

# การประเมินการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการเคลื่อนตัวหนีศูนย์กลาง

## An evaluation of pile capacity due to eccentric movement

ธีรวัช กรวณงูเหลือม<sup>1)</sup>, วราภรณ์ หมอนเมือง<sup>2)</sup>, อธิปดี เรืองเศรษฐกิจ<sup>3)</sup>, บารเมศ วรธนะภูติ<sup>4)</sup>

### บทคัดย่อ

ฐานรากเสาเข็มในบริเวณที่เป็นดินเหนียวอ่อน เช่น กรุงเทพมหานคร มักเกิดปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์เพื่อประเมินกำลังน้ำหนักของเสาเข็มเอียงศูนย์ โดยใช้ทฤษฎีประเมินกำลังรับน้ำหนักของวัสดุในช่วง Elastic ซึ่งได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กรณี คือ ลักษณะเสาเข็มเอียง, เสาเข็มที่โค้งไม่มีการดัดกลับ และเสาเข็มที่โค้งมีการดัดกลับ พิจารณาเพียงกำลังของวัสดุเท่านั้นเทียบกับระยะที่เอียงศูนย์พบว่ากรณีเสาเข็มเอียงสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้น แต่ต้องมีแรงต้านทานทางด้านข้างที่ปลายบนของเสาเข็ม ส่วนกรณีเสาเข็มโค้งไม่มีการดัดกลับและเสาเข็มโค้งมีการดัดกลับ มีความสามารถรับแรงได้ลดลง ร่วมกับการทำแบบจำลองบนพื้นฐานทางวิศวกรรม โดยสร้างแบบจำลองเสาเข็มใช้มาตราส่วน 1:50 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตรง และเสาเข็มเอียงซึ่งมีอัตราส่วนเอียง 1:10 พบว่าเสาเข็มตรงจะเกิดค่าหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่บริเวณฐานของเสาเข็ม แต่เสาเข็มเอียงซึ่งมีอัตราส่วนเอียง 1:10 จะเกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางเสาเข็มมีค่าประมาณ 95 % ของหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่บริเวณฐานของเสาเข็มตรง และหน่วยแรงอัดที่ฐานของเสาเข็มเอียงอัตราส่วน 1:10 มีค่าประมาณ 45% ของหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่บริเวณฐานของเสาเข็มตรง

### ABSTRACT

The pile foundation constructed in a soft clay area, i.e. in Bangkok and its vicinity, could have an eccentric problem which changes a pile capacity and to be different from the original design value. This research is focus on an analysis of the pile capacity with eccentric movement by using the theory of strength of materials and laboratory model. Three cases were analysed including (i) eccentric pile with hinge at both end, (ii) eccentric pile with fixed end at one bottom and (iii) eccentric pile with fixed end at both end. Considering only strength of materials compared to an eccentricity, it is found that for case (i) ; the pile can take more pressure but it must have a horizontal resistance at a top of pile. For case (ii) and (iii) they have less ability to take a compression. The laboratory model of pile with a scale of 1:50 scale was conducted for eccentric ratio 1:10. It is found that the straight pile with will have the maximum compression stress at the pile base. However, the eccentric pile with eccentric ratio 1:10 has the maximum compression stress at the middle of the pile, which counts approximately 95% of the max compression stress at the base of the direct pile. Plus, the compression stress at the base of the eccentric pile with eccentric ratio 1:10 counts approximately 45% of the max compression stress at the base of the straight pile.

## 1. บทนำ

เสาเข็มที่ใช้ในการก่อสร้างปัจจุบันมักมีปัญหาในการรับน้ำหนักเนื่องจากเสาเข็มที่ใช้ก่อสร้างนั้นไม่ได้ตั้งตรงตามแบบที่กำหนดไว้ได้ครบถ้วน

