การประเมินเสถียรภาพของฐานรากคันทางโดยวิธี Plate Bearing Test และ Dynamic Penetration Test

Evaluation of Subgrade Foundation Stability by Plate Bearing Test and Dynamic Penetration Test

ชนิดา ใสสุขสอาด[1,*] ศิวาเวช อบมา[2] อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์[3] และ อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช[4]

[1]สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง
[2]ศูนย์สร้างทางขอนแก่น สำนักก่อสร้างทางที่ 2 กรมทางหลวง
[3,4]สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง
**Corresponding author; chanidasai.toon@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการทดสอบหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากคันทาง ซึ่งมีความสำคัญในการออกแบบความหนาของชั้นโครงสร้างทางและเสถียรภาพของคันทางให้มีความมั่นคงแข็งแรง การศึกษานี้เลือกโครงการรถไฟความเร็วสูงไทย – จีน (ช่วงกลางดง-ปางอโศก) ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร ดำเนินการก่อสร้างโดยศูนย์สร้างทางหล่มสัก กรมทางหลวง ซึ่งมีงานทดสอบ Plate Bearing Test (PBT) และ Dynamic Penetration Test (DPT) ในโครงการดังกล่าว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากคันทางทดสอบโดยวิธี PBT และ DPT ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดของโครงการ แสดงว่าฐานรากคันทางของโครงการมีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรง

คำสำคัญ: ความสามารถในการรับน้ำหนัก, เสถียรภาพความมั่นคง, ฐานรากคันทาง

Abstract

This paper presents the evaluation of subgrade foundation stability, which plays a vital role for pavement thickness design and embankment stability. A 3.5-kilometer High-Speed Railway Project Thai–China (Klang Dong–Pang Asok) under the supervision of Lomsak Road Construction Center, Department of Highways was selected because two test methods e.g. Plate Bearing Test (PBT) and Dynamic Penetration Test (DPT) were implemented in this project. Results indicated that subgrade foundation in High-Speed Railway Project Thai–China was stable and exhibited good bearing capacity.

Keywords: Bearing Capacity, Stability, Subgrade Foundation

1. คำนำ

การประเมินกำลังรับน้ำหนักของฐานรากคันทางเพื่อใช้ในการออกแบบเสถียรภาพของคันทางและความหนาของชั้นโครงสร้างทางนั้น สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) การทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test, SPT) การทดสอบทะลุทะลวงด้วยหัวกรวย (Cone Penetration Test, CPT) การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนด้วยใบพัด (Field Vane Shear Test, FVT) การทดสอบทะลุทะลวงด้วยอุปกรณ์ Kunzelstab Penetration Test (KPT) และอุปกรณ์ Dynamic Penetration Test (DPT) รวมถึงการทดสอบค่าแรงต้านทานการรับน้ำหนัก (Plate Bearing Test, PBT) ทั้งนี้การเลือกวิธีการทดสอบขึ้นอยู่กับข้อกำหนดการออกแบบ ดุลยพินิจของผู้ออกแบบ ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ วิธีการออกแบบ สภาพพื้นที่ทดสอบ เป็นต้น

ปัจจุบันกรมทางหลวงมีการก่อสร้างคันทางเพื่อขยายช่องจราจรของโครงข่ายทางหลวงสายหลัก โดยข้อกำหนดในการก่อสร้างคันทางใหม่นั้นจะกำหนดค่าความแข็งแรงของฐานรากคันทาง (Subgrade Foundation) เช่น ค่า CBR ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ยุ่งยากและทำได้รวดเร็ว แต่การกำหนดเพียงค่า CBR อาจไม่เพียงพอ โดยเฉพาะกรณีงานก่อสร้างคันทางบนพื้นที่ดินอ่อนหรือชั้นดินที่มีปัญหาระหว่างก่อสร้าง (Unsuitable Subgrade) ในการขยายหรือก่อสร้างคันทางใหม่นั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลด้านเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงของฐานรากคันทาง ในขณะที่ผู้ควบคุมงานก่อสร้างต้องตรวจสอบและประเมินเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงของฐานรากคันทางก่อนการก่อสร้างคันทางและชั้นโครงสร้างทางตามข้อกำหนดการออกแบบ ตลอดจนติดตามตรวจวัดค่าระดับการทรุดตัวของคันทางเก่าและใหม่เพื่อป้องกันปัญหาการทรุดตัวต่างระดับ และการวิบัติของฐานรากคันทาง

