การศึกษาพฤติกรรมของกำแพงดินเสริมกำลังภายใต้แรงกระทำเคลื่อนที่บนรางรถไฟด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์อ้างอิงการทดสอบขนาดจริง

Investigation of MSE Wall Behavior under Rail Base by Finite Element Method base on Field Scale Model

นายโอจักรพรรดิ์ สุขชัยสิทธิ์[1], รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ[2*] , ผศ.ดร.วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์[3*], ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์[4]

[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: salisa.ch@kmitl.ac.th; vuttichai.ch@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

ในโครงสร้างระบบรางปัจจุบันมีการสร้างโครงสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังเป็นส่วนหนึ่งของระบบรางเนื่องจากความสามารถในการให้บริการกับต้นทุนที่ต่ำกว่าการสร้างกำแพงกันดินเสริมกำลังแบบดั้งเดิม โครงสร้างของระบบรางจะรับน้ำหนักแบบพลวัตจากการเคลื่อนที่ของเพลารถไฟ ทั้งนี้ยังขาดการศึกษาพฤติกรรมของกำแพงดินเสริมกำลังเมื่อรับแรงกระทำแบบเคลื่อนที่ โดยการศึกษานี้จะใช้หน้าตัดโครงสร้างกำแพงดินเสริมกำลังในการสอบเทียบหน้าตัดโครงสร้างและตัวแปรต่างๆ ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นจะขยายหน้าตัดโครงสร้างที่สอบเทียบแล้วในมิติด้านลึกเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติ และจำลองการเคลื่อนที่ผ่านของน้ำหนักรถไฟที่ความเร็วต่างกัน และศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ได้แก่การเคลื่อนตัวด้านข้าง การทรุดตัว และความเครียดในวัสดุเสริมแรง

คำสำคัญ: กำแพงกันดินเสริมกำลัง, ไฟไนต์เอลิเมนต์, น้ำหนักรถไฟ

Abstract

Railway systems nowadays consist of mechanically stabilized earth walls, due to their serviceability and lower cost compared to conventional retaining walls. MSE walls must subject to dynamics loading induced by movement of bogies of train, so it requires study and research about MSE wall and dynamics loading to understand their behavior. This study uses finite element modeling method to model MSE structure as an existing field scale structure and use that model to validate the parameter and structure's section afterward the section is extruded to make a 3-dimensional Model subject to train dynamics loading. After the calculations. Lateral displacement, settlement, and strain in reinforcement are shown as a function of time in this study.

Keywords: Mechanically Stabilized Earth Wall, finite element, Trains Load.

1. คำนำ

ระบบในการขนส่งมวลชนและ ระบบโลจิสติกส์มีการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ระบบขนส่งทางรางมากขึ้น เนื่องด้วยการจารจรที่หนาแน่น และน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างพื้นฐานของระบบรางนั้นจำเป็นจะต้องมีเสถียรภาพและความสามารถในการให้บริการที่มากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีงานวิจัยที่สามารถตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรม [1-2]

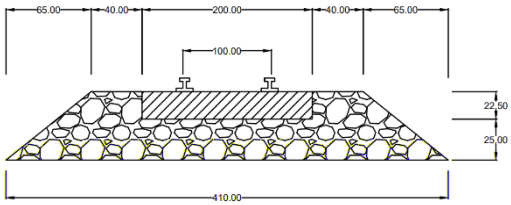
แนวคิดการเสริมกำลังด้วยชิ้นส่วนรับแรงดึงเพื่อเพิ่มกำลังให้ดินถมเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในงานด้านวิศวกรรมปฐพี [3] การเริ่มติดตั้งแถบเหล็ก (metal strip) เสริมกำลังในปี พ.ศ. 2513 ตามมาด้วยผ้าใยสังเคราะห์และตาข่ายเสริมกำลังวัสดุพอลิเมอร์ (geotextile and geogrid) นำไปสู่ยุคใหม่ของการออกแบบโครงสร้างดินเสริมกำลัง [4,5] กำแพงดินเสริมกำลัง (mechanically stabilized earth) กำแพงเสริมกำลังวัสดุสังเคราะห์ (geosynthetics MSE wall) ถูกใช้อย่างแพร่หลายด้วยการรวมกันของ คันดินที่เสริมกำลังด้วยวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดิน เพื่อใช้ในงาน ถนน ทางเท้า สนามบิน เป็นต้น มีแนวทางการออกแบบมากมายพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบกำแพงดินเสริมกำลัง ซึ่งให้ผลลัพธ์ในการออกแบบที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับแนวทางการประยุกต์ใช้กับโครงการ เสถียรภาพภายในและภายนอกของกำแพงดินเสริมกำลังขึ้นอยู่กับ กำลังของวัสดุเสริมแรง กำลังของดินถมกลับ อิทธิพลของน้ำหนักบรรทุก วิธีการออกแบบ และวิธีการก่อสร้าง ของกำแพงดินเสริมกำลัง [6-9]

เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพและต้นทุนในการก่อสร้างต่ำกว่าการก่อสร้างกำแพงดินแบบดั้งเดิม ทำให้กำแพงดินเสริมกำลังเป็นที่นิยมในการก่อสร้างและการใช้งานไม่เว้นแม้แต่ในระบบการขนส่งทางราง เสถียรภาพของคันดินเสริมกำลังนั้นมีความสำคัญต่อความสามารถในการให้บริการของระบบราง และแรงกระทำของรางรถไฟในขณะใช้งานมีลักษณะเป็นแรงกระทำแบบพลวัต งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของกำแพงดินเสริมกำลังเมื่อได้รับแรงกระทำแบบพลวัตเนื่องแรงกระทำของรถไฟ

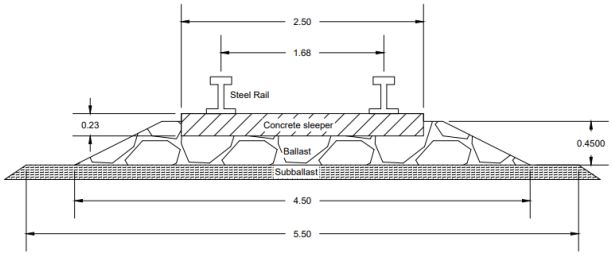
2. แบบจำลองโครงสร้างทางรถไฟ

หน้าตัดทางมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทยเป็นชั้นหินโรยทาง (ballast) ที่มีความกว้าง 4.10 เมตร ความกว้างที่หลังคันทาง 2.80 เมตร หมอนรองรางมีความยาว 2.00 เมตร และ สูง 22.5 เซนติเมตร ระยะระหว่างรางรถไฟมีขนาด 1.00 เมตร [11] (รูปที่ 1) และระยะระหว่างหมอนรองรางรถไฟคือ 0.60 เมตร

Lingli [12] ทำการศึกษาพฤติกรรมขอบเขต (boundary) ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ของชั้นหินโรยทางเมื่อรองรับการเคลื่อนที่ของน้ำหนักรถไฟ แบบจำลองทางรถไฟถูกสร้างขึ้นมีความกว้าง 4.50 ม. ความกว้างที่หลังชั้นทาง 2.70 ม. ชั้นทางหนา 0.45 ม. วางอยู่บนชั้นรองพื้นทางกว้าง 5.95 ม. ความกว้างที่หลังชั้นรองพื้นทาง 5.50 ม. ชั้นรองพื้นทางหนา 0.15 ม. (รูปที่ 2) รางและหมอนคอนกรีตถูกจำลองด้วยวัตถุประเภทคาน (Beam) ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถจำลองพฤติกรรมของชั้นพื้นทางใต้โครงสร้างทางรถไฟได้จากงานวิจัยดังกล่าวใช้หน้าตัดของทางรถไฟแตกต่างจากที่ใช้โดยทั่วไปในประเทศไทยแต่ทั้งนี้ พฤติรรมการรับน้ำหนักและคุณสมบัติของเครื่องประกอบรางก็มีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงอ้างคุณสมบัติของโครงสร้างชั้นทางจากงานวิจัยดังกล่าวโดยประยุกต์กับหน้าตัดโครงสร้างทางรถไฟของประเทศไทย



รูปที่ 1 หน้าตัดมาตรฐานชั้นทางรถไฟ การรถไฟแห่งประเทศไทย



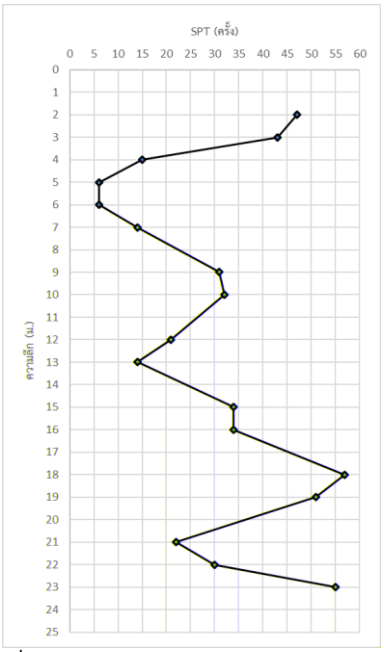
รูปที่ 2 หน้าตัดของแบบจำลองชั้นทางรถไฟ [12]

3. แบบจำลองกำแพงดินเสริมกำลังรับน้ำหนักพลวัตจากโครงสร้างทางรถไฟ

3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

โครงสร้างและข้อมูลที่การศึกษานี้ใช้ในการสร้างแบบจำลองกำแพงกันดินอ้างอิงมาจาก กำแพงกันดินขนาดจริงที่ถูกออกแบบและก่อสร้างโดยกรมทางหลวง [10] บริเวณของการก่อสร้างนั้นอยู่ใกล้ทางหลวงหมายเลข 11 พิษณุโลก-อุตรดิตถ์ ที่ กม.ที่ 12 โดยกำแพงดินถูกเสริมกำลังด้วยตาข่ายเสริมกำลังดิน (geogrid) ชนิดทำมาจากโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) กำแพงดินถูกออกแบบให้มีความสูง 6 ม. กว้าง 15 ม. และยาว 18 ม.