เนื่องจากงานฐานรากเสาเข็ม เป็นรูปแบบหนึ่งของฐานรากลึกที่มีเสาเข็มเป็นชิ้นส่วน โครงสร้าง ติดตั้งผ่านชั้นใต้ดินที่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำลงไปฝังปลายอยู่ในชั้นใต้ดินที่มีกำลังรับน้ำหนักสูงและมีการทรุดตัวต่ำ ฐานรากเสาเข็มจึงจะเพิ่มขีดความสามารถในการรับน้ำหนักได้สูงเทียบเท่ากับขีดความสามารถของชั้นดินที่ปลายเข็มฝังอยู่หรือชั้นดินฐานราก ด้วยข้อได้เปรียบดังกล่าวจึงทำให้งานก่อสร้างอาคารสูง และ โครงสร้างพื้นฐานได้ถ่ายน้ำหนักลงสู่ปลอกสร้างลงสู่ชั้นดินฐานรากที่มั่นคงได้ นับว่าฐานรากเสาเข็มเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนางานก่อสร้างเสาเข็มที่ใช้ในฐานรากลึกของงานวิศวกรรมโยธาในบริเวณที่เป็นดินเหนียวอ่อน เช่น กรุงเทพมหานคร มักเกิดปัญหาเสาเข็มเอียงศูนย์ ซึ่งอาจเกิดได้จากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การตอกเสาเข็มเอียง การขุดดินหรือถมดิน ในบริเวณเขตก่อสร้างหลังจากที่ได้ตอกเสาเข็มลงไปแล้ว ทำให้เสาเข็มมีกำลังน้ำหนักนั้นเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้ฐานรากมีกำลังลดลงและไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเอียงศูนย์ โดยใช้ทฤษฎีประเมินกำลังรับน้ำหนักของวัสดุ ร่วมกับการทำแบบจำลองบนพื้นฐานทางวิศวกรรม

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการเอียงศูนย์ชนิดเข็มตอก ประเภทเสาเข็มคอนกรีต

## 3. การดำเนินการ

1. รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดินบริเวณเขตกรุงเทพ และปริมณฑล และรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของเสาเข็ม

2. ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของวัสดุ ได้แก่ ทฤษฎีกำลังรับแรงของวัสดุในช่วง Elastic limit เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

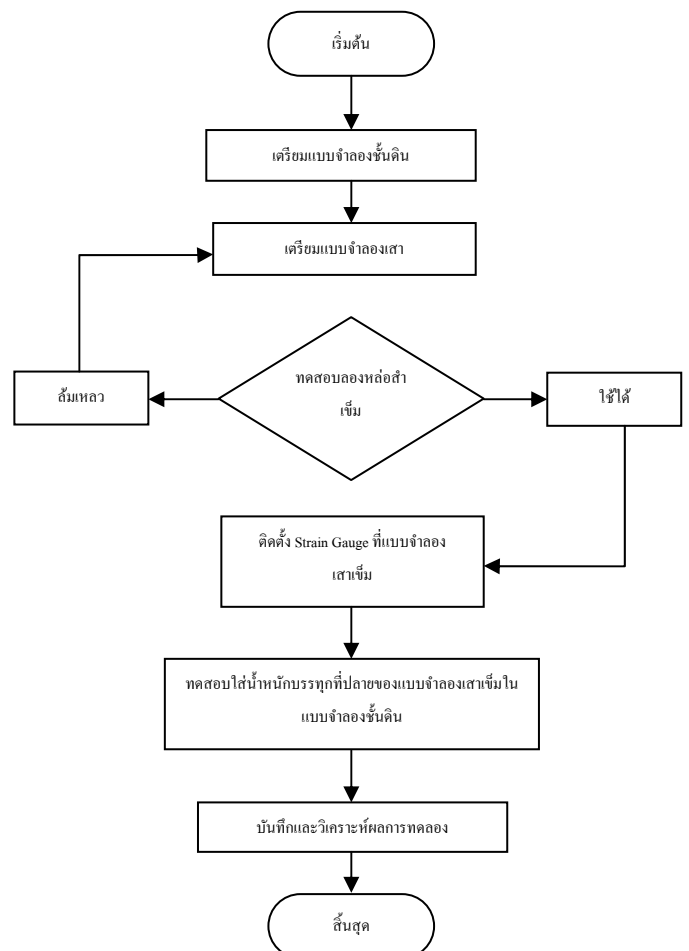
3. สร้างแบบจำลองของเสาเข็มที่เอียงศูนย์จากกรณีต่างๆ บนพื้นฐานทางวิศวกรรม โดยแยกเป็น กรณีเสาเข็มที่ตรงและกรณีตอกเสาเข็มเอียง ในการศึกษาเสาเข็มเอียงในแบบจำลองจะศึกษาเฉพาะในกรณีเสาเข็มที่เอียงในอัตราส่วน 1:10

4. วิเคราะห์พฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเอียงศูนย์

5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์กับผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น

