การประเมินการใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุคันทางสำหรับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตในกรุงเทพมหานคร

Evaluation of the Use of Cellular Lightweight Concrete as Embankment Material for Asphalt Concrete Roads in Bangkok

ธนุตม์ กล่อมระนก[1,*] และ ชลลดา เลาะฟอ[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: engineering54@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การก่อสร้างถนนบนฐานรากดินเหนียวอ่อนของกรุงเทพมหานครมักประสบปัญหาการทรุดตัวอย่างต่อเนื่องในระยะยาว เนื่องจากน้ำหนักของดินถมมากกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินฐานราก และกระบวนการรวมตัวของดินฐานรากในสภาพชุ่มน้ำ ซึ่งปัจจุบันมีเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินฐานราก 2 หลักการคือ การถ่ายน้ำหนักของดินถมลงไปสู่ชั้นที่แข็งแรง และการเร่งการทรุดตัวด้วยน้ำหนักกดทับล่วงหน้า บทความนี้นำเสนอการใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุทางเลือกในชั้นคันทาง เพื่อลดน้ำหนักของวัสดุที่กระทำบนฐานรากดินเหนียวอ่อน โดยการประเมินคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังรับดึงแยก การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่าอัตราส่วนปัวซอง และการทดกำลังรับแรงอัดแบบไดนามิค เพื่อคัดเลือกความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เหมาะสมมาใช้ในการประเมินหาความหนาสำหรับการประยุกต์ใช้ในชั้นคันทางของโครงสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตผ่านแบบจำลองในโปรแกรม

โครงสร้างถนน ปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินฐานราก โดยการสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ปูพรมเพื่อถ่ายน้ำหนักโครงสร้างถนนผ่านชั้นดินอ่อนลงสู่ชั้นดินแข็ง ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ดีในหลายโครงการ แต่ก็ยังพบปัญหาการยุบตัวที่ไม่สม่ำเสมอของดินระหว่างเสาเข็มดินซีเมนต์ และการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของผิวทางบริเวณขอบถนนและลาดไหล่ทาง นอกจากเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของดินฐานรากสำหรับการก่อสร้างถนนข้างต้นแล้ว การลดปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้างถนนจากวัสดุก่อสร้างเองยังเป็นที่นิยมใช้ต่างประเทศ เช่น การปรับเปลี่ยนวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเพื่อลดแรงที่เกิดจากน้ำหนักวัสดุกระทำบนฐานรากดินเหนียวอ่อน และการปรับเปลี่ยนวัสดุเพื่อป้องกันการสูญเสียความสามารถในการรับกำลังแบกทานของดินบดอัดแบบดั่งเดิม จะสามารถช่วยให้ถนนมีเสถียรภาพระยะยาวในการรับน้ำหนักแรงสถิตยศาสตร์และพลศาสตร์จากยานพาหนะที่กระทำต่อระบบโครงสร้างถนนได้ ปัจจุบันหลายประเทศ เช่น จีน เยอรมนี สหรัฐอเมริกา รัสเซีย บราซิล สิงคโปร์ อินเดีย มาเลเซีย เม็กซิโก อินโดนีเซีย ลิเบีย ซาอุดีอาระเบีย อียิปต์ เนเธอร์แลนด์ ลิเบีย และซาอุดีอาระเบีย ได้ให้ความสนใจในการประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาในงานก่อสร้างทางธรณีเทคนิคต่างๆ เช่น การก่อสร้างอุโมงค์ สะพาน ทางรถไฟ ทางหลวง อาคารสูง ฯลฯ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา การนำความร้อนต่ำ ทนต่อความชื้น การกัดกร่อนและการกระแทก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ราคาถูกและง่ายต่อการผลิต ดังนั้นการใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุทางเลือกในชั้นคันทางของถนนโดยการแทนที่ดินหรือทรายถมบดอัดแบบดั่งเดิม เพื่อลดน้ำหนักวัสดุก่อสร้างกระทำบนฐานรากดินเหนียวอ่อนจึงมีความน่าสนใจ แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการประเมินการใช้คอนกรีตมวลเบาดังกล่าวว่าจะสามารถช่วยลดน้ำหนักกระทำบนฐานราก และเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างถนนได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเมื่อถูกใช้เป็นวัสดุคันทางสำหรับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตในกรุงเทพมหานคร

ลูกบาศก์เมตร มีค่าแรงอัดไม่น้อยกว่า 4 ที่อายุบ่ม 28 วันซึ่งเทียบเท่ากับค่า ที่ 10 และนำโฟมอีพีเอส ( ) ซึ่งผลิตจากการผสมพอลิสไตรีน ( ) ร้อยละ 90 ถึง 95 กับสารขยายตัว ได้แก่ ก๊าซเพนเทน ( ) ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับก๊าซหุงต้ม นำมาขึ้นรูปเม็ดโฟมตามต้องการ มาใช้แทนที่วัสดุทรายถมสำหรับชั้นคันทาง เพื่อลดปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้างถนนโดยรวม ซึ่งวิธีการทั้งสองวิธีสามารถแก้ปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันของชั้นคันทางได้อย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับการประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาได้ถูกนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมปฐพีของการก่อสร้างทางในหลากหลายประเทศ โดยในปี ค.ศ. 1970 ประเทศอังกฤษ ได้นำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามาใช้ครั้งแรกในการก่อสร้างชั้นคันทางของโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 14 บนพื้นที่ฐานรากดินเหนียวอ่อน เพื่อป้องกันการทรุดตัวที่แตกต่างกันระหว่างช่วงถนน เนื่องจากปริมาณการจราจรสูง รวมถึงเป็นฉนวนป้องกันการแข็งตัวของวัสดุโครงสร้างทาง (โดยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 410-590 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 10 [6] สำหรับประเทศไทยกรมทางหลวงได้มีการทดลองนำวัสดุประเภท หรือคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยแอร์โฟม ผสมมอร์ต้า โดยมีความหนาแน่น 800-1 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 13.3 มาใช้สำหรับลดการทรุดตัวของชั้นคันทางบริเวณทางหลวง 417 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการทรุดตัวของชั้นคันทางมีค่าน้อยกว่าคันทางดินเหนียวผสมซีเมนต์มวลเบา คันทางโฟมอีพีเอส และคันทางดินถมตามลำดับ [10] หลังจากนั้นสำนักงานวิศวกรรมทาง สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร ได้ศึกษาการนำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามาใช้แทนที่วัสดุคันทาง หรือทรายถมบดอัดแบบดั่งเดิมในพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่ยังไม่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากยังขาดผลการศึกษาถึงผลกระทบด้านเทคนิคในระยะยาวทั้งในและต่างประเทศ ประกอบกับราคาค่าก่อสร้างที่ค่อนข้างสูง

2.3 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาเป็นคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป โดยมีความหนาแน่นตั้งแต่ 400 ถึง 1 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร สามารถแบ่งได้ 3 ชนิด ตามวัสดุที่ใช้คือ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด และคอนกรีตพรุนหรือโฟมคอนกรีต ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (

คอนกรีตชนิดนี้ใช้วัสดุมวลรวมที่มีน้ำหนักเบามาแทนที่หิน เช่น พลาสติกและดินดานเผา เป็นต้น โดยมีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 65-1 050 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีลักษณะที่สำคัญคือ มีความพรุน ทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง

คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (

คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดเป็นคอนกรีตที่ไม่ยอมให้มีอนุภาคขนาดเล็กหรือส่วนผสมละเอียดอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีต มีเพียงแต่มวลรวมหยาบ เช่น หินคลุก ( ) หินหยาบ ( ) และ ตะกรันพรุน ( ) เป็นต้น ซึ่งปกติจะใช้มวลรวมหยาบขนาดเดียว ทำให้คอนกรีตชนิดนี้มีช่องว่างหรือโพรงอยู่มาก ส่งผลให้กำลังค่อนข้างต่ำ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าประมาณ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตพรุน (

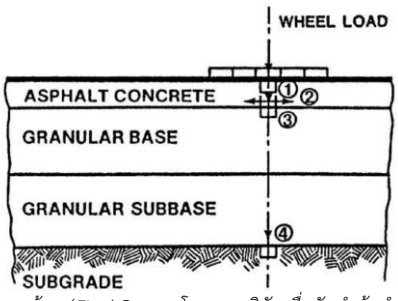
คอนกรีตพรุนเป็นคอนกรีตเบาชนิดหนึ่ง ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบาด้วยวิธีการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำได้โดยการให้ฟองอากาศกระจายในส่วนผสมของมอร์ต้าที่ยังอยู่ในสภาพพลาสติก จากนั้นปล่อยให้แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตพรุนจะมีรูพรุนจากฟองอากาศและไม่ใช้มวลรวมหยาบในการผลิต ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าคอนกรีตพรุน ซึ่งเรียกว่าตามลักษณะของเนื้อคอนกรีต แต่ในทวีปยุโรปจะเรียกตามกรรมวิธีการผลิตเรียกว่า โฟมคอนกรีต ( ) หรือ ก๊าซคอนกรีต ( )

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ( )

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าคือ คอนกรีตที่ผลิตโดยการสร้างโฟม หรือฟองอากาศปริมาณสูงขึ้นมาก่อน อาจผลิตโดยการใส่น้ำยาโฟมลงปั่นในเครื่องผลิตโฟมซึ่งจะได้โฟมเหลว (จากนั้นฉีดโฟมเหลวเข้าไปผสมกับมอร์ตาร์หรือซีเมนต์เพสท์ เพื่อให้ฟองอากาศเข้าไปแทรกตัวตามเนื้อคอนกรีตแทนการใช้มวลรวมหยาบ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตที่ได้ จะมีรูพรุนและมีน้ำหนักเบา

2.4 การตอบสนองวิกฤต (Critical Response) ในโครงสร้างถนนลาดยาง

การตอบสนองวิกฤตในโครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็นวัสดุไม่มีการเชื่อมแน่น ( ) หรือ หินคลุก กรวด ลูกรัง เมื่อมีน้ำหนักกระทำต่อโครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็นวัสดุไม่มีการเชื่อมแน่น พบว่าการตอบสนองวิกฤตจะเกิดที่ตำแหน่งหมายเลข 1 2 3 และ 4 ดังแสดงในรูปที่ 1



*** รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report โครงการวิจัยเพื่อจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางสำหรับประเทศไทย. กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร.*

รูปที่ 1 การตอบสนองวิกฤตในโครงสร้างถนนลาดยาง

หมายเลข 1 เป็น ที่เกิดบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อมีรถบรรทุกหนักเกินพิกัดส่งผลให้ผิวทางมีความแน่นขึ้นและเกิดการเสียรูปถาวรเป็นแนวร่องล้อ

หมายเลข เป็น ที่เกิดใต้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจากผิวทางแอ่นตัวภายใต้น้ำหนักกระทำซ้ำๆ ส่งผลให้โครงสร้างชั้นทางด้านล่างเกิดรอยแตกเนื่องจากความล้า

หมายเลข 3 เป็น ที่เกิดบนชั้นพื้นทาง ซึ่งไม่ส่งผลต่อการวิบัติของโครงสร้างถนนลาดยาง เนื่องจากวัสดุก่อสร้างที่ใช้ก่อสร้างพื้นทางมีความแข็งแรง และตรงตามมาตรฐานงานก่อสร้าง

หมายเลข 4 เป็น ที่เกิดบนชั้นดินฐานราก ( ) ส่งผลให้โครงสร้างชั้นทางเกิดการยุบตัวและเสียรูปถาวร เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำที่สุด ดังนั้นต้องใช้วัสดุอื่นมาทดแทนเพื่อเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

และ 13] ได้ศึกษาการใช้คอนกรีตมวลเบา (เป็นวัสดุใหม่ในการก่อสร้างถนนในสาธารณรัฐสโลวัก หรือสโลวาเกีย โดยดำเนินการทดสอบกับโครงสร้างถนนในชั้นรองพื้นทาง (ภายในมหาวิทยาลัยซิลินา (ก่อนถูกนำไปใช้กับการก่อสร้างทางหลวงภายในประเทศ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวบริษัท ไอวีเทค จำกัด (ได้ผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 500 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับน้ำหนักไม่น้อยกว่า 1.7 สำหรับประยุกต์ใช้งานในโครงสร้างทาง ซึ่งหลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จได้ประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างชั้นทางด้วยวิธีการ

