บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การทดสอบเสาเข็มเป็นการทดลองทางวิศวกรรมอย่างหนึ่งในสนาม ปัจจุบันงานออกแบบฐานรากเสาเข็มมักจะใช้การทดสอบเสาเข็มสำหรับทดสอบความสามารถในการรับแรงของเสาเข็มตามที่ได้ออกแบบไว้ หรือเพื่อหาแรงพิบัติของเสาเข็ม อย่างไรก็ตามวิธีทดสอบเสาเข็มที่ถือปฏิบัติทั่ว ๆ ไปในงานทดสอบเสาเข็มมีมากหลายวิธี แต่ละวิธีล้วนแตกต่างกัน จึงน่าจะได้ศึกษาผลของวิธีทดสอบเสาเข็มต่อการรับแรงของเสาเข็ม

1.2 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กระทำมาแล้ว

การทดสอบเสาเข็ม[1] มิได้หมายถึงการใช้แรงกดหัวเสาเข็มเดี่ยวดิ่งในแนวแกนโดยตรงแต่เพียงอย่างเดียว การทดสอบเสาเข็มยังรวมถึงการทดสอบการรับแรงฉุดขึ้น แรงด้านข้างซึ่งอาจอยู่ในแนวราบหรือตั้งฉากกับแกนเสาเข็ม แรงอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียว หรือการรับแรงต่าง ๆ ดังกล่าวพร้อมกันของเสาเข็มเดี่ยวดิ่ง เสาเข็มเดี่ยวเอียง หรือเสาเข็มกลุ่มซึ่งประกอบด้วยเสาเข็มเอียงทั้งหมด เสาเข็มดิ่งทั้งหมด หรือทั้งเสาเข็มดิ่งและเสาเข็มเอียงคละอยู่ด้วยกัน

---

[1] คำว่า "การทดสอบเสาเข็ม" ที่ใช้ในการวิจัยนี้ หมายถึง การทดสอบเสาเข็มด้วยแรงสถิตย์อย่างเดียว ไม่รวมถึงการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงจลน์ แรงสั่นสะเทือน แรงระเบิด ฯลฯ

ตามรายงานของ Fellenius, B.H. (1975) วิธีที่ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับทดสอบการรับแรงกดในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่งมีอยู่ 3 วิธี

1. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test
2. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Constant Rate of Penetration Test
3. วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test

นอกจากนี้ยังมีวิธีทดสอบการรับแรงกดในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่งแบบอื่น ๆ ที่ดัดแปลงมาจากวิธีทดสอบเสาเข็ม 3 วิธีดังกล่าว

1.2.1 <u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test</u>

Slow Maintained Load Test เป็นวิธีทดสอบเสาเข็มซึ่งใช้กันแพร่หลายในทวีปอเมริกาเหนือ ในการทดสอบเสาเข็มแรงทดสอบเสาเข็มถูกเพิ่มขึ้นเป็นขั้น ๆ A.S.T.M. Designation D 1143-57T (1958) แนะนำให้เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นขั้นละ 25% ของแรงที่คาดว่าใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับ แรงทดสอบเสาเข็มแต่ละขั้นจะถูกคงไว้จนเสาเข็มหยุดทรุดลง โดยถือว่าขณะที่เสาเข็มหยุดทรุดอัตราทรุดของหัวเสาเข็มเท่ากับอัตราทรุดค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า "Limiting Rate" แรงทดสอบเสาเข็มจะถูกเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมเมื่อหัวเสาเข็มทรุดถึง limiting rate.

Cooling, L.F. และ Packshaw, S. (1950) แนะนำให้ใช้ limiting rate เท่ากับ 0.084 มม./ชั่วโมง (0.0033 นิ้ว/ชั่วโมง) Civil Engineering Code of Practice Joint Committee (1954) กำหนด limiting rate ไว้ 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง) Indian Standard, I.S., 2911,

Part 1 (1964) ใช้อัตราทรุด 0.02 มม./ชั่วโมง (0.0008 นิ้ว/ชั่วโมง) เป็น limiting rate A.S.T.M. Designation D 1143-57T (1958) กำหนดอัตราทรุดของหัวเสาเข็มน้อยกว่า 0.305 มม./ชั่วโมง (0.001 ฟุต/ชั่วโมง) เป็น limiting rate หรือเมื่อคงแรงทดสอบเสาเข็มไว้เป็นเวลานานถึง 2 ชั่วโมง สุดแท้แต่ว่าอย่างไหนจะเกิดขึ้นก่อน

บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มทุกครั้ง และตลอดช่วงเวลาที่คงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ทุกระยะ การทดสอบเสาเข็มอาจจะหยุดที่แรงทดสอบเสาเข็มแค่ไหนก็ได้ตามต้องการ A.S.T.M. Designation D 1143-57T (1958) แนะให้ทดสอบเสาเข็มถึงแรงทดสอบเสาเข็มเท่ากับ 200% ของแรงที่คาดว่าใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับ การทดสอบเสาเข็มอาจจะทดสอบจนเสาเข็มพิบัติโดยเพิ่มแรงทดสอบขึ้นทีละน้อย การพิบัติของเสาเข็มเกิดขึ้นเมื่อหัวเสาเข็มทรุดลงเรื่อย ๆ โดยไม่ได้เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นในขณะที่อัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถลดลงสู่ limiting rate ได้

โดยทั่ว ๆ ไปเมื่อทดสอบเสาเข็มถึงแรงทดสอบเท่ากับแรงที่ใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับมักจะลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมด ปล่อยให้เสาเข็มเคลื่อนคืนจนหยุด แล้วทดสอบเสาเข็มต่อไป โดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่อีกเท่ากับแรงที่ใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับหรือมากกว่า

ในการทดสอบเสาเข็มตาม A.S.T.M. Designation D1143-57T (1958) เมื่อทดสอบเสาเข็มถึงแรงทดสอบเสาเข็มเท่ากับ 200% ของแรงที่คาดว่าใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับ ถ้าเสาเข็มยังไม่พิบัติ จะต้องคงแรงทดสอบนี้ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือนานกว่าแล้วแต่อัตราทรุดของหัวเสาเข็ม Fuller, F.M. และ Hoy,H.E.(1970) แนะนำให้คงแรง

ทดสอบนี้ไว้ 24 ชั่วโมงหรือ 48 ชั่วโมง บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มระหว่างคงแรงทดสอบเสาเข็มและตอนสิ้นสุดเวลาคงแรงทดสอบเสาเข็ม (A.S.T.M. Designation D 1143-57T, 1958) Fuller, F.M. และ Hoy, H.E. (1970) เสนอให้บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มทุก ๆ 30 นาที สำหรับ 12 ชั่วโมงแรกนับตั้งแต่คงแรงทดสอบเสาเข็มไว้และทุก ๆ ชั่วโมงหลังจากนั้น

