

PHYSICAL MODELLING OF SHALLOW FOUNDATION SURROUNDED BY SHEET PILE ON  
CLAY UNDER ECCENTRIC LOADING

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage



The Engineering Institute of Thailand  
under H.M. The King's Patronage

พุทธิกรรมของแบบจำลองฐานรากตื้นบนดินเหนียวที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเข็มพีดภัยใต้  
แรงกระทำเยื่องศูนย์

PHYSICAL MODELLING OF SHALLOW FOUNDATION SURROUNDED BY SHEET PILE ON  
CLAY UNDER ECCENTRIC LOADING

อดิศักดิ์ ศรีศักดิ์นกอก<sup>1</sup> และพงศกร พรรณรัตนศิลป์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาเกี่ยวกับพุทธิกรรมของแบบจำลองฐานรากตื้นที่เพิ่มประสิทธิภาพด้วยเข็มพีดรับแรงเยื่องศูนย์บนดินเหนียว จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าฐานรากที่ทำการติดตั้งเข็มพีดล้อมรอบบนทรายนั้น จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมากในการรับแรงในแนวตั้ง แรงในแนวราบ และโมเมนต์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบให้แรงกระทำในแนวตั้งต่อแบบจำลองฐานรากบนดินเหนียว ทำการวัดค่ากำลังรับน้ำหนักและค่าการทรุดตัวของของแบบจำลองฐานราก โดยใช้เข็มพีดที่มีขนาดความยาวต่างกันติดตั้งด้านข้างของแบบจำลองฐานรากแบบแยก และทำการทดสอบที่ระยะเยื่องศูนย์ที่ต่างกัน ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าการเพิ่มความยาวของเข็มพีดที่ติดตั้งกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักในแนวตั้งและประสิทธิภาพในการรับโมเมนต์เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแนวตั้งที่มีระยะเยื่องศูนย์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ฐานราก, เข็มพีด, แรงเยื่องศูนย์

ABSTRACT

This research presents the behavior of modeled shallow foundation surrounded by sheet pile on clay under eccentric loading. From previous studies, installing sheet pile around the periphery of the foundation can enhance the vertical, horizontal and moment capacities of the existing foundation on sand. In this study, Clay sample was first used as a foundation layer for the shallow foundation. The vertical forces were applied at center and other eccentric locations in order to evaluate the maximum vertical capacity and the moment capacity. Various sheet pile lengths were selected in order to evaluate the beneficial effect of the sheet pile. From the results, it is shown that sheet pile surrounded the existing foundation can dramatically enhance the vertical and moment capacities of the foundation.

**Keywords:** foundation, sheet pile, eccentric loading

Adisak Srisaknok<sup>1</sup> and Pongsakorn Punrattanasin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Master student, Department of Civil Engineering, Khon Kaen University

<sup>2</sup>Associate Professor (Corresponding author), Department of Civil Engineering, Khon Kaen University

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นบ่อยครั้ง แรงกระทำของแผ่นดินไหวทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อฐานรากเพิ่มขึ้น ทำให้ฐานรากที่ออกแบบให้รับเฉพาะแรงในแนวตั้งไม่สามารถต้านทานโมเมนต์ได้ ดังนั้นการเพิ่มความสามารถในการรับโมเมนต์ของฐานรากจึงเป็นสิ่งสำคัญ

การออกแบบฐานรากให้รับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่เกิดการทรุดตัวเกินค่าการทรุดตัวที่ยอมให้แน่น สามารถทำได้โดยการสร้างฐานรากที่มีขนาดใหญ่แต่ในบางครั้งมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่การก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังนั้น [1] และ[2] ได้เริ่มทำการพัฒนาฐานรากโดยการติดตั้งเข็มพีดรอบฐานรากตื้น เรียกว่า ฐานรากเข็มพีด (SHEET PILE FOUNDATION) โดยฐานรากเข็มพีดจะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าฐานรากตื้นในขนาดฐานรากที่เท่ากัน ดังรูปที่ 1

