บทที่ 5

วิจารณ์

จากการทดสอบเสาเข็มซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดง พอจะวิจารณ์ได้ดังนี้

แรงพิบัติของเสาเข็ม

แรงพิบัติของเสาเข็มในการทดสอบนั้น ถือเอาน้ำหนักกดสูงสุดที่ทำให้เสาเข็มทรุดตัวลงเรื่อยๆ โดยที่น้ำหนักกดบนหัวเสาเข็มคงที่ การพิบัติของเสาเข็มเข้าลักษณะ "Plunging failure" (Fuller & Hoy, 1970) และการพิจารณาแรงพิบัติโดยวิธีนี้สอดคล้องกับหลักการของ Chellis (1961) ซึ่งถือเอาแรงทดสอบเสาเข็มซึ่งทำให้เสาเข็มทรุดตัวลงดินอย่างรวดเร็ว หรือเป็นแรงทดสอบขณะที่ความชันของกราฟแรงทดสอบเสาเข็ม–ระยะทรุดของหัวเสาเข็มมีค่าเข้าใกล้อนันต์

กราฟบางรูปเช่น H –200 ที่ชั้นความลึก 6.00 เมตร และ H –100 ที่ความลึก 3.00 เมตรและ 12.00 เมตร (รูปที่ ฝ–3 และ ฝ–1) แสดงระยะทรุดตัวในช่วงแรงทดสอบใกล้การพิบัติค่อนข้างสูง ซึ่งทั้งนี้คาดว่าเป็นผลจากการทดสอบเมื่อมีการเพิ่มน้ำหนักในช่วงใกล้แรงพิบัติ การทรุดของหัวเสาเข็มที่อ่านได้จะเพิ่มค่อนข้างเร็ว ทำให้เข้าใจว่าเสาเข็มกำลังจะถึงจุดพิบัติ ดังนั้นในการเพิ่มน้ำหนัก (ควบแม่แรงไฮดรอลิคส์ชนิดโยกด้วยมือ) ถึงน้ำหนักทดสอบที่กำหนดให้ในช่วงนี้จะชลอความเร็วลง ทำให้ระยะเวลาในการเพิ่มน้ำหนักและระยะทรุดที่หัวเสาเข็มสูง (Suwanakul, 1969) สรุปผลการทดสอบเสาเข็มไว้ว่า ระยะเวลาในการเพิ่มน้ำหนักทดสอบที่สั้นกว่า จะทำให้ระยะทรุดตัวของเสาเข็มน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักกดเท่ากัน) แต่อย่างไรก็ตาม น้ำหนักทดสอบในช่วงดังกล่าวไม่ได้แสดงการพิบัติของเสาเข็มในการทดสอบ เพราะอัตราการทรุดที่หัวของเสาเข็มจะช้าลงและหยุด เมื่อคงน้ำหนักไว้ 2.5 นาที ตามวิธีการทดสอบแบบคงน้ำหนักถ่วงไว

สำหรับแรงพิบัติของเสาเข็มขนาด H–100 ที่ชั้นความลึก 21.00 เมตร

นับว่าเป็นแรงพิบัติเนื่องจากการโก่งงอ ดังกล่าวในผลการทดลอง (หน้า 49) แสดงว่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม ที่ชั้นความลึก 21.00 เมตรสูงมากจนเสาเข็มขนาด H -100 ไม่สามารถเคลื่อนตัวทะลุลงไป เสาเข็มจึงพิบัติเนื่องจากการโก่งงอก่อน เกี่ยวกับการโก่งงอของเสาเข็มจะกล่าวถึงต่อไป

การทรุดของหัวเสาเข็ม

ระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่วัดได้เมื่อแรงทดสอบเสาเข็มถึง "แรงพิบัติ" ดังแสดงด้วยกราฟรูปที่ 4.4 มีแนวโน้มแสดงว่า การทรุดของหัวเสาเข็มขนาด H-200จะมากกว่าของขนาด H -100 ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการทรุดตัวระหว่างการเพิ่มน้ำหนักทดสอบถึง "แรงพิบัติ" ของเสาเข็ม H -200 มากกว่า เพราะ "แรงพิบัติ" สูงกว่า ถึงแม้จากกราฟความเค้นสูงสุดในตัวเสาเข็ม (กราฟรูปที่ 4.5) จะแสดงว่าเสาเข็ม H-200 มีค่าความเค้นสูงสุด ณ.จุดพิบัติต่ำกว่า แต่ก็ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการยึดหยุ่นหดตัวเนื่องจากความเค้นจะแตกต่างกันน้อยมาก

สำหรับระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่ชั้นความลึก 18 เมตรของเสาเข็มทั้งสองขนาดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันนั้น เข้าใจว่าเป็นเพราะเสาเข็ม H-100 เกิดการโก่ง ระยะทรุดของหัวเสาเข็มรวมที่วัดได้ มีค่าการทรุดตัวเนื่องจากการโก่งรวมอยู่ด้วย เช่นเดียวกับเสาเข็ม H-100 ที่ความลึก 21 เมตรซึ่งเสาเข็มเกิดการโก่งเมื่อทดสอบดังกล่าว สำหรับเสาเข็มขนาด H-200 การทรุดตัวสูงสุดที่วัดได้เสาเข็มยังไม่ถึงจุดพิบัติ

ระยะทรุดของหัวเสาเข็มในทันทีทันใด เมื่อถึงแรงพิบัติไม่สามารถวัดค่าที่แน่นอนได้ ค่าที่แสดงในรูปกราฟที่ 4.4 เป็นค่าที่วัดเมื่อพิจารณาลักษณะการพิบัติของเสาเข็มบนหลักเกณฑ์เดียวกัน คือเมื่อเสาเข็มแสดงการทรุดตัวลงเรื่อยๆอย่างเห็นได้ชัด (เฉลี่ยประมาณ 2 มม./นาที) ในขณะที่การโยกแม่แรงไม่ทำให้น้ำหนักทดสอบเพิ่มขึ้น

เมื่อเสาเข็มมีขนาดยาวมากขึ้น ระยะทรุดที่หัวเสาเข็ม ณ.จุดพิบัติจะมากตามไปด้วย ระยะทรุดที่หัวเสาเข็มในชั้นดินเหนียว ณ.จุดพิบัติที่วัดได้ในชั้นความลึกไม่เกิน 18.00 เมตรจะมีค่าสูงสุด 11 มม. ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการ

ทดสอบของ Surivonges (1972) ซึ่งแสดงว่าการทรุดตัวที่จุดพิบัติสูงสุดจะประมาณ 2.5 มม.และ Holmberg (1970) ซึ่งแนะนำไว้ว่าในชั้นดินเหนียวแข็ง การทรุดที่หัวเสาเข็ม 5 มม. เพียงพอที่จะแสดงการพิบัติของเสาเข็มได้ แต่อย่างไรก็ตามจากข้อสรุปของ Suwanakul (1969) แสดงไว้ว่าการทรุดที่หัวเสาเข็ม ณ.จุดพิบัติมีค่าตั้งแต่ 11–17.6 มม.และจากรายงานการวิจัยของ Chiruppapa (1981) ซึ่งทดสอบเสาเข็มเหล็กท่อกลมในบริเวณใกล้เคียงกับการทดสอบครั้งนี้ แสดงว่าการทรุดทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม ณ.จุดพิบัติที่ชั้นความลึก 18.00 เมตรมีค่าเท่ากับ 9 มม. สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{1}{2}$ นิ้วและมีค่าเท่ากับ 15.5 มม.สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว

จากการพิจารณาระยะการทรุดที่หัวเสาเข็มข้างต้น แสดงให้เห็นว่าระยะทรุดตัว ณ.จุดพิบัติของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวไม่สามารถสรุปค่าที่แน่นอนได้ การทรุดตัว ณ.จุดพิบัติอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น คุณสมบัติและลักษณะชั้นดิน ชนิดและขนาดรูปร่างเสาเข็ม พฤติกรรมของเสาเข็มขณะกดตอกและทดสอบ รวมทั้งหลักเกณฑ์และวิธีการในการทดสอบ เป็นต้น