หลังจากคงแรงทดสอบเสาเข็มที่ 200% ของแรงที่คาดว่าใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับ ลดแรงทดสอบเสาเข็มลงเท่า ๆ กันครั้งละ 50% ของแรงที่คาดว่าใช้ออกแบบให้เสาเข็มรับ (A.S.T.M. Designation D 1143-57T, 1958) คงแรงทดสอบเสาเข็มที่ลดลงแต่ละครั้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งจนเสาเข็มหยุดเคลื่อนคืน A.S.T.M. Designation D 1143 - 57T (1958) กำหนดให้คงแรงทดสอบเสาเข็มที่ลดลงแต่ละครั้งไว้ไม่น้อยกว่าครึ่งชั่วโมง และบันทึกระยะคืนของหัวเสาเข็มทันทีก่อนและหลังลดแรงทดสอบเสาเข็มทุกครั้ง บันทึกระยะคืนของหัวเสาเข็มครั้งสุดท้ายหลังลดแรงทดสอบลงหมดแล้ว 24 ชั่วโมง Fuller, F.M. และ Hoy, H.E.(1970) แนะนำให้บันทึกระยะคืนของหัวเสาเข็มครั้งสุดท้ายหลังลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมดแล้ว 12 ชั่วโมง

1.2.2 <u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Constant Rate of Penetration Test</u>

Whitaker, T. (1957) คิดวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Constant Rate of Penetration Test ขึ้นใช้ทดสอบเสาเข็มจำลองซึ่งทำด้วยลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ในห้องทดลอง Whitaker, T. เรียกการทดสอบเสาเข็มแบบนี้อย่างสั้น ๆ ว่า "C.R.P. Test" C.R.P. Test ไม่ได้รับความนิยมใช้

จนกระทั่งได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถใช้ทดสอบเสาเข็มในสนามได้โดย Whitaker, T. และ Cooke, R.W.(1961)และ Whitaker, T.(1963)เนื่องจากการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test กระทำได้รวดเร็ว C.R.P. Test จึงเป็นที่นิยมใช้แพร่หลายมากขึ้นในงานวิศวกรรม

ในการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test เสาเข็มจะถูกกดลงดินด้วยอัตราทรุดคงที่จากตำแหน่งที่ลงเสาเข็มไว้ ในขณะเดียวกันก็บันทึกแรงทดสอบเสาเข็ม ระยะทรุดของหัวเสาเข็มและเวลาไว้ตลอด Garneau, R. และ Samson, L. (1974) แนะนำให้บันทึกข้อมูลดังกล่าวทุก ๆ ช่วงประมาณ 1 นาที ถึง 2 นาที จนเสาเข็มพิบัติ และต่อจากนั้นบันทึกทุก ๆ 5 นาที หรือนานกว่า การควบคุมอัตราทรุดของหัวเสาเข็มสามารถควบคุมได้โดยปรับแรงทดสอบเสาเข็มให้เสาเข็มทรุดลงทีละน้อยภายในเวลาที่จำกัดไว้ Garneau, R. และ Samson,L. (1974) ใช้เครื่องจักรกลเข้าช่วยควบคุมอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม โดยติดตั้งปั๊มซึ่งทำงานด้วยกระแสไฟฟ้าและใช้เครื่องควบคุมอัตราการปั๊มน้ำมัน (flow regulator) เข้าไปในแม่แรงไฮดรอลิกซ์ ทั่ว ๆ ไป เสาเข็มมักถูกทดสอบจนพิบัติ Commission on Pile Research (1970) ในประเทศสวีเดนกำหนดให้ทดสอบเสาเข็มอย่างน้อยถึง 3 เท่าแรงออกแบบให้เสาเข็มรับหรือจนหัวเสาเข็มทรุดลง 60 มม.

Whitaker, T. (1963) แนะนำให้ทดสอบเสาเข็มด้วยการคงอัตราทรุดของหัวเสาเข็มไว้เท่ากับ 0.75 มม./นาที (0.03 นิ้ว/นาที) สำหรับเสาเข็มซึ่งรับแรงส่วนใหญ่ด้วยแรงต้านของดินบริเวณผิวข้างเสาเข็ม (friction pile) ซึ่งฝังอยู่ในดินเหนียว และอัตราทรุดของหัวเสาเข็ม 1.5 มม./นาที (0.06 นิ้ว/นาที) หรือ

มากกว่าสำหรับเสาเข็มซึ่งรับแรงส่วนใหญ่ด้วยแรงต้านของดินตรงปลายเสาเข็ม (end bearing pile) ซึ่งฝังอยู่ในดินทราย หรือดินกรวด

A.S.T.M. Subcommittee 11(1970) แนะนำให้ทดสอบเสาเข็มด้วยการคงอัตราทรุดของหัวเสาเข็มไว้เท่ากับ 0.8 มม./นาที (0.03 นิ้ว/นาที) สำหรับ friction pile ซึ่งฝังอยู่ในดินเหนียวและอัตราการทรุดของหัวเสาเข็ม 1.5 มม./นาที (0.06 นิ้ว/นาที) สำหรับ end bearing pile ซึ่งฝังอยู่ในดินทราย ดินกรวด หรือบนชั้นหิน

Garneau, R. และ Samson, L. (1974) แนะนำให้ทดสอบเสาเข็มสั้นซึ่งฝังอยู่ใน sensitive clay ด้วยการคงอัตราทรุดของหัวเสาเข็มไว้น้อยประมาณ 0.25 มม./นาที ถึง 0.50 มม./นาที (0.01 นิ้ว/นาที ถึง 0.02 นิ้ว/นาที) เพื่อจะได้มีเวลาพอสำหรับอ่านข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น

Whitaker, T. และ Cooke, R.W. (1961) ได้ศึกษาผลของอัตราทรุดของหัวเสาเข็มต่อแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งฝังอยู่ในดินเหนียวลอนดอน Whitaker, T. และ Cooke, R.W. (1961)พบว่าเมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มเปลี่ยนแปลงไประหว่าง 1/2 และ 4 เท่าของอัตราทรุด 0.032 นิ้ว/นาที แรงพิบัติของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 4% Whitaker, T.(1963) ยังได้ศึกษาต่อไปอีกและพบว่าถ้ารักษาอัตราทรุดของหัวเสาเข็มได้สม่ำเสมอตลอด อัตราทรุดของหัวเสาเข็มนี้อาจเพิ่มเป็น 2 เท่า หรือลดลงเป็นครึ่งหนึ่งโดยไม่มีผลต่อแรงพิบัติของเสาเข็ม ถ้าอัตราการทรุดของหัวเสาเข็มไม่สม่ำเสมอจะทำให้กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม - ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม ไม่ราบเรียบ A.S.T.M. Subcommittee 11 (1970) ยอมให้อัตราทรุดของหัวเสาเข็มระหว่างทดสอบเสาเข็มเปลี่ยนแปลงไปจากที่ระบุไว้ไม่เกินกว่า $\pm$ 50%