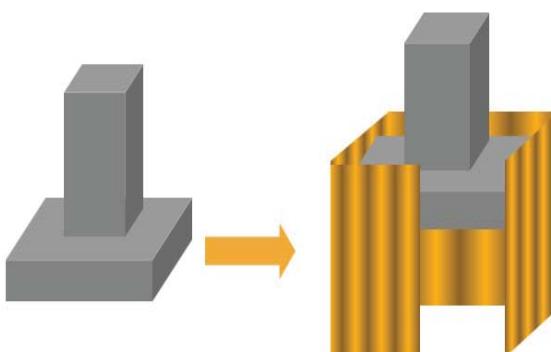
จากการศึกษาที่ผ่านมา [3] และ[4] ได้ทำการทดสอบถึงอิทธิพลของความยาวของเข็มพีดที่มีต่อฐานรากตื้นบนทรายและ [5] ได้ทำการศึกษานบนดินลมหอบ ซึ่งผลที่ได้คือฐานรากสามารถรับแรงในแนวตั้ง แรงในแนวราบและโมเมนต์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ในการศึกษาที่ผ่านมาจังไม่ได้มีการศึกษานบนดินเหนียว ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาครอบคลุมจึงทำการศึกษาอิทธิพลของความยาวเข็มพีดต่อฐานตื้นบนดินเหนียว โดยคาดว่าการติดตั้งเข็มพีดเข้ากับฐานรากจะช่วยเพิ่มค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวตั้งให้กับฐานรากตื้น และยังจะทำให้ความสามารถในการรับโมเมนต์เนื่องจากแรงเขียงศูนย์นั้นเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษานบนทรายและดินลมหอบ

## 2. วิธีการทดลอง

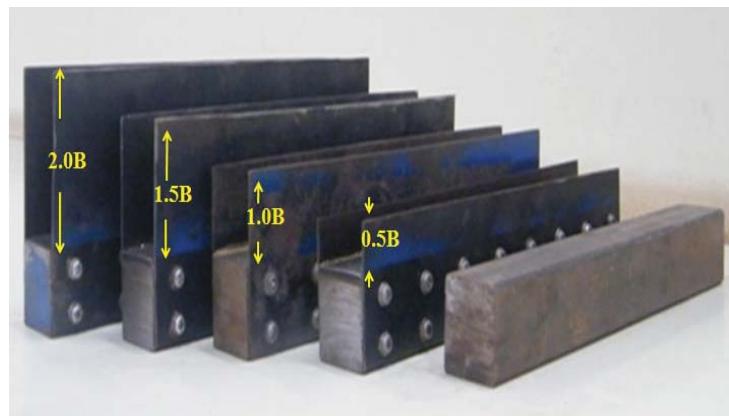
ในบทความนี้ได้นำเสนอผลการทดลองการรับแรงในแนวตั้งที่มีระยะเขียงศูนย์ต่างกันของฐานรากตื้นแบบแอบ (Strip Footing) และติดตั้งเข็มพีดที่ความยาวต่างกัน ทำการทดสอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งเครื่องมือที่ใช้ทดสอบนั้นสร้างขึ้นมาเฉพาะ เพื่อหาค่าแรงที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ทั้งนี้ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองนั้น ทำการเก็บตัวอย่างดินจากในสนาม โดยใช้ดินเหนียวในการทดลอง