<u>แรงต้านทานบนลำผิวของเสาเข็ม</u>

เนื่องจากเสาเข็มรูปตัวเอชมีพื้นที่หน้าตัดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวด้านข้าง ดังนั้นเมื่อปลายเสาเข็มหยั่งไม่ถึงชั้นดินเหนียวแข็งมากหรือชั้นทราย กำลังการรับน้ำหนักส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงต้านทานบนลำผิว (Shaft Resistance) ของเสาเข็ม

จากการพิจารณากราฟการทรุดของหัวเสาเข็ม–แรงทดสอบ (กราฟรูปที่ ฆ–1 ถึง ฆ–4) รูปกราฟจะแสดงลักษณะของเสาเข็มเป็นชนิดรับแรงต้านทานบนลำผิว คือในช่วงแรกของกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือโค้งเล็กน้อย และความชันของเส้นโค้งจะมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อใกล้ถึง "แรงพิบัติ" จนกระทั่งเมื่อถึงแรงพิบัติ การทรุดของหัวเสาเข็มจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว จนไม่สามารถพิจารณาความชันของเส้นกราฟที่คงที่อย่างชัดเจนในช่วงปลายกราฟก่อนแรงพิบัติ ซึ่งเป็นช่วงที่แสดงถึงแรงต้านทานที่ปลายเข็ม (End Bearing) ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าเสาเข็มเกิดการพิบัติทันทีหรือเกือบจะ

ทันที เมื่อแรงต้านทานบนลำผิวถึงจุดพิบัติ หรือกล่าวได้ว่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มในชั้นดินเหนียว (ในที่นี้พิจารณาที่ความลึก ≤ 18.00 เมตร) มีค่าน้อยมาก

<u>แรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็ม</u>

แรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็มเหล็กรูปตัว เอช ในชั้นดินเหนียว จะมีค่าน้อยมากดังได้กล่าวมาแล้ว โดยเฉพาะในชั้นดินเหนียวอ่อน เมื่อพิจารณาจากผลต่างของความต้านทานต่อแรงกดและแรงดึงขึ้นจากกราฟรูปที่ 4.1 จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ความแตกต่างของแรงกดและแรงดึงขึ้นจะมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาตามความเป็นจริงแล้ว เมื่อเสาเข็มหยั่งถึงชั้นดินเหนียวแข็ง แรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็มจะมีค่าที่ควรนำมาประมาณจำนวนหนึ่ง แต่เป็นที่น่าเสียดายที่การทดลองครั้งนี้ไม่ได้จัดเตรียมวิธีการทดสอบเพื่อประมาณหาค่าความต้านทานที่ปลายของเสาเข็ม และเมื่อพิจารณาจากกราฟการหรุดของหัวเสาเข็มแรงทดสอบ ก็ไม่สามารถประมาณแรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็มได้ ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการแบ่งช่วงของการเพิ่มแรงทดสอบในช่วงใกล้แรงพิบัติไม่ละเอียดพอ ดังนั้นกลุ่มความชันของกราฟที่ได้จึงแสดงลักษณะเสาเข็มเป็นแบบรับแรงบนลำผิวดังกล่าว

สำหรับเสาเข็มขนาด H–200 ที่ชั้นความลึก 18.00 เมตรและ 20.00 เมตร ลักษณะกราฟน้ำหนักกด–ระยะหรุดที่หัวเสาเข็ม (รูปที่ ผ–4) มีแนวโน้มแสดงลักษณะแรงต้านทานที่ปลายเข็ม แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะเห็นว่าลักษณะกราฟในช่วงต้นน่าจะเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ เพราะถึงแม้กราฟจะแสดงกลุ่มความชันสองกลุ่ม แต่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องที่ถูกต้องตามลักษณะของเสาเข็มรับแรงต้านข้างและแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม และกลุ่มความชันของกราฟในช่วงปลาย เมื่อหาความชันเฉลี่ยและพิจารณาแยกหาแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม เสาเข็มจะมีลักษณะเป็นเสาเข็มชนิดรับแรงที่ปลายเสาเข็ม โดยที่แรงต้านทานบนลำผิวน้อยมาก ซึ่งผิดจากความเป็นจริง

แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มจากการคำนวณ

แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มเมื่อคำนวณ จากสมการ (1.1) โดยใช้ค่า q_u จากสมการ (1.1.4) เมื่อปลายเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นดินเหนียว และพิจารณาใช้ค่า A_p เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของตัวเสาเข็ม ค่าที่ได้แสดงในตาราง ฝ-9 (ภาคผนวก)

ในการคำนวณหาค่า q_u จากสมการ (1.1.4) เมื่อพิจารณาหาค่า N_c ในดินกรุงเทพฯจากตารางที่ 1 และจาก Skempton (1951) ได้ใช้ค่า $N_c=9$ ซึ่งเป็นค่าที่เห็นว่าควรใช้ได้เมื่อการคำนวณตั้งอยู่บนพื้นฐานค่ากำลังแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดลองแบบกำลังอัดทิศทางเดียว

อย่างไรก็ตามค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับแรงต้านทานรวมของเสาเข็ม ดังนั้นค่า N_c จะมีผลต่อแรงต้านทานรวมของเสาเข็มน้อยมาก

สำหรับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มที่ระยะลึก 21 เมตร ซึ่งคาดว่าหยั่งถึงชั้นทรายตามลักษณะชั้นดินที่ได้จากการเจาะสำรวจนั้น ไม่สามารถพิจารณาจากกราฟทดสอบเช่นกัน เนื่องจากเสาเข็มเกิดการพับตัวเนื่องจากการโก่งงอก่อนดังกล่าว

ความต้านทานแรงดึง

ความต้านทานแรงดึงขึ้นของเสาเข็ม H-100 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.1 ในชั้นดินเหนียวอ่อน ค่าความต้านทานจะใกล้เคียงกันกับความต้านทานแรงกดลง แต่น้อยกว่า ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากดินรอบปลายบนของเสาเข็มถูกขุดออกบางส่วนเพื่อสังเกตการโก่งงอ (ดังกล่าวใน บทที่ 3) สำหรับในชั้นดินเหนียวแข็งจะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานแรงกดลงมาก ซึ่งเข้าใจว่าเนื่องจากแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มส่วนหนึ่ง และการโก่งงอของเสาเข็มอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่ง คือเมื่อเสาเข็มที่โก่งถูกดึงขึ้น จะพยายามปรับตัวให้ตรงก่อนการเคลื่อนตัว ทำให้เกิดการพับตัวในบางส่วนก่อนและเกิดช่องว่างขึ้น รวมทั้งการปรับตัวตรงของเสาเข็มจะทำให้เสาเข็มเคลื่อนไหวมากก่อนการพับตัวที่สมบูรณ์รวมตลอดเสาเข็ม ทำให้ดินถูกรบกวนและลดกำลังต้านทานลง แต่ในชั้นดิน

เหนียวออนผลดังกล่าวจะน้อย เพราะเสาเข็มช่วง 9 เมตรสุดท้ายค่อนข้างตรงและชั้นความลึกน้อย ค่าความต้านทานต่อแรงกดลงและดึงขึ้นของเสาเข็มที่แตกต่างกันมากในชั้นดินเหนียวแข็ง ไม่นับว่าผิดปกติ Thornley (1959) เขียนไว้ว่าเมื่อเสาเข็มหยั่งถึงชั้นดินแข็ง เนื่องจากเกิดแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มสูงและเสาเข็มทะลุผ่านได้ยาก ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) ของดินซึ่งรับแรงกดลงสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบโดยวิธีดึงขึ้น ดังนั้นแรงต้านทานของเสาเข็มในกรณีรับแรงกดจะสูงกว่า และ Thornley ยังให้ข้อคิดว่าเนื่องจากพฤติกรรมของดินที่แตกต่างกันขณะพิบัติในกรณีเสาเข็มรับแรงกดและแรงดึงในชั้นดินเหนียวแข็ง ดังนั้นการใช้ผลต่างของค่าทั้งสองเป็นแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มอาจคลาดเคลื่อนมาก เมื่อเสาเข็มหยั่งถึงชั้นดินแข็ง

<u>การโก่งงอของเสาเข็ม</u>

การโก่งงอของเสาเข็มที่ถูกถอนขึ้นมา เมื่อพิจารณาแล้วสามารถแยกส่วนของการโก่งงอออกเป็น 2 ส่วนคือ การเบี่ยงเบนที่จุดต่อเสาเข็ม และการโก่งงอในตัวเสาเข็มในส่วนที่ไม่ใช่จุดต่อ

