

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดภายใต้การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมผลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะจำนวน 26 ต้นและเสาเข็มแบบเรียดจำนวน 4 ต้น นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดจำนวน 5 ต้น

วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มซึ่งได้แก่ค่า adhesion factor ( $\alpha$ ) และค่า friction factor  $\beta$  ( $K_s \tan \delta$ ) สำหรับการประมาณค่าแรงเสียดทานในชั้นดินเหนียวและชั้นทราย ตามลำดับ ค่า Bearing Capacity  $N_u$  สำหรับการประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็มในชั้นทราย และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มและดินรอบนอก (Soil-Pile Elastic Modulus,  $E_p$ ) สำหรับการประเมินค่าการทรุดตัวของเสาเข็มตามทฤษฎีของ Poulos & Davis (1980) โดยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะในแต่ละสภาวะปลายเสาเข็มซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เสาเข็มเจาะที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง
2. เสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการอัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง
3. เสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง

ผลการวิจัยที่ได้สามารถสรุปโดยแยกประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

### 5.1.1 การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย  $Q_u$  สำหรับเสาเข็มที่ทดสอบถึงจุดวิบัติ และใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz (1972) ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสำหรับเสาเข็ม  $Q_u$  ที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติ ซึ่งมีความเป็นไปได้ (ใกล้เคียง) มากที่สุดในการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็ม (Wachiraprakarnpong, 1993 และ Soontornsiri, 1995) โดยผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสำหรับเสาเข็มเจาะที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติสามารถใช้ทฤษฎี Mazurkiewicz (1972) ประมาณค่า  $Q_u$  ตามทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ได้อย่างเหมาะสม โดย  $Q_u$  จาก Mazurkiewicz จะได้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย

### 5.1.2 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม

ผลวิจัยพบว่าค่า adhesion factor ( $\alpha$ ) ในชั้นดินเหนียว และค่า friction factor  $\beta$  ( $K_s \tan \delta$ ) ในชั้นทรายสำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะอยู่ในแนวโน้มใกล้เคียงกัน

### 5.1.3 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

ผลวิจัยสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองพบว่าค่า Mobilized Bearing Capacity  $N_c$  สำหรับแบบเรียดมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าสำหรับเสาเข็มเจาะเนื่องจากผลของวิธีการก่อสร้าง โดยค่า Mobilized Bearing Capacity  $N_c$  สำหรับเสาเข็มเจาะมีค่าประมาณสามเท่าของค่าสำหรับเสาเข็มแบบเรียด

สำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง จากผลการวิจัยพบว่าค่า Bearing Capacity  $N_c$  มีค่าอยู่ระหว่าง 1.6-7.5

### 5.1.4 ผลกระทบของมิติด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบบเรียดต่อค่าแรงเสียดทาน

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากมิติด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบบเรียด โดยทำการวิเคราะห์หากลบจากค่าความเครียด (Strain) ที่อ่านได้จาก VWSG ที่ติดตั้งทั้งสองด้านในเสาเข็มทดสอบในโครงการ BECM Tower ภายหลังจากทดสอบแสดงผลเฉลี่ยของน้ำหนักบรรทุกในแต่ละ

ละด้านของเสาเข็มแบบเรียดที่มีขนาดด้านสั้น 1.5 ม. และด้านยาว 3.0 ม. พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกในมิติด้านสั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักบรรทุกในมิติด้านยาวหรือกล่าวได้ว่ามิติด้านยาวและด้านสั้นของเสาเข็มแบบเรียดที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นไม่เกินสอง ( $L/B \leq 2$ ) ไม่เกิดผลกระทบต่อค่าแรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มและดินรอบนอกเนื่องจากที่หน้าตัดดังกล่าวยังไม่เกิดสภาวะ Plane Strain

