ่อยครั้ง เพราะในการบริหารสัญญา คู่สัญญาอาจมีพฤติกรรมบางอย่างที่ส่งผลให้เกิดความขัดแย้ง ทั้งเรื่องการปฏิบัติต่อกันในเรื่องการส่งมอบและรับมอบงาน การคิดค่าปรับ ความรับผิดในความชำรุดบกพร่อง ซึ่งหากปัญหาเหล่านี้คู่สัญญาตกลงกันไม่ได้ ก็จะกลายเป็นข้อพิพาทที่ไปสู่กระบวนการพิจารณาของศาล ดังที่จะยกตัวอย่างจากคำพิพากษาของศาลดังต่อไปนี้

¹³ FIDIC (International Federation of Consulting Engineers), “Conditions of Contract for Construction” (2nd ed., 2017), Sub-Clause 8.8 [Responsibility for Care of the Works].

¹⁴ สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐาน ฉบับศรีปทุม 2 (พ.ศ. 2565), ข้อ 12.4 [การรับมอบงาน].

¹⁵ สัญญาจ้างเหมาก่อสร้างมาตรฐาน ฉบับศรีปทุม 2 (พ.ศ. 2565), ข้อ 13.1 [ระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่องผลงาน].





การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง

1. ความแตกต่างระหว่าง “การไม่ปฏิบัติตามสัญญาให้ครบถ้วน” กับ “งานชำรุดบกพร่อง”

คำพิพากษาศาลฎีกาที่ 7172/2547 วินิจฉัยว่า¹⁶

ความชำรุดบกพร่องตามประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ มาตรา 601 หมายความว่า ความชำรุดบกพร่องซึ่งเกิดขึ้นตามที่บัญญัติไว้ในมาตรา 598¹⁷, 599 และ 600 อันหมายถึงความชำรุดบกพร่องในตัวทรัพย์สินที่ผู้รับจ้างส่งมอบให้ผู้ว่าจ้างครบถ้วนแล้ว มิใช่หมายถึงการไม่ปฏิบัติให้ครบถ้วนตามสัญญา

ที่จำเลยฎีกาว่า ว. ตัวแทนโจทก์รับมอบงานก่อสร้างบ้านจากจำเลยโดยมิได้อัดเอื้อน จำเลยจึงไม่ต้องรับผิดชอบต่อโจทก์ตามประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ มาตรา 598 นั้น เห็นว่า กรณีนี้เป็นเรื่องโจทก์ฟ้องอ้างว่าจำเลยผิดสัญญา เพราะไม่ปฏิบัติงานให้เรียบร้อยตามสัญญา หาใช่ฟ้องให้จำเลยรับผิดชอบในความชำรุดบกพร่องของงานที่ทำ เมื่อข้อเท็จจริงปรากฏว่าจำเลยเป็นฝ่ายผิดสัญญาเพราะไม่ปฏิบัติงานให้เรียบร้อยตามสัญญาจริง โจทก์จึงมีสิทธิเรียกเงินคืนจากจำเลยตามสัดส่วนของงานที่ยังไม่ได้ทำให้เรียบร้อยตามสัญญาได้

ศาลวินิจฉัยว่า ความชำรุดบกพร่องตามประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ หมายถึง ความเสียหายที่เกิดขึ้นในตัวทรัพย์สินหลังจากที่ผู้รับจ้างส่งมอบงานที่ “ครบถ้วน” แล้ว แต่ข้อเท็จจริงตามคำพิพากษานี้เป็นกรณีที่ผู้รับจ้าง “ไม่ปฏิบัติให้ครบถ้วนตามสัญญา” จึงถือเป็นการผิดสัญญา มิใช่เรื่องความชำรุดบกพร่องผู้ว่าจ้างจึงมีสิทธิเรียกเงินคืนตามสัดส่วนของงานที่ยังไม่ได้เสร็จได้

จากบทบัญญัติของกฎหมายและกรณีศึกษาจากคำพิพากษาในคดีนี้ เห็นได้ว่า หากงานยังไม่แล้วเสร็จตามแบบและข้อกำหนดก็จะยังถือไม่ได้ว่างานนั้นแล้วเสร็จ

2. งานไม่แล้วเสร็จ ผู้รับจ้างต้องรับผิดชอบทั้ง “ค่าปรับงานล่าช้า” และ “ค่าจ้างผู้ควบคุมงาน”

คำพิพากษาศาลฎีกาที่ 14938/2558 วินิจฉัยว่า¹⁸

ข้อตกลงตามสัญญาจ้างกำหนดว่าหากผู้รับจ้างไม่สามารถทำงานให้แล้วเสร็จตามเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญา และผู้ว่าจ้างยังมิได้บอกเลิกสัญญา ผู้รับจ้างจะต้องชำระค่าปรับให้แก่ผู้ว่าจ้างตามจำนวนเงินที่กำหนดและจะต้องชำระค่าใช้จ่ายในการควบคุมงานในเมื่อผู้ว่าจ้างต้องจ้างผู้ควบคุมงานอีกต่อหนึ่ง อันมีลักษณะเป็นสัญญาเพื่อประโยชน์ของบุคคลภายนอกตาม ปพพ มาตรา 374 เมื่อโจทก์ทวงถามให้จำเลยชำระเงินดังกล่าวแล้ว ถือได้ว่าได้เข้ารับเอาประโยชน์จากสัญญาแล้ว จำเลยจึงต้องผูกพันรับผิดชอบตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง

กรณีศึกษาชี้ให้เห็นว่า เมื่องานก่อสร้างล่าช้าและถือว่างานยังไม่แล้วเสร็จตามสัญญา ความรับผิดชอบของผู้รับจ้างอาจไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ ค่าปรับงานก่อสร้างล่าช้านั้น แต่ยังรวมถึง ค่าจ้างผู้ควบคุมงานที่ผู้ว่าจ้างต้องรับผิดชอบไว้ด้วย นอกจากกรณีศึกษาคดีนี้ การไม่แล้วเสร็จของงานก่อสร้างอาจทำให้ผู้รับจ้างต้องชดเชยค่าเสียหายอื่น ๆ ตามมาอีกด้วย

¹⁶ กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, เรียนรู้จากศาล เล่ม 2 คำพิพากษาคดีก่อสร้าง (นนทบุรี, 2568)

¹⁷ ประมวลกฎหมายแพ่งและพาณิชย์ มาตรา 598 : ถ้าผู้ว่าจ้างยอมรับมอบการที่ทำงานแล้วทั้งชำรุดบกพร่องมิได้อัดเอื้อนโดยแสดงออกชัดหรือโดยปริยาย ผู้รับจ้างก็ต้องรับผิดชอบ เว้นแต่ความชำรุดบกพร่องนั้นเป็นเช่นนั้นจะมิพึงพบได้ในขณะเมื่อรับมอบ หรือผู้รับจ้างได้ปิดบังความนั้นเสีย

¹⁸ กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, เรียนรู้จากศาล เล่ม 2 คำพิพากษาคดีก่อสร้าง (นนทบุรี, 2568)





3. การยอมรับงานที่มีความชำรุดบกพร่องเล็กน้อย คำพิพากษาศาลฎีกาที่ 7809/2540 วินิจฉัยว่า¹⁹

โจทก์ยอมรับเอาผลงานและชำระเงินให้จำเลยโดยดี โดยงานที่จำเลยทำส่วนใหญ่สมบูรณ์ มีความชำรุดบกพร่องเพียงเล็กน้อย ดังนี้ถือว่าจำเลยได้ทำงานที่จ้างให้โจทก์เสร็จแล้ว ตามสัญญาจ้างเหมาฉบับพิพาทมีข้อความว่า ผู้รับจ้างต้องทำงานรายนี้ให้แล้วเสร็จบริบูรณ์ภายในกำหนด 180 วันนับแต่วันที่ปรากฏในสัญญานี้เป็นต้นไป ถ้าหากไม่แล้วเสร็จภายในกำหนดนี้ผู้รับจ้างยินยอมให้ผู้ว่าจ้างปรับเป็นรายวันจนกว่าผู้รับจ้างจะทำงานรายนี้แล้วเสร็จสมบูรณ์ แต่ถ้าผู้ว่าจ้างเห็นว่าผู้รับจ้างไม่มีทางที่จะทำงานจ้างรายนี้ให้แล้วเสร็จได้ เมื่อครบกำหนด 60 วันแล้ว ผู้รับจ้างยังไม่แล้วเสร็จ ผู้ว่าจ้างมีอำนาจที่จะเลิกสัญญานี้ได้ทันที และหากเกิดความเสียหายใด ๆ ขึ้น อันเนื่องจากผู้รับจ้างเหมาผิดสัญญา ผู้ว่าจ้างมีสิทธิเรียกร้องค่าเสียหายได้ตามกฎหมายอีกส่วนหนึ่ง ดังนี้ เมื่อครบกำหนดแล้วโจทก์ไม่ได้บอกเลิกสัญญาแล้วใช้สิทธิเรียกเบี้ยปรับตามสัญญา แต่กลับยอมต่ออายุสัญญาให้จำเลยโดยยอมรับเอาผลงานของจำเลยและชำระค่าจ้างให้จำเลยในวันซึ่งเป็นเวลาภายหลังที่ครบกำหนดอายุสัญญาที่โจทก์ต่อให้แล้วแสดงว่า โจทก์ไม่ได้ถือเอาระยะเวลาตามสัญญาเป็นสาระสำคัญโจทก์จึงไม่มีสิทธิเรียกเบี้ยปรับจากจำเลย