1.2.3 วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test

ตามรายงานของ Kjellman, W. และ Liljedahl, Y.(1951) Kolm, R. แห่ง Bridge Department of the Royal Swedish Board of Roads and Waterways ได้คิดวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test ขึ้นในปี ค.ศ. 1936 โดยพยายามรวมเอาผลการเปลี่ยนแปลงแรงที่เสาเข็มจะต้องรับในเวลาต่อมาเข้าเกี่ยวข้องด้วย วิธีทดสอบเสาเข็มประกอบด้วยการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มเป็นขั้น ๆ Broms, B.B.(1972) เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มเป็น 25 50 70 80 85 90 95 100 % ของแรงที่คาดว่าเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม ทั่ว ๆ ไปในประเทศสวีเดนครั้งแรกให้ทดสอบเสาเข็มด้วยแรงทดสอบเสาเข็ม 1/3 ของแรงที่คาดว่ายอมให้เสาเข็มรับ (Fellenius, B.H., 1975) ทันทีที่เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นแต่ละขั้น เสาเข็มจะถูกทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มหลาย ๆ ครั้งต่อเนื่องกัน การทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้งกระทำโดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นถึงแรงที่ต้องการทดสอบ แล้วลดแรงทดสอบเสาเข็มลงอาจจะเหลือ 50 % ของแรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้น (Fellenius, B.H., 1975) แรงทดสอบเสาเข็มอาจลดลงมากกว่าหรือน้อยกว่า 50 % ของแรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้น ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโครงสร้างที่เสาเข็มรองรับและแรงสูงสุดที่เสาเข็มรับ (Kjellman, W., and Liljedahl, Y., 1951; Broms, B.B., 1972)

เมื่อแรงทดสอบเสาเข็มไม่มาก Kjellman, W. และ Liljedahl, Y. (1951) แนะให้ทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็ม 3 ถึง 5 ครั้ง Broms, B.B. (1972) แนะให้ทดสอบ 5 ถึง 10 ครั้ง ในประเทศสวีเดนโดยทั่ว ๆ

ไปทดสอบ 10 ครั้ง (Fellenius, B,H., 1975) เมื่อแรงทดสอบเสาเข็มมาก Kjellman, W. และ Liljedahl, Y. (1951) แนะให้ทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็ม 5 ถึง 10 ครั้ง ในประเทศสวีเดนทั่ว ๆ ไปทดสอบ 20 ครั้ง (Fellenius, B.H., 1975) เมื่อแรงทดสอบใกล้ถึงแรงพิบัติของเสาเข็ม Broms, B.B. (1972) แนะให้ทดสอบอาจถึง 100 ครั้ง

ทุกครั้งที่เพิ่มหรือลดแรงทดสอบเสาเข็ม Kjellman,W. และ Liljedahl, Y. (1951) แนะให้บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มทุก ๆ 2 นาที จนกว่าระยะทรุดของหัวเสาเข็มจะคงตัว Broms, B.B. (1972) ทดสอบเสาเข็มโดยรักษาช่วงเวลาที่ทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้งไว้คงที่ และคงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ 3 ถึง 5 นาที จึงลดแรงทดสอบเสาเข็มลง พร้อมทั้งทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มหลาย ๆ ครั้งจนระยะทรุดของหัวเสาเข็มคงตัว ทั่ว ๆ ไปในประเทศสวีเดนเวลาที่ใช้ทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้งนาน 20 นาที (Fellenius, B.H., 1975) หยุดทดสอบเสาเข็มเมื่อระยะทรุดเพิ่มของหัวเสาเข็มเพิ่มมากขึ้นแต่ละครั้งที่เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มซ้ำ

1.2.4 <u>วิธีทดสอบการรับแรงกดในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่งแบบอื่น</u> ๆ

<u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Chellis, R.D.</u> Chellis, R.D. (1946) แนะให้ทดสอบเสาเข็มโดยลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมดทุกครั้งก่อนเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่ ทุกครั้งที่เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มหรือลดแรงทดสอบเสาเข็มจะคอยจนเสาเข็มหยุดทรุด (เมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มหรืออัตราคืนตัวของหัวเสาเข็มน้อยมาก)

Chellis, R.D. (1946) ใช้ตำแหน่งจุด "Center of Resistance" ของดิน ซึ่งคำณวนจากสูตร $l = AEd/R$ เมื่อ l เป็นระยะทางวัดจากหัวเสาเข็มไปยังจุด center of resistance R เป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้น A เป็นพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มเฉลี่ยในช่วงระหว่างหัวเสาเข็มกับจุด center of resistance E เป็นโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม d เป็นระยะหดยืดหยุ่น (elastic shortening) ของเสาเข็ม ช่วยบ่งว่าแรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้นถูกส่งผ่านเสาเข็มไปถึงชั้นดินที่ต้องการทดสอบการรับแรงแล้วหรือยัง

วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Van Weele, A.F. Van Weele, A.F.(1957) ใช้วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test เป็นพื้นฐานในการทดสอบเสาเข็ม Van Weele, A.F. (1957) ได้รวมการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นเท่าแรงทดสอบเดิมและลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง เข้าด้วยทุกครั้งก่อนเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นมากกว่าแรงทดสอบเสาเข็มเดิม ด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบนี้ Van Weele, A.F. (1957) สามารถแยกแรงซึ่งเสาเข็มรับได้เนื่องจากแรงต้านของดินข้างรอบ ๆ เสาเข็ม (skin friction) และแรงซึ่งเสาเข็มรับได้เนื่องจากแรงต้านของดินตรงปลายเสาเข็ม (end bearing) ออกจากกัน

วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ A.S.T.M. Designation D 1143-57T

A.S.T.M. Designation D1143-57T (1958) แนะนำให้ทดสอบเสาเข็มโดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นเป็นขั้น ๆ และคงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละขั้นไว้ไม่น้อยกว่า 30 นาที ส่วนมากมักคงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ 1 ชั่วโมง ก่อนเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็ม

ขึ้นมากกว่าเดิม วัดระยะทรุดของหัวเสาเข็มทันทีก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้ง และบันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง ระหว่างคงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้ง

<u>วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Maintained Load Test</u> ตามรายงานของ Fuller, F.M. และ Hoy, H.E. (1970) Texas Highway Department คิดวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Maintained Load Test ขึ้นและเริ่มนำไปใช้ทดสอบเสาเข็มในเดือนเมษายน ค.ศ. 1965 วิธีทดสอบเสาเข็มประกอบด้วยการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มทีละ 5 ตัน หรือ 10 ตัน บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มและข้อมูลอื่น ๆ ทันทีก่อนและหลังเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งจะถูกคงไว้นาน 2.5 นาที แล้วจึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นใหม่

