

วิธีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยออกแบบโครงสร้างทางรถไฟบนดินอ่อน

Solution and computer program for the design of train structures on soft rock

สาวิตรี จันตา, ดร. พงษ์ทิพัฒน์ อานันทนสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

25/25 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล นครปฐม 73170 โทรศัพท์: 0-2889-2138 ต่อ 6521

E-mail: aoy-y_haha@hotmail.com, pongpipat.ana@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยออกแบบโครงสร้างทางรถไฟบนดินอ่อนนี้ จัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาวิธีการกำหนดความหนาของชั้นหินโรยทางและชั้นหินรองทาง โดยได้คำนึงถึงพฤติกรรมขององค์ประกอบโครงสร้างทางภายใต้สภาวะการใช้งานจริง และมุ่งเน้นในการศึกษาสภาพพื้นดินชั้นทางอ่อนที่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า วิธีของ Li and Selig(1998) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ สำหรับกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสม ป้องกันการเสีรูปไม่ให้อยู่ในระดับที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังได้นำวิธีการออกแบบของ Li and Selig(1998) ไปพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟบนดินพื้นทางอ่อนด้วย

คำสำคัญ: ความหนาของชั้นอนุภาค, การเสีรูปของโครงสร้างทางในสนาม, โครงสร้างทางรถไฟบนดินอ่อน

1. บทนำ

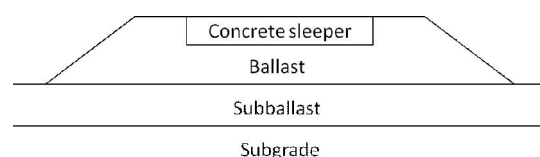
รถไฟเป็นรูปแบบการขนส่งระบบราง ที่ใช้ในการขนส่งทั้งผู้โดยสารและสินค้า มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งปัจจุบันรัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญที่จะพัฒนาการขนส่งระบบรางเพื่อพัฒนาความเจริญไปสู่ส่วนภูมิภาค เพิ่มความปลอดภัยในด้านการคมนาคม และเพิ่มระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน จึงได้มีการระดมทุนสร้างตามโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการคมนาคมของประเทศ ประมาณ 2.2 ล้านๆ บาท

ส่วนสำคัญ ที่จะทำให้ระบบการขนส่งรถไฟเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพคือการมีโครงสร้างทางที่สมบูรณ์มีสมรรถนะที่เหมาะสมกับสภาพการจราจรที่จะเกิดการขยายตัวในอนาคต ซึ่งโครงสร้างทางที่สมบูรณ์นั้นเกิดจากองค์ประกอบหลัก 2 ประการ กล่าวคือ 1) ได้รับการออกแบบที่เหมาะสมตามหลักวิศวกรรมและ 2) ได้มีการซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ สำหรับประเทศไทยปัญหาเกี่ยวกับทางรถไฟโดยมากนั้นเกิดจากดินฐานรากอ่อนตัวและมีเสถียรภาพต่ำ ทำให้ทางเกิดความคลาดเคลื่อนมากในอัตราที่เร็ว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีการออกแบบโครงสร้างทางที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันหรือลดความรุนแรงของปัญหานี้

การศึกษานี้จะได้พิจารณาถึงวิธีการกำหนดความหนาของชั้นหินโรยทาง และ ชั้นรองหินโรยทางที่ได้คำนึงถึงพฤติกรรมขององค์ประกอบโครงสร้างทางภายใต้สภาวะการใช้งานจริง สภาพพื้นดินชั้นทางอ่อนที่มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำ ได้ถูกจำลองให้เกิดการเสีรูปและการออกแบบนั้นเป็นไปเพื่อป้องกันการเสีรูปดังกล่าวไม่ให้อยู่ในระดับที่มากเกินไป นอกจากนั้นบทความนี้ยังจะได้นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟบนดินพื้นทางอ่อนจากวิธีการกำหนดความหนาของชั้นหินโรยทางและชั้นรองหินโรยดังกล่าวอีกด้วย

2. หลักการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟสำหรับดินชั้นทางอ่อนแบบดั้งเดิม

โครงสร้างทางนั้นประกอบด้วยชั้น หินโรยทาง ชั้นรองหินโรยทาง และชั้นดินชั้นทางตามแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของทางรถไฟ

หลักการออกแบบโดยทั่วไปของโครงสร้างทางนั้นประกอบด้วยการประมาณความหนาที่เหมาะสมของชั้นหินโรยทางและ ชั้นรองหินโรยทาง (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกรวมกันว่าชั้นหินอนุภาคหรือ granular layer) โดยที่ระดับความเค้นอันเกิดจากน้ำหนักการจราจรที่กระจายผ่านหมอนรองราง ชั้นหินโรยทาง และรองหินโรยทางจนมาถึงชั้นดินชั้นทางนั้น ไม่มากเกินไปจนก่อให้เกิดการพังพังบัติหรือการเคลื่อนตัวมากเกินไปของชั้นดินชั้นทางเอง

หลักการออกแบบโครงสร้างทางชนิดดั้งเดิมนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1) การกำหนดความหนาของชั้นโครงสร้างทางด้วยสูตรที่ทดลองและสังเกตในสนาม (empirical formulas) เช่น Talbot's Formula (Talbot 1919), Japanese National Railway Formulas (Okabe 1961), Raymond (1995) ใช้วิธีคิดด้วย pressure cells ได้ชั้นหินอนุภาค

จากนั้นวัดค่าความเค้นในสนาม และทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นหินอนุภาคและความเค้นที่วัดได้ 2) ใช้วิธีถ่วงดุลและสังเกตในสนาม(semi empirical formulas) เช่น Load spread methods (Clark 1957 และ Schramm 1961) วิธีเหล่านี้สมมติให้ความเค้นจากการจราจรกระทำในแนวดิ่งโดยกระจายอยู่บนพื้นที่สี่เหลี่ยม (rectangular area) ที่ขยายตัวใหญ่ขึ้นตามความลึกจากใต้หอนรองราง โดยที่อัตรากระจายตัวของพื้นที่กับความลึกนั้นอาจได้จากการสมมติ เช่น 1V:1H หรือ 2V:1H หรือจากการสมมติให้ขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานภายใน (angle of internal friction, ϕ) ของชั้นหินอนุภาค 3) เป็นการใช้ทฤษฎีอีลาสติคสำหรับคำนวณความเค้นที่กระจายผ่านชั้นหินอนุภาค เช่น วิธีของ Boussinesq(ORE 1968) หรือ Eisenmann (1970) วิธีเหล่านี้สมมติให้ชั้นหินอนุภาคและชั้นดินพื้นทางเป็นวัสดุอีลาสติคที่เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นอินทิเกรตสูตรของ Boussinesq (1885) ซึ่งใช้คำนวณความเค้นในแนวดิ่งที่จุดใดจุดหนึ่งในวัสดุอันเกิดจากแรงกระทำเป็นจุดบนผิว (point load) การอินทิเกรตนั้นกระทำเพื่อสร้างสูตรคำนวณความเค้นได้บริเวณที่สัมผัส (effective rectangular contact area) ระหว่างหอนรองรางกับชั้นหินโรยทางจากความลึกของชั้นหินอนุภาค

สำหรับการคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสมจากการใช้วิธีดั้งเดิมนั้นทำได้ด้วยการกำหนดให้ ความเค้นจากการจราจรที่คำนวณได้ (q) ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินพื้นทาง (allowable or safe bearing capacity, q_a) โดยมีสมมติฐานที่ว่าทราบใดที่ $q \leq q_a$ ชั้นดินชั้นทางจะเกิดการเสีรูปเคลื่อนตัวที่น้อยมากและดินจะไม่เกิดการพังวิบัติ

ค่า q_a นั้นอาจเป็นค่าคงที่ หรือเปลี่ยนไปตามชนิดของดิน โดยได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ บทความนี้จะขอยกตัวอย่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินพื้นทางชนิดต่างๆ ที่ Clarke (1957) ได้แนะนำไว้

Subgrade Description	Safe Average Bearing Pressure (kPa)
Alluvial soil	<70
Made ground not compacted	75 - 105
Soft clay, wet or loose sand	110 - 140
Dry clay, firm sand, sandy clay	145 - 210
Dry gravel soils	215 - 275
Compacted soils	>280

ตารางที่ 1 น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินพื้นทางชนิดต่างๆ

จะเห็นได้ว่าความถูกต้องของผลการคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคตามวิธีที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนั้น ถูกจำกัดด้วยสภาพการจราจร กล่าวคือ ความกว้างราง(rail gauge) น้ำหนักกกดเพลลา(axle load) ความเร็วรถเฉลี่ย(vehicle velocity) ที่ความสัมพันธ์ empirical formulas นั้นๆ ถูกพัฒนาขึ้น ดังนั้นสูตรผลที่แม่นยำสำหรับการเดินรถแบบหนึ่ง