แม้ว่าวิธีการออกแบบก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ จะแตกต่างจากวิธีการออกแบบก่อสร้างโครงสร้างถนน เนื่องจากลักษณะของแรงกระทำและการถ่ายน้ำหนัก แต่ทั้งโครงสร้างพื้นฐานระบบรางและระบบถนนมีองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งเหมือนกัน นั่นคือ ฐานรากคันทางต้องมีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอสำหรับรองรับน้ำหนักของคันทางและแรงกระทำของน้ำหนักบรรทุก ดังนั้น เสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรง (Bearing Capacity และ Stability) ของฐานรากคันทาง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการออกแบบก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานทั้งสองระบบ

การทดสอบค่าแรงต้านทานการรับน้ำหนักโดยวิธี PBT และ DPT เป็นวิธีการทดสอบเสถียรภาพของฐานรากคันทาง ซึ่งมีกระบวนการทดสอบไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากใช้จำนวนอุปกรณ์ทดสอบไม่มากและสามารถถอดประกอบขนย้ายได้ง่าย นอกจากนี้การทดสอบหาค่าแรงต้านทานการรับน้ำหนักของฐานรากคันทางโดยวิธี PBT และ DPT ยังสามารถใช้ตรวจสอบเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงของฐานรากคันทางได้เช่นกัน ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ ตรวจสอบและประเมินเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงของฐานรากคันทางโดยวิธี PBT และ DPT เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบควบคุมการก่อสร้างคันทางส่วนขยายหรือการขึ้นคันทางใหม่ของโครงข่ายทางหลวงสายหลักให้มีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรง มีอายุการใช้งานตามกำหนดและปลอดภัยต่อประชาชนผู้ใช้ทาง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดิน (Plate Bearing Test, PBT)

มาตรฐานการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดิน (PBT) เสนอโดยหน่วยงานต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้

2.1.1 AASHTO T 222-81 [1]

การทดสอบโดยการให้น้ำหนักกดจากชุดแม่แรงไฮดรอลิค (Hydraulic Jack Assembly) ลงบนแผ่นจานโลหะหนา 2.54 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 76.0, 60.9, 45.7, 30.5 เซนติเมตร วางซ้อนกันเป็นชั้นเพื่อป้องกันแผ่นจานโลหะแอ่นตัวเนื่องจากน้ำหนักกด ค่าการทรุดตัวอ่านได้จากมาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge) ซึ่งติดตั้งไว้กับคานอ้างอิง โดยในการให้น้ำหนักกดแต่ละครั้ง อัตราการทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที ค้างน้ำหนักไว้อย่างน้อย 3 นาที เพิ่มน้ำหนักกดจนค่าการทรุดตัวของแผ่นจานโลหะเท่ากับ 25 มิลลิเมตรหรือจนกระทั่งถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ แล้วจึงค่อยลดน้ำหนักลงจนเป็นศูนย์ โดยการลดน้ำหนักจะกระทำเช่นเดียวกับการเพิ่มน้ำหนักและบันทึกค่าการทรุดตัว คำนวณหาค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทาง (Modulus of Subgrade Reaction, k) จากสมการที่ 1

$$k = k'_u \left[\frac{d}{d_s} + \frac{b}{1905}\left(1 - \frac{d}{d_s}\right) \right] \quad (1)$$

โดย k'_u = โมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทางในสนาม
b = ความหนาของชั้นดินที่ทำการทดสอบ (มิลลิเมตร)
d = ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินที่หน่วยแรง 69.0 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร กรณีความชื้นเท่ากับความชื้นในสนาม (มิลลิเมตร)
d_s = ค่าการทรุดตัวเนื่องจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินที่หน่วยแรง 69.0 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร กรณีดินอิ่มน้ำ (มิลลิเมตร)

