

บทที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูป

นิยามและความหมายของสินค้า

เสาเข็ม (Pile) เป็น วัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างอาคาร โดยทำมาจากวัสดุได้หลายชนิด เช่น เสาเข็มไม้ เสาเข็มคอนกรีต เข็มเหล็ก และเสาเข็มประกอบ เป็นต้น

เสาเข็มคอนกรีต

ลักษณะการใช้งานของเสาเข็ม

วัตถุประสงค์ของการใช้งานเสาเข็มจะอยู่ในขอบเขตของลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้ คือ

1. End-Bearing or point-bearing piles หมายถึงการให้น้ำหนักบรรทุกเกือบทั้งหมดรับโดยดินที่อยู่ส่วนปลายของเสาเข็ม (แรงต้านทางส่วนปลาย) เช่น ในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นหิน หรือจมอยู่ชั้นทรายปนกรวดที่แน่นมาก
2. Friction Piles คือ น้ำหนักบรรทุกเกือบทั้งหมดนั้นรับโดยแรงเสียดทานรอบผิวของเสาเข็ม เช่น เสาเข็มที่อยู่บนชั้นของดินเหนียวทั้งหมด
3. Compaction Piles ใช้ในกรณีที่ดินที่มีลักษณะเป็นเม็ด เช่น ทราย เรียงตัวให้แน่นขึ้น โดยการสั่นสะเทือนซึ่งจะทำให้การรับน้ำหนักของชั้นดินเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
4. Tension or uplift piles เป็นเสาเข็มที่รับแรงดึงซึ่งอาจจะเกิดแรงดันของน้ำ เช่น เสาเข็มของงานสระว่ายน้ำ หรือกรณีของโมเมนต์ เช่น งานเสาเข็มของงานผนังกันดิน
5. Anchor piles เป็นเสาเข็มที่ใช้ในการยึดติดกับโครงสร้างหรือดิน เพื่อใช้ในการรับแรงในแนวตั้ง หรือแรงในแนวราบ เช่น เสาเข็มที่ใช้ยึดสำหรับการทดสอบเสาเข็ม เสาเข็มใน Sheet piling Wall
6. Fender piles and dolphin ใช้ในกรณีเพื่อการรับแรงกระแทกตามท่าเรือ หรือบริเวณริมฝั่งที่มีคลื่นลมทะเล
7. Batter Piles ใช้ในการรับแรงในแนวราบ หรือแนวเอียง ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความสูง โดยเฉพาะ
8. เสาเข็มที่ใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ เช่น การป้องกันการกัดเซาะของน้ำ หรือการไหลของดิน เป็นต้น

ชนิดของเสาเข็ม

เสาเข็มที่ใช้ในงานก่อสร้างทั้งหมดนั้น เมื่อแบ่งตามประเภทของการใช้งานตามลักษณะของการก่อสร้างแล้วจะสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เสาเข็มตอก (Driven Piles, Displacement Piles) และเสาเข็มเจาะ (Bored Piles, Cast-in-place piles, Replacement or non-displacement pile) ซึ่งในบางครั้งอาจมีการจำแนกเพิ่มเติมออกเป็นเสาเข็มตอกแล้วทำการหล่อคอนกรีตในหลุม (Driven and cast-in-situ piles) และเสาเข็มสกรู (Screw piles) แต่ถ้าหากทำการแบ่งตามลักษณะของการใช้งานและวัสดุของเสาเข็มสามารถที่จะทำการจำแนกได้ ดังนี้คือ

1. เสาเข็มไม้ (Timber Piles) ใช้สำหรับสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดเล็ก และน้ำหนักที่ทำการถ่ายลงสู่เสาเข็มไม่มากนัก ไม้ที่นำมาใช้ในกาก่อสร้างจะเป็นไม้ชนิดธรรมชาติ หรือทำการเคลือบน้ำยากันการผุกร่อน
2. เสาเข็มคอนกรีต (Concrete Piles) สามารถแบ่งออกได้เป็นเสาเข็มที่ทำการหล่อให้เสร็จเรียบร้อยก่อนนำไปตอก (Precast Concrete Piles) และเสาเข็มที่เทคอนกรีตลงบนหลุมดินที่ทำการเจาะเป็นรูไว้ก่อนแล้ว (Cast-in-place piles) ซึ่งเสาเข็มชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าเสาเข็มไม้ ส่วนเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาเข็มตอก
3. เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles) ใช้สำหรับดินทรายหรือกรวดที่แน่น เพราะมีอำนาจในการแทงทะลุสูง และปริมาตรในการแทนที่ดินน้อย แต่จะมีปัญหาเรื่องของการสึกกร่อน (สนิมเหล็ก) เสาเข็มโดยทั่วไปซึ่งใช้กันได้แก่ H-Pile ,I-Pile ,Pipe Pile และ Sheet Pile
4. เสาเข็มประกอบ (Composite Piles) เป็นเสาเข็มที่ประกอบด้วยวัสดุมากกว่า 1 ชนิดมาประกอบเข้าด้วยกัน เช่น ใช้ไม้หรือเหล็กในส่วนด้านล่างของเสาเข็ม

เสาเข็มคอนกรีต (Concrete Pile) จัดได้ว่าเป็นเสาเข็มที่สามารถที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ตั้งแต่อาคารขนาดเล็ก จนถึงอาคารขนาดกลาง และขนาดใหญ่ได้ ซึ่งเสาเข็มจะมีขนาดและหน้าตัดที่แตกต่างตามประเภทของการใช้งาน นอกจากนั้นเสาเข็มคอนกรีตสามารถที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง หรือต่อเติมโครงสร้างอาคารส่วนต่างๆได้ เสาเข็มคอนกรีตนั้น สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็น เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pile) และเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Pile) ซึ่งมีขนาดของเสาเข็มจะมีความยาวตั้งแต่ 1 เมตร ขึ้นไป

ซึ่งในการจำแนกเสาเข็มคอนกรีต สามารถที่จะทำการจำแนกประเภทของเสาเข็มออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1. เสาเข็มเล็ก (Small Pile) เป็นเสาเข็มที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดความยาวตั้งแต่ 1 – 6 เมตร สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างอาคารขนาดเล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกไม่มากนัก และงานต่อเติมส่วนประกอบต่างๆของอาคาร หรือพื้นที่ต่างๆภายในบ้าน
2. เสาเข็มใหญ่ (Long Span) เป็นเสาเข็มคอนกรีตที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดความยาวมากกว่า 7 เมตร ขึ้นไป สามารถที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างอาคารตั้งแต่ถึงอาคารขนาดกลาง และขนาดใหญ่ได้

ตัวอย่างประเภทของผลิตภัณฑ์ (Type of Product)

เสาเข็มคอนกรีตเป็นเสาเข็มที่มีรูปร่างหน้าตัด หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถที่จะทำการจำแนกออกได้ ดังนี้

1. เสาเข็มเล็ก (Small Pile)

เสาเข็มหกเหลี่ยมกลวง เป็นเสาเข็มในกลุ่มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pile) ซึ่งมีขนาดความยาวตั้งแต่ 1 – 6 เมตร และมีขนาดหน้าตัด 15 ซม.



รูปแสดงตัวอย่างเสาเข็มคอนกรีตหน้าตัดรูปหกเหลี่ยมกลวง

เสาเข็มที เป็นเสาเข็มในกลุ่มของคอนกรีตอัดแรง ซึ่งมีขนาดความยาวตั้งแต่ 1 – 6 เมตร และมีขนาดหน้าตัด 12 ซม.



รูปแสดงเสาเข็มคอนกรีตหน้าตัดรูปตัวที

เสาเข็มไอ เป็นเสาเข็มในกลุ่มของคอนกรีตอัดแรง ซึ่งมีขนาดความยาวตั้งแต่ 1 – 6 เมตร และมีขนาดหน้าตัด 12 และ 15 ซม.



รูปแสดงเสาเข็มคอนกรีตหน้าตัดรูปตัวไอ

2. เสาเข็มใหญ่ (Long Span)

เสาเข็มไอ (I-Pile) เป็นเสาเข็มในกลุ่มของเสาเข็มอัดแรง ซึ่งมีขนาดของหน้าตัดตั้งแต่ 18 ซม. – 40 ซม. และมีความยาวตั้งแต่ 7 – 21 เมตร



รูปแสดงเสาเข็มคอนกรีตหน้าตัดตัวไอชนิด Long Span

เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Square Pile) เป็นเสาเข็มในกลุ่มของเสาเข็มอัดแรง ซึ่งมีขนาดของหน้าตัดตั้งแต่ 16 ซม. - 40 ซม. และมีความยาวตั้งแต่ 7 - 21 เมตร



รูปแสดงเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดหน้าตัดสี่เหลี่ยม

เสาเข็มแบบ Spun เป็นเสาเข็มในกลุ่มของเสาเข็มอัดแรง ซึ่งมีขนาดของหน้าตัดตั้งแต่ 40 และ 52.5 ซม. และมีความยาวตั้งแต่ 21 - 26 เมตร



รูปแสดงเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงชนิดสะพาน

บทที่ 2

มาตรฐานของสินค้าเสาเข็มคอนกรีต และแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบ

มาตรฐานของสินค้าเสาเข็มคอนกรีต

มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบงานเสาเข็มคอนกรีต สามารถที่จะทำแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ เรื่องของงานเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก และงานเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ซึ่งสามารถแยกรายละเอียดออกได้ ดังนี้ คือ

นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มคอนกรีต

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. เสาเข็ม หมายถึง เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง และคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ
2. คอนกรีตหุ้ม (Covering) หมายถึง ระยะสั้นที่สุดระหว่างผิวเหล็กเสริมกับผิวของคอนกรีต
3. รอยพรุน หมายถึง รูหรือโพรงซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อของคอนกรีต เนื่องจากความบกพร่องในกระบวนการทำ
4. มวลผสมหยาบ (Coarse Aggregate) หมายถึง วัสดุผสมซึ่งส่วนใหญ่จะค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร
5. ลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หมายถึง ลวดเหล็กรับแรงดึงสูงที่เป็นเส้นเดี่ยว
6. ลวดเหล็กตีเกลียว (strand) หมายถึง ลวดเหล็กตีเกลียวสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง ที่ประกอบด้วยลวดเหล็กรับแรงดึงสูงมากกว่า 1 เส้น ตีเกลียวเข้าด้วยกัน
7. การเสื่อมสูญเสียการอัดแรง (losses) หมายถึง การที่ลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียวสูญเสียแรงเค้นดึงตามขั้นตอนต่าง ๆ เนื่องจากความล้าของเหล็กเสริมตามยาว การหดตัวของคอนกรีต ความล้าของคอนกรีต และการหดตัวอีลาสติกของเสาเข็ม
8. สัญลักษณ์ของความเค้นต่าง ๆ ที่ใช้ในมาตรฐานนี้ มีดังต่อไปนี้
 - 8.1 f_c' หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานสามารถรับได้
 - 8.2 f_{ct}' หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานสามารถรับได้ ก่อนจะตัดหรือปล่อยลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรือลวดเหล็กตีเกลียว (maximum compressive stress of concrete at stress transfer)

- 8.3 f_{ci} หมายถึง ความเค้นอัดที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดขณะตัดหรือปล่อยลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียว (allowable compressive stress in concrete at or shortly after stress transfer)
- 8.4 f_{ca} หมายถึง ความเค้นอัดที่ใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดตลอดเวลาที่รับน้ำหนักอยู่ โดยรวมความเค้นอัดของลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียวและน้ำหนักบรรทุก (allowable compressive stress, inclusive of prestress, in concrete under design loads in service) และความเค้นอัดใช้งานในสภาพแรงดัดที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุด ตลอดเวลาที่รับน้ำหนัก ซึ่งเกิดจากแรงยกและแรงกระแทก โดยรวมความเค้นอัดของลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียว (allowable flexural compressive stress, inclusive of prestress, in concrete under handling and transporting bending)
- 8.5 f_{ta} หมายถึง ความเค้นดึงที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดขณะขนส่งหรือยกขึ้นตอกและการใช้งาน (allowable tensile stress in concrete corresponding to its conditions)
- 8.6 f_s' หมายถึง ความเค้นดึงสูงสุดที่ลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรงหรือลวดเหล็กตีเกลียวสามารถรับได้ (maximum tensile stress of wire or strand)
- 8.7 ความเค้นดึงเริ่มแรก (initial prestress of wire or strand) หมายถึง ความเค้นดึงในลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียวก่อนเกิดการเสื่อมสภาพอัดแรง
- 8.8 ความเค้นดึงประสิทธิผล (effective prestress of wire or strand) หมายถึง ความเค้นดึงในลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง หรือลวดเหล็กตีเกลียวหลังจากเกิดการเสื่อมสภาพอัดแรง
- 8.9 ความกว้างที่น้อยที่สุด (W) หมายถึง ส่วนที่แคบที่สุดของรูปภาคตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็ม มีวิธีการหาได้โดยการหมุนภาคตัดขวางของเสาเข็มในระหว่างเส้นคู่ขนานจนได้ระยะแคบที่สุด
- 8.10 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน หมายถึง แท่งคอนกรีตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร (ประมาณ 6 นิ้ว) สูง 300 มิลลิเมตร (ประมาณ 12 นิ้ว)
- 8.11 โมเมนต์ดัดที่ออกแบบ (design bending moment) หมายถึง โมเมนต์ที่คำนวณโดยคิคน้ำหนักของตัวเสาเข็ม รวมกับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมออีกร้อยละ 30 ของน้ำหนักของตัวเสาเข็ม

ข้อกำหนดด้าน รูปร่าง มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1. รูปร่าง

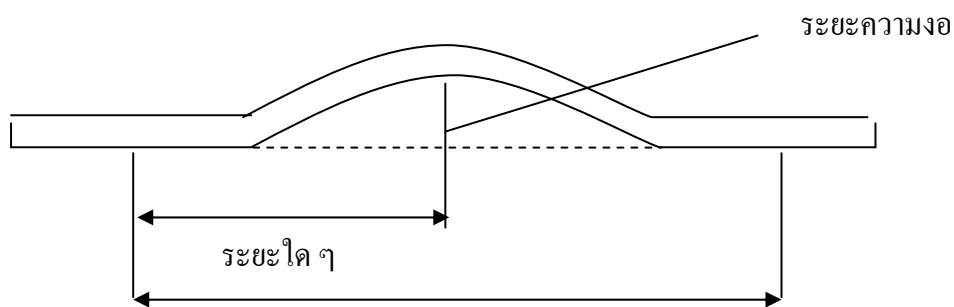
เสาเข็มจะมีรูปร่างของภาคตัดขวางแบบใดก็ได้ แต่จะต้องให้จุดศูนย์กลางของภาคตัดขวางทับจุดศูนย์กลางของเสาเข็ม

2. มิติ

- คอนกรีตหุ้ม ต้องไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
- ส่วนที่บางที่สุดของภาคตัดขวางเสาเข็มต้องไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร หรือ 2 เท่า ของคอนกรีตหุ้ม บวกด้วยเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือความหนาของเหล็กเสริมโดยใช้ค่าที่มากกว่าเป็นเกณฑ์

3. เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

- มิติของภาคตัดขวางแต่ละด้านวัดที่ใด ๆ ก็ตามตลอดความยาวจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ร้อยละ +5.0,-2.5 และมิติของเส้นรอบรูปวัดที่ใด ๆ ก็ตามตลอดความยาว จะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ +5.0,-1.0
- ความยาว จะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 50 มิลลิเมตร (จากความยาวระบุ)
- ปลายด้านตัดของเสาเข็ม ต้องมีผิวหน้าเรียบและตั้งฉากกับแนวแกนสะเทิน (Neutral axis) ของเสาเข็ม โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 องศา
- เสาเข็มต้องมีลำต้นตรง ระยะความงอที่ส่วนใด ๆ ของเสาเข็มนี้ถ้าวัดระหว่างเส้นตรงที่ต่อปลายทั้งสองของส่วนงอ กับผิวด้านใด ๆ ก็ตามต้องไม่เกิน $1/360$ ตามรูปด้านล่าง



ความยาวของส่วนที่งอ (1)

รูปแสดงรายละเอียดการวัดระยะความงอของเสาเข็ม

ข้อกำหนดด้าน วัสดุ

1. ปูนซีเมนต์ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1

2. มวลผสม ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 33) ขนาดใหญ่สุดของมวลผสมหยาบต้องไม่เกิน 30 มิลลิเมตร และต้องเล็กกว่า 2 ใน 5 ของความหนาของเสาเข็ม