เมื่อทดสอบเสาเข็มจนพิบัติ (ขณะที่แรงทดสอบเสาเข็มถูกคงไว้ด้วยการโยกแม่แรงไฮดรอลิกซ์แต่เพียงอย่างเดียว เสาเข็มจะถูกกดลงสู่ดินเรื่อย ๆ) หยุดโยกแม่แรงไฮดรอลิกซ์ บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็ม แรงทดสอบเสาเข็มและข้อมูลอื่น ๆ ทันทีหลังจากหยุดโยกแม่แรงไฮดรอลิกซ์ บันทึกข้อมูลเหล่านี้อีกหลังจากนั้น 2.5 นาที และ 5 นาที แล้วลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมด ปล่อยเสาเข็มเคลื่อนคืน บันทึกระยะทรุดของหัวเสาเข็มทันทีหลังจากลดแรงทดสอบเสาเข็มลงหมด และหลังจากนั้นทุก ๆ 2.5 นาที ตลอดช่วงเวลา 5 นาที

ตามรายงานของ Fellenius, B.H. (1975) เสาเข็มมักถูกทดสอบแบบ Quick Maintained Load Test จนถึงแรงทดสอบเสาเข็มเท่ากับ 300% ของแรง

ที่คาดว่ายอมให้เสาเข็มรับได้ โดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็ม 20 ครั้ง แต่ละครั้งเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มเท่ากับ 15% ของแรงที่คาดว่ายอมให้เสาเข็มรับ คงแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละครั้งไว้ 15 นาที อ่านและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทุก ๆ 3 นาที

วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ "Method of Equilibrium" Mohan, D., Jain, G.S., และ Jain, M.P. (1967) คิดวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Method of Equilibrium ขึ้น วิธีทดสอบเสาเข็มประกอบด้วยการเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นเป็นขั้น ๆ ขั้นละ 1/10 ของแรงที่คาดว่าเสาเข็มรับได้สูงสุด ด้วยแม่แรงไฮดรอลิกซ์ภายในช่วงเวลา 3 ถึง 5 นาที แล้วคงแรงทดสอบที่เพิ่มแต่ละขั้นไว้ประมาณ 5 นาที ปล่อยให้แรงทดสอบเสาเข็มลดลงเนื่องจากดินที่รับเสาเข็มทรุดจนถึงจุดสมดุลย์ (equilibrium) จึงเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้น ทั่ว ๆ ไปช่วงเวลาที่เสาเข็มทรุดสู่ภาวะสมดุลย์ประมาณ 2 ถึง 3 นาที ในดินทรายเสาเข็มทรุดสู่ภาวะสมดุลย์ค่อนข้างเร็ว แต่ในดินเหนียวจะนานกว่าเล็กน้อย เมื่อแรงทดสอบเสาเข็มมาก Mohan, D., Jain, G.S., และ Jain, M.P. (1967) แนะนำให้คงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ประมาณ 10 ถึง 15 นาที ก่อนปล่อยให้แรงทดสอบเสาเข็มลดลงเนื่องจากดินที่รับเสาเข็มทรุด

วิธีทดสอบเสาเข็มโดยใช้ Quick Maintained Load Test ร่วมกับ C.R.P. Test จากประสบการณ์ที่ได้จากการทดสอบเสาเข็มในสนาม Fellenius, B.H. (1975) พบว่ากราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม - ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม ช่วงแรก ๆ ของการทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test และ Quick Mainatained Load Test สอดคล้องใกล้เคียงกันการทดสอบเสาเข็มจึงมักจะใช้วิธีทดสอบเสาเข็ม

ทั้งสองแบบร่วมกัน โดยเริ่มทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Maintained Load Test ก่อน แล้วเปลี่ยนวิธีทดสอบเสาเข็มเป็นแบบ C.R.P. Test เมื่ออัตราทรุดของหัวเสาเข็มใกล้ 0.5 มม./นาที (0.02 นิ้ว/นาที)

1.2.5 <u>การหาแรงพิบัติของเสาเข็มเดี่ยวดิ่งจากข้อมูลการทดสอบการรับแรงกดในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่ง</u>

แรงพิบัติของเสาเข็ม[1] เป็นแรงสูงสุดซึ่งเสาเข็มสามารถรับได้โดยไม่ทำให้ดินที่รองรับเสาเข็มพิบัติด้วยแรงเฉือนและ/หรือทำให้เสาเข็มทรุดลงมาก การหาแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นปัญหาหนึ่งซึ่งวิศวกรผู้ชำนาญอยู่เสมอในงานทดสอบเสาเข็ม Davisson, M.T. (1973) ได้ให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับการหาแรงพิบัติของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มว่าเป็นเรื่องยุ่งซึ่งไม่สามารถเข้าใจได้ เพราะ "การทดสอบเสาเข็มไม่ได้ให้คำตอบ... เพียงแต่ให้ข้อมูลสำหรับตีความ" อย่างไรก็ตามในการทดสอบเสาเข็มทั่ว ๆ ไป แรงทดสอบเสาเข็มระยะทรุดของหัวเสาเข็มจะถูกบันทึกไว้ การหาแรงพิบัติของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มจึงมักจะอาศัย ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม ความชัน (slope) หรือลักษณะของกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม - ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม เป็นเกณฑ์ประกอบการพิจารณาหาแรงพิบัติของเสาเข็ม

Terzaghi, K. (1942) อาศัยระยะทรุดของหัวเสาเข็มเป็นเกณฑ์หาแรงพิบัติของเสาเข็ม โดยถือว่าแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มที่ทำให้หัวเสาเข็มทรุด 1/10 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายเสาเข็ม

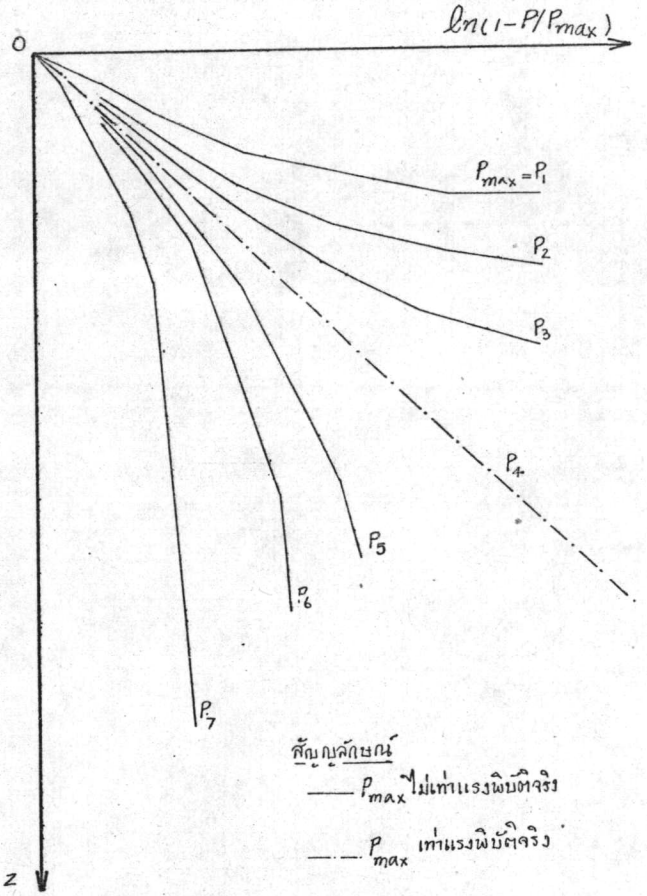
---

[1]คำว่า "แรงพิบัติของเสาเข็ม" ที่ใช้ในการวิจัยนี้ หมายถึง แรงพิบัติซึ่งเป็นแรงกดในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่ง