6. สรุปผลการวิเคราะห์ และสรุปผลการศึกษา

## วิธีการสร้างแบบจำลอง



### วัสดุและอุปกรณ์ในแบบจำลองชั้นดิน

1. ไม้อัดหนา 2.0 cm. สำหรับสร้างแบบจำลองชั้นดิน (กล่องใส่ดินขนาด 0.4x0.6x0.9)
2. แผ่นอะคริลิกใส หนา 1.5 เซนติเมตร สำหรับสร้างแบบจำลองชั้นดิน
3. สีนํ้ามัน(ใช้เพื่อป้องกันการบวมตัวของไม้อัด)
4. ตะปู ขนาด 2 นิ้ว
5. กระบะใส่ดินสำหรับเตรียมการทดลอง
6. เลื่อยสำหรับเลื่อยไม้ทำกล่องใส่ดิน
7. ค้อน
8. ทรายก่อสร้างสำหรับแทนชั้นดินทราย
9. ดินเหนียวกรุงเทพฯ จากสถานที่ก่อสร้างอาคารในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

### วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลองเสาเข็ม

1. ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1
2. ทรายละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ #10 แต่ไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ #40
3. หินเกร็ด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ #4 แต่ไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ # 10
4. ปูนไม่หดตัว (CEMENT NON-SHRINK GROUT)
5. Strain gauge และ Data logger
6. ท่อPVC ขนาด 12 mm สำหรับเป็นแบบหล่อเสาเข็มคอนกรีตจำลอง
7. ลวด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm. สำหรับมัดแบบจำลองเสาเข็มขณะหล่อ
8. นํ้ามันสำหรับทาเคลือบผิวแบบจำลอง
9. กาวเทปสำหรับติดรอบแผ่นพลาสติกใส
10. แผ่นพลาสติกใส

### สถานที่ทำการปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

ห้องปฏิบัติการคอนกรีต(เก่า) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

### ขั้นตอนการวิเคราะห์

วิเคราะห์หน่วยแรงภายในของโครงสร้างเสาเข็มที่มีรูปร่าง ก)เสาเข็มเอียง ข)เสาเข็มโค้งไม่มีการดัดกลับ ค)เสาเข็มโค้งมีการดัดกลับ โดยให้สมมติให้เสาเข็มเป็นวัสดุแบบHomogeneous สามารถคำนวณหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเพียง

$$\text{อย่างเดียวได้จาก } \sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

โดยที่  $\sigma$  คือ หน่วยแรงภายใน

P คือ แรงภายในที่กระทำ

A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางที่แรงกระทำ

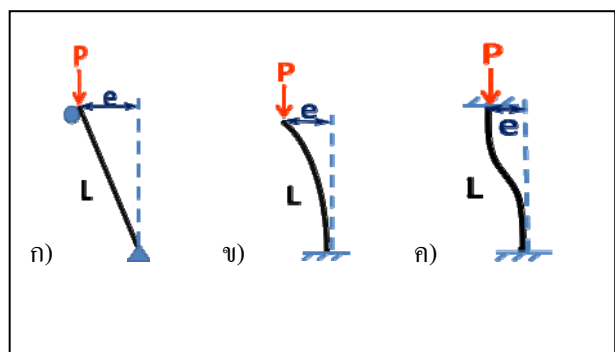
M คือ โมเมนต์ดัดภายใน

c คือ ระยะระยะตั้งฉากจากแกนสะเทิน ถึงจุด

ไกลที่สุดจากแกนสะเทิน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด

คำนวณรอบแกนสะเทิน



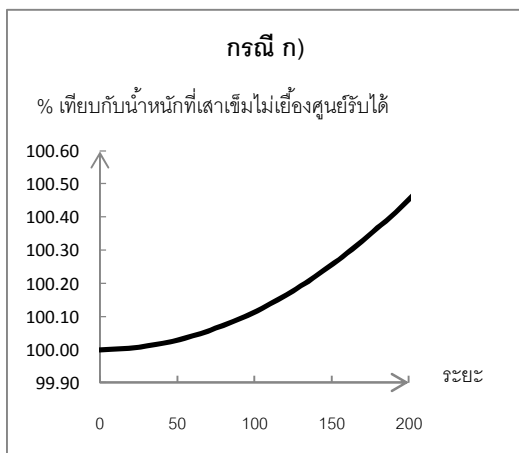
รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเสาเข็มที่ทำการวิเคราะห์