3. คอนกรีต ความเค้นต่าง ๆ ในคอนกรีต ให้เป็นไปตามตารางแสดงรายละเอียดเรื่องของความเค้นในคอนกรีต

ความเค้นต่าง ๆ ในคอนกรีต	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ประมาณ)
f_c' ไม่น้อยกว่า	35	350
f_{ci}' ไม่น้อยกว่า	24.5	245
f_{ci} ไม่น้อยกว่า	0.45 f_c'	
f_{ca} ก. ในสภาพใช้งานต้องไม่มากกว่า ข. ในสภาพแรงตัดต้องไม่มากกว่า	0.33 f_c' 0.45 f_c'	
f_{ta} ก. การขนส่งหรือการยกขึ้นตอกต้องไม่มากกว่า ข. การใช้งานต้องไม่มากกว่า	0.502 $\sqrt{f_c'}$ 0.372 $\sqrt{f_c'}$	1.59 $\sqrt{f_c'}$ 1.19 $\sqrt{f_c'}$

4. เหล็กเสริมตามยาว

4.1 ลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลวดเหล็กสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง มาตรฐานเลขที่ มอก.95

4.2 ลวดเหล็กตีเกลียว ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ลวดเหล็กตีเกลียว สำหรับงานคอนกรีตอัดแรงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม JIS G 3536 หรือ ASTM A 416)

4.3 เหล็กปลอกและเหล็กเสริมพิเศษ

- เหล็กเส้นกลม ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กเส้นกลม มาตรฐานเลขที่ มอก.20

- เหล็กข้ออ้อย ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มาตรฐานเลขที่ มอก.24
- เหล็กเส้นแบนและสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นแบนและสี่เหลี่ยมจัตุรัส มาตรฐานเลขที่ มอก.55
- ลวดเหล็ก ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดเหล็ก มาตรฐานเลขที่ มอก.194
- เหล็กรีดซ้ำ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กรีดซ้ำ มาตรฐานเลขที่ มอก.211

ข้อกำหนด เรื่องกระบวนการในผลิตการผลิตสินค้า

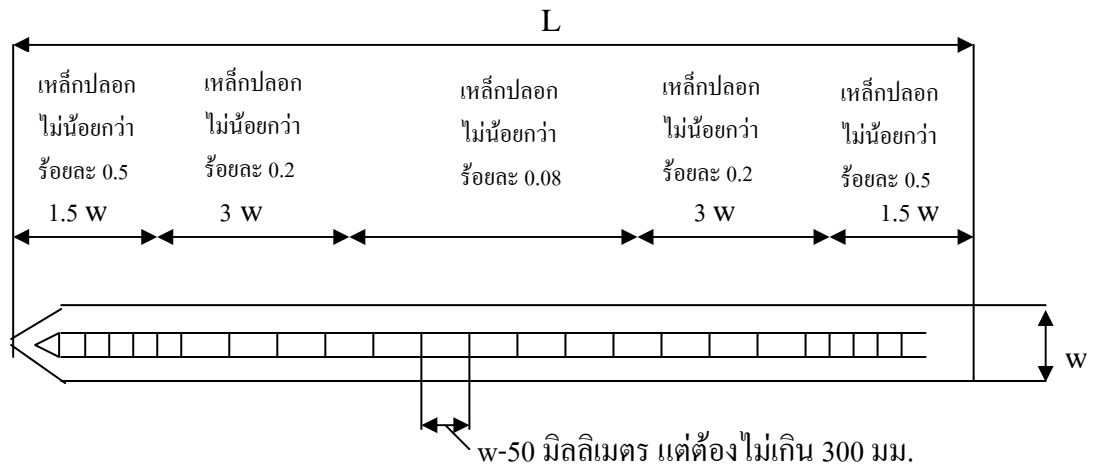
1. คอนกรีต

- 1.1 ต้องผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสมคอนกรีต เนื้อคอนกรีตต้องมีส่วนผสมสม่ำเสมอ และต้องหล่อต่อเนื่องกันตลอดทั้งคัน
- 1.2 วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตให้ชั่งน้ำหนักทุกครั้ง ส่วนน้ำอาจวัดเป็นปริมาตรได้
- 1.3 ต้องใช้เครื่องเขย่า (Vibrator) หรือเครื่องมืออื่น ๆ เพื่อให้เนื้อคอนกรีตแน่นสม่ำเสมอ

2. เหล็กเสริม

- 2.1 เหล็กเสริมตามยาว ต้องมีข้อกำหนดในการทำดังนี้
 - 2.1.1 ความเค้นดึงเริ่มแรก ต้องไม่เกิน $0.70 f_s$
 - 2.1.2 ความเค้นดึงประสิทธิพล ต้องไม่เกิน $0.60 f_s$
- 2.2 ระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมตามยาว ต้องไม่น้อยกว่า 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว และต้องไม่น้อยกว่า $11/3$ เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของมวลผสมหยาบ

3. เหล็กปลอก จะต้องยึดติดกับเหล็กเสริมตามยาวให้มั่นคง และต้องมีปริมาณเป็นร้อยละของปริมาตรของคอนกรีตในช่วงนั้น ๆ ตามที่กำหนดไว้ในตามรูป



4. เหล็ก Plate ต่อเชื่อมหัวเสา

- 4.1 วัสดุที่ใช้ทำ Plate หัวเสา ต้องมีคุณสมบัติทางกลไม่น้อยกว่าตัวเสาเข็ม
- 4.2 Plate หัวเสา ต้องยึดแน่นติดกับตัวเสาเข็มจนมีคุณสมบัติทางกลไม่น้อยกว่าส่วนอื่นของเสาเข็ม
- 4.3 จุดศูนย์กลางภาคตัดขวางของ Plate หัวเสา ต้องอยู่ในแนวแกนสะเทินของเสาเข็ม
- 4.4 ขนาดของ Plate หัวเสา ต่อกับตัวเสาเข็มแล้ว จะยื่นล้ำออกไปนอกฝั่งของเสาเข็มส่วนที่อยู่ติดกับหัวต่อนั้นได้ ไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร

5. การตัดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว จะทำได้เมื่อคอนกรีตมีความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 24.5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

6. การบ่ม : เสาเข็มทุกต้นต้องผ่านการบ่มจะโดยวิธีใดก็ตาม จนกว่าคอนกรีตจะมีความต้านแรงอัดตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน

7. คุณสมบัติที่ต้องการ

7.1 คุณสมบัติทั่วไป

- 7.1.1 เนื้อคอนกรีตต้องแน่นสม่ำเสมอ และไม่มีรอยพรุนหรือรอยแตกซึ่งลึกถึงบริเวณของเหล็กเสริม
- 7.1.2 เสาเข็มสามารถที่จะยอมให้มีรอยร้าวต่อเนื่องกันได้ไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูป และต้องทำมุมระหว่าง 80 ถึง 90 องศากับแนวแกนสะเทิน รอยร้าวที่เกิดขึ้นแต่ละรอยต้องห่างกันเกิน 500 มิลลิเมตร

7.1.3 เสาเข็มจะต้องแสดงตำแหน่งจุดยกไว้ให้ชัดเจน ถ้าออกแบบให้ยกเป็นชุด ให้ทำเป็นเครื่องหมาย หรือทำเป็นรูร้อยหรือที่จัดยึดสำหรับยกไว้ ถ้าออกแบบให้ยกโดยวิธีอื่นต้องแสดงวิธีการยกไว้ด้วย

7.2 คุณสมบัติทางกล

7.2.1 เนื้อคอนกรีต ต้องมีค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่นคอนกรีต ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 39)

7.2.2 คุณสมบัติในการรับแรงที่เกิดขึ้นจากการยกและการกระแทก เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบ รอยร้าวที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใด ๆ จะต้องมีความกว้างไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร

7.2.3 คุณสมบัติของหัวต่อ เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบ ต้องไม่เกิดรอยร้าวในช่วงหัวกด กว้างเกิน 0.2 มิลลิเมตร

8 เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่เสาเข็มทุกต้นอย่างน้อยต้องมี เลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นอย่างชัดเจนและถาวร ที่ระยะประมาณ 500 มิลลิเมตร จากปลายที่ตอก

- (1) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า หรือชื่อผู้จัดจำหน่าย
- (2) พื้นที่ภาคตัดขวาง หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือเส้นรอบรูปอย่างใดอย่างหนึ่ง และความยาว
- (3) วัน เดือน ปี ที่ทำ
- (4) ตำแหน่งของจุดยก

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

9 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

9.1 รุ่น หมายถึง เสาเข็มที่มีรูปร่าง และมีผิวของภาคตัดขวางเดียวกัน

9.2 ความต้านแรงอัดของเนื้อคอนกรีต

9.2.1 ขนาดตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่าง 10 ชุด ตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากปริมาณคอนกรีตที่ใช้ทำเสาเข็ม เพื่อการตรวจสอบ 100 ต้นในรุ่นเดียวกัน ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ทำเสาเข็มน้อยกว่า 100 ต้น ให้ถือเป็น 100 ต้น (เศษของ 100 ต้นที่ไม่เกิน 30 ต้น ให้ปัดทิ้งไม่ต้องชักตัวอย่าง)

9.2.2 วิธีการชักตัวอย่าง

จำนวนตัวอย่าง 1 ชุด ให้ชักตัวอย่างจากเครื่องผสมอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยชักตัวอย่างคอนกรีตที่อยู่ประมาณ 1/3 , 1/2 และ 2/3 ของเครื่องผสมแล้วนำมาผสมรวมกันเป็น 1 ชุด ตัวอย่าง ปริมาณคอนกรีตที่เก็บ 1 ชุดตัวอย่างต้องมากพอที่จะหล่อตัวอย่างแท่งทดสอบอย่างน้อย 2 แท่ง ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างครั้งแรกกับตัวอย่างครั้งสุดท้ายที่จะนำมาผสมกัน และหล่อเป็นแท่งตัวอย่างเสร็จต้องใช้เวลาไม่เกิน 15 นาที ในกรณีที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ได้ตามเวลาที่กำหนดให้ชักตัวอย่างจากคอนกรีตที่อยู่ใดที่หนึ่งประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของเครื่องผสมเป็น 1 ชุดตัวอย่างได้

9.2.3 เกณฑ์ตัดสิน

ให้ตัดสินจากตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ f_c' 10 ชิ้นตัวอย่างและ f_{ci}' อีก 10 ชิ้นตัวอย่างที่ชักมาตามข้อ 8.2.1 และ 8.2.2 และเมื่อทดสอบแล้ว ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) ถ้าตัวอย่างทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามข้อ 7.2.1 ให้ถือว่าผลลัทธ์นั้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด
- (2) ถ้าตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง ไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.1 แต่ยังมีค่าสูงกว่าร้อยละ 85 และตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความต้านแรงอัดที่กำหนด ให้ถือว่าผลลัทธ์นั้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด
- (3) ถ้าตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่าง ไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.1 และมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 85 หรือตัวอย่างทดสอบ 1 ตัวอย่างไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.1 แต่มีค่าสูงกว่าร้อยละ 85 และตัวอย่างทดสอบทั้งหมดมีค่าความต้านแรงอัดเฉลี่ยไม่ถึง 1.05 เท่าความต้านแรงอัดที่กำหนดให้ หรือมีตัวอย่างทดสอบไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.1 ตั้งแต่ 2 ตัวอย่างขึ้นไป ให้ถือว่าผลลัทธ์นั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

9.3 การรับแรงที่เกิดขึ้นจากการยกและการกระแทก

9.3.1 ให้ชักตัวอย่างได้เมื่อเสาเข็มนั้นมีกำลังตามเกณฑ์กำหนดโดยวิธีสุ่มตัวอย่างจากจำนวนเสาเข็มเพื่อการตรวจสอบ 100 ต้นในรุ่นเดียวกัน ให้ชักตัวอย่าง 3 ต้น จำนวนเสาเข็มที่น้อยกว่า 100 ต้น ให้ถือเป็น 100 ต้น (เศษของ 100 ต้นที่ไม่เกิน 15 ต้นให้ปัดทิ้งไม่ต้องชักตัวอย่าง)

9.3.2 เกณฑ์ตัดสิน

ถ้าตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ 3 ต้น จาก 100 ต้น ไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.2 ตั้งแต่ 2 ต้นขึ้นไป ให้ถือว่าเสาเข็มในรูนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด แต่ถ้าเสาเข็มต้นใดต้นหนึ่งไม่เป็นไปตามข้อ 7.2.2 ให้นำตัวอย่างเสาเข็มในรูนเดียวกันนั้นมาอีก 2 ต้น ผลการทดสอบของเสาเข็มที่นำมาใหม่ทั้ง 2 ต้น ต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.2 จึงจะถือว่าเสาเข็มทั้งหมดในรูนนั้นเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

9.4 คุณสมบัติของ Plate หัวเสา

- 9.4.1 ให้ชักตัวอย่างได้เมื่อเสาเข็มนั้นมีกำลังตามเกณฑ์กำหนดโดยวิธีสุ่มจากจำนวนเสาเข็มเพื่อการตรวจสอบในรูนเดียวกันให้ชักตัวอย่าง 2 ต้น และถือเป็น 1 ชุดตัวอย่าง
- 9.4.2 เกณฑ์ตัดสิน ผลการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อ 7.2.3

แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบสินค้า

หลักแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบเรื่องของงานเสาเข็ม จะเน้นในเรื่องของการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของน้ำหนักจากโครงสร้างของอาคาร , น้ำหนักถนน (Pavement) และงานสาธารณูปโภคอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งส่วนที่สำคัญที่สุดสำหรับงานออกแบบเสาเข็ม คือ การออกแบบเพื่อรองรับการเคลื่อนย้ายเสาเข็มได้

การคำนวณ ออกแบบโครงสร้างเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ชนิดอัดแรงก่อน

ข้อแนะนำในการออกแบบโครงสร้างเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง

1. จำนวนหน่วยแรงอัดประสิทธิผลถาวร ที่จำเป็นต้องใส่ไปในเสาเข็ม
โดยปกติเวลาการออกแบบเสาเข็ม วิศวกรผู้ออกแบบจะทำการกำหนดให้เสาเข็มสามารถที่จะรับโมเมนต์ดัดได้ไม่ต่ำกว่า 1.3 หรือ 1.5 เท่าของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักเสาเข็ม ซึ่งแยกออกได้ดังนี้ คือ
 - 1.1 การออกแบบให้มีจุดยก 2 จุด สำหรับกรณีเสาเข็มที่มีความยาวมากกว่า 600 ม. จะได้ว่า

$$\text{Maximum Bending Moment (Md)} = 0.0215 wdl^2$$

1.2 ออกแบบให้มีจุดยก 1 จุด สำหรับเสาเข็มที่มีความยาวน้อยกว่า 6 เมตร จะได้ค่า

$$\text{Maximum Bending Moment (Md)} = 0.045 wdl^2$$

ซึ่งในการออกแบบปริมาณของลวดอัดแรงที่จะเสริมสามารถที่จะทำได้โดยการนำค่า Maximum Bending Moment (Md) มาใช้ในการออกแบบได้

แต่ในบางครั้งจะพบว่าในกรณีที่เสาเข็มสั้นที่ใช้อยู่ตามต่างจังหวัด หรือเสาเข็มหล่อแบบสองท่อนต่อ ที่นิยมใช้ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล วิศวกรจะมีการใส่จำนวนลวดเหล็กอัดแรงจำนวนน้อยมาก ทำให้หน่วยแรงอัดประสิทธิภาพในเสาเข็ม มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการรับแรงดันดินด้านข้างได้ เสาเข็มจึงก่อให้เกิดความเสียหายได้ จึงก่อให้เกิดการรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ลดน้อยลงจากที่ออกแบบไว้ จึงส่งผลทำให้อาคารเกิดการทรุดตัวลงหรือพังลงได้