จากผลการทดสอบค่าโมดูลัส ( ) ของชั้นรองพื้นทางที่ถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตมวลเบาที่ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่ามากกว่าชั้นรองพื้นทางแบบดั่งเดิม หรือหินคลุกบดอัดที่มีความหนา 20 เซนติเมตร ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าคอนกรีตมวลเบามีความแข็งแรง และเหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ในโครงสร้างชั้นทาง

และ 14] ได้ศึกษาการใช้คอนกรีตมวลเบาในชั้นรองพื้นทาง (ของถนนผิวทางแอสฟัลต์บนพื้นที่ดินเหนียวอ่อน โดยการศึกษาได้ผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 500-1300 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด รวมทั้งประเมินพฤติกรรมของโครงสร้างถนนจากการรับน้ำหนักรถยนต์ส่วนบุคคลด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข (จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานอยู่ระหว่าง 860-1060 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้การใช้คอนกรีตมวลเบาในชั้นรองพื้นทางสามารถลดความเค้น และความเครียดของโครงสร้างทางโดยรวมลงได้

ได้มีโครงการศึกษาการแก้ปัญหาการทรุดตัวของทางหลวงหมายเลข ประเทศฮอลแลนด์ ระยะทาง กิโลเมตร โดยชั้นฐานรากประกอบด้วยวัสดุอินทรีย์ (ตะกอนดินเหนียวอ่อนถึงแน่น ดินเหนียวปนทรายแป้ง และตะกอนทรายที่ความลึกตั้งแต่ เมตร ทำให้เกิดการทรุดตัวและซ่อมแซมผิวทางบ่อยครั้ง ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงมีนโยบายในการใช้คอนกรีตมวลเบาเพื่อแก้ปัญหาดินฐานรากทรุดตัว โดยการขุดดินลึก เมตร แล้วเทด้วยคอนกรีตมวลเบาแทนที่เพื่อรักษาการทรุดตัวของฐานรากในระยะยาว ซึ่งคอนกรีตมวลเบาที่ใช้มีความหนาแน่น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และมีกำลังรับน้ำหนักมากกว่า ที่ วัน โดยหลังจากการเปิดใช้งานถนนมา ปี พบว่าผิวทางแอสฟัลต์ไม่มีการทรุดตัวเป็นหลุม ส่งให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ นอกจากนี้การใช้คอนกรีตมวลเบาดังกล่าวยังช่วยลดระยะเวลาระหว่างการก่อสร้าง และต้นทุนในการบำรุงรักษาลงได้ ลงได้

และ 16] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้คอนกรีตมวลเบาในชั้นทางของทางด่วนโฟชิงคง (ของเมืองโฟชาน (ระยะทาง 24.67 กิโลเมตร เพื่อรักษาการทรุดตัวของฐานรากดินเหนียวอ่อน ซึ่งพื้นที่ทางด่วนส่วนใหญ่อยู่เหนือแนวท่อก๊าซแรงดันสูงที่ฝังลึกในระดับ 12 เมตร จากผลการศึกษาพบว่าการใช้คอนกรีตมวลเบาที่ความหนาแน่น 650 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่มีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 1.2 สามารถลดแรงที่กระทำ และการทรุดตัวของฐานรากลงได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้ 12% หรือประมาณ 1.07 ล้านหยวน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เสาเข็ม (ร่วมกับชั้นฐานรองกรวด (

3. วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 วัสดุและอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่ามีความหนาแน่นตั้งแต่ 400-700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ±50 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยมีวัสดุและอัตราส่วนผสมดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.15 หรือมาตรฐาน 150 1 ถูกใช้ในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:1

2) ทรายสะอาด ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐาน 33 ถูกอบในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 105° 5° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.6 มิลลิเมตร

3) น้ำสะอาด ต้องเป็นน้ำจืดสะอาด ปราศจากน้ำมัน กรด ด่าง เกลืออินทรียวัตถุ หรือวัสดุเจือปน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำประปา และถูกใช้ในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ

4) น้ำยาผสมลดน้ำ (ตามมาตรฐาน 494 ถูกใช้ในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 10 1

5) สารเพิ่มฟองอากาศ (ถูกใช้ใช้ในอัตราส่วนผสมสารเพิ่มฟองอากาศน้ำเท่ากับ 1:50

3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

การทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจะทดสอบกับตัวอย่างชุดละ 3 ตัวอย่าง ภายใต้การบ่มในน้ำ ( ) เป็นระยะเวลา 28 วัน โดยการดำเนินการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบกำลังรับแรงอัด (ดำเนินการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เซนติเมตร ความสูง เซนติเมตร และปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน

การทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวซอง (
ดำเนินการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เซนติเมตร ความสูง เซนติเมตร และปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน

การทดสอบกำลังรับแรงดึง (ดำเนินการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เซนติเมตร ความสูง เซนติเมตร และปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน

การทดสอบกำลังรับแรงไดนามิค (ดำเนินการทดสอบกับชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เซนติเมตร ความสูง เซนติเมตร และปฏิบัติการทดสอบด้วยความถี่ ตามมาตรฐาน

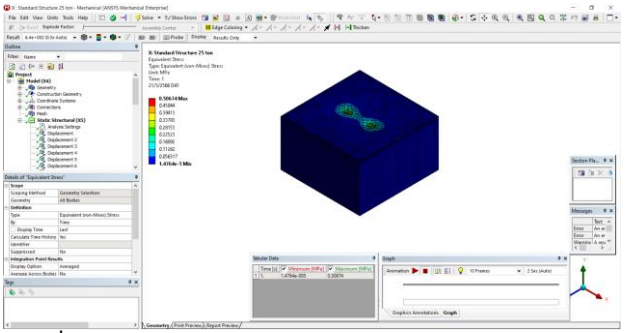


รูปที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

3.3 แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

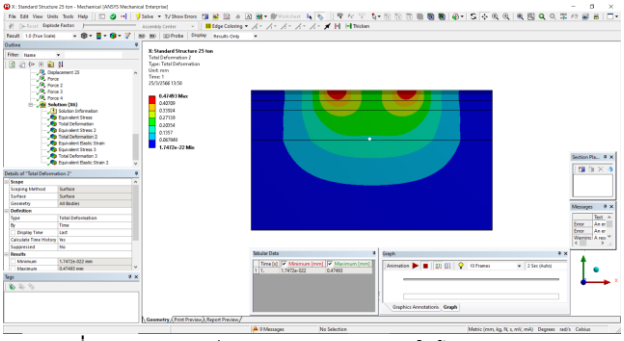
3.3.1 การวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์ ตามแบบมาตรฐานงานทางกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2565 ถูกสร้างและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 3

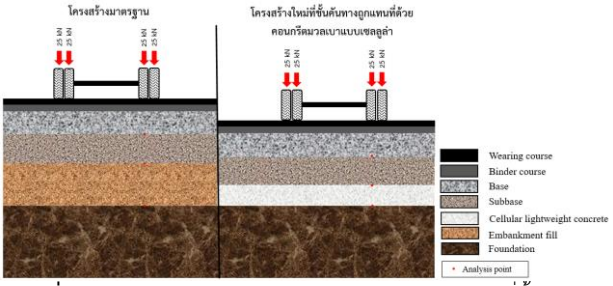


รูปที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์ในโปรแกรม

สำหรับการวิเคราะห์จะถูกดำเนินการเป็นแบบแผ่นผิว (ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยเปรียบเทียบความเค้น (ความเครียด (และการแอ่นตัว (ใต้ชั้นพื้นทาง รองพื้นทาง และคันทางในแนวดิ่งที่เกิดจากน้ำหนักกระทำเป็นจุด (ในโครงสร้างแบบมาตรฐาน และโครงสร้างใหม่ที่ชั้นคันทางถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีความหนาตั้งแต่ 0.1 เมตรจนถึง 1.0 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 การวิเคราะห์แบบแผ่นผิว (ในโปรแกรม



รูปที่ 5 เปรียบเทียบโครงสร้างมาตรฐานและโครงสร้างใหม่ที่ชั้นคันทางถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

3.3.2 ข้อมูลในแบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

สำหรับการนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองผิวทางแอสฟัลต์ประกอบด้วย น้ำหนักกระทำ คุณสมบัติของวัสดุ และเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. น้ำหนักกระทำ (และพื้นที่สัมผัสระหว่างยางและผิวทาง (ในแบบจำลองนี้ใช้รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 25 ตัน โดยแรงจากน้ำหนักรถบรรทุกจะถูกจำลองในรูปแบบของเพลาเดี่ยวกระทำต่อผิวทางด้วยยางคู่ (ซึ่งมีความดันลมยาง 690 100 และกระทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.223 เมตรคูณ 0.324 เมตร

2. คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางแสดงดังตารางที่ 2 โดยการจำลองใช้ความหนาตามโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์จากมาตรฐานงานทางกรุงเทพมหานคร ประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลต์ประกอบด้วย ชั้นคือ ผิวทาง (และรองผิวทาง (ที่มีความหนาชั้นละ เมตร ชั้นพื้นทางมีความหนา เมตร ชั้นรองพื้นทางมีความหนา เมตร ชั้นคันทางมีความหนา เมตร และชั้นฐานรากมีความหนา เมตร ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างใหม่ชั้นคันทางจะถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตมวลเบามวลแบบเซลลูล่าที่ความหนาแน่น 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตั้งแต่ความหนา 0.10-1.00 เมตร

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางสำหรับแบบจำลอง

วัสดุชั้นทาง	ความหนาแน่น (	โมดูลัสยืดหยุ่น ( )	อัตราส่วนปัวซอง
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ( )		2500	0.35
พื้นทางหินคลุก ( )		350	0.35

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางสำหรับแบบจำลอง (ต่อ)

วัสดุชั้นทาง	ความหนาแน่น (	โมดูลัสยืดหยุ่น ( )	อัตราส่วนปัวซอง
รองพื้นทางวัสดุมวลรวม ( )		150	0.35
คันทาง ( )		100	0.35
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลล่า	600		
ฐานราก ( )		40	0.40

3. เงื่อนไขขอบเขต (กำหนดให้การเคลื่อนที่ที่ด้านล่างของชั้นฐานรากไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง และการเคลื่อนที่ของชั้นอื่น ๆ สามารถเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวดิ่ง

3.3.3 การตรวจสอบแบบจำลอง

เกณฑ์การตรวจสอบแบบจำลองในการศึกษานี้ใช้วิธีการคำนวณหน่วยแรงที่เกิดในโครงสร้างผิวทางแอสฟัลต์ ( ) โดยวิธีแรงในระบบสามชั้น ( ) ในชั้นใต้ผิวทางที่ถูกแรงกระทำเปรียบกับแบบจำลองโดยต้องไม่เกิน 3 สำหรับเมชแบบละเอียด ( ) ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบว่าค่าความเค้น ( ) จากทฤษฎีและแบบจำลองแตกต่างกันเท่ากับ 2.17 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

4. ผลการศึกษา

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุผ่านห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์แบบจำลองผ่านโปรแกรม สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

จากข้อกำหนดวัสดุถมคันทางแบบอัดแน่นที่มีการไหลตัวสูงของกรุงเทพมหานครได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุสำหรับใช้ถมคันทางที่ 28 วัน สำหรับรูปทรงกระบอก ( ) ต้องมีกำลังรับแรงอัด (ไม่น้อยกว่า 15 หรือ 1.4 กำลังรับแรงดึง (ไม่น้อยกว่า 1.5 หรือ 0.14 และกำลังรับแรงไดนามิค (ไม่น้อยกว่า 0.30 หรือ 0.03 ตามลำดับ โดยผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของวัสดุชั้นทางสำหรับแบบจำลอง

การทดสอบ	ความหนาแน่น (^{3})			
	400	500	600	
กำลังรับแรงอัด (	0.39	0.89	1.72	2.05
โมดูลัสยืดหยุ่น (	556.24	902.42	1222.23	1376.36
อัตราส่วนปัวซอง	0.22	0.24	0.25	0.25
กำลังรับแรงดึง (	0.02	0.1	0.18	0.24
กำลังรับแรงไดนามิค (	0.06	0.21	0.38	0.43

จากผลการประเมินการเสียรูปอย่างถาวร ( ) ของวัสดุ ความคืบ ( ) ถูกใช้เพื่อประเมินคุณสมบัติของวัสดุในระยะยาว ผ่านการทดสอบกำลังรับแรงไดนามิคพบว่าความเครียด ( ) ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ความหนาแน่น 400 500 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากวัสดุมีความความล้าสะสม จนทำให้เกิดการเสียรูปในช่วงที่สองหรือทุติยภูมิ ( ) ซึ่งการเสียรูปดังกล่าวอาจส่งผลให้วัสดุเกิดการวิบัติ ( ) จนเกิดการเสียรูปช่วงที่สามหรือไตรภูมิ ( ) อย่างไรก็ตาม คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ความหนาแน่น 600-700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แม้ว่าเวลาจะผ่านไปมาก ทำให้เกิดการเสียรูปในช่วงที่สองหรือทุติยภูมิยังไม่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากวัสดุมีการปรับตัวให้เหมาะสมเมื่อถูกแรงกระทำ