2.1.2 DIN 18134 [2]

การทดสอบหาค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทาง เพื่อใช้ในการออกแบบถนน ด้วยแผ่นจานโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 76 เซนติเมตร ให้น้ำหนักกดเพื่อให้เกิดหน่วยแรงเท่ากับ 0.005, 0.04, 0.08, 0.14 และ 0.20 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในการให้น้ำหนักกดแต่ละครั้งอัตราการทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นจึงลดน้ำหนักกดลงเท่ากับ 0.08 และ 0 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ และทำการบันทึกค่าน้ำหนักกดและการทรุดตัวที่ได้จากการติดตั้งมาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge) ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกด เพื่อนำไปหาค่า k จากสมการที่ 2

$$k = \frac{P}{\Delta} = \frac{P}{1.25\text{mm}} \quad (2)$$

โดย P = หน่วยแรงที่เกิดขึ้น ณ ค่าการทรุดตัวเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร
Δ = ค่าการทรุดตัวที่มีค่าเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร

2.1.3 ASTM D1196-93 [3]

การทดสอบโดยการให้น้ำหนักกดลงบนแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 15.2 ถึง 76.2 เซนติเมตรวางซ้อนกันเป็นชั้น แต่ละแผ่นหนา 2.54 เซนติเมตร เพิ่มน้ำหนักกดที่อัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.03 มิลลิเมตรต่อนาที จนค่าการทรุดตัวเท่ากับ 25 มิลลิเมตรหรือจนกระทั่งถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ แล้วคงน้ำหนักไว้ 3 นาทีที่อัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.03 มิลลิเมตรต่อนาที จากนั้นจึงค่อยลดน้ำหนักลงจนเป็นศูนย์ ในระหว่างการทดสอบจะวัดค่าการทรุดตัวด้วยมาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge) และบันทึกค่าน้ำหนักกดและค่าการทรุดตัว คำนวณหาค่า k จากสมการที่ 3

$$k = \frac{P}{\Delta_{max}} \quad (3)$$

โดย Δ_{max} = ค่าการทรุดตัวสูงสุด (มิลลิเมตร)

2.1.4 China Railway [4]

การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของฐานรากคันทาง (Foundation Coefficient) โดยการให้น้ำหนักกดลงบนแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตร เพิ่มน้ำหนักกดครั้งละ 40 กิโลปาสคาล โดยแต่ละครั้งให้วัดค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้น หลังจากเพิ่มน้ำหนักกดทิ้งไว้นาน 1 นาที ค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นต้องไม่เกินร้อยละ 1 ของค่าการทรุดตัวเริ่มต้น ทั้งนี้ก่อนจะเพิ่มน้ำหนักครั้งต่อไปต้องคงน้ำหนักเดิมไว้ไม่น้อยกว่า 3 นาที

เงื่อนไขในการหยุดทดสอบมี 3 กรณี ได้แก่

1) เมื่อค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเกิน 1.25 มิลลิเมตรและเพิ่มน้ำหนักไปแล้ว 5 ครั้ง
2) ค่าน้ำหนักการทดสอบเท่ากับ 1.3 เท่าของค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในการออกแบบ
3) เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนดินเกิดการวิบัติ

โดยผลจากการทดสอบจะนำไปแปลผลเป็นค่า k_{30} ซึ่งเป็นค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทาง ทดสอบโดยใช้แผ่นจานโลหะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ดังสมการที่ 4

$$k_{30} = \frac{P}{\Delta} = \frac{P}{1.25\ \text{mm}} \quad (4)$$

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ สรุปไว้ในตารางที่ 1 โดยการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน China Railway [4]