ศาลวินิจฉัยว่า แม้สัญญาจะกำหนดให้งานต้อง “เสร็จบริบูรณ์” แต่เมื่อผู้ว่าจ้าง “ยอมรับเอาผลงานและชำระเงินให้ผู้รับจ้างโดยดี” ประกอบกับ งานส่วนใหญ่สมบูรณ์และมีความชำรุดบกพร่องเพียงเล็กน้อย จึงถือได้ว่าผู้รับจ้างได้ทำงานแล้วเสร็จแล้ว อีกทั้งศาลยังวินิจฉัยต่อไปอีกว่า พฤติการณ์ที่ผู้ว่าจ้างยอมรับมอบงานและจ่ายเงินภายหลังครบกำหนดสัญญา เห็นได้ว่าผู้ว่าจ้างไม่ถือเอาระยะเวลาตามสัญญาเป็นสาระสำคัญ ผู้ว่าจ้างจึงไม่มีสิทธิเรียกค่าปรับ (เบี้ยปรับ) จากผู้รับจ้าง

4. สัญญาจ้างก่อสร้างภาครัฐมักต้อง “แล้วเสร็จสมบูรณ์” คำพิพากษาศาลปกครองสูงสุดที่ 313/2562 วินิจฉัยว่า²⁰

ผู้ถูกฟ้องคดี (ผู้รับจ้าง) มีหนังสือถึงผู้ฟ้องคดี (ผู้ว่าจ้าง) ขอส่งมอบงาน ซึ่งผู้ฟ้องคดีได้ตรวจสอบการดำเนินการก่อสร้างแล้วพบว่า การก่อสร้างไม่เป็นไปตามรูปแบบและรายการผู้ฟ้องคดีจึงมีหนังสือแจ้งให้ผู้ถูกฟ้องคดีแก้ไขให้เรียบร้อย หลังจากนั้นผู้ถูกฟ้องคดีมีหนังสือแจ้งผู้ฟ้องคดีว่าได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงงานเสร็จเรียบร้อยแล้วและขอส่งมอบงาน

คำพิพากษาศาลปกครองสูงสุดที่ 332/2562 วินิจฉัยว่า²¹

ระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ.2535 ข้อ 71 (4) วรรคหนึ่ง กำหนดว่า คณะกรรมการตรวจรับพัสดุ มีหน้าที่ดังนี้ เมื่อตรวจถูกต้องครบถ้วนแล้ว ให้รับพัสดุไว้ และถือว่าผู้ขายหรือผู้รับจ้างได้ส่งมอบพัสดุถูกต้องครบถ้วน ตั้งแต่วันที่ผู้ขายหรือผู้รับจ้างนำพัสดุนั้นมาส่ง การที่ผู้ฟ้องคดี (ผู้รับจ้าง) ส่งมอบงานภายในเวลาที่กำหนดตามสัญญา แม้ว่าคณะกรรมการจะตรวจรับงานในภายหลัง เมื่อไม่ปรากฏว่างานมีความชำรุดบกพร่อง จึงถือว่าผู้ฟ้องคดีได้ส่งมอบงานถูกต้องครบถ้วนตั้งแต่วันที่ส่งมอบ

คำพิพากษาศาลปกครองสูงสุดที่ 941/2564 วินิจฉัยว่า²²

ผู้ฟ้องคดี (ผู้รับจ้าง) ส่งมอบงานงวดสุดท้ายเมื่อวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2554 แต่ผลการตรวจงานจ้างถือว่างานยังไม่เสร็จสมบูรณ์ตามสัญญา โดยผู้ฟ้องคดีได้แก้ไขงานตามความเห็นของคณะกรรมการตรวจการจ้างอีกหลายครั้ง จึงไม่อาจฟังว่าผู้ฟ้องคดีได้ส่งมอบงานที่เสร็จสมบูรณ์

¹⁹ กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, เรียนรู้จากศาล เล่ม 2 คำพิพากษาคดีก่อสร้าง (นนทบุรี, 2568)

²⁰ กัมพล กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, เรียนรู้จากศาล ตอน ข้อพิพาทสัญญาก่อสร้าง (นนทบุรี, 2562)

²¹ เรื่องเดียวกัน

²² เรื่องเดียวกัน



การแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง

ที่ผู้ฟ้องคดีอ้างว่าคณะกรรมการตรวจการจ้างต้องตรวจรับงานให้เสร็จสิ้นภายใน 3 วัน ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ.2535 นั้น ความในข้อ 72 (3) ของระเบียบดังกล่าวกำหนดว่า โดยปกติให้ตรวจผลงานที่ผู้รับจ้างส่งมอบภายใน 3 วันทำการนับแต่วันที่ประธานกรรมการได้รับทราบการส่งมอบงาน และให้ทำการตรวจรับให้เสร็จสิ้นไปโดยเร็วที่สุด ซึ่งเป็นเพียงกำหนดเวลาเร่งรัดในการดำเนินการตรวจรับของคณะกรรมการตรวจการจ้าง และระยะเวลาในการพิจารณาตรวจรับงานย่อมแตกต่างกันตามลักษณะของงาน

ประการสำคัญ ระยะเวลาในการตรวจรับงาน หากเน้นเข้าก็มีได้เป็นผลโดยตรงในการพิจารณาว่าการส่งมอบงานล่าช้าหรือไม่ เพราะต้องถือเอาวันที่ส่งมอบงานแล้วเสร็จสมบูรณ์เป็นวันส่งมอบงาน มิใช่ถือเอาวันที่ส่งมอบงานครั้งแรก

จากแนวคำวินิจฉัยของศาลปกครองสูงสุดทั้งสามข้างต้น เห็นได้ว่า การส่งมอบและรับมอบงานในโครงการก่อสร้างภาครัฐที่สัญญากำหนดให้ต้องแล้วเสร็จสมบูรณ์นั้น มีแนวทางปฏิบัติที่จะต้องถือเอา “การแล้วเสร็จสมบูรณ์” เป็นจุดตัดเพียงจุดเดียว กล่าวคือ หากงานก่อสร้างยังไม่เป็นไปตามแบบรูปรายการ หรือยังคงมีความชำรุดบกพร่องที่ต้องแก้ไขอยู่ ก็จะไม่ถือว่างานนั้น “แล้วเสร็จ” ตามสัญญา

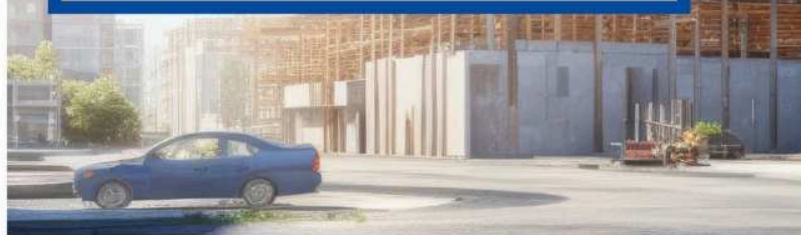
หากเปรียบเทียบกับสัญญามาตรฐานต่างประเทศและในประเทศตามที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว จะเห็นว่า การส่งมอบงานก่อสร้างในสัญญาก่อสร้างภาครัฐนั้นไม่มีการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) แต่การแล้วเสร็จตามสัญญาจะมีเพียงการแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) เท่านั้น กล่าวคือ ผู้รับจ้างจะต้องส่งมอบงานที่ไม่มีความชำรุดบกพร่อง จึงจะถือว่าส่งมอบงานแล้วเสร็จถูกต้องตามสัญญาแล้ว