อาจให้ผลคลาดเคลื่อนสำหรับการเดินรถแบบอื่นๆ นอกจากนั้นสมมติฐานที่กำหนดให้ชั้นอนุภาคหิน และชั้นพื้นทางเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นวัสดุอีลาสติคนั้น ขัดกับสภาพความเป็นจริงที่ชั้นหินโรยทางและรองหินโรยทาง มีค่าโมดูลัสและกำลังสูงกว่าชั้นพื้นทางมากลักษณะเช่นนี้ ทำให้การวิเคราะห์ความเค้นจากการจราจรตามวิธีที่ได้กล่าวมามีค่าผิดไปจากที่ควรจะเป็น และทำให้ได้ความหนาของชั้นหินอนุภาคที่ไม่เหมาะสมในที่สุด

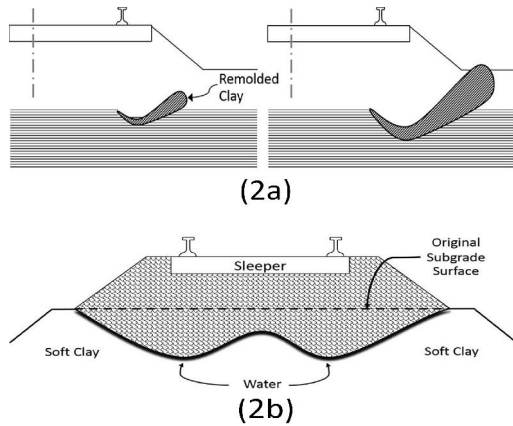
การสมมติค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยสำหรับดินอ่อนเป็นค่าคงที่นั้น ไม่สะท้อนถึงพฤติกรรมจริงของดินภายใต้สภาพที่ความเค้นจากการจราจรกระทำซ้ำไปมา(repeated stressing) ในสภาพความเป็นจริงนั้นเมื่อดินมวลละเอียดได้รับความเค้นแบบกระทำซ้ำ จะเกิดการเสีรูปสะสมในดินแบบถาวร (accumulated permanent deformation) ซึ่งเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของความเค้นที่กระทำ(number of load cycles) ยิ่งขนาดของความเค้นเพิ่มขึ้นปริมาณการเสีรูปสะสมจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นไปด้วย การเสีรูปของดินพื้นทางในลักษณะเช่นนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการยุบตัวของราง (differential settlement of rail) ซึ่งต้องแก้ไขด้วยการซ่อมบำรุงทางในที่สุด

3. หลักการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟสำหรับดินคันทางอ่อนด้วยวิธีของ Li and Selig

Li and Selig (1998) ได้นำเสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคสำหรับทางรถไฟบนดินพื้นทางอ่อนซึ่งลดข้อจำกัดด้านสภาพการจราจรและใช้สมมติฐานสำหรับพฤติกรรมของโครงสร้างทางที่เสมือนจริงยิ่งขึ้น

วิธีของ Li and Selig นี้ผนวกผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างทางด้วยวิธีเชิงตัวเลขกับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain relationships) ของชั้นดินพื้นทางที่สังเกตได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคสำหรับการออกแบบ ถือว่าเป็นวิธีที่ครอบคลุมทั่วถึงที่สุดวิธีหนึ่งที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงสนใจนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

วิธีของ Li and Selig สมมติให้การเสีรูปยุบตัวของชั้นดินพื้นทางเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ กล่าวคือ 1) ดินพื้นทางบริเวณใต้รางถูกความเค้นจากการจราจรดันให้ปลิ้นออกด้านข้างเกิดเป็นกระเปาะดินอยู่บริเวณด้านข้างของชั้นหินโรยทางดังแสดงในรูป 2a ปริมาณของดินที่ถูกบีบออกไปด้านข้างนี้เพิ่มขึ้นไปพร้อมกับจำนวนเที่ยวรถและน้ำหนักกกดเพลลาสะสมที่ผ่านบริเวณดังกล่าว 2) ดินพื้นทางบริเวณใต้รางเกิดการทรุดตัวสะสมในแนวดิ่ง (soil compression) ก่อให้เกิดเป็นแอ่ง (depression) หรือกระเปาะหินโรยทาง (ballast pocket) บนชั้นดินดังแสดงในรูป 2b