### 2.1 แบบจำลองฐานรากเข็มพีด

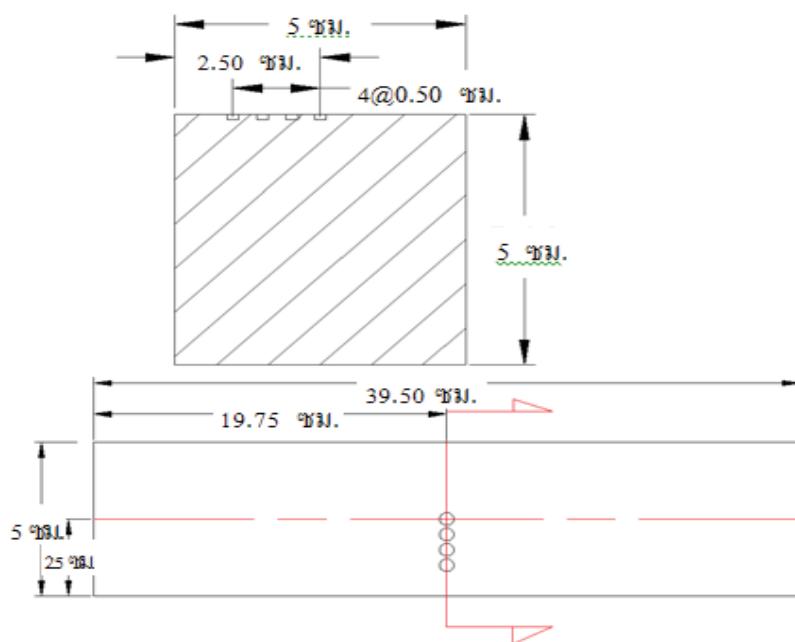
การทดลองใช้แบบจำลองฐานรากเข็มพีดที่ทำจากเหล็กมีขนาดหน้าตัด  $5 \times 5$  ซม. และยาว 39.5 ซม. สำหรับเข็มพีดที่ตัดตั้งกับฐานรากนั้น มีทั้งหมด 4 ความยาว คือ ขนาดความยาวเข็มพีด 2.5 ซม.(0.5B), 5.0 ซม.(1.0B), 7.5 ซม.(1.5B) และ 10 ซม.(2.0B) เมื่อ B คือขนาดความกว้างของฐานราก ดังรูปที่ 2 และมีระยะเขียงศูนย์(e) ที่ 0.5, 1.0, 1.5 ซม. หรือ  $e/B$  เท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ฐานรากตื้นที่ติดตั้งเข็มพีด



รูปที่ 2 ฐานรากแบบเข็มพีดขนาดต่างๆ



รูปที่ 3 ระยะเยื้องคุนย์บนแบบจำลองฐานราก

## 2.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อสำรวจพื้นที่ดินที่ใช้แล้ว ทำการเปิดหน้าดินเพื่อนำเศษวัชพืชออก จากนั้นชุดโดยรอบตัวอย่างดินอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้รบกวนตัวอย่างดิน ตั้งแสดงรูปที่ 4



รูปที่ 4 เปิดหน้าดินและรอบตัวอย่างดิน

จากนั้นทำการแต่งผิวให้เรียบและให้ได้ขนาดเท่ากับกล่องเก็บตัวอย่างซึ่งมีขนาด  $0.4 \text{ ม.} \times 0.8 \text{ ม.} \times 0.8 \text{ ม.}$  และหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นในตินระเหยออก จากนั้นทำการบรรจุใส่กล่องเก็บตัวอย่าง ดังแสดงรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 การตบแต่งผิวให้เรียบและได้ขนาดเท่ากับกล่องบรรจุตัวอย่าง



รูปที่ 6 หุ้มด้วยพลาสติกและบรรจุดินใส่กล่องตัวอย่าง

### 2.3 คุณสมบัติเดิน

เพื่อให้การผลการทดสอบน้ำหนักครบทั่วไปสมบูรณ์ หลังจากเก็บตัวอย่างดินในสนามแล้ว จึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ ตารางที่ 1 ได้แสดงคุณสมบัติของดินเหนียว

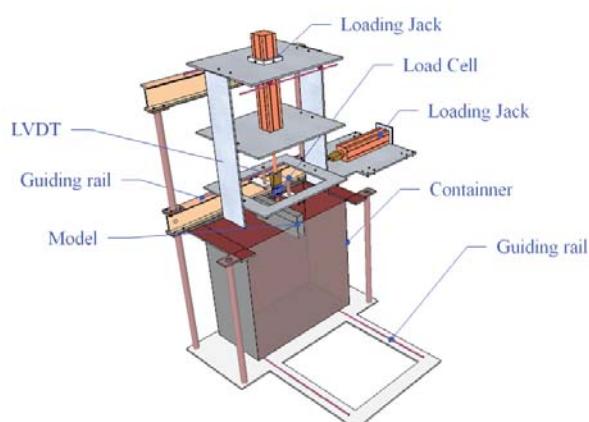
ตารางที่ 1 คุณสมบัติดิน

ชนิดของดิน	CH
หน่วยน้ำหนัก ( $\gamma$ )	19.17 kN/m <sup>3</sup>
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.66
*ค่าความเข้มแน่น ( $S_u$ )	18.54 kN/m <sup>2</sup>