Baral [13] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกำแพงดินเสริมกำลังกับข้อมูลที่ได้จากการก่อสร้างกำแพงดินเสริมกำลัง [13] ดังกล่าว มีการเจาะสำรวจดินฐานรากได้ข้อมูลชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 3 โดยกำแพงดินเสริมกำลังในสนามมีการติดตั้งเครื่องมือวัด การเคลื่อนตัวด้านข้าง (inclinometer) เครื่องวัดความเครียดในวัสดุเสริมกำลัง (strain gauge) และอุปกรณ์วัดการทรุดตัว (settlement plate)

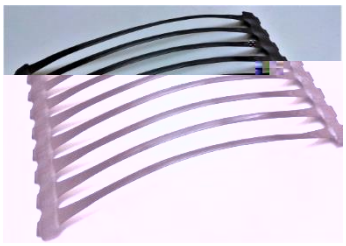


รูปที่ 3 ข้อมูลดินฐานรากของกำแพงดินเสริมกำลังในสนาม

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรที่นำมาใช้ จึงต้องสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกำแพงดินเสริมกำลังเหมือนกับกำแพงดินเสริมกำลังในสนาม ด้วยโปรแกรม Plaxis 3D ภาพของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5

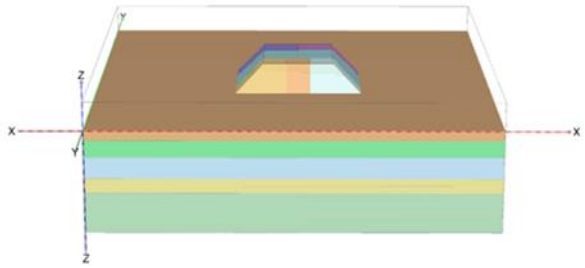
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุทางในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ [12]

วัสดุ	(kg/m^3)	(N/m^2)		Plastic stress (N/m^2)	(°)	(°)	(kPa)
รางเหล็ก	7.70×10^3	2.06×10^{11}	0.30				
หมอนคอนกรีต	2.35×10^3	2.55×10^{10}	0.20				
หินโรยทาง	1.70×10^3	2.00×10^8	0.25	1000	50	30	1
วัสดุชั้นรองพื้นทาง	1.80×10^3	1.15×10^7	0.30	1000	38	25	1



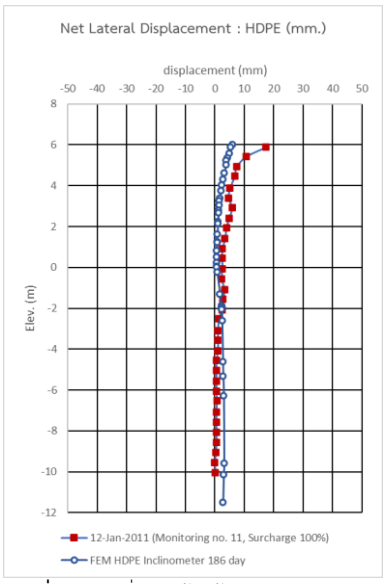
รูปที่ 4 ตาข่ายเสริมกำลังดินชนิดทำมาจากโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

ขั้นตอนการจำลองเริ่มจากการก่อสร้างกำแพงดินทีละชั้นเสริมกำลังหรือทุกๆ ความหนา 0.50 เมตร จนครบ 12 ชั้น และชั้นดินบนสุดหนา 0.265 เมตร รวมความสูงเป็น 6 เมตร ด้วยการคำนวนแบบพลาสติก จากนั้นมีการให้น้ำหนักกดทับเทียบเท่าดินถมสูง 1.20 เมตร และใช้การการคำนวณแบบอัดตัวคลายน้ำ (consolidation) เป็นเวลา 61 วัน การจำลองนี้ใกล้เคียงกับการส่อสร้างจริงในสนาม

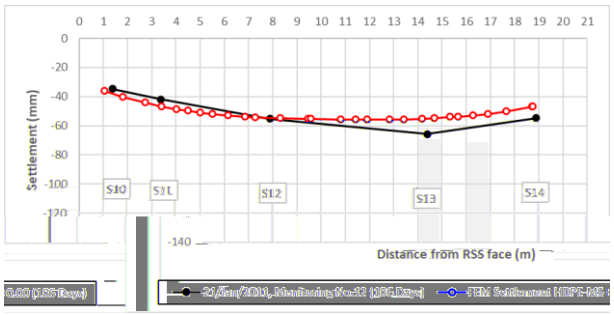


รูปที่ 5 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกำแพงดินเสริมกำลัง

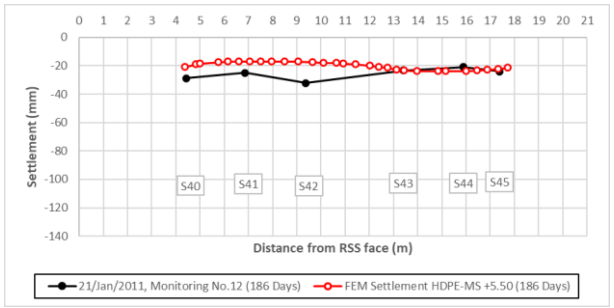
เมื่อการแบบจำลองดำเนินการคำนวนอัดตัวคลายน้ำเสร็จสิ้นแล้วจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องว่าคุณสมบัติของดินถมกำแพงและวัสดุเสริมแรงนั้น สามารถจำลองเป็นแบบจำลองที่มีความถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวที่ระดับ +0.00 เมตร และ +5.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 การเคลื่อนตัวด้านข้างของวัสดุเสริมแรง



(ข.)