1. <u>การเบี่ยงเบนที่จุดต่อเสาเข็ม</u> การเบี่ยงเบนตรงจุดต่อแสดงว่าเกิดขึ้นในขณะทำการต่อเชื่อมเสาเข็มแต่ละท่อน ซึ่งถึงแม้จะมีการบังคับแนวดิ่งตรง แต่เพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นระหว่างเสาเข็มกับช่องบังคับแนวดิ่งตรง ดังนั้นช่องดังกล่าวจะโตกว่าขนาดเสาเข็มบางเล็กน้อย (ประมาณข้างละ 2-3 มม.) ซึ่งขนาดช่องที่โตกว่าขนาดเสาเข็มนี้จะทำให้ปลายบนของเสาเข็มสามารถขยับตัวเบี่ยงเบนจากแนวดิ่งตรงที่ต้องการ เมื่อส่วนล่างเกิดการเบี่ยงเบนขณะกดตอก (เนื่องจากสิ่งกีดขวางใต้ดิน , แรงกดเยื้องศูนย์ , หรือการพิบัติของดินรอบปลายเสาเข็มไม่สมดุลย์กันดังกล่าวในบทที่ 1) และเมื่อนำท่อนใหม่มาต่อตามช่องบังคับดิ่ง ก็อาจเกิดการเบี่ยงเบนขึ้นอีกบ้าง การเบี่ยงเบนที่จุดต่อในช่วงแรกๆจะไม่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ปลายเสาเข็มส่วนที่นำมาต่อชนกันซึ่งตัดออกจากเหล็กท่อนยาวเดียวกันด้วยเลื่อย จะสามารถปรับให้ชนกันได้สนิท แต่เมื่อความยาวของเสาเข็มเพิ่มขึ้น การโก่งงอและเบี่ยงเบนสะสม จะทำให้ปลายบนเกิดการเบี่ยงเบนมาก ดังนั้นปลายของเสา

เข็มที่นำมาต่อชนกันไม่สามารถปรับให้ชนกันได้สนิทในขอบเขตของช่องบังคับดิ่ง ซึ่งจะเป็นสาเหตุต่อเนื่อง ทำให้เสาเข็มที่ถูกกดลงดินเกิดการเบี่ยงเบนและโก่งงอเพิ่มมากขึ้น

ในการทดลองครั้งนี้ การเบี่ยงเบนของเสาเข็มที่เกิดขึ้นนับว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรายงานซึ่งแสดงในตารางที่ 3 (บทที่ 2) แต่อย่างไรก็ตามการเบี่ยงเบนที่จุดต่อนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญเริ่มแรกที่จะทำให้เสาเข็มเกิดการโก่งงอ ดังนั้นในการใช้งาน วิธีการต่อเสาเข็มและการบังคับให้เสาเข็มอยู่ในแนวที่ต้องการ ควรมีการควบคุมอย่างเข้มงวด เช่นมีการเจาะนำและทำช่องบังคับ เป็นต้น

2. <u>การโก่งงอในส่วนที่ไม่ใช่จุดต่อ</u> ในส่วนที่ไม่ใช่จุดต่อ การโก่งงองของเสาเข็มที่ถูกดึงขึ้นจะยังคงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในช่วงความลึกประมาณ 3 เมตร และ 11 เมตร ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเสาเข็มในช่วงดังกล่าวเคยเกิดความเค้นบนขอบผิวเกินความเค้นในช่วง Proportional Limit เมื่อรับน้ำหนักกด

การโก่งงอในส่วนที่ไม่ใช่จุดต่อนี้จะไม่แสดงให้เห็นในส่วนอื่นจากเสาเข็มที่ถูกถอนขึ้น ทั้งนี้คาดว่าเพราะการเบี่ยงเบนของเสาเข็มในช่วงความลึกประมาณ 3 เมตร และ 11 เมตรสูงกว่าส่วนอื่น โดยเฉพาะเมื่อปลายล่างของเสาเข็มมีการเบี่ยงเบนมาก และฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายปลายปิด ช่วง 11–12 เมตร จะเป็นช่วงที่เกิดโมเมนต์เนื่องจากแรงเยื้องศูนย์มาก