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ

มาตรฐานการทดสอบ	ขนาดของแผ่นเพลทเหล็ก (มม.)	เงื่อนไขการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก	เงื่อนไขการหยุดทดสอบ
AASHTO T 222-81 [1]	*760*	อัตราการทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที เป็นเวลา *3* นาที	จนค่าการทรุดตัวเท่ากับ 25 มิลลิเมตรหรือจนกระทั่งถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ
DIN 18134 [2]	*760*	อัตราการทรุดตัวต้องไม่เกิน *0.02* มิลลิเมตรต่อนาที	ค่าน้ำหนักบรรทุกมีค่า *0.2* เมกะนิวตันต่อตารางเมตร
ASTM D1196-93 [3]	*760*	อัตราการทรุดตัวต้องไม่เกิน *0.03* มิลลิเมตรต่อนาที	จนค่าการทรุดตัวเท่ากับ *25* มิลลิเมตรหรือจนกระทั่งถึงขีดจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ
China Railway [4]	*300*	ค่าการทรุดตัวทิ้งไว้ *1* นาที ไม่เกินร้อยละ *1* ของค่าการทรุดตัวเริ่มต้น และค้างไว้ *3* นาที	1. เมื่อค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเกิน 1.25 มิลลิเมตรและเพิ่มน้ำหนักไปแล้ว 5 ครั้ง 2. ค่าน้ำหนักทดสอบเท่ากับ 1.3 เท่าของค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในการออกแบบ 3. เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจนดินเกิดการวิบัติ

2.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดิน (Plate Bearing Test) ตาม China Railway [4]

2.2.1 อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบ PBT แสดงดังรูปที่ 1 โดยอุปกรณ์ประกอบด้วย

1) อุปกรณ์ให้น้ำหนัก (Loading Devices)
2) ชุดแม่แรงไฮโดรลิก (Hydraulic Jack Assembly)
3) แผ่นจานโลหะ ใช้กระจายแรงในแนวดิ่งลงสู่ดินเดิม (Bearing Plate)
4) มาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge)
5) คานอ้างอิงการทรุดตัว (Deflection Beam)
6) ฐานรองรับคานรับมาตรวัดการทรุดตัว

รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดสอบ PBT

2.2.2 วิธีการทดสอบ

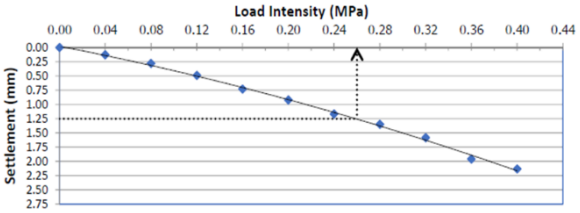
1) เตรียมพื้นที่ที่จะทำการทดสอบให้เรียบและได้ระดับ ใช้ทรายหรือปูนขาวปูบางๆ เพื่อปรับระดับ
2) วางแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) ลงบริเวณศูนย์กลางของพื้นที่ที่ต้องการทดสอบและปรับระดับให้ได้ระนาบ
3) ติดตั้งมาตรวัดการทรุดตัว (Dial Gauge) ไว้บนแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) แผ่นล่างสุดเพื่อวัดค่าการทรุดตัว ในกรณีใช้มาตรวัด 2 ตัว ให้ติดตั้งไว้ฝั่งตรงข้ามกัน และห่างจากขอบแผ่น 2.54 เซนติเมตร ในกรณีใช้มาตรวัด 3 ตัว ให้ติดตั้งทำมุมระหว่างกัน 120 องศา มาตรวัดดังกล่าวจะถูกติดตั้งกับคานอ้างอิงการทรุดตัว (Deflection Beam) ที่มีฐานรองรับอยู่ห่างจากขอบของแผ่นจานโลหะอย่างน้อยที่สุดข้างละ 2.4 เมตร ให้เฉลี่ยค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดการทรุดตัวทุกตัว เป็นค่าการทรุดตัวเฉลี่ยของการอ่านค่าแต่ละครั้ง
4) ถอยรถบรรทุกให้กึ่งกลางเพลาอยู่บนกึ่งกลางของแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) ติดตั้งชุดแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulic Jack Assembly) บนแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate)
5) เมื่ออุปกรณ์ทั้งหมดถูกติดตั้งเรียบร้อย เริ่มต้นให้น้ำหนักกดโดยการเพิ่มน้ำหนัก และลดลงอย่างรวดเร็ว น้ำหนักกดที่ให้ต้องเพียงพอให้เกิดการทรุดตัวไม่น้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร และไม่เกิน 0.50 มิลลิเมตร เมื่อเข็มของมาตรวัดหยุดนิ่งภายหลังลดน้ำหนัก ให้เพิ่มน้ำหนักกดลงบนแผ่นจานโลหะ (Bearing Plate) อีกครั้งประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักที่ทำให้เกิดการทรุดตัวระหว่าง 0.25 – 0.50 มิลลิเมตรดังกล่าว (Seating Load) เมื่อเข็มหยุดนิ่งจึงตั้งค่ามาตรวัดทุกตัวเป็นค่าเริ่มต้น
6) ทดสอบที่แรงกระทำเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.28, 0.32, 0.36, 0.40 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ตามลำดับ
7) บันทึกค่าการทรุดตัว ที่อ่านได้จากมาตรวัดการทรุดตัวทั้ง 2 ตัว ในทุกๆ แรงที่กระทำ ตามลำดับ
8) คำนวณหาแรงกระทำที่ค่าการทรุดตัวเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร และค่า k_{30} ตามลำดับ