(ก.)

รูปที่ 7 การทรุดตัวของกำแพงดินเสริมกำลัง: (ก) ที่ระดับ +0.00 เมตร ,(ข) ที่ระดับ +5.50 เมตร

จากผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างและการทรุดตัวของกำแพงที่ระดับ +0.00 เมตรและ +5.50 เมตร แสดงแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ได้คุณสมบัติของดินฐานราก วัสดุถมกลับกำแพง และวัสดุเสริมแรงที่ตรวจสอบความถูกต้องแล้วเป็นไปดังตารางที่ 2, 3 และ 4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติดินฐานราก (foundation soil)

ชนิดของดิน	(kg/m^3)	(kg/m^3)		(kpa)	(kpa)	(°)
Hard clay	17.50	15.50	0.35	20000	100	28
Loose clayey sand	19.00	17.00	0.30	18000	1	1
Stiff to very stiff clay	17.00	15.00	0.35	40000	50	50
Medium dense clayey sand	18.00	16.00	0.30	37500	5	5
Very stiff clay	17.00	15.00	0.35	50000	80	80

ตารางที่ 3 คุณสมบัติวัสดุถมกลับ (backfill)

ชนิดของดิน	(kg/m^3)	(kg/m^3)		(kpa)	(kpa)	(°)	(cm/s)
Silty sand	22.7	21	0.3	20000	10	37	0.0864

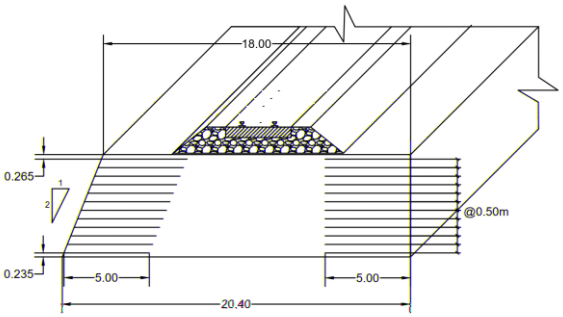
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของวัสดุเสริมแรง

ชื่อวัสดุเสริมแรง	กำลังรับแรงดึง (kN/m)	ความหนา (mm)	ความแข็ง, EA (kN/m)	ชนิด
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)	85.8	1.91	1320	Geogrid

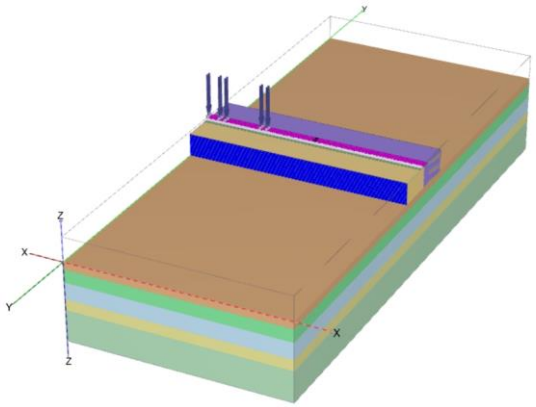
3.2 ลักษณะแบบจำลอง

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของกำแพงดินเสริมกำลังถูกสร้างด้วยโปรแกรม Plaxis 3D มีลักษณะเป็นกำแพงดินที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาว กำแพงมีความสูง 6 ม. ความกว้างที่ฐาน 20.4 ม. ความกว้างที่บริเวณหลังกำแพง 18 ม. และมีความยาว 60 ม. ด้านหนึ่ง ผิวหน้ามีความชัน 70 องศา กำแพงดินถูกเสริมกำลังด้วยตาข่ายเสริมกำลังดินชนิดทำมาจากโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยชั้นแรก อยู่ที่ระดับ +0.235 ม. จากดินฐานราก เสริมกำลังลึกเข้าไปจากผิวหน้ากำแพง 5 ม. ตลอดความความยาว จากนั้นเป็นดินถม 0.50 ม. สลับกับตาข่ายเสริมกำลังดินจนครบ 12 ชั้น และปิดชั้นบนสุดด้วยดินถมหนา 0.265 ม. แบบจำลองตั้งอยู่บนดินฐานรากหนา 21.5 ม. มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2

แบบจำลองโครงสร้างชั้นทางรถไฟถูกจำลองโดย ชั้นทางหรือหินโรยทาง จำลองเป็นปริมาตรดิน รางและหมอนรองรางถูกจำลองเป็นวัตถุประเภทเส้นคาน (beam) หมอนมีความยาว 2 ม. และวางอยู่บนหินโรยทางให้มีระยะห่าง 0.6 เมตร ตลอดความยาวของแบบจำลอง ราง 2 เส้นวางขวางกับหมอนรองรางโดยมีระยะห่างระหว่างราง 1.00 ม. โดยหมอนและราง เชื่อมต่อกันด้วยวัตถุประเภท node to node anchor ที่เป็นการจำลองเครื่องยึดเหี่ยวราง คุณสมบัติของโครงสร้างทางรถไฟนี้เป็นไปตามตารางที่ 1