ดังนั้น การบริหารสัญญาก่อสร้างภาครัฐ ที่กำหนดให้งานต้องแล้วเสร็จสมบูรณ์นั้น ผู้บริหารสัญญาควรต้องเตรียมตรวจสอบงานตามแบบรูปและรายการและงานชำรุดบกพร่องให้ครบถ้วนก่อนวันครบกำหนดส่งมอบงานตามสัญญา มิฉะนั้นผู้รับจ้างอาจตกเป็นฝ่ายผิดสัญญาจนเกิดเป็นค่าปรับและค่าเสียหายต่าง ๆ ตามมาได้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ปัญหาการตีความ “การแล้วเสร็จ” ของงานก่อสร้าง เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ในวงการก่อสร้างไทย ซึ่งมีเหตุมาจากความไม่ชัดเจนของการร่างสัญญาและความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนระหว่างคู่สัญญา พฤติการณ์ต่าง ๆ ที่คู่สัญญาปฏิบัติต่อกัน อย่างไรก็ตาม เจตนารมณ์ของสัญญาจ้างก่อสร้างมาตรฐานต่างประเทศ (เช่น FIDIC, JCT, AIA) และสัญญามาตรฐานของไทย ล้วนออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อพิพาทที่เกิดขึ้น โดยการแบ่งแยก “การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้” (Substantial Completion) และ “การแล้วเสร็จสมบูรณ์” (Final Completion) ออกจากกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เพื่อใช้เป็นจุดตัดสำคัญในการส่งมอบและรับมอบงาน ที่จะส่งผลต่อการหยุดคิดค่าปรับงานก่อสร้างล่าช้า การเริ่มนับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง การโอนความรับผิดชอบในดูแลรักษางานก่อสร้าง และสิทธิหน้าที่อื่น ๆ ตามที่สัญญากำหนด

แม้สัญญามาตรฐานต่างประเทศและในประเทศหลายฉบับจะเปิดทางให้รับมอบงานได้แม้งานจะยังมีความชำรุดบกพร่องเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติของไทยกลับพบข้อพิพาทมากมาย บางสัญญามีการเขียนเงื่อนไขที่สับสน เช่น ใช้ชื่อเรียกการแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ แต่กลับกำหนดความหมายไว้เป็นการแล้วเสร็จสมบูรณ์ ทำให้เกิดเป็นข้อโต้แย้งในการบริหารสัญญา ทำให้นำไปสู่ข้อพิพาทในชั้นศาลได้



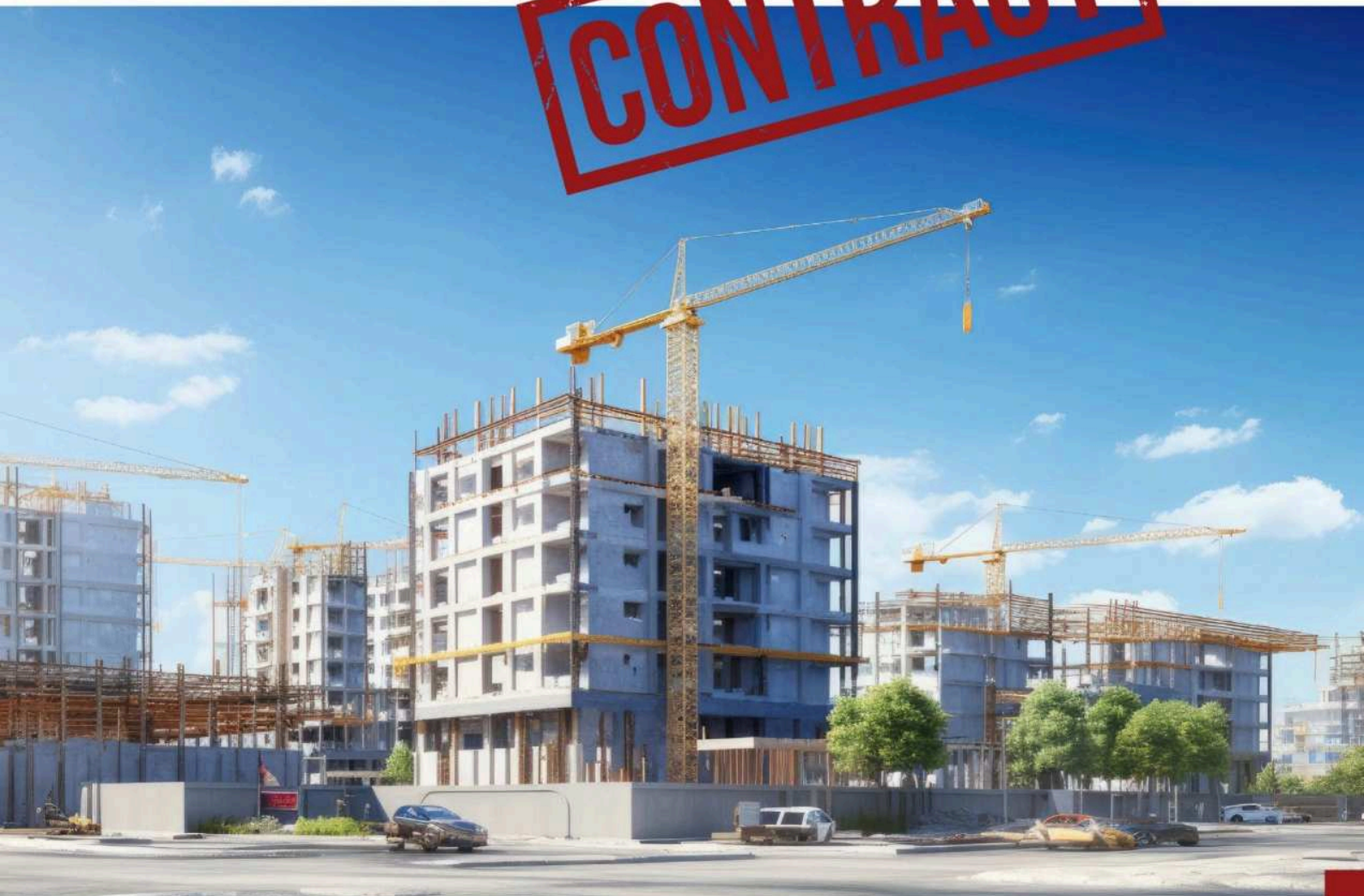


ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงข้อพิพาทที่เกี่ยวกับการแล้วเสร็จของงานในสัญญาจ้างก่อสร้าง คู่สัญญาควรให้ความสำคัญในเรื่องต่อไปนี้

1. การร่างสัญญาจ้างก่อสร้าง คู่สัญญาควรกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับการแล้วเสร็จให้ชัดเจน โดยอาจแบ่งเป็น การแล้วเสร็จแบบใช้งานได้ (Substantial Completion) และ การแล้วเสร็จสมบูรณ์ (Final Completion) พร้อมทั้งกำหนดในสัญญาให้ชัดเจนว่าการแล้วเสร็จแบบใดจะถือว่าเป็นการส่งมอบงานและรับมอบงานได้ การแล้วเสร็จแบบใดเป็นจุดตัดในการหยุดคิดค่าปรับ การเริ่มรับระยะเวลาประกันความชำรุดบกพร่อง ตลอดจนหลักประกันต่าง ๆ โดยการร่างสัญญานี้อาจศึกษาได้จากเงื่อนไขของสัญญามาตรฐานที่ได้เขียนไว้แล้วข้างต้น

2. การบริหารสัญญาก่อสร้าง คู่สัญญาควรให้ความสำคัญกับการแล้วเสร็จของงานก่อสร้าง ศึกษาเงื่อนไขสัญญาในเรื่องการแล้วเสร็จของงานให้ชัดเจน หากเงื่อนไขสัญญาไม่ได้กำหนดไว้หรือกำหนดไว้ไม่ชัดเจนก็ควรหยิบยกรายการกันตั้งแต่ต้นโครงการ ส่วนในตอนที่ท้ายของโครงการก็ควรให้ความสำคัญกับการส่งมอบและรับมอบงานอย่างเป็นระบบ ควรเริ่มตรวจรายการความชำรุดบกพร่องให้ชัดเจนก่อนการส่งมอบและรับมอบงาน

CONTRACT





3D Laser Scanning กับการยกระดับ การตรวจสอบโครงสร้างยุคใหม่



“เมื่อข้อจำกัดของการ
ตรวจสอบโครงสร้าง
แบบดั้งเดิมถูกก้าวข้าม
ด้วยเทคโนโลยี 3D Laser
Scanning การประเมิน
แรงดึงสายเคเบิลแบบ
ไม่สัมผัส (Non-contact
Evaluation) โดยใช้ข้อมูล
Point Cloud จึงกลายเป็น
แนวทางสำคัญในการ
วิเคราะห์ เพื่อสนับสนุน
การพัฒนา Smart
Infrastructure
ในอนาคต”