รูปที่ 2 การทดสอบ PBT

2.2.3 การคำนวณ

การคำนวณหาค่า k_{30} ดังนี้

1) นำค่าการทรุดตัวเฉลี่ย และค่าหน่วยแรง มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวและค่าหน่วยแรง

2) คำนวณหาค่า k_{30} จากกราฟข้างต้น โดยแทนค่าลงในสมการที่ 5 ดังนี้

$$k_{30} = \frac{\sigma}{s} \qquad (5)$$

โดย σ = ค่าหน่วยแรงที่ค่าการทรุดตัวเท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)

S = ค่าการทรุดตัวที่ 1.25 มิลลิเมตร

2.3 การทดสอบ Dynamic Penetration Test (DPT)

DPT [5] เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบเพื่อประมาณค่า CBR ในสนามแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Test) โดยค่า CBR ที่ทดสอบได้จะช่วยให้วิศวกรและนายช่างควบคุมงานประเมินความแข็งแรงของฐานรากคันทางเดิมได้ทันที และยังช่วยประเมินรูปแบบของโครงสร้างชั้นทาง นอกจากนี้ DPT ยังใช้ตรวจสอบจุดอ่อนตัว (Soft Spot) ตามแนวก่อสร้าง

2.3.1 อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์การทดสอบ DPT แสดงดังรูปที่ 4 โดยอุปกรณ์ประกอบด้วย

1) ตุ้มน้ำหนัก 10 กิโลกรัม
2) แท่งตอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร
3) หัวกรวย มีองศาของกรวย 60 องศา
4) ข้อต่อ
5) ด้ามจับ

รูปที่ 4 เครื่องมือทดสอบ DPT

2.3.2 วิธีการทดสอบ

1) ตั้งอุปกรณ์ทดสอบในแนวดิ่ง โดยจับอุปกรณ์บริเวณด้ามจับ
2) ยกตุ้มให้หัวกรวยกดลงบนผิวดิน โดยให้ระยะที่กว้างที่สุดของหัวกรวยจมอยู่ในดิน จึงเริ่มอ่านค่า
3) ยกตุ้มน้ำหนักแล้วปล่อยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร สำหรับประเภท Light DPL ส่วนประเภท Heavy DPL ยกตุ้มปล่อยที่ระยะความสูง 76 เซนติเมตร
4) หยุดการปล่อยตุ้มน้ำหนัก เมื่อระยะจมลงดินเท่ากับ 30 เซนติเมตร หรือจำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มเท่ากับ 90 ครั้ง แต่ระยะจมดินน้อยกว่า 30 เซนติเมตร สำหรับประเภท Light DPL และประเภท Heavy DPL หยุดการปล่อยตุ้มน้ำหนักเมื่อระยะจมดินเท่ากับ 10 เซนติเมตร หรือจำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มเท่ากับ 6 ครั้ง แต่ระยะจมดินน้อยกว่า 10 เซนติเมตร
5) จดบันทึกระยะจมดิน และจำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มน้ำหนัก (N)

รูปที่ 5 การทดสอบ DPT

2.3.3 การคำนวณ

การคำนวณหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากคันทางแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) กรณีระยะจมดินเท่ากับ 30 ซม.

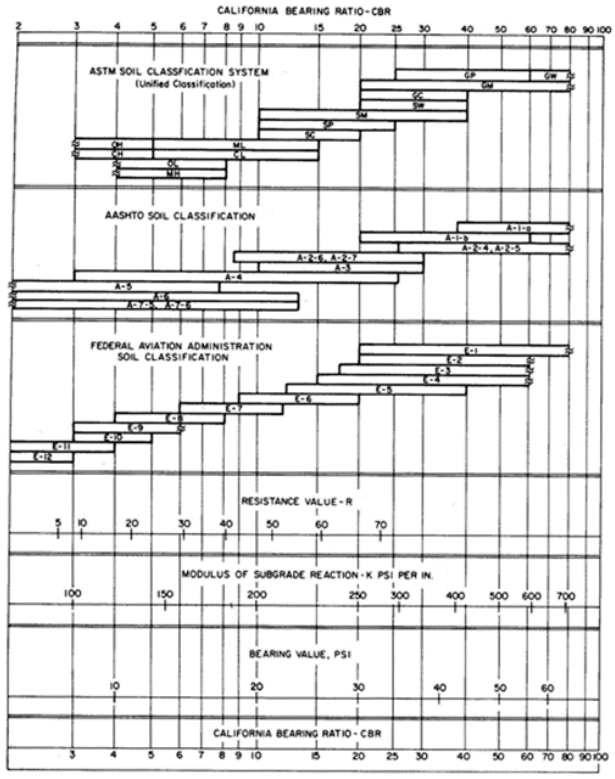
Bearing Capacity (kPa) = $(N \times 8) - 20$ (6)

2) กรณีระยะจมดินน้อยกว่า 30 ซม.

Bearing Capacity (kPa) > $(90 \times 8) - 20$ (7)

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทางกับตัวแปรอื่นๆ

การจำแนกประเภทของดินโดยทั่วไปนิยมใช้สองระบบคือ การจำแนกประเภทของดินตามระบบ AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) และการจำแนกดินตามระบบ USCS (Unified Soil Classification System) ค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดของฐานรากคันทางประมาณได้จากกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6 [6]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสต้านทานแรงกดกับประเภทของวัสดุฐานรากคันทาง [6]

อย่างไรก็ตาม นอกจากการทดสอบ Plate Bearing Test และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 6 ยังประมาณค่า k ได้จากค่า M_R [7] ดังสมการที่ 8

$$k = \frac{M_R}{19.4} \quad (8)$$

โดย M_R = ค่าโมดูลัสการคืนตัว (Resilient Modulus) (psi)

k = ค่าโมดูลัสการต้านแรงของดินคันทาง (Modulus of Subgrade Reaction) (pci)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา คณะผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการวิจัย ดังต่อไปนี้

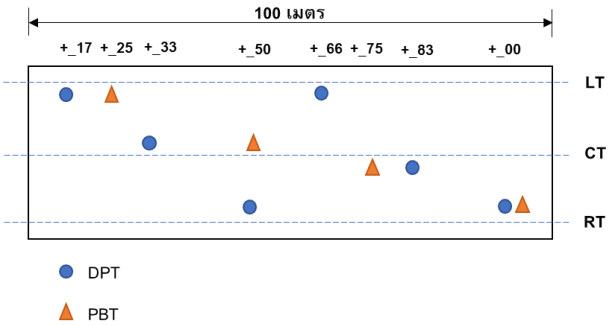
3.1 ขอบเขตการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอยกตัวอย่าง กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูง Bangkok – Nakhon Ratchasima High Speed Railway Section I: DK150+500 - DK154+000 ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร ดำเนินการก่อสร้างโดยศูนย์สร้างทางหล่มสัก กรมทางหลวง ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการฯ แสดงดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการรถไฟความเร็วสูง