Kjellman, W. และ Liljedahl, Y. (1951) หาแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test โดยถือว่าแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้หัวเสาเข็มทรุดเท่ากับระยะทรุดมากที่สุดที่ยอมให้เสาเข็มทรุดได้ ไม่ว่าจะทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มด้วยแรงทดสอบเสาเข็มเท่านี้ซ้ำ ๆ กันกี่ครั้งก็ตาม

Van der Veen, C. (1953) ได้เสนอวิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งรับแรงส่วนใหญ่ด้วยแรงต้านของดินตรงปลายเสาเข็ม (end bearing pile) วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มขึ้นอยู่กับสมมุติฐานที่ว่า ลักษณะของกราฟ แรงทดสอบตรงปลายเสาเข็ม - ระยะทรุดตรงปลายเสาเข็ม สามารถเขียนแทนด้วยสมการ $P = P_{max}(1-e^{-az})$ เมื่อ P เป็นแรงทดสอบตรงปลายเสาเข็ม z เป็นระยะทรุดตรงปลายเสาเข็มเนื่องจากแรง P P_{max} เป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม a เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งมีผลต่อลักษณะกราฟ

Van der Veen, C. (1953) หาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยสมมุติแรงพิบัติของเสาเข็มขึ้นก่อนหลาย ๆ ค่า แล้วเขียนกราฟ $z--\ln(1-P/P_{max})$ ถ้าแรงพิบัติของเสาเข็มที่สมมุติขึ้นเท่าแรงพิบัติจริงของเสาเข็ม กราฟ $z--\ln(1-P/P_{max})$ จะเป็นเส้นตรง ในรูปที่ 1.1 กราฟ $z--\ln(1-P/P_{max})$ เมื่อ P_{max} ที่สมมุติเท่าแรงพิบัติจริงของเสาเข็มเป็นเส้นตรงสองเส้น Van der Veen, C. (1953) ให้เหตุผลไว้ว่าที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากดินถูกอัดตัวมาก่อน (precompression) ที่จะทดสอบเสาเข็ม ทำให้สัมประสิทธิ์ a มีค่าสองค่า สัมประสิทธิ์ a ยังขึ้นอยู่กับช่วง



รูปที่ 1.1 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Van der Veen, C.

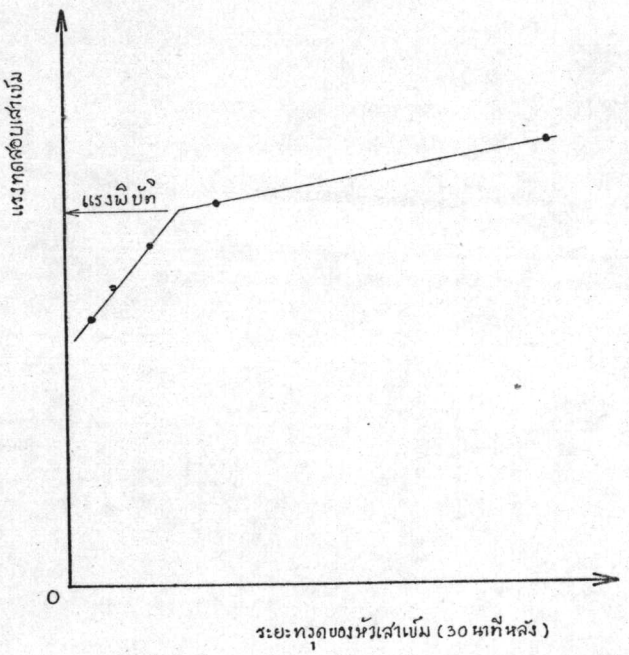
เวลาที่คงแรงทดสอบเสาเข็มไว้และจำนวนครั้งที่ทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็ม (การเพิ่มและลดแรงทดสอบเสาเข็มซ้ำหลาย ๆ ครั้ง) วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มแบบ Van der Veen, C. จึงใช้ได้กับการทดสอบเสาเข็มที่คงแรงทดสอบเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งไว้ภายในช่วงเวลาที่จำกัดและทดสอบการรับการเปลี่ยนแปลงแรงทดสอบเสาเข็มด้วยจำนวนครั้งที่จำกัดไว้เช่นกัน

Civil Engineering Code of Practice Joint Committee (1954) กำหนดแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test ไว้ว่าเป็นแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้อัตราทรุดของหัวเสาเข็มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ลดลงโดยไม่ได้เพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้น นอกเสียจากว่าอัตราทรุดของหัวเสาเข็มนี้ช้ามากอันอาจเนื่องมาจากการทรุดตัวของดินเมื่อน้ำในช่องว่างเม็ดดินไหลออก (consolidation)

Housel, W.S. (1956) แนะนำให้หาแรงพิบัติของเสาเข็ม จากวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test โดยเพิ่มแรงทดสอบเสาเข็มขึ้นครั้งละเท่า ๆ กันทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง Housel, W.S. (1956) พบว่า กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มภายในช่วงเวลา 30 นาทีหลังสามารถแทนได้ด้วยเส้นตรงสองเส้นโดยประมาณ Housel, W.S.(1956) ถือเอาค่าแรงทดสอบเสาเข็มที่จุดตัดของเส้นตรงทั้งสอง (จุด "Yield Point") เป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม

ตามรายงานของ Chellis, R.D. (1961) แรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้เสาเข็มทรุดลงดินอย่างรวดเร็ว หรือความหมายทางคณิตศาสตร์เป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่ความชันของกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มมีค่าเข้าใกล้อนันต์ (infinity) เมื่อใช้แกนดิ่งแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็ม เส้นสัมผัสกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม

i17961592



รูปที่ I.2 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Housel, W.S.

005776

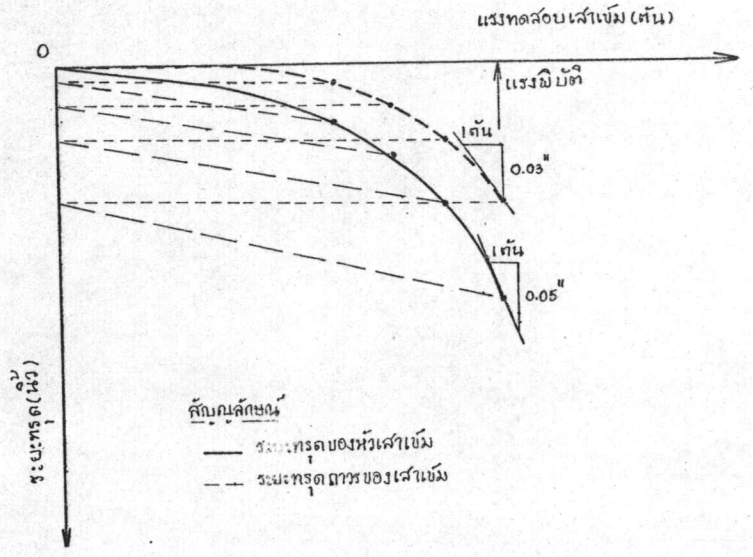
เป็นเส้นตรงถึงขณะที่เสาเข็มพิบัติ ในทางปฏิบัติมักจะถือว่า แรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของระยะทรุดของหัวเสาเข็มเมื่อเทียบกับแรงทดสอบเสาเข็มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ตามรายงานของ Chellis, R.D. (1961) Nordlund, R.L. ถือแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มมีความชัน 0.05 นิ้ว/1ตัน ของแรงทดสอบเสาเข็ม หรือเป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดถาวรของเสาเข็ม (plastic settlement) มีความชัน 0.03 นิ้ว/1ตันของแรงทดสอบเสาเข็ม