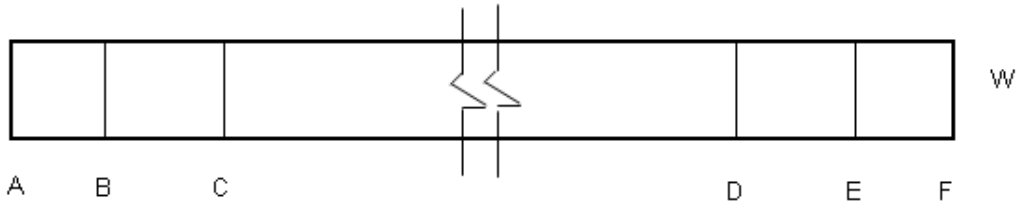
ปัจจุบันทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำลังพิจารณาเรื่องของค่ากำหนด หน่วยแรงอัดประสิทธิภาพถาวรต่ำสุดในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบ จะต้องใส่ในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงภายหลัง จากการเชื่อมสูญแรงดึงในลวดเหล็กคอนกรีตอัดแรงถาวรแล้ว ดังตัวอย่างเช่น

- มาตรฐาน ACI กำหนดให้ต้องใส่หน่วยแรงอัดประสิทธิภาพถาวรไม่ต่ำกว่า 49.0 ksc
- กรมทางหลวง กำหนดให้ต้องใส่หน่วยแรงอัดประสิทธิภาพถาวรไม่ต่ำกว่า 38.5 ksc
- ทหารไฟฟ้าฝ่ายผลิต กำหนดให้ต้องใส่หน่วยแรงอัดประสิทธิภาพถาวรไม่ต่ำกว่า 49.0 ksc
- ข้อเสนอแนะขั้นต่ำ ต้องใส่แรงอัดประสิทธิภาพในเสาเข็มไม่ต่ำกว่า 25.0 ksc

2. การหาจำนวนเหล็กเสริมปลอก

จำนวนของเหล็กเสริมปลอกที่ใส่ลงในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง ควรที่จะใส่ในจำนวนเทียบเท่ากับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 396-2524 ซึ่งจะเป็นปริมาณที่ไม่มากเกินไปนัก และสามารถที่จะรองรับการกระแทกจากการตอกเสาเข็มในสภาพชั้นดินแข็งได้อีกด้วย

- การหาจำนวนของเหล็กเสริมปลอกในเสาเข็ม ตาม มอก. 396-2524



รูปแสดงรายละเอียดตำแหน่งการเสริมเหล็กปลอก

ช่วง	ความยาว	ปริมาตรของเหล็กปลอก %
AB	1.5W	0.5
BC	3.0W	0.2
CD	-	0.08
DE	3.0W	0.2
EF	1.5W	0.5

ในการออกแบบเสาเข็มฐานรากในกรุงเทพฯ การประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกในชั้นการออกแบบ มักนิยมใช้วิธี Static Analysis ซึ่งจะคำนวณจากค่ากำลังและคุณสมบัติชั้นดินจากผลการสำรวจดิน ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าว อาจคลาดเคลื่อนแปรเปลี่ยนได้มาก เพราะว่าการคำนวณจะต้องอาศัยการอ้างอิง Chart แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มกับ คุณสมบัติดินที่มีผู้ศึกษาและเสนอไว้หลาย Version ซึ่งแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าจะใช้ของใคร Chart ที่ควรใช้อ้างอิงควรได้จากการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลของเสาเข็มในดินกรุงเทพฯ ไม่ควรใช้ Chart ที่ได้จากการศึกษาในต่างประเทศที่เขียนไว้ใน TEXT BOOK ทั้งหมดโดยตรง เพราะเงื่อนไขทางด้านหลักปฏิบัติในเรื่องวิธีการตอกหรือก่อสร้างเสาเข็มวิธีการทดสอบเสาเข็ม และคุณสมบัติเฉพาะของชั้นดิน อาจไม่เหมือนกัน ระหว่างกรุงเทพฯ กับที่อื่นๆ ทำให้ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่เหมือนกัน สำหรับ Chart ความสัมพันธ์ที่ได้จากการศึกษาโดยใช้ข้อมูลในกรุงเทพฯ นั้นมีผู้เสนอแนะแล้วหลายรายเป็นช่วงๆ ตลอดมา แต่ในระยะหลังนี้ข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็ม ได้เพิ่มทวีคูณขึ้นอย่างมากตามการขยายตัวของ การก่อสร้าง ผู้เขียนได้มีโอกาสรวบรวมข้อมูลใหม่ดังกล่าวบางส่วน และทำการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลเดิมที่ใช้ในการศึกษาในอดีต จึงใคร่ขอรายงานผลให้เพื่อนวิศวกรทราบพอสังเขปในที่นี้ จากข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด (เข็มเจาะ 150 ต้น เข็มตอก 61 ต้น และเข็ม Auger Press 10 ต้น) ได้เลือกเฉพาะการทดสอบ Load - Settlement ที่ใช้ข้อมูลสมบูรณ์ ทอสอบถึงหรือใกล้ระดับประลัย ใช้ในการวิเคราะห์เท่านั้น

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ผลการทดสอบ Instrumented Bored Pile (IBP) ของเข็มเจาะอีก 6 ต้น ซึ่งให้ข้อมูลละเอียดด้าน Load Distribution ตามความลึกของเสาเข็มอีกด้วย

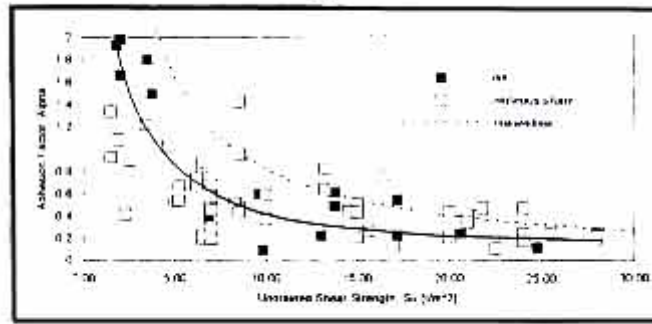
ผลการศึกษารูปในรูปที่ 1 - 4 ซึ่งเป็น Chart แสดงความสัมพันธ์ของเข็มเจาะระหว่าง Adhesion Factor @ กับ S_u , และ N_c กับ S_u สำหรับดินเหนียว $K_s \tan S$ กับ Q และ N_q กับ Q สำหรับดินทรายตามลำดับ (โปรดดูความหมายท้ายบทความ)



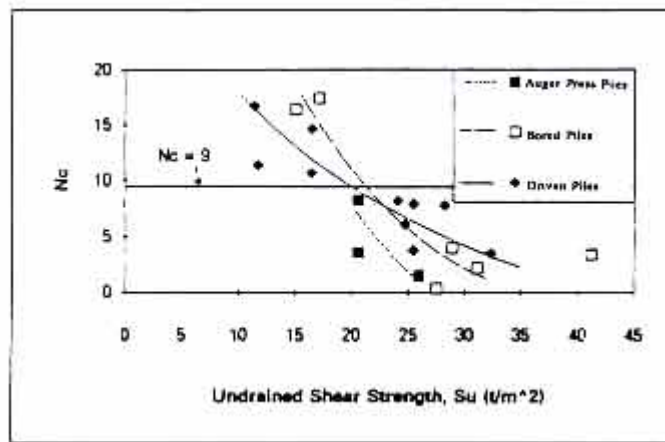
เมื่อเห็นผลการศึกษาแล้ว ท่านผู้อ่านคงมีข้อสงสัยว่าทำไมข้อมูลความสัมพันธ์ดังกล่าวทั้ง 4 อย่าง ถึงได้กระจกระบายค่อนข้างมากโดยเฉพาะกรณี ของดินทราย ซึ่งเกือบจะหา Trend ความสัมพันธ์อะไรไม่ได้เลย นี่แหละคือประเด็นที่ผู้เขียนใคร่ขอเน้นไว้เพื่อวิศวกรได้ทราบ และพึงสังวรณไว้ในการใช้ Chart ในทำนองนี้ในการคำนวณออกแบบ การที่ข้อมูลมีการกระจายมากนั้นถือว่าเป็นเรื่องปกติสำหรับการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับ คุณสมบัติดิน ซึ่งวิศวกรปฐพีทุกท่านคงทราบดีอยู่แล้ว สาเหตุคือ สภาพและคุณสมบัติชั้นดินนั้นแปรเปลี่ยนได้มาก และยากที่จะตรวจสอบได้แน่ชัด วิธีการทดสอบหาคุณสมบัติดินก็มีอยู่หลายวิธี ดังนั้นค่าที่ได้มักจะต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้และความชำนาญของคนที่ทดสอบ หลักปฏิบัติทั่วไปในการ ทดสอบกำลังของดินเหนียวแข็งและ

ทรายในกรุงเทพฯ คือ การทดสอบหาค่า SPT - N Value และนำไปประเมินหาค่า S_u ของดินเหนียว และ Q ของดินทราย การทดสอบมิได้หาค่าโดยตรง ดังนั้นความไม่แน่นอนในค่าที่ได้จึงมีอยู่เมื่อเริ่มแรกแล้ว ผลก็คือ การกระจายของข้อมูลความสัมพันธ์ ในรูปที่ 1 - 4 ดังกล่าว ซึ่งไม่ใช่สิ่งแปลก ดังนั้นเส้นความสัมพันธ์ที่เสนอใน Chart ทั้งสี่ คือ ค่าเฉลี่ยแนวโน้ม (Trend) ความสัมพันธ์เพื่อนำไปใช้ในการ คำนวณ เพื่อประมาณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเท่านั้น ผลจะใกล้เคียงกับความจริงแค่ไหน ขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของวิศวกร ผู้ออกแบบ คำแนะนำเรื่องกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่บริษัทจะสำรวจดินมักจะแถมให้ลูกค้า ก็ได้จากการคำนวณประมาณด้วยวิธีดังกล่าว ซึ่งคลาดเคลื่อนได้มากและขึ้นอยู่กับ Chart ที่เลือกใช้ด้วย แต่โดยปกติบริษัทจะให้ค่าที่ Conservative (ค่าในด้านต่ำ) เพราะไม่มีภาระรับผิดชอบตามกฎหมาย ตามหลักการที่ถูกต้อง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบจริงในสนาม ซึ่งในปัจจุบันมีทั้งวิธีแบบ Static Test และ Dynamic Test ซึ่งอย่างหลักให้ผลที่เชื่อถือได้เช่นกัน และมีข้อดีที่การทดสอบไม่ยุ่งยากเท่า ให้ผลรวดเร็ว แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นวิธีการทดสอบที่ให้ผลถูกต้องที่สุด ยังคงเป็น Static test อยู่

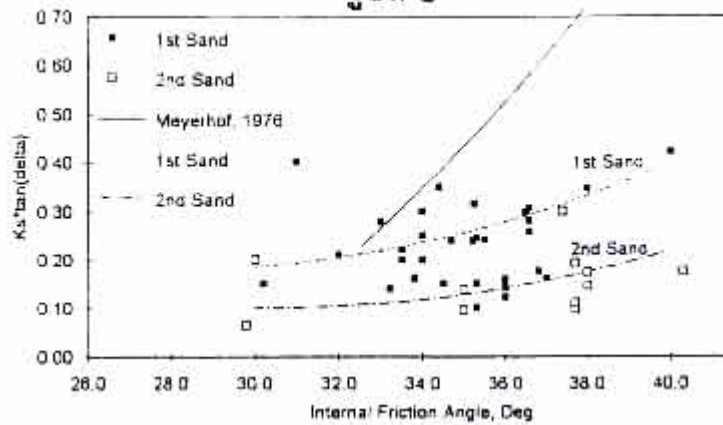
รูปที่ 1

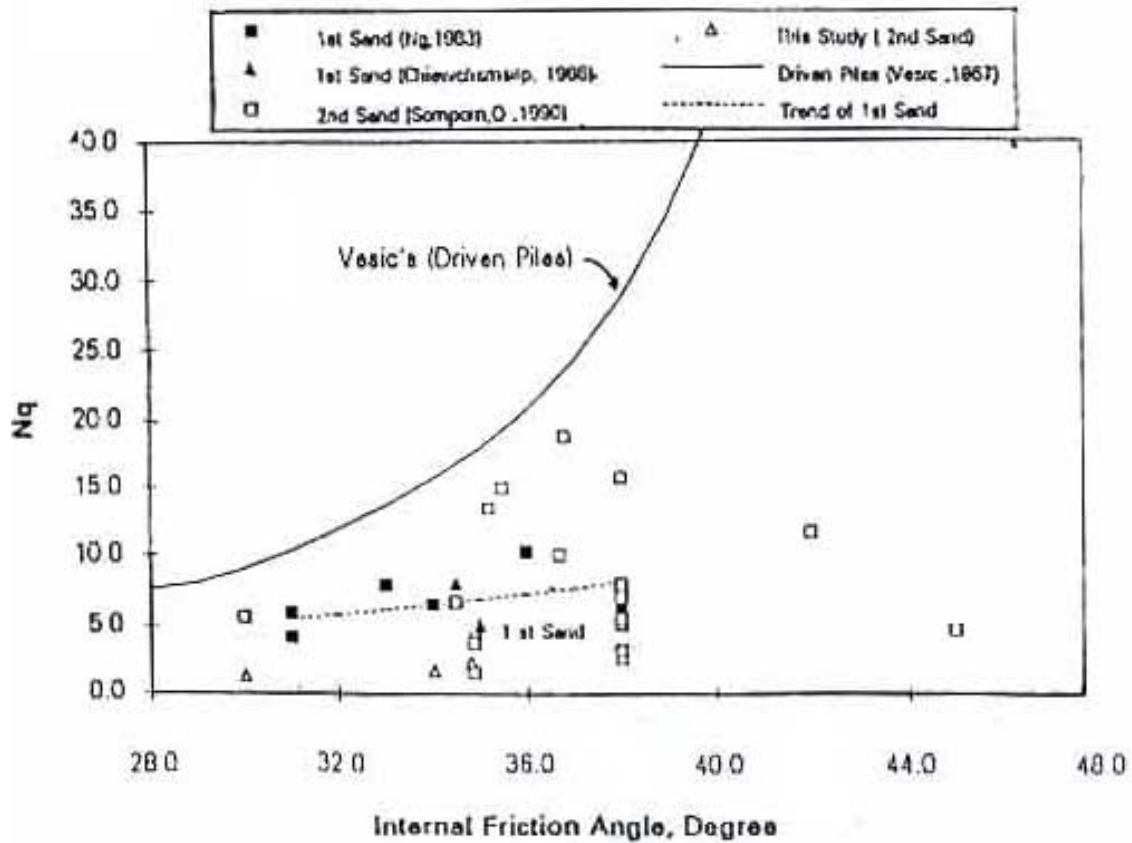


รูปที่ 2



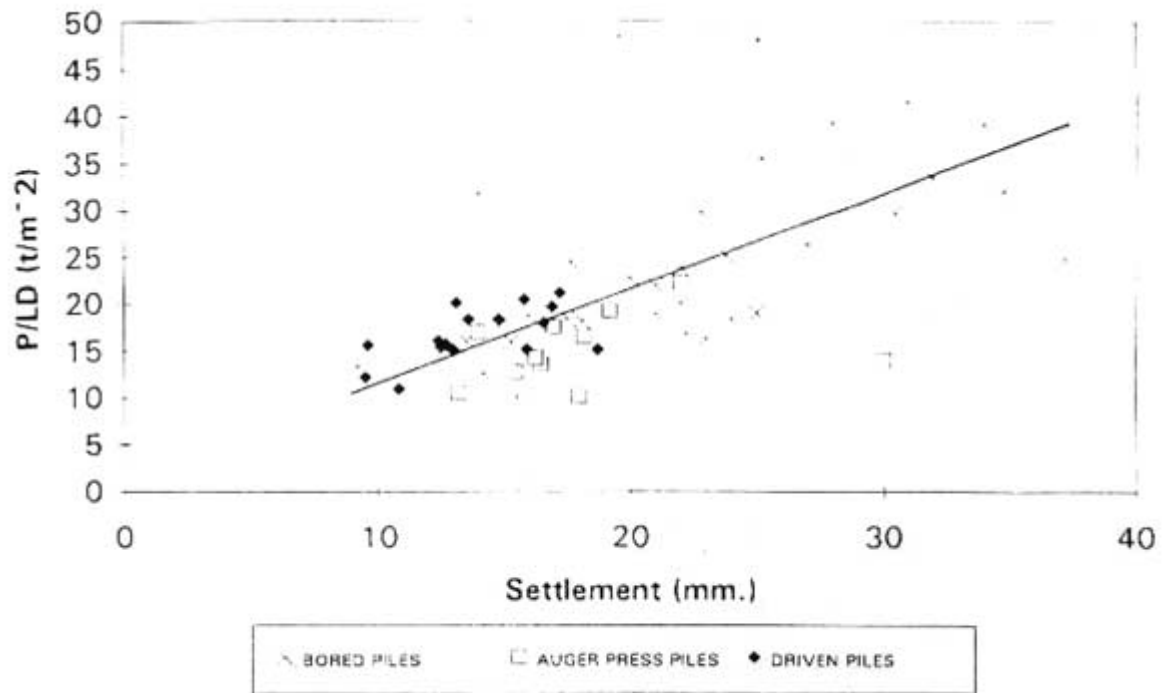
รูปที่ 3





รูปที่ 4

การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม นอกจากจะสามารถทราบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกแล้ว ยังสามารถทราบลักษณะและค่าการทรุดตัว (Settlement) ของเสาเข็มด้วย ซึ่งเป็นอีกสิ่งที่สำคัญ และจะต้องมีการคำนวณตรวจสอบด้วยทุกครั้งในการออกแบบฐานรากเพราะการทรุดตัวสามารถทำให้โครงสร้างแตกร้าววิบัติได้ แม้น้ำหนักบรรทุกในเสาเข็ม ยังคงอยู่ในระดับต่ำก็ตาม จากผลการทดสอบเสาเข็มที่รวบรวมได้ ผู้เขียนได้ลองหาความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว (S) ที่เกิดขึ้นที่กำลังรับน้ำหนักประลัย (P) เทียบกับความยาว (L) และขนาดกว้างหน้าตัด (D) เสาเข็ม ซึ่งพบแนวโน้มที่เด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งผู้อ่านอาจนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการประมาณการทรุดตัว ของฐานรากเสาเข็มเดี่ยวหรือกลุ่มได้ สำหรับเข็มกลุ่มจำนวนเข็มยิ่งมาก การทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกต่อต้นเท่ากันจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะต้องมีการคำนวณโดยวิศวกรฐานราก