3.2 การสำรวจข้อมูล

การสำรวจข้อมูลเป็นการรวบรวมข้อมูลในสนาม ภายหลังการขุดปรับระดับถึงชั้นฐานราก ประกอบด้วยการทดสอบ PBT และ DPT ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบในข้อ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ โดยความถี่ในการทดสอบ PBT ประมาณ 4 จุดทดสอบต่อระยะทาง 100 เมตร ในขณะที่ความถี่ในการทดสอบ DPT ประมาณ 6 จุดทดสอบต่อระยะทาง 100 เมตร ตำแหน่งการทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 เนื่องจากจุดทดสอบเป็นตัวแทนของพื้นที่ จึงทดสอบตามแนวทแยงเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ก่อสร้าง



รูปที่ 8 ตำแหน่งการทดสอบ

โดยข้อกำหนดงานคันทางรถไฟความเร็วสูง ฐานรากคันทางต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ (Design Foundation Coefficient) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของฐานรากคันทางตามข้อกำหนดงานคันทางรถไฟความเร็วสูง

Compacting Standard	*Sandy Soil and Fine Gravel Soil*	*Crushed Stone and Coarse Gravel Soil*
Bearing Capacity (kPa)	*≥180*	
Coefficient of Subgrade Reaction, k_{30} (MPa/m)	*≥110*	*≥130*

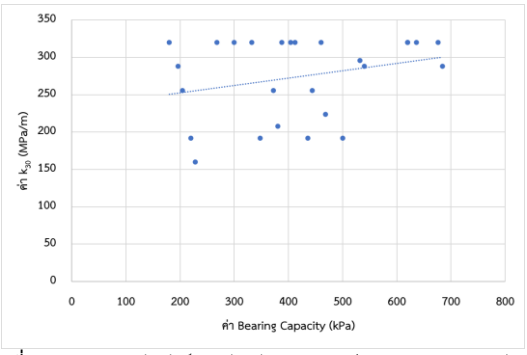
4. ผลการศึกษา

จากข้อมูลผลการทดสอบภายหลังการขุดปรับระดับถึงชั้นฐานราก พบว่า ฐานรากคันทางของโครงการมีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอสำหรับการก่อสร้างชั้นถัดไปตามข้อกำหนดงานคันทางรถไฟความเร็วสูง ผลการทดสอบสรุปไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า k_{30} จากวิธีการทดสอบ PBT และค่า Bearing Capacity จากวิธีการทดสอบ DPT ผ่านข้อกำหนดงานคันทางรถไฟความเร็วสูง กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของ k_{30} เท่ากับ 275.2 MPa/m (≥110 MPa/m ตามข้อกำหนด) และค่าเฉลี่ย Bearing Capacity เท่ากับ 471.1 kPa (≥180 kPa ตามข้อกำหนด)

ตารางที่ 3 ข้อมูลผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของฐานรากคันทางจากโครงการ

ผลการทดสอบ	*PBT*	*DPT*
ค่าต่ำสุด	*152 MPa/m*	*180 kPa*
ค่าสูงสุด	*> 320 MPa/m*	*700 kPa*
ค่าเฉลี่ย	*275.2 MPa/m*	*471.1 kPa*
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	*53.6 MPa/m*	*212.6 kPa*
จำนวนข้อมูล	144	70