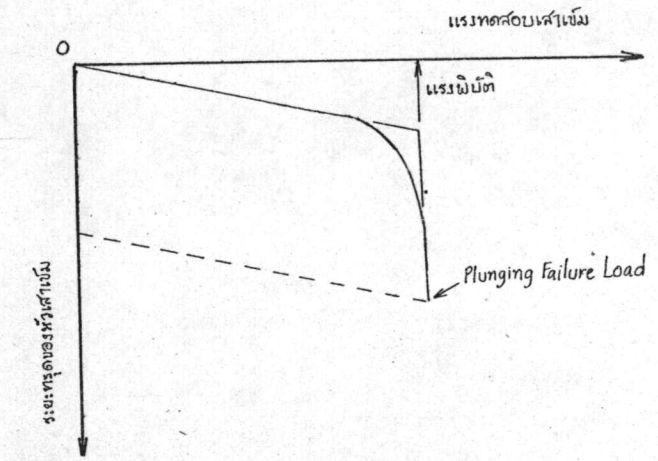
Fuller, F.M. และ Hoy, H.E. (1970) ถือแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มที่มีค่าน้อยระหว่างแรงพิบัติของเสาเข็มสองค่าที่หามาจากวิธีของ Nordlund, R.L.

ตามรายงานของ Chellis, R.D. (1961) Rabe, W.H. ถือแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มมีความชัน 0.03 นิ้ว/1ตัน ของแรงทดสอบเสาเข็ม

ตามรายงานของ Fuller, F.M. และ Hoy, H.E. (1970) แรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Maintained Load Test จนพิบัติ (ขณะที่คงแรงทดสอบเสาเข็มไว้ โดยโยกแม่แรงไฮดรอลิกซ์ เสาเข็มจะถูกกดจมดินเรื่อย ๆ แรงทดสอบเสาเข็มขณะนั้นเรียก "Plunging Failure Load") สามารถหาจากลักษณะของกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม โดยลากเส้นตรงสัมผัสกับส่วนของกราฟที่เป็นเส้นตรงสองส่วนดังรูปที่ 1.4 แรงทดสอบเสาเข็มที่จุดตัดของเส้นสัมผัสทั้งสองถือเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม เสกลที่ใช้สำหรับเขียนกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มควรจะใช้ 1 นิ้วสำหรับแรงทดสอบเสาเข็มทุก ๆ 10 ตัน และระยะทรุดของหัวเสาเข็ม 0.10 นิ้ว ตามลำดับ



รูปที่ 1.3 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยใช้ความชันเป็นเกณฑ์

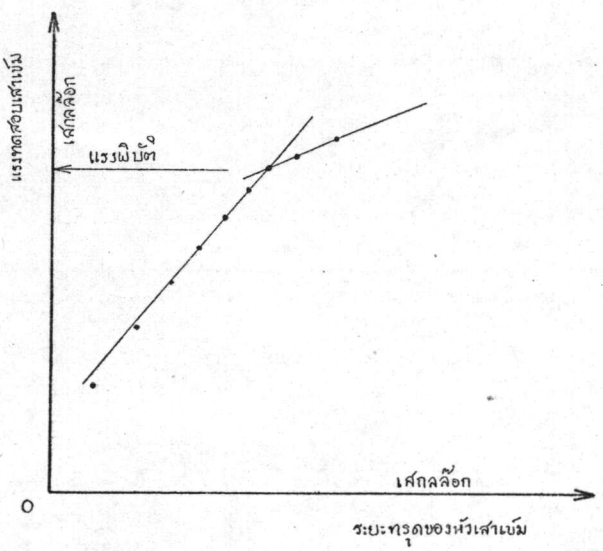


รูปที่ 1.4 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วย
วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Quick Maintained
Load Test โดยใช้ลักษณะกราฟเป็นเกณฑ์

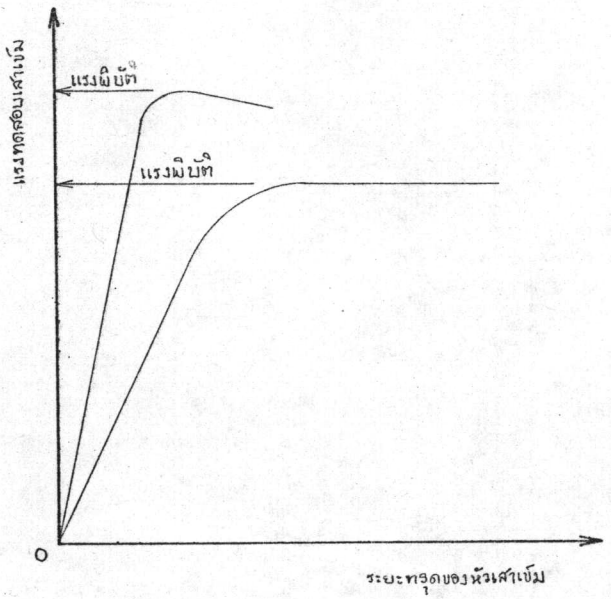
ตามรายงานของ Fellenius, B.H. (1975) De Beer, E.E. หาแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test โดยอาศัยลักษณะของกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม De Beer, E.E. พบว่ากราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็มเมื่อแสดงไว้ด้วยเสกลล็อก (logarithmic scale) ทั้งคู่ จะเป็นเส้นตรงสองเส้น ดังรูปที่ 1.5 ค่าแรงทดสอบเสาเข็มที่จุดตัดของเส้นตรงทั้งสองนี้ ถือเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม

Whitaker, T. (1970) ได้นิยามแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งถูกทดสอบด้วยวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ไว้ว่าเป็นแรงทดสอบเสาเข็มขณะที่แรงต้านของดินเกิดขึ้นเต็มที่ ในกรณีที่เป็น friction pile กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.6 แรงทดสอบเสาเข็มอาจจะถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วลดลงเมื่อเสาเข็มทรุดมากขึ้น หรือแรงทดสอบเสาเข็มอาจจะถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งแล้วคงที่ เมื่อเสาเข็มทรุดมากขึ้น ค่าแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดถือเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม

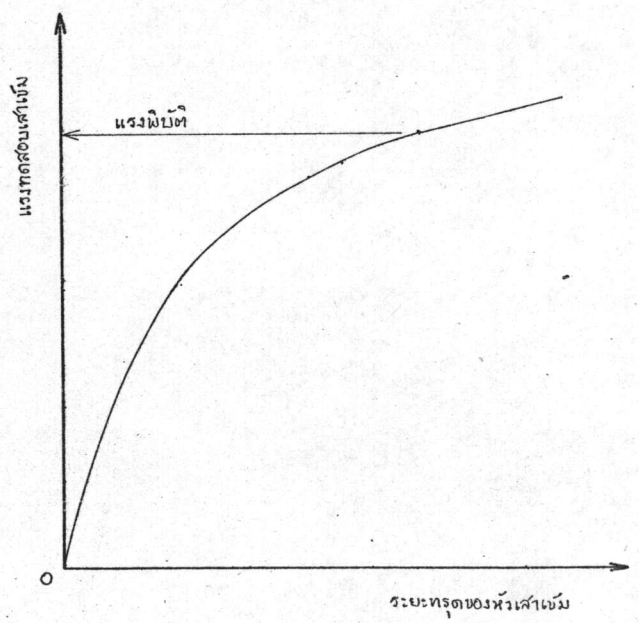
สำหรับ end bearing pile กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม จะมีลักษณะดังรูปที่ 1.7 แรงทดสอบเสาเข็มจะมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเสาเข็มทรุดมากขึ้น จนถึงจุดหนึ่งที่กราฟแรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็มเริ่มเป็นเส้นตรง ค่าแรงทดสอบเสาเข็มตรงจุดที่กราฟ เริ่มเป็นเส้นตรง ถือเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม ในทางปฏิบัติจุดที่ว่านี้หายาก จึงมักใช้ค่าแรงทดสอบเสาเข็มที่ก่อให้เกิดระยะทรุดของหัวเสาเข็มเท่ากับ 10 % เส้นผ่าศูนย์กลางตรงปลายเสาเข็มเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม



รูปที่ 1.5 การหาแรงผิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ De Beer, E. E.



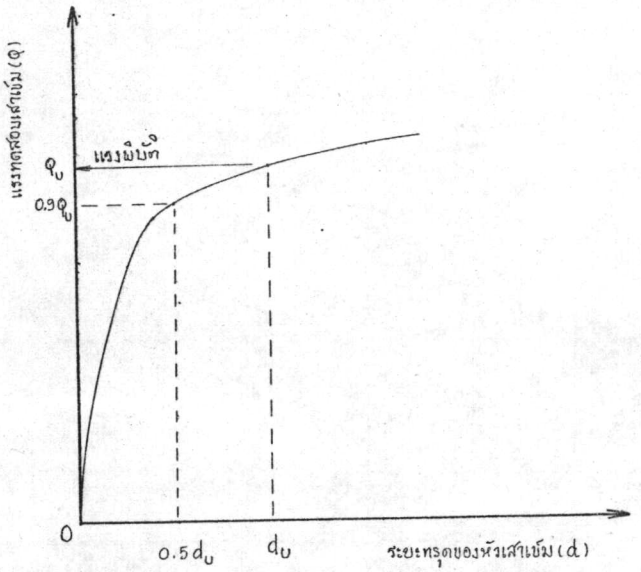
รูปที่ 1.6 การหาแรงพิบัติของ friction pile
โดยวิธีของ Whitaker, T.



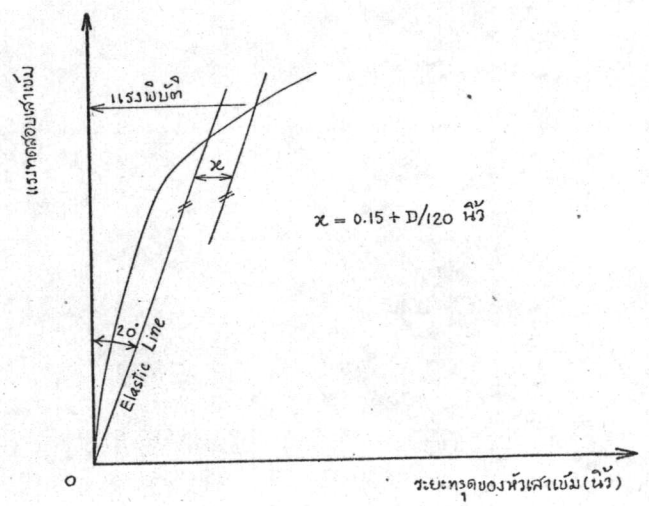
รูปที่ 1.7 การหาแรงพิบัติของ end bearing pile
โดยวิธีของ Whitaker, T.

Commission on Pile Research (1970) แนะนำให้ใช้กฎเกณฑ์ที่เรียกว่า "90% Criterion" กับวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test ไม่ว่าเสาเข็มจะฝังอยู่ในดินชนิดไหนก็ตาม กฎเกณฑ์นี้ตั้งขึ้นโดย Hansen, B.J. (1963) อาศัยสมมุติฐานที่ว่า กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม - ระยะทรุดของหัวเสาเข็มเป็นรูปไฮเพอโบรา (hyperbola) เมื่อเสาเข็มพิบัติ ถือแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มที่ทำให้เสาเข็มทรุดเป็นสองเท่าของระยะทรุดภายใต้แรงทดสอบเสาเข็มซึ่งเท่ากับ 90 % ของแรงพิบัติของเสาเข็ม

Davisson, M.T. (1973) ได้แนะนำวิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งรวมเอาผลของความยาวเสาเข็มเข้าด้วย Davisson, M.T. (1973) ถือว่าแรงพิบัติของเสาเข็มเป็นแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้หัวเสาเข็มทรุดมากกว่าระยะหดยืดหยุ่นของเสาเข็ม (elastic compression) ภายใต้แรงทดสอบเสาเข็มนั้น (เมื่อถือว่าเสาเข็มเป็นเสาอิสระปราศจากแรงดันตั้งฉากกับแนวแกนเสาเข็ม) ไปอีก 0.15 + D/120 นิ้ว เมื่อ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มมีหน่วยเป็นนิ้ว กฎเกณฑ์ของ Davisson, M.T. (1973) นี้ใช้สำหรับวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test โดยคงแรงทดสอบที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งไว้ไม่เกินหนึ่งชั่วโมง เสกลที่เหมาะสำหรับหาแรงพิบัติของเสาเข็มควรจะเลือกโดยให้มุมของเส้น elastic line (ซึ่งแทนด้วยสมการ $P = AEd/L$ เมื่อ A เป็นพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม d เป็น elastic compression ของเสาเข็มภายใต้แรงทดสอบเสาเข็ม P E เป็นโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็ม L เป็นความยาวของเสาเข็ม P เป็นแรงทดสอบเสาเข็ม) กับแกนแสดงแรงทดสอบเสาเข็มมีค่าประมาณ 20 องศา



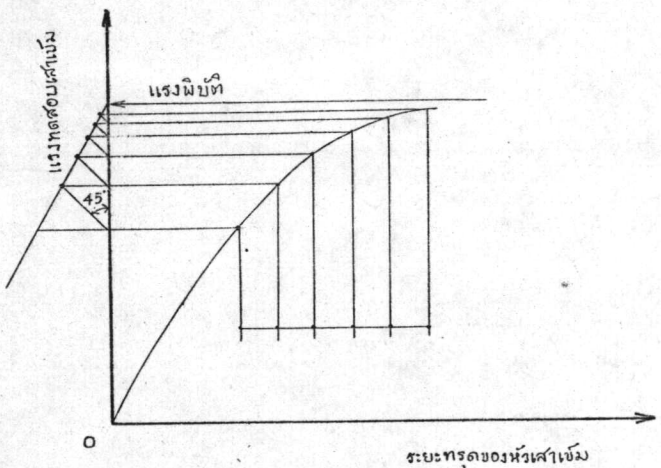
รูปที่ 1.8 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ Hansen, B.J.