รูปที่ 5

ภาคผนวก

การคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเสาเข็มด้วยวิธี Static

1. Skin Friction (q_s)

ในชั้นดินเหนียว

$$q_s = \alpha S_u$$

เมื่อ α = Adhesion Factor S_u = Undrained Shear Strength

ในชั้นทราย

$$q_s = \bar{\sigma}_v k_s \tan \delta$$

เมื่อ $\bar{\sigma}_v$ = Vertical Effective Stress k_s = ค่าสัมประสิทธิ์ความดันดิน At - rest δ = มุมเสียดทานระหว่างเชื่อมกับทราย2. End Bearing (q_b)

ชั้นดินเหนียว

$$q_b = N_c S_u$$

ในชั้นทราย

$$q_b = N_q \bar{\sigma}_v$$

เมื่อ N_c เมื่อ N_q คือ สัมประสิทธิ์กำลังรับน้ำหนักบรรทุก

บทที่ 3

วัตถุดิบและกระบวนการผลิตเสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูป

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตงานเสาเข็มคอนกรีต สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็นกลุ่มของวัตถุดิบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน และทราย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบที่มีความแตกต่างกันออกไปตามประเภทของสินค้าซึ่งได้แก่ เหล็กเสริม และลวดอัดแรง เป็นต้น

วัตถุดิบ (Raw Materials)

ซีเมนต์ (Cement)

มาตรฐานซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแบบตัน ชนิดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือ

- ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinal Portland Cement :Type1) เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตทั่วไป ซึ่งเป็นไปตามหลักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม 1-2547 ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ใช้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ตราช้าง เป็นต้น
- ประเภทที่ 2 ใช้ชนิดให้กำลังอัดเร็ว (High Early Strength Portland Cement : Type3) เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็ว และช่วยลดเวลาการบ่มลงได้ โดยที่ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนพอร์ตแลนด์ธรรมดา ซึ่งปูนซีเมนต์ที่ใช้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ตราช้างเอราวัณ ซึ่งเป็นไปตาม มอก.15

หิน (Coarse Aggregate)

มาตรฐานหินที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปแบบตัน โดยทั่วไปใช้หินขนาด 3/8 นิ้ว และควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus : FM.) อยู่ในช่วงระหว่าง 5.72-6.05 ซึ่งขนาดของหินอาจเปลี่ยนแปลงตามการออกแบบโดยให้อยู่ในดุลพินิจของวิศวกร แต่ต้องเป็นไปตาม มอก.566-2528

ทราย (Fine Aggregate)

มาตรฐานทรายที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus : FM.) อยู่ในช่วง 2.50-3.50



รูปแสดง : หิน – ทราย ที่ใช้ในการผลิต

ลวดเหล็กแรงดึงสูง (PC Wire)

มาตรฐานลวดเหล็กที่ใช้ในการผลิตแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงสำเร็จรูป มีขนาด 4 และ 5 มิลลิเมตร และจะต้องเป็นไปตาม มอก.95 และลวดอัดแรงชนิดตีเกลียว 7 เส้นขนาด 3/8 ,1/2 และ 3/5 นิ้ว



รูปแสดงรถดเหล็กแรงดึงสูงที่ใช้ในการผลิต

เครื่องจักรที่ในกระบวนการผลิต

เครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Mixing Machine)

1) Pan Type

เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ คือ Circular Pan และมีใบกวนติดอยู่กับแกน และจะหมุนรอบแกนที่ตั้งฉากกับแกนของ Pan Mixer บางชนิด Pan จะหมุน บางชนิดใบกวนจะหมุน และมีบางชนิดที่หมุนทั้ง 2 อย่างสวนทางกัน



ภาพแสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิด Pan Type

2) Drum Type

เครื่องผสมแบบนี้ ตัว Drum จะไม่เคลื่อนที่ มีเพียงใบกวนด้านในที่เคลื่อนที่ เครื่องผสมชนิดนี้ประกอบด้วย ตัว Drum ทรงกระบอกวางอยู่ในแนวนอนและมีเพลาวางตัวอยู่ในแนวนอน โดยมีใบกวนติดอยู่ซึ่งอาจเป็นเพลาดียวหรือเพลาคู



ภาพแสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิด Drum Type

รถลำเลียงคอนกรีต (Concrete Transfer Car)



รถที่ใช้ในการลำเลียงคอนกรีตเพื่อไปปล่อยลงเครื่องผลิตหรือแบบผลิต

เครื่องผสมคอนกรีต (Concrete Mixing Machine)

1) Pan Type

เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ คือ Circular Pan และมีใบกวนติดอยู่กับแกน และจะหมุนรอบแกนที่ตั้งฉากกับแกนของ Pan Mixer บางชนิด Pan จะหมุน บางชนิดใบกวนจะหมุน และมีบางชนิดที่หมุนทั้ง 2 อย่างสวนทางกัน



ภาพแสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิด Pan Type

2) Drum Type

เครื่องผสมแบบนี้ ตัว Drum จะไม่เคลื่อนที่ มีเพียงใบกวนด้านในที่เคลื่อนที่ เครื่องผสมชนิดนี้ประกอบด้วย ตัว Drum ทรงกระบอกวางอยู่ในแนวนอนและมีเพลาวางตัวอยู่ในแนวนอน โดยมีใบกวนติดอยู่ซึ่งอาจเป็นเพลาดียวหรือเพลาคู



ภาพแสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิด Drum Type

รถลำเลียงคอนกรีต (Concrete Transfer Car)



รถที่ใช้ในการลำเลียงคอนกรีตเพื่อไปปล่อยลงเครื่องผลิตหรือแบบผลิต

Over Head Crane



Over Head Crane ใช้สำหรับป้อนคอนกรีตและยกย้ายสินค้า

เครื่องตัด (Cutting Machine)



เครื่องตัดใช้สำหรับการตัดสินค้าเมื่อครบอายุบ่มของสินค้าที่กำหนด

เครื่องดึงลวด (Wire Stressing Machine)



เครื่องดึงลวดใช้สำหรับอัดแรงดึงเข้าสู่ลวดในการผลิตพื้นคอนกรีตระบบ Pre-Stress

รถลากวาง (Wire Placing Car)

รถลากวางใช้สำหรับลากวางเพื่อวางบนเบดผลิต

ชนิดของคอนกรีต (Type of Concrete Slump)

No Slump Concrete ใช้สำหรับกรณีการหล่อเสาเมประเภทที่ใช้เครื่องจักรประ Slide forming ในกระบวนการผลิต เช่น เสาเข็มที่ ,เสาเข็มไอ เป็นต้น



คอนกรีตชนิด No Slump

- กำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตเปียก
 - เหมาะกับการผลิตแผ่นพื้นคอนกรีต
- ชนิด Compact
- เนื้อคอนกรีตค่อนข้างแห้ง
 - ความสามารถในการขึ้นรูปต่ำ ต้องใช้การตบอัด เพื่อให้อยู่ตัวได้
 - ความสามารถในการไหลต่ำ



- ความสามารถในการไหลดีกว่า
- พื้นผิวเรียบ มั่น
- ใช้วิธีการจี้เขย่า เพื่อให้เกิดความแน่น

คอนกรีตชนิด Slump

ซึ่งประเภทของคอนกรีตที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้คอนกรีตในประเภทของ Slump Concrete ซึ่งสามารถใช้งานได้สะดวกกว่า และเป็นที่ยอมรับกว่า ซึ่งสามารถใช้ในการหล่อเสาเข็มได้ทั้งแบบแท่นผลิต และ Line การผลิต ซึ่งเหมาะกับงานเสาเข็มประเภทเสาเข็มเหล็กเหลี่ยมกลวง และเสาเข็มขนาดใหญ่ประเภทต่างๆ เป็นต้น

กระบวนการในการผลิต สามารถแยกออกได้ ดังนี้คือ

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตเสาเข็มคอนกรีตสามารถที่จะทำการจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. ระบบการผลิตแบบแท่นผลิต
2. ระบบการผลิตแบบ Line ผลิตสำหรับเสาเข็มเล็ก (Slide Forming)
3. ระบบการผลิตแบบ Line ผลิตสำหรับเสาเข็มใหญ่

1. ระบบการผลิตแบบแท่นผลิต

สามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตสินค้าประเภทเสาเข็มเหล็กเหลี่ยมกลวงขนาดความยาวตั้งแต่ 1- 6 ม. ซึ่งมีกระบวนการที่ใช้ในการผลิต ดังนี้ คือ

- 1.1 เตรียมแบบหล่อเสาเข็มให้เรียบร้อย โดยจะต้องทำการลงน้ำมันเคลือบแบบ เพื่อป้องกันปัญหาคอนกรีตติดกับตัวแบบ



รูปแสดงตัวอย่างของแบบหล่อเสาเข็ม

- 1.2 ทำการวางเหล็กเสริมตามขนาด และตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้นเทคอนกรีตที่ผสมตามอัตราส่วนที่เหมาะสมลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้



รูปแสดงตัวอย่างการเทคอนกรีต

- 1.3 ทำการเคลื่อนย้ายสินค้าจากคอนกรีตที่ Set ตัวแล้วออกจากแบบหล่อ



ตัวอย่างการเตรียมเคลื่อนย้ายสินค้าภายหลังจากคอนกรีต Set ตัวแล้ว

1.4 นำสินค้าที่เคลื่อนย้ายลำบากเข้าสู่พื้นที่ Stock ของสินค้า



รายละเอียดแสดงพื้นที่ Stock สินค้า

2 ระบบการผลิตแบบหล่อ Line การผลิตสำหรับเสาเข็มขนาดเล็ก

ใช้ในการผลิตเสาเข็มที่มีขนาดเล็กที่มีขนาดความยาวตั้งแต่ 1 - 6 เมตรขึ้นไป โดยส่วนจะเป็นเสาเข็มในกลุ่มของคอนกรีตอัดแรงชนิดหน้าตัดตัวไอ และตัวที ซึ่งมีกระบวนการที่ใช้ในการผลิต ดังนี้ คือ

2.1 การจัดเตรียมแบบหล่อ

2.1.1 การเตรียมน้ำมันเคลือบแบบหล่อคอนกรีต



รูปแสดง การผสมน้ำมันทาแบบหล่อ

ทำการเคลือบแบบหล่อเพื่อป้องกันเนื้อคอนกรีตติดกับแบบหล่อ

ทำการวางลวดอัดแรงตามจำนวน และขนาดให้ตรงกับความต้องการตามแบบที่กำหนด

ทำการเทคอนกรีตลงบนแบบหล่อ และใช้เครื่องจักรชนิด Slide Former ในการขึ้นรูปของสินค้าตาม ลักษณะดังรูป



รูปแสดงลักษณะของการขึ้นรูปของสินค้า

ทำการทิ้งสินค้าไว้เพื่อทำการบ่มอากาศ ประมาณ 24 ชม.จนกระทั่งคอนกรีตเริ่มมีการ Set ตัว จึงทำการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากแบบหล่อ



รูปแสดงลักษณะสินค้าที่ทำการบ่มอากาศ

ทำการลำเลียงสินค้าเก็บเข้าสู่พื้นที่ Stock ของสินค้า โดยแยกสินค้าออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ



รูปแสดงรายละเอียดของพื้นที่การ Stock เส้าเข็ม

3. ระบบการผลิตแบบหล่อ Line การผลิตสำหรับเส้าเข็มขนาดใหญ่

ใช้ในการผลิตเส้าเข็มที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ความยาว 6 เมตรขึ้นไป โดยอาจจะเป็นเส้าเข็มในกลุ่มของเส้าเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก และเส้าเข็มคอนกรีตอัดแรง ชนิดของหน้าตัดตัวไอ และหน้าตัดสี่เหลี่ยมซึ่งมีกระบวนการที่ใช้ในการผลิต ดังนี้ คือ

3.1 การจัดเตรียมแบบหล่อ

3.1.1 การเตรียมน้ำมันเคลือบแบบหล่อคอนกรีต



รูปแสดง การผสมน้ำมันทาแบบหล่อ

3.1.2 ทำการเคลือบแบบหล่อเพื่อป้องกันเนื้อคอนกรีตติดกับแบบหล่อ

ทำการวางลวดอัดแรง และเหล็กปลอก ตามจำนวน และขนาดให้ตรงกับความต้องการตามแบบที่กำหนด พร้อมทั้งใส่เหล็ก Plate หัวเสากรณีทำการผลิตเส้าเข็มชนิดต่อเชื่อม



รูปแสดงรายละเอียดการวางเหล็กปลอก



รูปแสดงรายละเอียดการเสริมลวดอัดแรง และการเสริมเหล็กปลอก



รูปแสดงรายละเอียดการติดตั้ง Pile Cap

3.3 ทำการเทคอนกรีตลงบนแบบหล่อ จนได้ปริมาณที่เหมาะสม พร้อมทั้งนำเครื่องจีเขย่าคอนกรีต มาช่วยในการเทคอนกรีตให้มีสัดส่วนคละที่เหมาะสม จากนั้นทำการปรับผิวของสินค้าให้เรียบ ในขณะที่คอนกรีตอยู่ในสภาพผิวยังมีความชื้นอยู่

3.4 ทำการบ่มเสาคementทิ้งไว้เวลานานประมาณ 1-2 วัน (แล้วแต่คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ใช้)



รูปแสดงรายละเอียดของงานเสาคementภายหลังจากการเทคอนกรีต และปรับผิวของสินค้า

3.5 ทำการเคลื่อนย้ายเสาคementที่คอนกรีต Set ตัวเรียบร้อยแล้ว ไปยังพื้นที่เก็บ Stock สินค้า โดยทำการจัดเรียงสินค้าแยกออกเป็นหมวดหมู่ต่างๆ