\* ทดสอบโดยวิธี Unconfined Compression Test

### 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างดินในสนามได้กล่องตัวอย่าง จะนำมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดสอบ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบไฮดรอลิกที่ต้องรูดจากบีบลมไฟฟ้า ต่อผ่านเครื่องกรองลมและวาล์วควบคุม ก่อนเข้าเครื่องมือไฮดรัลิก เพื่อให้แรงกระทำต่อแบบจำลองฐานรากและระบบวัดแรงและค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ซึ่งใช้เครื่องมือวัดแรง (Load cell) ในการวัดค่าแรงกระทำต่อแบบจำลอง และใช้เครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) วัดค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานราก ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

### 2.4 รายละเอียดการทดสอบ

ในการทดสอบทั้งหมดมีขนาดของฐานรากเข็มพื้นทั้งหมด 5 ขนาด และมีระยะเบื้องคุนย์ทั้งหมด 4 ระยะ รวมมีตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการทดสอบ (เมื่อ B คือ ขนาดความกว้างของฐานรากและ L คือ ความยาวของเข็มพีดที่ติดตั้ง)

การทดสอบที่	แบบจำลองฐานราก	อัตราส่วนระยะเยื่องศูนย์ (e/B)	ชื่อการทดสอบ
1	ฐานรากตื้น (L = 0.0B)	0.0	0.0BE0.0
2		0.1	0.0BE0.1
3		0.2	0.0BE0.2
4		0.3	0.0BE0.3
5	ฐานรากตื้นติดตั้งเข็มพีด ยาว 2.5 ซม. (L = 0.5B)	0.0	0.5BE0.0
6		0.1	0.5BE0.1
7		0.2	0.5BE0.2
8		0.3	0.5BE0.3
9	ฐานรากตื้นติดตั้งเข็มพีด ยาว 5.0 ซม. (L = 1.0B)	0.0	1.0BE0.0
10		0.1	1.0BE0.1
11		0.2	1.0BE0.2
12		0.3	1.0BE0.3
13	ฐานรากตื้นติดตั้งเข็มพีด ยาว 7.5 ซม. (L = 1.5B)	0.0	1.5BE0.0
14		0.1	1.5BE0.1
15		0.2	1.5BE0.2
16		0.3	1.5BE0.3
17	ฐานรากตื้นติดตั้งเข็มพีด ยาว 10 ซม. (L = 2.0B)	0.0	2.0BE0.0
18		0.1	2.0BE0.1
19		0.2	2.0BE0.2
20		0.3	2.0BE0.3

### 3. ผลการทดสอบ

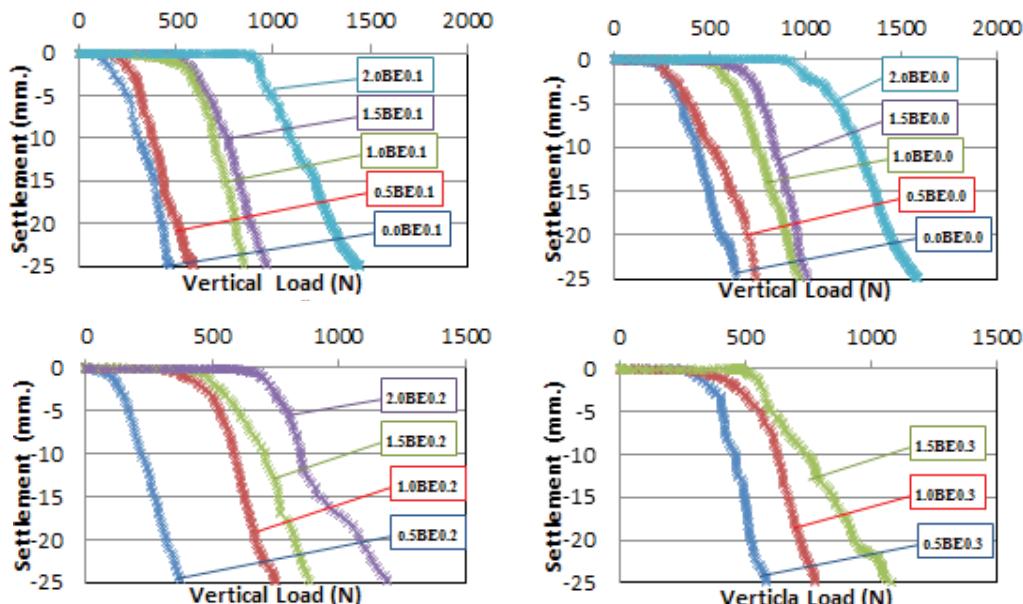
การวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองฐานรากตื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการติดตั้งเข็มพีด โดยทำการวิเคราะห์ผลที่ระยะเยื่องศูนย์เท่ากันแต่มีความยาวเข็มพีดแตกต่างกัน และทำการวิเคราะห์ความสามารถในการรับโน้มnenที่เพิ่มขึ้นของแบบจำลอง