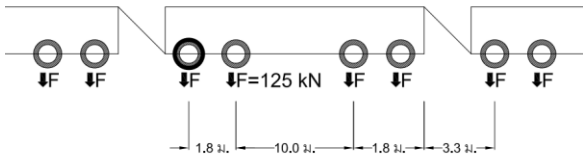
รูปที่ 8 มิติของแบบจำลองกำแพงดินเสริมกำลังรับน้ำหนักรถไฟ



รูปที่ 9 แบบจำลองกำแพงดินเสริมกำลังรับน้ำหนักรถไฟ

3.3 น้ำหนักกดรถไฟ

ลักษณะของระยะระหว่างน้ำหนักกดเพลาของรถไฟขึ้นอยู่กับผู้ผลิตโบกี้หรือแคร่ล้อ ทั้งนี้งานวิจัยนี้ใช้ระยะระหว่างน้ำหนักกดเพลา ภายในแคร่ล้อเดียวกัน 1.60 ม. ระยะระหว่างล้อหลังของแคร่หน้าถึงล้อหน้าของแคร่หลังเท่ากับ 10.00 ม. โดยจะจำลองน้ำหนักกดของตู้รถไฟ 1 ตู้ กับอีก 1 เพลาของตู้ที่อยู่ติดกัน เนื่องจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นณ จุดใดๆบนรางรถไฟจะวนเป็นรอบ (cyclic load) ที่ความถี่เท่าเดิม



รูปที่ 10 ลักษณะของน้ำหนักกดเพลาสำหรับจำลองน้ำหนักรถไฟ

ขนาดของน้ำหนักกดอ้างอิงจาก น้ำหนักเพลามาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย UIC 20 โดยน้ำหนักกดเพลามีค่าเท่า 20 ตันต่อเพลา หรือ 10 ตันต่อล้อ จึงสามารถจำลองแรงกดของล้อรถไฟเป็นแรงกระทำแบบจุด (point load) มีค่าเท่ากับ 10 ตัน วางอยู่เหนือราง มีระยะระหว่างน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 10

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

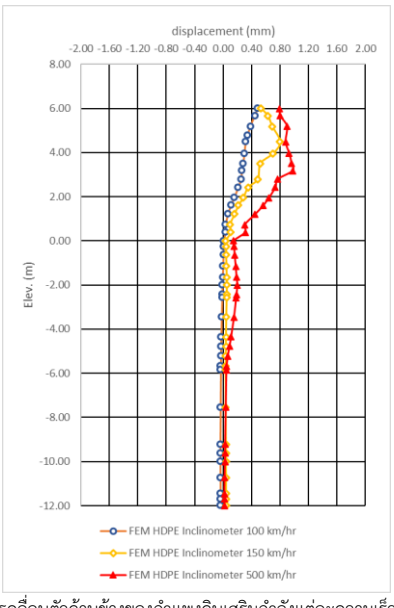
ขั้นตอนการทดสอบ (phase construction) ของแบบจำลองกำแพงดินเสริมกำลังรับน้ำหนักเคลื่อนที่รถไฟ แบ่งออกเป็น 20 ขั้นตอน 16 ขั้นตอนแรกจำลองการก่อสร้างกำแพงดินเสริมกำลัง 12 ชั้นเสริมกำลังแต่ละชั้นหนา 0.50 ม. ปิดด้วยดินชั้นบนสุดหนา 0.265 ม. แล้วจำลองน้ำหนักกดทับเทียบเท่าดินถมสูง 1.2 ม. ก่อนจะจำลองการอัดตัวคลายน้ำ (consolidation) เป็นเวลา 61 วัน จากนั้นโครงสร้างทางรถไฟถูกจำลองขึ้นบริเวณศูนย์กลางกำแพงดินเสริมกำลัง และน้ำหนักกดรถไฟที่ยังไม่มีการเคลื่อนที่ ตามลำดับ

การเคลื่อนที่ของน้ำหนัก ถูกจำลองด้วยการคำนวณแบบ พลวัต (dynamic calculation) น้ำหนักแบบจุดถูกกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ไปตามแนวราง กำหนดให้การเคลื่อนที่ของน้ำหนักกดเป็นแบบเชิงเส้นโดยมีความเร่งเป็น 0 และมีความเร็วคงที่ และมีการจำลองทั้งหมด 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะกำหนดความเร็วของน้ำหนักกดรถไฟเท่ากับ 100, 150 และ 200 ก.ม./ชม. เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดจากความเร็วของน้ำหนัก เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองแต่ละความเร็ว