รูปแสดงลักษณะของการเคลื่อนย้ายเสาคement



รูปแสดงรายละเอียดการกองเก็บ Stock เสาค้ำด้านหน้างาน

บทที่ 4

กระบวนการทดสอบและการควบคุมคุณภาพ

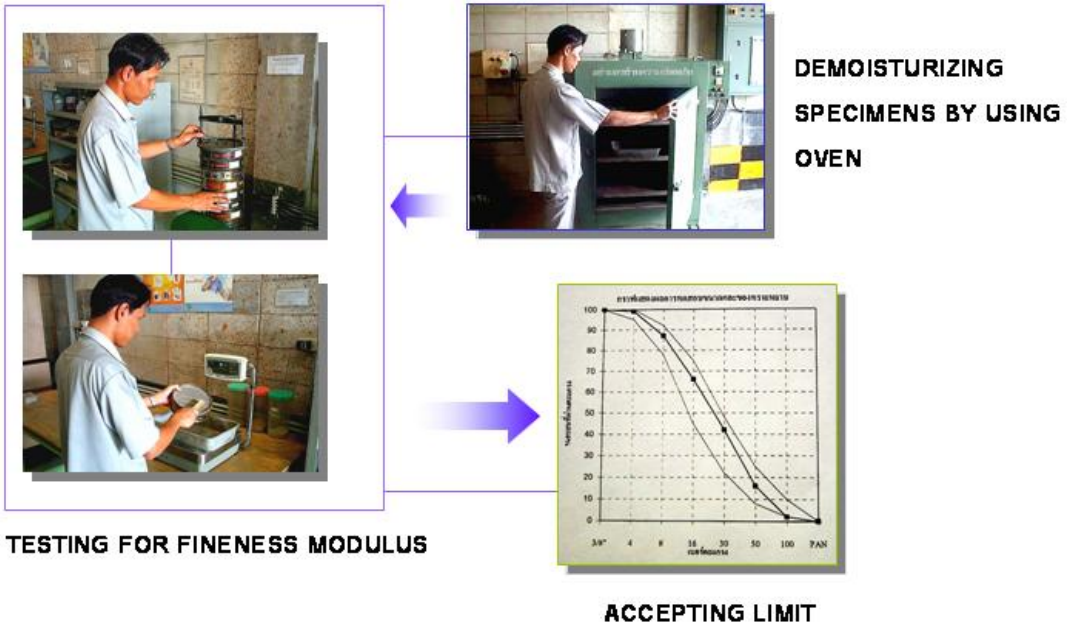
ในกระบวนการผลิตสินค้าในทุกประเภทมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการ กำหนดการ ทดสอบสินค้า และระบบการควบคุมคุณภาพของสินค้า เพื่อให้ได้สินค้าที่ตรงตามคุณภาพควบคุม เช่น มอก. เป็นต้น ดังตัวอย่างเช่น มอก.ที่มีการกำหนด สำหรับสินค้าในประเภทของกลุ่มงาน เสาค้ำ สามารถที่จะแยกออกได้เป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ เรื่องของคุณภาพของคอนกรีตที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้า และเรื่องของคุณภาพของสินค้าที่ทำการผลิต

1. การทดสอบขนาดละเอียดของหินและทราย (Sieve Analysis)

- การตรวจสอบหาขนาดละเอียดของหิน-ทราย ตามมาตรฐานที่ใช้ มอก. 566-2528

Quality Control

Sieve Analysis



อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ชุดตะแกรงมาตรฐานเพื่อทดสอบขนาดละเอียดของมวลรวม (ASTM C33)
- 2) เตาอบ
- 3) ตัวอย่างหิน-ทราย

วิธีการทดสอบ

- 1) นำตัวอย่างหินหรือทรายมาแบ่งด้วยวิธีการแบ่งออกเป็นสี่ส่วน (Quartering Method)
- 2) นำทรายไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 110 °c จนได้น้ำหนักคงที่
- 3) นำทรายที่อบแห้งไปผ่านชุดของตะแกรงมาตรฐาน ขนาดต่างๆ ดังนี้ คือ 3/8 นิ้ว (เพื่อทำการกรองขยะ หรือสิ่งสกปรกที่ผ่านมากับตัวอย่างหินทราย) ,ตะแกรงเบอร์ 4 ,8 ,16 ,30 ,50 และ 100
- 4) บันทึกน้ำหนักของทรายที่ค้างบนตะแกรงต่างๆ และคำนวณค่าร้อยละสะสมบนตะแกรงขนาดต่างๆ

2. กระบวนการตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีต

- การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ มาตรฐานที่ใช้ ตาม มอก. 1736 เล่ม 2-2542
- การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก มาตรฐานที่ใช้ ตาม มอก. 1736 เล่ม 2-2542

1. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ 15 x 15 x 15 ซม.
- 2) เหล็กดำ หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางนิ้ว
- 3) ช้อนตัก,เกรียงเหล็ก

วิธีทำการทดสอบ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆ กัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 35 ที
- 3) เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ

2. การทำก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) แบบหล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
- 2) เหล็กดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ปลายกลมมน
- 3) ช้อนตัก,เกรียงเหล็ก

วิธีทำการทดสอบ

- 1) ทำความสะอาดแบบหล่อตัวอย่าง แล้วทาน้ำมันที่ผิวภายในทุกด้าน
- 2) ตักคอนกรีตใส่แบบ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น เท่า ๆ กัน แต่ละชั้นตักด้วยเหล็กดำ 25 ที
- 3) เมื่อตักชั้นสุดท้ายเสร็จ ปาดผิวหน้าให้เรียบ เตรียมการ Cap

วัตถุประสงค์ของการ Cap ก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

- 1) เพื่อให้ผิวทั้ง 2 ด้าน ของตัวอย่างเรียบ
- 2) เพื่อให้แนวแกนแท่งตัวอย่างตั้งได้ฉากกับแนวราบหลังจาก Cap เสร็จเรียบร้อยและ
ก้ำมะถันแห้งดีแล้วก็สามารถนำก้อนตัวอย่างเข้าห้องทดสอบได้

วิธีการทดสอบ

- 1) นำก้อนตัวอย่าง วางกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่น

- 2) เปิดเครื่องทดสอบ โดย ในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กด ให้มีอัตราสม่ำเสมอ อัตราที่ใช้คือ 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
- 3) กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
- 4) นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ทั่วไปคือ

- 1) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)
- 2) นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²)

Quality Control

Testing for Compressive Strength



CURING & CAPPING



SPECIMENS PREPARING



PRESSING



3. การตรวจสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต

- การทดสอบภายใต้มาตรฐาน มอก. 828-2546

มอก. 828-2546 กำหนดให้มีการทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีตที่นำไปใช้ในการผลิต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) ชุดเครื่องมือมาตรฐานทดสอบ Vebe ที่ประกอบไปด้วย กรวยตัด และชุดเขย่ามาตรฐาน
- 2) แท่งดำคอนกรีต
- 3) นาฬิกาจับเวลา
- 4) ช้อนตัก , เครื่องเหล็ก

วิธีการทดสอบ

- 1) นำเครื่องวางบนพื้นที่เรียบ ได้ระนาบ และมั่นคง เอากรวย Slump วางลงในถังของเครื่อง หมุนกรวยบนมาวางประกบ
- 2) นำคอนกรีตสดแบ่งใส่ในกรวย เป็น 4 ชั้น แต่ละชั้นให้ทำการต่า 25 ครั้ง เสร็จแล้วยกกรวย Slump ออกอย่างระวัง



ภาพแสดงการดำคอนกรีตในกรวย
Slump

- 3) หมุนจานพลาสติกมาวางที่ผิวคอนกรีต ค่อยๆคลายสกรูที่แท่งยึดจานคอนกรีตอย่างช้าๆ วางจานที่ผิวคอนกรีต อ่านค่าที่ได้บนแท่งงานพลาสติกในหน่วย มิลลิเมตร



ภาพแสดงการเตรียมการทดสอบ

VB TEST

4) ตรวจสอบสกรูที่แท่งงานพลาสติกให้หลวมพอที่จะเลื่อนลงมาได้ง่าย เริ่มเปิดเครื่องเขย่าและจับเวลา สังเกตถ้าผิวคอนกรีตถูกกดทับจนเต็มหน้างานพลาสติกให้หยุดเครื่องเขย่าและหยุดเวลา บันทึกเวลาและค่าที่อ่านได้บนแท่งงานพลาสติกอีกครั้ง

หมายเหตุ - ช่วงเวลาที่อยู่ในช่วง VB Test คือ 5-30 วินาที ถ้าน้อยหรือมากกว่านี้ถือว่าอยู่นอกเหนือความชันเหลวของวิธี VB Test ซึ่งวิธีนี้ไม่ควรที่ใช้กับส่วนผสมคอนกรีตที่มีมวลรวมขนาดใหญ่เกิน 1 นิ้วครึ่ง นอกจากนี้การใช้ความชำนาญในการบอกถึงเวลาที่ผิวล่างของแผ่นแก้วสัมผัสคอนกรีต ทั้งทั้งแผ่น ทำให้เวลา Vebe ที่ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดสอบ

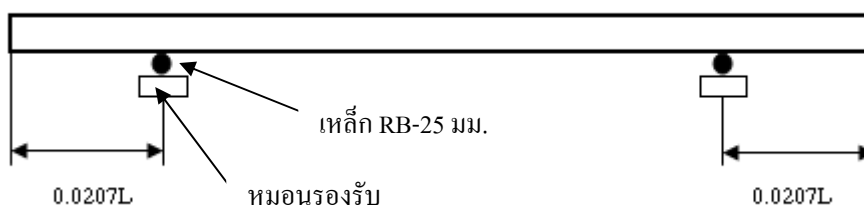
4. กระบวนการตรวจสอบแรงดิ่งลวด

ให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 95-2534 และมอก. 420 ซึ่งตรวจสอบจากใบรับรองคุณภาพ (Certificated) ของผู้ผลิต ซึ่งจะต้องมีการควบคุมในเรื่องของแรงดิ่งของลวดให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

5. กระบวนการทดสอบการรับแรงที่เกิดขึ้นจากการยกและแรงกระแทก

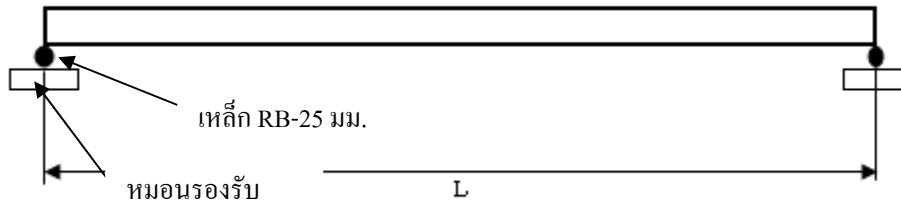
- ลักษณะการวางขึ้นทดสอบ

5.1 กรณีเสาเข็มที่มีจุดยก 2 จุด



รูปแสดงรายละเอียดการวางสินค้าทดสอบสำหรับกรณีเสาเข็มที่มีจุดยก 2 จุด

5.2 กรณีเสาเข็มที่มีจุดยกจุดเดียวตรงกึ่งกลางเสาเข็ม



รูปแสดงรายละเอียดการวางสินค้าทดสอบสำหรับกรณีเสาเข็มที่มีจุดยกจุดเดียวตรงกึ่งกลางเสาเข็ม

5.3 กรณีที่มีจุดยกจุดเดียวอยู่ข้างใดข้างหนึ่ง



รูปแสดงรายละเอียดการวางสินค้าทดสอบสำหรับกรณีที่มีจุดยกจุดเดียวอยู่ข้างใดข้างหนึ่ง

5.4 กรณีเสาเข็มที่ออกแบบไว้ให้มีจุดยกตั้งแต่สองจุดขึ้นไป ให้ทดสอบโดยการวางหมอนที่รอบตามจำนวนของจุดยก



รูปแสดงรายละเอียดการวางสินค้าทดสอบสำหรับกรณีเสาเข็มที่ออกแบบไว้ให้มีจุดยกตั้งแต่สองจุดขึ้นไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ตัวอย่างของเสาเข็มที่จะทำการทดสอบ
2. Dial Gauge
3. ก้อนน้ำหนักประมาณ 30% ของน้ำหนักของเสาเข็ม

วิธีที่ใช้ในการทดสอบ

2. ทำการวางเสาเข็ม โดยให้ด้านของเสาเข็มที่ออกแบบไว้สำหรับการรับแรงให้สัมผัสกับหมอนรองตามลักษณะตามรูปข้างต้น แล้วแต่ชนิดของเสาเข็ม
3. ทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุก บนพื้นของเสาตลอดความยาวของเสาเข็มจนกระทั่งถึงร้อยละ 30 ของน้ำหนักเสาเข็ม แล้วสังเกตระยะการทรุดตัว (Deflection) และลักษณะของรอยร้าว

สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

สภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นน้ำหนักถึงการใช้เสาเข็มตอก (driven piles) ซึ่งหากมิได้ระบุเป็นอย่างอื่นแล้ว ให้หมายถึงเสาเข็มชนิดนี้ การออกแบบเสาเข็มนั้นจะต้องมีจุดประสงค์ในบางส่วนหรือทั้งหมดของหัวข้อที่จะกล่าวต่อไปนี้ คือ

- ก. เพื่อเลือกใช้และออกแบบการใช้วัสดุในการทำเสาเข็มพร้อมกับเลือกใช้เครื่องมือในการตอกเสาเข็ม
- ข. เพื่อศึกษาสภาพการรับน้ำหนักของดินโดยอาศัยทฤษฎีทางกลศาสตร์ดินและให้เสาเข็มเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ถ่ายทอนน้ำหนักบรรทุกลงสู่ดิน

การประเมินสภาพการรับน้ำหนักของดินของเสาเข็มแยกออกได้เป็น 3 วิธีโดยการใช้

- (1) Static formula ซึ่งอาศัยข้อมูลจากการสำรวจดินและใช้หลักการทฤษฎีของกลศาสตร์ประเมินหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มโดยใช้สัดส่วนความปลอดภัยระหว่าง 2 ถึง 4 (นิยมใช้เท่ากับ 2.5) บางท่านก็ใช้สัดส่วนความปลอดภัยสำหรับแรงเสียดทานรอบเสาเข็มเท่ากับ 1.5 แต่ของแรงต้านทานส่วนปลายเท่ากับ 3.0
- (2) Dynamic formula โดยประเมินน้ำหนักบรรทุกประลัยจากพลังงานหรือโมเมนตัมที่เครื่องมือในการตอกได้ถ่ายทอนให้แก่เสาเข็มเพื่อส่งลงสู่ดินอีกทอดหนึ่ง เนื่องจากวิธีนี้มีตัวแปรอยู่มากและให้ข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้ค่อนข้างต่ำ สัดส่วนความปลอดภัยที่ใช้ส่วนมากจึงอยู่ระหว่าง 4 ถึง 6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสูตรสำเร็จที่นำมาใช้

- (3) Pile load test ซึ่งเป็นการทดสอบเสาเข็ม โดยทั้งขนาดเสาเข็มและสภาพของดินคล้ายคลึงกับที่จะนำมาใช้งานจริง วิธีนี้ให้ผลที่มีความเชื่อถือมากกว่าสองวิธีแรก ดังนั้นจึงใช้สัดส่วนความปลอดภัยระหว่าง 1.9 ถึง 2.0 ส่วนใหญ่ใช้เท่ากับ 2.0

สำหรับงานที่เป็นโครงการใหญ่ จะมีการสำรวจดินเพื่อนำข้อมูลมาหาขนาดและความยาวเสาเข็ม โดยใช้ static formula หลังจากได้เลือกใช้เครื่องมือตอกเสาเข็มที่เหมาะสมแล้วจะมีการบันทึกข้อมูลจากการตอกเสาเข็ม ซึ่งจะใช้ประเมินหาสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ dynamic formula หรืออาจจะใช้เป็นตัวกำหนดในการให้หยุดทำการตอกแล้วแต่กรณี ท้ายสุดจะมีการทดสอบเสาเข็มโดยให้รับน้ำหนักบรรทุกทุกตามที่ได้ประเมินไว้ เพื่อให้มั่นใจว่าหลักการที่ใช้ในการคำนวณนั้นพอเชื่อถือได้ หรืออาจใช้เป็นข้อตัดสินเมื่อวิธีอื่นๆ ให้ข้อมูลที่แตกต่างกันอยู่มาก สำหรับเสาเข็มจะนั้นจะใช้วิธีการประเมินโดยใช้ static formula แล้วมีการตรวจสอบโดยทำการทดสอบสภาพการรับน้ำหนักในสนามเสมอ

การประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ static formula

วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องทราบความหนาแน่นของดินและ shear strength parameters (γ : C, ϕ) ซึ่งมีการวิเคราะห์โดยใช้ทั้ง total (undrained) และ effective parameters แต่จะใช้ effective parameters มากกว่าเพราะควบคุมทั้งความแข็งแรงของดินและการทรุดตัว เช่นเดียวกับในฐานรากแบบพื้น การทดสอบหาคุณสมบัติของดินโดยการทำให้ triaxial test สำหรับเสาเข็มตอกนั้นให้ผลที่ละเอียดเกินไปและไม่คุ้มค่า เพราะขณะที่ตอกเสาเข็มลงในดิน ความชื้นและความแข็งแรงของดินจะเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินออกมาเป็นตัวเลขได้ยาก แต่จะให้ผลดีสำหรับเสาเข็มเจาะหรือเสาเข็มตอกที่มีการเจาะหลุมไว้ก่อน การทดสอบในสนามเช่นการทำ cone penetration test หรือ standard penetration test เป็นที่นิยมกันมากในการประเมินสภาพการรับน้ำหนักเสาเข็ม