แต่อย่างไรก็ตาม ส่วนอื่นของเสาเข็มอาจเกิดการโก่งงอมากเช่นกัน แต่เมื่อเสาเข็มถูกดึงขึ้น จะถูกดึงให้ยืดตรง การโก่งงอคงอยู่หลังจากการดึงขึ้นจึงไม่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจน

<u>สัมประสิทธิ์การเกาะตัว</u> (α)

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัว (α) ปัญหาที่ควรสนใจและพิจารณาอย่างละเอียดคือ พื้นที่ผิวพิบัติที่แท้จริงของเสาเข็ม และความต้านทานบนลำผิวเสาเข็มในแต่ละช่วงของชั้นดิน

1. <u>พื้นที่ผิวพิบัติ</u> พื้นที่ผิวพิบัติที่แท้จริงของเสาเข็มเหล็กรูปตัว เอชจากการสังเกตุในการทดลองดึงขึ้น แสดงว่าในชั้นดินเหนียวอ่อนและชั้นดินเหนียวแข็งจะมีลักษณะต่างกัน เสาเข็มที่ถูกถอนขึ้นมามีดินเหนียวอ่อนสีเทาดำเกาะติดเต็มระหว่างปีกเสาเข็มทั้งสองข้างตลอดความยาว รวมทั้งในช่วง 9 เมตรสุดท้ายซึ่งเดิมฝังอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง แต่เมื่อล้างออก ในช่วง 9 เมตรสุดท้ายจะมีรองรอยของดินเหนียวแข็งสีน้ำตาลติดอยู่บางในส่วนปีกในเสาเข็ม โดยเฉพาะตรงมุมซึ่งเป็นจุดต่อระหว่างปีกเสาเข็ม (Flange) และแผ่นตั้ง (Web) แต่ผิวนอกของปีกเสาเข็มไม่มีการติดแน่นของดินที่เห็นได้ชัดเจน

ดังนั้นค่าพื้นที่ผิวพิบัติต่อหน่วยความยาวของเสาเข็มในกรณีรับแรงดึงในชั้นดินเหนียวอ่อน แสดงว่าพิจารณาได้เหมือนกับข้อเขียนของ Chellis (1961) หรือ Romuadi (1964) คือมีค่าเท่ากับ 4 เท่าความกว้างของเสาเข็ม ดังรูป 1 ก. แต่ในชั้นดินเหนียวแข็ง พื้นที่ผิวพิบัติควรพิจารณาว่าเกิดบนพื้นที่ผิวสุทธิ เหมือนการพิจารณาของ Tomlinson (1976)

สำหรับในกรณีรับแรงกดทั้งในชั้นดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวแข็ง การพิจารณาพื้นที่ผิวพิบัติเหมือนการพิจารณาในดินเหนียวแข็งในกรณีดึงขึ้น (ใช้พื้นที่ผิวสุทธิ) นับว่ามีเหตุผลที่ใช้ได้ เพราะในการทดลองสังเกตุพบว่าถึงแม้ดินเหนียวระหว่างปีกตามเสาเข็มจะถูกพาเคลื่อนตัวตามลงไป แต่คาดว่าเป็นเพียงช่วงสั้นๆ เพราะจากการขุดเพื่อสังเกตุดังกล่าวมาแล้วพบว่าระหว่างปีกเสาเข็มมีดินอุดแน่นตั้งแต่ชั้นความลึกประมาณ 1 เมตร และเมื่อล้างออกปีกในของเสาเข็มจะมีลักษณะถูกขูดเป็นรอยดังรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงว่าดินที่เข้าไปติดอยู่ระหว่างปีกเสาเข็ม ถูกดันให้หลุดจากการเกาะติด เมื่อเสาเข็มถูกกดสู่ชั้นดินที่ลึกเพิ่มขึ้นและแข็งกว่า

อย่างไรก็ตามเพื่อให้แนวทางการพิจารณาละเอียดขึ้น ในที่นี้จึงได้แสดงค่า α ซึ่งคำนวณจากค่าพื้นที่ผิวพิบัติของเสาเข็มทั้งสองกรณี โดยแต่ละกรณีพิจารณาตลอดความยาวเสาเข็ม ทั้งในชั้นดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวแข็ง ทั้งแสดงในตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