รูปที่ 6 ความคืบ (ของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลในห้องปฏิบัติการของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดยใช้ข้อกำหนดวัสดุถมคันทางแบบอัดแน่นที่มีการไหลตัวสูงสามารถสรุปได้ว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุคันทางสำหรับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตคือ ความหนาแน่น 600-700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือความหนาแน่นตั้งแต่ 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ขึ้นไป

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

ผลการวิเคราะห์ความเค้น (ความเครียด (

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความเค้น ( ) จากแบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

ความหนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	ความเค้น ( )		
	ชั้นพื้นทาง	ชั้นรองพื้นทาง	ชั้นคันทาง

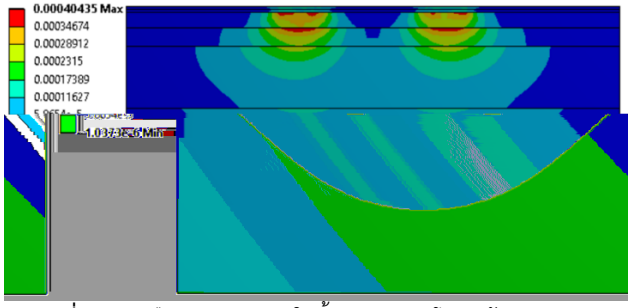
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความเครียด (จากแบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

ความหนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	ความเครียด (10^{-4})		
	ชั้นพื้นทาง	ชั้นรองพื้นทาง	ชั้นคันทาง

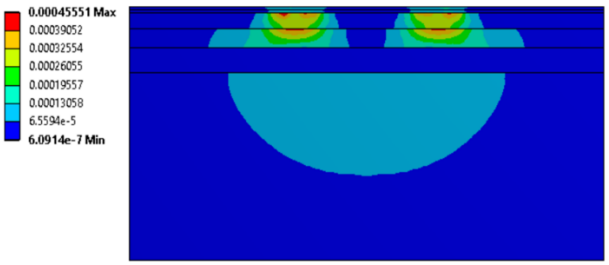
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การแอ่นตัว (จากแบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์

ความหนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า	การแอ่นตัว ( )		
	ชั้นพื้นทาง	ชั้นรองพื้นทาง	ชั้นคันทาง

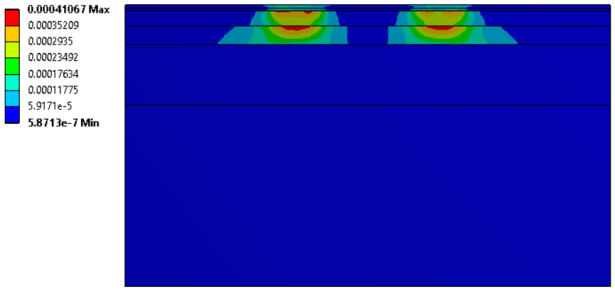
นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความเครียดภายในชั้นคันทาง ดังแสดงในรูปที่ 7-9 พบว่าเมื่อใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุคันทางสำหรับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเปรียบเทียบกับโครงสร้างชั้นคันทางแบบดั่งเดิม การใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ความหนา 0.40 เมตร สามารถลดความเครียดได้ดีกว่าการใช้ทรายบดอัดที่ความความหนา 1.00 เมตร และความเครียดดังกล่าวจะลดเรื่อย ๆ เมื่อความหนาของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างชั้นคันทางมีการยุบตัวและเสียรูปถาวรที่ต่ำลง เนื่องจากเป็นวัสดุที่แทนที่ดังกล่าวมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น



รูปที่ 7 ความคืบ (ภายในชั้นคันทางของโครงสร้างมาตรฐานที่ใช้ทรายบดอัด 1.00 เมตร



รูปที่ 8 ความคืบ (ภายในชั้นคันทางของโครงสร้างใหม่ที่ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า 0.40 เมตร



รูปที่ 9 ความคืบ (ภายในชั้นคันทางของโครงสร้างใหม่ที่ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า 1.00 เมตร