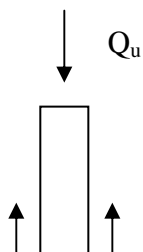
เมื่อมีน้ำหนักกดต่อเสาเข็ม (Q_u) จะมีแรงต้านทานส่วนปลาย (Q_b) และแรงเสียดทานด้านข้างรอบเสาเข็ม (Q_s) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.4 จากหลักการพื้นฐานของ static soil mechanics พอจะกล่าวได้ว่า

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

Q_u = ultimate pile capacity

Q_b = ultimate base (point) resistance

Q_s = ultimate skin friction (shaft resistance)



รูปที่ 5.4 การรับน้ำหนักเสาของเสาเข็ม

การประเมินสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ dynamic formula

ดังที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่าเสาเข็มตอกนั้น จะให้ผลกระทบกระเทือนต่อดินมากกว่าเสาเข็มชนิดอื่น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้และวิธีการตอก บางครั้งสภาพของดินก็ก่อให้เกิดปัญหาในการตอกเช่นดินที่มีกรวดขนาดใหญ่ปนอยู่มาก การเลือกใช้ประเภทของเสาเข็มและเทคนิคในการตอกนั้นนับว่าสำคัญมาก ข้อมูลที่ได้จากการตอกเสาเข็มสามารถนำมาใช้ประเมินหาสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ แต่ต้องใช้ด้วยความระมัดระวังเพราะมีตัวผันแปรอยู่มาก

ผลของการตอกเสาเข็ม

เสาเข็มที่ตอกลงในดินนั้นปริมาตรของเสาเข็มจะเข้าแทนที่ในดิน ทำให้ดินถูกเบียด ซึ่งมีทั้งในแนวตั้งและแนวราบ ในขณะที่เสาเข็มจมลงในดิน หลังจากเสร็จสิ้นการตอกแล้วจะพิจารณาให้แรงดิ่งในแนวราบของดินเพิ่มขึ้น ส่วนแรงในแนวตั้งซึ่งเป็นน้ำหนักของดินนั้นถือว่าคงที่ ปริมาตรของดินส่วนที่ถูกแทนที่นี้จะดันดินอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ อันอาจทำให้เกิดการพองตัวของผิวดิน (soil heave) หรืออาจทำให้เสาเข็มดันที่อยู่ข้างเคียงลอยตัวขึ้น (pile heave) หรือเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมไป ผลกระทบดังกล่าวร้ายแรงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ เทคนิคในการตอกและชนิดของดินซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุด

มาตรการที่ใช้ป้องกันหรือลดผลกระทบจากการตอกเสาเข็มนั้นมียุ่่มากขึ้นอยู่กับเทคนิคการก่อสร้างและเครื่องมือที่ใช้ อาจตอกเสาเข็มส่วนกลางของเสาเข็มกลุ่มก่อน แล้วกระจายออกโดยรอบ การขุดคูหรือคลองก็อาจช่วยลดการไหลของดินส่วนบนและลดการกระจายของคลื่นเสียงที่ผิวดิน บางครั้งก็ใช้วิธีเจาะดินให้เป็นรูก่อนแล้วค่อยตอกเสาเข็มเพื่อลดปริมาตรของเสาเข็มแทนที่ในดิน (preauger) หรืออาจเลือกใช้เสาเข็มกลาง เมื่อไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวได้แล้วก็จำเป็นต้องใช้เสาเข็มเจาะ ซึ่งจะทำให้งานล่าช้าลงบ้าง หรือค่าใช้จ่ายอาจสูงขึ้นเล็กน้อย

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (pile load test)

เป็นการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม ตามสภาพที่ใช้งานหรือตามความประสงค์อื่น เช่นหาความแข็งแรงของดิน เสาเข็มที่ทดสอบส่วนมากจะใช้ขนาดและวิธีการตอกเดียวกันกับที่ใช้งานจริง โดยจะทำการวัดการทรุดตัวของเสาเข็มตามน้ำหนักบรรทุกที่ประเมินไว้ และบางครั้งอาจทำการทดสอบด้วยน้ำหนักบรรทุกถึงการพังทลายของดิน แต่ส่วนใหญ่จะทดสอบถึงน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ใช้ในการออกแบบ แล้ววัดการทรุดตัวของเสาเข็ม ซึ่งหากไม่เกินขีดจำกัดก็แสดงว่าเสาเข็มนั้นรับน้ำหนักดังกล่าวนั้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่มีอยู่และเสาเข็มที่ทดสอบนั้นจะนำไปใช้งานต่อหรือทิ้งไป (working pile, test pile) วิธีการทดสอบนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งเป็นไปตามการพัฒนาการของเทคโนโลยีในการก่อสร้างเสาเข็ม หากทดสอบในดินเหนียวแล้วจะให้การทรุดตัวที่มีขึ้นจริงเพราะต้องทิ้งไว้เป็นเวลานานสำหรับ consolidation อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ของการทดสอบจะต้องอยู่ในข้อใดข้อหนึ่ง หรือทั้งหมดของหัวข้อต่อไปนี้

- (ก) เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยที่เสาเข็มรับได้ หรือ ultimate pile (load) capacity
- (ข) เพื่อหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว (load/settlement relationship)
- (ค) เพื่อแยกหาแรงต้านทานส่วนปลายและแรงเสียดทานรอบผิวของเสาเข็ม

สำหรับหัวข้อ (ข) นั้น เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน และสามารถนำไปตรวจสอบหาการทรุดตัวของเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ได้ออกแบบไว้ (design or working load) ซึ่งโดยปกติแล้วจะยอมให้ทรุดตัวได้ประมาณ 8-10 มิลลิเมตรหรือตามที่ได้ระบุไว้ในวิธีการทดสอบหรือตามแต่ที่ได้ระบุไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมการก่อสร้างในแต่ละแห่ง (ประเทศไทยยังไม่ได้กำหนดไว้ในพระบัญญัติที่ใช้ถึงปี 2527 นี้) ส่วนหัวข้อ (ค) นั้นเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาในรายละเอียดเป็นกรณีพิเศษ ซึ่งนิยมใช้กับเสาเข็มขนาดใหญ่ เช่นเสาเข็มเจาะ อนึ่ง หลังจากเสร็จสิ้นการตอกเสาเข็มแล้วควรทิ้งไว้ก่อนทำการทดสอบเป็นเวลา 30 ถึง 90 วัน (บางแห่งใช้ 14 วัน) เพื่อให้ดินเหนียวจึ้รอบผิวเข็ม การทดสอบทั่วไปจะเป็นการหา compression, uplift, lateral and torsion load แต่มักจะทดสอบในกรณีแรกมากกว่า ปัญหาที่มักพบในการทดสอบนั้น คือการหาน้ำหนักมาถ่วง หรือทำการยึดเป็นแรงปฏิกิริยา จากการคาน้ำหนักลงสู่เสาเข็ม เพราะส่วนใหญ่จะมี

ค่าสูงมากตามน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้สำหรับเสาเข็ม รูปที่ 5.17 แสดงถึงการจัดรูปแบบของการทดสอบแต่ที่นิยมใช้กันมากนั้นเป็นการใช้ anchor piles (5.17 d) ซึ่งอาจเป็นเสาเข็มที่อยู่ในฐานรากเดียวกัน หรือทำขึ้นเพิ่มเติมโดยเฉพาะ

วิธีการทดสอบเสาเข็ม

ด้วยเหตุที่การทดสอบเสาเข็มต้องกระทำในภาคสนาม โดยใช้เวลามากทั้งในการติดตั้งเครื่องมือและดำเนินการทดสอบ วิธีการทดสอบต่าง ๆ จึงได้มีการปรับปรุงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการใช้งานโดยใช้เวลาทดสอบพอสมควร วิธีการทดสอบที่พบว่าใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้ (ASTM D1143-81)

- (a) Slow maintain load test (slow ML test)
- (b) Constant rate of penetration test (CRP test)
- (c) Cyclic load test
- (d) Method of equilibrium

ควรระลึกไว้เสมอว่า การทดสอบตามวิธีดังกล่าวข้างต้นนั้นเป็นการทดสอบของเสาเข็มเดี่ยว (single pile) ต้องนำไปประยุกต์ใช้กับเสาเข็มกลุ่มด้วยความระมัดระวัง เพราะการกระจายของแรงในชั้นดินที่ลึกลงไปนั้นไม่เท่ากัน บางครั้งอาจจะไม่สามารถนำผลที่ได้ไปใช้กับเสาเข็มกลุ่ม ดังนั้นจึงควรจะนำไปใช้พิจารณาร่วมกับข้อมูลอื่น เช่นการสำรวจดิน ขนาดของเสาเข็มที่จะกล่าวในวิธีการทดสอบต่อไปนี้ หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มกลมหรือเส้นทแยงมุมของเสาเข็มรูปทรงเหลี่ยม

- (a) Slow maintain load test

เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปในการหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักที่กดลงบนเสาเข็ม และการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ลำดับขั้นตอนและข้อสังเกตในการทดสอบมีดังนี้

- ระยะระหว่าง anchor pile และ test pile ไม่ควรน้อยกว่า 1.5 ถึง 2.0 เมตร หรือ 3 ถึง 5 เท่าของขนาดเสาเข็ม
- ตัดหัวเสาเข็มและหล่อด้วยวัสดุที่แข็งแรงให้ได้ระดับในแนวราบ วางแผ่นเหล็กบนหัวเสาเข็มติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัวของเสาเข็ม
- เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็นช่วง ๆ ละหนึ่งในห้าเท่าของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่ยอมให้ใช้ หรือที่ออกแบบไว้ น้ำหนักทดสอบสูงสุดเท่ากับสองเท่าของน้ำหนักปลอดภัย (25,50,75,100,125,150,175,200% ของ design หรือ working load)

- จะเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งก็ต่อเมื่ออัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.01 นิ้วต่อชั่วโมง แต่ต้องไม่มากกว่า 2 ชั่วโมง (ประมาณไว้ว่าเวลา 2 ชั่วโมงนั้นเพียงพอสำหรับ consolidation settlement)
- ให้บันทึกปริมาณการทรุดตัวหลังจากเพิ่มน้ำหนักแล้วทันทีและเมื่อเวลาผ่านไป แล้ว 2, 5, 10, 15, 30, 60 นาทีและทุก ๆ 2 ชั่วโมง
- เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด (2 เท่าของน้ำหนักปลอดภัย) ให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือมากกว่าเมื่อจำเป็นเนื่องจากมีอัตราการทรุดตัวสูง (หากทรุดตัวน้อยกว่า 0.01 นิ้วต่อชั่วโมงก็อาจทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง) โดยให้บันทึกการทรุดตัวไว้ตลอดทุก 2 ชั่วโมง (การทดสอบอีกวิธีหนึ่งนั้นให้ทิ้งเวลาสำหรับทุกครั้งเมื่อเพิ่มน้ำหนักไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งนิยมใช้ 1 ชั่วโมง และควรบันทึกการทรุดตัวไว้ไม่น้อยกว่า 3 ครั้งในแต่ละช่วง)
- ให้ทำการลดน้ำหนักลงเป็น 75, 50, 25, 10 และ 0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทดสอบสูงสุด พร้อมกับบันทึกการทรุดตัวครั้งสุดท้าย โดยให้ทิ้งเวลาแต่ละครั้งไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที (นิยมใช้ 1 ชั่วโมง) และเมื่อถอนน้ำหนักออกหมดแล้วให้ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง(มาตรฐานการทดสอบบางแห่งนั้นใช้น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 2.5 ถึง 3.0 เท่าของน้ำหนักปลอดภัย หรือทำการเพิ่มน้ำหนักจนกระทั่งการทรุดตัวถึง 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม)

(b) Constant rate of penetration test

นิยมเรียกกันว่า CRP test ดำเนินการและพัฒนาขึ้นโดย WHITAKER (1957,1963, 1970) โดยทำการทดสอบทั้งแบบจำลองของเสาเข็มและเสาเข็มจริง เป็นการทดสอบเพื่อหาน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มและทดสอบได้เร็วกว่าวิธีแรกมาก เหมาะสมสำหรับดินเหนียวแต่ก็ใช้ได้ทั่วไป

- เสาเข็มจะถูกกดลงด้วยอัตราการจมที่สม่ำเสมอระหว่าง 0.5 ถึง 3.5 มิลลิเมตรต่อ นาที โดยทั่วไปใช้ 0.25 ถึง 1.25 (ควรใช้ 1) มิลลิเมตรต่อนาทีสำหรับ friction pile และ 0.75 ถึง 2.5 (ควรใช้ 2) มิลลิเมตรต่อนาทีสำหรับ end-bearing pile
- บันทึกน้ำหนักและการทรุดตัวทุก 1 ถึง 2 นาที หรือที่เหมาะสมจนกว่าเสาเข็มพิบัติ หลังจากนั้นให้บันทึกทุก 5 นาที จนสิ้นสุดการทดสอบ โดยเสาเข็มต้องจมลงในดินไม่น้อยกว่า 10 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็มสำหรับ friction และ end-bearing pile ตามลำดับ (หรือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์โดยทั่วไป)
- น้ำหนักบรรทุกประลัยหาได้จากค่าสูงสุดหรือจุดที่เริ่มมีอัตราการจมคงที่ของการพล็อตระหว่างน้ำหนักที่กดเสาเข็มและระยะการจมลงของเสาเข็ม ในกรณีที่ไม

สามารถหาได้นั้น WHITAKER (1970) แนะนำให้หาค่าหน้าหนักบรรทุกที่ทำให้เสาเข็มจมลง 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม

- ควรใช้แม่แรงที่มีระยะชักเพียงพอต่อการลอยขึ้นของที่ยึดแรงปฏิกิริยา (75 และ 25 มิลลิเมตรสำหรับการจัดน้ำหนักตามรูป 5.17 c และ d ตามลำดับ) โดยระยะการจมของเสาเข็ม (25 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็มสำหรับ end-bearing และ friction pile ตามลำดับ) ซึ่งประมาณได้เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของขนาดเสาเข็ม แม่แรงควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 200 ตัน

(c) Cyclic load test

เป็นการทดสอบเพื่อแยกหาแรงต้านทานส่วนปลาย และแรงเสียดทานรอบเสาเข็ม โดยมีผู้ได้ศึกษา เช่น VAN WEELE (1957) , BROMS (1972) ซึ่งต่อมา ASTM ได้บรรจุเป็นการทดสอบมาตรฐานในปี 1981 ข้อ 5.2 ขั้นตอนการทดสอบโดยสรุปมี ดังนี้

- เพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 25, 50 , 75, 100, 125, 150, 175, 200 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลอดภัยที่ยอมให้ใช้หรือน้ำหนักที่ออกแบบไว้ โดยน้ำหนักแรกสุดให้ทำตามวิธีการเดียวกันกับข้อ (a) ที่น้ำหนักบรรทุก 50, 100 และ 150 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักออกแบบให้ทิ้งน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมง แล้วถอนน้ำหนักส่วนที่เพิ่มนั้น ออกกลับไปน้ำหนักเดิมก่อนหน้านั้น ทิ้งไว้ 20 นาที เพิ่มน้ำหนักอีก 50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักออกแบบ ทิ้งไว้ 20 นาที เพิ่มน้ำหนักอื่นต่อไป (25% น้ำหนักออกแบบ) และทำการทดสอบตามข้อ (a)
- การทดสอบลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างในรายละเอียดกับวิธีของ ASTM ดังกล่าวข้างต้นนั้น ได้มีผู้พยายามศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้ออกมาเช่นเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปลอดภัย เมื่ออัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ให้ลดน้ำหนักไปที่เดิมและเพิ่มน้ำหนักกลับคืนโดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ที่เวลาสำหรับถอนและใส่น้ำหนักระหว่าง 10 ถึง 15 นาที (บางแห่งควบคุมด้วยอัตรา 0.05 มิลลิเมตรต่อ 10 นาที) หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักให้สูงขึ้นและทำการทดสอบถึงน้ำหนักสูงสุดประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักปลอดภัยหรือขีดกำหนดของการทรุดตัว

(d) Method of equilibrium

เป็นการทดสอบที่เร็วและใช้เวลาในการทดสอบประมาณหนึ่งในสามของการทดสอบกรณีแรกสุด (วิธี a) MOHANB et al (1967) เป็นผู้ริเริ่มใช้ในการทดสอบแต่ปัจจุบันนี้ยังไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐานของ ASTM