รูปที่ 1.9 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ
Davisson, M.T.

Mazurkiewicz, B.K. (1972) ได้เสนอวิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็ม แม้ว่าแรงทดสอบเสาเข็มสูงสุดจะน้อยกว่าแรงพิบัติของเสาเข็มก็ตาม วิธีหาแรงพิบัติของเสาเข็มอาศัยสมมุติฐานที่ว่าลักษณะกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็มเป็นรูปพาราโบรา (parabola) เมื่อเสาเข็มพิบัติ การหาแรงพิบัติของเสาเข็มเริ่มด้วย เลือกระยะทรุดของหัวเสาเข็มขึ้นมาหลาย ๆ ค่า โดยให้ค่าระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่เลือกขึ้นมานี้อยู่ในอนุกรมก้าวหน้าเลขคณิต หาแรงทดสอบเสาเข็มที่ระยะทรุดของหัวเสาที่เลือกขึ้นมาทุกค่าจากกราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็ม จากจุดที่แทนแรงทดสอบเสาเข็มแต่ละค่าที่หามาได้บนแกนแสดงแรงทดสอบเสาเข็ม ลากเส้นตรงทำมุม 45 องศา กับแกนแสดงแรงทดสอบเสาเข็มตัดกับเส้นตรงที่ลากขนานแกนแสดงระยะทรุดของหัวเสาเข็มและผ่านจุดแทนแรงทดสอบเสาเข็มค่าถัดไปซึ่งมีค่ามากกว่า Mazurkiewicz, B.K. (1972)พบว่า จุดตัดเหล่านี้อยู่ในแนวเส้นตรงโดยประมาณ จุดตัดของเส้นตรงที่เชื่อมจุดเหล่านี้กับแกนแสดงแรงทดสอบเสาเข็มถือเป็นค่าแรงพิบัติของเสาเข็ม ดังรูปที่ 1.10

ตามรายงานของ Fellenius, B.H. (1975) มีบ่อยครั้งที่กราฟ แรงทดสอบเสาเข็ม – ระยะทรุดของหัวเสาเข็มประกอบด้วยเส้นตรงในช่วงแรกและตามด้วยส่วนโค้งซึ่งเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นเส้นตรงซึ่งมีความชันมากกว่า แรงทดสอบเสาเข็มตรงจุดตัดของเส้นตรงในช่วงแรกกับเส้นตรงที่ชันกว่าในช่วงหลัง เมื่อต่อเส้นตรงทั้งสองออกมาตัดกันถือเป็นแรงพิบัติของเสาเข็ม แรงพิบัติของเสาเข็มซึ่งหาได้ในลักษณะนี้มักจะถูกเรียกว่า "Critical Load"



รูปที่ 1.10 การหาแรงพิบัติของเสาเข็มโดยวิธีของ
Mazurkiewicz, B. K.

1.3 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีทดสอบเสาเข็มต่อการรับน้ำหนักของเสาเข็มไม้ไผ่เดี่ยวลำเล็ก ๆ

ขอบเขตของการวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผลของวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintained Load Test วิธีทดสอบเสาเข็มแบบ C.R.P. Test และวิธีทดสอบเสาเข็มแบบ Cyclic Test ต่อการรับน้ำหนักในแนวแกนของเสาเข็มเดี่ยวดิ่งซึ่งเป็นไม้ไผ่เลี้ยงลำเล็ก ๆ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 ซม. (1 นิ้ว) ฝังอยู่ในดินอ่อนกรุงเทพฯ 3 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัยนี้

ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัยมีดังนี้:-

ในทางวิศวกรรม

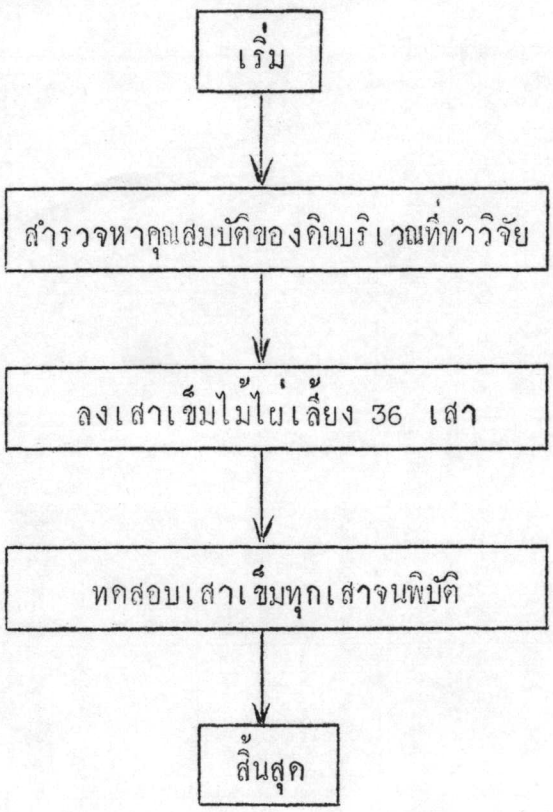
1. เป็นแนวทางปรับปรุงวิธีทดสอบเสาเข็มเดี่ยวดิ่งในดินกรุงเทพฯ
2. ทำให้ประเมินน้ำหนักที่เสาเข็มเดี่ยวดิ่งซึ่งเป็นไม้ไผ่เลี้ยงพึงจะรับได้ในดินอ่อนกรุงเทพฯ ถูกต้องยิ่งขึ้น
3. ให้ข้อมูลประกอบการออกแบบฐานรากที่ใช้เสาเข็มดิ่งซึ่งเป็นไม้ไผ่เลี้ยงฝังอยู่ในดินอ่อนกรุงเทพฯ

ในทางเศรษฐกิจ

4. ส่งเสริมการใช้เสาเข็มไม้ไผ่เลี้ยงแทนเสาเข็มไม้เบญจพรรณซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามากกว่า ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำฐานรากที่ใช้เสาเข็มถูกลง

1.5 แผนการวิจัย

แผนการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 ขั้นงาน