4. ผลการทดสอบ

4.1 การเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพง

การเคลื่อนตัวด้านข้างของผิวหน้ากำแพงกันดินเสริมกำลังถูกวัดเมื่อน้ำหนักกระทำแบบจุดสุดท้ายอยู่เหนือจุดกึ่งกลางแบบจำลองพอดี การวัดที่จุดกึ่งกลางเพื่อลดผลกระทบของขอบแบบจำลอง การเคลื่อนตัวด้านข้างจะถูกวัดเป็นการเคลื่อนตัวของขั้นตอนการคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว (phase deformation) หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลที่ได้เป็นผลอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่น้ำหนักกระทำเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 11) ที่แบบจำลองความเร็ว 100 ก.ม./ชม. การเคลื่อนตัวตัวมีค่ามากขึ้นตามความสูงเป็นลักษณะเชิงเส้น จนมีค่าเท่ากับ 0.49 ม.ม. ที่จุดสูงสุด แบบจำลองความเร็ว 150 ก.ม./ชม. การเคลื่อนตัวด้านข้างมีค่าเพิ่มขึ้นจากระดับ +0.00 ม. เป็นลักษณะเชิงเส้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.80 ม.ม ที่ความสูงประมาณ 0.75H เมื่อ H คือความสูงของกำแพงดิน ส่วนแบบจำลองความเร็ว 200 ก.ม./ชม. การเคลื่อนตัวมีค่าเพิ่มตามความสูงจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.98 ม.ม. ที่ความสูง 0.5H

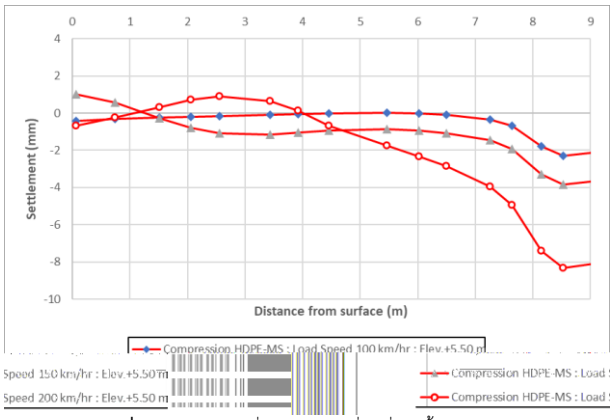


รูปที่ 11 การคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงดินเสริมกำลังแต่ละความเร็วของน้ำหนัก

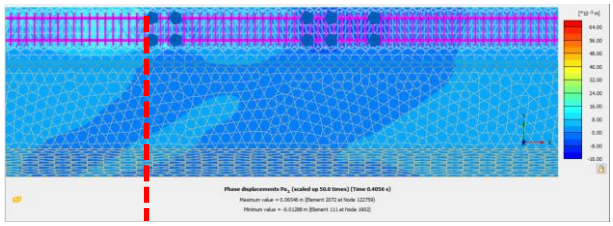
4.2 การทรุดตัว

การทรุดตัวมีการเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับการเคลื่อนตัวด้านข้างคือวัดเฉพาะการทรุดตัวที่เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของน้ำหนักรถไฟเท่านั้นถูกแสดงในรูปที่ 12 โดยแบบจำลองการเคลื่อนที่ความเร็ว 100 ก.ม./ชม. ที่ระดับ +5.50 เมตร มีการทรุดตัวสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางใต้โครงสร้างชั้นทางรถไฟ และการทรุดตัวมีค่าน้อยลงเมื่อระยะห่างออกจากศูนย์กลางทางและมีค่าเท่ากลับ 0 ที่ระยะ 1.50 ม. จากกึ่งกลางทาง แบบจำลองการเคลื่อนที่ความเร็ว 150 ก.ม./ชม. มีการทรุดตัวสูงสุดที่กึ่งกลางทางมากกว่าแบบจำลองความเร็ว 100 ก.ม./ชม. และมีค่าการทรุดตัวน้อยลงตามระยะห่างจากกึ่งกลางทาง และมีพฤติกรรมการทรุดตัวเล็กน้อย ที่ระยะ 4.50 ถึง 7.50 ม.จากศูนย์กลางทาง และแบบจำลองการเคลื่อนที่ความเร็ว 200 ก.ม./ชม. มีการทรุดตัวมมากกว่าแบบจำลองความเร็ว 150 ก.ม./ชม. การทรุดตัวมีค่าน้อยลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ระยะ 5 ม. จากศูนย์กลางทาง และมีการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งหรือดินปูด (soil heave) ตั้งแต่ระยะ 5 ม. จากศูนย์กลางทางเป็นต้นไป

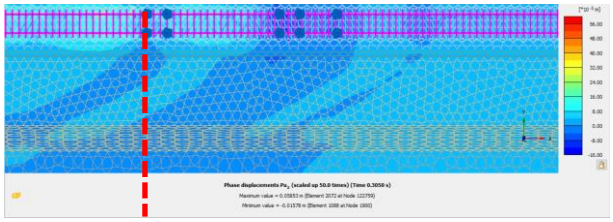
โดยพฤติกรรมการเกิดแถบการทรุดตัวและปูด สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 13 ก. และ ข. เมื่อน้ำหนักรถไฟเคลื่อนที่ไปตามรางรถไฟ จะเกิดแถบของการทรุดตัวจากศูนย์กลางทางไปจนถึงผิวหน้าของกำแพง โดยแถบการทรุดตัวนี้จะวางตัวเป็นแนวเฉียงไปบริเวณด้านหลังตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่มากขึ้น แถบนี้จะมีการทรุดตัวที่มากขึ้นแต่จะมีขนาดแคบลง และเกิดช่องว่างระหว่างแถบการทรุดตัวมากขึ้น และช่องว่างระหว่างแถบการทรุดนี้จะเกิดเคลื่อนตัวขึ้นในแนวดิ่งหรือดินปูด แบบจำลองด้วยความเร็ว 150 ก.ม./ชม. ก็เกิดแถบการเคลื่นตัวขึ้นในแนวดิ่งเช่นเดียวกัน เพียงแต่ไม่ได้พาดผ่านหน้าที่เก็บค่าการทรุด เนื่องจากขนาดของแถบการทรุดตัวนั้นมีขนาดกว่างในความเร็วที่ต่ำกว่า



รูปที่ 12 การทรุดตัวเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำหนักรถไฟ



(ก.)