## ผลการศึกษา

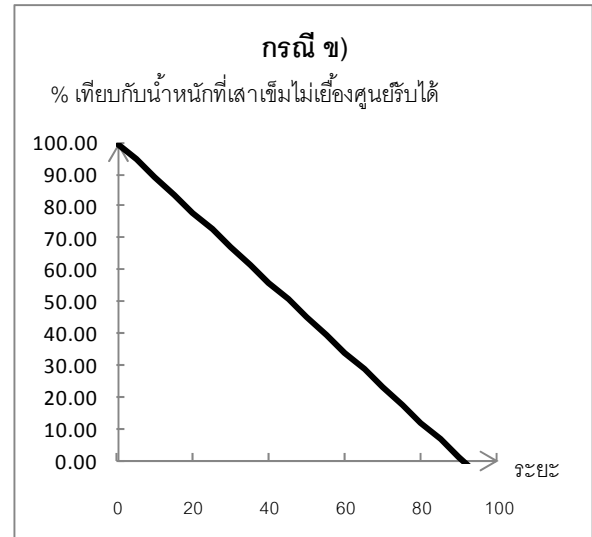
1. ผลวิเคราะห์หน่วยแรงภายในของโครงสร้างเสาเข็ม ลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเพียงอย่างเดียวได้

ตาราง แสดงผลการวิเคราะห์ของหน่วยแรงภายในที่เกิดขึ้นมากที่สุดของเสาเข็มหน้าตัดวงกลมที่ศึกษา

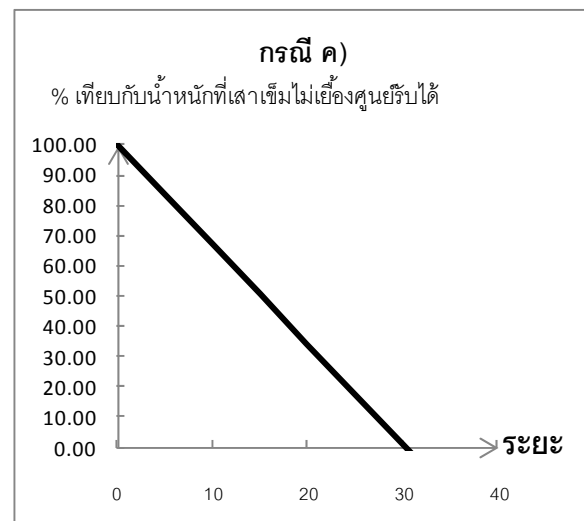
ลักษณะเสาเข็ม	A ( $cm^2$ )	I ( $cm^4$ )	M ( $kg.cm$ )	$\sigma_{max}$ ( $kg/cm^2$ )
ปกติ	$\pi r^2$	$\frac{\pi r^4}{4}$	-	$\frac{P}{A}$
แบบ ก)	$\pi r^2$	$\frac{\pi r^4}{4}$	-	$\frac{PL}{A\sqrt{L^2 + e^2}}$
แบบ ข)	$\pi r^2$	$\frac{\pi r^4}{4}$	$\frac{2EIs}{L^2}$	$\frac{P}{A} + \frac{2Ers}{L^2}$
แบบ ค)	$\pi r^2$	$\frac{\pi r^4}{4}$	$\frac{6EIs}{L^2}$	$\frac{P}{A} + \frac{6Ers}{L^2}$



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเยื้องศูนย์กลางและน้ำหนักบรรทุกที่เสาเข็มสามารถรับได้ในกรณี ก)



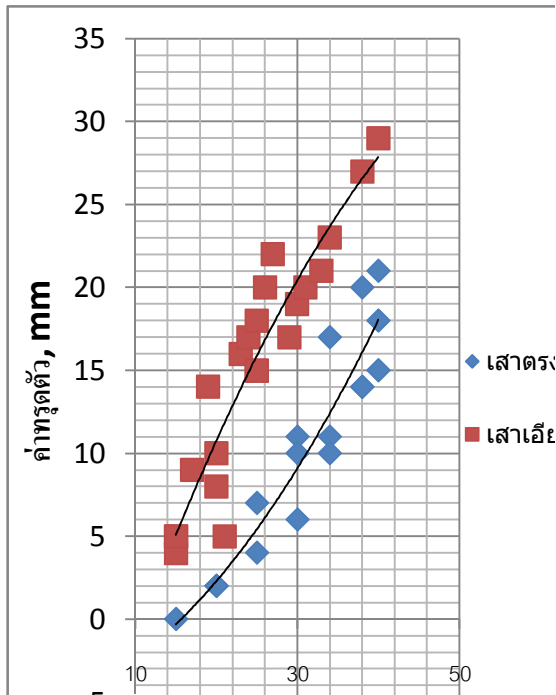
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเยื้องศูนย์กลางและน้ำหนักบรรทุกที่เสาเข็มสามารถรับได้ในกรณี ข)