1. บทนำ : ทำไมการตรวจสอบโครงสร้างจึงต้องเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างช่วงยาว (Long-span Structures) เช่น สนามกีฬา ศูนย์แสดงสินค้า อาคารผู้โดยสารสนามบิน และสะพานซึ่งล้วนมีองค์ประกอบสำคัญคือสายเคเบิล ซึ่งทำหน้าที่รับแรงดึงและถ่ายน้ำหนักของโครงสร้าง การเปลี่ยนแปลงของแรงดึง ไม่ว่าจะเกิดจากการใช้งานเป็นเวลานาน การคลายตัวของวัสดุ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือผลกระทบจากสภาพแวดล้อม ล้วนส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมของโครงสร้าง ความสามารถในการรับน้ำหนักและความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้นการตรวจสอบและประเมินแรงดึงของสายเคเบิลจึงเป็นส่วนสำคัญของระบบการตรวจสอบสุขภาพโครงสร้าง (Structural Health Monitoring: SHM) และการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานในระยะยาว

ในปัจจุบันวิธีการตรวจวัดแรงดึงของสายเคเบิลที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์จากความถี่การสั่นสะเทือน (Natural Frequency Method) โดยอาศัยการติดตั้งเซนเซอร์ เช่น Accelerometer หรืออุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนบนสายเคเบิล แล้วนำข้อมูลไปคำนวณหาแรงดึง วิธีดังกล่าวได้รับการยอมรับในวงการวิศวกรรมมายาวนานและให้ผลการประเมินที่น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม การติดตั้งอุปกรณ์บน

สายเคเบิลของโครงสร้างขนาดใหญ่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งความยากในการเข้าถึงตำแหน่งติดตั้ง ความจำเป็นในการใช้รถกระเช้าหรืออุปกรณ์พิเศษ ต้นทุนด้านแรงงานและเวลา รวมถึงความเสี่ยงด้านความปลอดภัย โดยเฉพาะในอาคารหรือสะพานที่ยังเปิดใช้งานตามปกติ





ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยี Terrestrial Laser Scanning (TLS) หรือการสแกนวัตถุสามมิติด้วยแสงเลเซอร์ภาคพื้นดิน ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในงานวิศวกรรมโยธาและการสำรวจโครงสร้าง เทคโนโลยีดังกล่าวสามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งเชิงพื้นที่ของวัตถุได้อย่างรวดเร็ว มีความละเอียดสูง และให้ข้อมูลในรูปแบบกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ซึ่งสามารถนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติของโครงสร้างได้อย่างแม่นยำ นอกจากการสำรวจอาคาร การจัดทำแบบจำลองดิจิทัล และการอนุรักษ์โบราณสถานแล้ว TLS ยังมีศักยภาพในการประเมินสภาพโครงสร้างและติดตามการเปลี่ยนแปลงขององค์อาคารโดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสโครงสร้างโดยตรง (Non-contact Inspection)

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสแกนสามมิติ ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วย Nonlinear Finite Element Analysis (NFEM) อาศัยข้อมูลรูปร่างจริงของสายเคเบิลจากการสแกนสามมิติ แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เป็นเชิงเส้น เพื่อคำนวณหาแรงดึงที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง วิธีการดังกล่าวช่วยลดความจำเป็นในการติดตั้ง



อุปกรณ์บนสายเคเบิล สามารถตรวจสอบจากระยะไกล และเหมาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีสายเคเบิลจำนวนมาก งานวิจัยนี้ได้ผ่านการทดสอบความถูกต้องในห้องปฏิบัติการ และนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างหลังคาช่วงยาวของศูนย์แสดงสินค้าขนาดใหญ่ในประเทศไทย ซึ่งมีสายเคเบิลจำนวนมากกว่า 266 เส้น ผลการศึกษาพบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินแรงดึงของสายเคเบิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับวิธีตรวจวัดแบบดั้งเดิม จึงเป็นตัวอย่างของการนำองค์ความรู้ด้านการสแกนสามมิติและการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับการตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ

2. 3D Laser Scanning เทคโนโลยีที่เปลี่ยนวิธีการตรวจสอบโครงสร้าง

หัวใจสำคัญของเทคโนโลยีนี้คือการประยุกต์ใช้ Terrestrial Laser Scanning (TLS) ร่วมกับ Nonlinear Finite Element Analysis (NFEM) เพื่อประเมินแรงดึงของสายเคเบิลโดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจวัดบนโครงสร้าง วิธีการนี้อาศัยข้อมูลรูปร่างจริงของสายเคเบิลซึ่งสะท้อนสภาพการรับแรงของโครงสร้างในขณะใช้งาน และแตกต่างจากวิธีตรวจวัดแบบดั้งเดิมที่อาศัยการวิเคราะห์ความถี่จากการสั่นสะเทือนของสายเคเบิล

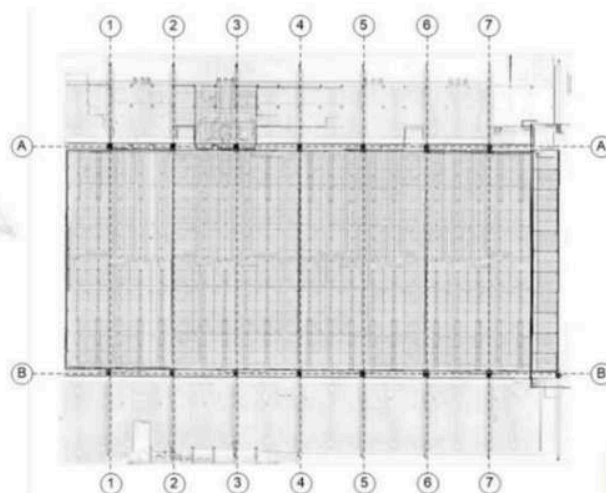
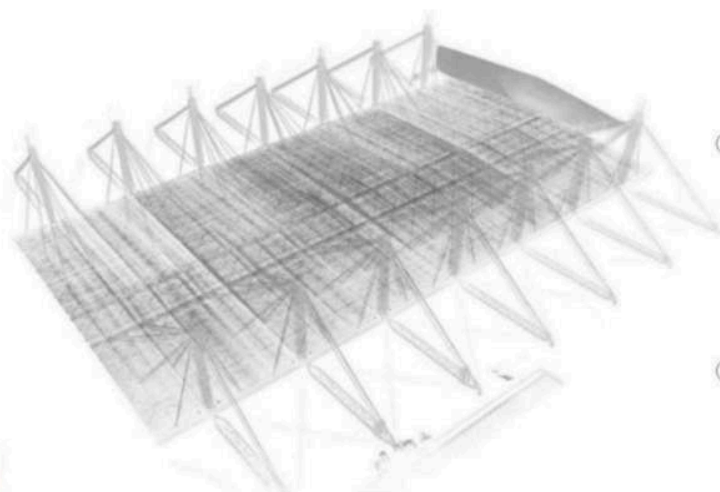




กระบวนการเริ่มจากการเก็บข้อมูลเรขาคณิตของสายเคเบิลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติ เครื่องสแกนจะปล่อยลำแสงเลเซอร์ไปยังพื้นผิวของโครงสร้างและวัดการสะท้อนกลับของแสง ทำให้สามารถบันทึกตำแหน่งของจุดจำนวนมากในพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว ข้อมูลดังกล่าวเรียกว่า กลุ่มจุด หรือ Point Cloud ซึ่งเป็นชุดข้อมูลพิกัดสามมิติที่แสดงรายละเอียดของโครงสร้างจริงด้วยความละเอียดสูง

เมื่อได้ข้อมูลกลุ่มจุดแล้ว จะนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผล ได้แก่ การรวมข้อมูลจากหลายตำแหน่งการสแกน (Registration) การจัดการสัญญาณรบกวน (Noise Filtering) แสดงตัวอย่างข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติของโครงสร้างหลังคาช่วงยาวสำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์แสดงไว้ในรูปที่ 1 จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งตัวอย่าง