#### 3.1 ค่ากำลังรับน้ำหนักและการวินิจฉัยของดิน

การวินิจฉัยของดินนั้น จะเกิดขึ้นเมื่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากกับแรงที่กระทำในแนวตั้งต่อบรรจุติของดินนั้น เกิดการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างมากและคงที่ แต่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่ปรากฏขึ้นชัดเจน จะสามารถหาจุดวินิจฉัยของดินโดยพิจารณาจุดที่ค่าการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากนั้นมีค่าการทรุดตัวประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างของแบบจำลองฐานราก [6] ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำในแนวตั้งและการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากเข็มพีดโดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ระยะเยื่องศูนย์เท่ากัน ดังแสดง 8

### 3.2 การพลิกค่าของฐานรากก่อนตัวอย่างดินวิบตี

สำหรับการทดสอบที่ 0.0BE0.3, 0.0BE0.2 และ 0.5BE0.3 นั้น การวิบตีของแบบจำลองฐานรากเข็มพีดันน์ เกิดขึ้นจากการพลิกค่าของแบบจำลอง ก่อนที่เดินจะเกิดการวิบตี ทำให้เครื่องมือวัดแรง (LOAD CELL) และเครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) หลุดจากตำแหน่งที่กำหนด ดังนั้นจึงไม่ควรนำผลการทดสอบดังกล่าววนมาเปรียบเทียบผลกับการทดสอบอื่นๆ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบที่ระยะเยื่องศูนย์เท่ากัน



รูปที่ 9 การพลิกค่าของแบบจำลองฐานรากเข็มพีด์ ก่อนที่เดินจะเกิดการวิบตี จากการทดสอบที่ 0.0BE0.3

เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรากนั้นมีระยะเยื่องศูนย์ที่มากเกินไป และความยาวของเข็มพีดันน์ไม่เพียงพอที่จะช่วยด้านการพลิกค่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากการทดสอบที่ 0.0BE0.3 สามารถหาค่าหน่วยแรงใต้ฐานรากได้จาก  $\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$  ซึ่งสามารถคำนวณ  $\sigma_{\max} = 1.4 \text{ N/cm}^2$  และ  $\sigma_{\min} = -0.4 \text{ N/cm}^2$  ทำให้ แรงดึงเท่ากับ  $108.92 \text{ N}$  และแรงอัดเท่ากับ  $-8.88 \text{ N}$  จะพบว่า น้ำหนักกระทำ  $100 \text{ N}$  ที่ระยะเยื่องศูนย์  $1.5 \text{ cm.}$  ( $e=0.3$ ) ทำให้หน่วยแรงดึงได้แบบจำลองฐานรากนั้นมีกลไกเดียงกับหน่วยอัด (รวมน้ำหนักของแบบจำลองฐานราก) หากแรงกระทำมากกว่านี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงมากกว่าหน่วยแรงอัดมากขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วระหว่างผิวสัมผัสของแบบจำลองฐานรากและดินนั้นไม่สามารถรับแรงดึงได้ ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นเกิดการยกตัวและพลิกค่า ค่าที่เครื่องมือวัดแรง (Load cell) และเครื่องมือวัดค่าการทรุดตัว (LVDT) วัดได้จึงเป็นค่าที่ทำให้