2. ความต้านทานของเสาเข็มในแต่ละช่วงของชั้นดิน ค่าความต้านทานซึ่งใช้คำนวณค่า α ในแต่ละช่วงของชั้นดิน ซึ่งพิจารณาจากผลต่างของความต้านทานในแต่ละช่วงนั้นเป็นค่าที่ไม่ค่อยถูกต้องนัก เพราะพฤติกรรมของดินจะพิบัติเมื่อเสาเข็มตั้งอยู่บนชั้นความลึกที่ไม่เท่ากันจะแตกต่างกัน เช่นชั้นดินซึ่งมีค่ากำลังแรงเฉือนที่แตกต่างกันจะพิบัติเมื่อเกิดการยึด-หดตัวต่างกัน และผลต่างของการลดลงของค่าแรงเฉือนไม่ระบายน้ำของดิน (Undrained Shear Strength) สู่ค่ากำลังแรงเฉือนคงอยู่ (Residual Strength) ของดินอาจไม่เท่ากันเมื่อการทรุดของเสาเข็มจะพิบัติแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามการหาค่า α จากความต้านทานในแต่ละช่วงดังกล่าวนับว่าสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ เมื่อไม่สามารถพิจารณาจากวิธีอื่นที่ดีกว่า ในที่นี้เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้คำนวณค่า α เฉลี่ยรวมในแต่ละช่วงความยาวเพื่อเป็นแนวทางการพิจารณารวมอยู่ควบกับวิธีข้างต้น ดังแสดงในตาราง 4.7 ถึง 4.10

ค่า α ซึ่งได้จากการพิจารณาหลายๆทางดังแสดงในตาราง 4.4 ถึง 4.10 เมื่อยึดหลักความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน รวบรวมได้ว่าในการรับแรงกดเมื่อใช้พื้นที่ผิวพิบัติเท่ากับพื้นที่ผิวสุทธิ ในชั้นดินเหนียวอ่อน เสาเข็ม H –100 มีค่า α เฉลี่ยเท่ากับ 0.38 และเสาเข็ม H –200 มีค่า α เฉลี่ยเท่ากับ 0.52 และในชั้นดินเหนียวแข็ง H –100 มีค่า α เฉลี่ย 0.33 และ H –200 มีค่า 0.47

เมื่อใช้พื้นที่ผิวพิบัติเท่ากับสี่เท่าความกว้างเสาเข็ม ในชั้นดินเหนียวอ่อน เสาเข็ม H –100 มีค่า α เท่ากับ 0.53 และ H –200 มีค่าเท่ากับ 0.76 และในชั้นดินเหนียวแข็ง H–100 มีค่า α เท่ากับ 0.47 และ H–200 มีค่า α เท่ากับ 0.69

ในกรณีรับแรงดึง ค่า α ของ H–100 ในชั้นดินเหนียวอ่อนจะใกล้เคียงกับในกรณีรับแรงกดคือเท่ากับ 0.38 เมื่อคำนวณจากพื้นที่ผิวสุทธิ และเท่ากับ 0.54 เมื่อคำนวณจากพื้นที่ผิวเท่ากับ 4 เท่าความกว้างเสาเข็ม แต่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ค่าที่ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงกดและแรงดึงขึ้น ของเสาเข็ม ดังวิจารณ์ไว้ข้างต้น

เมื่อพิจารณาขนาดเสาเข็มและค่า α จะเห็นว่าค่า α ในเสาเข็ม H-200 จะสูงกว่าเสาเข็ม H-100 ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องจากการเพิ่มกำลังแรงเฉือนของดิน และกำลังอัดคันดานข้างของดิน เมื่อถูกแทนที่ด้วยเสาเข็มซึ่งเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีผลมากกว่า