นอกจากนี้ข้อมูลผลการทดสอบที่รวบรวมได้ยังนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของฐานรากคันทางที่ได้จากวิธีการทดสอบ PBT และ DPT ดังรูปที่ 9 เนื่องจากการทดสอบในสนามของทั้งสองวิธีไม่ได้เป็นการจับคู่ทดสอบ ณ ตำแหน่งจุดทดสอบเดียวกัน จึงไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า k_{30} จากวิธีการทดสอบ PBT กับค่า Bearing Capacity จากวิธีการทดสอบ DPT แต่อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยคาดว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของฐานรากคันทางทั้งสองน่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน หากจับคู่ทดสอบ ณ ตำแหน่งจุดทดสอบเดียวกัน



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า k_{30} จากวิธีการทดสอบ PBT กับค่า Bearing Capacity จากวิธีการทดสอบ DPT

5. บทสรุป

วิธีการทดสอบค่า k_{30} จากวิธีการทดสอบ PBT กับค่า Bearing Capacity จากวิธีการทดสอบ DPT ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและอาจนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์ ตรวจสอบ และประเมินเสถียรภาพของฐานรากคันทาง (Subgrade Foundation) ของกรมทางหลวง เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างคันทางส่วนขยายหรือการขึ้นคันทางใหม่ของโครงข่ายทางหลวงสายหลักให้มีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรง มีอายุการใช้งานตามกำหนด และปลอดภัยต่อประชาชนผู้ใช้ทาง ดังตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินเสถียรภาพของฐานรากคันทางในโครงการก่อสร้างรถไฟความเร็วสูงความร่วมมือไทย-จีน เส้นทางกรุงเทพฯ-หนองคาย ช่วงที่ 1 (ช่วงกลางดง-ปางอโศก) ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีการทดสอบเพื่อประเมินเสถียรภาพของฐานรากคันทางขึ้นอยู่กับข้อกำหนดการออกแบบ ดุลยพินิจของผู้ออกแบบ ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ วิธีการออกแบบ สภาพพื้นที่ทดสอบ เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอเป็นเพียงแนวทางเลือกและความเป็นไปได้ในการพิจารณานำวิธีการทดสอบ PBT และ DPT มาใช้ในงานวิเคราะห์ ตรวจสอบและประเมินเสถียรภาพของฐานรากคันทางของโครงสร้างถนนเท่านั้น ในการนำวิธีการทดสอบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้จริงในอนาคต คณะผู้วิจัยมีความเห็นควรให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมทางหลวง และกรมทางหลวงชนบท ศึกษาเก็บข้อมูลการทดสอบจากโครงการก่อสร้างของหน่วยงานเพิ่มเติม ตลอดจนข้อกำหนดและเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพขั้นตอนและมาตรฐานการทดสอบ พร้อมเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบอื่นๆ เพื่อให้มั่นใจว่าฐานรากคันทางที่ผ่านการทดสอบมีเสถียรภาพความมั่นคงแข็งแรง และปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายไพจิตร แสงทอง นายช่างโครงการ โครงการก่อสร้างพิเศษของการทางรถไฟ โครงการก่อสร้างคันทางรถไฟความเร็วสูงไทย - จีน (ช่วงกลางดง-ปางอโศก) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานทดสอบของโครงการทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] AASHTO (2017). *Standard Specification for Transportation Materials and Method of Sampling and Test Twenty-Eighth Edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

[2] DIN (2012). *Baugrund - Versuche and Versuchsgeräte - Plattendruckversuch DIN 18134:2012-04*. Berlin, Deutsches Institute fur Normung.

[3] ASTM (2019). *Annual Book of ASTM Standard*. American Society for Testing and Materials.

[4] Fu Wenfeng (2018) . *Tender Document Volume IV: Technical Specification. Kingdom of Thailand Ministry of Transportation State Railway of Thailand and China Railway Design Corporation*. p 48-52.

[5] Fu Wenfeng (2018). *Tender Document Volume IV: Technical Specification. Kingdom of Thailand Ministry of Transportation State Railway of Thailand and China Railway Design Corporation*. p 29-37.

[6] PCA (1966). *Thickness Design for Concrete Pavement*. Portland Cement Association.

[7] กรมทางหลวง (2559). *คู่มือแนะนำการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง.*