ฐานรากเกิดการพลิกคว่ำไม่ใช้การวิบัติของต้นไม้ฐานราก ไม่ควรนำผลการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ดินใต้ฐานรากนั้นเกิดการวิบัติ

### 3.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของแบบจำลองฐานรากเข็มพิด อยู่ที่จุดเปลี่ยนความชันของกราฟความระหว่างแรงที่กระทำในแนวตั้งและการทรุดตัวของแบบจำลองฐานรากเข็มพิด ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักของแบบจำลองฐานรากเข็มพิดที่เพิ่มขึ้นจากแบบจำลองฐานรากที่ไม่มีการติดตั้งเข็มพิด พบว่าการติดตั้งเข็มพิดทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากเข็มพิดนั้นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวตั้งของแบบจำลองฐานรากเข็มพิด

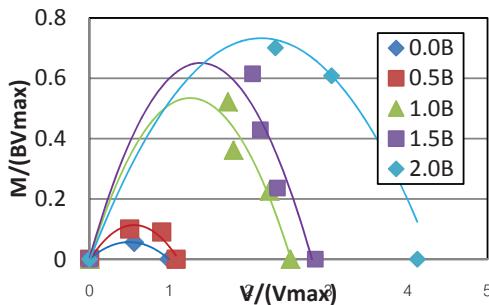
ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับน้ำหนักในแนวตั้ง (N)			
	E=0.0	E=0.1	E=0.2	E=0.3
0.0B	218.86	122.92	*N.A.	*N.A.
0.5B	237.97	198.26	110.13	*N.A.
1.0B	552.20	494.69	395.75	380.75
1.5B	584.63	500.91	469.66	448.35
2.0B	917.43	878.20	665.58	511.37

\*N.A. ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากฐานรากเกิดการพลิกคว่ำก่อนตัวอย่างติดตั้งจะเกิดการวิบัติ

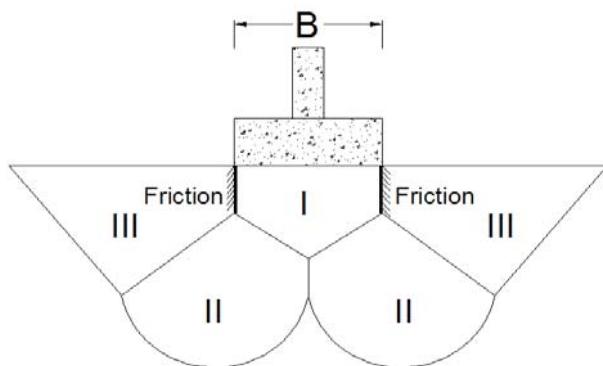
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่ากำลังรับน้ำหนักในแนวตั้งของแบบจำลองฐานรากเข็มพิดที่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเยื่องศูนย์เท่ากัน

ตัวอย่างทดสอบ	กำลังรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (%)			
	E=0.0	E=0.1	E=0.2	E=0.3
0.0B	-	-	-	-
0.5B	8.73	61.29	-	-
1.0B	152.31	302.45	259.35	-
1.5B	167.13	307.51	326.46	17.48
2.0B	319.19	614.45	504.36	34.31

แรงกระทำในแนวตั้งที่มีระยะเยื่องศูนย์จะทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อแบบจำลองฐานราก ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวตั้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 10 จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวตั้ง จะทำให้สามารถประมาณโมเมนต์สูงสุด ( $M_{max}$ ) ที่แบบจำลองฐานรากเข็มพิดสามารถรับได้ โดย  $M_{max} / B = 0.059 V_{max}$ ,  $M_{max} / B = 0.118 V_{max}$ ,  $M_{max} / B = 0.538 V_{max}$ ,  $M_{max} / B = 0.650 V_{max}$  และ  $M_{max} / B = 0.737 V_{max}$