รูปที่ 2 การพังยับยั้งของชั้นดินคันทางหรือชั้นดินธรรมชาติ

การกำหนดความหนาชั้นหินอนุภาคตามวิธีนี้นั้นทำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียรูปของตัวทั้งสองลักษณะที่มากเกินไปกับชั้นดินพื้นทาง เพื่อป้องกันการเปลี่ยนของดินออกด้านข้าง ความเครียด(strain)บนผิวของชั้นดินพื้นทางจะถูกกำหนดให้ไม่เกินค่าที่ยอมให้ ε_{sa} ในขณะที่การเสียรูป(deformation) ที่ยอมให้ถูกกำหนดเพื่อป้องกันการทรุดตัวสะสมที่มากเกินไปของชั้นดินพื้นทาง ρ_{sa}

Li (1994) และ Li and Selig (1996) ได้ทำการทดสอบ cyclic triaxial tests กับดินพื้นทางมวลละเอียด (fine-grained soils) หลายชนิด พร้อมทั้งเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความเค้นและการเสียรูปในชั้นดินตามสมการ

$$\varepsilon_s = a \left(\frac{\sigma_d}{\sigma_s} \right)^m N^b \quad (1)$$

$$\rho_s = \int_0^T \varepsilon_s dt \quad (2)$$

เมื่อ σ_d คือ deviator stress ในชั้นดินซึ่งมีค่าเท่ากับความเค้นในแนวตั้งลบด้วยความเค้นในแนวนอน σ_s คือ compressive strength ของดินพื้นทาง N คือ number of load cycles T คือความหนาของชั้นดินพื้นทาง และ a, m, b คือพารามิเตอร์ซึ่งมีค่าคงที่สำหรับดินชนิดหนึ่ง

Soil type (1)	a (2)	b (3)	m (4)
CH(fat clay)	1.20	0.18	2.4
CL(lean clay)	1.10	0.16	2.0
MH(elastic silt)	0.84	0.13	2.0
ML(silt)	0.64	0.10	1.7
Note: Values form Li and Selig(1996).			

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ a, m, b

สำหรับการวิเคราะห์ความเค้นจากการจราจรนั้น วิธีของ Li and Selig แนะนำให้โครงสร้างประกอบด้วย ราง(rail) เครื่องยึดเหนี่ยวราง(fastener) หมอนรองราง(tie หรือ sleeper) ชั้นหินอนุภาค และชั้นพื้นทางโดยทุกองค์ประกอบเป็นวัสดุอีลาสติกแต่มี resilient modulus (E) ต่างกันจากนั้นใช้การคำนวณความเค้นในชั้นดินพื้นทางที่เกิดจากน้ำหนักกดเพลานรางทำได้โดยอาศัยวิธีเชิงตัวเลข เช่น ไฟไนต์เอเลเมนต์ (finite element) หรือ ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference)

เมื่อจะทำการออกแบบ โครงสร้างทางถูกจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยสมมติความหนาของชั้นหินอนุภาคค่าหนึ่ง ส่วนน้ำหนักกดเพลและสมบัติต่างๆของวัสดุโครงสร้างทางนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ จากนั้นใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความเค้นในดินและคำนวณ deviator stress ที่มีค่ามากที่สุดซึ่งมักเกิดบริเวณใต้รางต่อมาใช้สมการ (1) และ (2) เพื่อคำนวณความเครียดและการเสียรูปตามลำดับ ทำการปรับความหนาของชั้นหินอนุภาคจนกระทั่งความเครียดและการเสียรูปที่คำนวณได้น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่ยอมให้

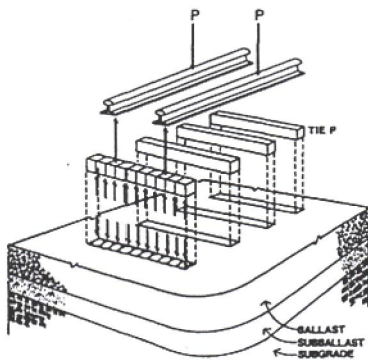
$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sa} \quad (3)$$

$$\rho_s \leq \rho_{sa} \quad (4)$$

ความหนาของชั้นหินอนุภาคที่น้อยที่สุดที่ทำให้เงื่อนไขตามสมการที่ (3) และ (4) เป็นจริงนั้นคือค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ

4. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบโครงสร้างทางสำหรับดินคันทางอ่อนด้วยวิธีของ Li and Selig(1998)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยวิศวกรสำหรับออกแบบโครงสร้างทางรถไฟแบบหินโรย หลักการพัฒนาโปรแกรมนั้นเป็นไปตามขั้นตอนตามวิธีของ Li and Selig (1998) โครงสร้างทางรถไฟถูกจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ GEOTRACK (Adogoke et al. 1980) ซึ่งเป็นโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์แบบสามมิติ (three-dimensional finite element modeling) ถูกพัฒนาขึ้นจากทฤษฎี multi-layered elasticity แบบจำลองโครงสร้างทางประกอบไปด้วยราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง หมอนรองราง ชั้นหินอนุภาค และชั้นดินพื้นทางตามแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 3D track model

ทุกส่วนของโครงสร้างทางนั้นถูกสมมติให้เป็นวัสดุอีลาสติคซึ่งความแข็งแรงถูกแสดงด้วย resilient modulus และ Poisson's ratio ความหนาของชั้นหินอนุภาคหลายค่า (15-150 cm) ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความเค้น นอกจากนั้นค่า resilient modulus ของชั้นหินโรยทาง (140-550 MPa) และชั้นดินพื้นทาง (14-110 MPa) จำนวนหลายค่า ได้ถูกใช้ในการคำนวณเพื่อจำลองสมบัติของหินโรยทางและชั้นดินพื้นทางต่างชนิดช่วงทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ประกอบไปด้วยหอนรอรางจำนวนเจ็ดอัน โดยที่น้ำหนักกดเพลลาแบบพลวัต (dynamic axle load) กระทำเหนือหอนรอรางตัวที่สี่

ตารางที่ 3 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณความเค้นในชั้นดินพื้นทางโดยโปรแกรมGEOTRACK

Track variable (1)	Value (2)
(a) Rail Properties	
E (Gpa)	207
I (m ⁴)	3.95×10^{-6}
Cross area(m ²)	8.61×10^{-3}
Gauge(m)	1.5
Mass(kg/m)	68
(b) Tie and Fastener	
Base width(m)	0.273
Base length(m)	2.6
Cross area(m ²)	5.6×10^{-2}
E (Gpa)	31
I (m ⁴)	2.42×10^{-4}
Mass(kg)	363
Spacing(m)	0.61
Fastener stiffness(kN/mm)	175
(c) Granular Layer	
Density(Mg/m ³)	1.76
Poisson's ratio	0.3
Modulud(Mpa)	550,280,140
K_0	1.0
Thickness(m)	0.15,0.23,0.31,0.46,0.76,1.07,1.52

(d) Subgrade Layer	
Density(Mg/m ³)	1.92
Poisson's ratio	0.35
Modulud(Mpa)	110,55,28,14
K_0	1.0
(e) Wheel Load	
Tie number	1 4 7
Magnitude(kN)	230 230 230

ตารางที่ 3 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณความเค้นในชั้นดินพื้นทาง

ผลจากการคำนวณความเค้นในชั้นดินพื้นทางที่ได้จากการสมมติความหนาของชั้นหินอนุภาคได้ถูกใช้ในการกำหนดความหนาออกแบบสำหรับชั้นหินอนุภาคเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ

1. การกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคเพื่อป้องกันดินพื้นทางปลิ้น ความเค้นสูงสุดที่ผิวของชั้นดินพื้นทาง ($\sigma_d \max$) เกิดบริเวณใต้หอน)ของแต่ละกรณีได้ถูกนำมาคำนวณ strain influence factor (I_ε)

$$I_\varepsilon = \frac{\sigma_d A}{P_d} \quad (5)$$

ค่า I_ε ที่คำนวณได้นี้ต่อมาถูกบันทึกลงในหน่วยข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (electronic data file) คู่กับค่าสมมติ H หน่วยข้อมูลนี้จะประกอบด้วยหน่วยข้อมูลย่อยสำหรับผลที่ได้จากการสมมติค่า resilient modulus ของชั้นหินอนุภาคและชั้นดินพื้นทางต่างๆด้วย

2. การกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคเพื่อป้องกันดินพื้นทางทรุดตัวเป็นแอ่ง ความเค้นบริเวณใต้รางในชั้นดินพื้นทางที่คำนวณได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ อันเกิดจากการสมมติความหนาของชั้นหินอนุภาคและค่า resilient modulus นั้นถูกนำมาใช้คำนวณ deformation influence factor (I_ρ) $I_\rho = \int_0^T \left(\frac{\sigma_d A}{P_d} \right)^m \frac{dt}{L}$ ด้วยวิธีเชิงตัวเลข และจากนั้นบันทึกผลลงในหน่วยข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์เป็นหมวดหมู่คู่กับค่าสมมติ H และ resilient modulus ที่ได้ใช้ในการคำนวณความเค้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ThickTrack ได้ถูกพัฒนาบน MATLAB platform เพื่อช่วยในการคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสมผู้ใช้อป้อนค่า inputs ที่จำเป็นให้แก่โปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักกดเพลลาพลวัตจะถูกคำนวณจากน้ำหนักกดเพลลาสถิตย์และความเร็วรถต่อมาโปรแกรม ThickTrack จะใช้ค่าความเครียดที่ผิวชั้นดินพื้นทางที่ยอมให้ ε_{sa} กับจำนวนเพลลาสะสมมาคำนวณค่าความเค้นที่ยอมให้

$$\sigma_d = \sigma_s \left[\frac{1}{a} \left(\frac{\varepsilon_{sa}}{N^b} \right) \right]^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

ค่าความเค้นนี้ต่อมาจะถูกใช้คำนวณ I_ε ที่ยอมให้โดยสมการ (5)

ในส่วนของการกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคเพื่อป้องกันการยุบตัวของชั้นดินพื้นทาง โปรแกรม ThickTrack คำนวณค่า deformation influence factor (I_p) ที่ยอมให้ จากค่าการทรุดตัวของชั้นดินพื้นทางที่ยอมให้ (ρ_{sa}) น้ำหนักกดเพลาลวด (compressive strength) ของชั้นดินพื้นทาง และ number load cycles ซึ่งทั้งหมดนั้นเป็น user's inputs

$$I_p = \frac{\frac{\rho_{sa}}{a\left(\frac{P_d}{\sigma_{sa}}\right)^m}}{N^b} \times 100 \quad (7)$$

จากนั้นโปรแกรมย่อย SearchInter นำค่า I_p ที่คำนวณได้ไปทำการ interpolation และระบุค่าความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสม (H_p) เพื่อป้องกันการยุบตัวที่มากเกินไปของชั้นพื้นทางจากหน่วยข้อมูลที่ได้สร้างด้วยผลการคำนวณเชิงตัวเลข

โปรแกรม ThickTrack เปรียบเทียบค่าความหนาของชั้นหินอนุภาคทั้งสองและรายงานความหนาออกแบบ (H) ซึ่งคือค่าที่มากที่สุดของ H_e และ H_p

$$H = \max(H_e, H_p) \quad (8)$$

5. สรุป

จากการศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟสำหรับคันทางอ่อนโดยวิธีต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าวิธีการออกแบบของ Li and Selig(1998) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับกำหนดความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสม เนื่องจาก ลดข้อจำกัดด้านสภาพการจราจร และจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างทางที่เสมือนจริง ถือว่าเป็นวิธีที่ครอบคลุมทั่วถึงที่สุดวิธีหนึ่งและมีการใช้ในปัจจุบัน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยในการออกแบบโครงสร้างทางสำหรับคันคันทางอ่อนนั้น ได้นำขั้นตอนวิธีของ Li and Selig(1998) มาใช้ โดยถูกพัฒนาบน MATLAB platform ผู้ใช้สามารถป้อนค่า input คือ ค่าน้ำหนักกดเพลาลวด ความเร็วรถ ความเครียดที่ผิวชั้นดินพื้นทางที่ยอมให้ ε_{sa} และจำนวนเพลาสะสมเพื่อช่วยในการคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคที่เหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการศึกษาและวิจัยร่วมระบบขนส่งทางราง ที่มอบโอกาสและมอบทุนให้แก่ข้าพเจ้า และ บริษัท อิตาเลียนไทยคิเวล์อ็อปเม้นท์ จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ฝึกงานและให้ความรู้ในการทำโครงงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1]นคร จันทสร. ช่างรถไฟ ความรู้ทั่วไปด้านวิศวกรรมรถไฟ โครงการพัฒนาระบบขนส่งทางรางและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องของประเทศ ไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ; 2555.
- [2]เจน บุญซื่อ. ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด แสงไทย; 2554.
- [3]ประทีป สุตะบุตร. คู่มือการปฏิบัติงานนายตรวจทาง(Inspector Manual) ภายใตโครงการปรับปรุงศูนย์ฝึกอบรมการรถไฟแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.; 2535.
- [4]Li, D., Selig, E.T. "Method for railroad track foundation design", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 1998, ASCE, 323-29.
- [5]American Railway Engineering (AREA).(1996),Manual for Railway Engineering, Vol.1, Washington D.C.