- เพิ่มน้ำหนักแต่ละช่วงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลอดภัย หรือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกประลัย โดยใช้เวลาในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งประมาณ 3 ถึง 5 นาที เมื่อถึงน้ำหนักที่ต้องการแล้วให้กดด้วยน้ำหนักคงที่เป็นเวลา 5 นาที (10 ถึง 15 นาทีสำหรับน้ำหนักสูง) ปล่อยให้น้ำหนักลดลงเองตามระยะการจมของเสาเข็มจนกระทั่งถึงสถานะสมดุลย์ (ในเวลาไม่มากนัก) หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักอื่น ๆ ต่อไปจนถึงน้ำหนักทดสอบสูงสุด

จะเห็นได้ว่าวิธีการทดสอบสภาพการรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้นมีอยู่หลายวิธี วิธีที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการทดสอบและสภาพของเครื่องมือที่มีอยู่ ที่พบว่าใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้นคือ slow maintain load test และ cyclic load test อย่างไรก็ตามจุดสำคัญที่ต้องพิจารณาให้มากที่สุดนั้นเป็นการประเมินหาน้ำหนักปลอดภัยจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ตัวอย่างการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (Seismic Integrity Test)

การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

การทดสอบความสมบูรณ์เสาเข็ม (Seismic Integrity Test) มีจุดประสงค์เพื่อประเมินสภาพความสมบูรณ์ตลอดความยาวของ เสาเข็ม การทดสอบวิธีนี้เป็น การทดสอบที่สะดวก , รวดเร็ว , และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ จึงเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับใช้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ในขั้นต้น (Preliminary test) หากตรวจสอบพบสภาพบกพร่องที่เกิดขึ้น จึงกำหนดวิธีทดสอบอื่น ๆ ประกอบกับพิจารณาหรือดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขต่อไป การทดสอบนี้สามารถดำเนินการได้ทั้งในเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงและเสาเข็มเจาะหล่อในที่

ผลการทดสอบนี้จะระบุถึงข้อบกพร่องต่าง ๆ อาทิเช่น รอยแตกร้าว (Crack) โพรงหรือช่องว่าง (Void) รอยคอด (Size reduction) หรือบวม (Size increase) ของเสาเข็ม เป็นต้น

เครื่องมือทดสอบ

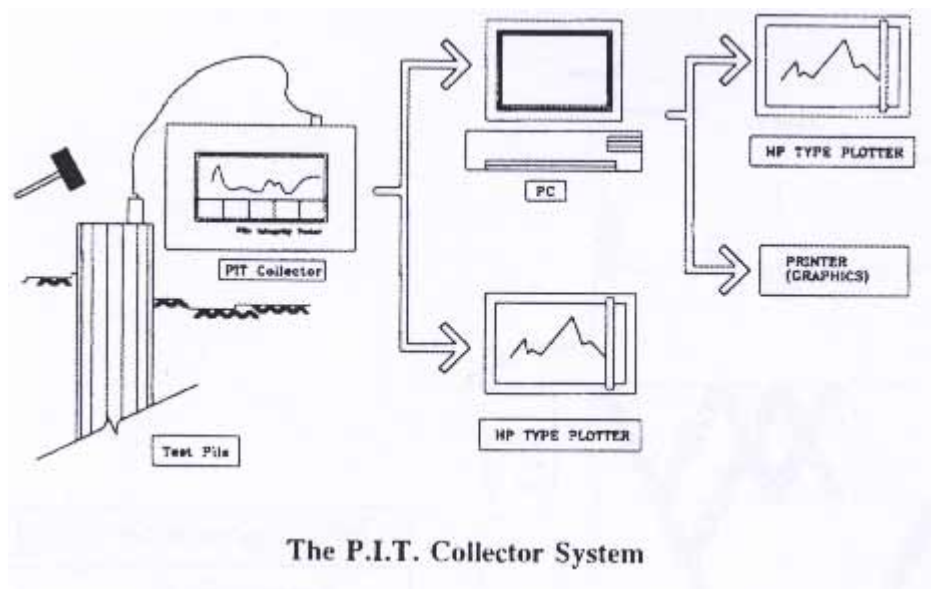
เครื่องมือทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มนั้นเป็นเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อการทดสอบดังกล่าว มีขนาดเล็ก , น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพสูง ประกอบด้วย

- ฆ้อนทดสอบ (Hand-Held Hammer)

- เครื่อง Pile Integrity Tester รุ่น Collector
- หัววัดสัญญาณคลื่นความเค้น (Accelerometer Transducer)

วิธีการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจากการติดตั้งหัววัดสัญญาณคลื่นความเค้น (Accelerometer Transducer) บนหัวเสาเข็มซึ่งต้องการทดสอบโดยหัวเสาเข็มที่ดี ควรจะอยู่ในสภาพที่สะอาด ไม่มีน้ำขังหรือมีเศษดินปกคลุมอยู่ จากนั้นเคาะหัวเสาเข็มดังกล่าวด้วยมือทดสอบ (Hand-Held Hammer) คลื่นความเค้นอัด (Compression Stress wave) ที่เกิดจากการเคาะดังกล่าวจะวิ่งผ่านลงไปในตัวเสาเข็ม และจะสะท้อนกลับขึ้นมาเพื่อพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด หรือพบการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตหรือเมื่อพบปลายเสาเข็ม คลื่นความเค้นที่สะท้อนกลับขึ้นมา ณ จุดต่าง ๆ ดังกล่าวจะถูกตรวจจับด้วยหัววัดสัญญาณข้างต้น และถูกส่งไปยังเครื่อง Pile Integrity Tester (PIT) เพื่อเปลี่ยนค่าคลื่นสัญญาณความเร่ง (Acceleration Signal) เป็นคลื่นสัญญาณความเร็ว (Velocity Signal) ก่อนแสดงผลที่หน้าจอทดสอบและบันทึกไว้ ในหน่วยความจำของเครื่องทดสอบดังกล่าว เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลในรายละเอียดต่อไป ซึ่งลักษณะการทำงานโดยภาพรวมของการทดสอบ ดังแสดงไว้ดังรูป



การประมวลผลการทดสอบ

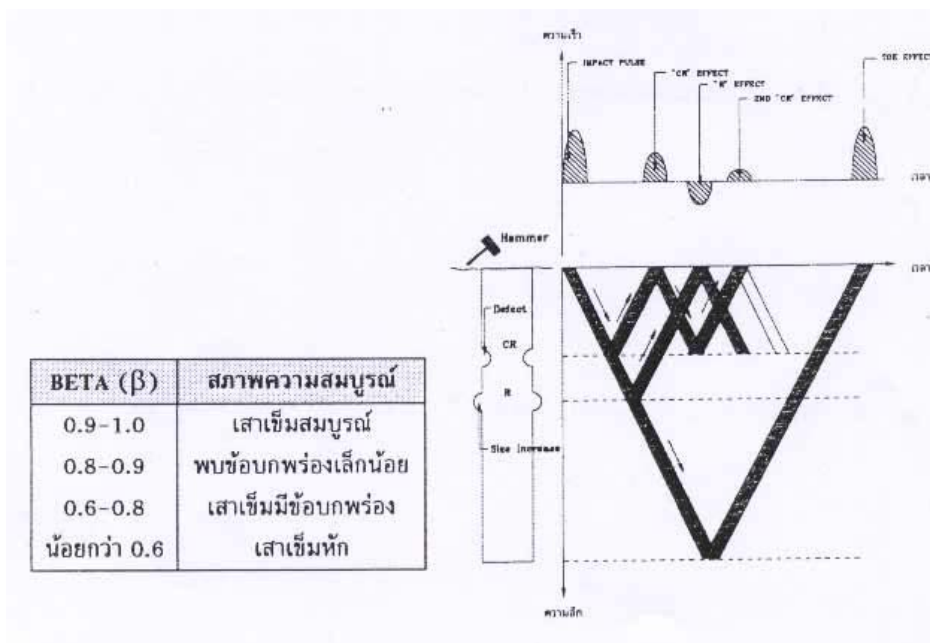
กราฟคลื่นสัญญาณระหว่างความเร็วกับเวลา (Velocity trace) จะถูกนำมาวิเคราะห์และประเมินสภาพความสมบูรณ์ของเสาเข็ม โดยถ้าพบคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับในรูปของคลื่นแรงดึง (Tension Wave) หรือกราฟความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ณ จุดใด ๆ ตามความยาวของเสาเข็มทดสอบ

แสดงว่าเสาเข็มมีขนาดพื้นที่หน้าตัด หรือค่าความหนาแน่นลดลง ณ จุดนั้น ในทำนองเดียวกันถ้าพบคลื่นแรงอัด (Compression Wave) หรือกราฟความเร็วมีค่าลดลงแสดงว่าเสาเข็มมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น ถ้าไม่พบคลื่นสัญญาณสะท้อนกลับใด ๆ ที่กล่าวข้างต้น จนกระทั่งปลายเสาเข็ม แสดงว่าเสาเข็มมีสภาพสมบูรณ์ ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถประเมินได้คร่าว ๆ จากค่าดัชนี แสดงความสมบูรณ์ (Integrity factor) หรือที่เรียกว่า BETA ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า อิมพีแดนซ์ (Z) ของพื้นที่หน้าตัด ที่พบการเปลี่ยนแปลง (Z2) เทียบกับพื้นที่หน้าตัดที่สมบูรณ์ (Z1)

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{A_2}{A_1}, (Z = \frac{EA}{C})$$

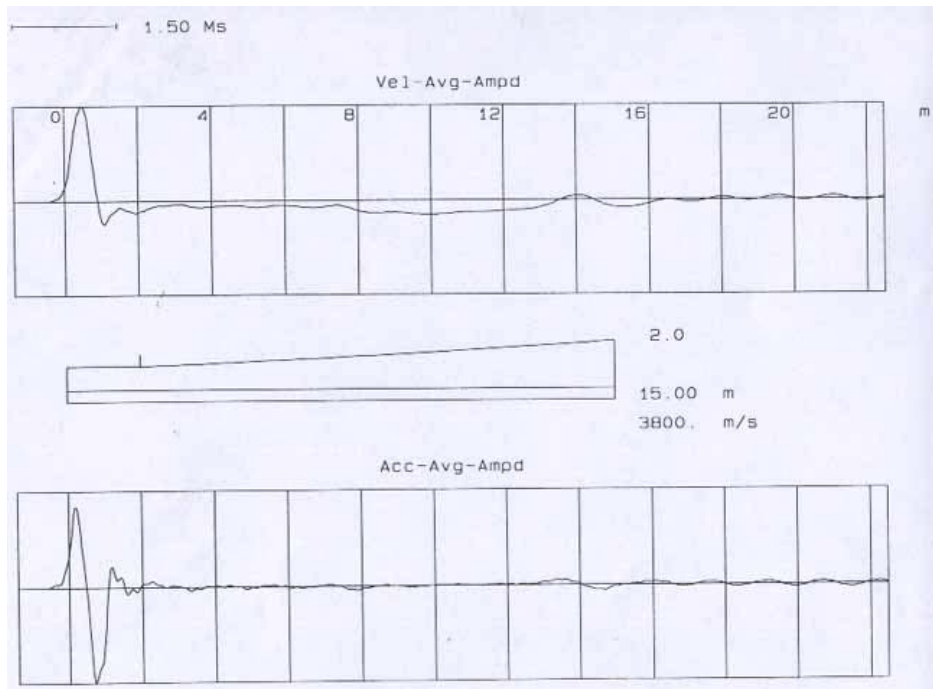
เมื่อ E = Elastic Modulus ของคอนกรีต
 A = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
 C = ค่าความเร็วคลื่นความเค้น

นอกจากนี้ค่า BETA ยังเป็นดัชนีประเมินระดับความเสียหายของเสาเข็ม (Degree of Damage) โดยพิจารณาตามตารางข้างท้ายนี้

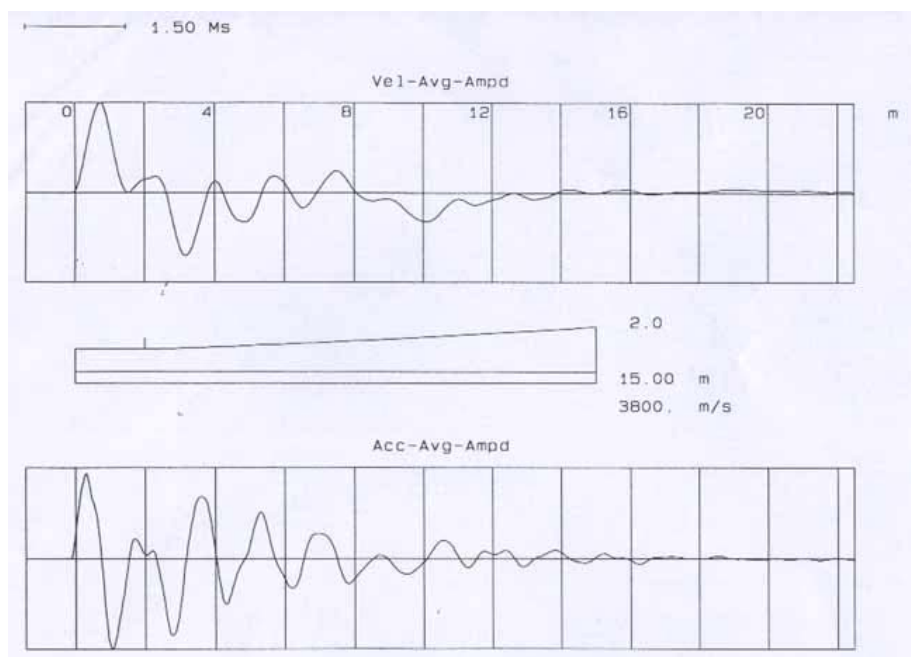


การประเมินค่าดัชนีความสมบูรณ์ของเสาเข็ม (BETA) สามารถหาได้จากโปรแกรม PIT-program หรือ PITWAVE-program.

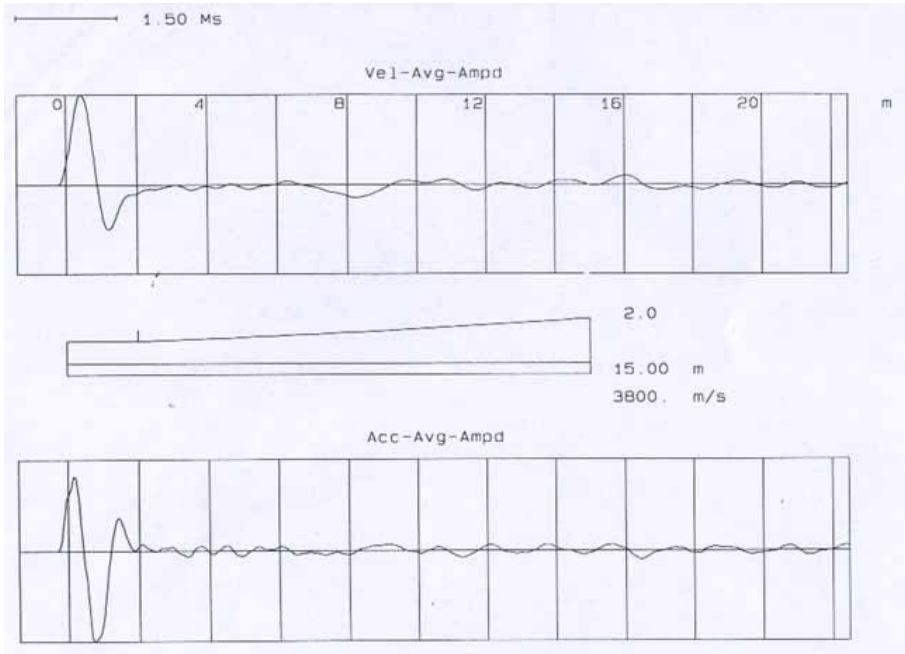
ตัวอย่างคลื่นสัญญาณ



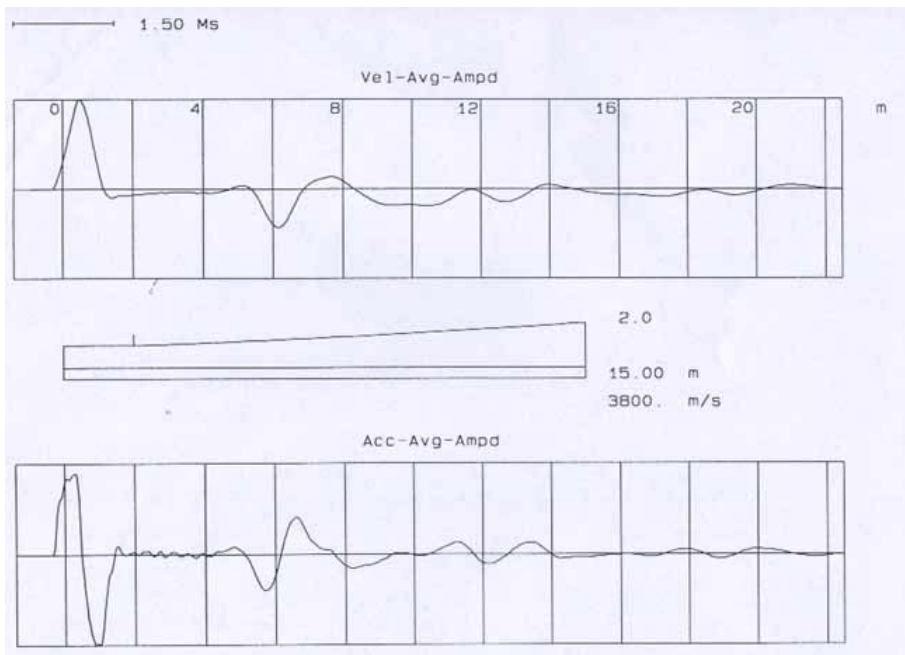
รูปที่ 1 คลื่นสัญญาณ แสดงว่า สภาพเสาเข็มสมบูรณ์