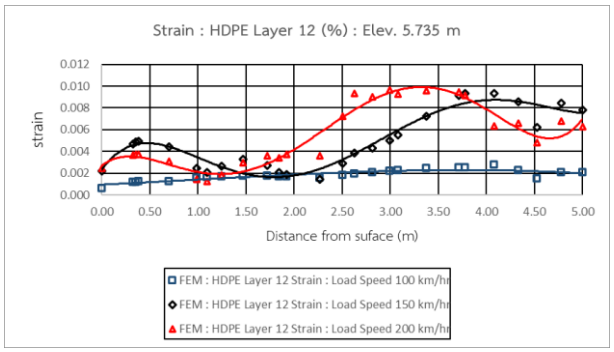


(ข.)

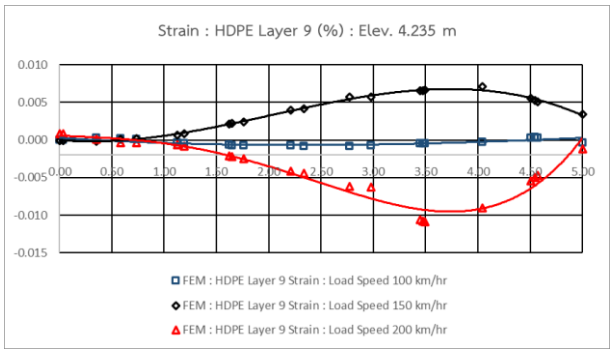
รูปที่ 13 การทรุดตัวของกำแพงดินตามแนวการเคลื่อนที่ของน้ำหนักรถไฟ: (ก.)ความเร็วน้ำหนัก 150 ก.ม./ชม., (ข.) ความเร็วน้ำหนัก 200 ก.ม./ชม.

4.3 ความเครียดในวัสดุเสริมแรง

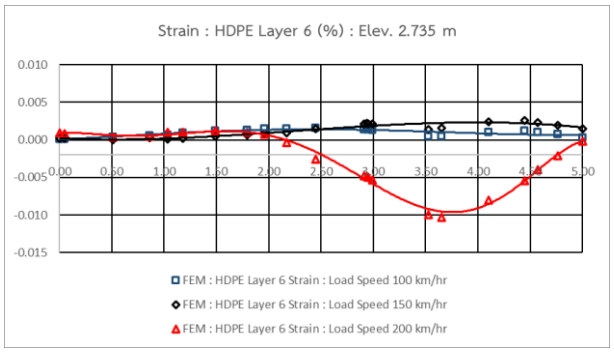
ความเครียดในวัสดุเสริมกำลังเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำหนักรถไฟถูกแสดงในรูปที่ 14 ในแบบจำลองความเร็ว 100 ก.ม/ชม. ความเครียดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าที่ความเร็วต่ำการเคลื่อนที่ของน้ำหนักไม่ส่งผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นวัสดุเสริมแรง แบบจำลองความเร็ว 150 ก.ม./ชม. เกิดความเครียดที่เกิดจากแรงดึง มีค่าสูงสุดที่ชั้นบนสุดและมีค่าลดลงตามชั้นความสูงที่ลดลงมา และแบบจำลองความเร็ว 200 ก.ม./ชม. ความเครียดมีค่าเป็นลบตั้งแต่ชั้นเสริมกำลังที่ 11 ลงมาจนถึงชั้นเสริมกำลังล่างสุด



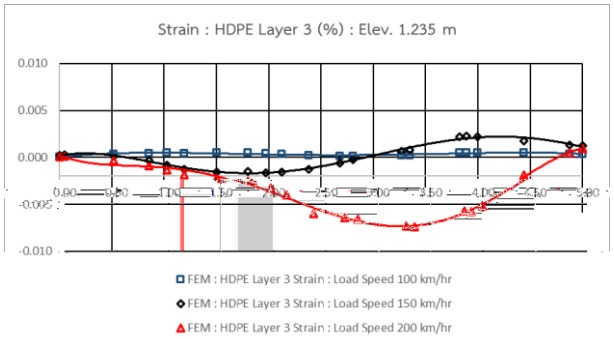
(ก.)



(ข.)



(ค.)



(ง.)