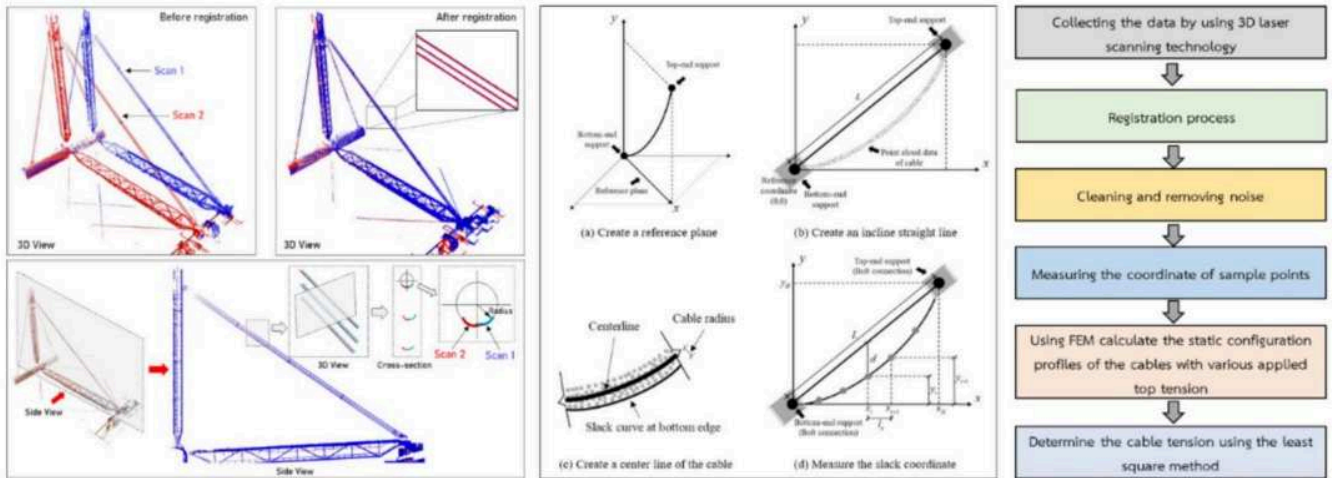
ตามแนวสายเคเบิล เพื่อสร้างเส้นโค้งของสายเคเบิล (Cable Profile) ที่ใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิเคราะห์ จุดเด่นของวิธีการนี้อยู่ที่การนำรูปร่างจริงของสายเคเบิลมาวิเคราะห์ด้วย NFEM ซึ่งพิจารณาพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นของสายเคเบิล ทั้งผลของน้ำหนักตัวเอง ความยืดหยุ่นของวัสดุ และสภาพแข็งเกร็งเชิงตัด (Bending Rigidity) ที่มักถูกละเลยในการคำนวณแบบง่าย จากนั้นจึงใช้ Matching Algorithm เปรียบเทียบรูปร่างของสายเคเบิลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับรูปร่างจริงที่ได้จากการสแกนสามมิติ โดยปรับค่าแรงดึงในแบบจำลองซ้ำจนรูปร่างทั้งสองสอดคล้องกันมากที่สุด ค่าแรงดึงที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดจึงถูกนำมาเป็นผลการประเมินแรงดึงของสายเคเบิล



รูปที่ 1 ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติของโครงสร้างหลังคาช่วงยาว และตำแหน่ง (Gridline) เพื่อรองรับการประเมินสมรรถนะโครงสร้าง

กล่าวโดยสรุป เทคโนโลยีนี้เปลี่ยนแนวคิดจาก “การวัดการสั่นสะเทือนของสายเคเบิล” ไปสู่ “การวิเคราะห์รูปร่างจริงของสายเคเบิล” ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องสัมผัสโครงสร้าง ลดข้อจำกัดด้านการติดตั้งอุปกรณ์ และเหมาะสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีสายเคเบิลจำนวนมาก ลำดับการทำงานของเทคโนโลยีสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2





รูปที่ 2 กระบวนการประเมินแรงดึงของสายเคเบิลด้วยเทคโนโลยีสแกนเลเซอร์ 3 มิติ (TLS) ร่วมกับการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไม่เชิงเส้น (NFEM)

กระบวนการดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับสายเคเบิลของโครงสร้างประเภทต่าง ๆ เช่น หลังคาช่วงยาวและสะพานซึ่ง อีกทั้งข้อมูลกลุ่มจุดที่ได้จากการสำรวจยังสามารถต่อยอดสู่แบบจำลอง Building Information Modeling (BIM), Digital Twin และระบบติดตามสุขภาพโครงสร้าง (Structural Health Monitoring: SHM) ได้ในอนาคต จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่สนับสนุนการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

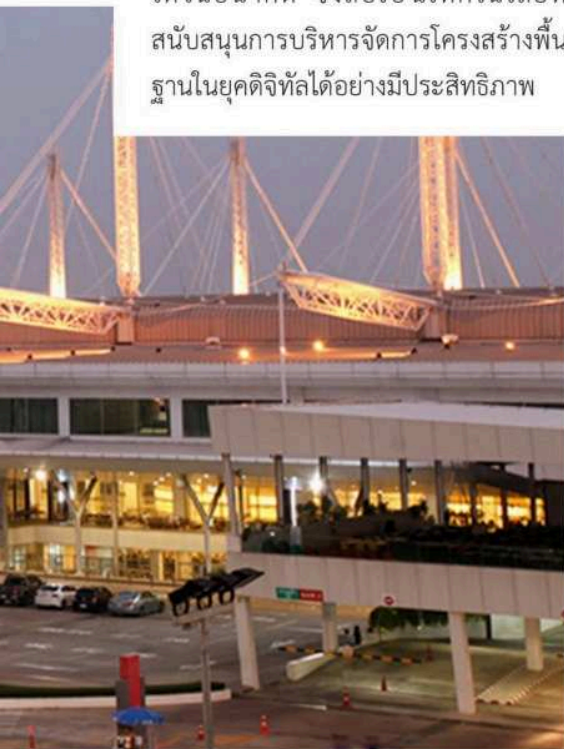
3. Tech in Action: จากภาคสนามสู่การประเมินแรงดึงสายเคเบิล

หลังจากได้ข้อมูลกลุ่มจุดจากการสแกนสามมิติ ขั้นตอนสำคัญคือการแปลงข้อมูลเรขาคณิตให้เป็นข้อมูลทางวิศวกรรมที่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของโครงสร้างได้ ทีมวิจัยจึงกำหนดตำแหน่งตัวอย่างตามแนวสายเคเบิลเพื่อบันทึกรูปทรงของสายเคเบิล (Cable Profile) สำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์ด้วย NFEM แบบจำลองจะจำลองรูปร่างของสายเคเบิลภายใต้ค่าแรงดึงที่แตกต่างกัน และใช้ Matching Algorithm เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสแกนสามมิติ โดยปรับค่าแรงดึงแบบวนซ้ำจนรูปร่างจากแบบจำลองและรูปร่างจริงมีความสอดคล้องกันมากที่สุด

จุดเด่นของวิธีการนี้คือการใช้ข้อมูลเรขาคณิตของสายเคเบิลเป็นตัวแทนของสภาพการรับแรงในโครงสร้าง ทำให้สามารถประเมินแรงดึงได้โดยไม่ต้องติดตั้งเซนเซอร์หรือเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนบนสายเคเบิล จึงช่วยลดข้อจำกัดในการเข้าถึงพื้นที่เพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และรองรับการตรวจสอบโครงสร้างช่วงยาวที่มีสายเคเบิลจำนวนมาก

ในกรณีศึกษา ทีมวิจัยสามารถประเมินแรงดึงของสายเคเบิลทั้งหมด 266 เส้น ครอบคลุมสายเคเบิล 6 ประเภท (C1–C6) ที่ใช้ในระบบโครงสร้างหลังคา ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สายเคเบิลแต่ละประเภทมีระดับแรงดึงแตกต่างกันตามหน้าที่ในการรับน้ำหนัก โดยสายเคเบิลประเภท C1 ซึ่งเป็นสายหลักของระบบมีค่าแรงดึงสูงที่สุด ขณะที่สายเคเบิลรองมีค่าแรงดึงลดหลั่นลงตามลำดับ สอดคล้องกับหลักการออกแบบและการกระจายแรงของระบบโครงสร้างสายเคเบิล

เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ทีมวิจัยได้นำผลการประเมินจากวิธี TLS-based NFEM ไปเปรียบเทียบกับผลจากวิธีวิเคราะห์ความถี่จากการสั่นสะเทือน ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในงานวิศวกรรม ผลการศึกษพบว่า ค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมีความ





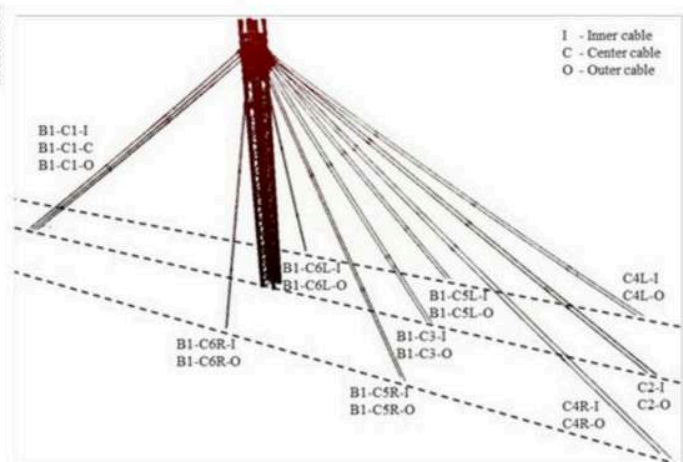
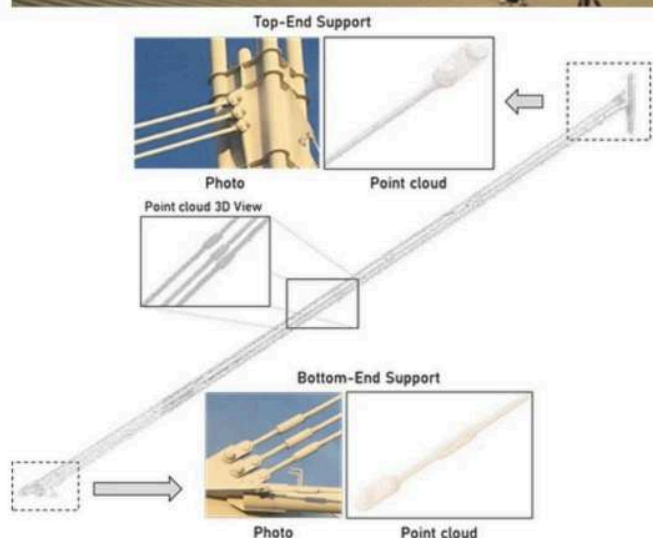
สอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยสายเคเบิลประมาณร้อยละ 70 มีความแตกต่างของค่าแรงดึงไม่เกินร้อยละ 15 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำเพียงพอสำหรับการประเมินสภาพโครงสร้างในภาคสนาม และสามารถใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลกลุ่มจุดไม่ได้เป็นเพียงผลลัพธ์ของการสำรวจสามมิติเท่านั้น แต่สามารถต่อยอดเป็นข้อมูลเชิงวิศวกรรมสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (Structural Performance Assessment) ได้อย่างเป็นรูปธรรม นับเป็นอีกก้าวสำคัญของการประยุกต์ใช้ Digital Engineering เพื่อยกระดับการตรวจสอบและการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานในอนาคต ตัวอย่างการเก็บข้อมูลภาคสนามและการจัดการข้อมูลกลุ่มจุดของระบบสายเคเบิลแสดงไว้ในรูปที่ 3

4. ผลลัพธ์และบทเรียนจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

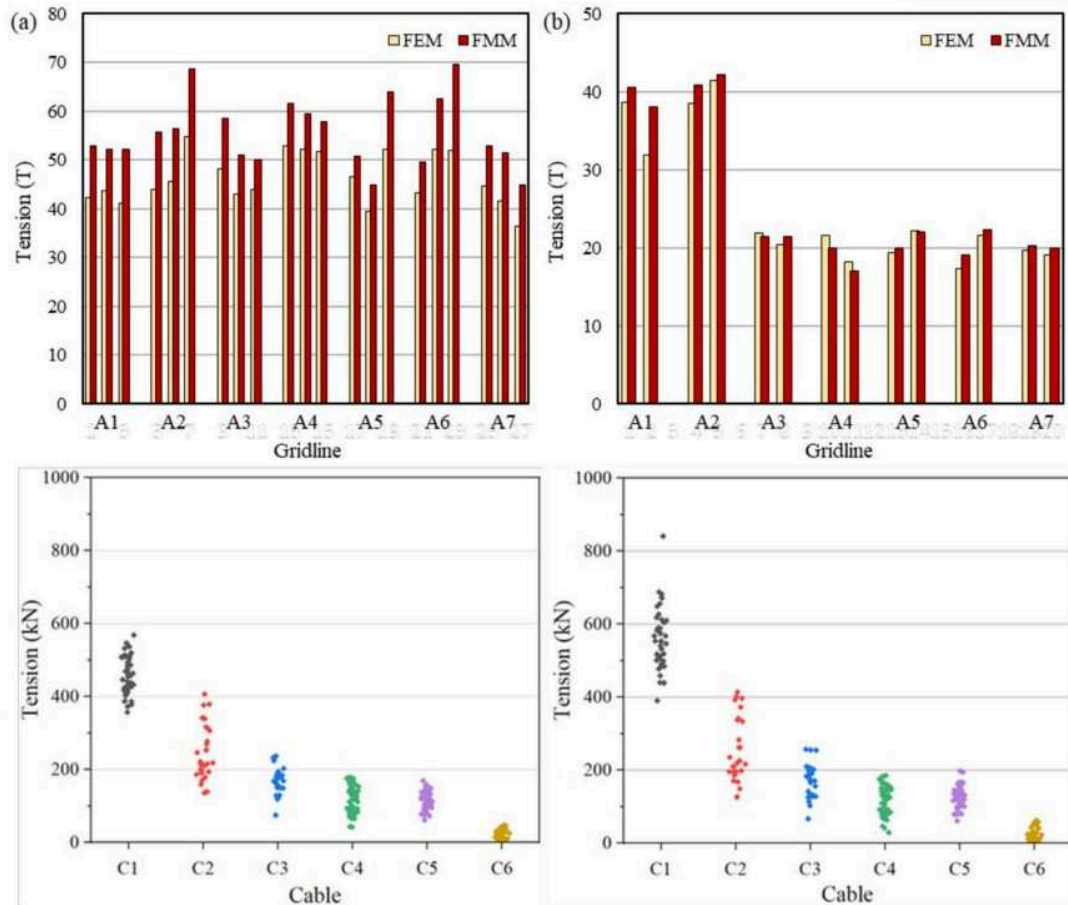
ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกับโครงสร้างจริงยืนยันว่า การใช้ข้อมูล Point Cloud ร่วมกับ NFEM สามารถประเมินแรงดึงของสายเคเบิลได้โดยไม่ต้องติดตั้งเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจวัดบนสายเคเบิล วิธีการดังกล่าวช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพิ่มความปลอดภัย และเพิ่มความคล่องตัวในการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่

จากการประเมินสายเคเบิลจำนวน 266 เส้น พบว่าค่าแรงดึงที่ได้จากวิธี TLS-based NFEM มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากวิธีวัดความถี่การสั่นสะเทือน โดยสายเคเบิลส่วนใหญ่มีค่าความแตกต่างของแรงดึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินโครงสร้างในสภาพใช้งานจริง ผลลัพธ์ดังกล่าวยืนยันว่า



รูปที่ 3 การเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยเทคโนโลยีสแกนเลเซอร์ 3 มิติ และการจัดการข้อมูลกลุ่มจุด (Point Cloud) ของระบบสายเคเบิลโครงสร้างหลังคา

การใช้รูปร่างจริงของสายเคเบิลร่วมกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสามารถให้ผลการประเมินที่น่าเชื่อถือ และมีศักยภาพในการเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ ภาพรวมของผลการเปรียบเทียบและการกระจายตัวของแรงดึงแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลการประเมินแรงดึงของสายเคเบิลด้วยวิธี TLS-based NFEM กับวิธีวิเคราะห์ความถี่ การสั่นสะเทือน และการกระจายตัวของแรงดึงในสายเคเบิลแต่ละประเภท

อีกประเด็นหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์ คือการนำสภาพแข็งเกร็งเชิงดัด (Bending Rigidity) ของสายเคเบิล มาพิจารณาไว้ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้แบบจำลองสามารถสะท้อนพฤติกรรมของสายเคเบิลจริงได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะสายเคเบิลที่มีขนาดใหญ่และรับแรงดึงสูง แม้ว่าความแตกต่างของผลการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ไม่พิจารณาผลของสภาพแข็งเกร็งเชิงดัดจะมีค่าไม่มาก แต่การพิจารณาปัจจัยดังกล่าวช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ และทำให้แบบจำลองใกล้เคียงกับสภาพจริงมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีไปใช้งานภาคสนามยังมีปัจจัยที่ต้องควบคุมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ ได้แก่ การเลือกตำแหน่งติดตั้งเครื่องสแกน การควบคุมคุณภาพของข้อมูล Point Cloud และการลดผลกระทบจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร การวางแผนการสำรวจตั้งแต่ต้นจะช่วยให้ได้ข้อมูลเรขาคณิตของสายเคเบิลที่ครบถ้วน ลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน จากประสบการณ์การประยุกต์ใช้งานจริง การใช้ 3D Laser Scanning มีข้อได้เปรียบสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีตรวจสอบแบบดั้งเดิม ดังนี้



- ไม่ต้องติดตั้งเซนเซอร์บนสายเคเบิล จึงลดความเสี่ยงในการทำงานบนที่สูง
- สามารถตรวจสอบสายเคเบิลจำนวนมากได้จากการสำรวจครั้งเดียว ช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการปฏิบัติงาน
- ไม่รบกวนการใช้งานของอาคารหรือโครงสร้าง เหมาะสำหรับอาคารที่ยังเปิดใช้งานตามปกติ
- ข้อมูลกลุ่มจุดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น การจัดทำแบบจำลอง BIM การพัฒนา Digital Twin หรือการติดตามการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในระยะยาว
- รองรับการประเมินโครงสร้างที่เข้าถึงได้ยาก เช่น หลังคาช่วงยาว สะพานซิง และโครงสร้างเคเบิลขนาดใหญ่

แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะมีศักยภาพสูง แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณา เช่น สายเคเบิลที่มีแรงดึงสูงมากมักมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ทำให้ความแตกต่างของรูปร่างจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดึงมีน้อย ส่งผลให้การประเมินแรงดึงมีความไวต่อความละเอียดของข้อมูลการสแกนมากกว่าสายเคเบิลทั่วไป นอกจากนี้ สภาพแวดล้อมในการสำรวจ เช่น การบังของโครงสร้างหรือการสะท้อนของพื้นผิว ยังอาจส่งผลต่อคุณภาพของข้อมูลกลุ่มจุดได้ หากไม่มีการวางแผนการสำรวจที่เหมาะสม

บทเรียนจากการศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่า เทคโนโลยีการสแกนวัตถุสามมิติด้วยแสงเลเซอร์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือสำหรับการสำรวจ แต่เป็นแหล่งข้อมูลสำคัญที่สามารถต่อยอดสู่การประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง (Structural Performance Assessment) และระบบติดตามสุขภาพโครงสร้าง (Structural Health Monitoring: SHM) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อผสานเข้ากับแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และเทคโนโลยีดิจิทัลอื่น ๆ เช่น BIM, Digital Twin และ AI จะช่วยยกระดับการตรวจสอบการบำรุงรักษา และการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานให้มีความแม่นยำ ปลอดภัย และยั่งยืนยิ่งขึ้น

5. ก้าวสู่อนาคตของการตรวจสอบโครงสร้างด้วย Digital Engineering

ผลการศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่า เทคโนโลยีการสแกนวัตถุสามมิติ ได้พัฒนาบทบาทจากเครื่องมือสำรวจทางวิศวกรรมไปสู่แหล่งข้อมูลดิจิทัลสำหรับการประเมินสมรรถนะของโครงสร้าง โดยการผสานข้อมูลเชิงเรขาคณิตจากกลุ่มจุด เข้ากับหลักการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ทำให้สามารถประเมินพฤติกรรมของโครงสร้าง เช่น แรงดึงในสายเคเบิล ได้โดยไม่ต้องสัมผัสโครงสร้าง ลดข้อจำกัดด้านการติดตั้งเครื่องมือภาคสนาม และเพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

จุดเด่นของเทคโนโลยีนี้ไม่ใช่เพียงการลดเวลาและต้นทุนในการสำรวจ แต่คือการเปลี่ยนกรอบแนวคิดจากการวัดแบบเฉพาะจุด (Point-based Measurement) ไปสู่การวิเคราะห์เชิงระบบของโครงสร้าง (System-based Structural Assessment) ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินพฤติกรรมโครงสร้างได้จากข้อมูลดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงและครอบคลุมมากขึ้น สอดคล้องกับแนวโน้มปัจจุบันของวิศวกรรมโยธาที่มุ่งสู่การใช้ข้อมูลดิจิทัลและการติดตามสภาพโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง

ในอนาคต ข้อมูลกลุ่มจุดจะเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศดิจิทัล (Digital Ecosystem) ที่เชื่อมโยงเทคโนโลยี Building Information Modeling (BIM), Digital Twin, Internet of Things (IoT) และ Artificial Intelligence (AI) เข้าด้วยกัน โดยสามารถนำข้อมูลจากการสำรวจมาใช้เป็นฐานข้อมูลของแบบจำลองดิจิทัล เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในแต่ละช่วงเวลา ตรวจจับความผิดปกติ และคาดการณ์แนวโน้มความเสียหายในอนาคต ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานอย่างมีนัยสำคัญ

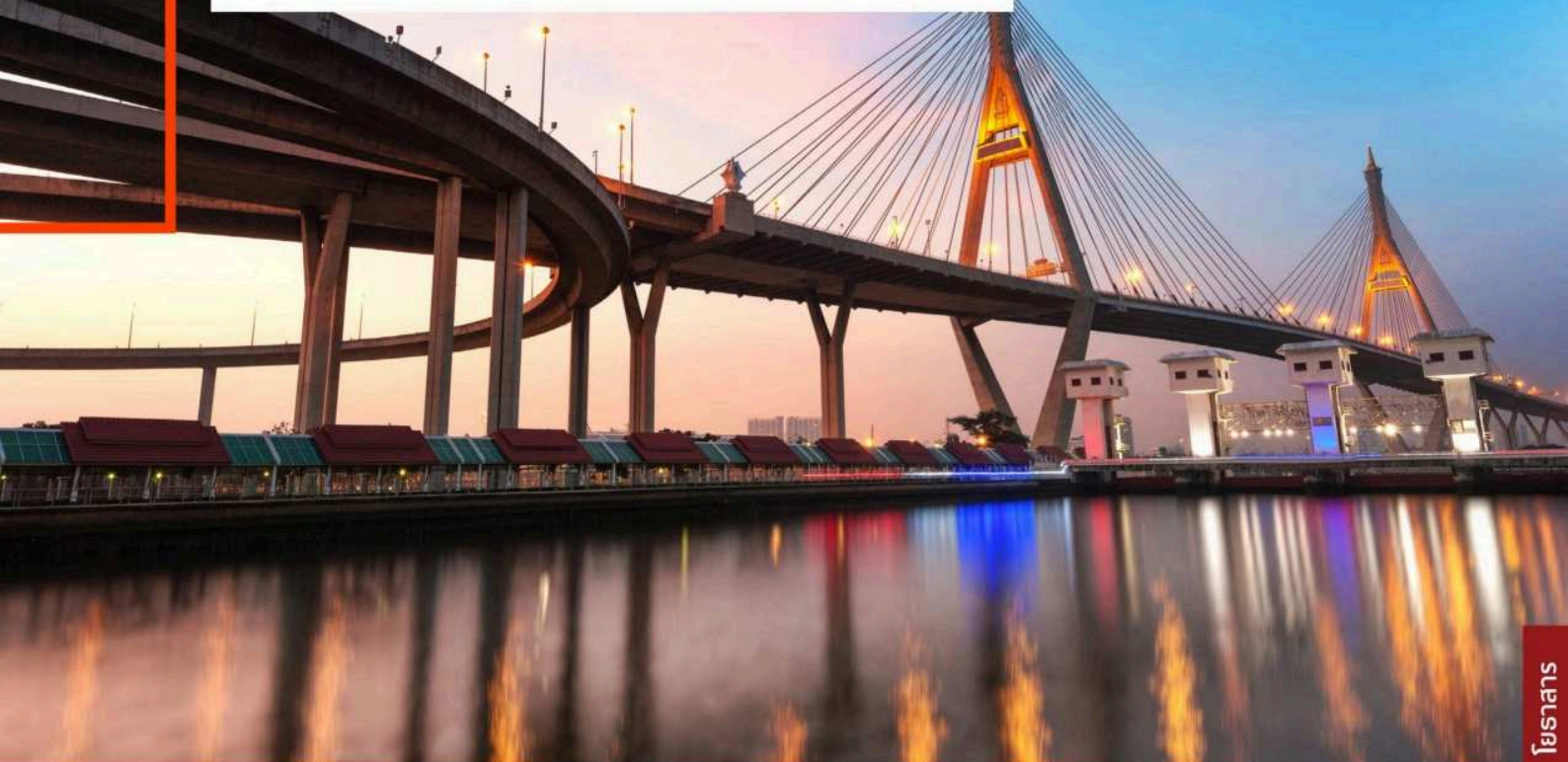
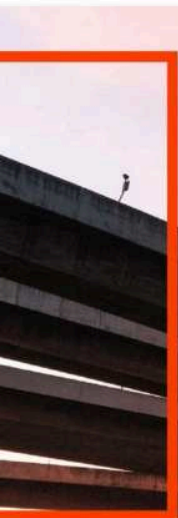


สำหรับประเทศไทย เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้กับโครงสร้างพื้นฐาน ได้แก่ หลังคาช่วงยาวของสนามบินฟ้าและศูนย์ประชุม สะพานซิง สะพานแขวน อาคารสูง รวมถึงโบราณสถานและอาคารมรดกทางวัฒนธรรม ซึ่งเป็นกลุ่มงานที่คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง การบูรณาการข้อมูลสามมิติกับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมจะช่วยยกระดับความแม่นยำในการประเมินความปลอดภัย การวางแผนบำรุงรักษา และการอนุรักษ์โครงสร้าง