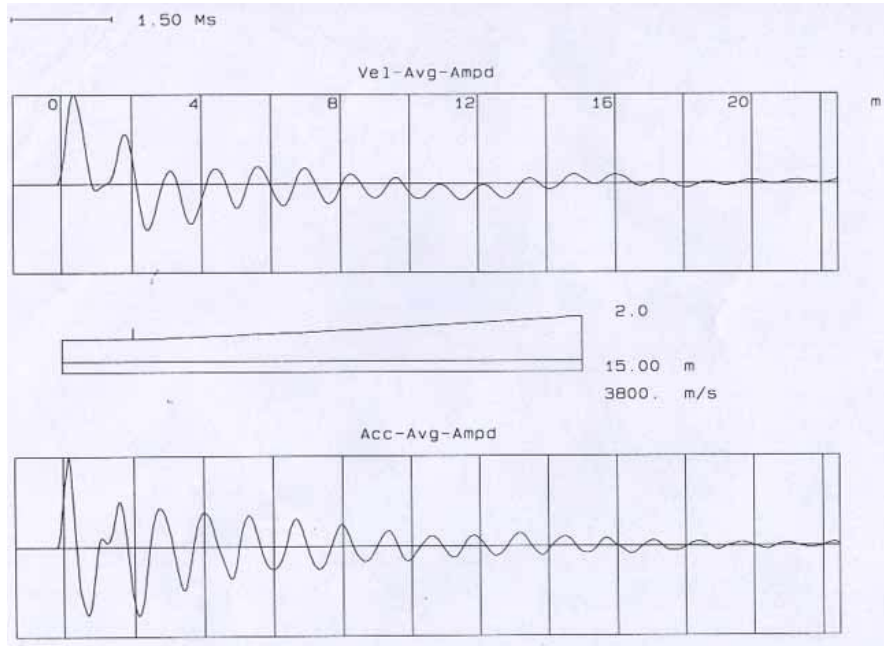
รูปที่ 2 คลื่นสัญญาณ แสดงว่า พบสภาพบกร่องเล็กน้อยที่ระดับความลึก 1.70 เมตร



รูปที่ 3 คลื่นสัญญาณ แสดงว่า ขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความลึก 8.50 เมตร



รูปที่ 4 คลื่นสัญญาณ แสดงว่า ขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ระดับความลึก 6.00 เมตร



รูปที่ 5 คลื่นสัญญาณ แสดงว่า พบสภาพบกพร่องที่ระดับความลึก 1.50 เมตร

บทที่ 5

วิธีการขนส่ง และขั้นตอนการติดตั้งงานเสาเข็มคอนกรีต

ปัญหาเรื่องของความเสียหายของงานสินค้ากลุ่มของเสาเข็มคอนกรีต จัดได้ว่าส่วนใหญ่มาจากกระบวนการที่เกิดขึ้นจากงานขนส่งและติดตั้ง เนื่องจากว่าในการออกแบบเรื่องของงานเสาเข็มส่วนใหญ่จะทำการออกแบบมาเพื่อที่จะทำการรองรับเรื่องของระบบการขนส่ง และการติดตั้ง ซึ่งสังเกตได้จากการวิเคราะห์จากในเรื่องของค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นสูงสุดมาใช้ในการออกแบบปริมาณของเสริมลวดอัดแรง หรือเหล็กเสริมคอนกรีต

ระบบการขนส่งสินค้า

กระบวนการขนส่งสินค้า สามารถที่จะทำการจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

1. การขนส่งโดยใช้รถ 6 ล้อ ขนาดเล็ก
2. การขนส่งโดยใช้รถ 6 ล้อ ติด Hiab

3. การขนส่งโดยใช้รถ Trailer



รูป การขนส่งโดยใช้รถ 6 ล้อ ขนาดเล็ก



การขนส่งโดยใช้รถ 6 ล้อ ติด Hiab



การขนส่งโดยใช้รถ Trailer

รูปแบบการขนส่งและการเก็บ Stock สินค้า สามารถแสดงรายละเอียด ได้ดังนี้ คือ

ระบบการขนส่งและทำการเคลื่อนย้ายสินค้างานเสาเข็มสามารถที่จะทำการเคลื่อนย้ายโดยการใช้รถคสลึง เกี่ยวกับหูกเกี่ยว เพื่อที่จะทำการลำเลียงสินค้า ตามลักษณะ ดังรูป



รูปแสดง ลักษณะการเคลื่อนย้ายแผ่นพื้น

จากนั้นทำการลำเลียงเสาเข็ม ไปไว้ในที่กองเก็บทั้งในตัวโรงงาน และพื้นที่ด้านหน้างานก่อสร้าง โดยพื้นที่รองรับเสาเข็มจะต้องเป็นพื้นดินที่อัดแน่น และเรียบ โดยที่สามารถรองรับเรื่องของน้ำหนักของสินค้าได้



รูปแสดงลักษณะการกองเก็บเสาเข็ม

กระบวนการติดตั้งเสาเข็ม

กระบวนการที่ใช้ในการติดตั้งงานเสาเข็ม สามารถที่จะดำเนินการได้ 3 วิธี ซึ่งสามารถที่จะเลือกใช้แยกออกตามประเภทของงานได้ ดังนี้คือ

1. การตอกเสาเข็มโดยใช้แรงคนกระแทก เป็นการตอกเสาเข็มที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็มขนาดเล็ก และมีขนาดของหน้าตัดไม่มากกว่า 15 ซม. และมีความยาวไม่เกิน 3-4 เมตร
2. การตอกโดยวิธีการใช้สามเกลอในการตอกเสาเข็ม เป็นวิธีการตอกที่นิยมใช้กับเสาเข็มที่มีความยาวไม่เกิน 6 เมตร หรือกรณีของเสาเข็มเจาะ
3. การตอกเสาเข็มโดยวิธีการใช้ปั้นจั่น เป็นการตอกเสาเข็มชนิดที่มีความยาวตั้งแต่ 7 เมตรขึ้นไป ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบเรื่องของระยะยกของตุ้มเหล็ก ,เรื่องของน้ำหนักของตุ้มเหล็ก และเรื่องของระยะ Blow Count มาประกอบกับการตอกเสาเข็มด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในการตอกเสาเข็ม

การเลือกใช้เครื่องมือแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของดินและขนาดหรือชนิดของเสาเข็มที่ใช้ โดยหลักการนั้นจะใช้ฆ้อนหรือลูกตุ้มตกกระแทกบนเสาเข็มที่มี anvil หรือ pile cap รองรับ เสาเข็มจะจมได้ง่ายหรือยากนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักของลูกตุ้มหรือพลังงานที่ให้แก่เสาเข็ม เครื่องตอกนี้จะยึดติดอยู่กับปั้นจั่นซึ่งเป็น โครงเหล็ก ประเภทของเครื่องตอกที่ใช้กันอยู่มีดังนี้

- (a) Drop hammer เป็นการยกลูกตุ้มเหล็กให้สูงขึ้นด้วยลวดสลิง ซึ่งได้กำลังจากเครื่องจุดแล้วปล่อยให้ตกโดยอิสระ เพื่อกระแทกเสาเข็ม โดยมี pile cap รองรับอยู่ เพราะว่าลูกตุ้มนี้จะมีน้ำหนักมากเช่น 1 ถึง 5 หรือ N ตัน จึงทำให้การตอกแต่ละครั้งเป็นไปได้ช้า (นิยมใช้ 3.5 และ 4.5 ตันเป็นส่วนใหญ่) อย่างไรก็ตามยังคงเป็นที่นิยมใช้กันมากรในปัจจุบันนี้ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยและบำรุงรักษาได้ง่าย เหมาะสำหรับงานตอกเสาเข็มที่มีปริมาณไม่มากโดยมีระยะเวลาในการดำเนินงานที่นานพอสมควร ข้อเสียอีกส่วนหนึ่งคือควบคุมการตกของลูกตุ้ม ได้ยากและปั้นจั่นต้องสูงพอที่จะยกลูกตุ้ม
- (b) Single acting hammer เป็นการใช้ความดันของไอน้ำหรืออากาศยกลูกตุ้มให้สูงขึ้นแล้วปล่อยให้ตกโดยอิสระ น้ำหนักของลูกตุ้มที่ใช้ประมาณ 2.5 ถึง 20 ตันและยกขึ้นสูงกว่าของ drop hammer แต่ไม่เกิน 1.20 เมตร โดยทั่วไป ปกติจะเลือกใช้อัตราส่วนน้ำหนักของ

- ลูกตุ้มต่อเสาเข็มประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ความเร็วในการตอกประมาณ 60 ครั้งต่อนาที ซึ่งเร็วกว่า drop hammer พลังงานที่เสาเข็มได้รับนั้น เป็นความเร็วกระแทกโดยน้ำหนักของลูกตุ้ม เหมาะสำหรับตอกท่อ เหล็กขนาดใหญ่ในปัจจุบัน แผนภาพดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 5.16 (a)
- (c) Double-acting hammer เป็นการ ใช้ความดันของไอน้ำหรืออากาศทั้ง ในการยกลูกตุ้มขึ้นและเร่งให้ตกเร็วขึ้น ทำให้ความเร็วในการตอก กระแทกของลูกตุ้มสูงกว่าสองชนิดที่กล่าวมาก่อนนี้ ใช้สูงสุดคือ 18,140 กิโลกรัม อัตราส่วนโดยน้ำหนักของลูกตุ้มต่อเสาเข็มควรอยู่ ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 ส่วนใหญ่ใช้ในการยก sheet pile และลูกตุ้มที่ ใช้ทั่วไปมีความยาวประมาณ 2 ถึง 4.5 เมตร แผนภาพอย่างคร่าว ๆ ของลูกตุ้มได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.16 (b)
- (d) Diesel hammer เป็นการ ใช้การอัดและระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลยก ลูกตุ้มให้สูงขึ้น ซึ่งขณะเดียวกันก็จะถีบให้เสาเข็มจมลงในดินพร้อม กับการกระแทกของลูกตุ้ม โดยขั้นแรกนั้นจะต้องยกลูกตุ้มให้สูงขึ้น แล้วปล่อยให้ตกลงมา เพื่อเป็นการ จุกระเบิดสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ ทำงาน น้ำหนักของลูกตุ้มนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ ระหว่าง 5 ถึง 5 ตัน เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกับดินเหนียว ที่แข็งหรือทรายที่แน่น ซึ่งระยะการจมของเสาเข็มมีน้อย หากใช้กับ ดินที่อ่อนหรือเสาเข็มจมลงในดินมากในการตอกแต่ละครั้งแล้ว เครื่องยนต์จะดับเพราะระยะยกของลูกตุ้มไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิด การระเบิดของเชื้อเพลิงในครั้งต่อไป จำเป็นต้องมีการสตาร์ท เครื่องยนต์ใหม่และทำให้การทำงานไม่ต่อเนื่องได้ผล เมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น ความยาวของลูกตุ้มชนิดนี้ประมาณ 4.5 ถึง 6.0 โดย เฉลี่ยและสามารถเคลื่อนย้ายได้คล่องตัว เพราะไม่มีท่ออัดอากาศ หรือไอน้ำเช่นกับชนิด a,b อัตราส่วนโดยน้ำหนักของลูกตุ้มต่อ เสาเข็มควรอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 1.0 แผนภาพอย่างคร่าว ๆ ของลูกตุ้ม ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.16 (c)
- (e) Vibratory hammer อาศัยการสั่นสะเทือนจากการเหวี่ยงของน้ำหนัก สองอัน ซึ่งกระทำในสภาพที่ไม่เกิดการสมดุล ดังแสดงไว้ในรูป 5.16 (d) ลักษณะของการเหวี่ยงนี้ทำให้เกิดการยกของน้ำหนักขึ้น และตกกระแทกต่อเสาเข็ม เหมาะสมที่จะใช้ตอกเสาเข็มในทราย

โดยเสาเข็มอาจจมลงในอัตราที่เร็วมาก ข้อดีของการใช้เครื่องมือตอกแบบนี้คือลดการสั่นสะเทือนหรือเสียงที่เกิดการกระทบของลูกตุ้มเพราะใช้น้ำหนักที่น้อยกว่ามาก

การตอกเสาเข็มดังกล่าวจะทำให้เกิดเสียงรบกวนและการสั่นสะเทือนในบริเวณข้างเคียงหรือบางครั้งอาจพบอุปสรรคในการตอกเสาเข็มผ่านชั้นดินที่แข็งหรือมีกรวดและทรายปน การใช้น้ำเป่าที่ปลายเสาเข็ม (jetting) หรือทำการเจาะดินให้เป็นรูไว้ก่อนทำการตอก (preaugering) จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นลงได้มา

ข้อสังเกตของการใช้สูตรสำเร็จในการหาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากข้อมูลในการตอกเสาเข็มพอสรุปได้ดังนี้

- ก. สูตรสำเร็จดังกล่าวเหมาะสมสำหรับ coarse-grained soil เพราะความแข็งแรงของดินไม่ขึ้นอยู่กับการระบายของน้ำในดินและอัตราการทำของแรง แต่ไม่ค่อยจะเหมาะสมสำหรับดินเหนียว เพราะแรงเสียดทานแปรผันตาม thixotropic effect และแรงต้านทานส่วนปลายขึ้นอยู่กับ excess pore water pressure
- ข. การตอกเสาเข็มใน submerged loose fine sand อาจทำให้เกิด liquefaction และแรงต้านทานจะลดลงอย่างมาก เป็นผลให้ประเมินน้ำหนักบรรทุกให้น้อยกว่าการใช้ static formula แต่จะให้ค่าสูงขึ้นและลดลงอย่างมาก เป็นผลให้ประเมินน้ำหนักบรรทุกได้น้อยกว่าการใช้ static formula แต่จะให้ค่าสูงขึ้นและลดลงตามเวลาสำหรับ dense fine sand
- ค. ไม่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรุดตัวของเสาเข็ม
- ง. ทฤษฎีเกี่ยวกับการกระทบนั้นไม่สามารถหาความสูญเสียของพลังงานที่หายไปได้อย่างถูกต้องตามสภาพที่เป็นจริงได้ จึงทำให้หาค่าคงที่ซึ่งใช้ในบางสูตรได้ยาก เช่นของ Hiley สูตรสำเร็จส่วนมากจะไม่ได้พิจารณาถึงความสูญเสียของการสั่นสะเทือนความร้อนและความเสียหายจากการตอกเสาเข็ม
- จ. ไม่สามารถแยกหาแรงต้านทานส่วนปลาย และแรงเสียดทานรอบผิวเสาเข็มออกมาได้ รวมทั้งไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่แน่นอนของ dynamic และ static formula

ดังนั้นการใช้สูตรสำเร็จควรพิจารณาให้รอบคอบและด้วยความระมัดระวัง สำหรับงานขนาดปานกลางถึงใหญ่ ควรใช้เป็นข้อมูลในการให้หยุดทำการตอกหรือหาระดับปลายของเสาเข็มเมื่อดินมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่ได้ประเมินไว้แต่ครั้งแรก