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อแบบจำลองฐานราก



รูปที่ 11 การเพิ่มขึ้นของกำลังรับน้ำหนักของฐานรากตื้นที่มีการติดตั้งเข็มพีด

เมื่อความยาวของเข็มพีดเท่ากับ 0.0B, 0.5B, 1.0B, 1.5B และ 2.0B ตามลำดับจากรูปที่ 11 ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งเข็มพีดกับฐานรากตื้นนั้น เนื่องจากการติดตั้งเข็มพีดนั้นทำให้ดินใต้ฐานราก(I) อัดตัวแน่นจนเสมือนเป็นล่วงหนึ่งของฐานรากเข็มพีดซึ่งหยั่งลงลึกมากกว่าฐานรากตื้น ทำให้มาลิบินบริเวณด้านข้างฐานรากเข็มพีดนั้น(II, III) เคลื่อนตัวได้อย่างตามความยาวของเข็มพีด ดังนั้นฐานรากเข็มพีดจึงมีค่ากำลังรับน้ำหนักมากกว่าฐานรากตื้น นอกจากนี้เข็มพีดยังมีแรงเลี้ยดทานช่วยด้านการทรุดตัวและการพลิกคร่ำของฐานรากอีกด้วย

#### 4. สรุปผลการทดลอง

- สำหรับผลการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองฐานรากตื้นที่เพิ่มประสิทธิรูปด้วยเข็มพีดรับแรงเข็งศูนย์บนดินเหนียวพบว่า
  - การติดตั้งเข็มพีดกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับแรงในแนวตั้งได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพีดที่ติดตั้ง โดยที่ความยาวเข็มพีดมากที่สุดนั้น แบบจำลองฐานรากสามารถรับแรงในดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 320%
  - การติดตั้งเข็มพีดกับแบบจำลองฐานรากนั้น ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับน้ำหนักในแนวตั้งที่มีระยะเข็งศูนย์ได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพีดที่ติดตั้ง โดยการทดสอบที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นสูงสุดคือการทดสอบ ST2.0BE0.1 โดยประสิทธิภาพนั้นเพิ่มขึ้น ประมาณ 615%
  - ที่ระยะเข็งศูนย์ 1.0 ซม. (E0.2) และ 1.5 ซม. (E0.3) จะเกิดแรงดึงระหว่างผิวสัมผัสของแบบจำลองฐานรากและตัวอย่างดิน ซึ่งความยาวเข็มพีดตั้งแต่ 1.0B สามารถต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นได้ ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นไม่เกิดการพลิกคร่ำ

- การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำต่อแบบจำลองฐานรากและแรงในแนวตั้ง นับพว่าการเพิ่มความยาวของเข็มพิดที่ติดตั้ง ทำให้แบบจำลองฐานรากนั้นสามารถรับโมเมนต์ได้มากขึ้น ตามความยาวของเข็มพิดที่ติดตั้ง โดยระยะความยาวของเข็มพิดที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.0B เนื่องจากสามารถรับโมเมนต์สูงสุด ( $M_{max}$ ) ต่อความกว้างของฐานรากได้ใกล้เคียงกับความยาวของเข็มพิดขนาด 1.5B และ 2.0B โดยสามารถรับได้ 0.538 เท่าของแรงในแนวตั้งสูงสุดที่ไม่มีการติดตั้งเข็มพิด ( $V_{max}$ )

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Punrattanasin et al. Sheet Pile Foundation on Sand under Combined Loading-A Literature Review and Preliminary Investigation. Technical Report No.65, Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology. 2002; 57-85.
- [2] Hidatoshi Nishioka et al. Development of sheet pile foundation combining footing with sheet piles. Proceedings of the International Workshop on recent Advances of Deep Foundation. 2007; 327-333.
- [3] Apiwat Patjanasootorn. The behavior of Sheet Pile Foundation From Physical Model Test. [Master of Engineering Thesis in Civil Engineering, Granduate School]. Khon Kaen: Khon kaen University; 2010. (In Thai).
- [4] Tuan Van Nguyen. The Beneficial Effects of Sheet Pile on The Capacities of Pile Foundation on Sand. [Master thesis of Engineering]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2010.
- [5] Kosawat Changjutturas. The Behavior of Shallow Foundation from Physical Modeling. [Master of Engineering Thesis in Civil Engineering]. Khon Kaen: Khon kaen University; 2007. (In Thai).
- [6] V.N.S. Murthy. Advanced Foundation Engineering: Geotechnical Engineering Series. Noida: India Binding House; 2007.