รูปที่ 14 ความเครียดในวัสดุเสริมกำลัง : (ก.) ชั้นที่ 12, (ข.) ชั้นที่ 9, (ค.) ชั้นที่ 6, (ง.) ชั้นที่ 3

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำแพงกันดินเสริมกำลังและโครงสร้างทางรถไฟเพื่อจำลองการรับน้ำหนักกระทำเคลื่อนที่โดยการอ้างอิงข้อมูลจากการก่อสร้างกำแพงกันดินในสนาม ข้อมูลเชิงกลที่ได้จากแบบจำลองได้แก่ การเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพง, การทรุดตัว และความเครียดที่เกิดขึ้นในวัสดุเสริมกำลังถูกแสดงอยู่ในผลการทดสอบ (รูปที่ 11-14) เพื่อเปรียบเทียบผลของความเร็วน้ำหนักกระทำที่ส่งผลต่อคุณสมบัติดังกล่าวและสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงจะมีค่าสูงสุดที่บนสุดของกำแพงเมื่อความเร็วของน้ำหนักกระทำต่ำ และการเคลื่อนตัวด้านข้างสูงสุดจะอยู่ต่ำ ลงเมื่อความเร็วมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้ผิวหน้ากำแพงดินที่ทดสอบนั้นเป็นผิวหน้าลาดชันทำมุม 70 องศากับแนวราบ

2) การเคลื่อนที่ของน้ำหนักกระทำจะทำให้เกิดแถบของการทรุดตัววางตัวจากศูนย์กลางทางไปยังผิวหน้ากำแพงในลักษณะเฉียงไปทางด้านหลังของทิศทางการเคลื่อนที่ และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นขนาดของแถบการทรุดตัวนี้มีค่าน้อยลงแต่มีค่าการทรุดตัวมากขึ้น และช่องว่างระหว่างระหว่างแถบการทรุดตัวดินจะเกิดพฤติกรรมดินปูด

3) ความเครียดในวัสดุเสริมแรง เมื่อความเร็วมีค่าน้อย การคลื่อนที่ของน้ำหนักกระทำจะไม่ส่งผลต่อความเครียดในวัสดุเสริมแรง และเมื่อความเร็วมีค่ามากขึ้นจะเกิดความเครียดจากแรงดึงในวัสดุเสริมแรง แต่เมื่อความเร็วไปถึงจุดหนึ่งจะเกิดความเครียดจากแรงอัดในวัสดุเสริมแรงแทน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาของ รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำชี้แนะ และช่วยตรวจสอบวางแผน แก้ปัญหา จนงานวิจัยฉบับสามารถผ่านอุปสรรคปัญหาและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Indraratna B, Nimbalkar S. Stress-strain degradation response of railway ballast stabilized with geosynthetics. J Geotech Geoenviron Eng 2013;139(5):684–700.

[2] Indraratna B, Lackenby J, Christie D. Effect of confining pressure on the degradation of ballast under cyclic loading. Géotechnique 2005;55(4):325–8.

[3] Li, J., Tang, C., Wang, D., Pei, X., and Shi, B., 2014. Effect of discrete fiber-reinforcement on soil tensile strength. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6 (2): 133-137. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.01.003.

[4] Voottipruex, P., 2000. Interaction of hexagonal wire reinforcement with silty sand backfill soil and behavior of full-scale embankment reinforced with hexagonal wire. D.Eng dissertation No. GT-99–01. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

[5] Yang, G.Q., Ding, J.X., and Zhouetal, Q.Y., 2010. Field behavior of a geogrid reinforced soil retaining wall with a wrap-around facing. Geotechnical Testing Journal, 33 (1): 1-6. https://doi.org/10.1520/GTJ102410

[6] Hossain, M.S., Kibria, G., Khan, M.S., Hossain, J., and Taufiq, T., 2012. Effects of backfill soil on excessive movement of MSE wall. J. Perform. Constr. Facil, 26 (6): 793-802. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943- 5509.0000281.

[7] Moudabel, O.A.M., Gregory, G.H., and Yang, X., 2014. Cross SA. A case study of MSE wall stability: comparison of limit equilibrium and numerical methods. Ground Improvement and Geosynthetics, GSP 238: 464-470. https://doi.org/10.1061/97807844134O1.046.

[8] Won, M.S., Langcuyan, C.P., Ann, S.J., and Lee, S.D., 2018. Behavior of MSE wall with strips and geogrids reinforcement subjected to compaction loadings, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE), 15 (2): 01-09

[9] Hulagabali, A.M., Solanki, C.H., Dodagoudar, G.R., and Shettar, M.P., 2018. Effect of reinforcement, backfill and surcharge on the performance of reinforced earth retaining wall, Asian Research Publishing Network (ARPN). ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (9): 3224-3230.

[10] Nualkliang M (2011) Behavior of MSE wall/embankment with geogrid and metallic reinforcements on hard foundation. M. Eng. Thesis No. GE-10-5, Asian Institute of Technology, Bangkok

[11] เจน บุญชื่อ (2554). ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด แผงไทย, หน้าที่ 1-26

[12] Ling Li, Sanjay Nimbalkar, Rui Zhong, 2018. Finite element model of ballasted railway with infinite boundaries considering effects of moving train loads and Rayleigh waves. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 114:147-153. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.06.033

[13] Pankaj Baral, Dennes T. Bergado, Sowarapan Duangkhae, 2016. The use of polymeric and metallic geogrid on a full scale MSE wall/embankment on hard foundation: a comparison of field data with simulation. l. Geo-Engineering (2016) 7:20.