ในมุมมองของผู้เขียน การพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตไม่ควรมุ่งเน้นเพียงความละเอียดของเครื่องมือวัด แต่ควรให้ความสำคัญกับการบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่ง ทั้งข้อมูลการสแกนสามมิติ เซนเซอร์ภาคสนาม แบบจำลองเชิงตัวเลข และข้อมูลการใช้งานของโครงสร้าง เพื่อพัฒนาเป็นระบบตรวจสอบโครงสร้างอัจฉริยะ (Intelligent Structural Monitoring System) ที่สามารถประเมินสภาพ แจ้งเตือนความผิดปกติ และสนับสนุนการตัดสินใจแบบเรียลไทม์

ท้ายที่สุด คุณค่าของข้อมูลกลุ่มจุดจากเทคโนโลยีการสแกนสามมิติไม่ได้อยู่เพียงการสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดสูง แต่คือการแปลงข้อมูลเรขาคณิตให้เป็นข้อมูลเชิงวิศวกรรมที่สามารถใช้ประเมินสมรรถนะ คาดการณ์ความเสี่ยง และสนับสนุนการบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งถือเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอัจฉริยะ (Smart Infrastructure) และเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ในอนาคต





01 MOU วสท. กับกรมทางหลวง

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ผนึกกำลัง กรมทางหลวง (ทล.) กระทรวงคมนาคม ลงนาม MOU ยกระดับมาตรฐานวิศวกรรมงานทางชนวิัตกรรมและเทคโนโลยี มุ่งสร้างความปลอดภัยและยั่งยืนระดับสากล โดยมี รองศาสตราจารย์ เอนก ศิริพานิชกร นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ และ นายปิยพงษ์ จิวัฒน์กุลไพศาล อธิบดีกรมทางหลวง เป็นผู้ลงนาม ท่ามกลางคณะผู้บริหารและแขกผู้มีเกียรติจากทั้งสององค์กร 13 มีนาคม 2569 ณ ห้องประชุม อาคาร วสท.

02 วสท. ประชุมหารือเรื่องความร่วมมือทางวิชาการกับ MLIT ประเทศญี่ปุ่น

รศ.เอนก ศิริพานิชกร นายกสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ร่วมกับ รศ.ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด ประธานคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วสท. ดร.พุทธิพงศ์ หะสีห์รัตนวัฒนา ประธานคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท. และ ดร.อรรถสิทธิ์ ศิริสนธิ ที่ปรึกษาคณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท. ได้ประชุมกับ Mr.Hirofumi Shimada เจ้าหน้าที่จากกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน คมนาคม และการท่องเที่ยว (MLIT) ประเทศญี่ปุ่น พร้อมด้วยเจ้าหน้าที่จากสถานทูตญี่ปุ่น และเจ้าหน้าที่จากบริษัท Metropolitan Expressway เพื่อหารือเกี่ยวกับความร่วมมือทางวิชาการด้านความปลอดภัยในการก่อสร้าง

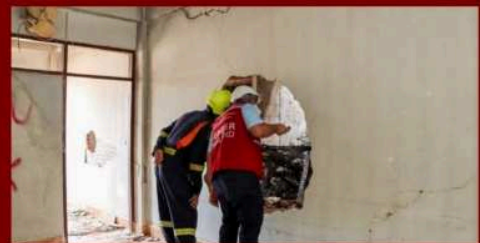
โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีในด้านความปลอดภัยของโครงการก่อสร้างสะพานและทางยกระดับ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญในการคมนาคมขนส่งและสนับสนุนการพัฒนาประเทศ ช่วยยกระดับความปลอดภัยและป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งยังเป็นการสร้างความเชื่อมั่นด้านมาตรฐานด้านความปลอดภัยอีกด้วย

17 มีนาคม 2569 ณ ห้องประชุม อาคาร วสท.



03 ประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 31

วันที่ 27 พฤษภาคม 2569 รศ.เอนก ศิริพานิชกร คณะกรรมการวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ร่วมพิธีเปิดงานประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 31 ภายใต้หัวข้อ “บทบาทของวิศวกรโยธากับภาวะโลกเดือด” เปิดเวทีแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธา มุ่งหาแนวทางรับมือผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน เพื่อเป็นเวทีสำคัญในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ประสบการณ์ ผลงานวิจัย และนวัตกรรมด้านวิศวกรรมโยธา ระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย วิศวกร นักศึกษา และผู้ปฏิบัติงานในสายวิชาชีพ ทั้งชาวไทยและต่างประเทศ จัดโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ โดยงานนี้จัดระหว่างวันที่ 27-29 พฤษภาคม 2569 ณ ศูนย์การประชุม โรงแรมแกรนด์ พาลาสโซ่ พัทยา จังหวัดชลบุรี



04 วสท. ลงพื้นที่ตรวจสอบโครงสร้างอาคาร เหตุเพลิงไหม้

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (วสท.) ส่งวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ ลงพื้นที่ร่วมตรวจสอบโครงสร้างอาคาร เหตุเพลิงไหม้ตึกแถว 5 ชั้น ซอยพระรามที่ 6 ซอย 15 ตามคำเชิญของสำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร

โดย รศ. ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด ประธานสาขาวิศวกรรมโยธา นายสุรเชษฐ์ ศรีงาม ที่ปรึกษาคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย และนายณัฐวุฒิ สมิตีธิเบญจพล กรรมการสาขาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย

ร่วมกับสำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร, เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร, ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ร่วมตรวจสอบโครงสร้าง เพื่อประเมินความปลอดภัยและความมั่นคงแข็งแรงของอาคารที่เกิดเหตุไฟไหม้ และพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อความปลอดภัยของประชาชน

9 มิถุนายน 2569



05 อบรมการออกแบบและก่อสร้างสะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (วสท.) จัดโครงการอบรมหลักสูตรอบรมเรื่อง “การออกแบบและก่อสร้างสะพานแบบคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่อง”



เนื้อหา

- รูปแบบโครงสร้างสะพานแบบคานรูปกล่อง
- การออกแบบสะพานแบบ Balanced Cantilever
- การออกแบบสะพานแบบ Segmental Box Girders
- การก่อสร้างสะพานแบบคานรูปกล่อง

วิทยากรโดย

- ดร.พุทธิพงษ์ ทะสิทธิ์รัตนวัฒนา, ประธานอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน
- ดร.ชวลิต มัชฌิมดำรง, บริษัท เอพซิลอน จำกัด
- ดร.โสภณ ฤทธิ์ดำรงกุล, บริษัท นอร์ซีฟ เอ็นจิเนียริง จำกัด
- ดร.อรรถสิทธิ์ ศิริสนธิ, บริษัท โปร ฟินิกซ์ จำกัด

สะพาน ภายใต้คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ในพระบรมราชูปถัมภ์
17 มิถุนายน 2569 ณ ห้องประชุม อาคาร วสท.

06 ออบุ Fully Integrated Parametric Concrete Bridge Modeling

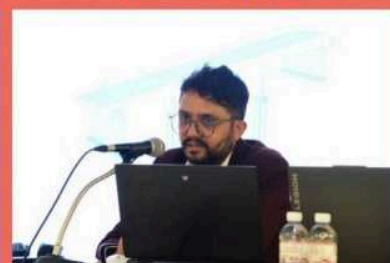
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ (วสท.) ร่วมกับ CSI BANGKOK จัดโครงการอบรมหลักสูตร Fully Integrated Parametric Concrete Bridge Modeling, Analysis, and Design with Bridge Express & CSiBridge

สัมมนามุ่งเน้นไปที่การจำลองโครงสร้างเชิงพารามิเตอร์ การวิเคราะห์ และการออกแบบสะพานคอนกรีตแบบครบวงจร โดยใช้โปรแกรม Bridge Express และ CSiBridge โดยมีวิทยากรดังนี้

1. Associate Professor Dr.Suniti Suparp
2. Dr.Naveed Anwar
3. Mr.Prawit Santisukpotha
4. Mr.Ashish Sapkota

จัดโดย คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และร่วมกับ CSI BANGKOK

30 มิถุนายน 2569 ณ ห้องประชุม อาคาร วสท.





รับสมัครสมาชิก EIT MEMBER

อัตรา
ค่าสมัครสมาชิก

ประเภทสมาชิก	รายปี	ราย 3 ปี	ราย 5 ปี	ราย 10 ปี
สมทบ	350	1,000	1,500	3,000
ภาคี	350	1,000	1,500	3,000
สามัญ	400	1,100	1,800	3,500
วุฒิ	500	1,400	2,300	4,500
นิติบุคคล	10,700			

มาเป็น
สมาชิก वलท.
กันเถอะ



สิทธิพิเศษ
สำหรับสมาชิก



Search... www.eit.or.th



SCAN HERE



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

487 ซอยรามคำแหง 39 แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2184-4600-9 โทรสาร 0-2184-4662
www.eit.or.th E-mail: eit@eit.or.th