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเยื้องศูนย์กลางและน้ำหนักบรรทุกที่เสาเข็มสามารถรับได้ในกรณี ค)

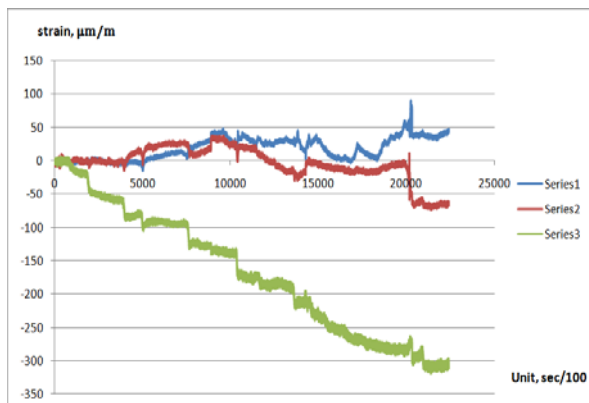
## 2. ผลจากการทดสอบการรับแรงของแบบจำลองเสาเข็ม

- ผลการทดสอบเสาเข็มที่ไม่ได้ติดตั้ง Strain gauge



รูปที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าทรุดตัวและน้ำหนักบรรทุกทุกในกรณีเข็มตรงและเข็มเอียงในแบบจำลอง

- ผลการทดสอบเสาเข็มที่ติดตั้ง Strain gauge



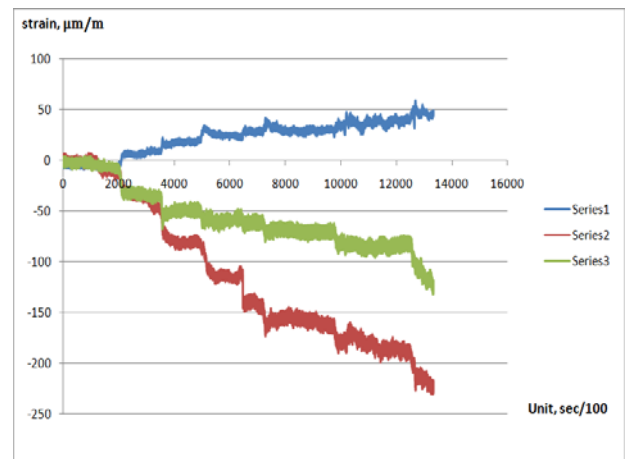
รูปที่ 6 แสดงผลที่ได้จากการแปลงค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Data Logger ของเสาเข็มหมายเลข 2 มีลักษณะเป็นเสาตรงรับน้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้นจนถึง 40 กิโลกรัม

โดยค่า Series1 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายบนของเสาเข็มเป็นระยะ 1.4 เซนติเมตร

Series2 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายบนของเสาเข็มเป็นระยะ 23.4 เซนติเมตร

Series3 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายล่างของเสาเข็มเป็นระยะ 1.4 เซนติเมตร

และมีค่าทรุดตัวสุดท้าย 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการแปลงค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Data Logger ของเสาเข็มหมายเลข 2 มีลักษณะเป็นเสาเอียงรับน้ำหนักบรรทุกทุกเพิ่มขึ้นจนถึง 33 กิโลกรัม

โดยค่า Series1 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายบนของเสาเข็มเป็นระยะ 1.4 เซนติเมตร

Series2 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายบนของเสาเข็มเป็นระยะ 24.8 เซนติเมตร

Series3 คือ ค่าที่ได้จากตำแหน่งที่ห่างจากปลายล่างของเสาเข็มเป็นระยะ 1.4 เซนติเมตร