เนื่องจากค่า α ขึ้นกับตัวประกอบหลายอย่างดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นจากรายงานที่ผ่านมาจะมีค่า α ต่างๆกัน ค่า α ในชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งได้จากการทดสอบครั้งนี้ จะมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Holmberg (1970) ; Suwanakul (1971), Surivonges (1972) และ Weeranun (1982) แต่จะใกล้เคียงกับรายงานของ Chiruppapa (1968 และ 1981) สำหรับในชั้นดินเหนียวแข็ง ค่าสัมประสิทธิ์การเกาะตัวที่ได้ จะมีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกับรายงานดังกล่าว

<u>กำลังการรับน้ำหนักวิกฤตโก่งงอของเสาเข็ม</u>

เสาเข็ม H-100 เมื่อคำนวณกำลังการรับน้ำหนักวิกฤติโก่งงอจากสูตร Tomlinson (1936), Cummings (1938) และ Francis (1965) แม้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านดินดานข้างคงที่เท่ากับ 6.7 กก./ซม.^{2} (จากสูตร Davisson 1970, K = 6.7 Su) ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ พบว่ากำลังการรับน้ำหนักวิกฤติโก่งงอของเสาเข็มจะมีค่าค่อนข้างสูง ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

จากสูตร	P_{cr} (ตัน)
Timoshenko (1936)	86.8
Cumming (1938)	87.5
Francis (1965)	88.62

ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มสั้น H-100 จากการทดลองในห้องปฏิบัติพบว่ามีค่า 57.6 ตัน ดังนั้นแสดงว่าถ้าเสาเข็มไม่เกิดการเยิ่งเบนและโก่งงอ

ขณะกดดอกและไม่เกิดน้ำหนักเยื้องศูนย์ เสาเข็มจะไม่พิบัติเนื่องจากการโก่งงอ แต่จะพิบัติแบบพังทะลาย (Crushing) ตามแนวแกนเมื่อปลายเข็มหยั่งถึงชั้นที่มีความต้านทานสูง

จากสูตร Timoshenko เมื่อแทนค่าน้ำหนักวิกฤติโก่งงอ (P_{cr}) ด้วยค่า 57.6 ตัน ($A\sigma_{max}$) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านดินด้านข้างเท่ากับ 2.95 กก./ซม.^{2} ดังนั้นอาจประมาณได้ว่าเสาเข็ม H-100 จะไม่เกิดการพิบัติเนื่องจากการโก่งงอเมื่อดินมีค่า K มากกว่า 3 กก./ซม.^{2} หรือ S_u มีค่ามากกว่า 0.44 ตัน/ม.^{2} และเสาเข็มก่อนรับแรงอยู่ในแนวดิ่งตรง รวมทั้งลักษณะการรับแรงของเสาเข็มไม่เกิดการเยื้องศูนย์

<u>กำลังการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มงอ</u>

กำลังการรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มงอขนาด H-100 ซึ่งหยั่งถึงชั้นความลึก 2 เมตร ซึ่งคำนวณจากสูตร 3.7 แสดงในตัวอย่างการคำนวณ (ภาคผนวก) ซึ่งพิจารณาค่ารัศมีความโค้งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 135 เมตร (คำนวณจาก $R = Ey/f_b$) ถึง 400 เมตร (พิจารณาจากเสาเข็มซึ่งถอนขึ้นมา)

จากค่าที่ได้ แสดงว่าการประมาณค่าความต้านทานสูงสุดของเสาเข็มงอจากสูตรดังกล่าวอาจนำมาใช้ได้ ถ้ามีการวัดค่ารัศมีความโค้งของการโก่งงอที่แน่นอน

สำหรับค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม H-100 ที่ชั้นความลึก 21 เมตร ซึ่งได้จากการทดสอบ อาจมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากเสาเข็มเกิดการพิบัติตรงจุดต่อซึ่งเป็นจุดอ่อนในตัวเสาเข็ม ในการทดลองครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความเค้นสูงสุดในเสาเข็ม ซึ่งได้จากการทดสอบเฉพาะในแนวแกนมีค่าเท่ากับ 1,066 กก./ซม.^{2} และเสาเข็มที่ถอนขึ้นมามีการโก่งงอในส่วนที่ไม่ใช่จุดต่อดังกล่าวในข้อ 7.2 ดังนั้นค่าน้ำหนักทดสอบที่ได้นับว่าสามารถพิจารณาเป็นกำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเข็มได้