



1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและเทคนิควิธีการก่อสร้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การก่อสร้างของอาคารขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนยุ่งยากสามารถทำได้มีประสิทธิภาพ ระบบฐานรากที่ใช้จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ฐานรากแบบเสาเข็ม ซึ่งในปัจจุบันวิวัฒนาการของการก่อสร้างระบบฐานรากเสาเข็มได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการเจริญเติบโตของสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่โดยเฉพาะอาคารสูง โครงสร้างสะพานและสถานีรถไฟฟ้ามหานครในเมืองใหญ่ของประเทศต่างๆ ที่มักจะเลือกใช้เสาเข็มเจาะ (Bored Pile) ขนาดใหญ่ที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งหรือชั้นทรายเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกขนาดสูงที่มากกระทำ

ในกรุงเทพฯ เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะมีขนาดสูงสุดที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร โดยวิศวกรผู้ออกแบบมักจะออกแบบไว้ในลักษณะเสาเข็มกลุ่มเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกขนาดสูงที่มากกระทำ ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาการทรุดตัวของอาคารที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนเสาเข็มที่มากขึ้นในฐานรากจะทำให้ความเค้นของเสาเข็มแต่ละต้นในเสาเข็มกลุ่มเกิดการซ้อนทับกัน (Stress Overlap) ทำให้เกิดกระจาบน้ำความเค้น (Stress Bulb) ขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ขนาดการทรุดตัวเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การจัดวางตำแหน่งเสาเข็มเจาะแต่ละต้นในเสาเข็มกลุ่มยังทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ใต้ดิน ซึ่งอาจมีผลต่อการก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ในเมืองที่มีพื้นที่จำกัด โดยเฉพาะบริเวณกลางถนนหรืออาจมีผลต่อการขยายระบบสาธารณูปโภคตลอดจนระบบขนส่งในอนาคตได้

เพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการนำเสาเข็มแบเรตต์ (Barrette Pile) มาใช้แทนเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถออกแบบให้ใช้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่อเสาเข็มหนึ่งต้น (Load per Pile) ได้สูงขึ้น ทำให้สามารถลดจำนวนเสาเข็มและลดพื้นที่ที่ก่อสร้างซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการจัดวางรูปแบบฐานรากในพื้นที่จำกัด เช่นบริเวณพื้นผิวดถนน นอกจากนี้เสาเข็มแบเรตต์ยังสามารถนำมาใช้ในกรณีที่มีความสูงของพื้นที่ก่อสร้างถูกจำกัด (Limited Headroom Condition) ไม่เพียงพอที่จะนำเครื่องมือเจาะเสาเข็มเข้าไปทำงานได้ ในบางกรณีในพื้นที่จำกัดมากๆ เสาเข็มแบเรตต์ยังสามารถออกแบบให้เป็นเสาเข็มเดี่ยวรับแรงด้านข้างและโมเมนต์ที่กระทำต่อฐานรากได้ ในประเทศไทย

โดยเฉพาะกรุงเทพฯ ได้เริ่มนำเสาเข็มแบบเรีตมาใช้ในการระบบฐานรากของอาคารสูงต่างๆ สะพานและสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน เช่น อาคาร Green Tower อาคาร Jewelry Trade Center โครงการรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRTA) และโครงการทางด่วนบางปะอิน เป็นต้น โดยก่อสร้างให้ปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองที่ความลึกประมาณ 50 เมตรจากผิวดิน

การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อกำหนดขนาดหน้าตัด ความยาวและจำนวนของเสาเข็มให้เหมาะสมกับน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้และสภาพชั้นดินของบริเวณที่จะก่อสร้าง จำเป็นต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่า adhesion factor, friction factor β , bearing capacity factor ตลอดจนค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มกับดินรอบข้างที่น้ำหนักบรรทุกใดๆ เป็นต้น โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดิน รูปร่างและขนาดของเสาเข็ม ตลอดจนวิธีการก่อสร้างเสาเข็มรวมทั้งค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working Load) ของเสาเข็ม ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ได้เคยมีการศึกษาหาความสัมพันธ์ต่างๆ ส่วนใหญ่แต่เฉพาะเสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะ และ Auger Press Pile (Pimpasugdi, 1989 และ วิจิตร, 2542) แต่ทั้งนี้การวิจัยในอดีตที่ผ่านมาได้ใช้ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Instrumentation) น้อยมาก โดยผลส่วนใหญ่วิเคราะห์มาจากผลการทดสอบเสาเข็มที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิคแต่อย่างใด สำหรับกรณีเสาเข็มแบบเรีตในประเทศไทยยังไม่เคยมีการศึกษา แต่ในต่างประเทศได้มีผู้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มแบบเรีต เช่นในประเทศสิงคโปร์ (Ho & Lim, 1998) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการออกแบบเสาเข็มแบบเรีตในลักษณะ Friction Design ของฐานรากอาคาร Singapore Post Centre และนำเสนอค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการออกแบบ

เนื่องจากลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ มีความแตกต่างกับลักษณะดินของต่างประเทศโดยสิ้นเชิง ดังนั้นการศึกษากฎการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรีตและเสาเข็มเจาะสู่ดินรอบๆ ข้างโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิคจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวิเคราะห์กลับให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินกรุงเทพฯ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบเสาเข็มแบบเรีตและเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ ในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับชั้นดินกรุงเทพ ฯ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้ของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะในแต่ละสถานะของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม
3. ศึกษาผลกระทบของมิติด้านสั้นและด้านยาวของเสาเข็มแบบเรียดที่มีต่อค่าแรงเสียดทาน
4. เพื่อประมาณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นรวม ระหว่างเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะกับดินรอบนอก

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

เนื่องจากการประมาณค่าแรงเสียดทานรอบๆ ผิวเสาเข็ม (Skin Friction) และแรงต้านทานที่ปลายเข็ม (End Bearing Resistance) จากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มกระทำได้ยากมากเพราะมีทฤษฎีมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาฐานข้อมูล (Data Base) ก่อน ซึ่งฐานข้อมูลที่ถูกต้องจะต้องนำมาจากเสาเข็มที่ติดตั้งเครื่องมือวัดครบถ้วน (Fully Instrumented Pile)

งานวิจัยนี้จึงเกี่ยวข้องกับการศึกษาพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดภายในตัวเสาเข็มเพื่อวัดหาค่าแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในเสาเข็มในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกกระทำอยู่บนเสาเข็ม แล้วทำการแยกหาค่าแรงเสียดทานรอบๆ ผิวและแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้งานวิจัยจะเกี่ยวข้องกับการนำข้อมูลที่ทดสอบได้มาวิเคราะห์หาทฤษฎีในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่เหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ซึ่งทำการรวบรวมได้

การวิเคราะห์ผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบริดและเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมื่อวัด จะมี 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติ (Q_{ult}) ของเสาเข็มโดยใช้ทฤษฎีต่างๆ ที่รวบรวมโดย Fellenius (1981) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีของ Butler and Hoy (1977) และทฤษฎีของ Mazurkiewicz (1972) ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับเสาเข็มในดินกรุงเทพฯ (Pimpasugdi (1989) Wachiraprakarnpong (1993) และ Soontornsiri (1995)) แล้วทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีทั้งสอง
2. งานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีของ Butler and Hoy (1977) เป็น failure criteria หลักในการหาค่า Q_{ult} และในกรณีเสาเข็มที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิกฤติจะใช้ความสัมพันธ์ที่ได้จากข้อ 1 ในการหา Q_{ult} ตามทฤษฎีของ Butler and Hoy (1977) จากทฤษฎีของ Mazurkiewicz (1972)
3. เสาเข็มแบริดและเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมื่อวัด จะทำการวิเคราะห์หาแรงเสียดทานรอบ ๆ ผิวที่เกิดขึ้นจริง (Real Skin friction) และแรงต้านทานที่ปลายเข็มที่เกิดขึ้นจริง (Real End Bearing Resistance)
4. นำเสนอค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบริดและเสาเข็มเจาะซึ่งได้แก่ค่า adhesion factor (α), friction factor β ($K_s \tan \delta$) และ ค่า Bearing Capacity Factor (N_q) แล้วทำการเปรียบเทียบกันตามสถานะปลายเสาเข็ม เช่นเสาเข็มที่มีปลายในชั้นดินเหนียวหรือชั้นทรายที่มีและไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม นอกจากนี้ในกรณีเสาเข็มแบริดการวิเคราะห์จะพิจารณาถึงผลกระทบของมิติด้านสั้นและด้านยาวที่มีต่อค่าแรงเสียดทาน
5. ประมาณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นรวมระหว่างเสาเข็มกับดินรอบๆ นอก (Soil – Pile Elastic Modulus ; E_p) ของเสาเข็มแบริดและเสาเข็มเจาะสำหรับการประเมินค่าการทรุดตัวแบบอิลาสติก ซึ่งเสนอโดย Poulos & Davis (1980)

6. ประมาณค่า Load - Deformation เบื้องต้นสำหรับเสาเข็มเจาะที่มีปลายในชั้นทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

งานวิจัยนี้จะแสดงเฉพาะพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยวทั้งเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างอยู่ในสภาพชั้นดินกรุงเทพฯ เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะโดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดในขณะที่รับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบเสาเข็ม (Pile Load Tests) ซึ่งภายหลังจากวิเคราะห์ผลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยจะสามารถทราบรายละเอียดในแต่ละประเด็น ได้ดังนี้คือ

- สามารถแยกการรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะได้เป็นแรงเสียดทานรอบๆ ผิว และแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มที่ค่าการทรุดตัวค่าใดค่าหนึ่งซึ่งทำให้สามารถเห็นและเปรียบเทียบพฤติกรรมได้ดียิ่งขึ้น
- ทราบพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะสู่ดินรอบๆ ข้างซึ่งจะช่วยให้การวิเคราะห์เพื่อออกแบบเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะในอนาคตเหมาะสมกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุก
- สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณและออกแบบระบบฐานรากเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะจากข้อมูลดินที่มีอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาเปรียบเทียบดูแนวโน้มความแตกต่างระหว่างเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะในแต่ละสภาวะปลายเสาเข็ม
- สามารถประมาณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นรวมระหว่างเสาเข็มกับดินรอบข้างที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะเพื่อใช้ในการประเมินค่าการทรุดตัวแบบอิลาสติกซึ่งเสนอโดย Poulos & Davis (1980)