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์ด้วยโปรแกรม พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าความหนาแน่น 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ความหนาตั้งแต่ 0.40 เมตรขึ้นไป สามารถประยุกต์ใช้ในชั้นคันทางของโครงสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์กรุงเทพมหานครได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุ

ของโครงสร้างที่กระทำกับชั้นดินฐานรากของถนน โดยประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าความหนาแน่น 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่ความหนา 0.40 เมตร จะส่งผลให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลงประมาณ 7.9 เท่าจากโครงสร้างแบบดั่งเดิม ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างถนนโดยรวมมีเสถียรภาพในระยะยาวที่ดี

5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้เป็นการนำเสนอการใช้คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นวัสดุทางเลือกในชั้นคันทางของโครงสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งถูกออกแบบตามแบบมาตรฐานงานทางกรุงเทพมหานคร พ.ศ. เพื่อลดน้ำหนักของวัสดุที่กระทำบนฐานรากดินเหนียวอ่อน โดยประเมินคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาผ่านห้องปฏิบัติการ เพื่อคัดเลือกความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่เหมาะสมมาใช้ในการประเมินหาความหนาสำหรับการประยุกต์ใช้ในชั้นคันทางของโครงสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตผ่านแบบจำลองด้วยโปรแกรม ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความหนา 0.40 เมตร สามารถลดความเค้น ความเครียด และการทรุดตัวบนชั้นดินฐานรากลงได้ดีกว่าโครงสร้างถนนแบบดั่งเดิม นอกจากนี้น้ำหนักของโครงสร้างในชั้นคันทางที่ถูกแทนที่ด้วยคอนกรีตมวลเบาจะลดลงกว่า 7.9 เท่าจากโครงสร้างแบบดั่งเดิม ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างถนนมีเสถียรภาพระยะยาวจากการเสียรูปถาวร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ( ) ห้องปฏิบัติการและวิจัยภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ( ) ศูนย์ทดสอบงานถนนและรถไฟ มหาวิทยาลัยเชาเวสเจียวทง ( ) และสำนักงานวิศวกรรมทาง สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2564). รายงานผลข้อมูลระยะทางถนนและระยะทางราง เพื่อสนับสนุนการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ. สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2546). *ข้อมูลสภาพดินบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง*. บริษัท จุดทอง จำกัด กรุงเทพฯ.

สรศักดิ์ ชัยทวี อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และ อนุเผ่า อบแพทย์ (2557). การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยเทคนิค . *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19* ขอนแก่น หน้าที่ 1-7.

1996).

.

2015).

Civil Engineering Innovation 2 71-86.

Thin-Walled Structures

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (2561). *การแก้ปัญหาการทรุดตัวของงานถนนงานถมที่ และถมบ่อดินในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยการปรับปรุงคุณภาพดิน และเทคนิค VCM* ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คระวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 1-45.

ธรรมมา เจียรธราวานิช ชุมพล ศฤงคารศิริ สุทธิกานต์ เจียรธราวานิช ณิชาภา ศรีประสาท และ ณัชชารีย์ จันทร์เฉลียว (2560). ปัญหาถนนทรุดตัวในงานก่อสร้าง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต* 1 หน้าที่ 237-244.

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง (2557). *รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) โครงการประยุกต์ใช้วัสดุมวลเบาประเภท EPS Geofoam ในการก่อสร้างทาง*. กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม กรุงเทพมหานคร.

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง (*รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report โครงการศึกษาการปรับปรุงดินเพื่อลดระยะเวลาการก่อสร้างคันทางบนดินอ่อน* กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม กรุงเทพมหานคร.

อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์ ธันวิน สวัสดิศานต์ และ ปรนิก จิตต์อารีกุล (*รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report โครงการวิจัยเพื่อจัดทำข้อกำหนดและวิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางสำหรับประเทศไทย*. กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม กรุงเทพมหานคร.

นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์ (2540). *คอนกรีตวิทยา*. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา ขอนแก่น.

2016).

. *Procedia Engineering* 161 428 – 433.

และ 2017).

Procedia Engineering, 193 439 – 446

2014). *Highway 9 Settlement West of Highway 400, Township of King*

31 568.

Applied Sciences

Materials