และมีค่าทรุดตัวสุดท้าย 21 มิลลิเมตร

## สรุปผลการศึกษา

1. เมื่อให้เสาเข็มเป็นโครงสร้างอย่างง่าย ไม่คิดค่าแรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดินเหนียวและทราย เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มที่รับแรงเชิงศูนย์กลางในลักษณะเสาเข็มเอียง, เสาเข็ม โกง ไม่มีการตัดกลับ และเสาเข็ม โกง มีการตัดกลับ โดยพิจารณาแต่กำลังของวัสดุ เทียบกับระยะที่เอียงศูนย์กลางจะได้ว่า

- เสาเข็มเอียงสามารถรับแรงได้เพิ่มขึ้นแปรผันกับระยะที่เอียงศูนย์กลาง แต่ต้องมีแรงต้านทานทางด้านข้างที่ปลายบนของเสาเข็มซึ่งเพิ่มขึ้น โดยแปรผันกับระยะที่เอียงศูนย์กลางเช่นกัน
- เสาเข็ม โกง ไม่มีการตัดกลับและเสาเข็ม โกง มีการตัดกลับ มีความสามารถรับแรงได้ลดลง โดยความสามารถในการรับน้ำหนักจะแปรผกผันกับระยะที่เอียงศูนย์กลาง และเสาเข็ม โกง ที่มีการตัดกลับ จะมีความสามารถในการรับแรงได้น้อยกว่าเสาเข็ม โกง ไม่มีการตัดกลับ

2. จากการสร้างแบบจำลองเสาเข็มสามารถประเมินผล

ได้ว่าเสาเข็มเอียงซึ่งมีอัตราส่วนเอียง 1:10 มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกได้ลดลงเมื่อเทียบกับเสาเข็มตรงปกติ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักที่บรรทุกในเชิงพาราโบลา ดังนี้คือ  $y = -0.0391x^2 + 1.1841x + 4.0616$  โดย y คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักที่ลดลง(กิโลกรัม) และ x คือ ค่าทรุดตัวของเสาเข็มจำลอง(มิลลิเมตร)

3. จากการสร้างแบบจำลองเสาเข็มสามารถประเมินผลได้ว่าเสาเข็มตรงจะเกิดค่าหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่บริเวณฐานของเสาเข็ม แต่เสาเข็มเอียงอัตราส่วน 1:10 จะเกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุดบริเวณกึ่งกลางเสาเข็มซึ่งมีค่าประมาณ 95 % ของหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่เกิดที่บริเวณฐานของเสาเข็มตรง และหน่วยแรงอัดที่ฐานของ

เสาเข็มเอียงอัตราส่วน 1:10 มีค่าประมาณ 45% ของหน่วยแรงอัดมากที่สุดที่เกิดที่บริเวณฐานของเสาเข็มตรง

## ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองที่ได้จำลองขึ้นมามีข้อจำกัด เนื่องจากมีอัตราส่วนที่จำลองคือ 1:50 ซึ่งจำลองจากชั้นดินเหนียวลึก 20 เมตร เป็นแบบจำลองชั้นดินเหนียว 40 เซนติเมตร แต่ไม่สามารถจำลองเสาเข็มคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรซึ่งเป็นขนาดที่สนใจศึกษา เป็นแบบจำลองเสาเข็มขนาด 6 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากเป็นขนาดเล็กมากและไม่สามารถทำงานได้ จึงได้ศึกษาแบบจำลองเสาเข็มขนาด 12 มิลลิเมตร ซึ่งเทียบได้กับเสาเข็มขนาด 60 เซนติเมตรซึ่งมักไม่ใช้กับงานอาคารไม่เกิน 6 ชั้นที่เป็นขอบเขตการศึกษาแทน

2. เนื่องจากแบบจำลองเสาเข็มความเปราะมากและรับแรงอัดได้น้อยจึงควรหลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายซึ่งจะก่อให้เกิดการถ่ายแรงใดก่อนการทดสอบ เพื่อป้องกันการเกิดการเสียหายซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผลการทดสอบกำลังรับแรงของแบบจำลองเสาเข็มนั้น

3. การศึกษามีข้อจำกัดในเรื่องของการให้น้ำหนักบรรทุกแก่เสาเข็ม จึงมิได้ศึกษาจนกระทั่งเสาเข็มนั้นรับน้ำหนักบรรทุกจนเกิดการวิบัติ

4. เสาเข็มจำลองที่เกิดรอยร้าวขึ้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะถูกรับโดยลวดที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้ไม่สามารถวัดหน่วยแรงของคอนกรีตได้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการ(เก่า) และทุนวิจัยตลอดโครงการ