### 5.1.5 พารามิเตอร์สำหรับการประเมินค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นรวมระหว่างเสาเข็มและดินรอบนอก (Soil-Pile Elastic Modulus,  $E_s$ ) สำหรับการประเมินค่าการทรุดตัวของเสาเข็มตามทฤษฎีของ Poulos & Davis (1980) แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_s$  กับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกใช้งานสำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะ โดยผลวิจัยพบว่าค่า  $E_s$  สำหรับเสาเข็มแบบเรียด สูงกว่า ค่า  $E_s$  สำหรับเสาเข็มเจาะ เนื่องจากเสาเข็มแบบเรียดมีค่าอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่าต่อความยาวของเสาเข็ม ( $D_o / L$ ) สูงกว่าเสาเข็มเจาะ

### 5.1.6 เสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม

เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองให้ค่า friction factor  $\beta$  ( $K_s \tan \delta$ ) เป็นสองเท่าของค่า friction factor  $\beta$  ( $K_s \tan \delta$ ) สำหรับเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน เนื่องจากผลของการอัดฉีดน้ำปูนช่วยเพิ่มค่าแรงเสียดทานในชั้นทรายได้

กรณีค่า adhesion factor ( $\alpha$ ) ในช่วงชั้นดินอ่อนมากถึงอ่อน (Very Soft to Soft Clay) สำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มมีแนวโน้มสูงกว่าเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูน ซึ่งไม่สามารถสรุปได้โดยนัยสำคัญในงานวิจัยนี้ด้วยเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.7.1

การอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง (Base Grouted Bored Pile) จะเพิ่มค่า Mobilized Bearing Capacity  $N_u$  ขึ้นประมาณร้อยละ 60-70 ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลักของการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่ต้องการลดปัญหาตะกอนกันหลุมซึ่งเกิดในขั้นตอนการก่อสร้าง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_s$  กับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานสำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มมีค่าใกล้เคียงกับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ไม่ได้มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวตามทฤษฎีอิลาสติกที่เสนอโดย Poulos & Davis (1980) พิจารณาดินรอบเสาเข็มเป็นดินลักษณะเนื้อเดียวกัน (Homogenous Soil) ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานในชั้นทรายจากผลการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มจึงมีผลเพียงเล็กน้อยซึ่งไม่มีอิทธิพลเด่นชัดต่อค่า  $E_s$  ของชั้นดินโดยรวม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดในชั้นดินกรุงเทพฯ ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลโดยการรวบรวมผลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Geotechnical Instrumentation) เพื่อเป็นฐานข้อมูล (data base) ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งผลวิจัยที่ได้เป็นเพียงผลพื้นฐานที่อาจมีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้ผลวิจัยที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ประเด็นที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ที่ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

- ข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในงานวิจัยนี้รวบรวมได้เพียง 4 ต้น เนื่องจากเสาเข็มแบบเรียดไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนักในการก่อสร้างฐานรากในปัจจุบันซึ่งเกิดจากปัญหาค่าก่อสร้างเสาเข็มแบบเรียดที่สูงกว่าและปัญหาเรื่องเวลาในการก่อสร้างที่นานกว่าเสาเข็มประเภทอื่น แต่ด้วยข้อดีของเสาเข็มแบบเรียดเชื่อว่าในอนาคตจะมีการใช้โดยแพร่หลาย ดังนั้นการเพิ่มเติมข้อมูลในการวิเคราะห์จะทำให้ได้ผลที่ถูกต้องยิ่งขึ้น
- ปัญหาการติดตั้งเครื่องมือวัดโดยเฉพาะการติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauge ที่มีการติดตั้งคลาดเคลื่อนทำให้ผลทดสอบเกิดค่าผิดพลาด เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงควรตรวจสอบตำแหน่งติดตั้งให้ถูกต้องและเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์การติดตั้งซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุดมาวิเคราะห์ผล
- ผลวิจัยในประเด็นเรื่องความสามารถในการรับแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นในชั้นดินเหนียวอ่อนมากถึงอ่อน (Very Soft to Soft Clay) เนื่องจากผลของการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลาย

เสาเข็มสำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย ไม่สามารถสรุปได้โดยนัยในงานวิจัยนี้ จึงควรมีการเก็บตัวอย่างดินชั้นดินเหนียวอ่อนมากถึงอ่อนรอบๆ เสาเข็มที่มีการอัดฉีด น้ำปูนที่ปลายเสาเข็มภายหลังการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก (Pile Load Test) มาทำการทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย