

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

เนื้อหาในบทนี้ส่วนแรกจะเป็นผลการวิเคราะห์กลับที่ใช้โปรแกรมของผู้วิจัยซึ่งใช้ทฤษฎี Beam on Elastic Foundation (BEF) และผลการวิเคราะห์สำหรับเสาเข็มเดี่ยวที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P (ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้การวิเคราะห์แบบวิธี p-y curve), ผลการวิเคราะห์สำหรับเสาเข็มกลุ่ม Group 4.0 (Student Version, use p-y curve for lateral respond) ส่วนเนื้อหาในส่วนหลังจะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัยทั้งหมด

4.1 ผลการวิเคราะห์กลับและผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์, วิเคราะห์กลับได้มาจากผลการทดสอบซึ่งประกอบด้วยค่า Load ที่หัวเสาเข็ม, ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มและค่า Slope จากเครื่องมือ Inclinator (ทั้งนี้ข้อมูลบางชนิด ในบางโครงการไม่มี, รายละเอียดของข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละโครงการได้แสดงในบทที่ 3) รวมทั้งข้อมูลทางด้านโครงสร้างของเสาเข็ม (เช่น ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม, f_c , จำนวนและขนาดเหล็กเสริม, Concrete Covering, f_y ของเหล็กเสริม เป็นต้น) จากข้อมูลดังกล่าว โปรแกรมของผู้วิจัยทำการสุ่มหาค่า E_s ที่ทำให้ได้ผลที่ได้จากโปรแกรม (เช่น Slope, Y_t) มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบในสนามมากที่สุด และเมื่อโปรแกรมของผู้วิจัยได้ค่า E_s ที่ทำให้ผลจากโปรแกรม (เช่น Slope, Y_t) พัดกับผลการทดสอบในสนามแล้ว โปรแกรมของผู้วิจัยจะแสดงผลลัพธ์ (output) ต่างๆ โดยหลักๆแล้ว output มี

1) ค่า E_s

2) Deflection, Moment, Shear, Soil Reaction, $E_p I_p$ ที่เกิดขึ้นกับเสาเข็ม

3) กราฟ Bending Stiffness ($E_p I_p$) พล็อตกับ Bending Moment เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ที่กระทำกับค่า $E_p I_p$ ของหน้าตัดเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก กราฟดังกล่าวยังแสดงถึงค่า $E_p I_p$ จะลดลงอย่างกระทันหันเมื่อค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในเสาเข็มมากพอที่ทำให้เกิดการแตกร้าวในส่วนที่รับแรงดึงของคอนกรีต ตัวอย่างดังเช่นรูปที่ 4.2 (หลักการคำนวณเพื่อสร้างกราฟนี้ ผู้วิจัยได้เขียนไว้ในภาคผนวก ก.) โดยตัวเลข 124.3 ton*m ในรูปแสดงถึงค่า Cracking Moment (เป็นค่าโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีตส่วนรับแรงดึง) และตัวเลข 756.4 ton*m ในรูปแสดงถึงค่า Ultimate Moment ซึ่งกราฟดังกล่าวนี้จำเป็นในการคำนวณด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยมาก กล่าวคือในการคำนวณจำเป็นต้องทราบค่า $E_p I_p$ ของเสาเข็ม ทว่าในกรณีเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กค่า $E_p I_p$ มีการเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของโมเมนต์ที่มากกระทำ ซึ่งในส่วนนี้โปรแกรมของผู้วิจัยจะทำการปรับค่า $E_p I_p$ อัตโนมัติโดยอาศัยกราฟดังกล่าว

ทั้งนี้ในรูปกราฟดังกล่าว (เช่นรูปที่ 4.2) ในรูปจะมีการแสดงค่า f_c (Ultimate Strength of concrete (Cylinder)), ขนาดและจำนวนเหล็กเสริม, f_y ของเหล็กเสริม, Concrete Covering ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างกราฟดังกล่าวด้วย

4) ค่า Slope SqDev (เป็นผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างค่า Slope ที่วัดได้จาก Inclinometer กับผลรันที่ได้จากโปรแกรม ณ. ความลึกที่เท่ากันตลอดช่วงความลึกที่มีการวัดค่าด้วย Inclinometer) ของแต่ละฟังก์ชัน E_s ที่สมมุติ (คือ $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ว่าฟังก์ชันใดให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Inclinometer Data ที่ได้จากการทดสอบในสนามมากที่สุด แต่สำหรับโครงการที่ 4 (บางชื่อ) ไม่มีข้อมูล Inclinometer ดังนั้นก็จะไม่มีค่า Slope SqDev

5) วิธีการพิตกับข้อมูลในสนาม (Fit Type) ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในโปรแกรมของผู้วิจัย กล่าวคือ ข้อมูลจากการทดสอบในสนามอาจมีทั้งข้อมูล Pile Head Deflection ที่ได้จากเครื่องมือ Dial Gauge, Slope ที่ได้จากเครื่องมือ Inclinometer ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องกำหนดว่าจะให้โปรแกรมของผู้วิจัยทำงานหา E_s ที่ทำให้ได้ค่า output (Slope, Y_t) ตรงกับข้อมูลจากการทดสอบอันไหน (Slope หรือ Y_t หรือทั้งสองอย่าง?) ทั้งนี้การเลือกให้โปรแกรมของผู้วิจัยพิตกับข้อมูลในสนามอันไหนนั้น ขึ้นกับ Accuracy ของเครื่องมือ รวมทั้งฟังก์ชัน E_s ที่ใช้ ซึ่งประเภทของการพิตมี 3 แบบคือ Fit DialGauge, Fit Inclinometer (Slope) และ Fit DialGauge+0.05 mm รายละเอียดในส่วนนี้ได้แสดงอยู่ในบทที่ 3

เพื่อความชัดเจนในการนำเสนอผลต่างๆ, output ในข้อ 2) ที่ได้จากโปรแกรมของผู้วิจัยจะแสดงเฉพาะผล Slope vs. Depth (หรือ Deflection vs. Depth แทนในกรณีที่ไม่มี Inclinometer Data), Bending Stiffness ($E_p I_p$) vs. Depth ซึ่งอาจดูเป็นตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.3 – 4.7 (ซึ่งแสดงผลที่ขนาด Lateral Load ต่างๆกัน) นอกจากนั้นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิเคราะห์กลับจากโปรแกรมของผู้วิจัยจะเน้นอธิบายผลที่ได้จาก 3 ฟังก์ชันคือ

1. $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$, ผลการวิเคราะห์กลับด้วยฟังก์ชันนี้ให้ผลพิตกับผลการทดสอบในสนามดีกว่าฟังก์ชันอื่นๆ

2. $E_s = k$ (1-layer) และ $E_s = kx$ ง่ายต่อการนำไปใช้งานกล่าวคือมีพารามิเตอร์ k เพียงตัวเดียวอีกทั้งมีhardt ไร่มิติสำหรับการคำนวณอยู่แล้ว (hardt ไร่มิติได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.4 – 2.7)

ส่วนฟังก์ชัน $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kSu$ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์กลับเพื่อนำผลที่ได้ใช้สนับสนุนผลลัพธ์จากฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = kx$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ เท่านั้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ผล ผู้วิจัยจะพิจารณาถึงผลที่ได้จาก $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kSu$ ในกรณีที่ต้องการสนับสนุนผลการวิเคราะห์กลับเท่านั้น

นอกจากแสดง output จากโปรแกรมของผู้วิจัยแล้ว ยังมีการแสดงผลการวิเคราะห์สำหรับเสาเข็มเดี่ยวด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P (เป็นโปรแกรมที่ใช้การวิเคราะห์แบบวิธี p-y

curve), และแสดงผลการวิเคราะห์สำหรับเสาเข็มกลุ่มด้วย Group 4.0 (Student Version, use p-y curve for lateral respond) ด้วย โดย input สำหรับโปรแกรมสำเร็จรูปทั้งสองนี้ใช้ข้อมูลดินคือ ค่า S_u , E_{50} จาก Triaxial UU test, γ' และสำหรับโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ต้องการ input เกี่ยวกับจำนวนเสาเข็ม, ตำแหน่งของเสาเข็มในกลุ่ม รวมทั้งต้องกำหนด Boundary Condition ที่หัวเสาเข็ม (ผู้วิจัยกำหนดเป็น fixed), Max Side Friction Load Transfer (ton/m^2) หรือก็คือค่า Skin Friction ของเสาเข็มนั่นเอง

4.1.1 ผลสำหรับโครงการที่ 1 (คลองตัน)

สำหรับโครงการที่ 1 (คลองตัน) ได้มีการทดสอบเสาเข็มอยู่สองต้นคือ Pile R1, R2 มี % เหล็กเสริม 1.493%, ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะขนาด 1.5 m และได้ติดตั้งเครื่องมือ Inclinator และ Dial Gauge 2 ตัวห่างกัน 0.5 m

ข้อมูลดินสำหรับโครงการที่ 1 ชั้น Soft – Midium Clay อยู่ในช่วงความลึก 0 – 13.26 m มี $S_u \text{ avg}$ (ในช่วง 8D, D = Pile Diameter) = 2.51 ton/m^2 , $PI \sim 41.7\%$, $LI \sim 0.839$, $w \sim 68.3\%$

จากข้อมูลดินข้างต้นสำหรับกรณี $E_s = k$ (2-layer) ผู้วิจัยกำหนดให้ชั้น Soft - Medium Clay เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจากชั้น Soft - Medium Clay จนถึงปลายเสาเข็ม

ทั้งนี้ Reference Beam ที่ใช้ยึด Dial Gauge ในโครงการนี้เกิดการเคลื่อนตัวทำให้ข้อมูลที่ได้จาก Dial Gauge ใช้การไม่ได้ ดังนั้นสำหรับข้อมูล Pile Head Deflection ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลที่ได้อินคลิโนมิเตอร์ แทน

ผลสำหรับโครงการที่ 1 (คลองตัน) เสาเข็ม R1 จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 – 4.7, ตารางที่ 4.1 ส่วนผลของเสาเข็ม R2 จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.8 – 4.13, ตารางที่ 4.2 ทั้งนี้รูปแบบที่ผู้วิจัยนำเสนอในรูปแบบและตารางสำหรับเสาเข็มแต่ละต้นจะเป็น form เดียวกันคือ มี 1 ตารางที่สรุปผล, มีรูปที่แสดงกราฟ $M \text{ vs. } E_p I_p$, รูปที่แสดง Apply Load vs. Pile Head Deflection และรูปที่เป็นกราฟ Slope vs. Depth, Bending Stiffness vs. Depth มีประมาณ 4 – 5 รูป ซึ่งความหมายของตารางและรูปเหล่านี้จะถูกอธิบายในย่อหน้าถัดๆ ไปคือ

รูปที่ 4.1 แสดง Apply Load vs. Pile Head Deflection ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบในสนาม ซึ่งในกราฟดังกล่าวแสดงเส้นกราฟ Measured Inclinator ซึ่งเป็นการพล็อตค่าระหว่างแรงกระทำทางด้านข้าง (Apply Load) กับค่า Pile Head Deflection ที่ได้จากเครื่องมือ Inclinator ส่วนเส้นกราฟ Data Point for back Analysis แสดงถึงผลการทดสอบที่ผู้วิจัยเลือกจากจุดข้อมูลที่แสดงในเส้นกราฟ Measured Inclinator เพื่อนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์หาค่ากลับ โดยสำหรับในรูปที่ 4.1 ข้อมูล Measured Inclinator มีที่ Lateral Load 10, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 ton และผู้วิจัยเลือกที่ Lateral Load 35, 45, 55, 65, 70 ton เพื่อนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์หาค่ากลับ และได้ลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดที่ผู้วิจัยเลือกเพื่อดูลักษณะของกราฟหรือเพื่อดูแนวโน้มของกราฟได้ชัดเจนขึ้น

ในรูปที่ 4.2 แสดงกราฟ M vs. $E_p I_p$ ของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมของผู้วิจัย นอกจากกราฟดังกล่าวใช้ในการคำนวณด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยแล้ว รูปที่ 4.2 มีไว้เพื่อให้ทราบถึงค่า Cracking Moment และ Ultimate Moment ของเสาเข็มในโครงการนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลโดยย่อหรือผลโดยสรุปของเสาเข็มต้น R1 ที่ได้จากการวิเคราะห์, วิเคราะห์ห้กลับที่ขนาดแรงกระทำทางด้านข้างต่างๆ และแสดง Measured Data: Yt (Pile Head Deflection) ที่ได้จากเครื่องมือ Inclinomater เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์, วิเคราะห์ห้กลับ

ในตารางที่ 4.1 [ส่วน Back Analysis] ได้แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับโดยโปรแกรมของผู้วิจัยด้วยฟังก์ชัน E_s ต่างๆ (คือ $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$) ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

- 1) Yt (Pile Head Deflection)
- 2) M_{max} (Maximum moment in Pile)
- 3) ค่า E_s
- 4) ค่า Slope SqDev
- 5) วิธีการฟิตกับข้อมูลในสนาม (Fit Type) ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ใน โปรแกรมของผู้วิจัย

และในตารางที่ 4.1 [ส่วน Com624P] ได้แสดงผลการวิเคราะห์ห้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ซึ่งใช้หลักการของ p-y curve ในการคำนวณ ผู้วิจัยได้แสดงผล Yt, M_{max} , Slope SqDev เพื่อที่จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสนามที่แสดงในตารางที่ 4.1 [ส่วน Measured Data] เพื่อตรวจสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์ห้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P

รูปที่ 4.3 - 4.7 แสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ห้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P และผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยที่ขนาด Load ต่างๆ โดยกราฟบนแสดง Slope vs. Depth ซึ่งในกราฟได้แสดง

- ค่า Slope ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือ Inclinomater ที่ได้จากการทดสอบในสนาม,
- ผลการวิเคราะห์ห้กลับโดยโปรแกรมของผู้วิจัยที่เขียนขึ้น โดยใช้ทฤษฎี Beam on Elastic Foundation ด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$
- แสดงผลการวิเคราะห์ห้ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P

นอกจากนั้นสำหรับในโครงการอื่นๆ ได้ติดตั้ง Dial Gauge ที่บริเวณหัวเข็ม 2-3 ตัวห่างกัน 0.5 m สามารถนำไปหาค่า Slope ที่บริเวณหัวเสาเข็มและพล็อตลงไปในกราฟ Slope vs. Depth ได้ด้วย เพื่อหาค่า Slope ที่ได้จาก Dial Gauge มี error ขนาดไหนเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องมือ Inclinomater ซึ่งเป็นเครื่องมือที่วัด Slope โดยตรง - ทั้งนี้ข้อมูล Dial Gauge สำหรับโครงการที่ 1 นี้ ใช้การไม่ได้ จึงไม่มีการพล็อตแบบดังกล่าว

ส่วนกราฟล่างในรูปที่ 4.3 – 4.7 แสดง Bending Stiffness ($E_p I_p$) vs. Depth ซึ่งในกราฟได้แสดงค่า $E_p I_p$ ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชันต่างๆ และแสดงค่า Gross Bending Stiffness ($E_p I_p$, ใช้ $I_p = \pi D^4/64$ นั่นคือเป็นการหาค่า $E_p I_p$ โดยไม่คำนึงถึงเหล็กเสริมในเสาเข็ม) โดยสำหรับโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ผู้วิจัยได้กำหนดใช้ค่า $E_p I_p$ เท่ากับ Gross $E_p I_p$ ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ผู้วิจัยกำหนดให้ค่า $E_p I_p$ มีค่าคงที่ตลอดกล่าวคือ ไม่มีการลดลงของค่า $E_p I_p$ เนื่องจากโมเมนต์ที่มากกระทำ

ทั้งนี้หากสังเกตกราฟล่างในรูปที่ 4.3 – 4.7 ซึ่งเป็นกราฟ Bending Stiffness ($E_p I_p$) vs. Depth โดยให้พิจารณาเฉพาะเส้นกราฟที่ได้จากผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชันต่างๆ ของผู้วิจัย จะพบว่าที่ load ไม่มากนักเช่นที่แสดงในรูปที่ 4.3 ค่า $E_p I_p$ มีค่าเท่ากันตลอด (ทั้งนี้ในรูปดังกล่าวมี $E_p I_p$ เป็นสองช่วงเนื่องจากการลดจำนวนเหล็กเสริมนั่นเอง) และยังมีค่ามากกว่า Gross Bending Stiffness (เนื่องจาก $E_p I_p$ ของผู้วิจัยพิจารณาถึงเหล็กเสริมด้วย) เมื่อ load เพิ่มขึ้นมากพอที่ทำให้เกิดโมเมนต์ในเสาเข็มมากเกินไป M_{cr} (Cracking Moment) ก็จะทำให้ทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีตส่วนรับแรงดึง ซึ่งส่งผลทำให้ค่า $E_p I_p$ ลดลงด้วยเช่นที่แสดงในรูปที่ 4.7

เนื่องจากผลของผู้วิจัยสำหรับเสาเข็มในแต่ละต้นมีค่อนข้างมาก ผู้อ่านอาจสับสนในประเด็นสำคัญที่ผู้วิจัยต้องการแสดงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เขียนตัวอย่างของวิธีการอ่านผล โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) พิจารณาตารางที่ 4.1 [ส่วน Back Analysis] ที่ Lateral Load 35 ton สิ่งที่ต้องอ่านจากรางนี้คือ ค่า Slope SqDev (เป็นผลรวมกำลังสองของผลต่างระหว่างค่า Slope ที่วัดได้จาก Inclinometer กับผลรันที่ได้จากโปรแกรม ณ. ความลึกที่เท่ากันตลอดช่วงความลึกที่มีการวัดค่าด้วย Inclinometer) ของฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = kx$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ให้เปรียบเทียบค่า Slope SqDev โดยค่าที่น้อยกว่าหมายถึงได้ผลที่พิดกับ Inclinometer data ในสนามที่ดีกว่า ซึ่งตรงนี้ต้องพิจารณาถึง Fit Type ด้วย (โดยปกติแล้วที่ load ไม่มาก ผู้วิจัยมักจะใช้ Fit DialGauge และเมื่อ load มากพอที่ทำให้ Inclinometer data มีความผิดพลาดน้อยลงมากแล้วก็จะใช้ Fit Inclinometer (Slope), ทว่าสำหรับโครงการนี้ต้องใช้ Fit Inclinometer (Slope) ตลอดเนื่องจาก data จาก Dial Gauge ใช้การไม่ได้) โดยทำให้ผู้อ่านทราบว่าผลการวิเคราะห์ห้กลับนี้ได้จากการพิดกับข้อมูลใด จากนั้นให้เปิดรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นรูปแสดงผลที่ Lateral Load 35 ton สิ่งที่ต้องพิจารณาในรูปดังกล่าวมี

- กราฟบน (กราฟ Slope vs. Depth) ให้พิจารณาลักษณะของเส้นกราฟของฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = kx$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ว่าเส้นใดใกล้เคียงกับเส้น Inclinometer ซึ่งเส้นที่ใกล้เคียงที่สุดมักเป็นเส้นของฟังก์ชันที่ให้ค่า Slope SqDev ที่น้อยที่สุด, ทั้งนี้หากมีการพล็อตค่า Slope ที่คำนวณได้จาก Dial Gauge หรือค่า Slope ที่ได้จากเครื่องมือ Tiltmeter ด้วย ก็ให้เปรียบเทียบด้วย

- กราฟล่าง (กราฟ Bending Stiffness vs. Depth) ดูว่าเกิดการลดลงของค่า $E_p I_p$ หรือไม่ โดยหากพบว่าการลดลงของค่า $E_p I_p$ ก็ให้ดูด้วยว่าเป็นของฟังก์ชันใดและที่ Lateral Load

เท่าใด เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกราฟ Apply Load vs. Pile Head Deflection ที่แสดงในรูปที่ 4.1 ว่า การโค้งที่เกิดขึ้นของเส้นกราฟสอดคล้องกับการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ได้จากการวิเคราะห์กลับด้วย ฟังก์ชันต่างๆ หรือไม่

2) พิจารณาตารางที่ 4.1 [ส่วน Com624P] ค่า Y_t เทียบกับส่วน Measured Data, Y_t แล้ว พิจารณารูปที่ 4.3 กราฟบน โดยพิจารณาว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ เส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับ Inclinator Data หรือไม่

3) พิจารณาที่ Lateral Load ต่อไปจนครบ

4) พิจารณาตารางที่ 4.1, พิจารณา E_s , M_{max} , Y_t ว่ามีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อ Lateral Load เพิ่มมากขึ้นของฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = kx$, $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$

5) พลิกรูปที่ 4.3 – 4.7 ทั้งหมดโดยดูทีละหน้า ตรงนี้ผู้อ่านจะเห็นการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ ลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้น (เป็นค่า Lateral Load หลังจากที่เกิดการแตกร้าวใน คอนกรีตส่วนรับแรงดึงแล้ว) และค่า Slope ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้น

หลังจากนั้นก็ให้อ่านการวิเคราะห์ผลของผู้วิจัย หรืออ่านการวิเคราะห์ผลของผู้วิจัยก่อน อ่านผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนข้างต้นก็ได้

ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลการวิจัยของผู้วิจัย มีการตรวจสอบ Local Yield ของดิน โดยหาค่า p_u (Ultimate Soil Resistance) จากสมการที่ 2.19 แล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับผล p (Soil Resistance) ที่ได้จากการวิเคราะห์กลับ โดยทำการเปรียบเทียบตลอดความยาวเสาเข็มเพื่อหา Local Yield ดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบหา Local Yield ของดินนี้ เป็นการหาค่า Lateral Load ที่ทำให้เกิด Local Yield โดยคร่าวๆเท่านั้น เนื่องจากความถูกต้องในการหา p_u ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของสูตรที่ แสดงในสมการที่ 2.19 และผลการทดสอบนี้ไม่มีข้อมูลหรือไม่ทราบค่า p (Soil Resistance) ที่เกิดขึ้นจริงในสนามระหว่างการทดสอบเสาเข็ม ค่า p ที่นำไปเปรียบเทียบกับ p_u นั้นได้จากการ วิเคราะห์กลับสำหรับในแต่ละฟังก์ชัน โดยในแต่ละฟังก์ชันก็ให้ค่า p ที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ซึ่งไม่ จำเป็นที่ค่า p ของจริงที่เกิดขึ้นในสนามจะต้องมีลักษณะหรือค่าใกล้เคียงกับค่า p ที่ได้จากการ วิเคราะห์กลับ

โดยลักษณะของการเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรกในกรณีเสาเข็มเดี่ยวรับแรง กระทำทางด้านข้าง จากผลการวิเคราะห์กลับพบว่ามักจะเกิดที่บริเวณผิวดินและเกิดเป็นจุดหรือเป็น แถบแคบๆ ประมาณ 0.1-1 m

ผลที่แสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และผลการวิเคราะห์ห้กลับในรูปที่ 4.3 - 4.7, 4.9 - 4.13 พบว่า

1) จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.1 สำหรับเสาเข็ม R1 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 45.1% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 35, 45, 55, 65, 70 ton เท่ากับ 70.6%, 74.3%, 41.3%, 15.9%, 23.5% ตามลำดับ)

จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.2 สำหรับเสาเข็ม R2 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 77.8% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 35, 45, 55, 65, 70 ton เท่ากับ 113.6%, 105.3%, 67.4%, 54.7%, 48% ตามลำดับ)

2) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.3 - 4.7 สำหรับเสาเข็ม R1 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 45 ton, 55 ton, 45 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.1 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 42 ton

เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.9 - 4.13 สำหรับเสาเข็ม R2 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 45 ton, 55 ton, 45 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.8 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 40 ton

3) จากตารางที่ 4.1, 4.2 พบว่าค่า k ที่ได้จากฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก upper layer) มีค่าไม่ต่างกันมากนัก และได้ $k/(Su \text{ avg})$ จากกรณี $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก upper layer) มีค่าใกล้เคียงกับ k ที่ได้จากกรณี $E_s = kSu$

4) ค่า Slope ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมของผู้วิจัย (ทุกฟังก์ชันของ E_s) พบว่ามีค่าใกล้เคียงหรือให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่า Slope จากเครื่องมือ Inclinometer ดังแสดงในรูปที่ 4.3 - 4.7, 4.9 - 4.13

5) Local Yield ของดิน: ทั้งเสาเข็ม R1, R2 พบว่า Lateral Load ที่ทำให้ค่า p_u (Ultimate Soil Resistance) มีค่าน้อยกว่าค่า p (Soil Resistance) หรือก็คือค่า Lateral Load ที่ทำให้เริ่มเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรก จากผลการวิเคราะห์ห้กลับของฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ คือ 55 ton, 55 ton, 45 ton ตามลำดับ โดยเกิด Local Yield ของดินที่ความลึก 3 m เป็นจุดแรก (จุดดังกล่าวมี Su เพียง 1 ton/m²)

6) ผลจากข้อ 2 และข้อ 5 พบว่าเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้นจะเกิดการลดลงของ $E_p I_p$ ก่อนการเกิด Local Yield ของดินเมื่อพิจารณาด้วยการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$ ซึ่งเป็น

ฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์กลับ และเมื่อพิจารณาเฉพาะผลในข้อ 2 (กรณี $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$) พบว่าการโค้งที่เกิดขึ้นในกราฟ Apply Load vs. Pile Head Deflection ที่แสดงในรูปที่ 4.1, 4.8 เกิดจากการลดลงของค่า $E_p I_p$

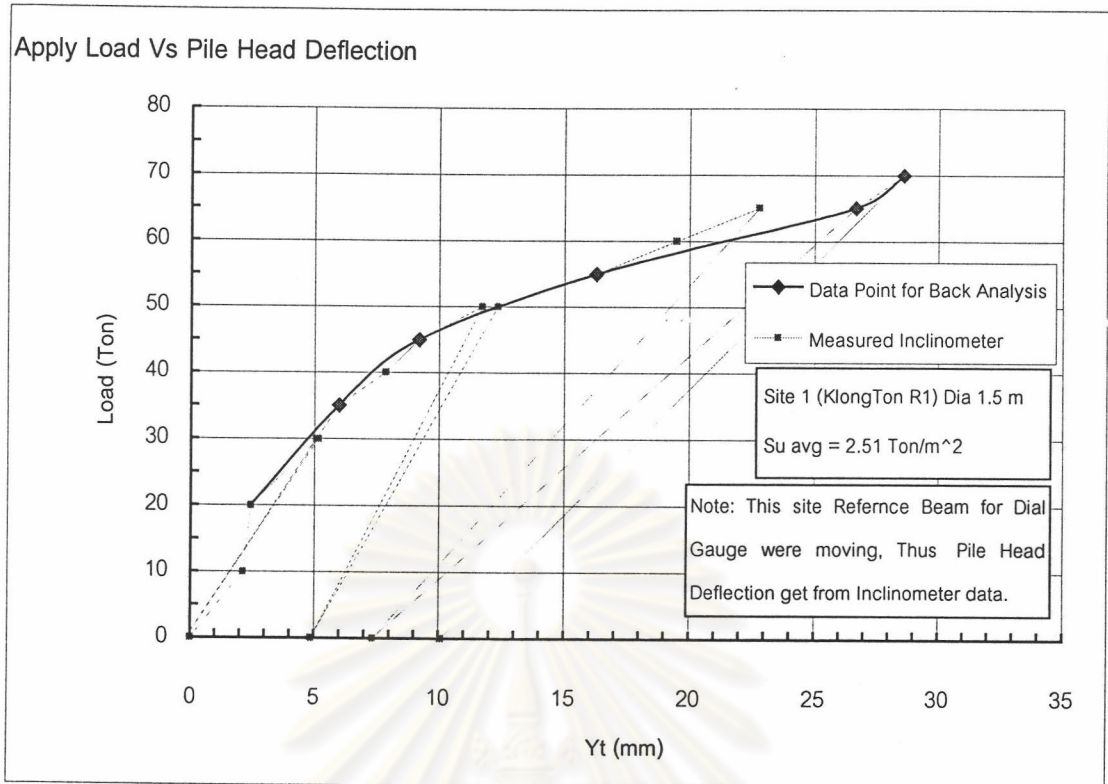
นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์ผลซึ่งพบว่าเสาเข็มเดี่ยวทุกต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์กลับ ได้การวิเคราะห์ผล ที่เหมือนกัน คือ

1) การวิเคราะห์กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ สามารถให้ทั้งผล Pile Head Deflection และ Slope ใกล้เคียงในสนาม ดังนั้นจึงเป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์กลับ

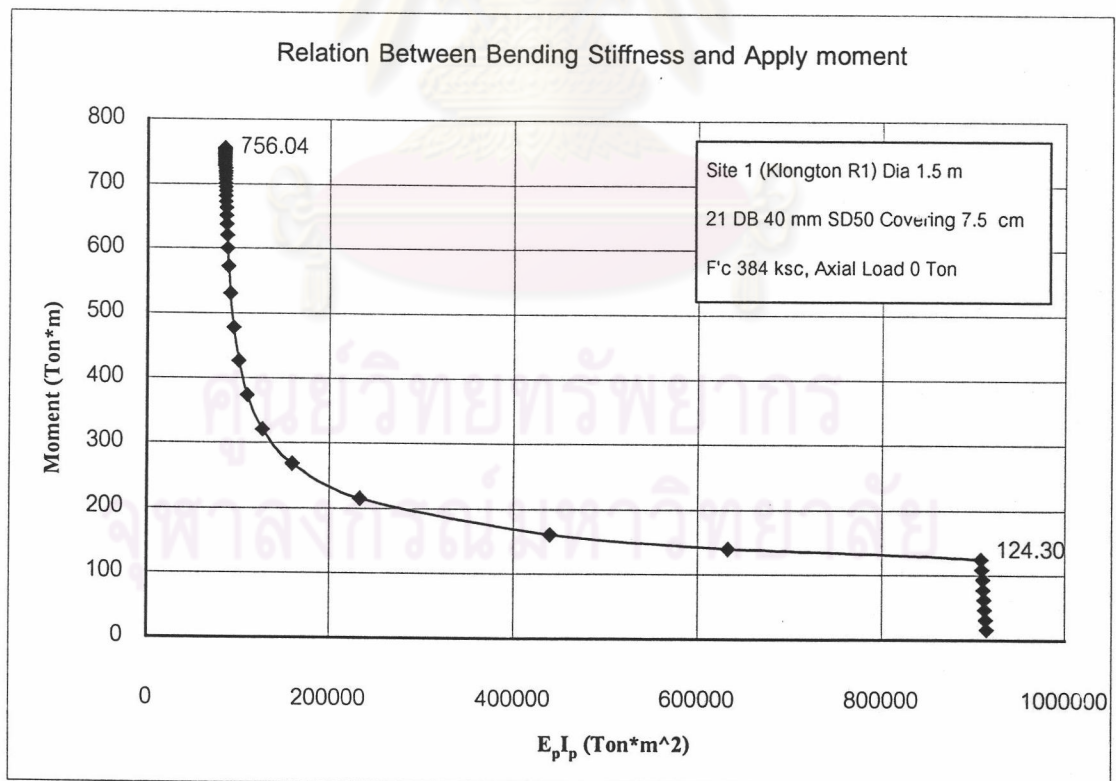
2) จากผลการวิเคราะห์กลับของทุกฟังก์ชัน E_s พบว่าเมื่อ Lateral Load เพิ่มมากขึ้น จะได้ค่า E_s ที่ลดลง

3) เมื่อพิจารณาค่า Inclinator Data ที่แสดงในรูปที่ 4.3 - 4.7 พบว่า Inclinator Data มี error ลดลงเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้น

4) ค่า M_{max} เมื่อเทียบกับฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ พบว่าฟังก์ชัน $E_s = kx$ ให้ค่าที่สูงกว่า และฟังก์ชัน $E_s = k$ ให้ค่าที่ต่ำกว่า



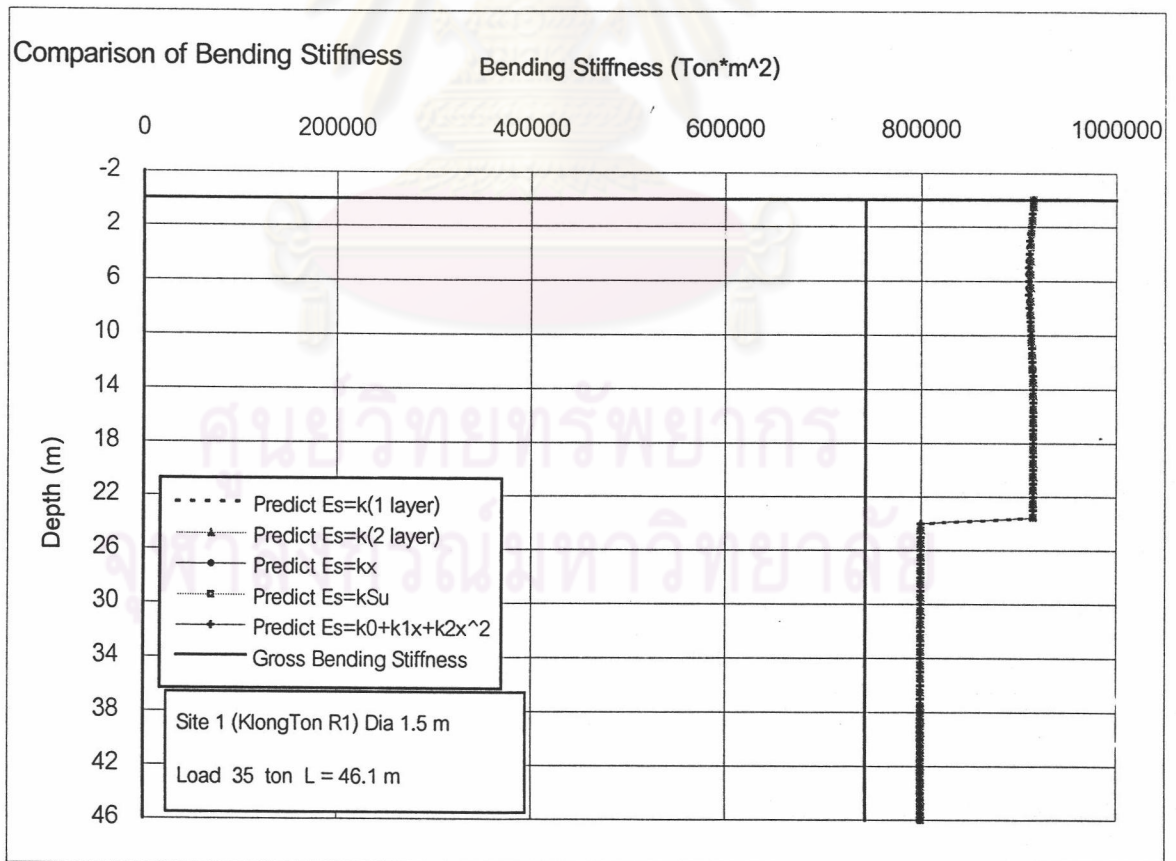
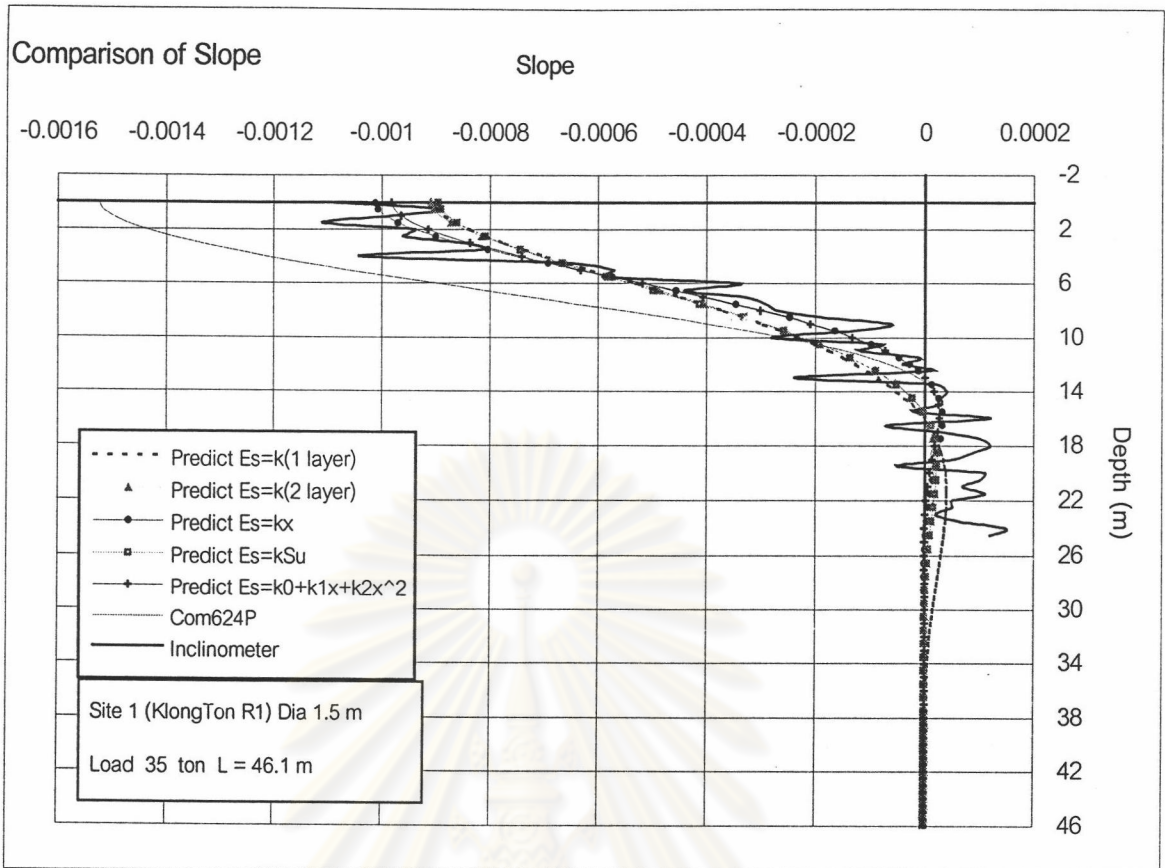
รูปที่ 4.1 Load – Deflection Curve และแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์กลับสำหรับโครงการที่ 1-Pile R1



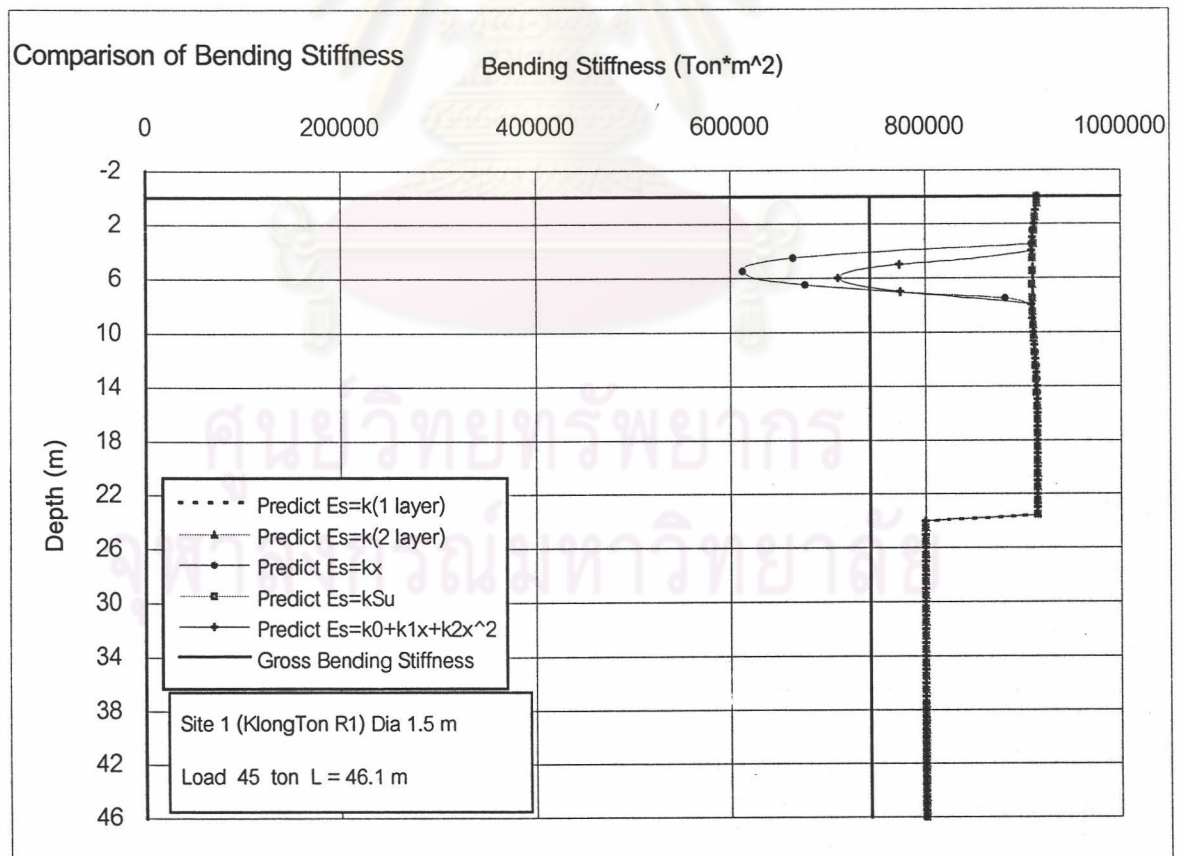
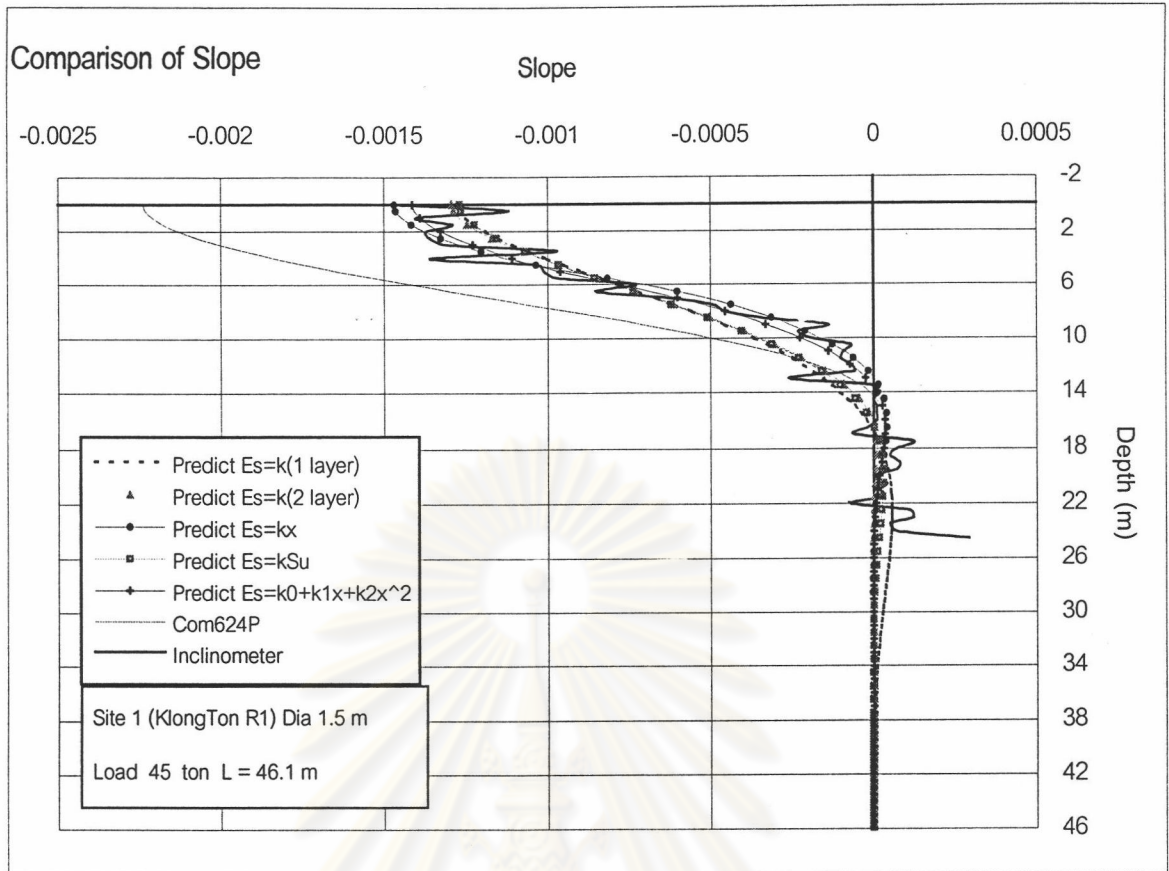
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apply Moment กับ $E_p I_p$ ช่วงความลึก 0 – 24 m สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงการที่ 1-Pile R1, R2 ที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 1-Pile R1

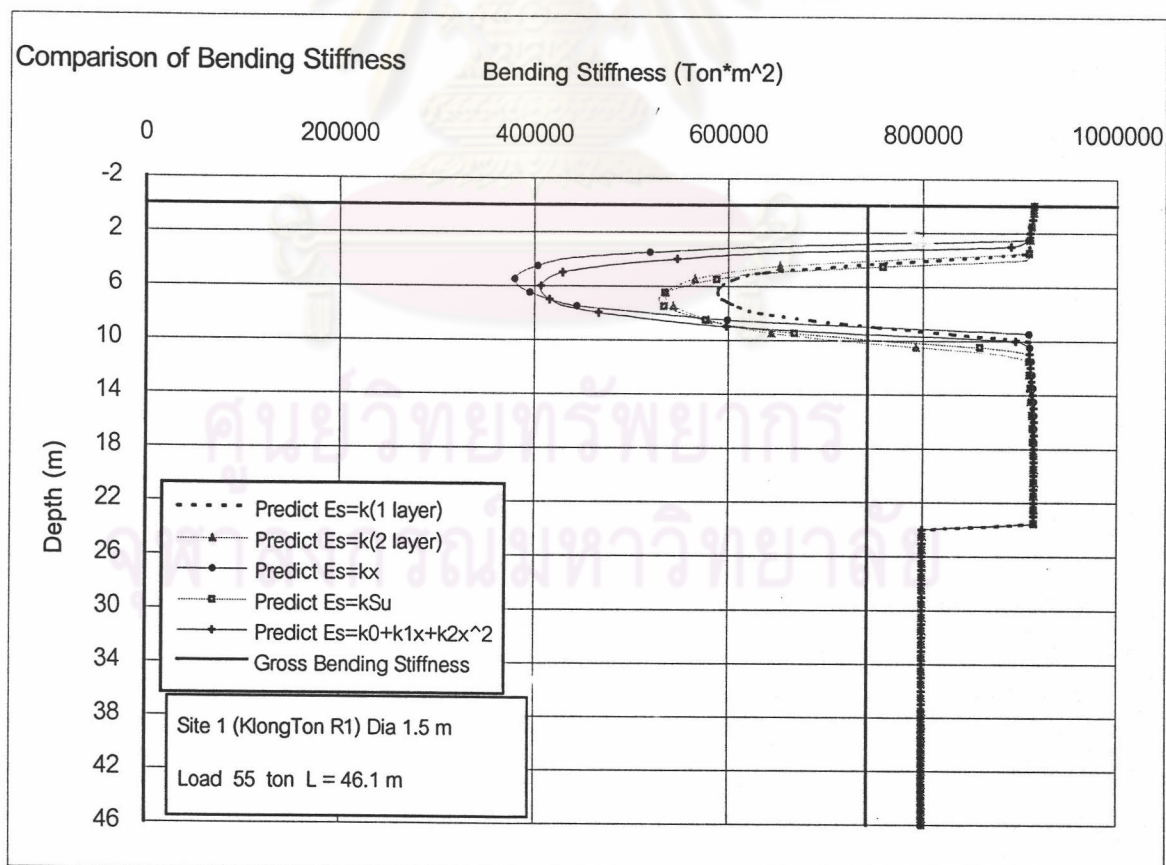
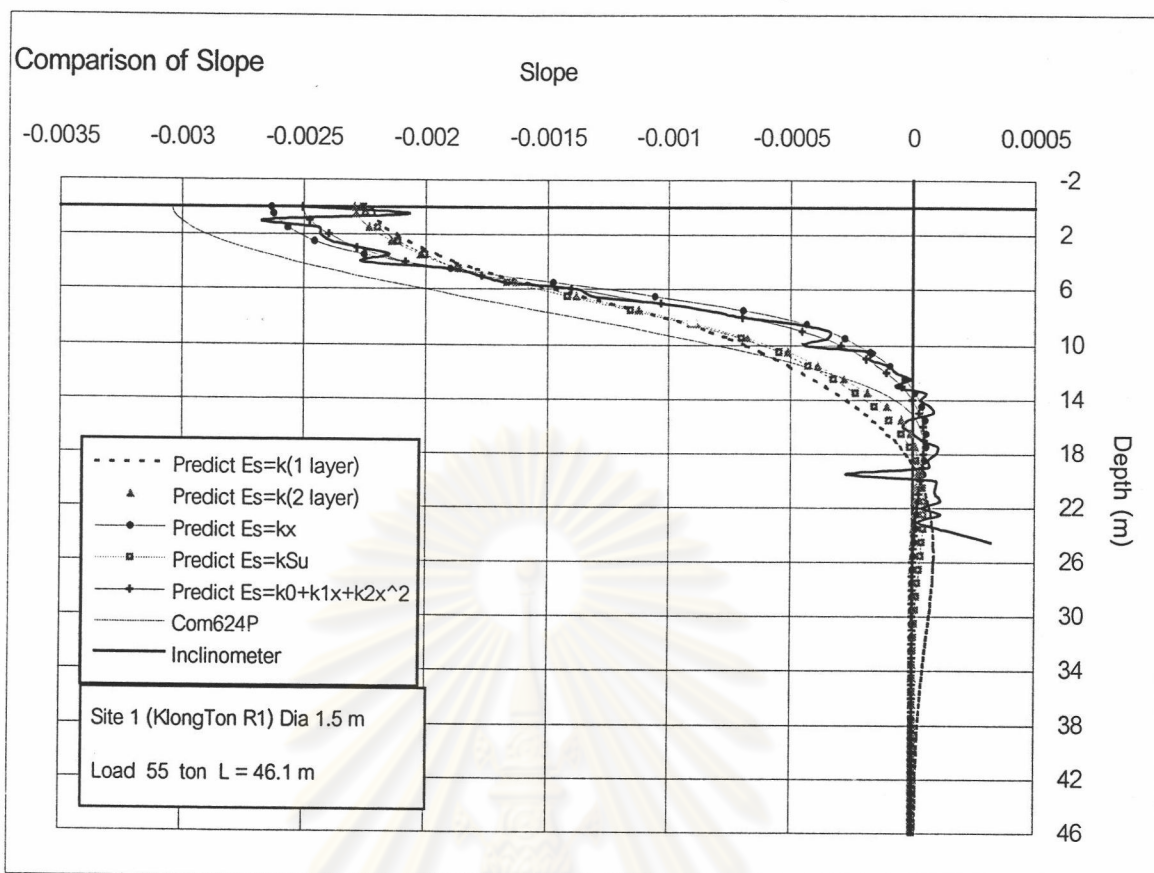
		Lateral Load (Ton)					
		35	45	55	65	70	
Measured Data	Yt (mm)	5.98	9.18	16.275	26.66	28.58	
	Yt (mm)	6.17	9.12	17.28	26.28	29.14	
Back Analysis	Es = k (1-layer)	M _{max} (ton*m)	77.3	104.0	137.9	157.6	167.6
		Es (Ton/m ²)	Es = 1655	Es = 1375	Es = 820	Es = 660	Es = 650
		Slope SqDev	6.317E-07	9.280E-07	3.328E-06	4.206E-06	5.940E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
		Yt (mm)	6.42	9.62	17.71	26.72	29.83
Back Analysis	Es = k (2-layer)	M _{max} (ton*m)	72.46	108.55	138.51	161.90	172.02
		Es (Ton/m ²)	Es up = 1545 Es low = 9240	Es up = 1250 Es low = 120000	Es up = 800 Es low = 76800	Es up = 635 Es low = 57785	Es up = 620 Es low = 9920
		Slope SqDev	6.197E-07	8.547E-07	2.176E-06	3.173E-06	5.024E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
		Yt (mm)	6.12	8.77	15.67	24.27	26.77
Back Analysis	Es = kx	M _{max} (ton*m)	108.94	137.26	164.43	194.80	202.97
		Es (Ton/m ²)	Es = 855 x	Es = 800 x	Es = 570 x	Es = 435 x	Es = 455 x
		Slope SqDev	4.015E-07	6.065E-07	9.612E-07	1.357E-06	2.050E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
		Yt (mm)	6.41	9.48	17.81	26.81	30.00
Back Analysis	Es = kSu	M _{max} (ton*m)	78.64	107.16	139.15	160.87	173.22
		Es (Ton/m ²)	Es = 680 Su	Es = 565 Su	Es = 350 Su	Es = 280 Su	Es = 270 Su
		Slope SqDev	6.475E-07	8.829E-07	2.597E-06	3.977E-06	5.995E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
		Yt (mm)	6.12	9.15	16.22	25.26	28.01
Back Analysis	Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	M _{max} (ton*m)	104.04	132.48	154.05	186.47	193.62
		Es (Ton/m ²)	Es = 950 + 0x + 105x ²	Es = 890 + 0x + 70x ²	Es = 650 + 15x + 45x ²	Es = 485 + 5x + 35x ²	Es = 495 + 5x + 35x ²
		Slope SqDev	4.344E-07	5.156E-07	6.345E-07	3.775E-07	4.786E-07
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
		Yt (mm)	6.12	9.15	16.22	25.26	28.01
Com 624P	Pile R1, R2	Yt (mm)	10.20	16.00	23.00	30.90	35.30
		M _{max} (ton*m)	130.48	180.43	232.42	287.46	316.00
		Slope SqDev	3.826E-06	9.838E-06	8.148E-06	7.386E-06	1.265E-05



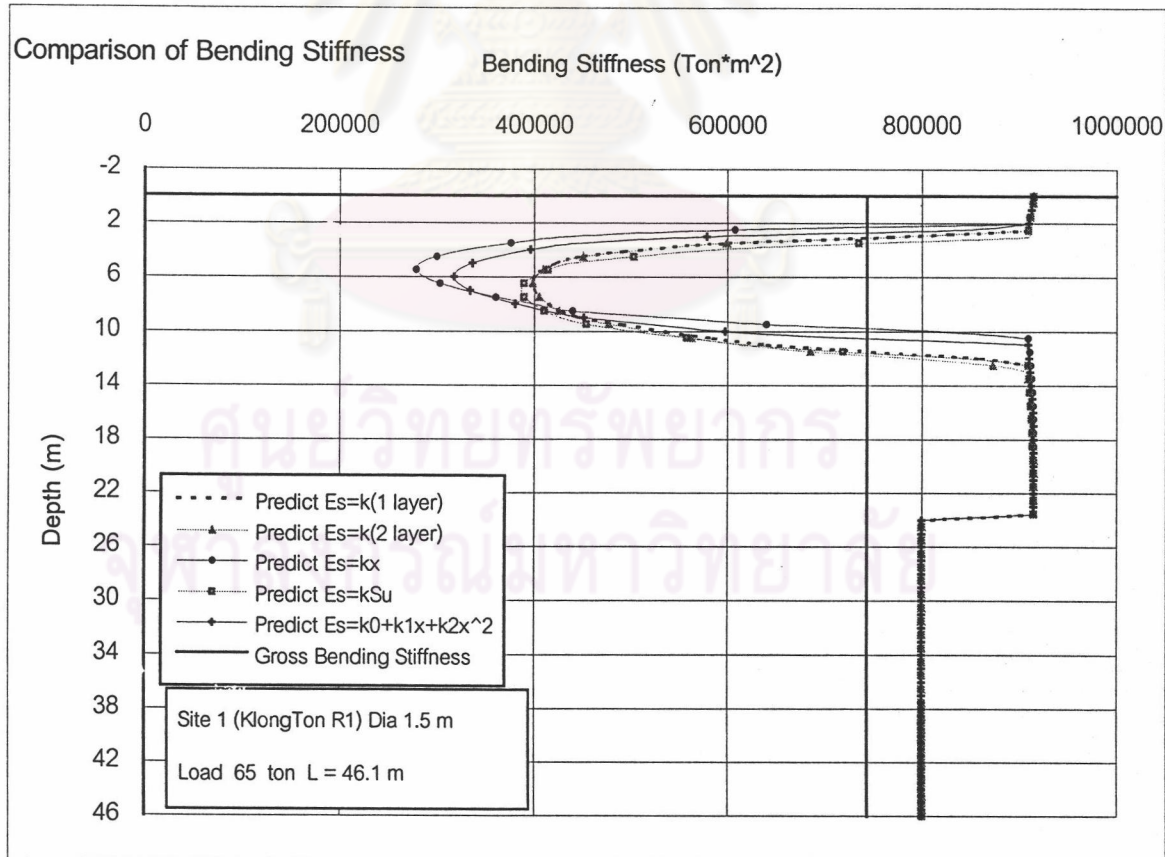
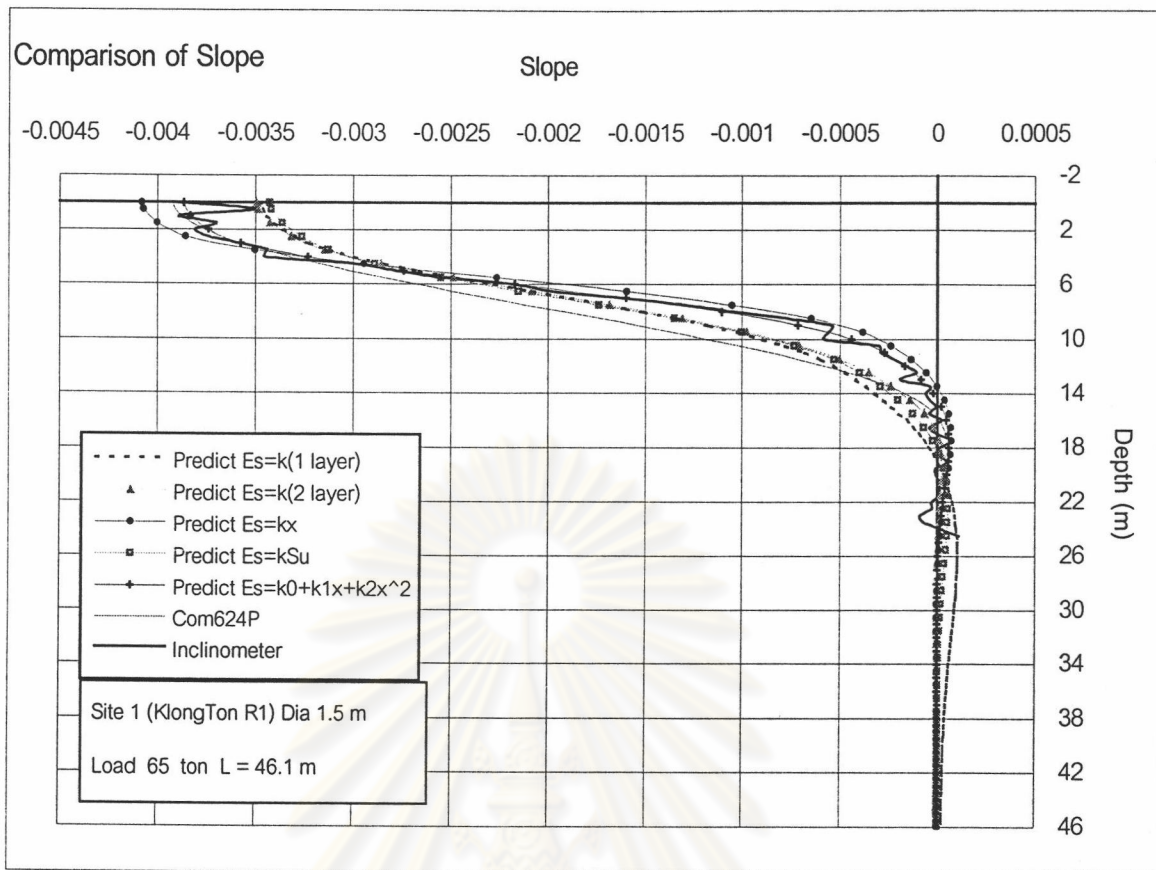
รูปที่ 4.3 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R1) Dia 1.5 m at Load 35 ton



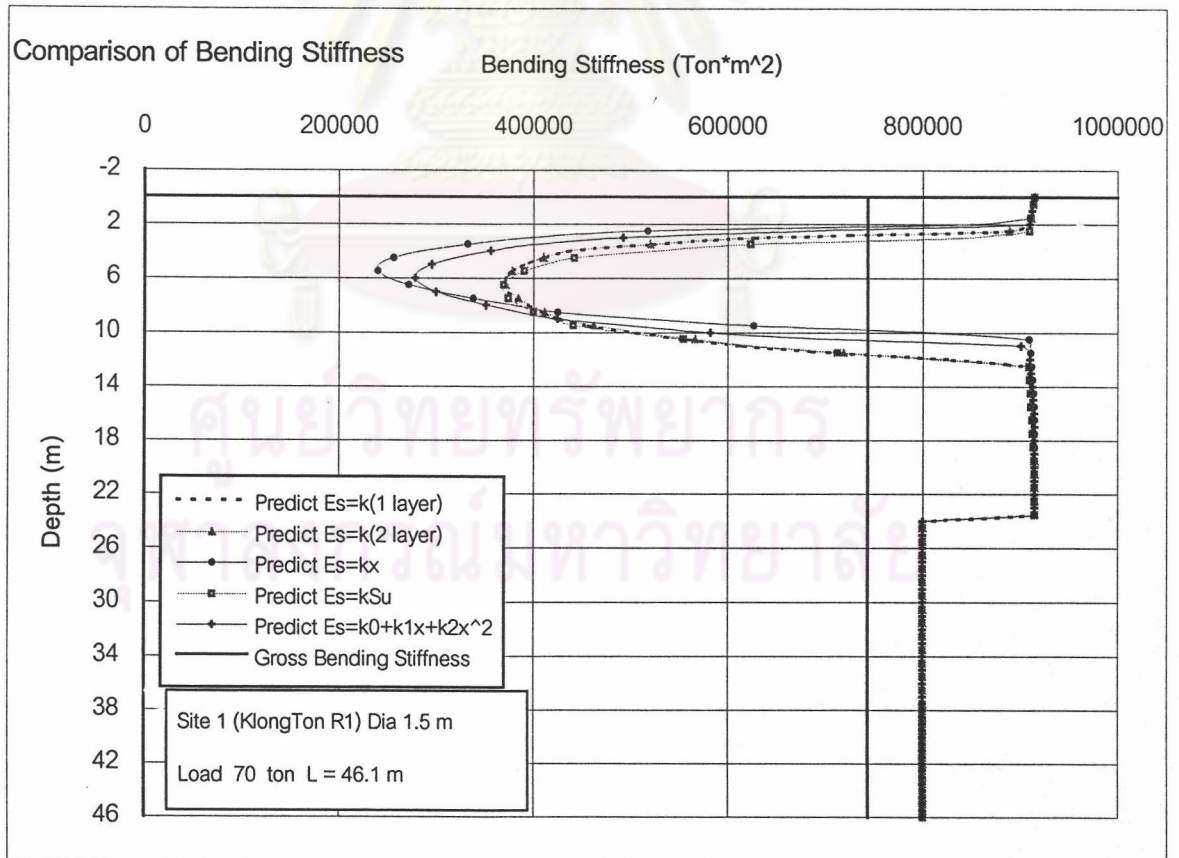
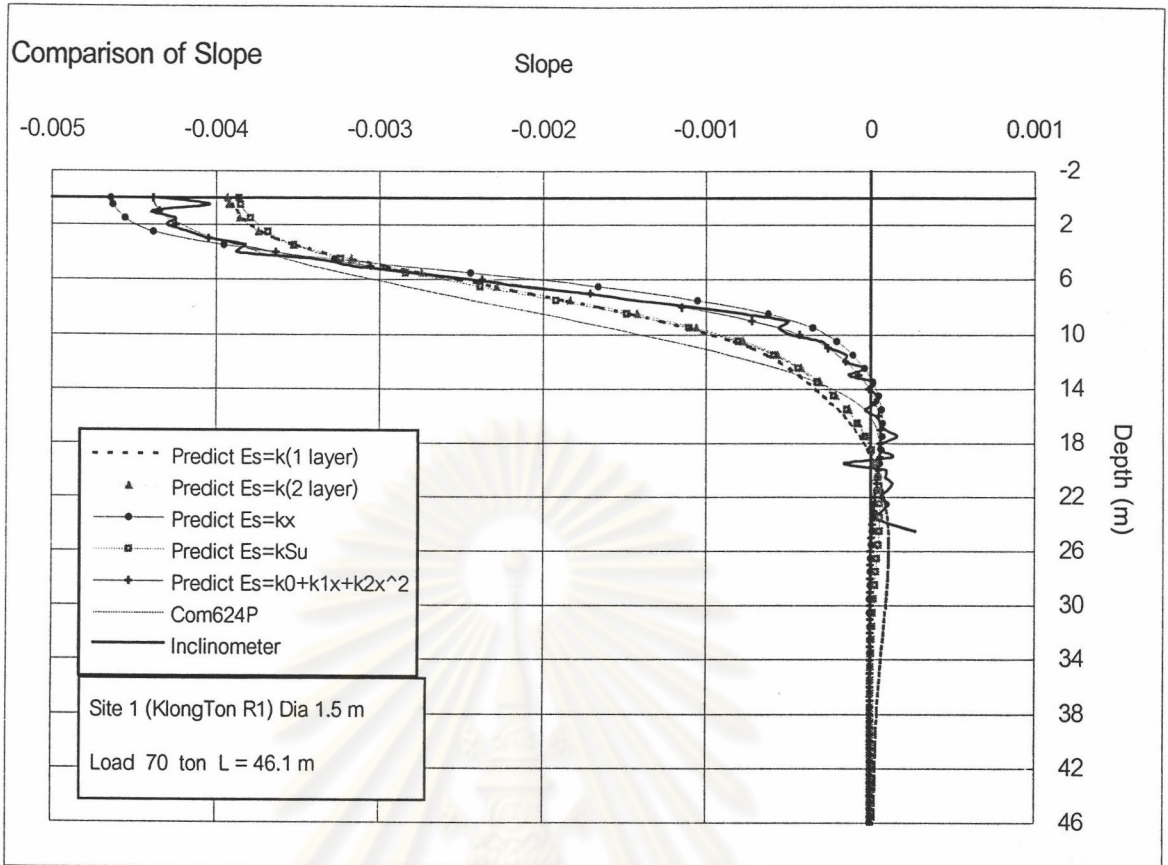
รูปที่ 4.4 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R1) Dia 1.5 m at Load 45 ton



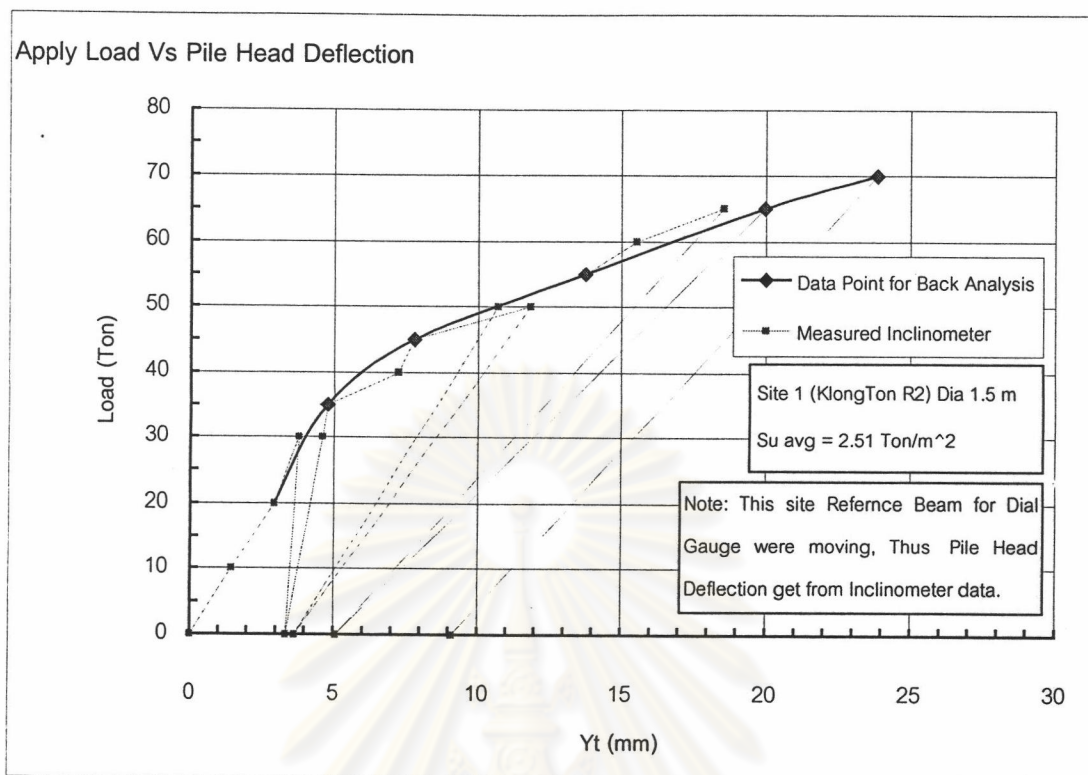
รูปที่ 4.5 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R1) Dia 1.5 m at Load 55 ton



รูปที่ 4.6 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R1) Dia 1.5 m at Load 65 ton



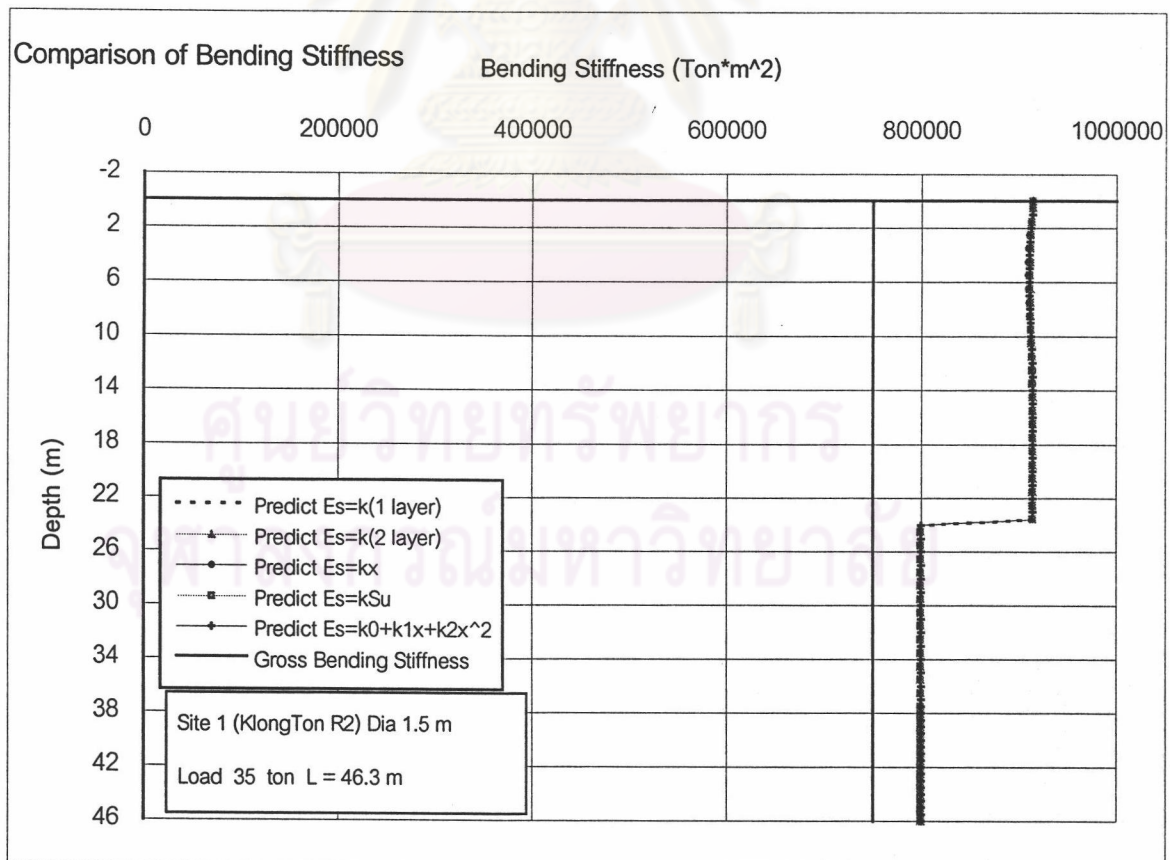
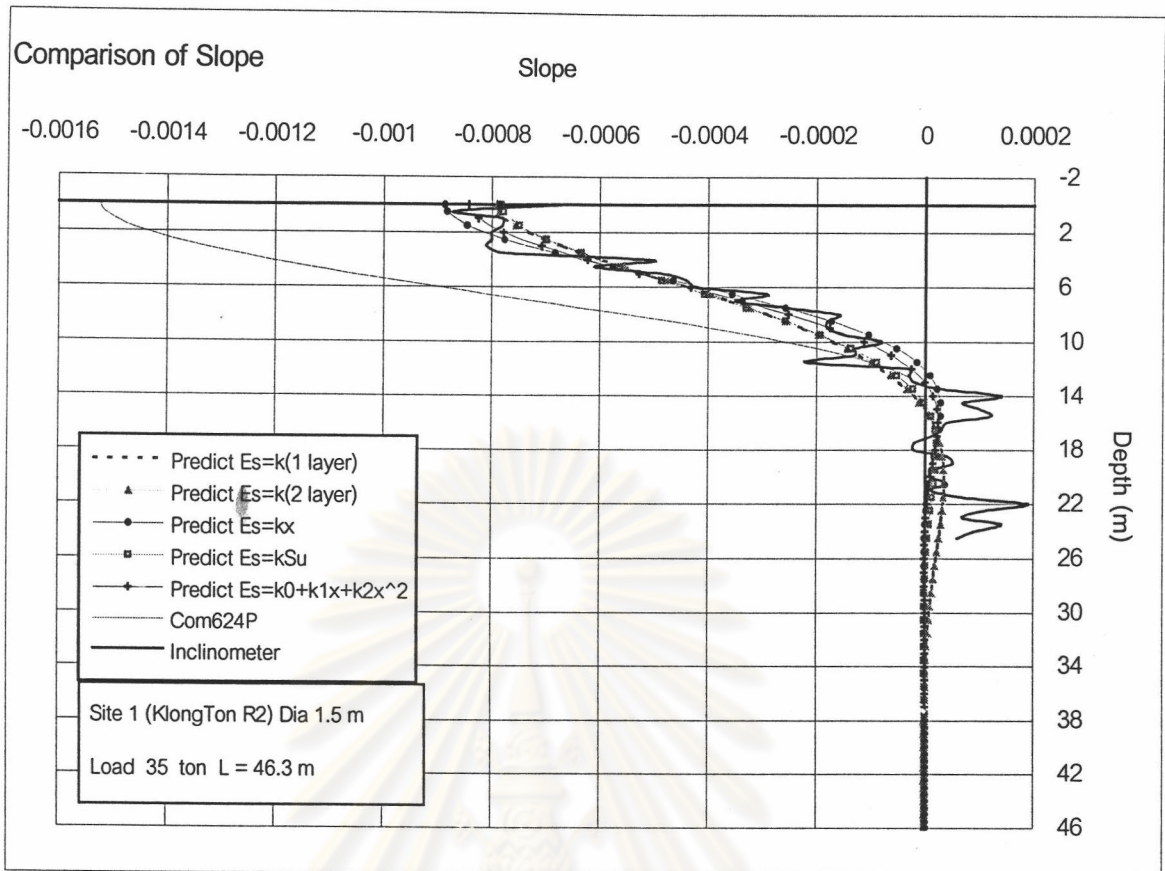
รูปที่ 4.7 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R1) Dia 1.5 m at Load 70 ton



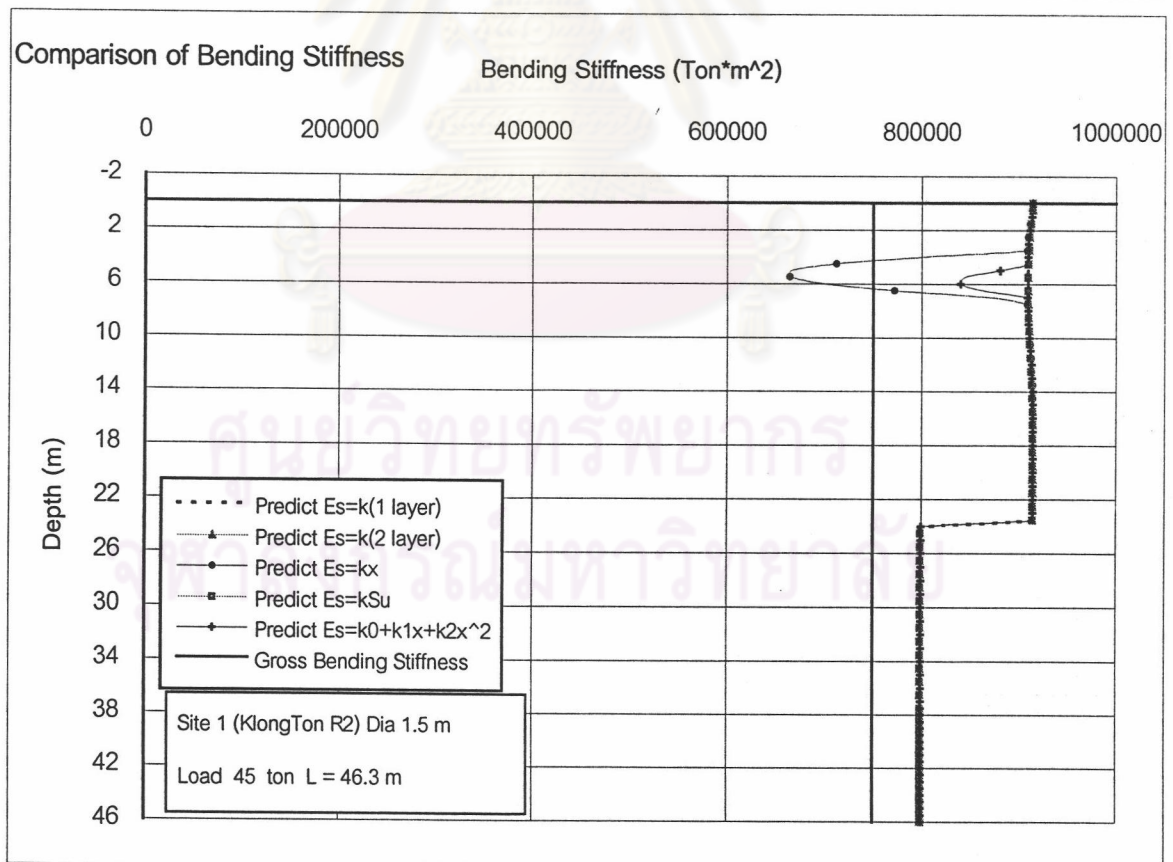
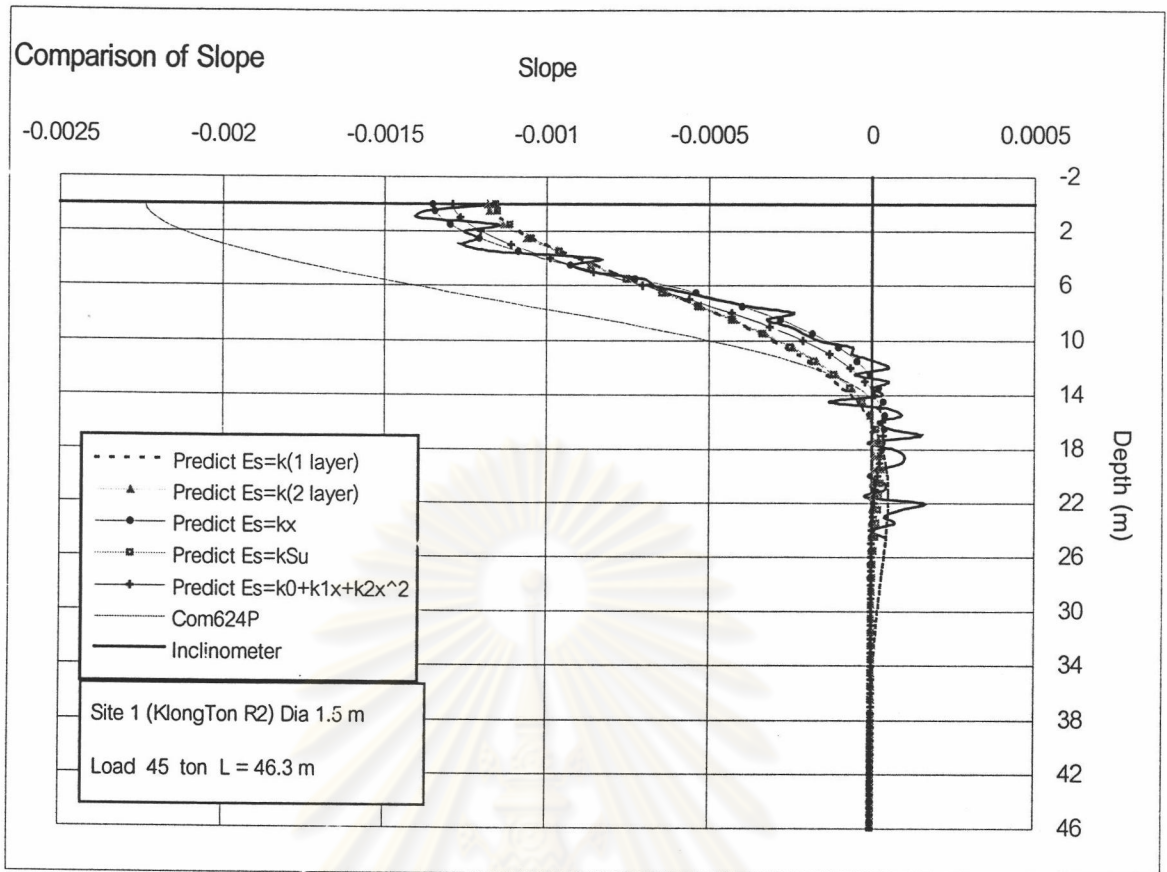
รูปที่ Load - Deflection Curve และแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์กลับสำหรับโครงการที่ 1-Pile R2

ตารางที่ 4.2 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 1-Pile R2

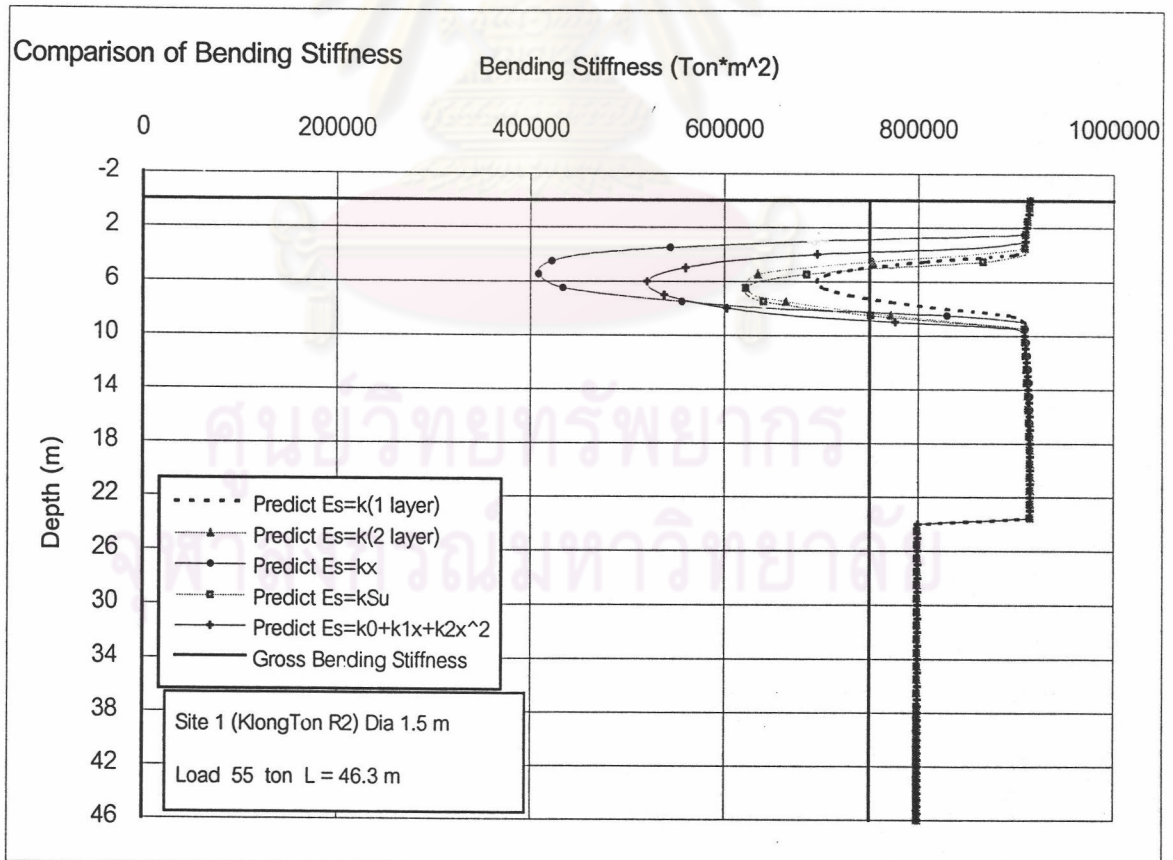
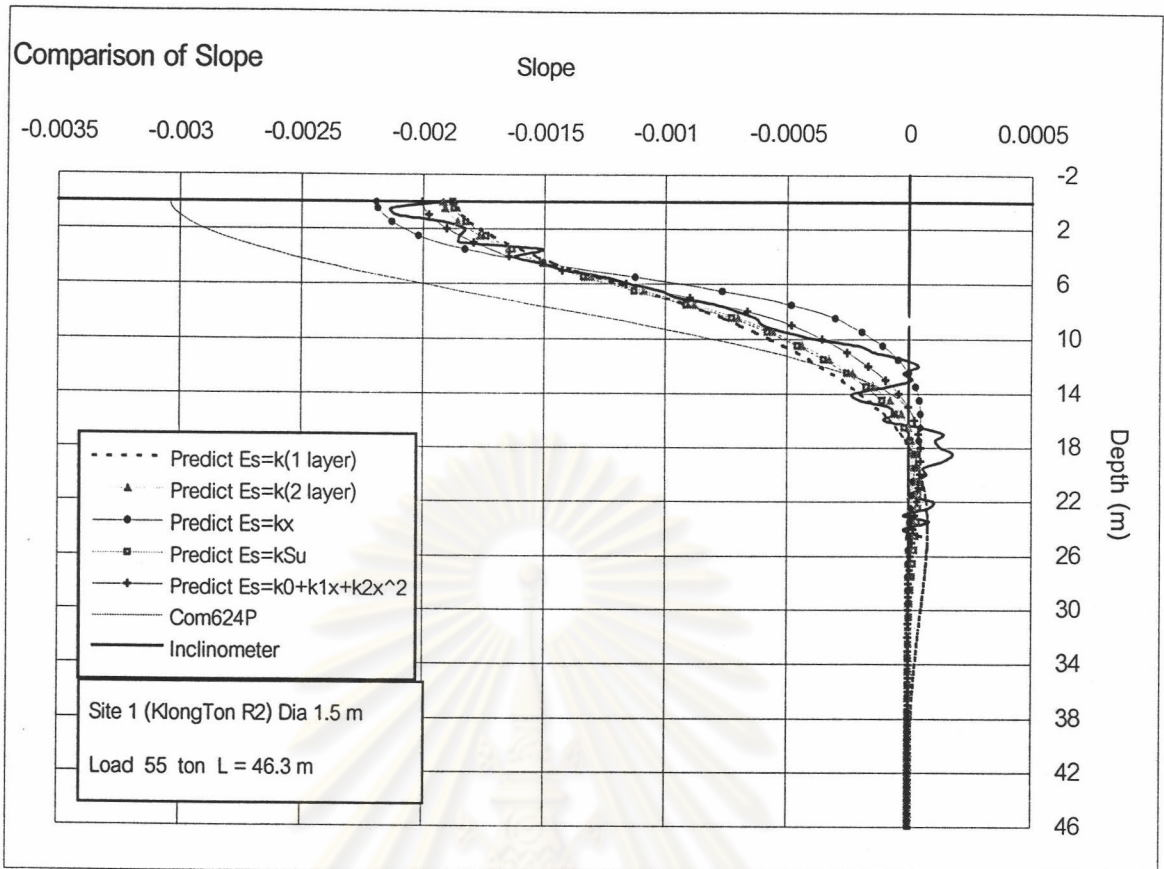
		Lateral Load (Ton)					
		35	45	55	65	70	
Measured Data	Yt (mm)	4.775	7.795	13.74	19.975	23.845	
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	5.09	7.97	14.01	19.58	23.04
		M _{max} (ton*m)	72.5	99.4	133.3	147.6	158.1
		Es (Ton/m ²)	Es = 2140	Es = 1645	Es = 1045	Es = 945	Es = 870
		Slope SqDev	2.854E-07	7.418E-07	1.198E-06	1.137E-06	1.189E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	5.09	8.44	14.44	19.95	23.69
		M _{max} (ton*m)	72.46	103.64	135.12	148.63	161.35
		Es (Ton/m ²)	Es up = 2140 Es low = 2140	Es up = 1490 Es low = 143040	Es up = 1005 Es low = 96480	Es up = 920 Es low = 88320	Es up = 830 Es low = 75530
		Slope SqDev	2.854E-07	6.637E-07	7.503E-07	7.404E-07	7.803E-07
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kx	Yt (mm)	5.02	7.90	12.39	17.77	20.83
		M _{max} (ton*m)	102.05	134.89	156.16	183.75	194.83
		Es (Ton/m ²)	Es = 1190 x	Es = 920 x	Es = 800 x	Es = 670 x	Es = 635 x
		Slope SqDev	2.923E-07	2.489E-07	1.479E-06	1.883E-06	3.399E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kSu	Yt (mm)	5.27	8.29	14.40	19.85	23.61
		M _{max} (ton*m)	72.39	101.28	134.62	147.16	159.69
		Es (Ton/m ²)	Es = 880 Su	Es = 675 Su	Es = 445 Su	Es = 405 Su	Es = 365 Su
		Slope SqDev	3.062E-07	7.139E-07	8.846E-07	1.144E-06	1.269E-06
		Fit Type	Fit Inclinator (Slope)				
Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	5.15	8.30	13.54	19.02	22.78	
	M _{max} (ton*m)	88.13	127.56	140.18	160.93	174.56	
	Es (Ton/m ²)	Es = 1600 + 0x + 75x ²	Es = 1045 + 20x + 65x ²	Es = 970 + 20x + 20x ²	Es = 835 + 20x + 20x ² 3	Es = 750 + 20x + 15x ²	
	Slope SqDev	2.683E-07	3.400E-07	4.206E-07	4.209E-07	4.661E-07	
	Fit Type	Fit Inclinator (Slope)					
Com 624P	Pile R1, R2	Yt (mm)	10.20	16.00	23.00	30.90	35.30
		M _{max} (ton*m)	130.48	180.43	232.42	287.46	316.00
		Slope SqDev	6.189E-06	1.291E-05	1.651E-05	2.278E-05	2.437E-05



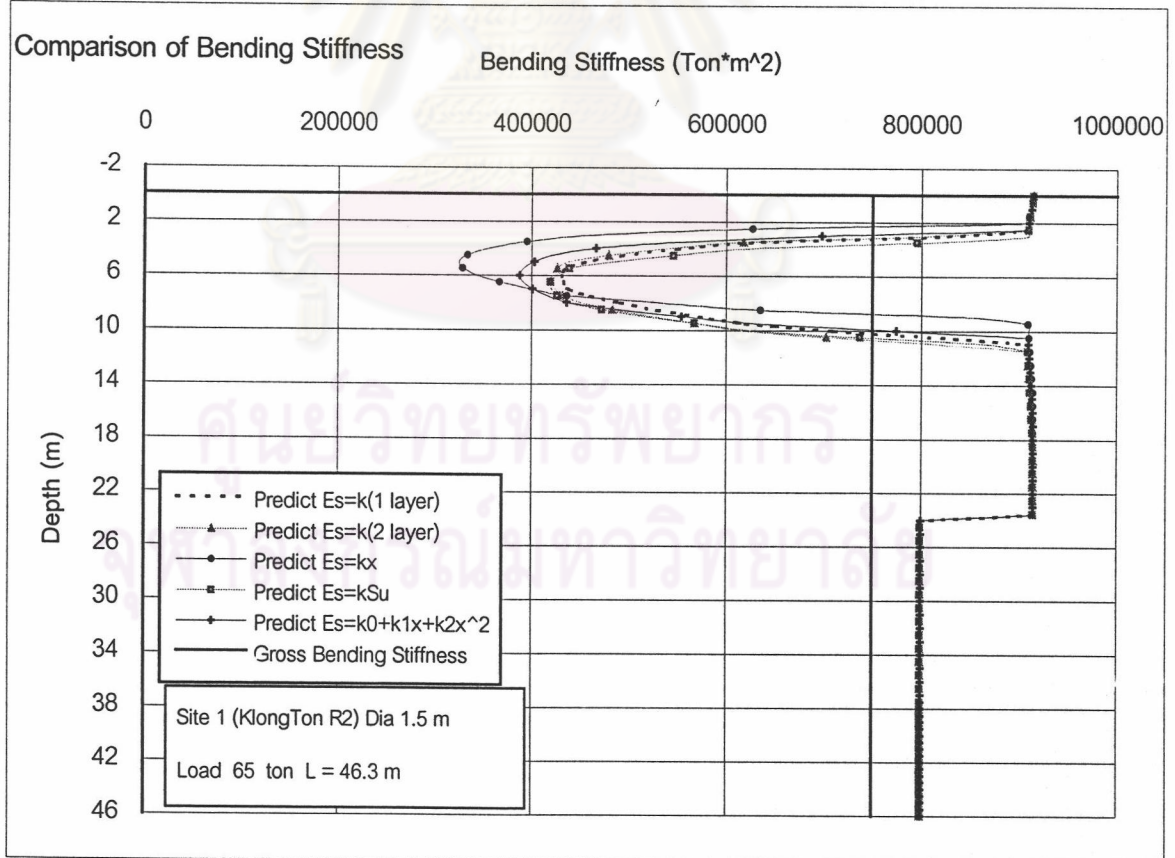
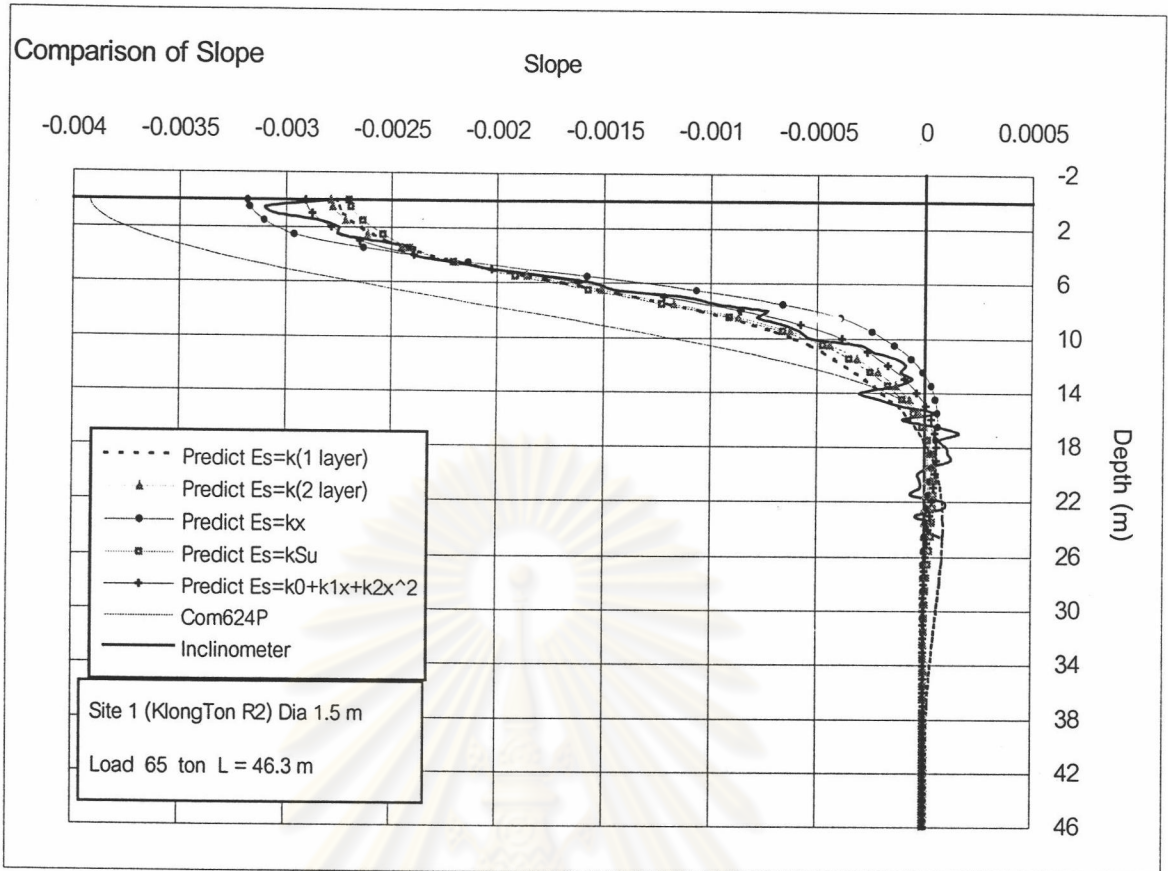
รูปที่ 4.8 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R2) Dia 1.5 m at Load 35 ton



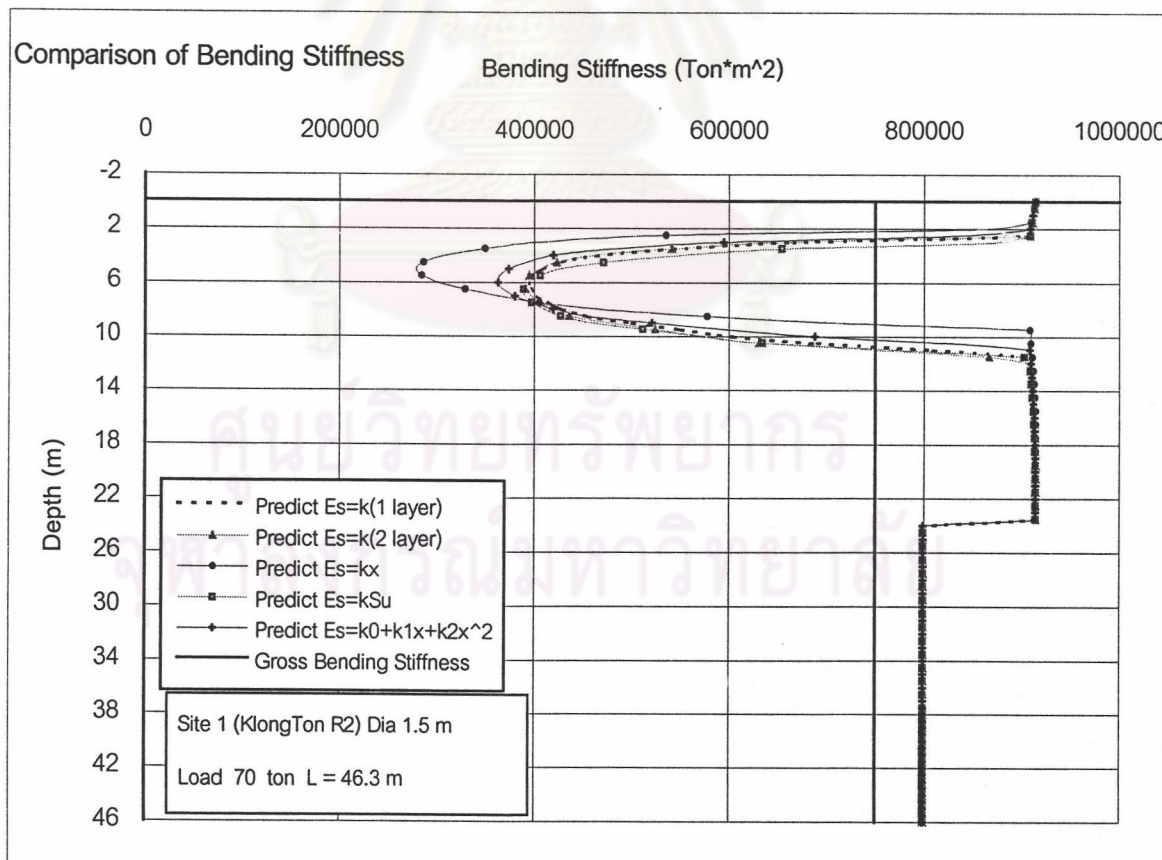
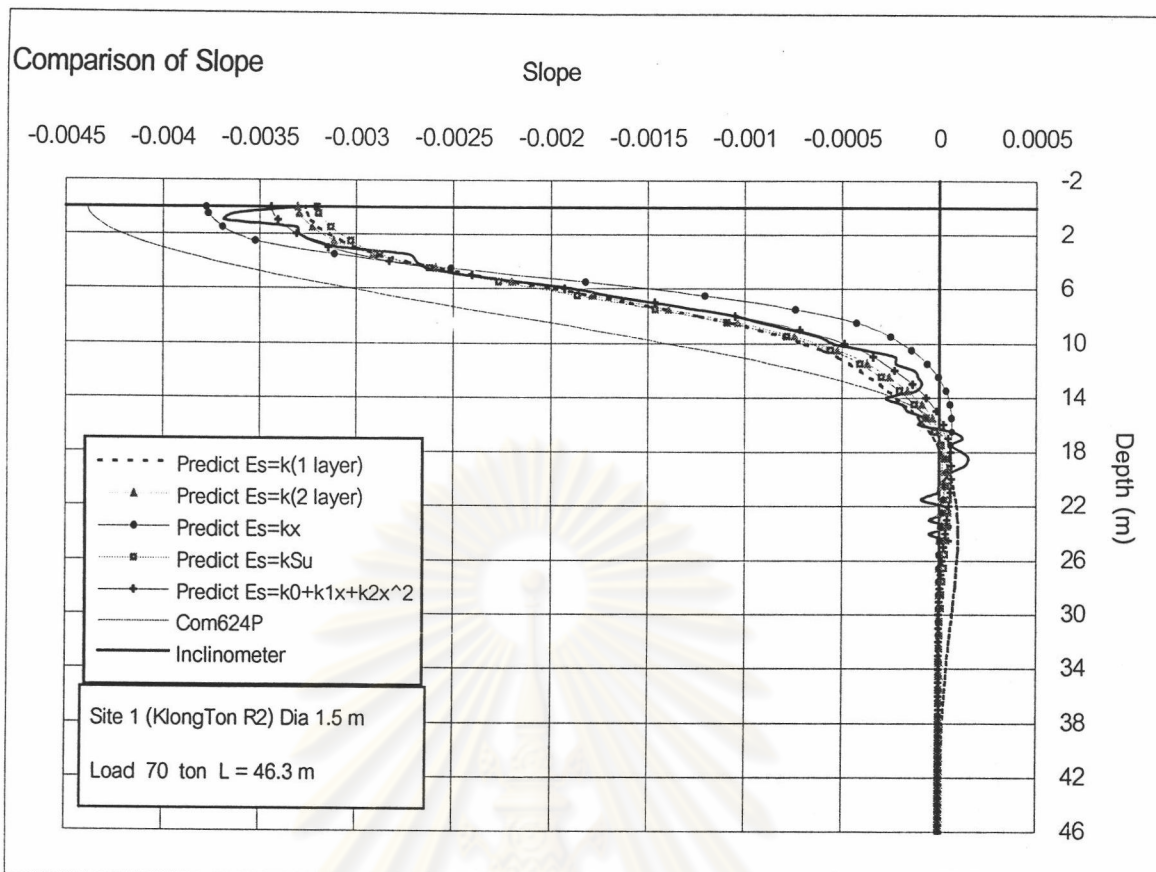
รูปที่ 4.9 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R2) Dia 1.5 m at Load 45 ton



รูปที่ 4.10 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R2) Dia 1.5 m at Load 55 ton



รูปที่ 4.11 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R2) Dia 1.5 m at Load 65 ton



รูปที่ 4.12 Result of ProgramBEF Run for Site 1 (KlongTon R2) Dia 1.5 m at Load 70 ton

4.1.2 ผลสำหรับโครงการที่ 2 (ชอยศูนย์วิจัย)

สำหรับโครงการที่ 2 (ชอยศูนย์วิจัย) ได้มีการทดสอบเสาเข็มอยู่สองต้นคือ Pile L1, L2 มี % เหล็กเสริม 1.493%, ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะขนาด 1.5 m และได้ติดตั้งเครื่องมือ Inclinator, Dial Gauge 2 ตัวห่างกัน 0.5 m

ข้อมูลดินสำหรับโครงการที่ 1 ชั้น Soft - Medium Clay อยู่ในช่วงความลึก 0 - 9.67 m มี $Su_{avg} = 1.93 \text{ ton/m}^2$, $PI \sim 51\%$, $LI \sim 0.796$, $w \sim 67.3\%$

จากข้อมูลดินข้างต้นสำหรับกรณี $E_s = k$ (2-layer) ผู้วิจัยกำหนดให้ชั้น Soft - Medium Clay เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจากชั้น Soft - Medium Clay จนถึงปลายเสาเข็ม

โครงการนี้ ได้ติดตั้ง Dial Gauge ที่บริเวณหัวเข็ม 2 ตัวห่างกัน 0.5 m สามารถนำไปหาค่า Slope ที่บริเวณหัวเสาเข็มและได้พล็อตลงไปในรูปแบบที่ 4.16 - 4.21 ด้วยเพื่อหาค่า Slope ที่ได้จาก Dial Gauge มี error ขนาดไหนเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องมือ Inclinator ซึ่งเป็นเครื่องมือที่วัด Slope โดยตรง

ผลที่แสดงในตารางที่ 4.3, 4.4 และผลการวิเคราะห์หักกลับในรูปแบบที่ 4.16 - 4.21, 4.23 - 4.27 พบว่า

1) จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับเสาเข็ม L1 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์หักกลับ ให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 14.7% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 16.64, 25.82, 31.14, 39.79, 47.38, 56.3 ton เท่ากับ 17.4%, 33.9%, 20%, 25.1%, -12.3% ตามลำดับ)

จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.4 สำหรับเสาเข็ม L2 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์หักกลับ ให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 1.3% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 16.64, 25.82, 31.14, 39.79, 47.38, 56.3 ton เท่ากับ -3.3%, 21.3%, 6.8%, 11.3%, 5.2%, -23.2% ตามลำดับ)

2) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปแบบที่ 4.16 - 4.21 สำหรับเสาเข็ม L1 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 39.79 ton, 39.79 ton, 39.79 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปแบบที่ 4.14 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 32 ton

เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปแบบที่ 4.23 - 4.27 สำหรับเสาเข็ม L2 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ

Lateral Load 39.79 ton, 47.38 ton, 39.79 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.22 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 32 ton

3) จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า k ที่ได้จากฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก upper layer) มีค่าไม่ต่างกันมากนัก และได้ $k/(Su \text{ avg})$ จากกรณี $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก upper layer) มีค่าใกล้เคียงกับ k ที่ได้จากกรณี $E_s = kSu$

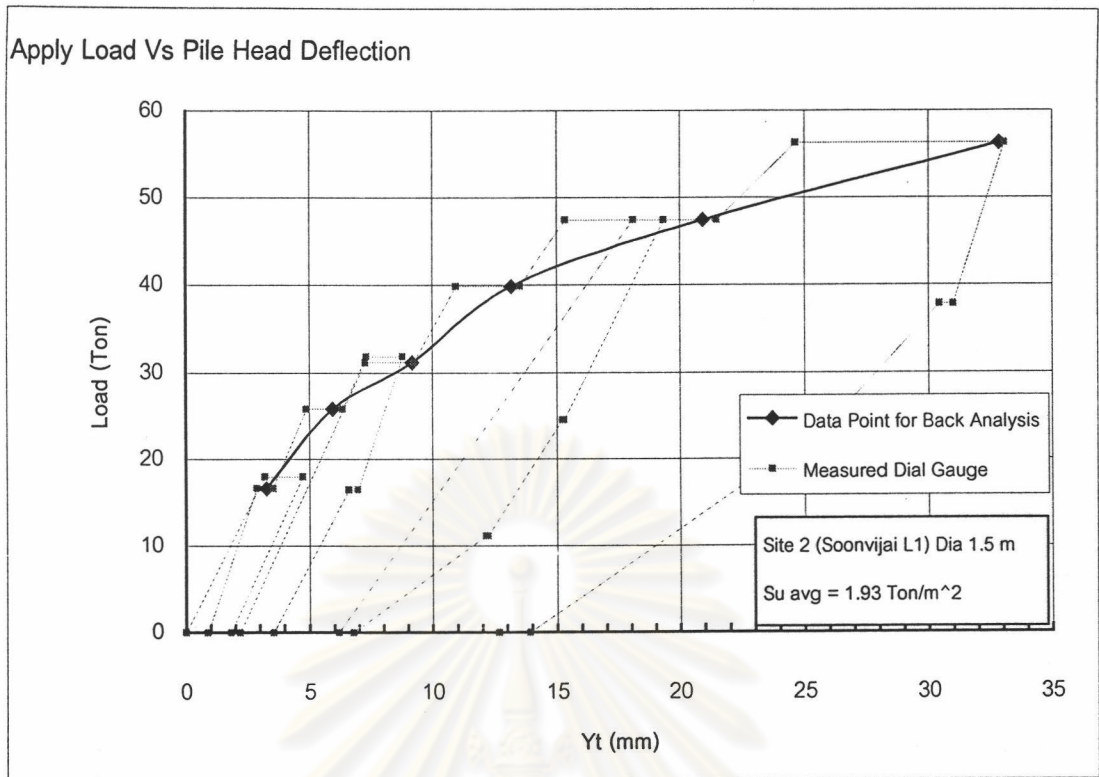
4) ค่า Slope ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าด้วยโปรแกรมของผู้วิจัย (ทุกฟังก์ชันของ E_s) พบว่ามีค่าใกล้เคียงหรือให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่า Slope จากเครื่องมือ Inclinometer ดังแสดงในรูปที่ 4.16 – 4.21, 4.23 – 4.27

5) Local Yield ของดิน: ทั้งเสาเข็ม L1, L2 พบว่า Lateral Load ที่ทำให้ค่า p_u (Ultimate Soil Resistance) มีค่าน้อยกว่าค่า p (Soil Resistance) หรือก็คือค่า Lateral Load ที่ทำให้เริ่มเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรก จากผลการวิเคราะห์หาค่าของฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ คือ ไม่พบ, 39.79 ton, 56.3 ton ตามลำดับ สำหรับ Local Yield ของดินจุดแรกสำหรับฟังก์ชัน $E_s = k$ คือเกิดที่ผิวดิน ส่วนฟังก์ชัน $E_s = kx$ เกิดที่ความลึก 2.5 – 5 เมตร

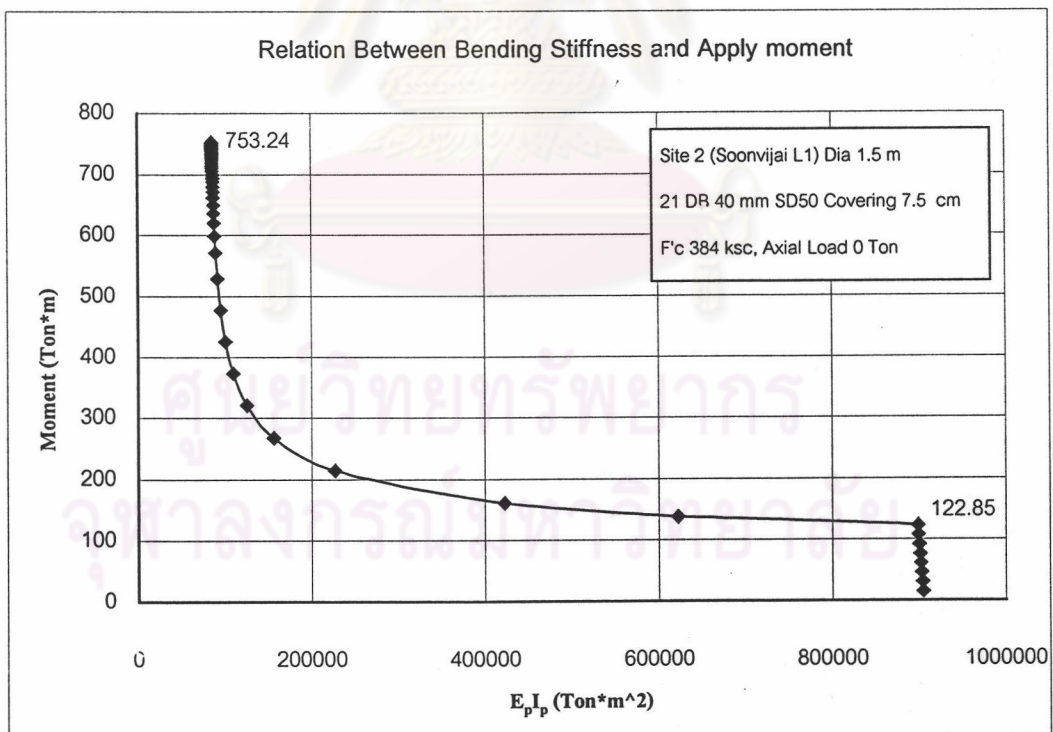
6) ผลจากข้อ 2 และข้อ 5 พบว่าเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้นจะเกิดการลดลงของ $E_p I_p$ ก่อนการเกิด Local Yield ของดิน เมื่อพิจารณาด้วยการวิเคราะห์หาค่าด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์หาค่า และเมื่อพิจารณาเฉพาะผลในข้อ 2 (กรณี $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$) พบว่าการโค้งที่เกิดขึ้นในกราฟ Apply Load vs. Pile Head Deflection ที่แสดงในรูปที่ 4.14, 4.22 เกิดจากการลดลงของค่า $E_p I_p$

7) จากรูปที่ 4.16 – 4.21, 4.23 – 4.27 กราฟ Slope vs. Depth, ได้แสดงให้เห็นว่าค่า Slope ที่คำนวณได้จากข้อมูล Dial Gauge มี error ค่อนข้างเห็นได้ชัด โดยให้ค่า Slope ที่แตกต่างกับผลที่ได้จากเครื่องมือ Inclinometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่วัด Slope โดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



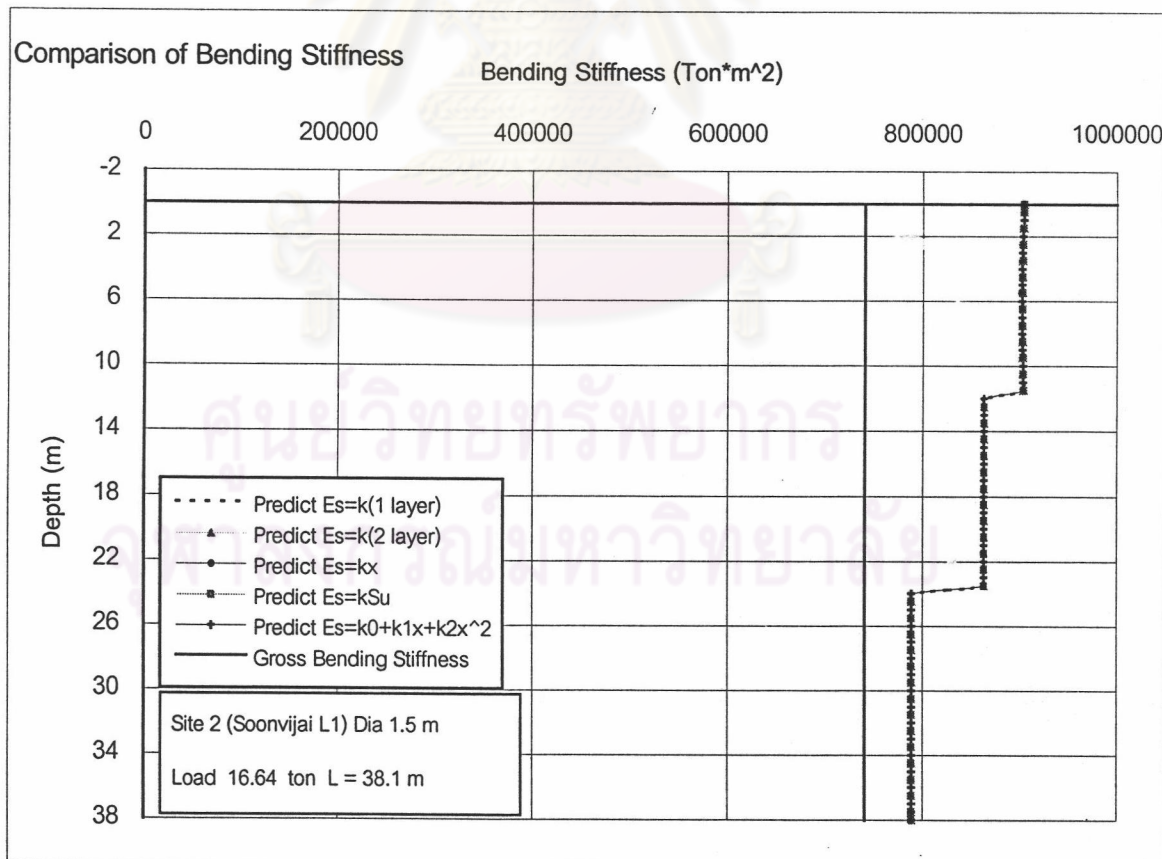
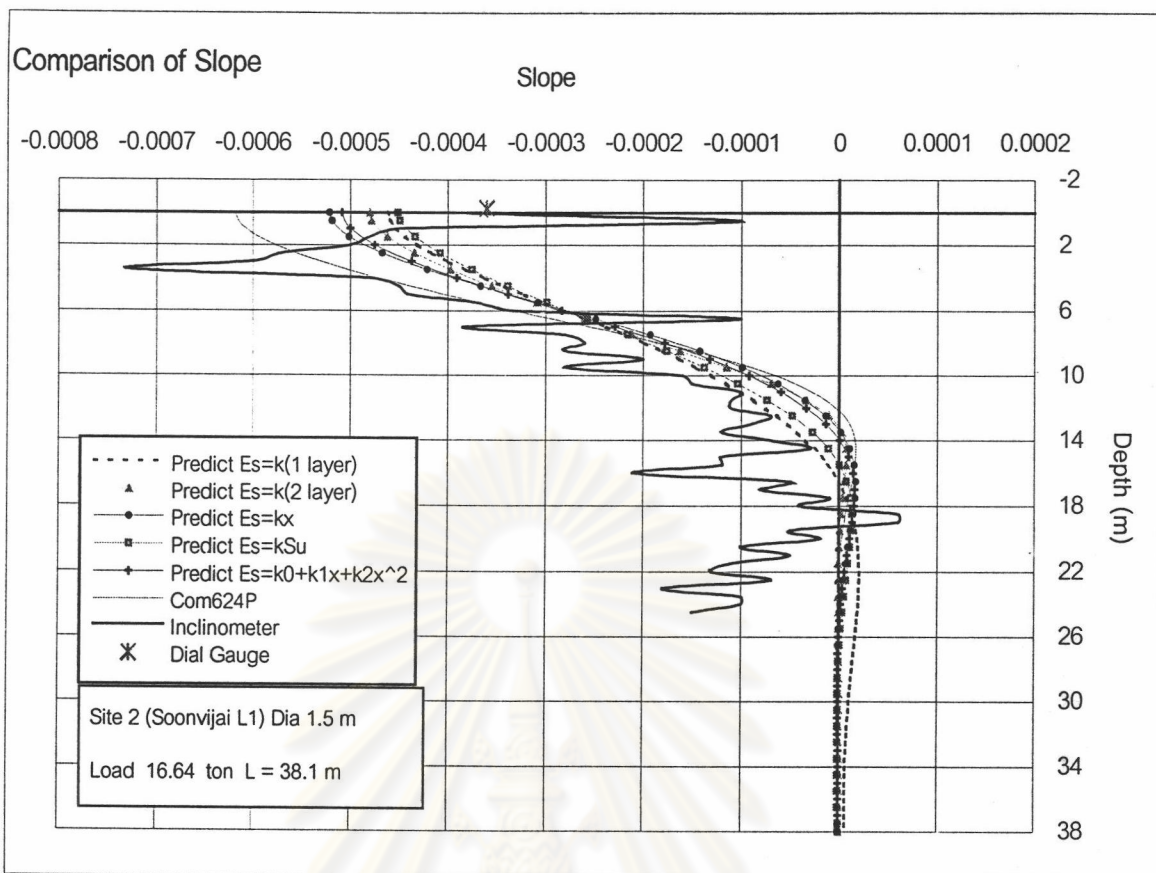
รูปที่ 4.13 Load – Deflection Curve และแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์หาค่ากลับสำหรับโครงการที่ 2-Pile L1



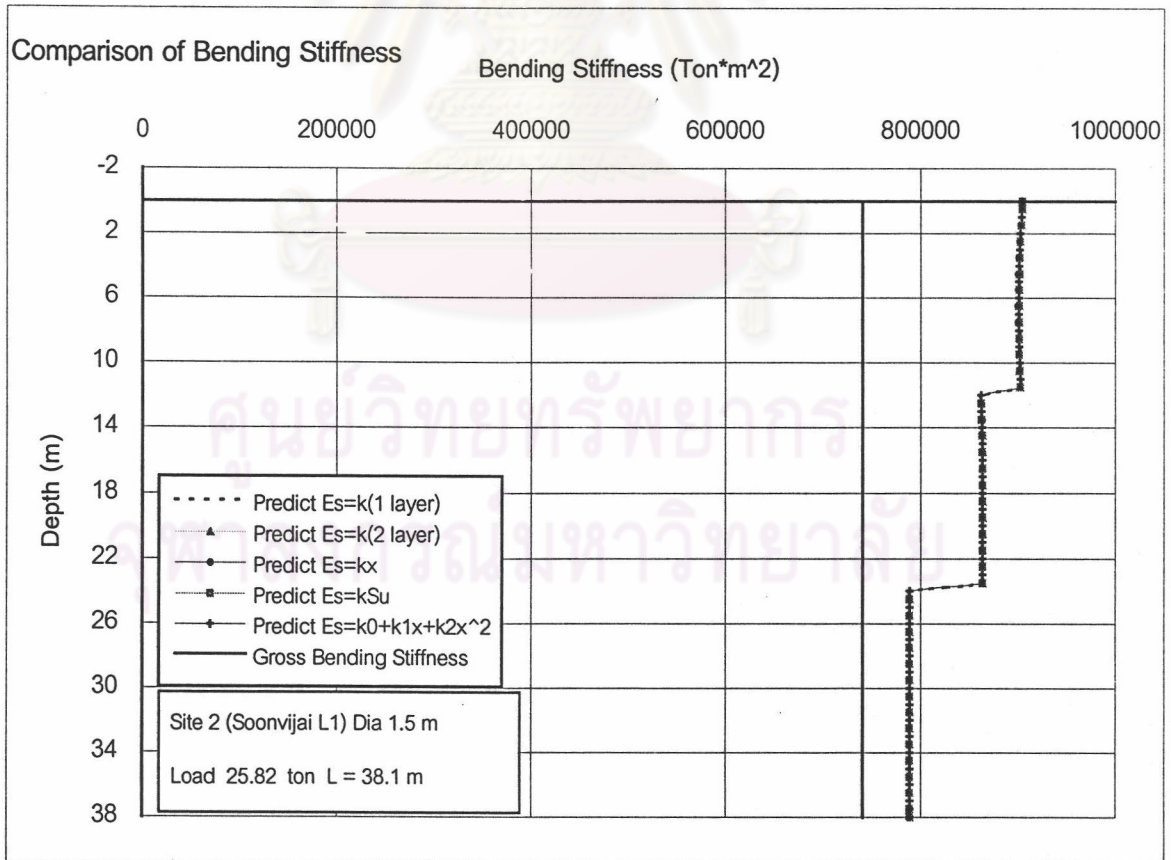
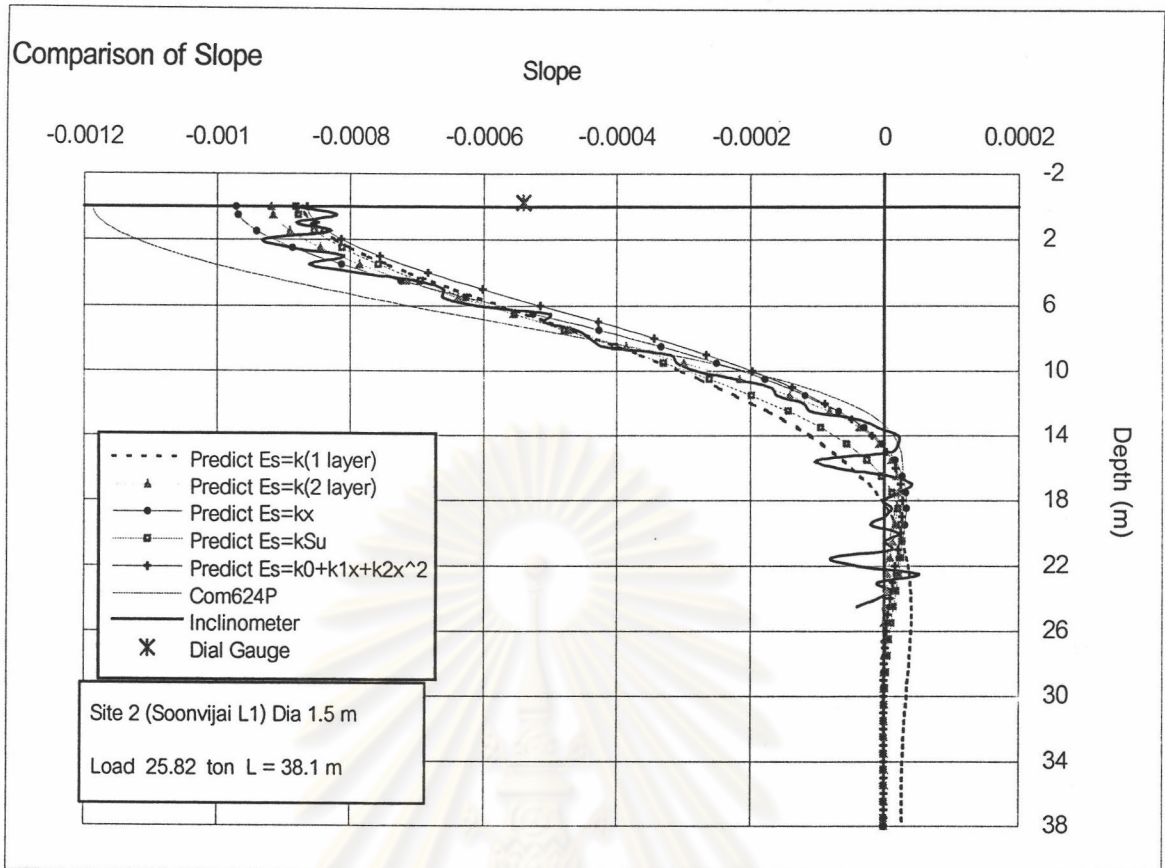
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apply Moment กับ $E_p I_p$ ช่วงความลึก 0 – 12 m สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงการที่ 2-Pile L1, L2 ที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.3 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 2-Pile L1

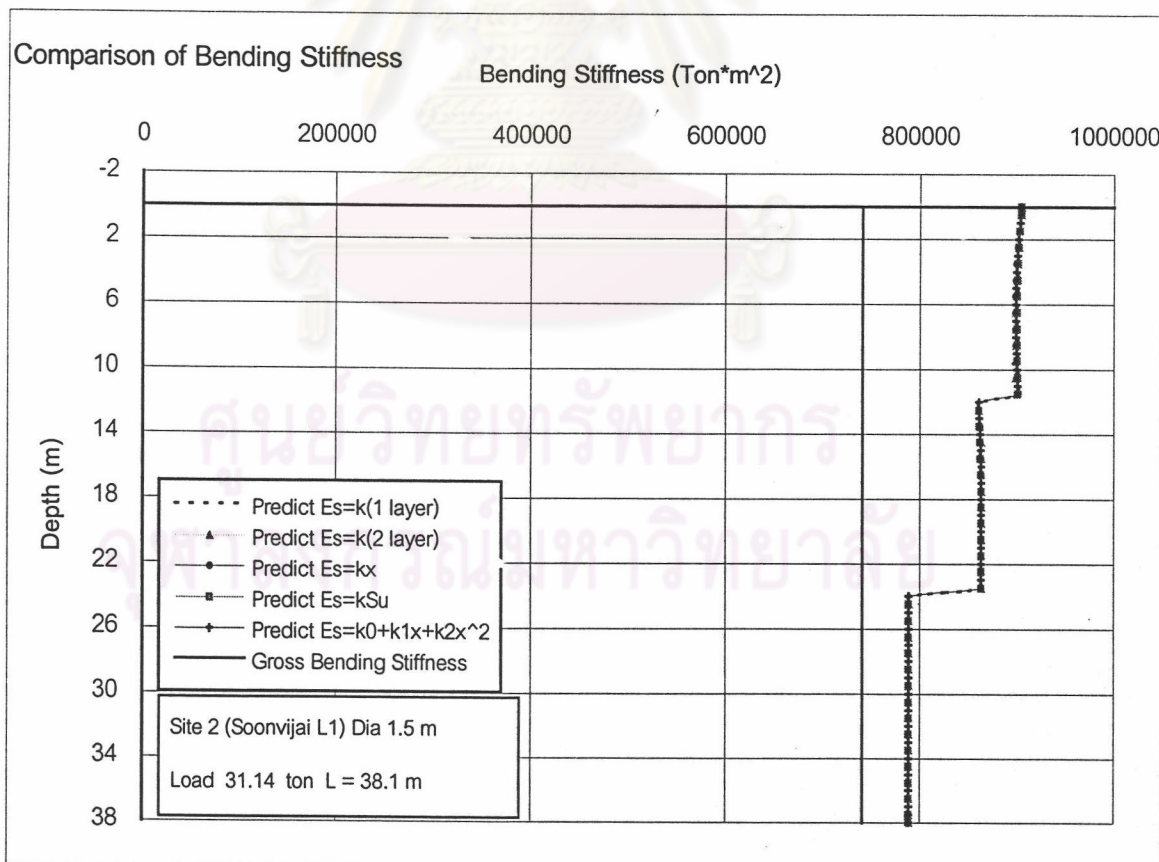
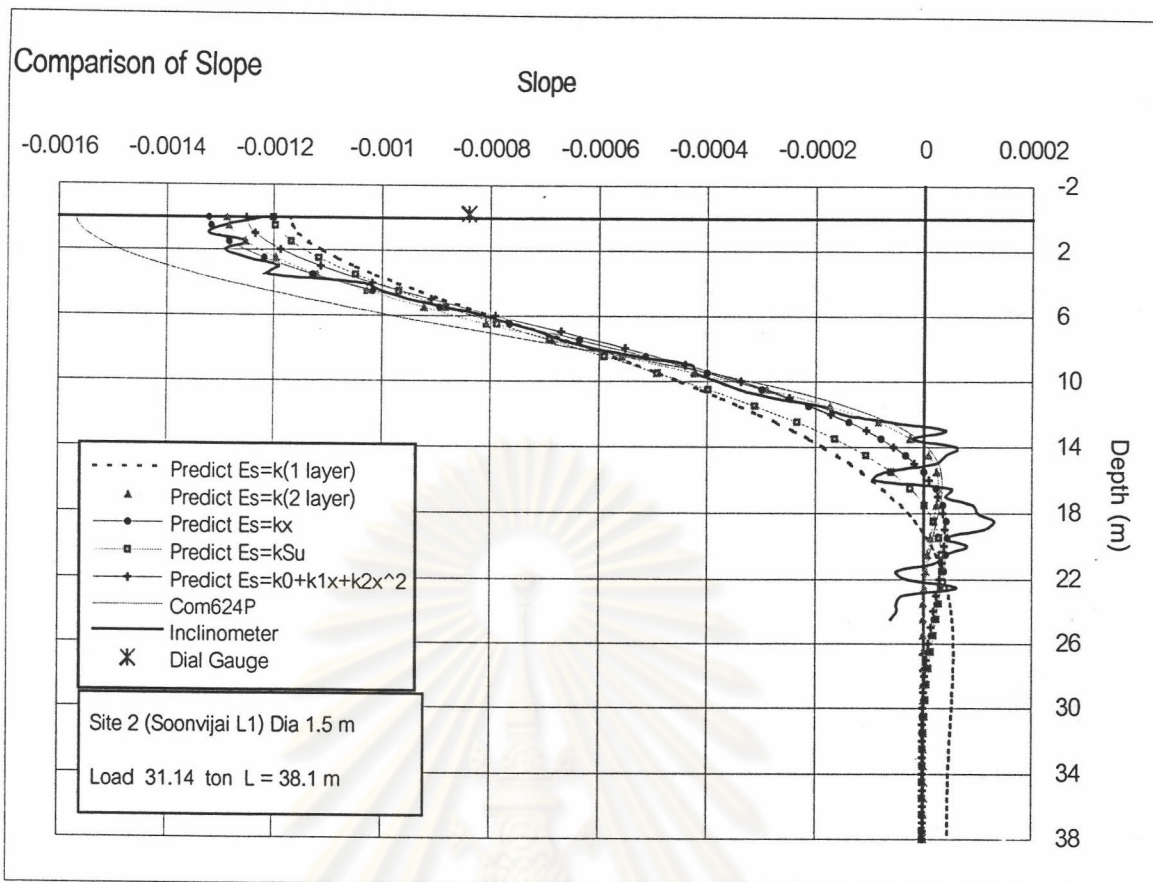
		Lateral Load (Ton)						
		16.64	25.82	31.14	39.79	47.38	56.3	
Back Analysis	Measured Data	Yt (mm)	3.27	5.95	9.17	13.19	20.92	32.85
	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	3.27	6.80	9.61	14.75	24.01	36.21
		M _{max} (ton*m)	37.9	64.7	82.2	111.4	137.2	157.3
		Es (Ton/m ²)	Es = 1440	Es = 975	Es = 790	Es = 620	Es = 440	Es = 360
		Slope SqDev	7.177E-07	1.817E-07	7.188E-07	1.588E-06	2.750E-06	3.771E-06
		Fit Type	Fit DialGauge	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	3.27	6.88	9.74	14.66	22.95	35.52
		M _{max} (ton*m)	44.14	77.44	121.81	127.33	141.28	174.50
		Es (Ton/m ²)	Es up = 1325	Es up = 875	Es up = 640	Es up = 600	Es up = 470	Es up = 355
			Es low = 120575	Es low = 27125	Es low = 55040	Es low = 18600	Es low = 7520	Es low = 7455
		Slope SqDev	7.389E-07	7.466E-08	1.397E-07	3.462E-07	4.607E-07	4.747E-07
		Fit Type	Fit DialGauge	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kx	Yt (mm)	3.27	6.67	9.62	14.06	21.64	33.50
		M _{max} (ton*m)	53.66	91.12	116.49	141.43	164.20	194.94
		Es (Ton/m ²)	Es = 710 x	Es = 450 x	Es = 335 x	Es = 325 x	Es = 265 x	Es = 205 x
		Slope SqDev	7.881E-07	1.339E-07	1.536E-07	6.405E-07	1.762E-06	4.503E-06
		Fit Type	Fit DialGauge	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kSu	Yt (mm)	3.27	7.00	10.01	15.48	23.53	36.54
		M _{max} (ton*m)	37.32	68.28	89.88	125.66	137.51	169.90
		Es (Ton/m ²)	Es = 895 Su	Es = 580 Su	Es = 460 Su	Es = 355 Su	Es = 295 Su	Es = 220 Su
		Slope SqDev	7.230E-07	1.164E-07	4.447E-07	9.247E-07	8.705E-07	1.994E-06
Fit Type		Fit DialGauge	Fit Inclinator (Slope)					
Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	3.32	6.00	9.20	13.23	20.94	32.80	
	M _{max} (ton*m)	49.66	79.04	108.83	135.48	151.93	181.04	
	Es (Ton/m ²)	Es = 575 + 325x + 20x ²	Es = 575 + 200x + 15x ²	Es = 265 + 200x + 10x ²	Es = 260 + 175x + 10x ²	Es = 215 + 160x + 0x ²	Es = 195 + 100x + 0x ²	
	Slope SqDev	7.517E-07	1.929E-07	2.017E-07	5.867E-07	9.134E-07	1.413E-06	
	Fit Type	Fit DialGauge+0.05mm						
Com 624P	Pile L1, L2	Yt (mm)	3.84	7.97	11.00	16.50	21.80	28.80
		M _{max} (ton*m)	56.07	99.90	128.44	177.37	223.24	280.33
		Slope SqDev	8.643E-07	7.921E-07	8.152E-07	1.562E-06	4.430E-07	9.206E-06



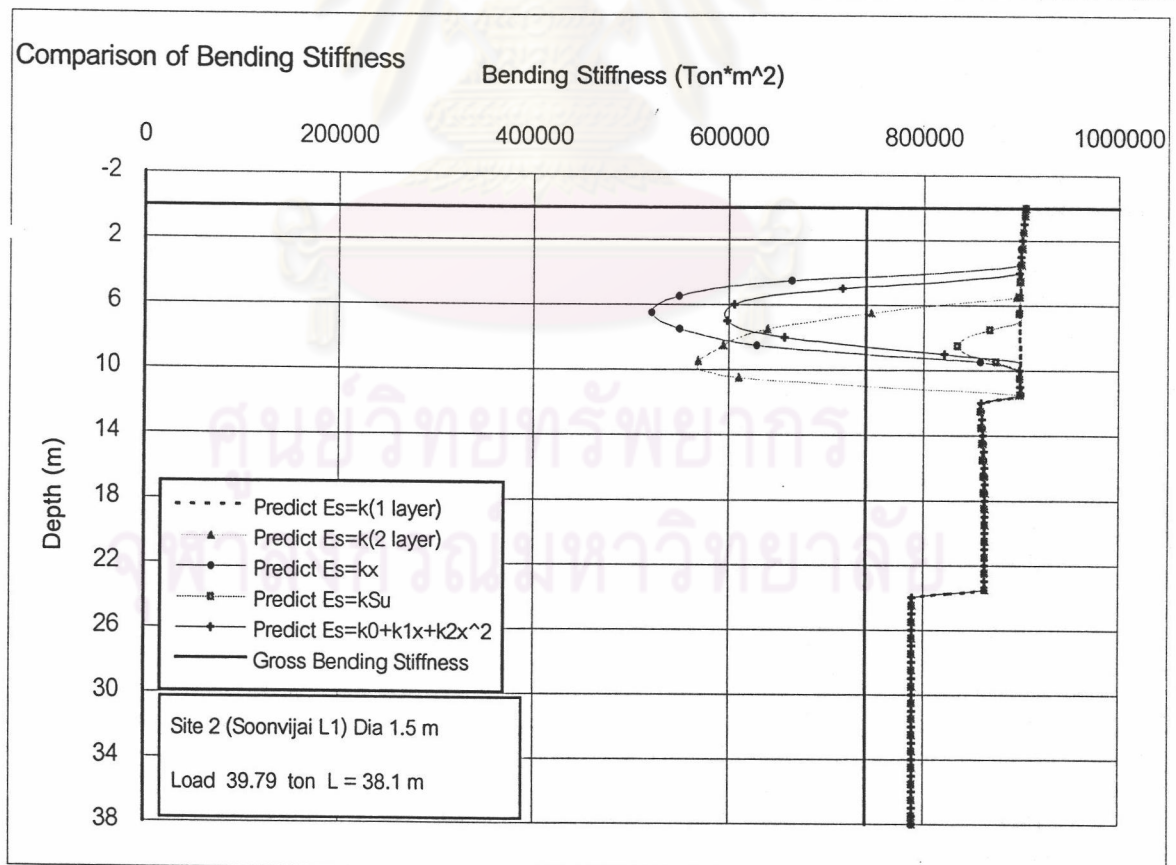
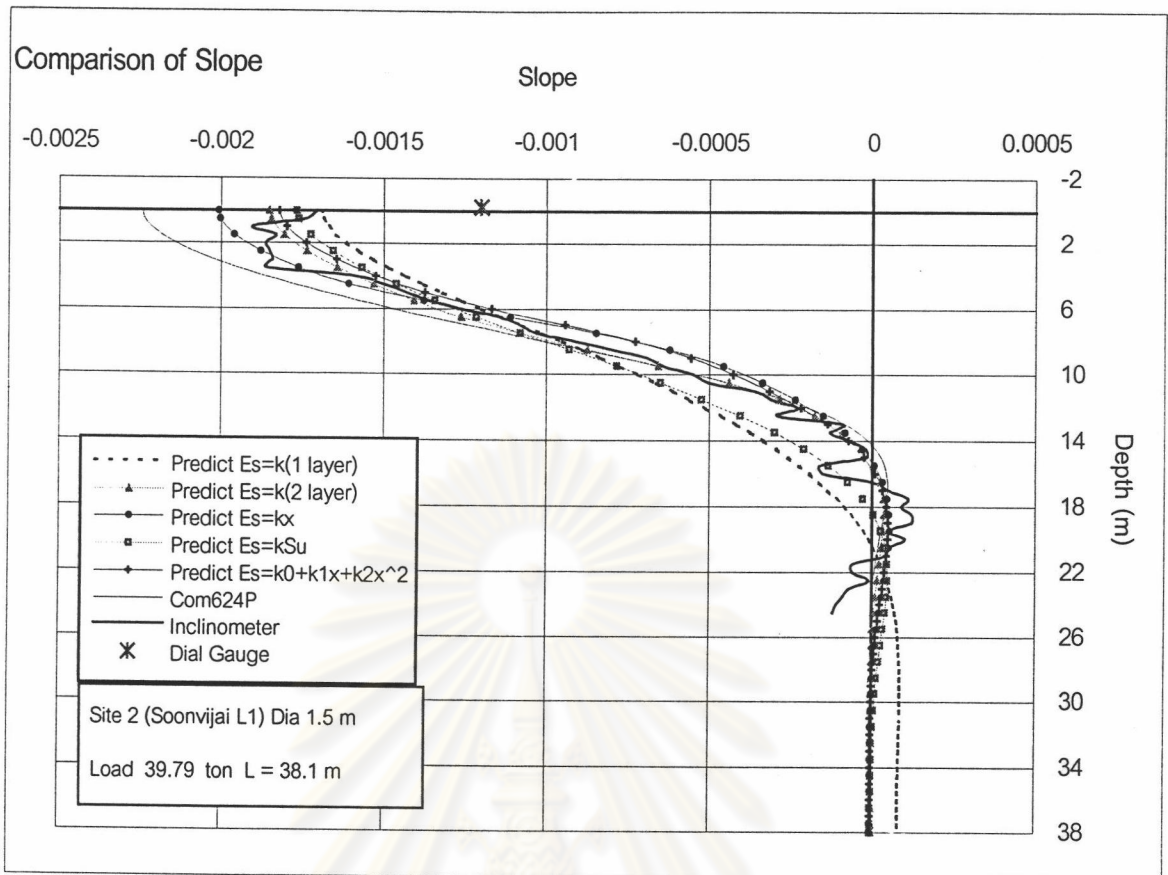
รูปที่ 4.15 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 16.64 ton



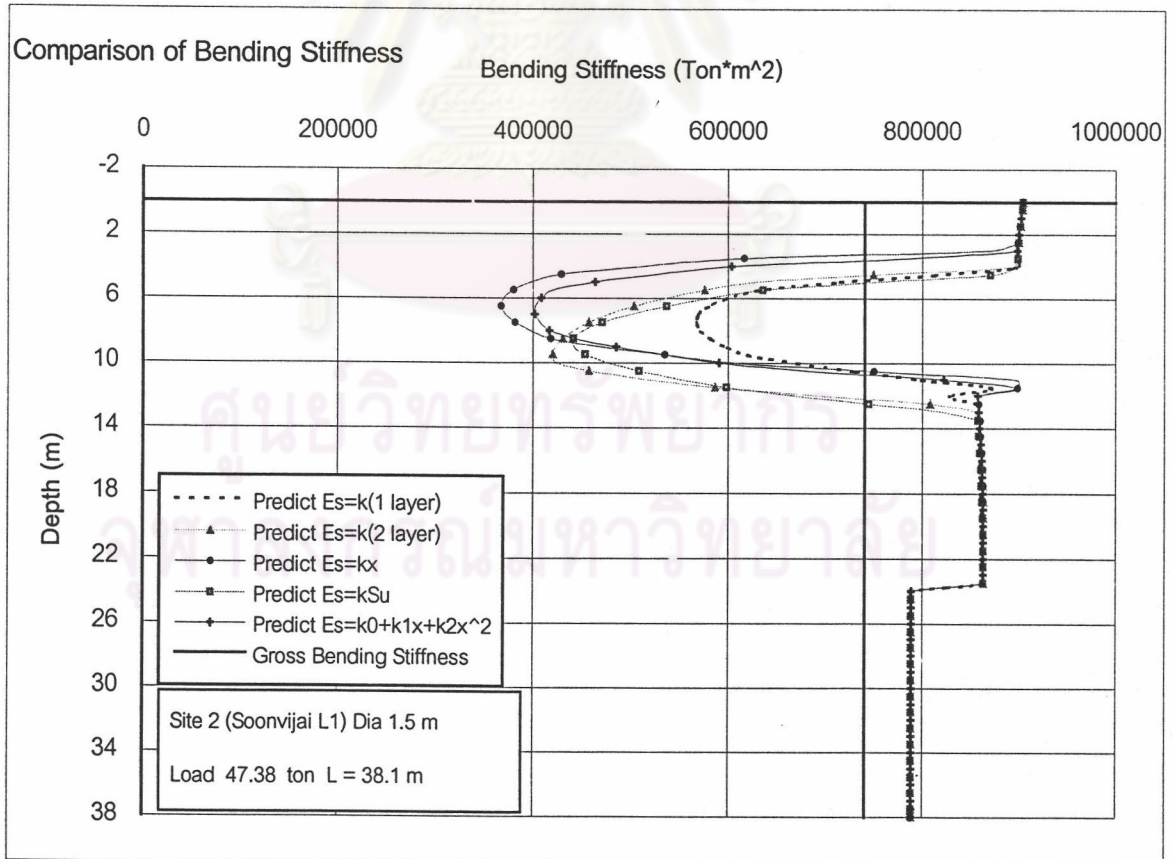
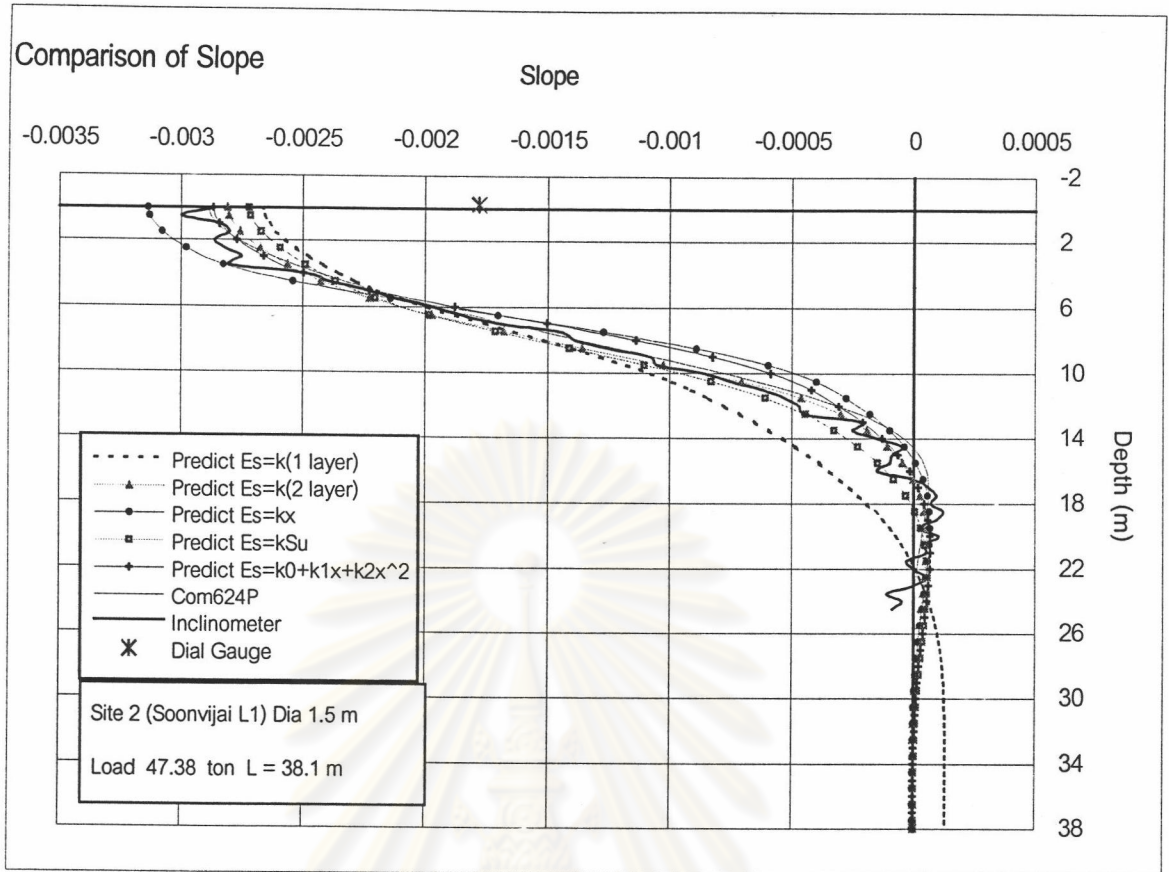
รูปที่ 4.16 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 25.82 ton



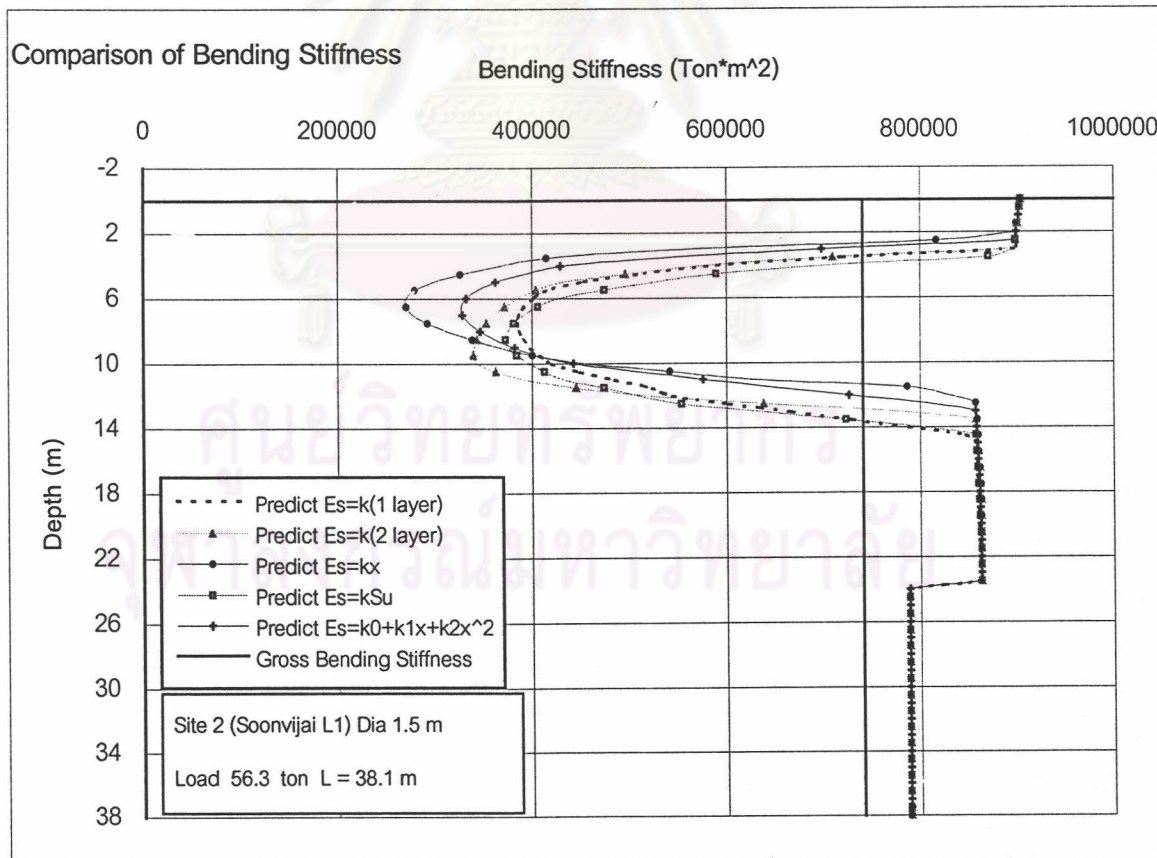
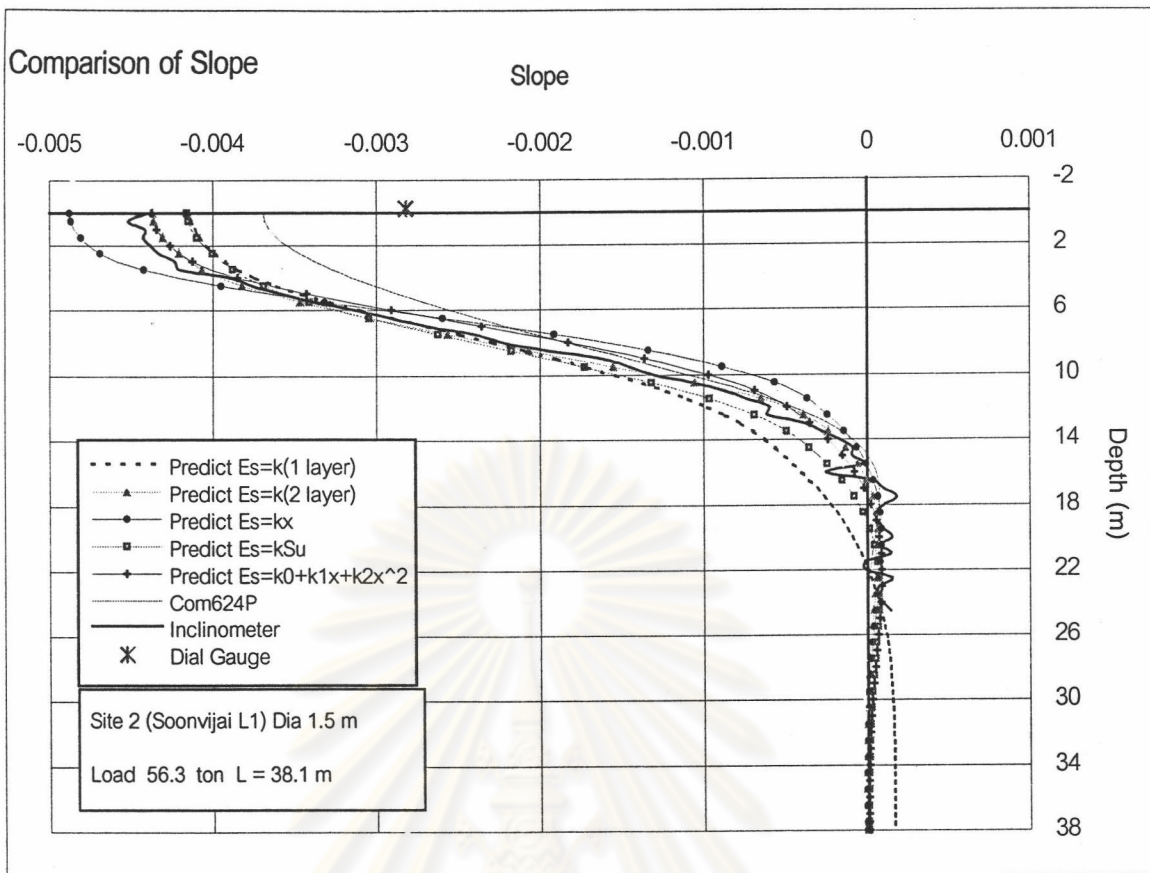
รูปที่ 4.17 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 31.14 ton



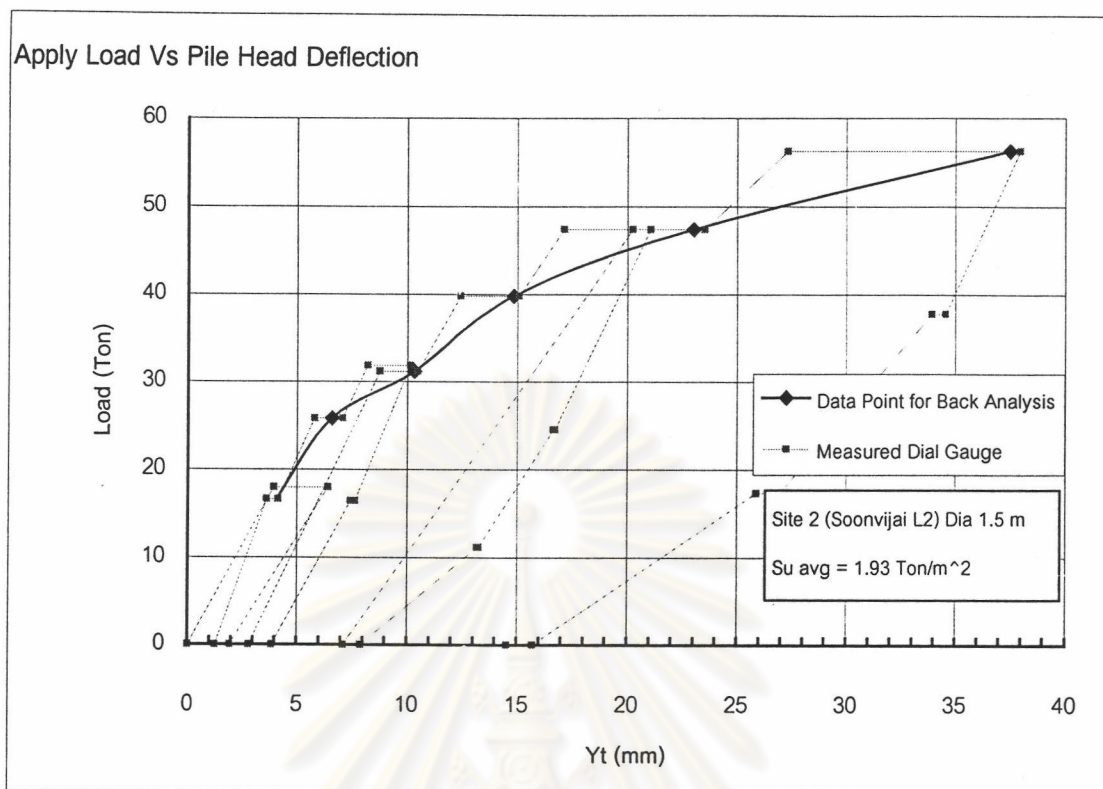
รูปที่ 4.18 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 39.79 ton



รูปที่ 4.19 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 47.38 ton



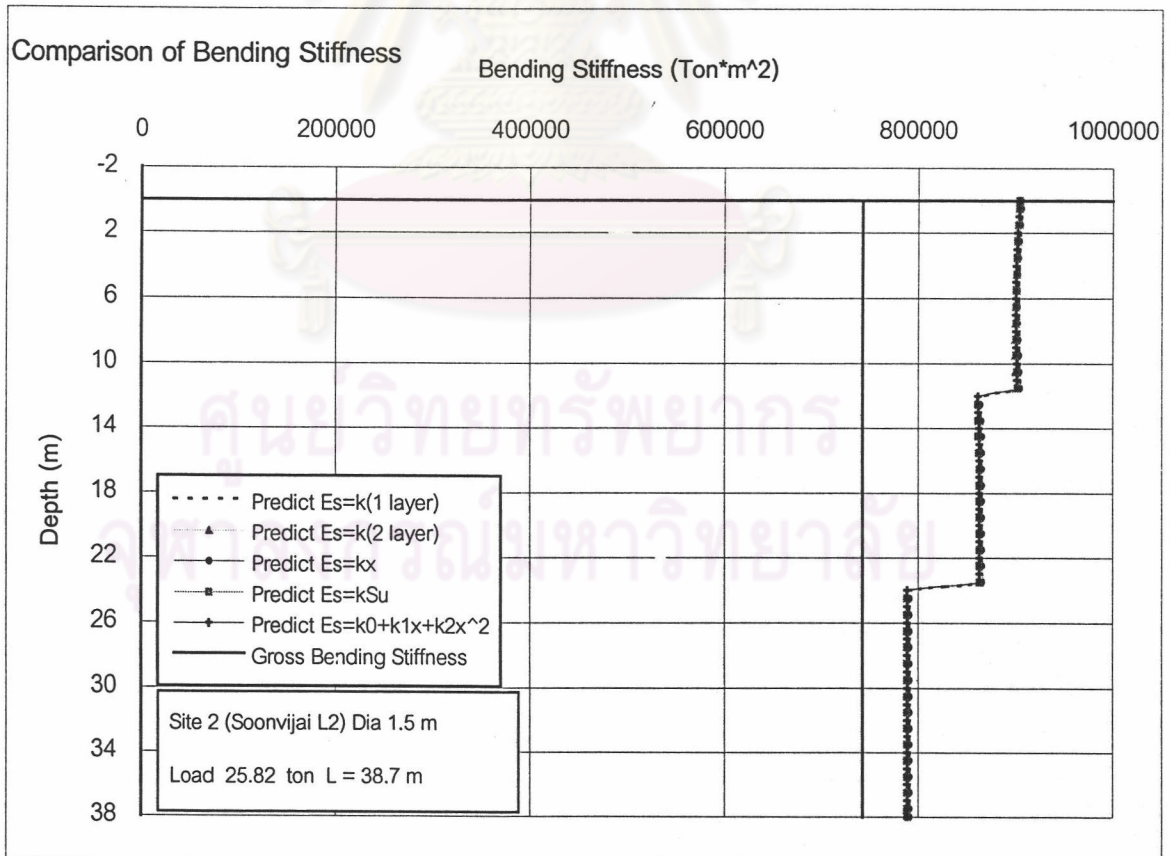
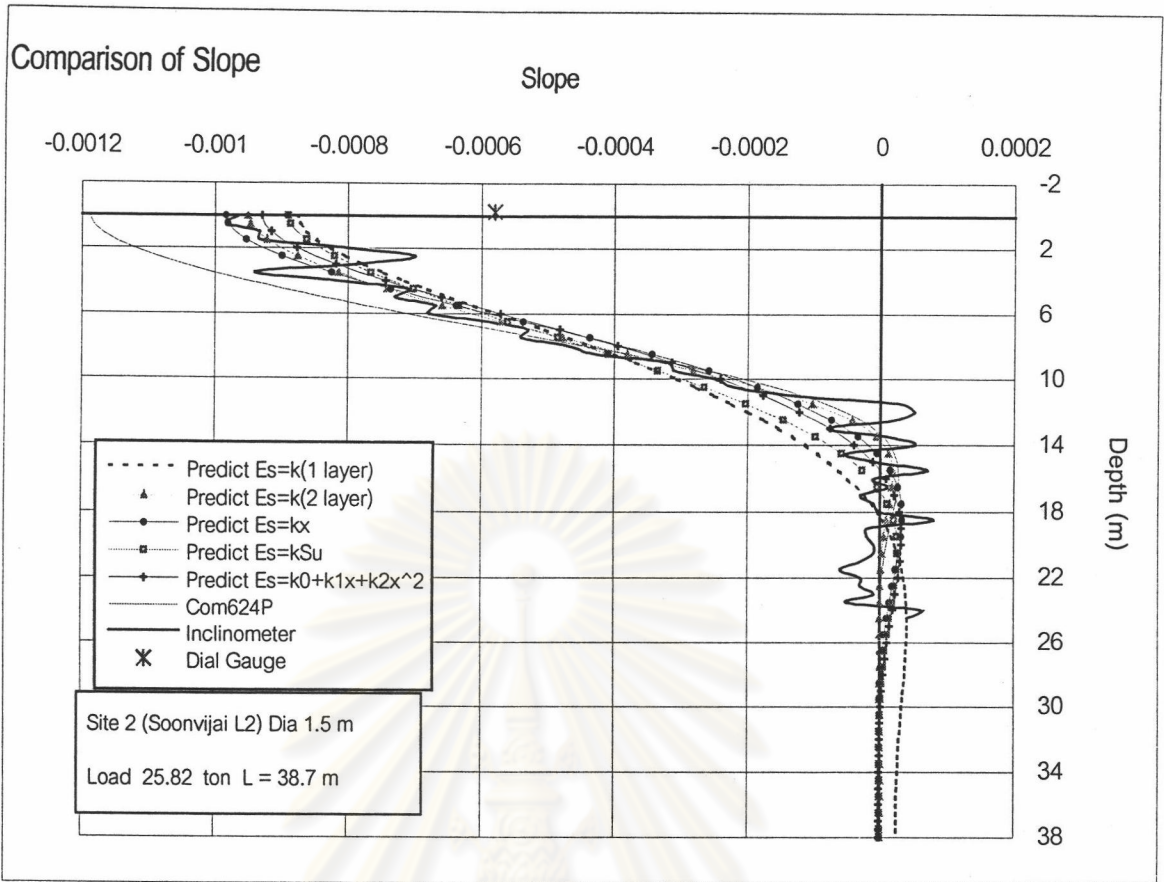
รูปที่ 4.20 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L1) Dia 1.5 m at Load 56.3 ton



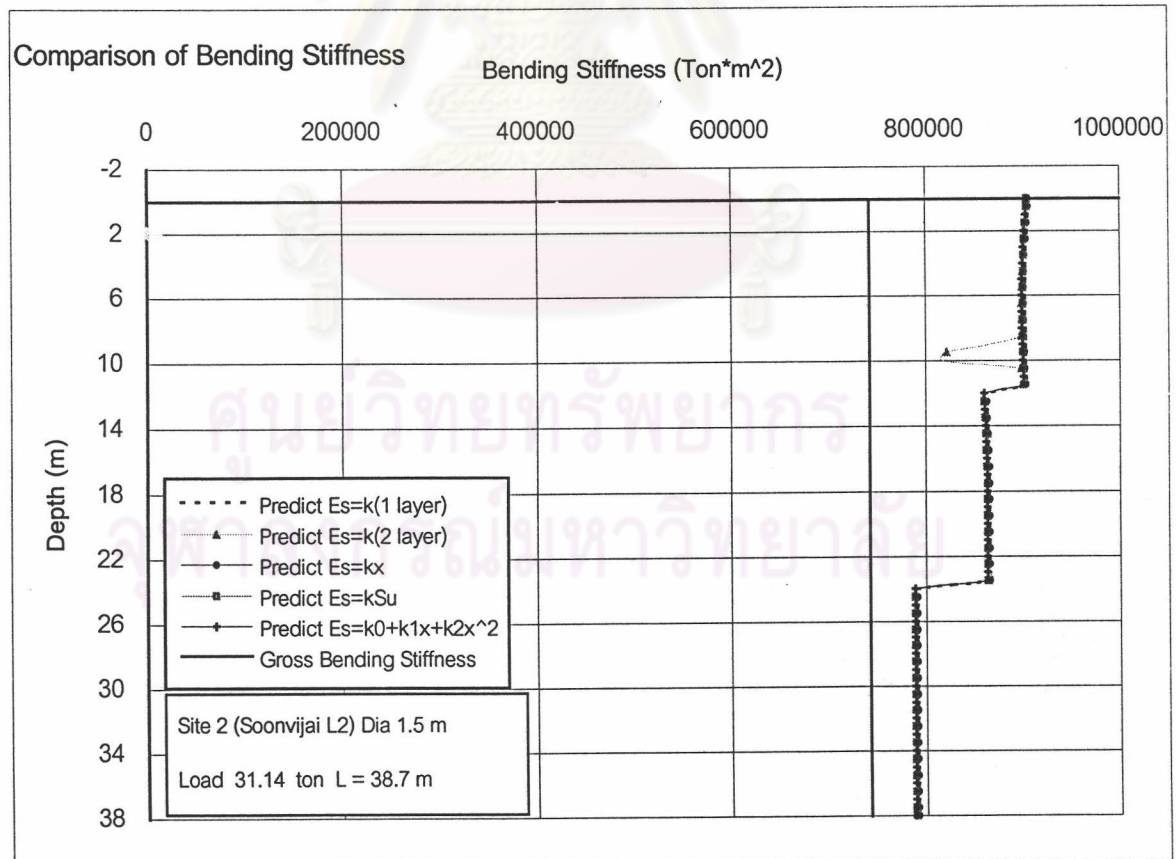
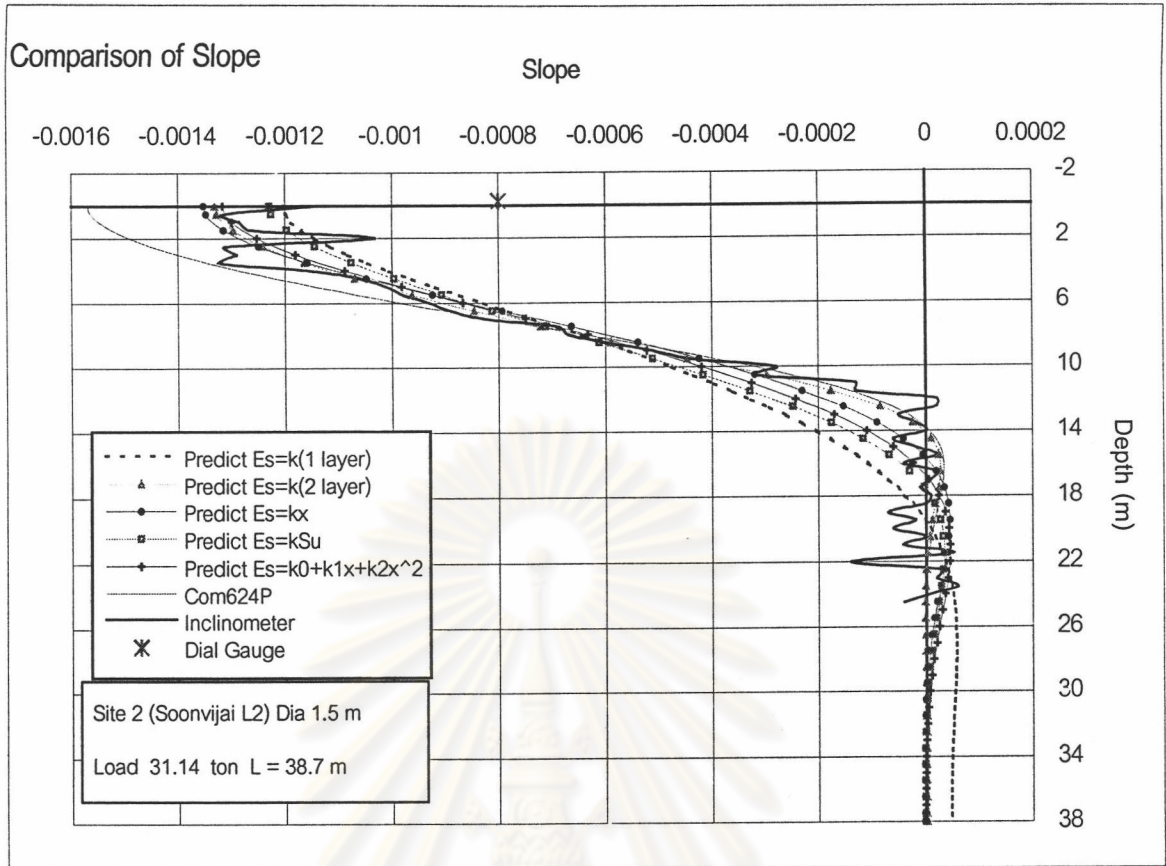
รูปที่ 4.21 Load – Deflection Curve และแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์หัดลับสำหรับโครงการที่ 2-Pile L2

ตารางที่ 4.4 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 2-Pile L2

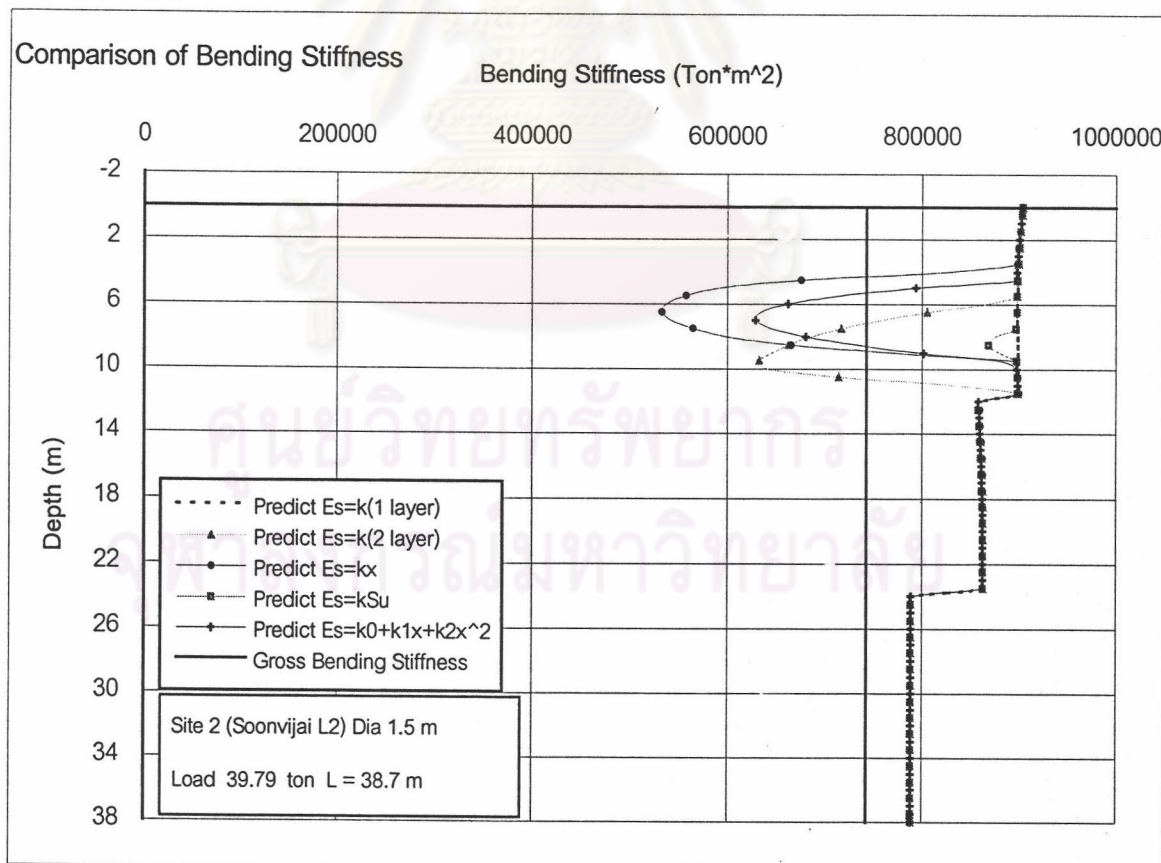
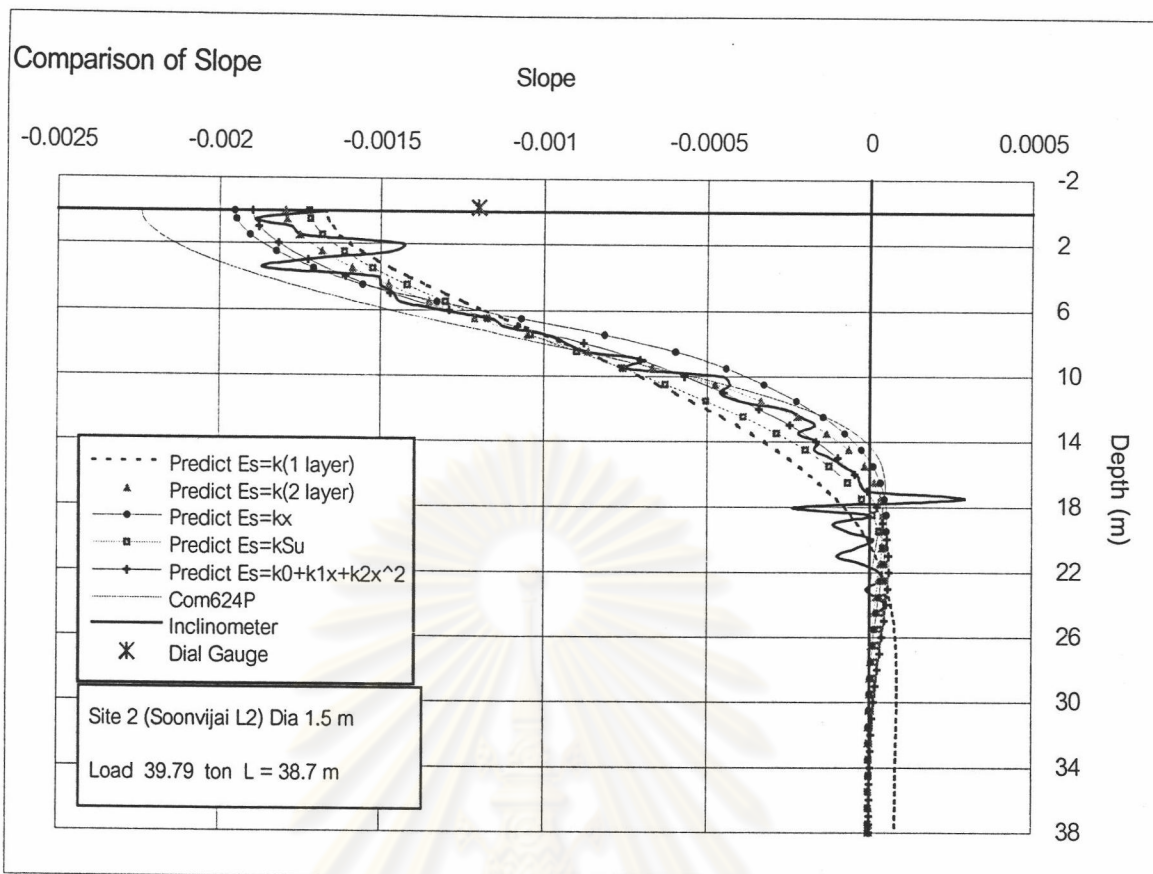
		Lateral Load (Ton)						
		16.64	25.82	31.14	39.79	47.38	56.3	
Measured Data		Yt (mm)	3.97	6.57	10.3	14.83	23	37.5
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	-	6.85	10.04	14.49	24.71	37.87
		M _{max} (ton*m)	-	64.9	83.4	110.7	138.0	159.3
		Es (Ton/m ²)	-	Es = 965	Es = 745	Es = 635	Es = 425	Es = 340
		Slope SqDev	-	4.344E-07	9.522E-07	1.132E-06	3.446E-06	6.069E-06
		Fit Type	-	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	-	6.94	10.13	14.42	23.73	36.84
		M _{max} (ton*m)	-	90.08	125.97	127.24	139.56	174.88
		Es (Ton/m ²)	-	Es up = 815	Es up = 600	Es up = 605	Es up = 455	Es up = 345
			-	Es low = 78240	Es low = 57600	Es low = 12705	Es low = 5005	Es low = 12420
		Slope SqDev	-	1.531E-07	2.498E-07	5.342E-07	1.523E-06	4.523E-07
		Fit Type	-	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kx	Yt (mm)	-	6.81	9.97	13.59	22.17	34.70
		M _{max} (ton*m)	-	91.76	117.99	140.70	165.36	196.35
		Es (Ton/m ²)	-	Es = 435 x	Es = 315 x	Es = 340 x	Es = 255 x	Es = 195 x
		Slope SqDev	-	2.326E-07	3.989E-07	1.247E-06	2.411E-06	5.383E-06
		Fit Type	-	Fit Inclinator (Slope)				
	Es = kSu	Yt (mm)	-	7.09	10.34	14.99	24.24	38.75
		M _{max} (ton*m)	-	68.72	91.36	124.19	138.36	172.64
		Es (Ton/m ²)	-	Es = 570 Su	Es = 440 Su	Es = 370 Su	Es = 285 Su	Es = 205 Su
		Slope SqDev	-	3.196E-07	6.716E-07	7.593E-07	1.857E-06	3.162E-06
Fit Type		-	Fit Inclinator (Slope)					
Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	-	6.66	10.20	14.80	22.97	37.57	
	M _{max} (ton*m)	-	81.12	106.01	133.49	148.52	182.30	
	Es (Ton/m ²)	-	Es = 425 + 250x + 0x ²	Es = 305 + 170x + 0x ²	Es = 295 + 140x + 0x ²	Es = 290 + 90x + 0x ²	Es = 200 + 65x + 0x ²	
	Slope SqDev	-	2.525E-07	4.897E-07	6.649E-07	1.102E-06	1.515E-06	
	Fit Type	-	Fit DialGauge+-0.05mm					
Com 624P	Pile L1, L2	Yt (mm)	3.84	7.97	11.00	16.50	21.80	28.80
		M _{max} (ton*m)	56.07	99.90	128.44	177.37	223.24	280.33
		Slope SqDev	-	6.824E-07	7.935E-07	2.603E-06	1.601E-06	1.462E-05



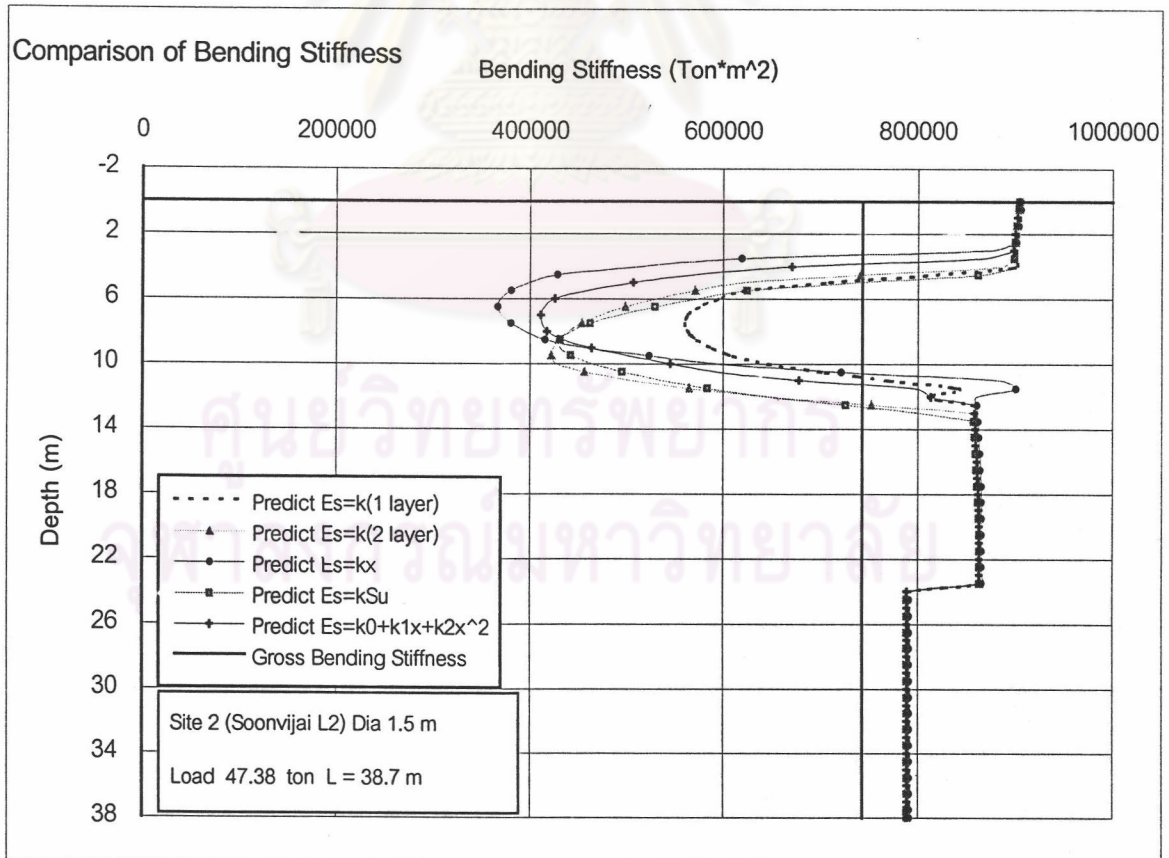
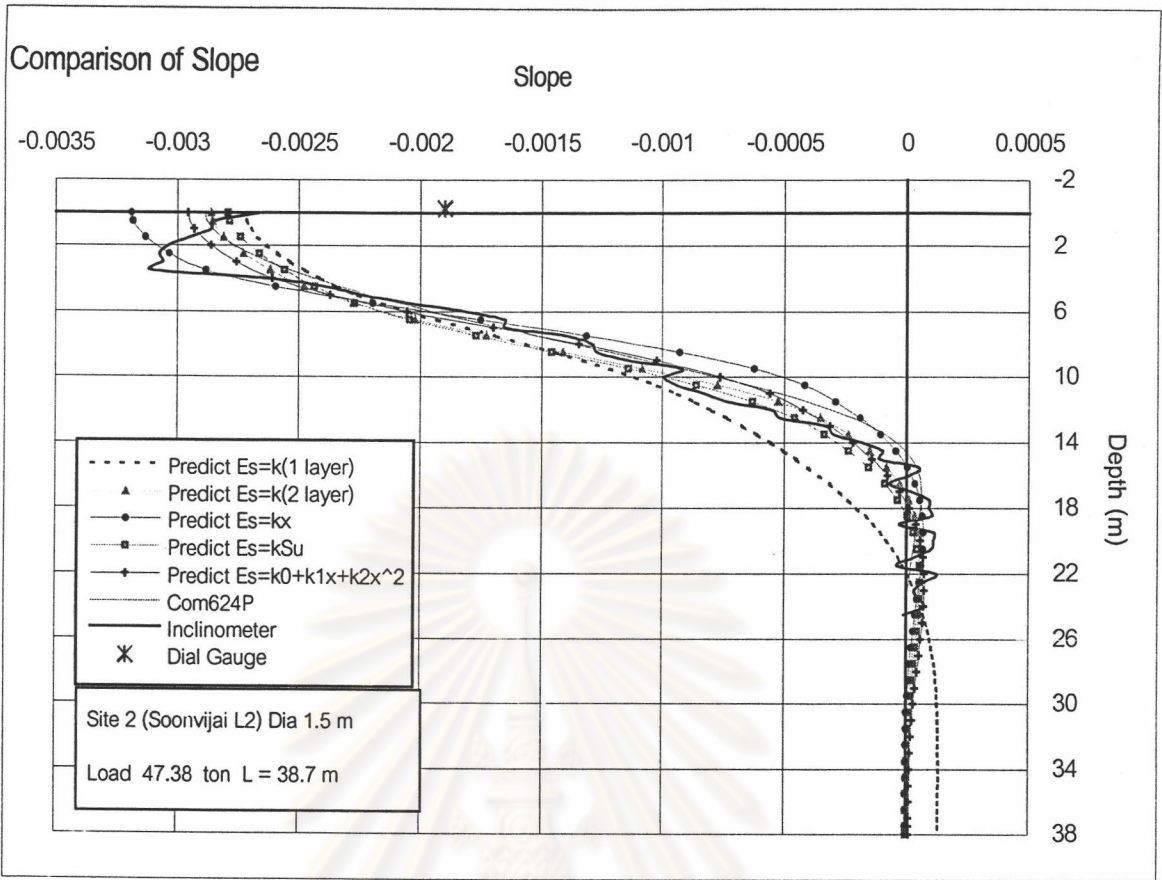
รูปที่ 4.22 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L2) Dia 1.5 m at Load 25.82 ton



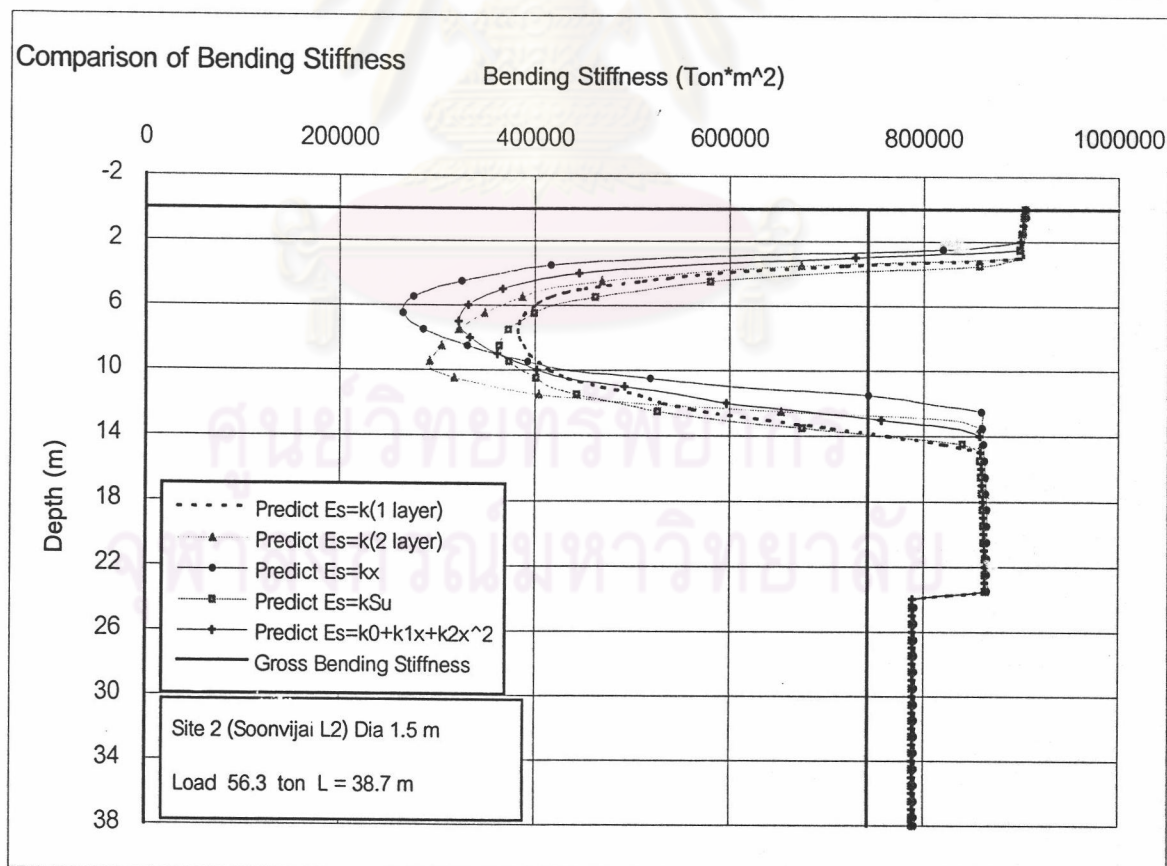
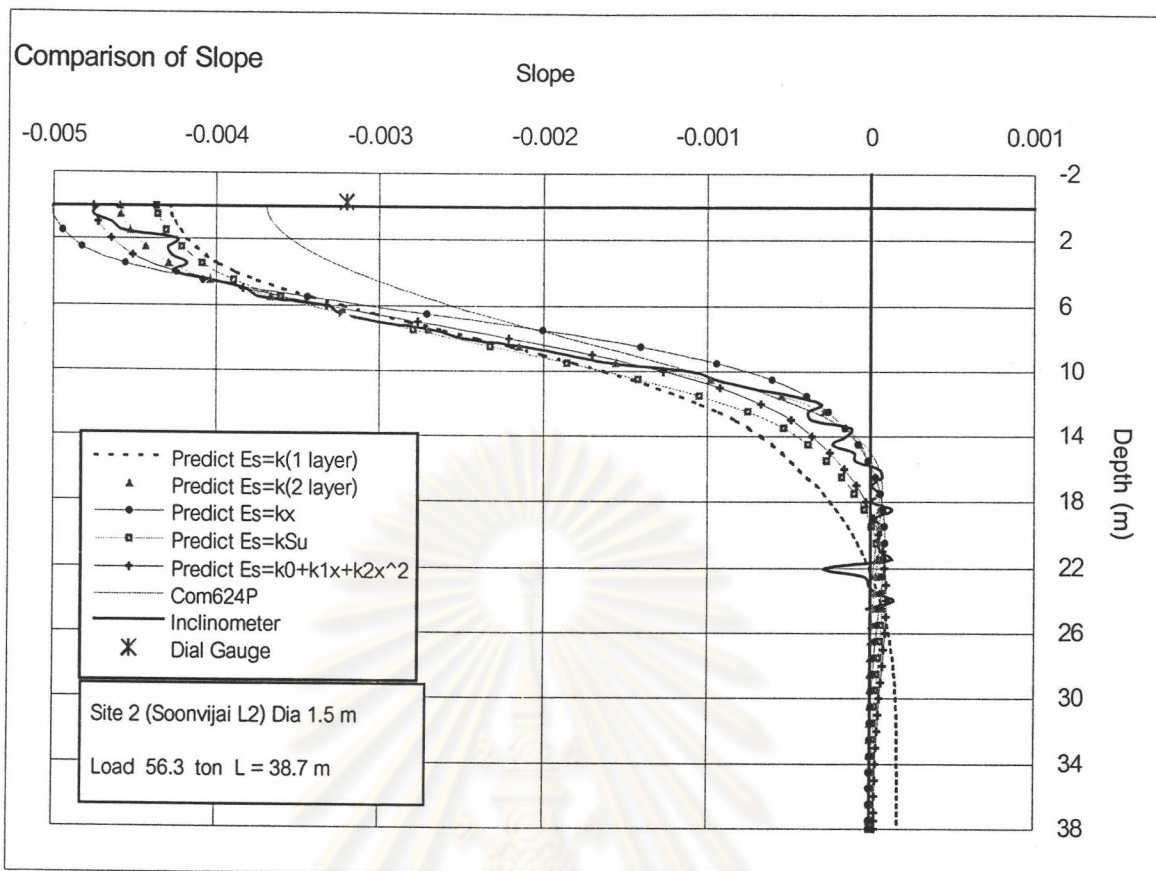
รูปที่ 4.23 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L2) Dia 1.5 m at Load 31.14 ton



รูปที่ 4.24 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L2) Dia 1.5 m at Load 39.79 ton



รูปที่ 4.25 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L2) Dia 1.5 m at Load 47.38 ton



รูปที่ 4.26 Result of ProgramBEF for Site 2 (Soonvijai L2) Dia 1.5 m at Load 56.3 ton

4.1.3 ผลสำหรับโครงการที่ 3 (ห้วยขวาง)

สำหรับโครงการที่ 3 (ห้วยขวาง) ได้มีการทดสอบเสาเข็มอยู่สองต้นคือ Pile BPL1, BPL2 มี % เหล็กเสริม 1.172%, ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะขนาด 0.8 m และได้ติดตั้งเครื่องมือ Inclinator, Dial Gauge, Tiltmeter

ข้อมูลดินสำหรับเสาเข็ม BPL1 ชั้น Soft - Midium Clay อยู่ในช่วงความลึก 0 - 18 m มี S_u avg (ในช่วง 8D) = 1.69 ton/m², PI ~ 50.33%, LI ~ 1.15%, w ~ 93%

จากข้อมูลดินข้างต้นสำหรับกรณี $E_s = k$ (2-layer), เสาเข็ม BPL1 ผู้วิจัยกำหนดให้ชั้น Soft - Medium Clay เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจากชั้น Soft - Medium Clay จนถึงปลายเสาเข็ม

ข้อมูลดินสำหรับเสาเข็ม BPL2 พบว่าน่าจะมีชั้น Crust หนา 2 เมตร ถัดจากชั้น Crust เป็นชั้น Soft - Midium Clay มี S_u avg (ในช่วง 8D) = 2.1 ton/m², PI ~ 47.25%, LI ~ 1, w ~ 81.25%, ดังนั้นสำหรับเสาเข็ม BPL2 กรณี $E_s = k$ (2-layer) ผู้วิจัยกำหนดให้ Crust เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็น Soft - Medium Clay ที่อยู่ลึกลงไปจากชั้น Crust

ผลของเสาเข็ม BPL1 ที่แสดงในตารางที่ 4.5 และผลการวิเคราะห์ห้กลับที่แสดงในรูปที่ 4.30 - 4.34 พบว่า

1) จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 204.9% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 6, 12, 16, 22, 30 ton เท่ากับ 176.8%, 308%, 264.6%, 210.7%, 64.3% ตามลำดับ)

2) การวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ สำหรับเสาเข็ม BPL1 เมื่อพิจารณาจากกราฟ Slope vs. Depth ในรูปที่ 4.30 - 4.34 พบว่ากราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่หลุดจากผลการทดสอบในสนามที่บริเวณหัวเสาเข็ม ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าคงเป็นผลมาจากตัวข้อมูล Inclinator เอง โดยอาจจะทำการติดตั้งเครื่องมือ, ทำการวัดได้ไม่ดี หรือขนาดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างมีค่าค่อนข้างน้อยทำให้ค่าที่วัดได้จาก Inclinator มีความผิดพลาดมาก สิ่งเหล่านี้ส่งผลทำให้การวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ให้ผลไม่ดี

3) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า E_{pI_p} จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.30 - 4.34 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า E_{pI_p} ที่ขนาดของ Lateral Load 16 ton, 16 ton, 12 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.28 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 15 ton

4) จากรูปที่ 4.30 - 4.34 กราฟ Slope vs. Depth, ได้แสดงให้เห็นว่าค่า Slope ที่คำนวณได้จากข้อมูล Dial Gauge มี error (เทียบกับค่า Slope จาก Tiltmeter) น้อยกว่าในโครงการที่ 2 และใน

รูปดังกล่าวยังแสดงค่า Slope ที่ได้จากเครื่องมือ Tiltmeter ด้วย ซึ่งค่า Slope ที่ได้จาก Inclinator ที่บริเวณหัวเสาเข็มคาดว่าคงเกิดความผิดพลาดจึงมีค่าต่างกับ Slope ที่ได้จาก Tiltmeter ดังแสดงในรูปที่ 4.31 - 4.33

5) Local Yield ของดิน: เสาเข็ม BPL1 พบว่า Lateral Load ที่ทำให้ค่า p_u (Ultimate Soil Resistance) มีค่าน้อยกว่าค่า p (Soil Resistance) หรือก็คือค่า Lateral Load ที่ทำให้เริ่มเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรก จากผลการวิเคราะห์หักกลับของฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ คือ 12 ton, 12 ton, 6 ton ตามลำดับ

6) ผลจากข้อ 2 และข้อ 5 พบว่าเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้นจะเกิด Local Yield ของดิน ก่อนการลดลงของ $E_p I_p$ เมื่อพิจารณาด้วยการวิเคราะห์หักกลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ และเมื่อพิจารณาเฉพาะผลในข้อ 2 (กรณี $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$) พบว่าการโค้งที่เกิดขึ้นในกราฟ Apply Load vs. Pile Head Deflection ที่แสดงในรูปที่ 4.28 เกิดจากการลดลงของค่า $E_p I_p$

สำหรับสภาพชั้นดินในบริเวณเสาเข็มต้น BPL2 พบว่ามีชั้น Crust หนาประมาณ 2 เมตร ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์หักกลับที่น่าจะถูกต้องที่สุดควรเป็นกรณีที่ใช้ $E_s = k$ (2-layer) โดยกำหนดให้ Crust เป็นชั้นแรก ส่วนดินชั้นที่สองให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจนถึงปลายเสาเข็ม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์หักกลับที่แสดงในรูปที่ 4.36 - 4.39 และผลที่แสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า

1) จากตารางที่ 4.6 พบว่าทุกฟังก์ชันของ E_s (ยกเว้นกรณี $E_s = kx$) ให้ผลการวิเคราะห์หักกลับผิดกับข้อมูล Inclinator พอๆกัน ทว่าค่า E_s / Su_{avg} ของดินชั้นล่างที่ได้จากกรณี $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก lower layer) ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่า k ในกรณี $E_s = kSu$, ส่วน E_s ของดินชั้นล่างที่ได้จากกรณี $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก lower layer) มีค่าแตกต่างจากค่า k ที่ได้จากกรณี $E_s = k$ (1-layer) มาก ด้วยผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเลือกใช้ค่า k ของดิน soft - medium clay ในกรุงเทพฯ จากผลการวิเคราะห์หักกลับที่ได้จากกรณี $E_s = k$ (2-layer)

ผลการวิเคราะห์หักกลับที่ได้จากกรณี $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ให้ค่าเหมือนกรณี $E_s = k$ (1-layer) ดังตารางที่ 4.6, ผลการวิเคราะห์หักกลับที่ได้จากกรณี $E_s = kx$ สำหรับเสาเข็ม BPL2 ความถูกต้องย่อมน้อยเนื่องจากสภาพดินเป็นลักษณะที่มีชั้น Crust หนา 2 เมตร ถัดลงมาก็เป็นชั้น Soft - Medium Clay การวิเคราะห์หักกลับที่ถูกต้องกว่าจึงควรที่จะวิเคราะห์หักกลับแบบพิจารณาเป็นดินสองชั้น

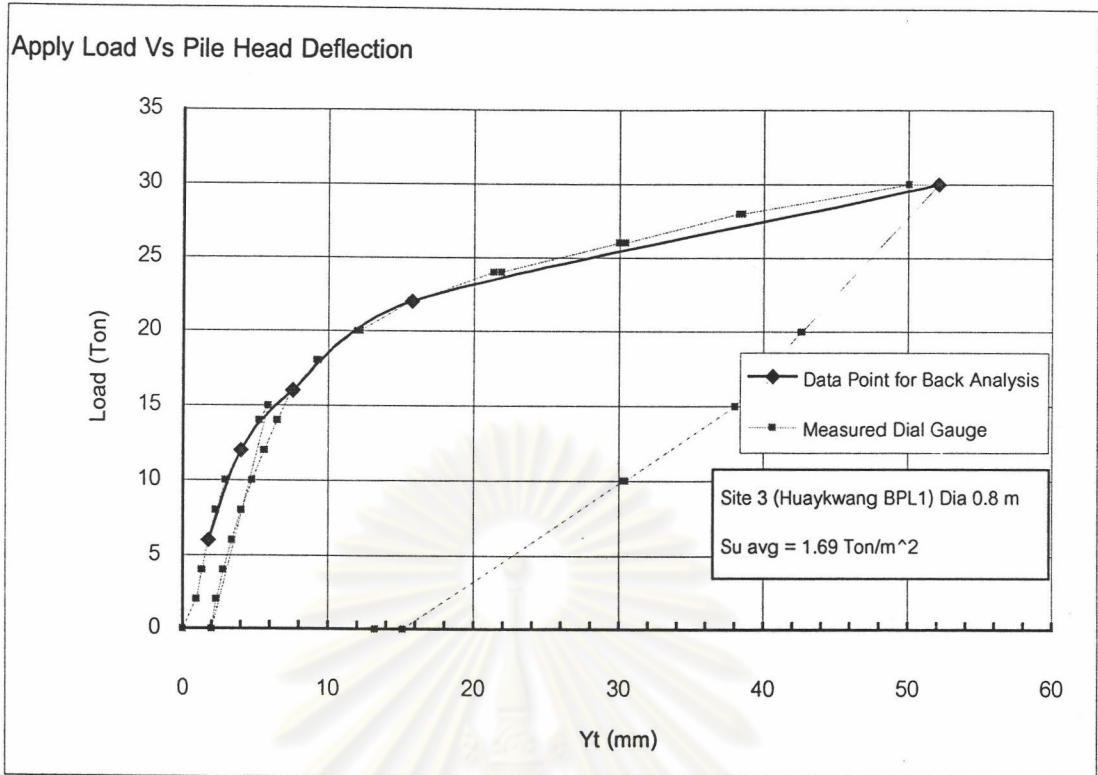
2) จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์หักกลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มน้อยกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ -45.8% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 6, 8, 10, 15 ton เท่ากับ -66.4%, -54.4%, -42%, -20.3% ตามลำดับ)

3) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.36 - 4.39 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$, $E_s = k$, $E_s = kx$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 15 ton, 15 ton, 10 ton ตามลำดับ และพบว่าที่ขนาดของ Lateral Load 15 ton ผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kSu$ ยังไม่มีการลดลงของค่า $E_p I_p$ ซึ่งในรูปที่ 4.35 กราฟยังประมาณได้ว่าเป็นเส้นตรงอยู่

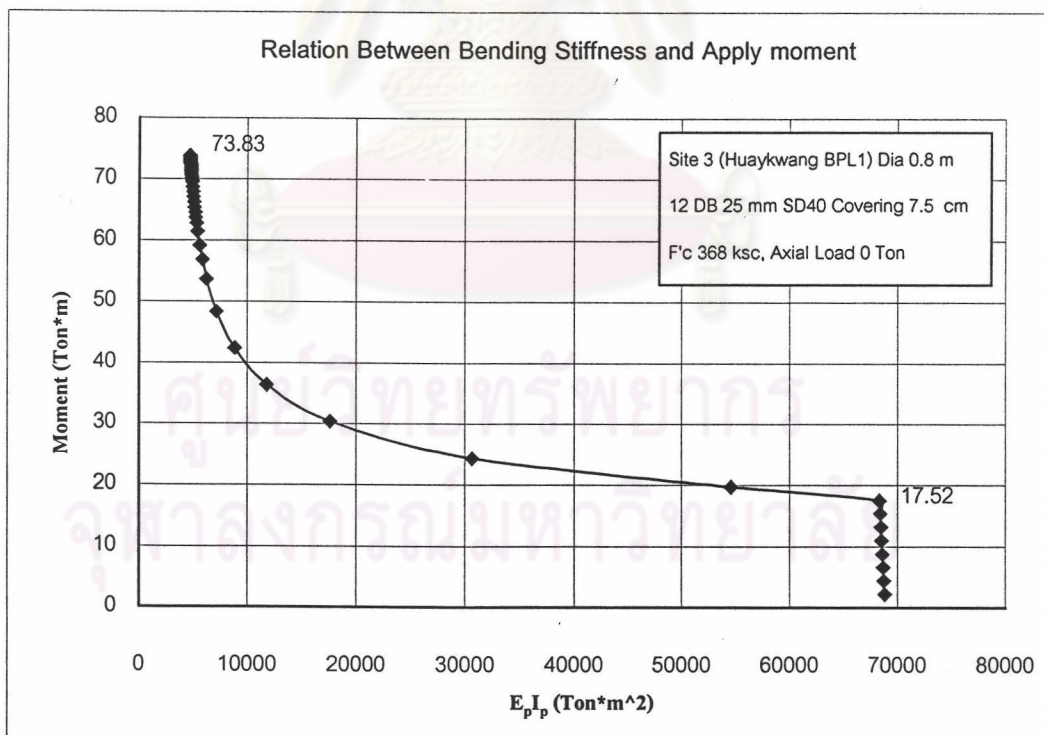
4) จากรูปที่ 4.36 – 4.39 กราฟ Slope vs. Depth, ได้แสดงให้เห็นว่าค่า Slope ที่คำนวณได้จากข้อมูล Dial Gauge มีค่าใกล้เคียงกับค่า Slope จาก Inclinometer และค่า Slope ที่ได้จากเครื่องมือ Tiltmeter มีความผิดพลาด อาจเนื่องมาจากการติดตั้งเครื่องมือที่ไม่ดี

5) จากผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$, $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$ ไม่พบ Local Yield ของดินที่เกิดขึ้นกับดินรอบๆเสาเข็ม BPL2

ทั้งนี้ความถูกต้องของการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็ม BPL2 อาจมีปัญหอันเกิดจากสภาพชั้นดินสองชั้น ซึ่งหากทราบค่า E_s ของชั้นใดชั้นหนึ่งก็จะสามารถตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ห้กลับกรณีดินสองชั้นได้ ทว่าข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็มขนาด 0.8 m ดันอื่นๆ มิได้เพียงพอที่จะได้แนวโน้มหรือค่าของ E_s เพื่อที่จะนำไปตรวจสอบการวิเคราะห์ห้กลับกรณีดินสองชั้นได้



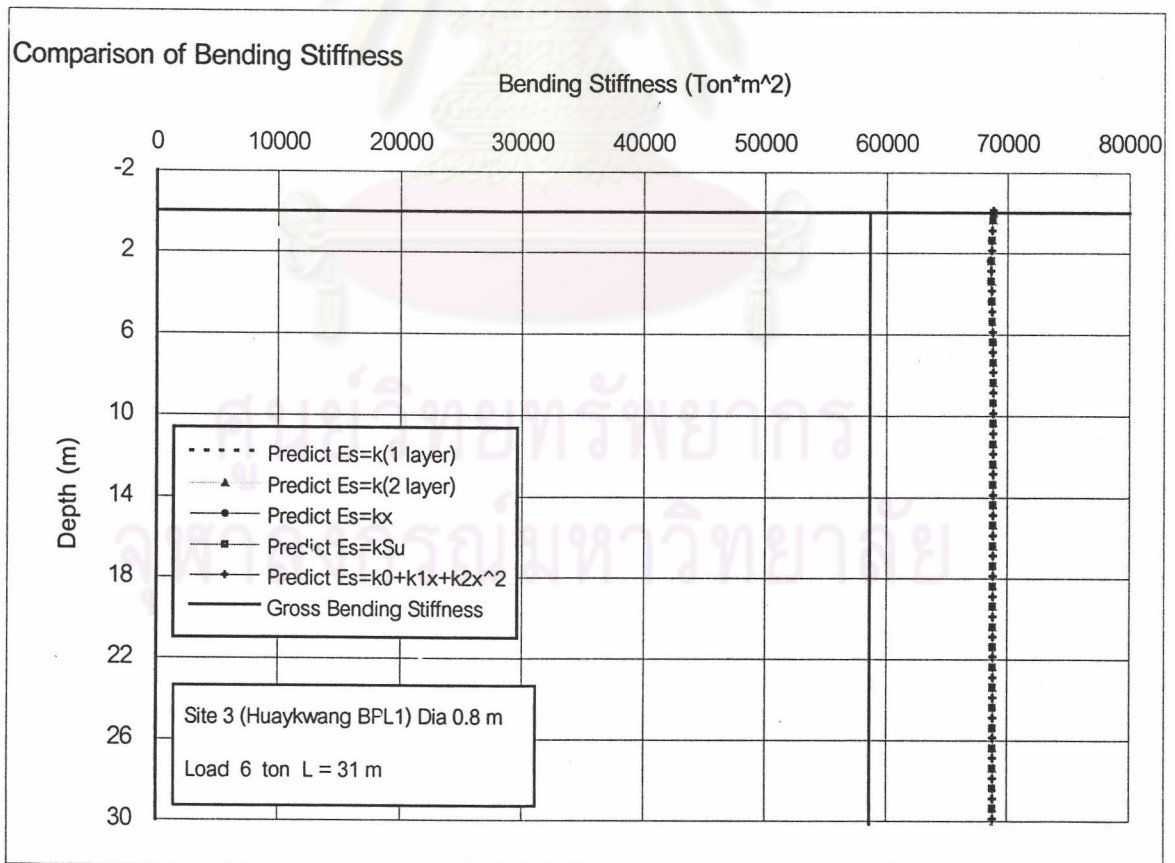
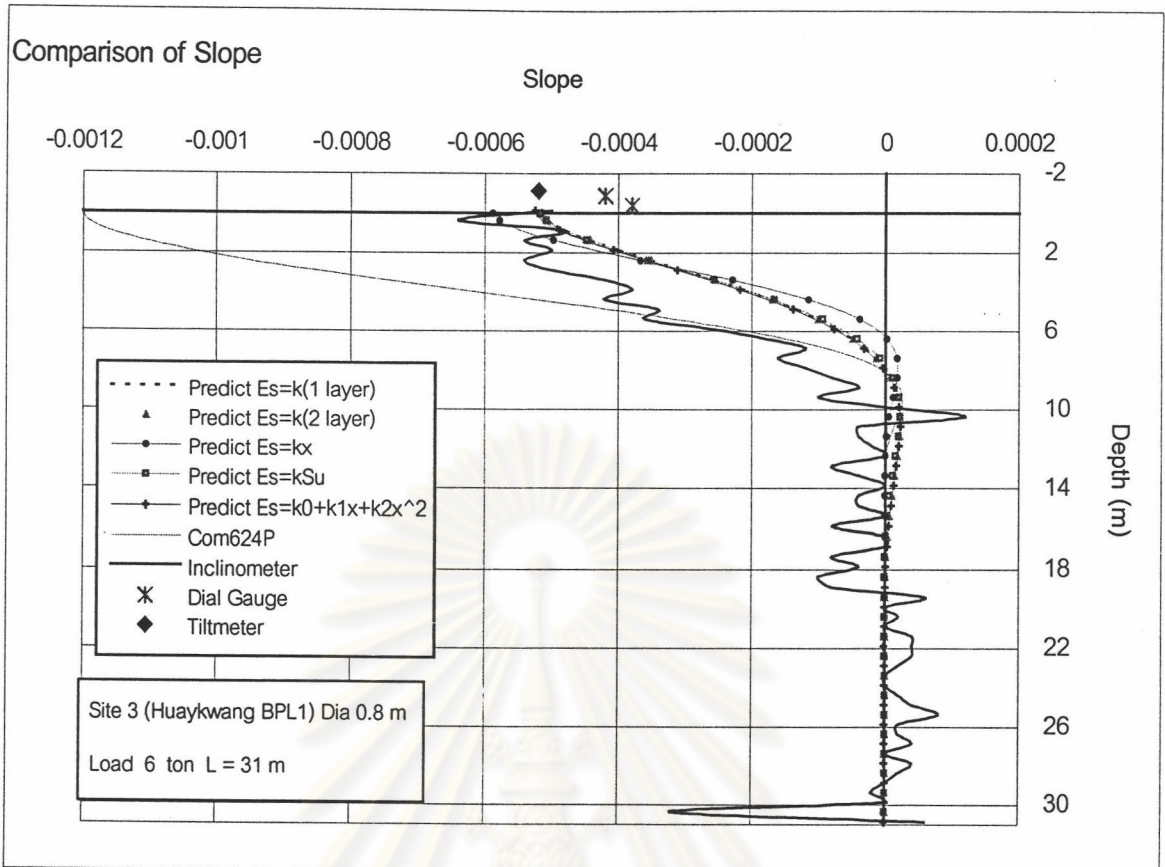
รูปที่ 4.27 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์หาค่ากลับสำหรับโครงการที่ 3-Pile BPL1



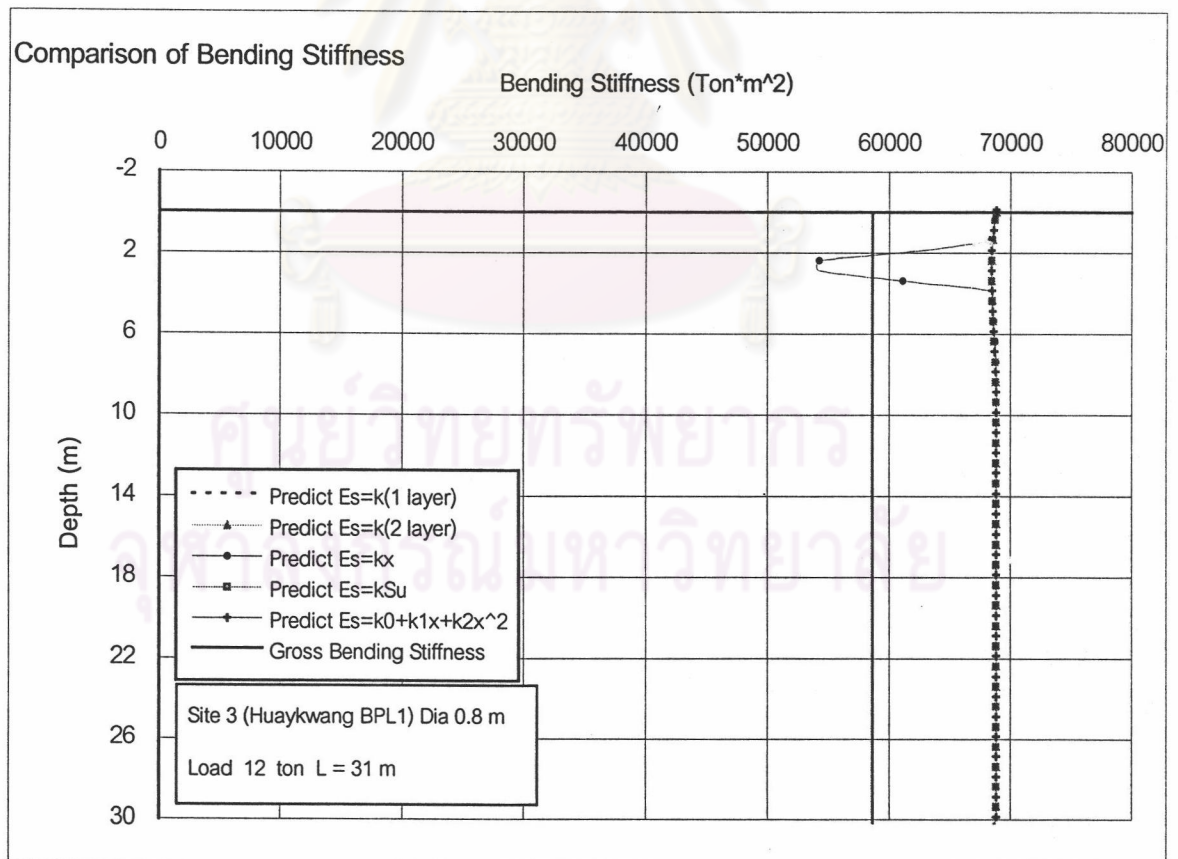
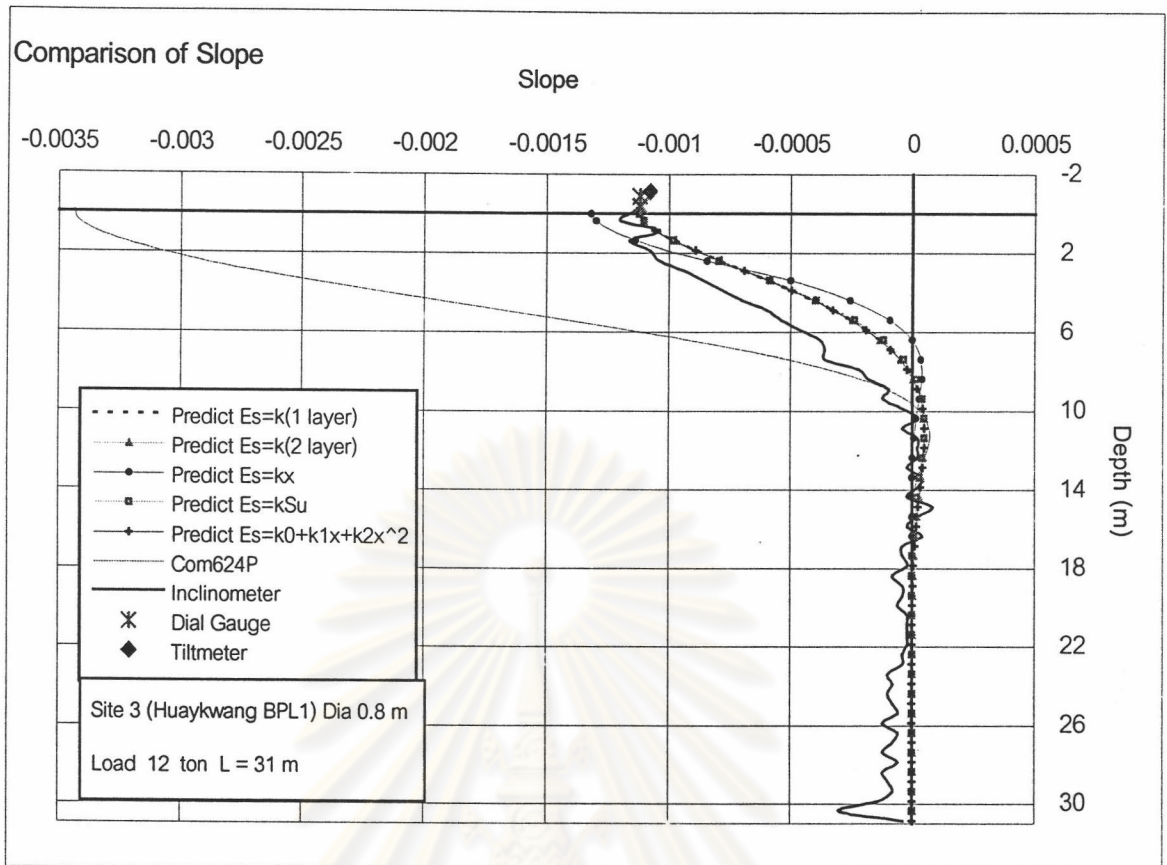
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apply Moment กับ $E_p I_p$ ตลอดความยาวเสาเข็ม สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงการที่ 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.5 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 3-Pile BPL1

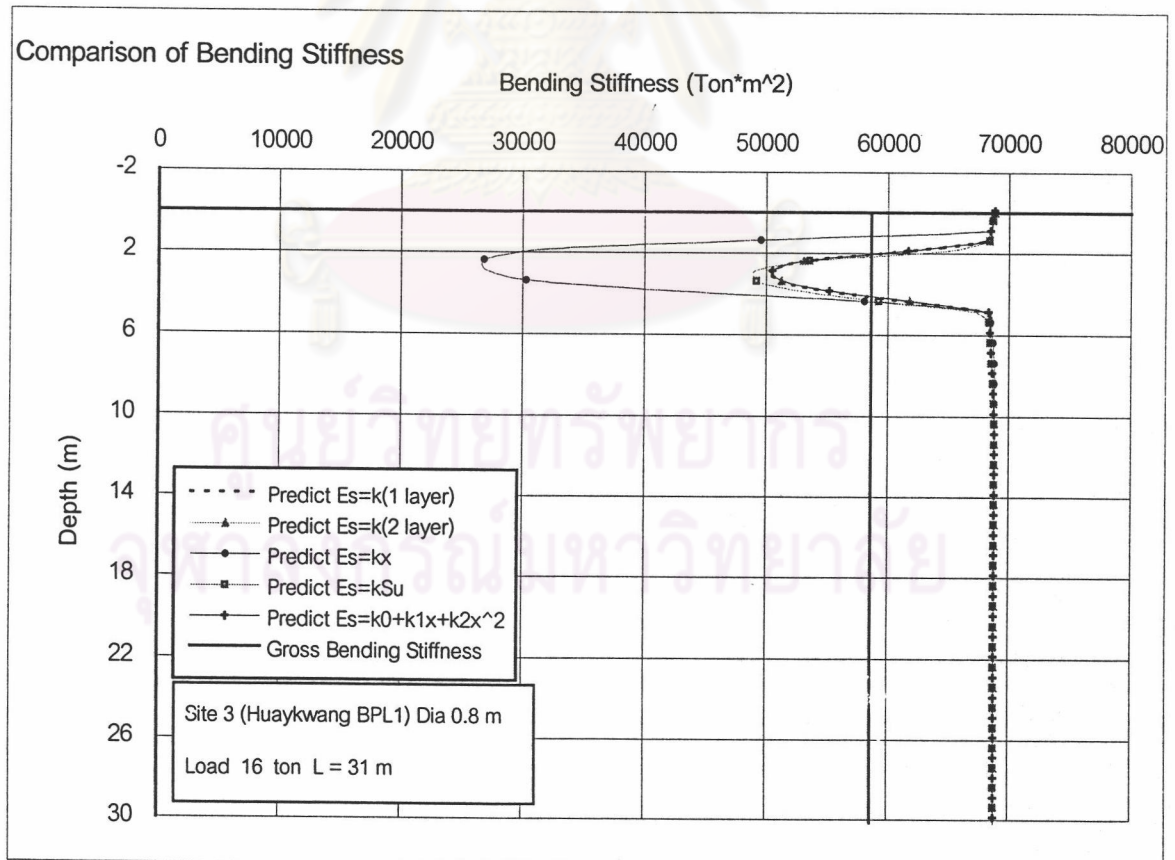
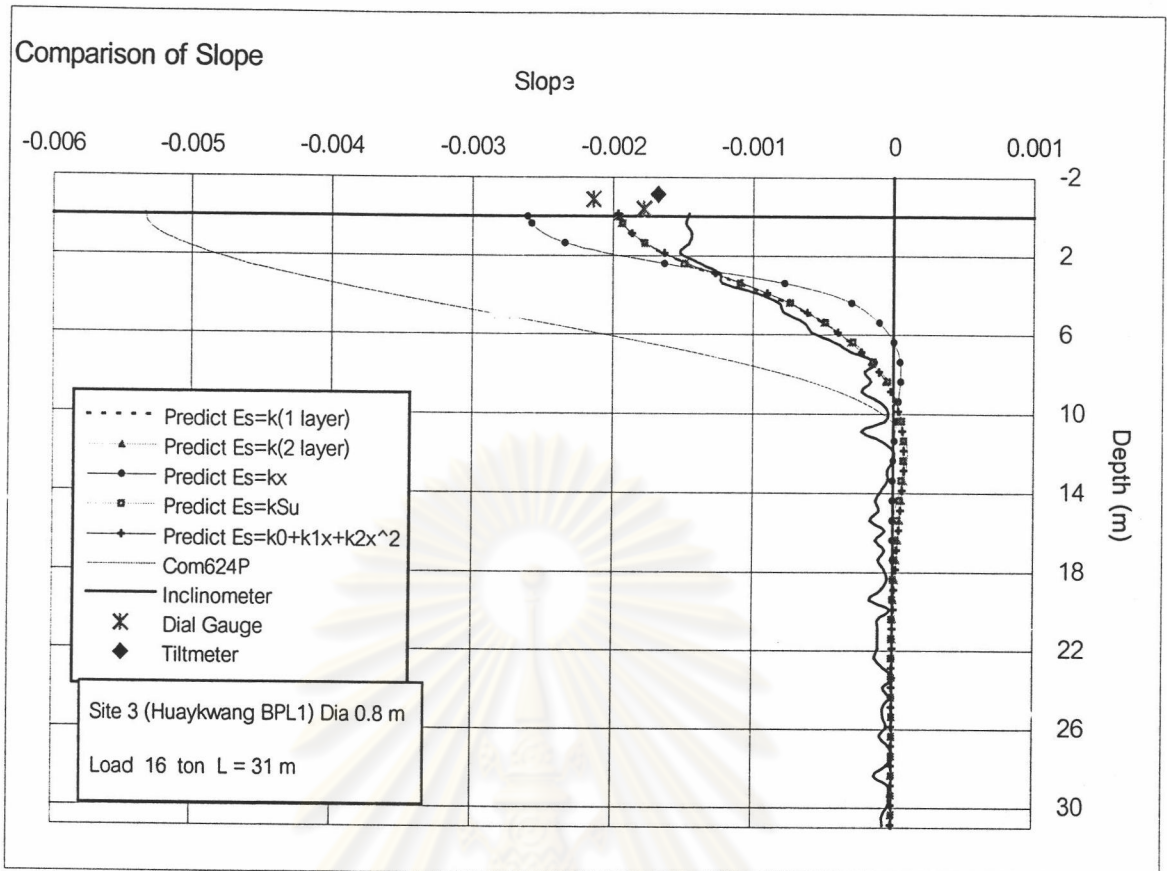
		Measured Data	Lateral Load (Ton)				
			6	12	16	22	30
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	1.77	4.02	7.57	15.77	52.11
		Yt (mm)	1.77	3.87	7.30	15.23	48.26
		M _{max} (ton*m)	6.6	13.9	19.9	25.5	35.1
		Es (Ton/m ²)	Es = 1990	Es = 1680	Es = 1110	Es = 775	Es = 335
		Slope SqDev	9.256E-07	2.571E-06	5.366E-06	2.573E-05	2.550E-04
		Fit Type	Fit DialGauge				Fit Inclino. (Slope)
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	1.77	3.87	7.30	15.23	48.26
		M _{max} (ton*m)	6.64	13.85	19.88	25.92	35.08
		Es (Ton/m ²)	Es up = 1990	Es up = 1680	Es up = 1110	Es up = 775	Es up = 335
			Es low = 10000	Es low = 1680	Es low = 1110	Es low = 74400	Es low = 335
		Slope SqDev	9.249E-07	2.571E-06	5.367E-06	2.571E-05	2.550E-04
		Fit Type	Fit DialGauge				Fit Inclino. (Slope)
	Es = kx	Yt (mm)	1.77	3.85	7.22	15.03	49.82
		M _{max} (ton*m)	9.66	19.45	24.34	31.80	45.27
		Es (Ton/m ²)	Es = 2340 x	Es = 2025 x	Es = 1675 x	Es = 1245 x	Es = 465 x
		Slope SqDev	1.165E-06	3.867E-06	1.406E-05	6.788E-05	5.711E-04
		Fit Type	Fit DialGauge				
	Es = kSu	Yt (mm)	1.70	3.87	7.32	15.26	56.94
		M _{max} (ton*m)	6.92	14.38	19.98	25.31	28.77
		Es (Ton/m ²)	Es = 1370 Su	Es = 1135 Su	Es = 705 Su	Es = 440 Su	Es = 75 Su
Slope SqDev		9.354E-07	2.619E-06	5.272E-06	2.123E-05	1.718E-04	
Fit Type		Fit DialGauge				Fit Inclino. (Slope)	
Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	1.82	3.91	7.28	15.15	50.27	
	M _{max} (ton*m)	6.69	13.91	19.87	25.88	35.57	
	Es (Ton/m ²)	Es = 1920 + 0x + 0x ²	Es = 1655 + 0x + 0x ²	Es = 1115 + 0x + 0x ²	Es = 780 + 0x + 0x ²	Es = 315 + 5x + 0x ²	
	Slope SqDev	9.076E-07	2.550E-06	5.325E-06	2.543E-05	2.608E-04	
	Fit Type	Fit DialGauge+0.05mm					
Com 624P	Pile BPL1	Yt (mm)	4.90	16.40	27.60	49.00	85.60
		M _{max} (ton*m)	13.46	31.80	45.46	67.58	99.69
		Slope SqDev	2.634E-06	4.036E-05	1.264E-04	3.085E-04	1.494E-04



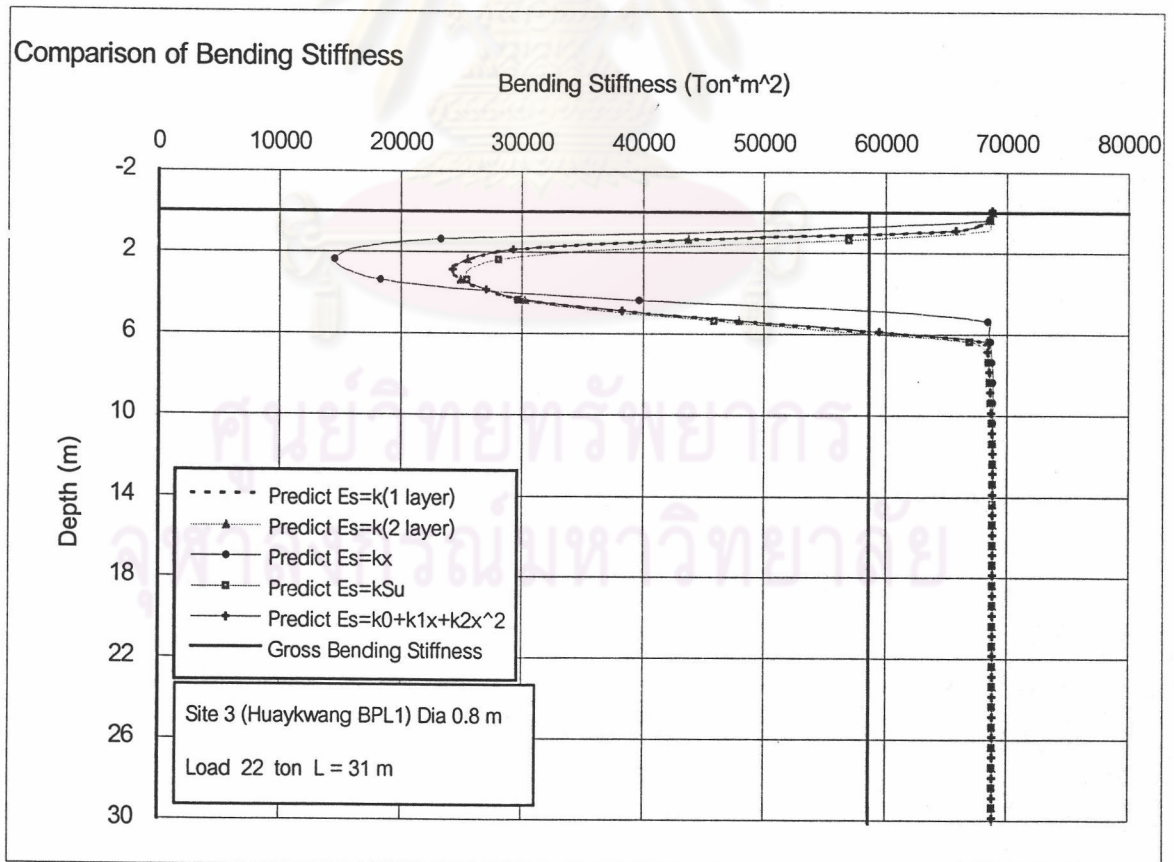
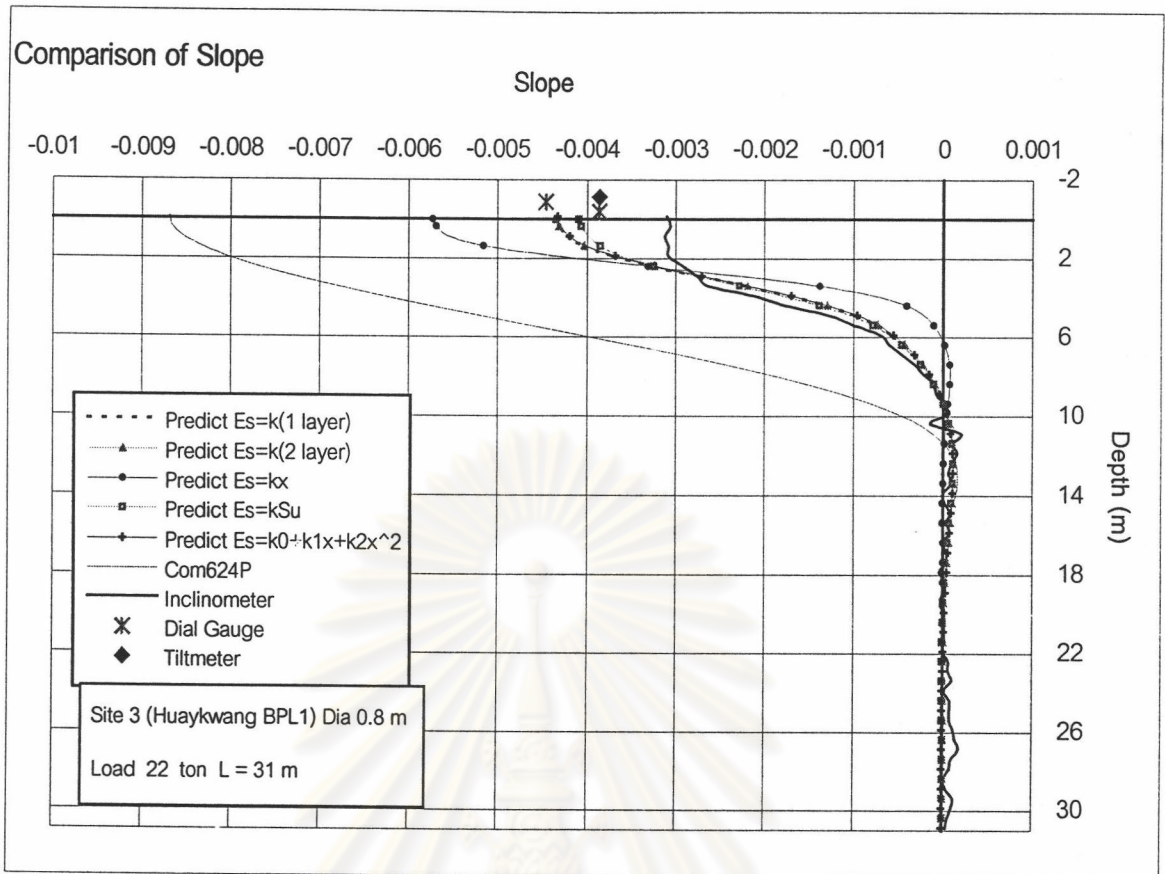
รูปที่ 4.29 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL1) Dia 0.8 m at Load 6 ton



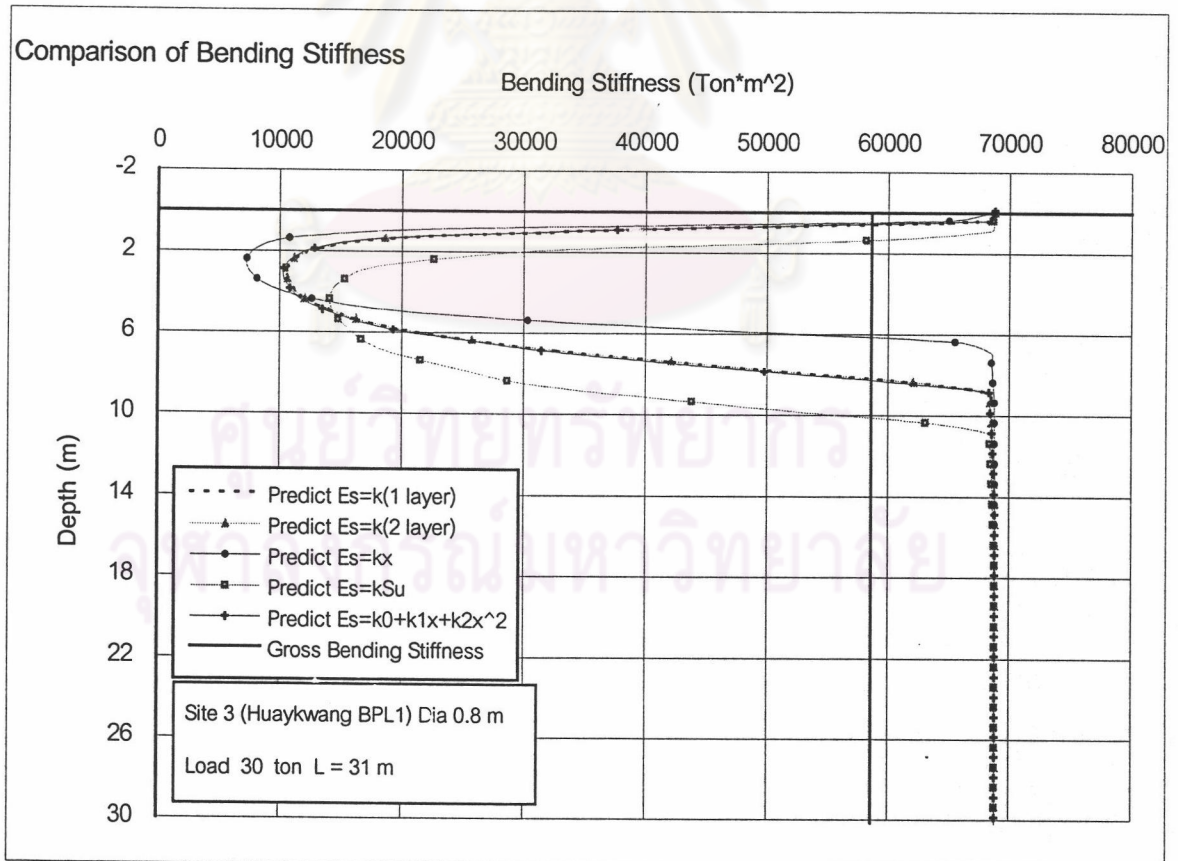
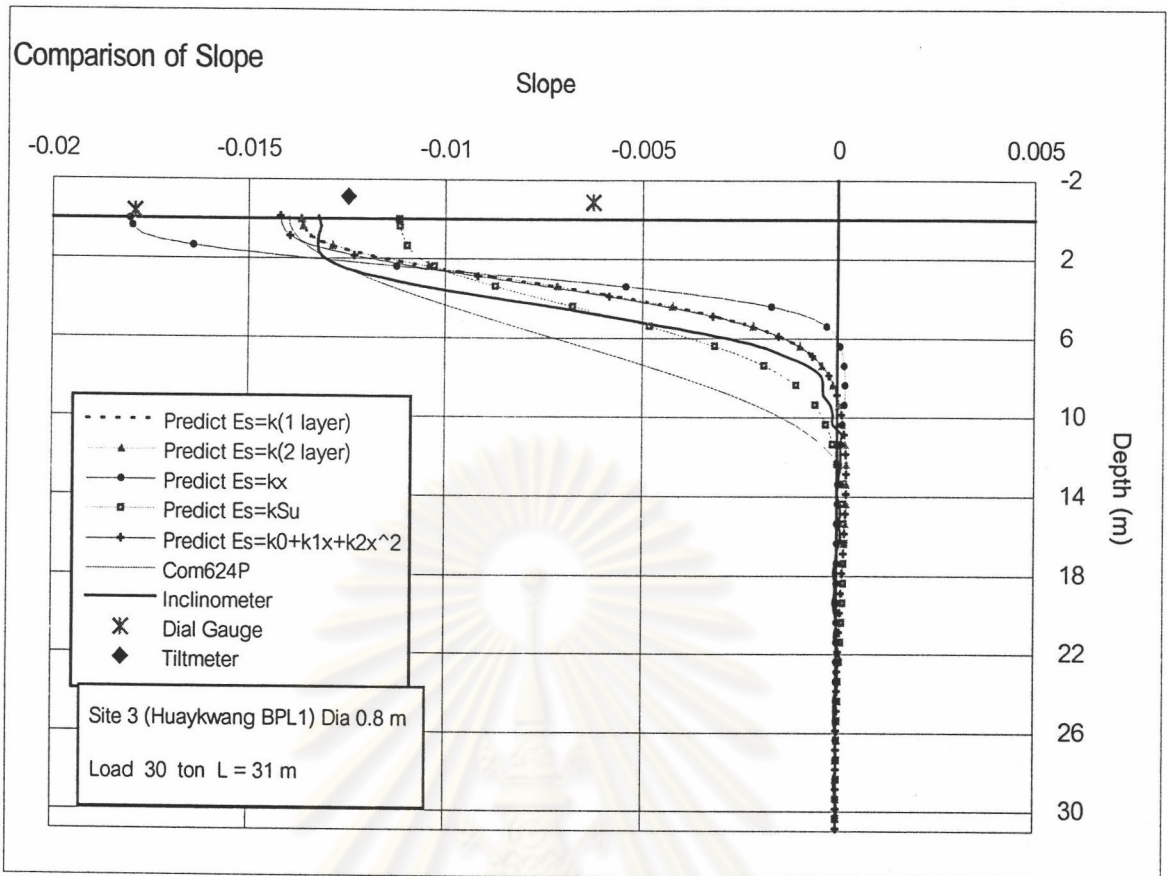
รูปที่ 4.30 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL1) Dia 0.8 m at Load 12 ton



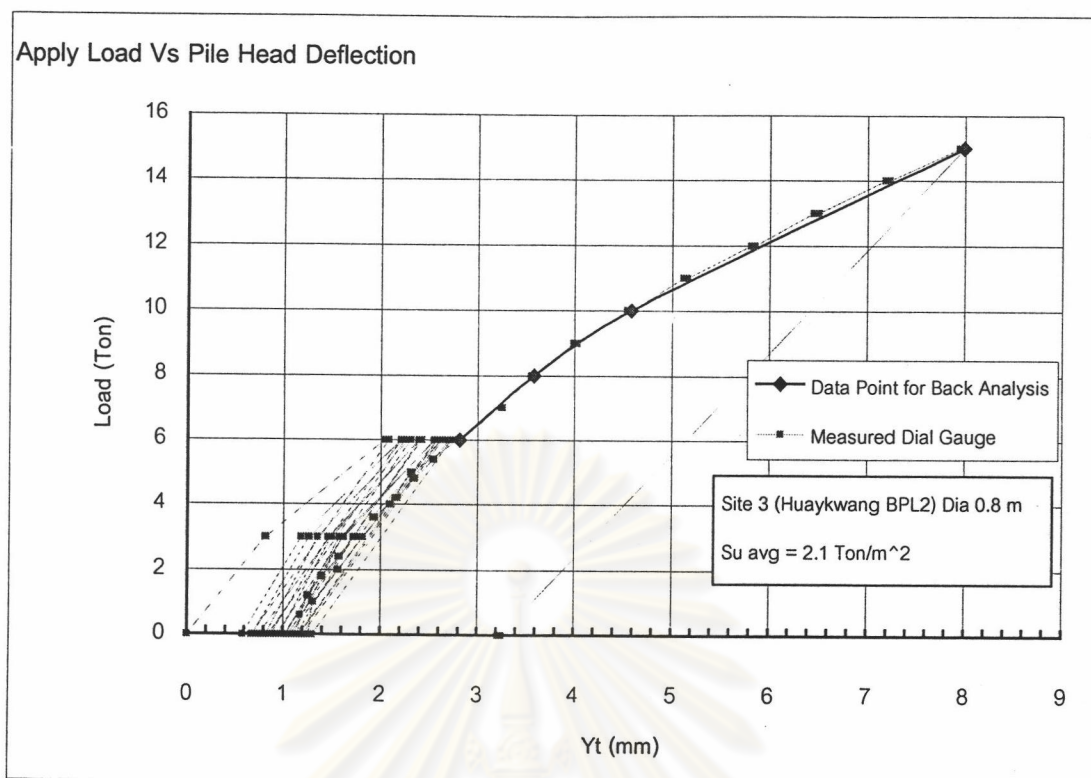
รูปที่ 4.31 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL1) Dia 0.8 m at Load 16 ton



รูปที่ 4.32 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL1) Dia 0.8 m at Load 22 ton



รูปที่ 4.33 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL1) Dia 0.8 m at Load 30 ton

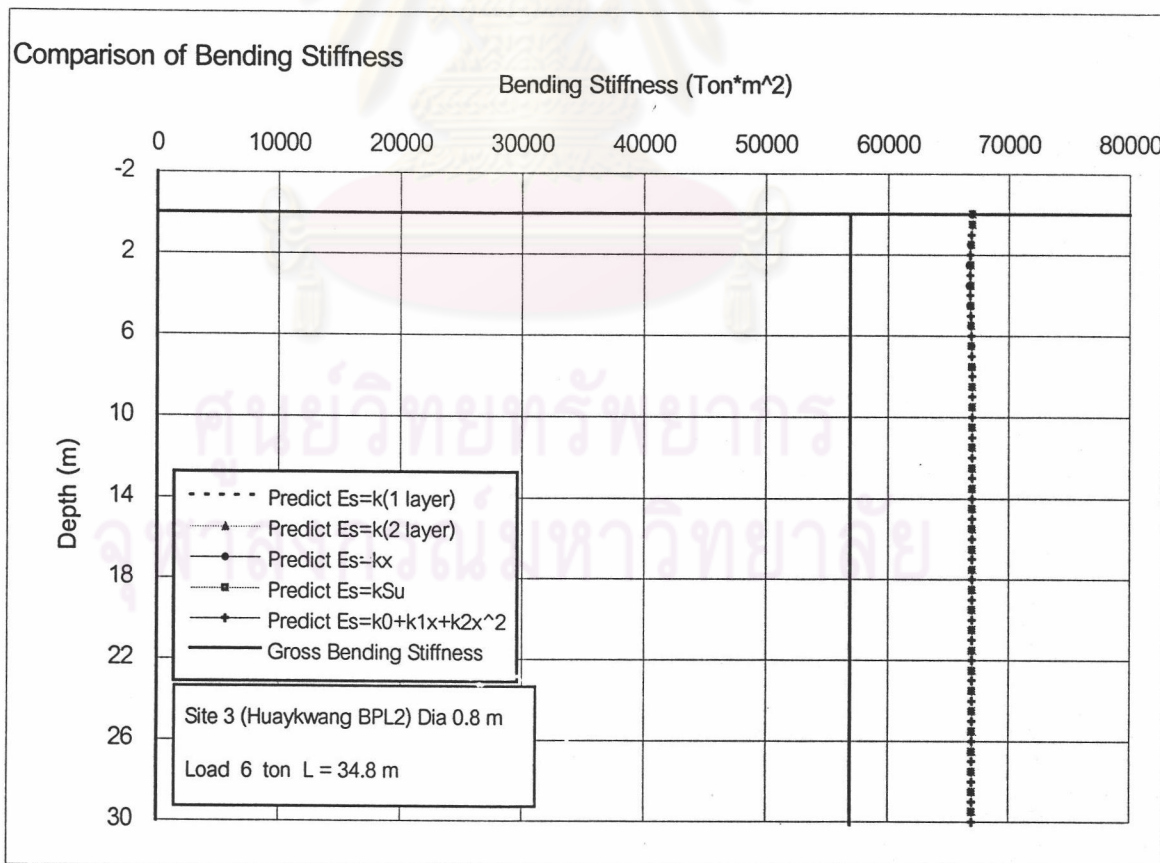
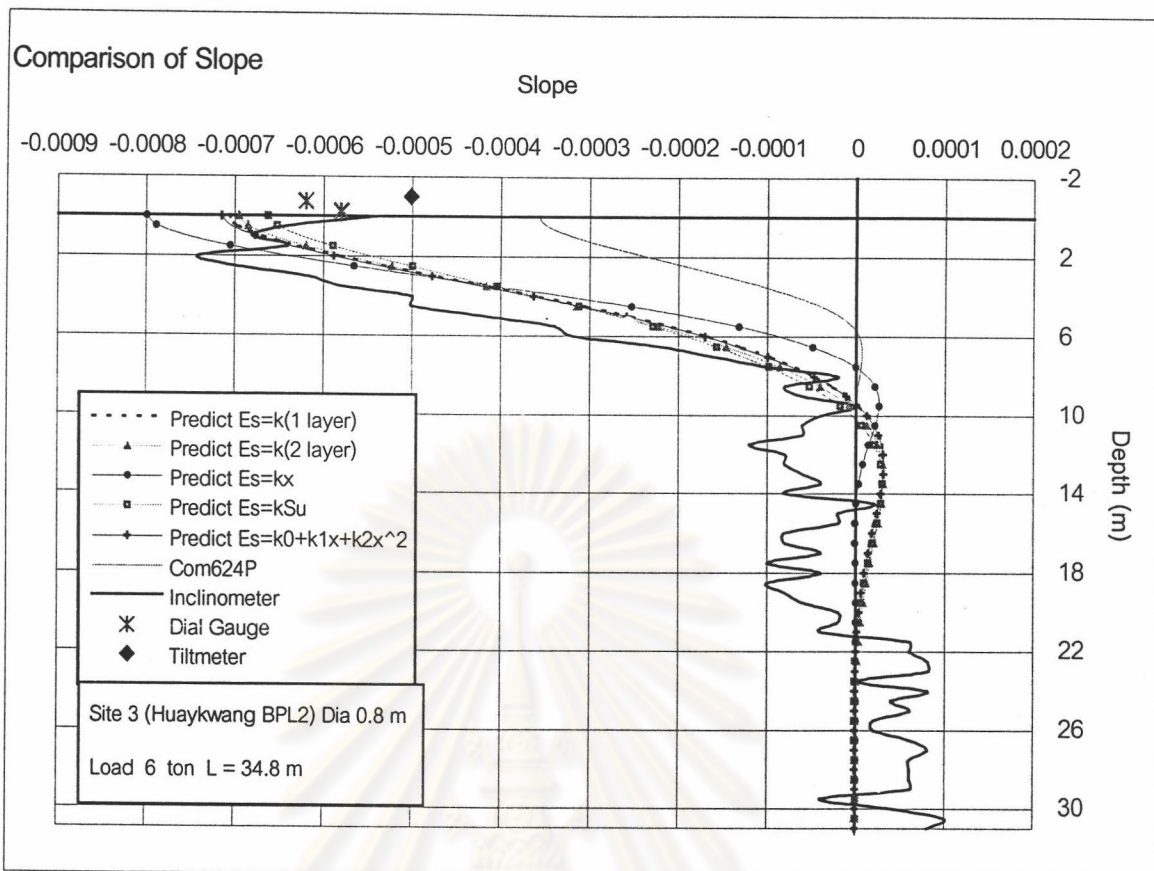


รูปที่ 4.34 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์กลับสำหรับโครงการที่ 3-Pile BPL2

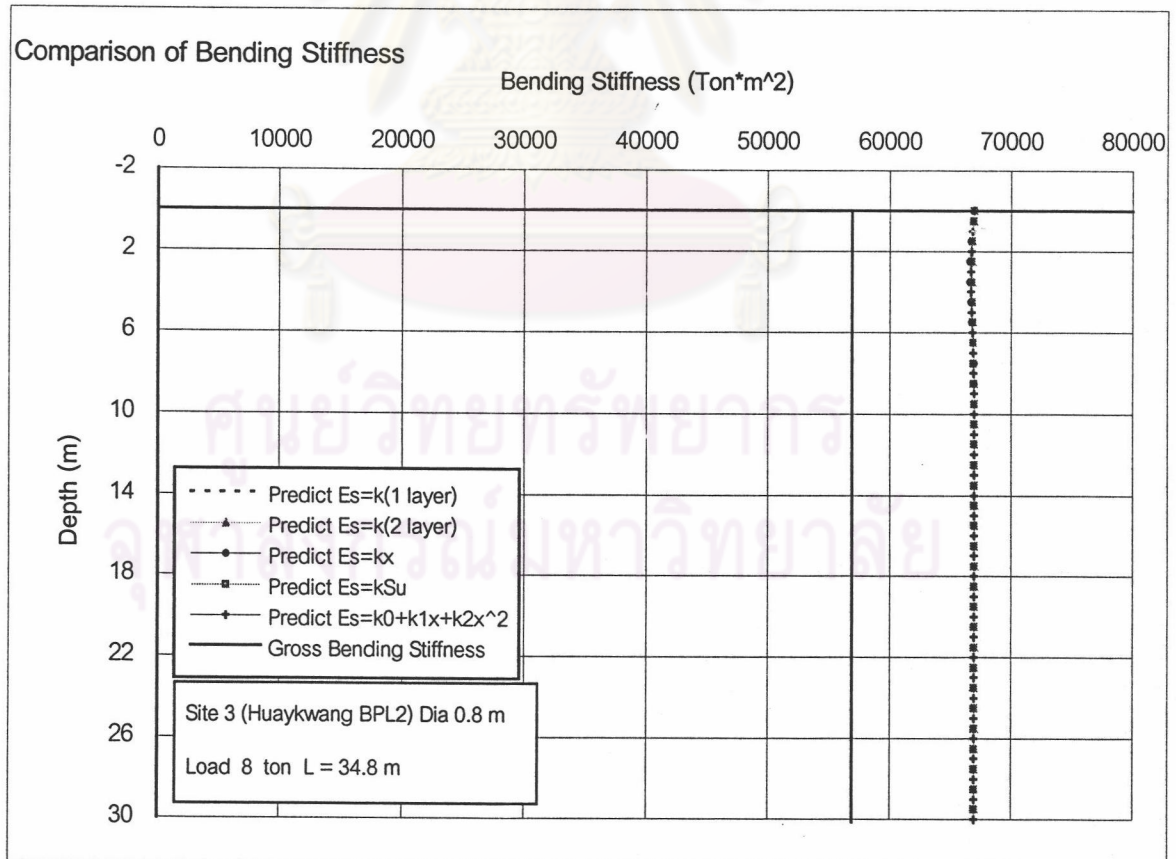
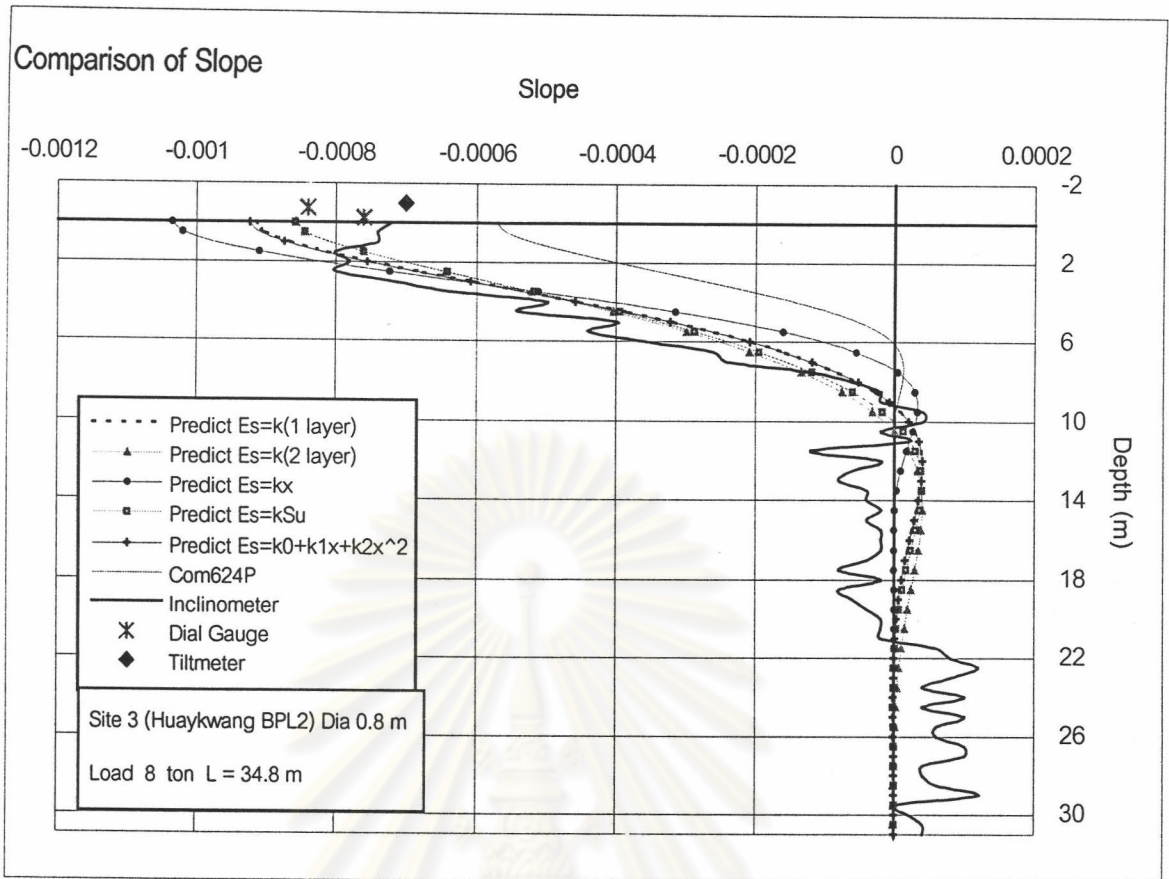
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 3-Pile BPL2

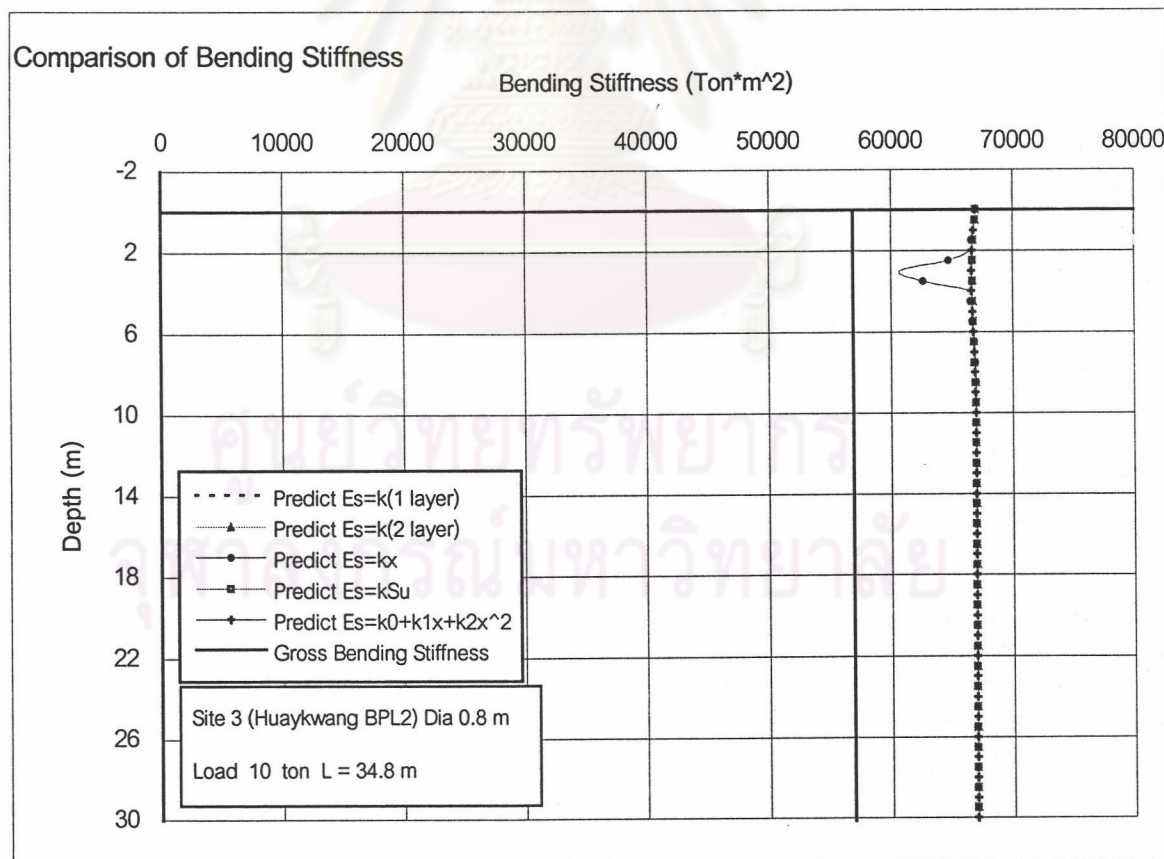
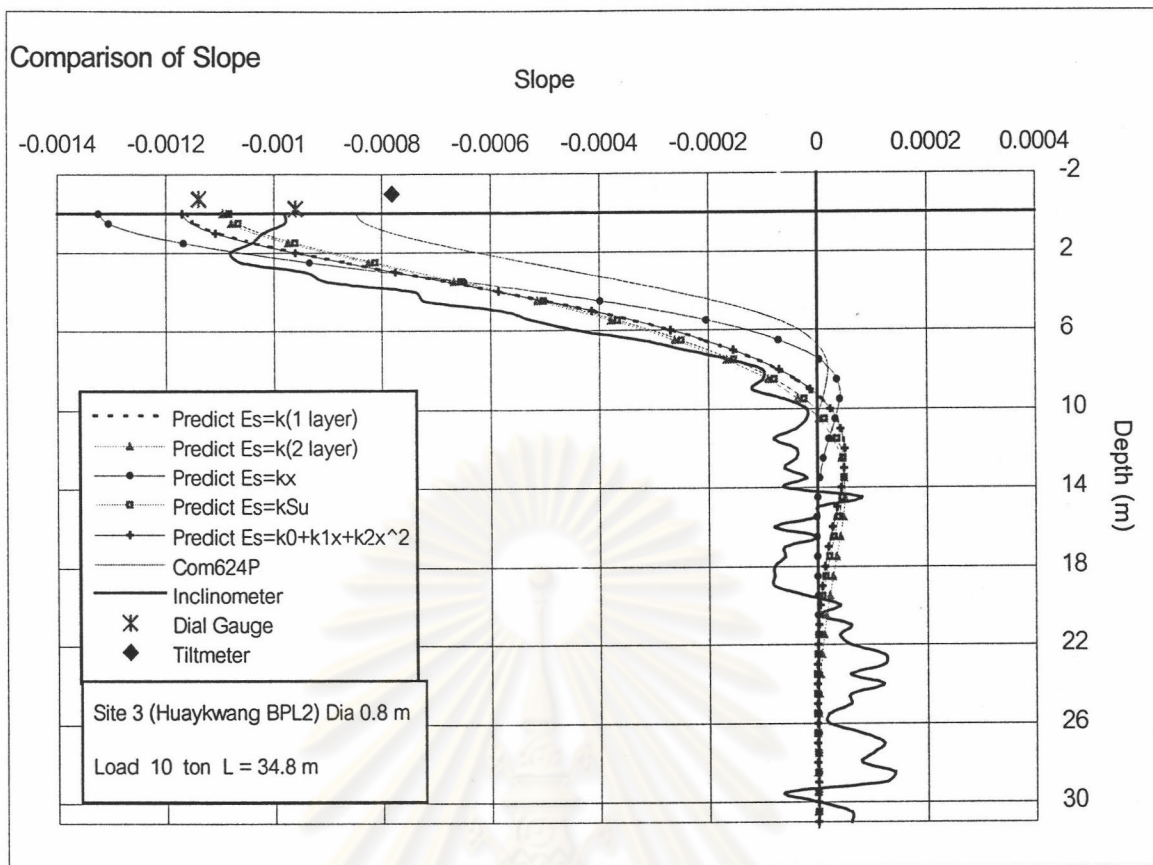
		Lateral Load (Ton)				
		6	8	10	15	
Measured Data	Yt (mm)	2.81	3.58	4.58	7.99	
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	2.81	3.58	4.59	7.99
		M _{max} (ton*m)	7.7	10.1	12.7	19.2
		Es (Ton/m ²)	Es = 1075	Es = 1140	Es = 1105	Es = 945
		Slope SqDev	5.354E-07	4.644E-07	7.007E-07	1.956E-06
		Fit Type	Fit DialGauge			
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	2.86	3.63	4.63	8.04
		M _{max} (ton*m)	7.12	8.18	10.57	16.95
		Es (Ton/m ²)	Es up = 1130	Es up = 1325	Es upp = 1270	Es up = 1040
			Es low = 795	Es low = 490	Es low = 540	Es low = 500
		Slope SqDev	5.090E-07	4.030E-07	6.180E-07	1.539E-06
	Fit Type	Fit DialGauge+-0.05mm				
	Es = kx	Yt (mm)	2.81	3.58	4.59	8.00
		M _{max} (ton*m)	10.86	14.27	17.84	23.00
		Es (Ton/m ²)	Es = 950 x	Es = 1025 x	Es = 1000 x	Es = 1160 x
		Slope SqDev	7.042E-07	8.029E-07	1.258E-06	7.242E-06
		Fit Type	Fit DialGauge			
	Es = kSu	Yt (mm)	2.83	3.60	4.57	7.99
		M _{max} (ton*m)	6.40	8.41	10.56	16.57
Es (Ton/m ²)		Es = 250 Su	Es = 265 Su	Es = 260 Su	Es = 215 Su	
Slope SqDev		5.190E-07	4.086E-07	6.542E-07	1.685E-06	
Fit Type		Fit DialGauge				
Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	2.86	3.63	4.63	8.02	
	M _{max} (ton*m)	7.71	10.14	12.76	19.19	
	Es (Ton/m ²)	Es = 1050 + 0x + 0x ²	Es = 1115 + 5x + 0x ²	Es = 1085 + 5x + 0x ²	Es = 940 + 0x + 0x ²	
	Slope SqDev	5.194E-07	4.613E-07	6.899E-07	1.933E-06	
	Fit Type	Fit DialGauge+-0.05mm				
Com 624P	Pile BPL1	Yt (mm)	0.95	1.63	2.66	6.37
		M _{max} (ton*m)	5.27	7.70	10.46	18.74
		Slope SqDev	2.431E-06	2.073E-06	2.767E-06	4.573E-06



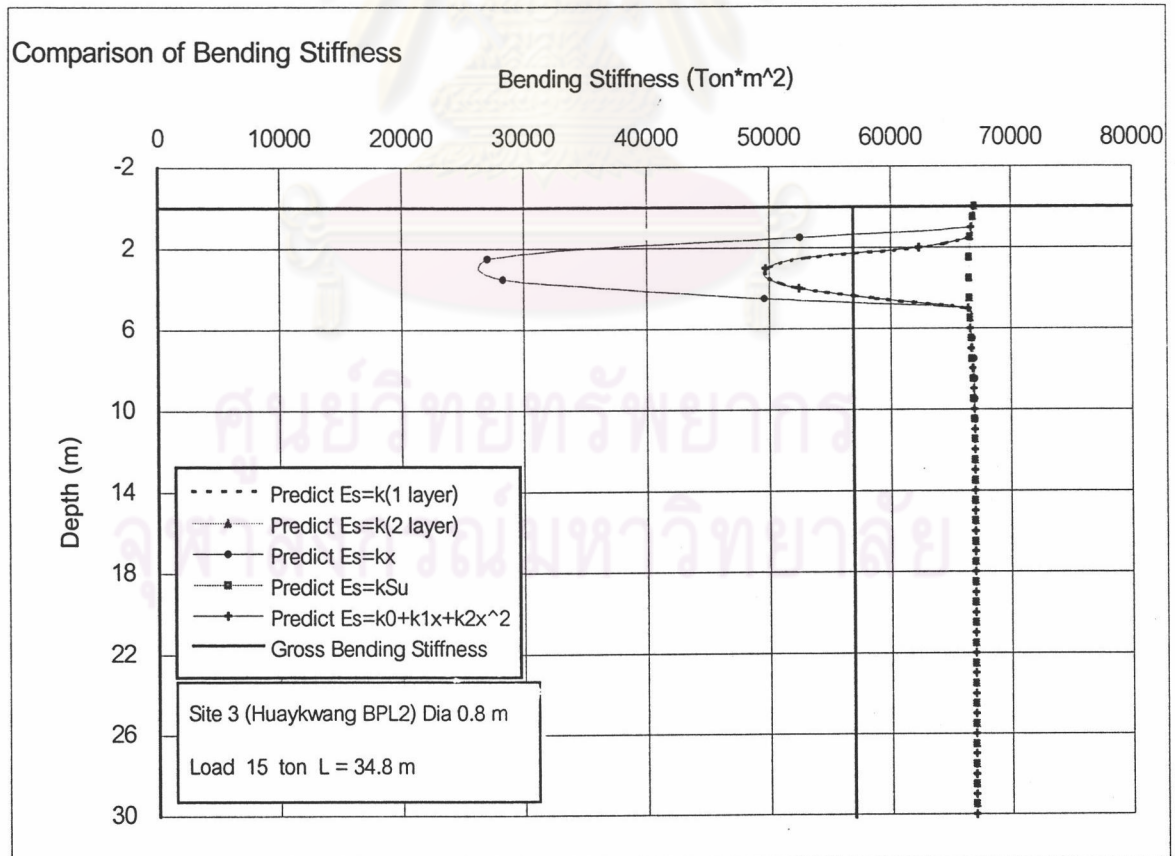
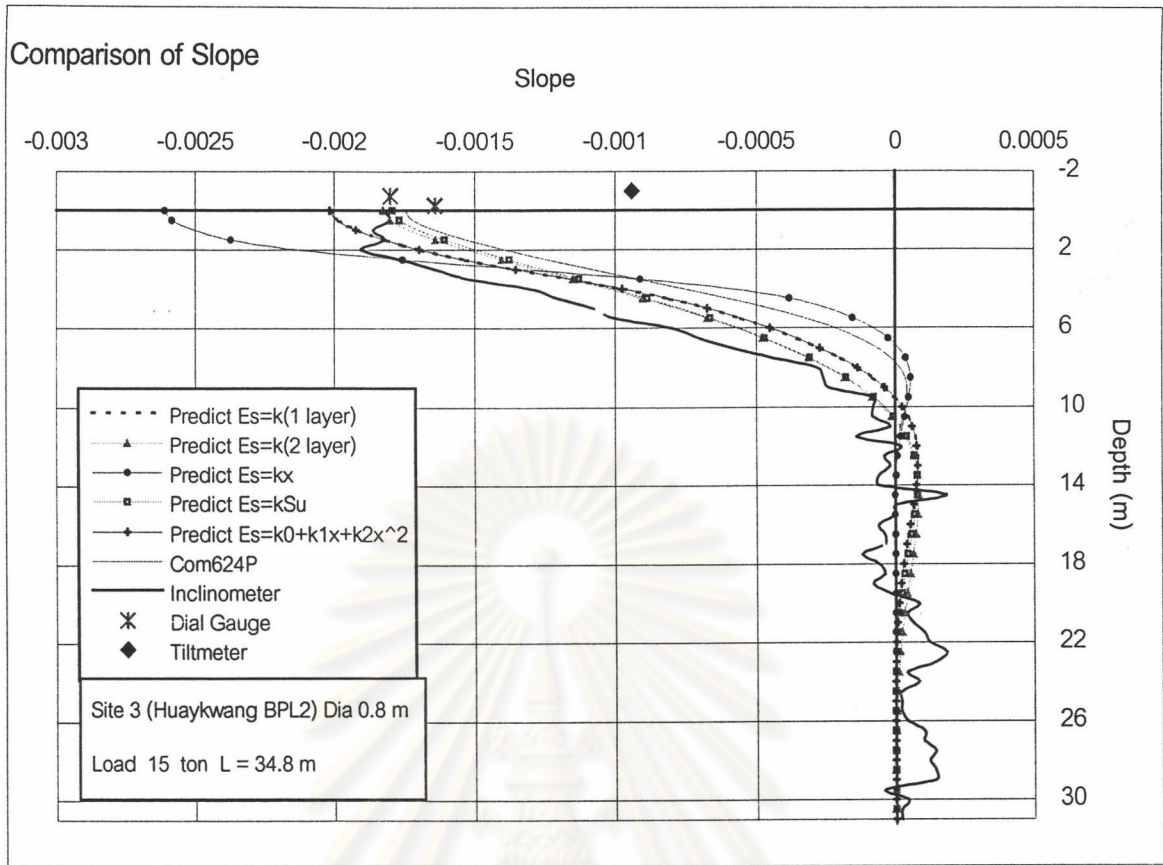
รูปที่ 4.35 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL2) Dia 0.8 m at Load 6 ton



รูปที่ 4.36 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL2) Dia 0.8 m at Load 8 ton



รูปที่ 4.37 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL2) Dia 0.8 m at Load 10 ton



รูปที่ 4.38 Result of ProgramBEF for Site 3 (Huaykwang BPL2) Dia 0.8 m at Load 15 ton

4.1.4 ผลสำหรับโครงการที่ 4 (บางชื่อ)

เนื่องจากผลการทดสอบในสนามสำหรับโครงการที่ 4 เสาเข็มต้น PL1 ถึง PL7 มี % เหล็กเสริม 2%, ข้อมูล Inclinator, Elevel ได้สูญหาย เหลือเพียงข้อมูล Pile Head Deflection จาก Dial Gauge เท่านั้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ห้กลับจะทำเฉพาะกรณีฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$ และวิธีการพิตกับข้อมูลในสนาม (Fit Type) ผู้วิจัยเลือก Fit DialGauge ในโปรแกรมของผู้วิจัยตลอดกับเสาเข็มทุกต้นในโครงการนี้

4.1.4.1 ผลสำหรับโครงการที่ 4 (บางชื่อ) เสาเข็มเดี่ยว PL1 และ PL2

ข้อมูลดินสำหรับโครงการที่ 4 เสาเข็ม PL1, PL2 ชั้น Soft – Midium Clay หนา 0 – 11.98 เมตร มี Su_{avg} (ในช่วง 8D) = 3.55 ton/m², $PI \sim 42\%$, $LI \sim 0.554$, $w \sim 45.6\%$

จากข้อมูลดินข้างต้นสำหรับกรณี $E_s = k$ (2-layer) ผู้วิจัยกำหนดให้ชั้น Soft - Medium Clay เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจากชั้น Soft - Medium Clay จนถึงปลายเสาเข็ม

ผลที่แสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 และผลการวิเคราะห์ห้กลับที่แสดงในรูป 4.42 - 4.46, 4.48 - 4.52 พบว่า

1) จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.7 สำหรับเสาเข็ม PL1 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com 624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 35.04% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 25, 50, 75, 100, 125 ton เท่ากับ 80.34%, 79.25%, 57.83%, -9.84%, -32.4% ตามลำดับ)

จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.8 สำหรับเสาเข็ม PL2 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 25.16% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 25, 50, 75, 100, 125 ton เท่ากับ 81.9%, 50.79%, 39%, -12.75%, -33.14% ตามลำดับ)

2) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูป 4.42 - 4.46 สำหรับเสาเข็ม PL1 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k$, $E_s = kx$, $E_s = kSu$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 75 ton, 50 ton, 75 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.40 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 70 ton

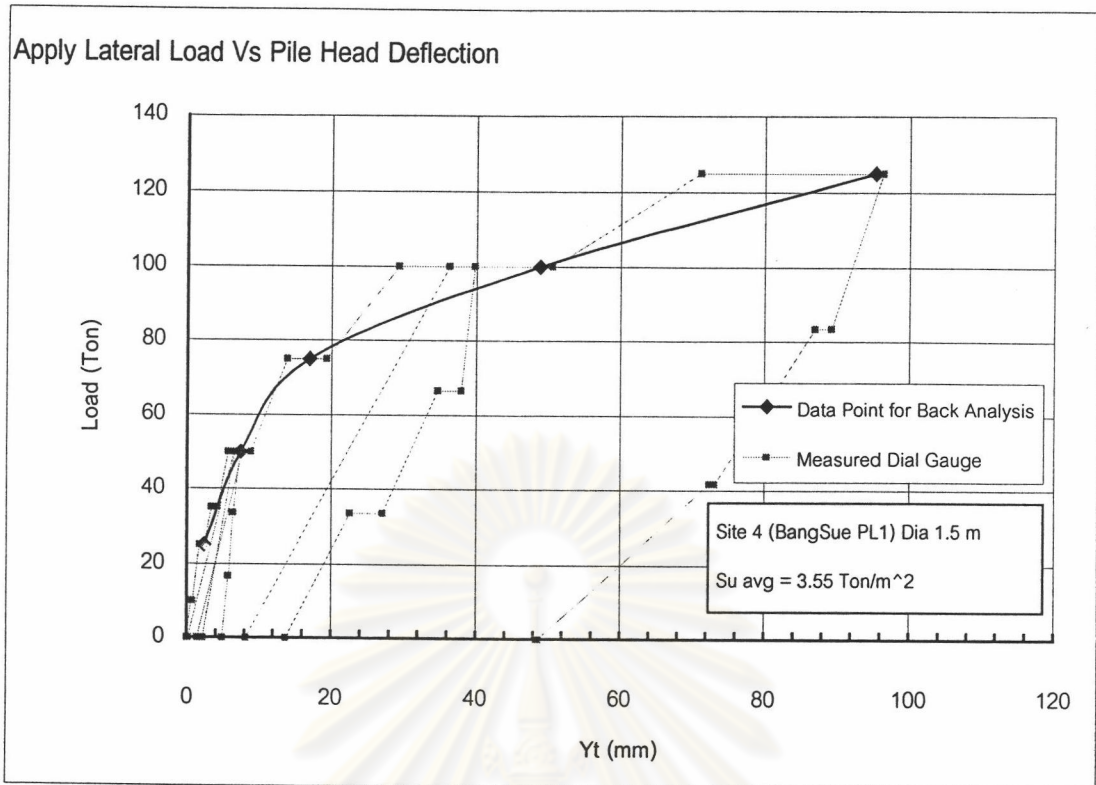
เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.48 - 4.52 สำหรับเสาเข็ม PL2 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k$, $E_s = kx$, $E_s = kSu$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ที่ขนาดของ Lateral Load 75 ton, 50 ton, 75 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.47 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 70 ton

3) จากผลที่แสดงในตารางที่ 4.7, 4.8 พบว่าพบว่าค่า k ที่ได้จากฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer) (ใช้ค่า k จาก upper layer) มีค่าไม่ต่างกันมากนัก ทว่าค่า $k/(Su \text{ avg})$ จากกรณี $E_s = k$ (1-layer) และ $E_s = k$ (2-layer) มีค่าค่อนข้างต่างกับค่า k ที่ได้จากกรณี $E_s = kSu$

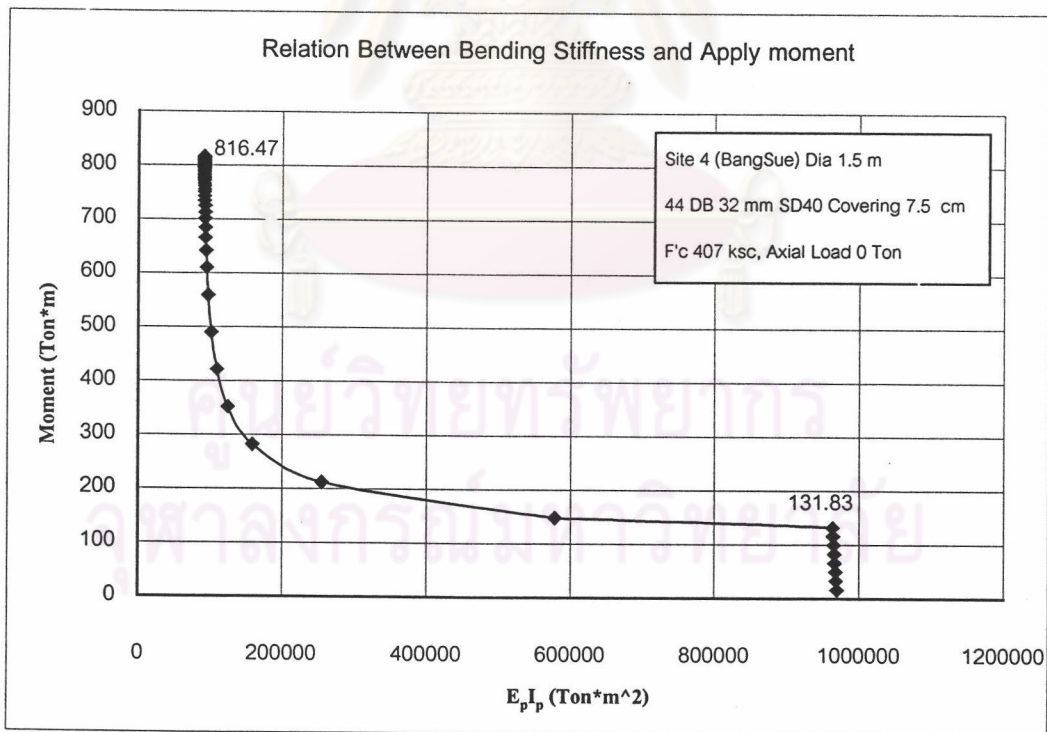
4) Local Yield ของดิน: ทั้งเสาเข็ม PL1, PL2 พบว่า Lateral Load ที่ทำให้ค่า p_u (Ultimate Soil Resistance) มีค่าน้อยกว่าค่า p (Soil Resistance) หรือก็คือค่า Lateral Load ที่ทำให้เริ่มเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรก จากผลการวิเคราะห์ห้กลับของฟังก์ชัน $E_s = k$, $E_s = kx$, $E_s = kSu$ คือ 50 ton, 75 ton, 50 ton ตามลำดับ

5) ผลจากข้อ 2 และข้อ 4 พบว่าเมื่อ Lateral Load เพิ่มขึ้นจะเกิด Local Yield ของดินก่อนการลดลงของ $E_p I_p$ เมื่อพิจารณาด้วยการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ และเมื่อพิจารณาเฉพาะผลในข้อ 2 (กรณี $E_s = k$) พบว่าการโค้งที่เกิดขึ้นในกราฟ Apply Load vs. Pile Head Deflection ที่แสดงในรูปที่ 4.40, 4.47 เกิดจากการลดลงของค่า $E_p I_p$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



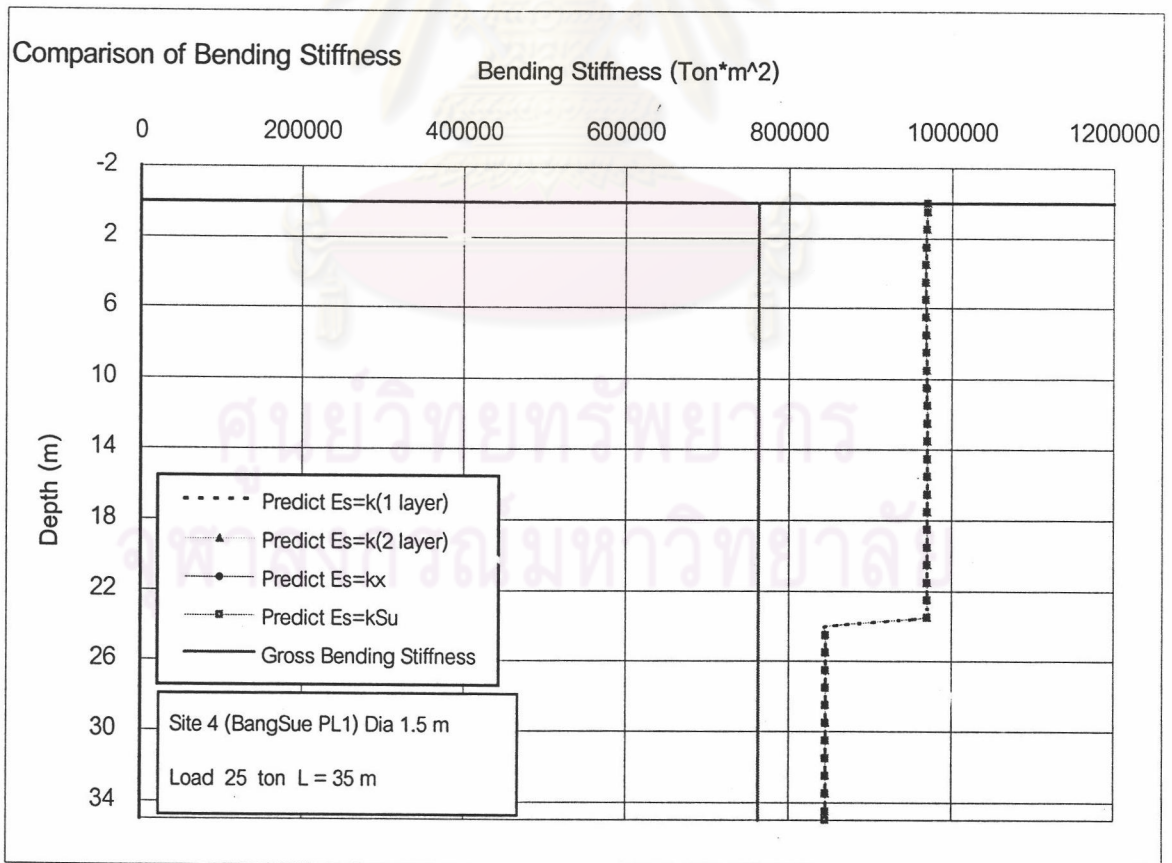
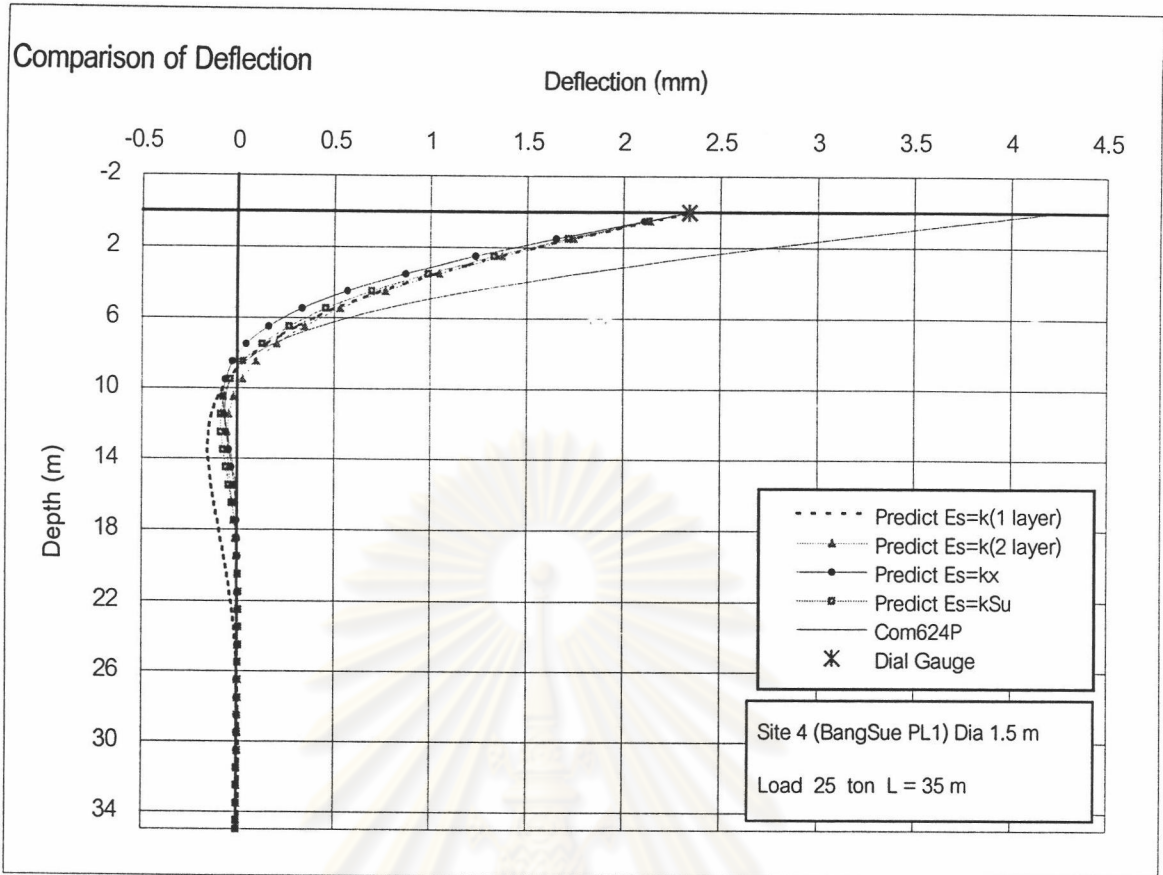
รูปที่ 4.39 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์กลับสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL1



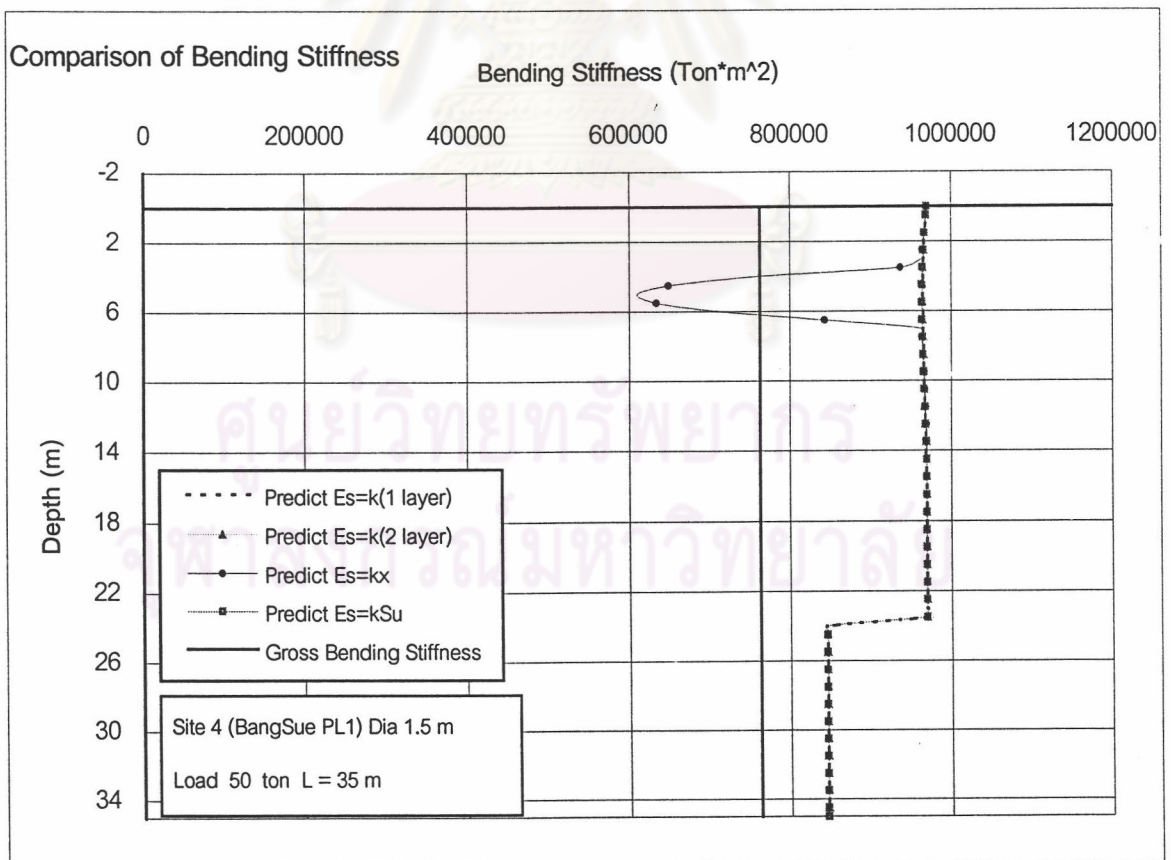
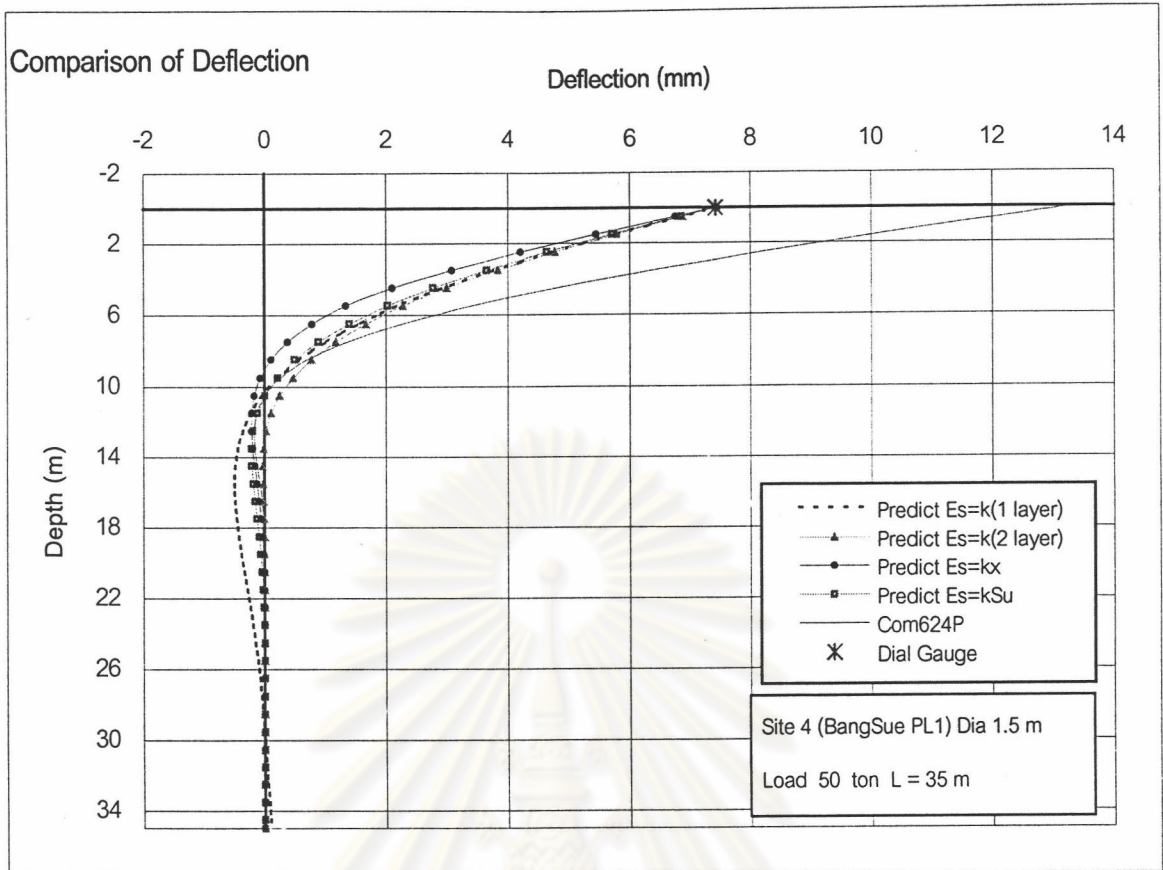
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง Apply Moment กับ $E_p I_p$ ช่วงความลึก 0 – 24 m สำหรับเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กในโครงการที่ 4 Pile PL1 ถึง PL7 ที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.7 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL1

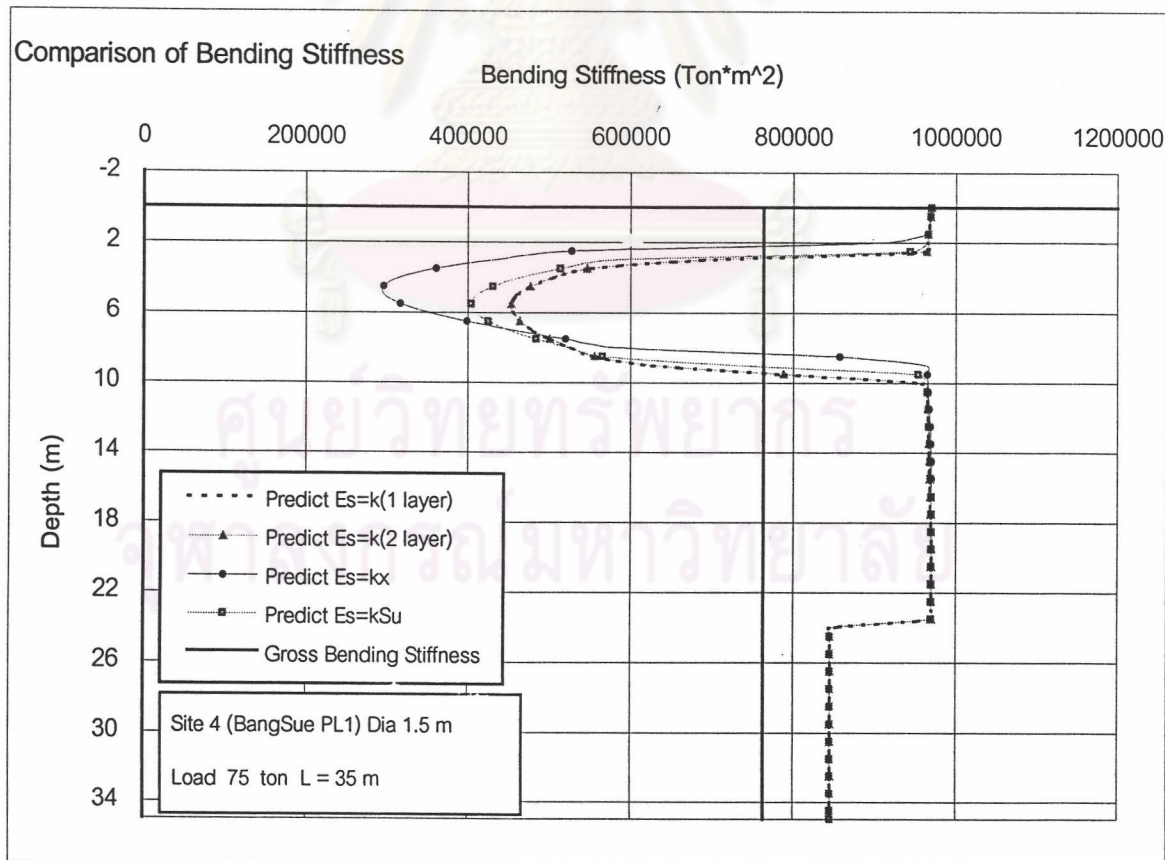
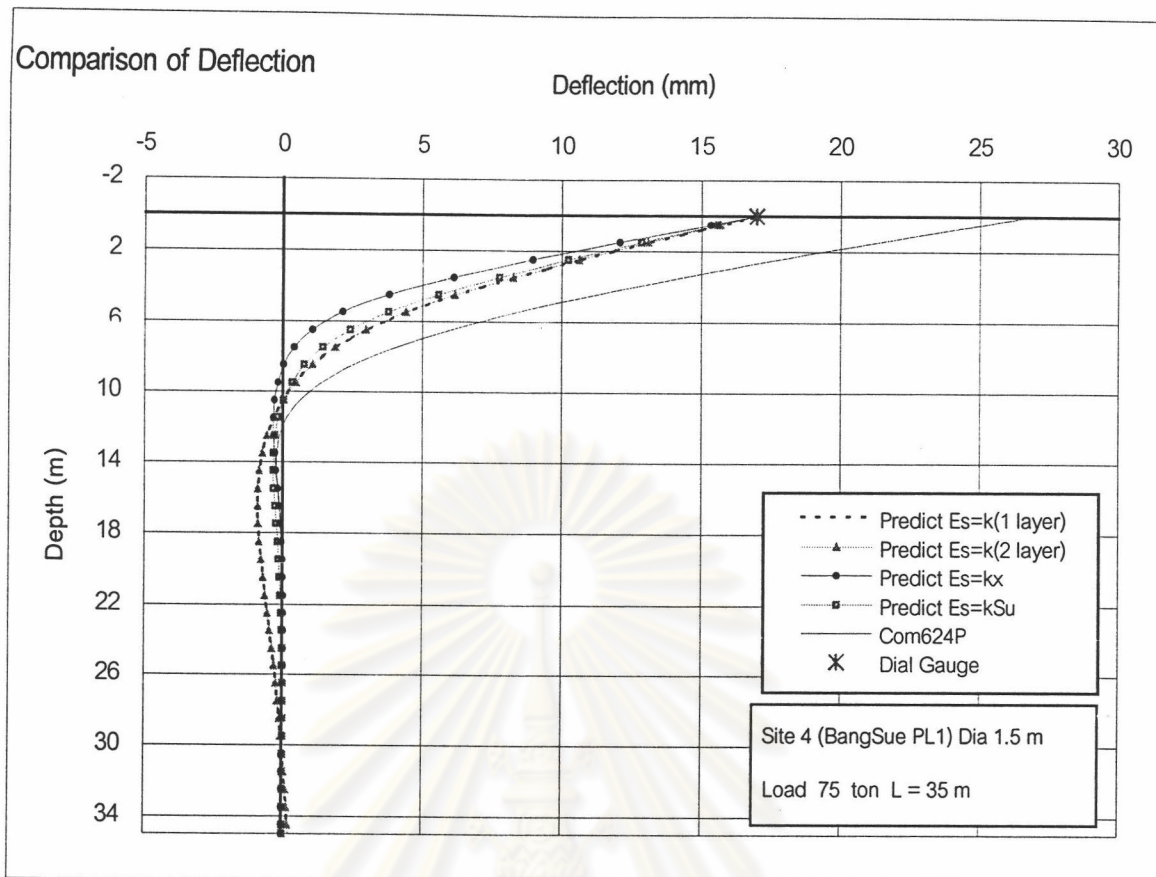
Measured Data		Yt (mm)	Lateral Load (Ton)					
			25	50	75	100	125	
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	2.34	7.42	16.98	48.8	95.26	
		M _{max} (ton*m)	45.6	106.1	155.6	215.3	269.2	
		Es (Ton/m ²)	Es = 3775	Es = 2045	Es = 1375	Es = 615	Es = 395	
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	2.34	7.42	16.98	48.80	95.27	
		M _{max} (ton*m)	46.3	108.9	155.6	214.7	276.0	
		Es (Ton/m ²)	Es up = 3715	Es up = 1995	Es up = 1375	Es up = 615	Es up = 385	
			Es low = 22290	Es low = 171570	Es low = 1375	Es low = 59040	Es low = 36960	
	Es = kx	Yt (mm)	2.34	7.42	16.96	48.80	95.46	
		M _{max} (ton*m)	64.5	142.0	195.8	266.3	349.5	
		Es (Ton/m ²)	Es = 2330 x	Es = 1215 x	Es = 950 x	Es = 420 x	Es = 245 x	
	Es = kSu	Yt (mm)	2.34	7.43	16.98	48.79	94.29	
		M _{max} (ton*m)	50.9	122.0	171.3	232.7	295.1	
		Es (Ton/m ²)	Es = 1645 Su	Es = 855 Su	Es = 605 Su	Es = 275 Su	Es = 175 Su	
	Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	-	-	-	-	-	
		M _{max} (ton*m)	-	-	-	-	-	
		Es (Ton/m ²)	-	-	-	-	-	
	Com 624P	PL1, PL2	Yt (mm)	4.22	13.30	26.80	44.00	64.40
			M _{max} (ton*m)	82.1	194.7	322.1	456.7	600.4



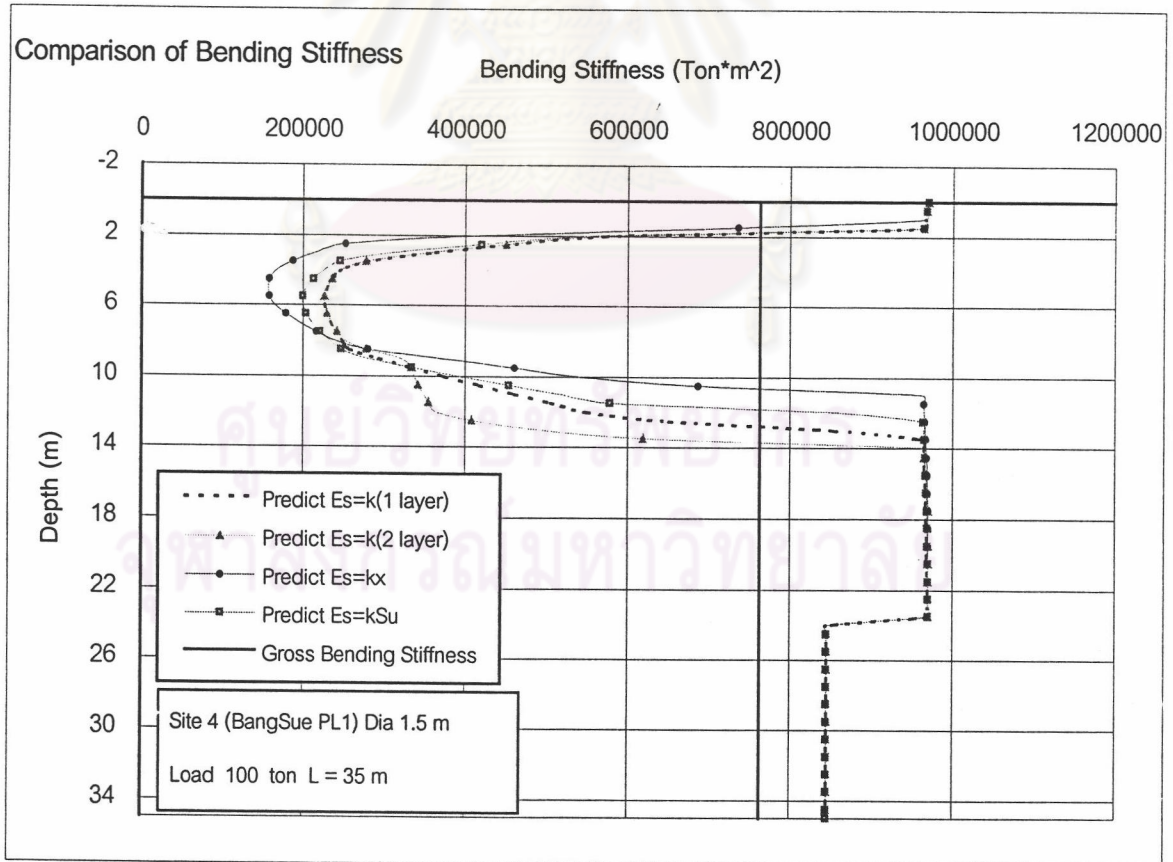
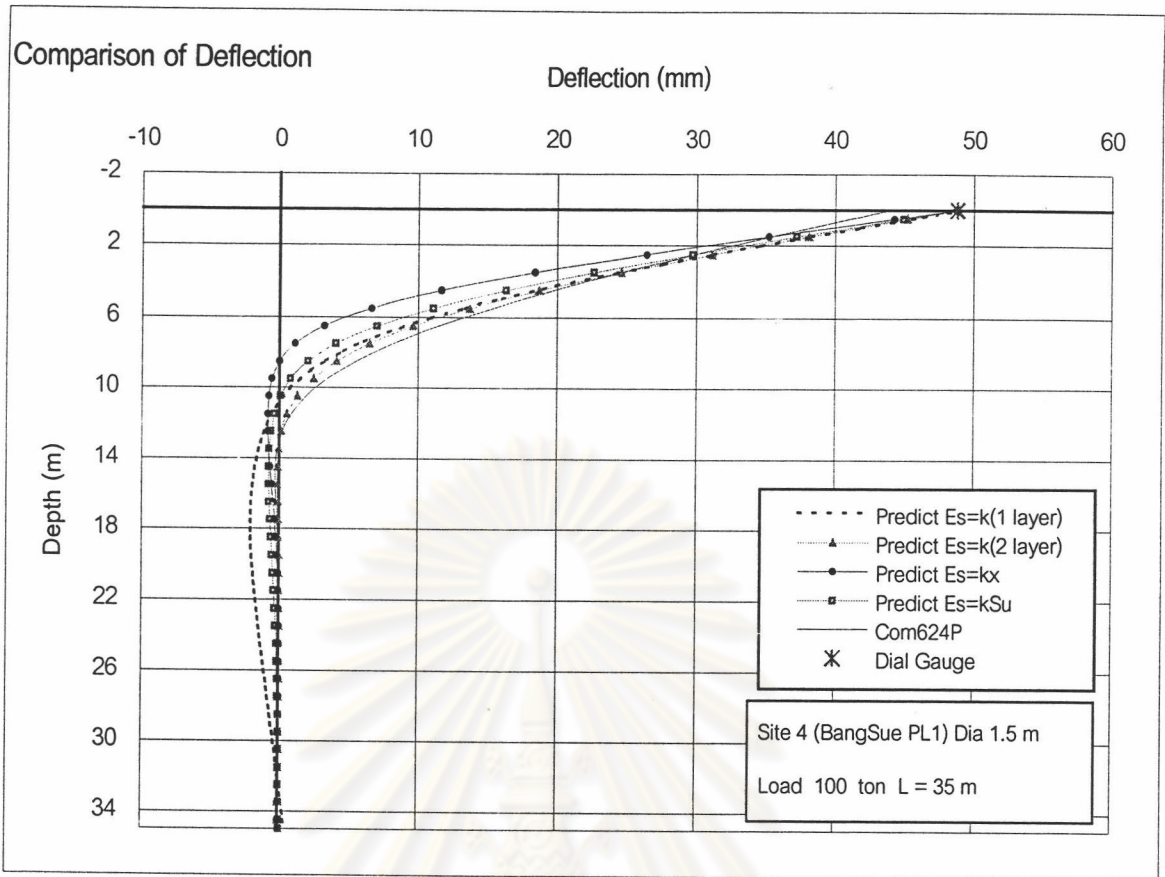
รูปที่ 4.41 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m at Load 25 ton



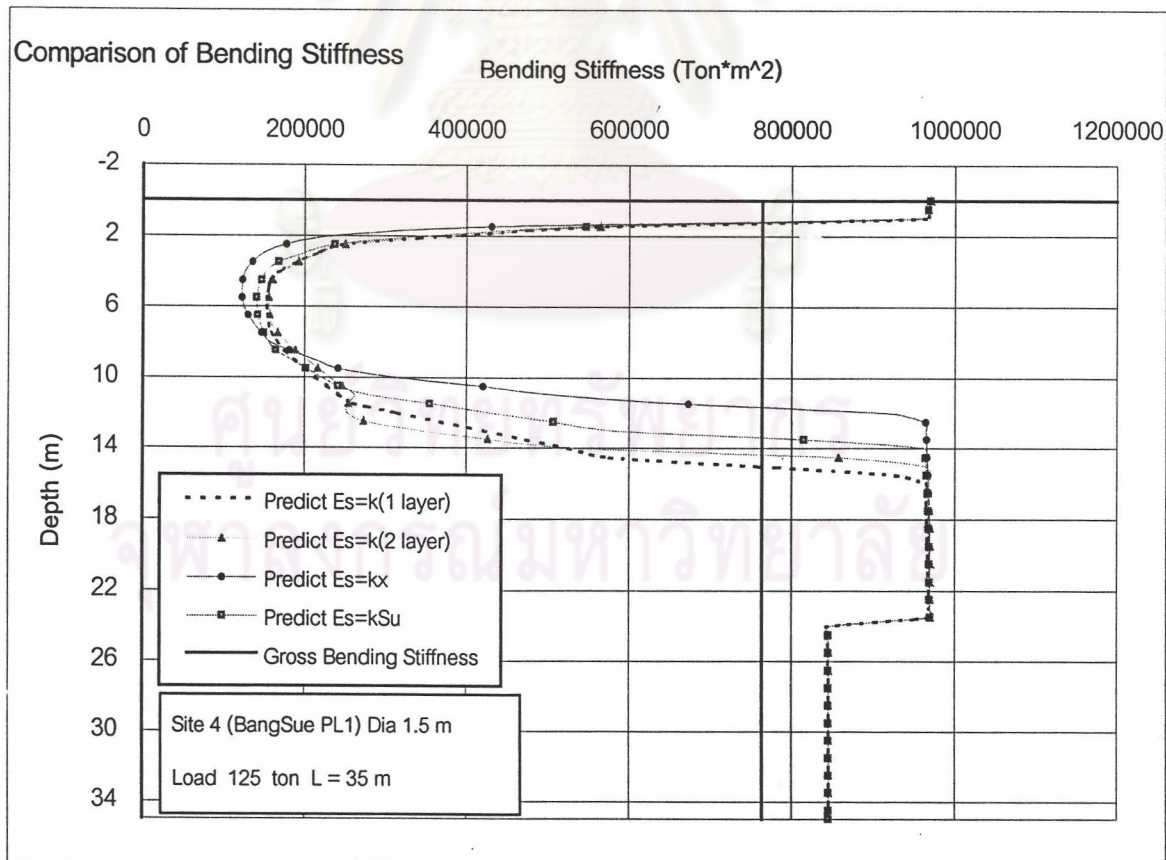
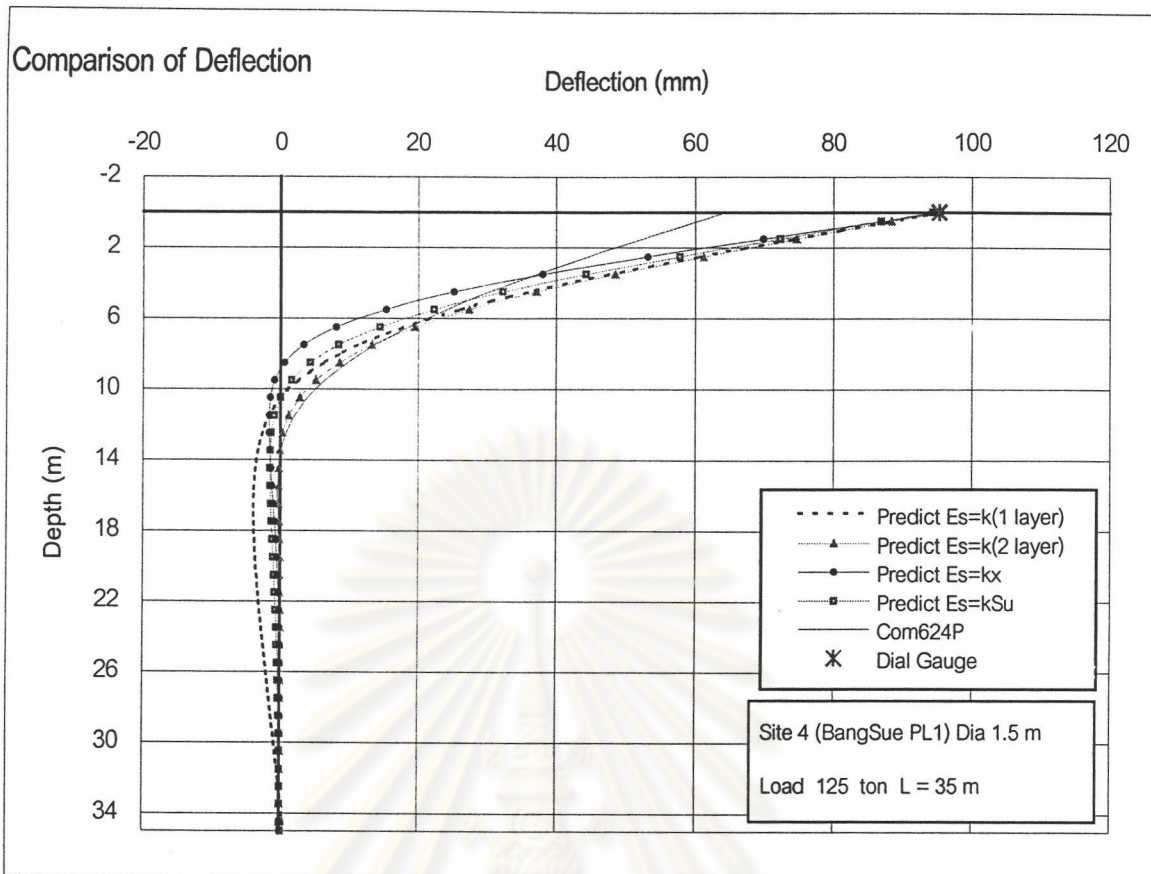
รูปที่ 4.42 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m at Load 50 ton



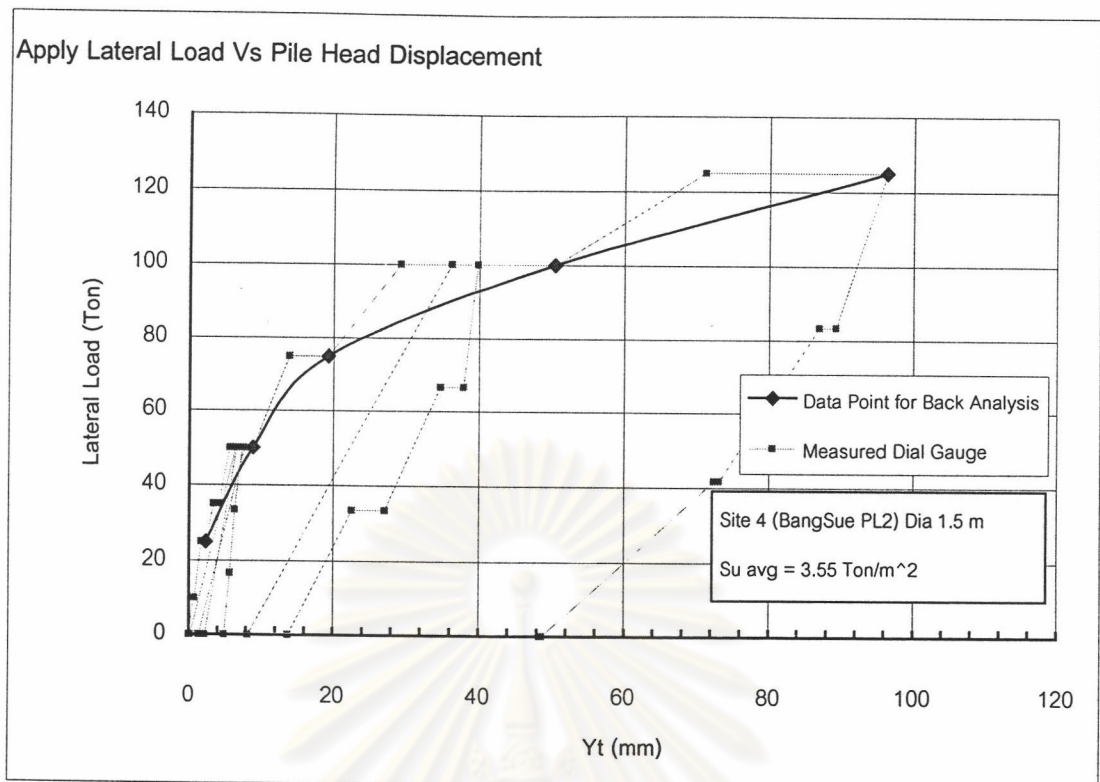
รูปที่ 4.43 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m at Load 75 ton



รูปที่ 4.44 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m at Load 100 ton



รูปที่ 4.45 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m at Load 125 ton

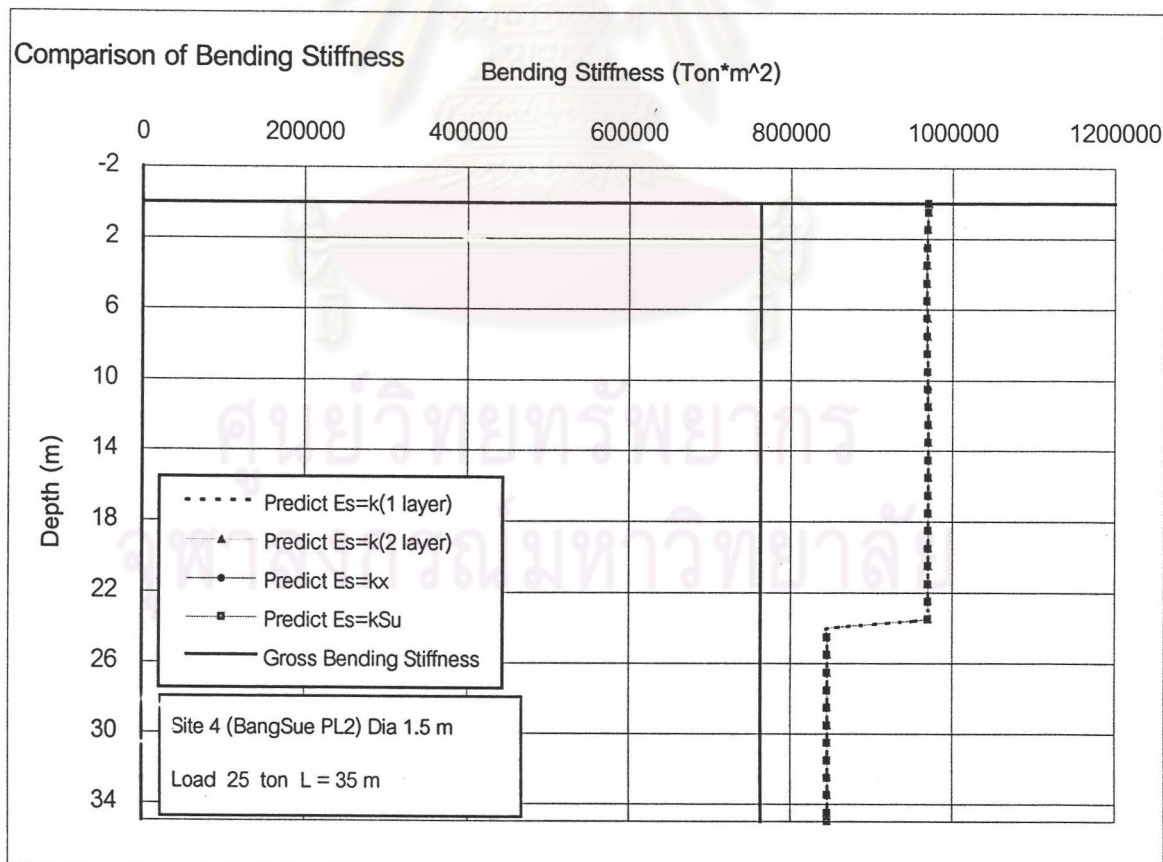
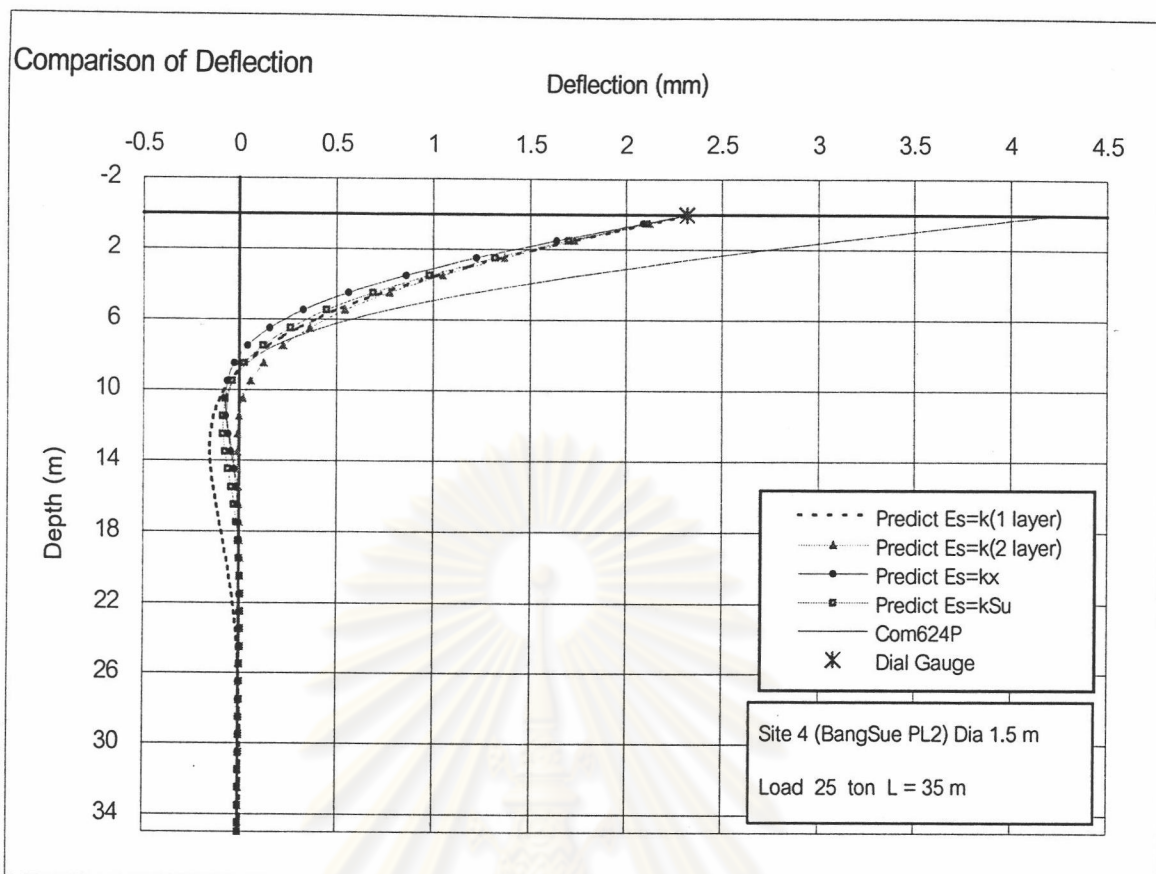


รูปที่ 4.46 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลนำไปวิเคราะห์หาค่ากลับสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL2

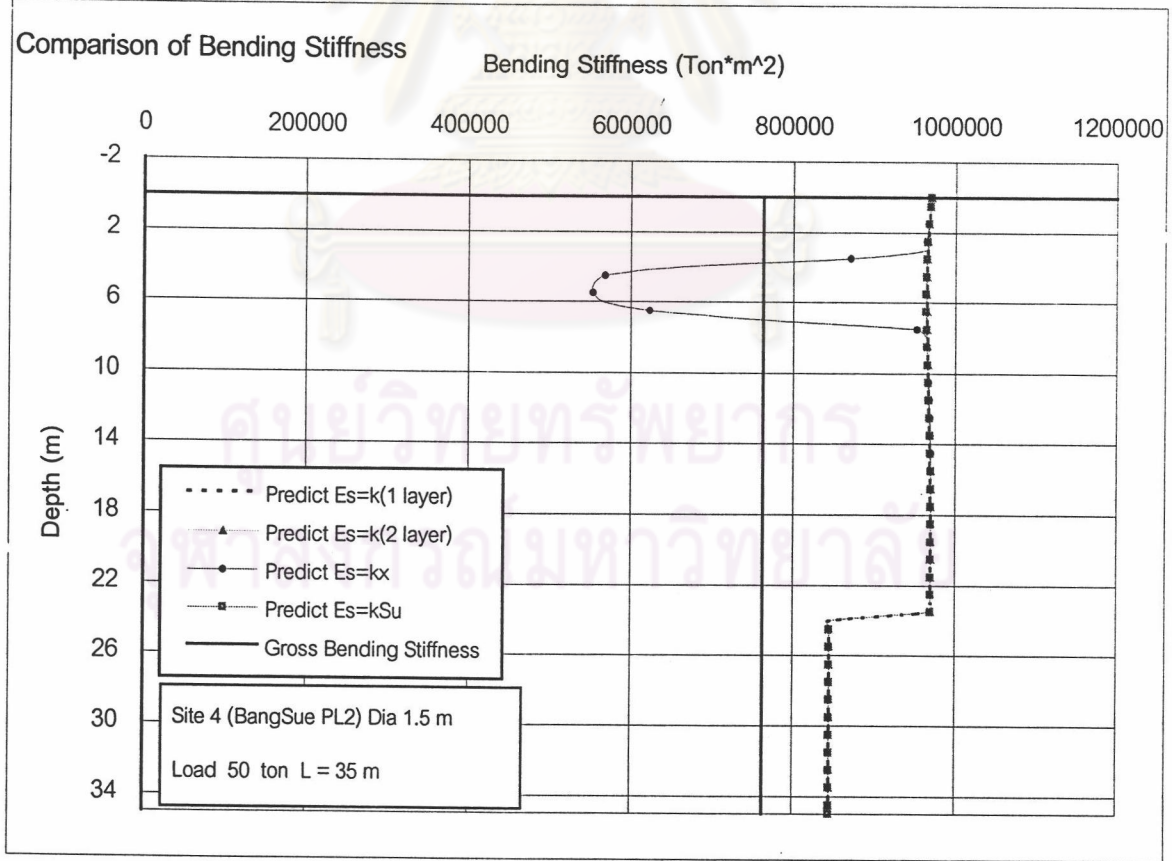
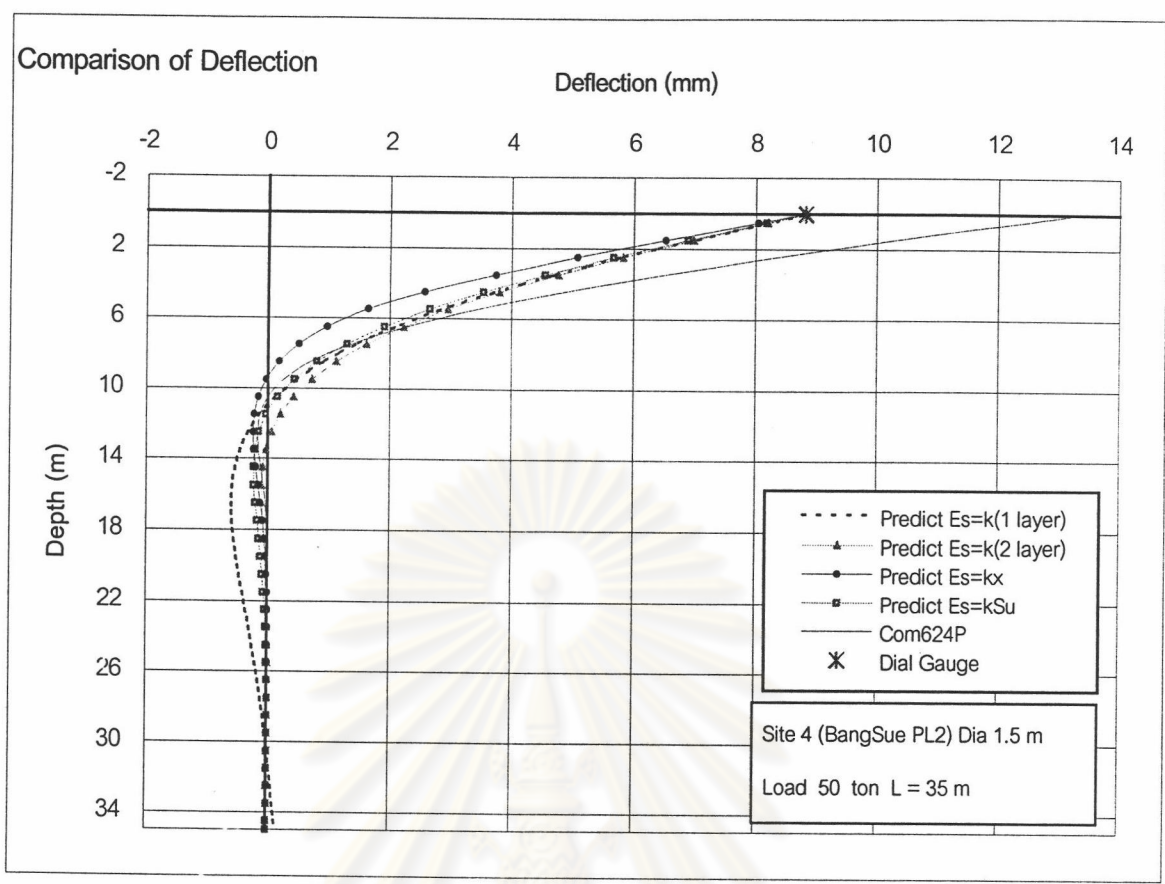
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL2

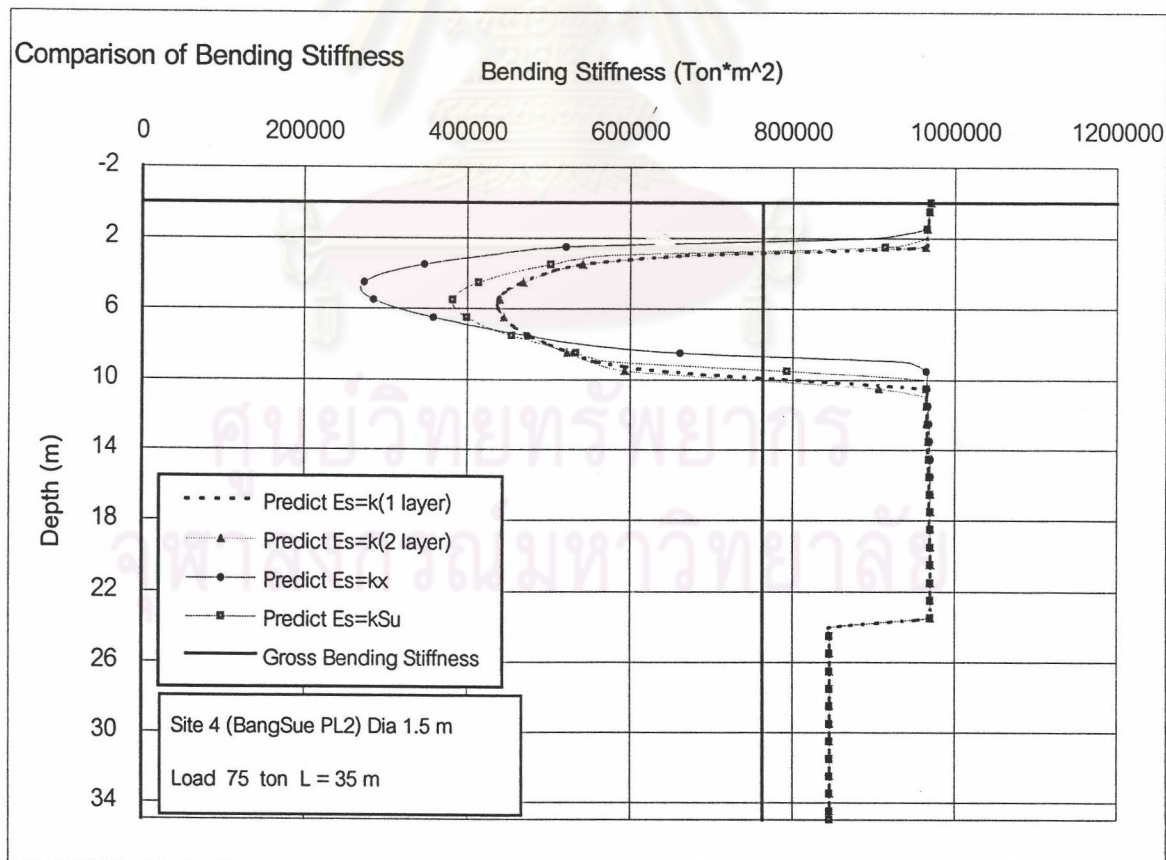
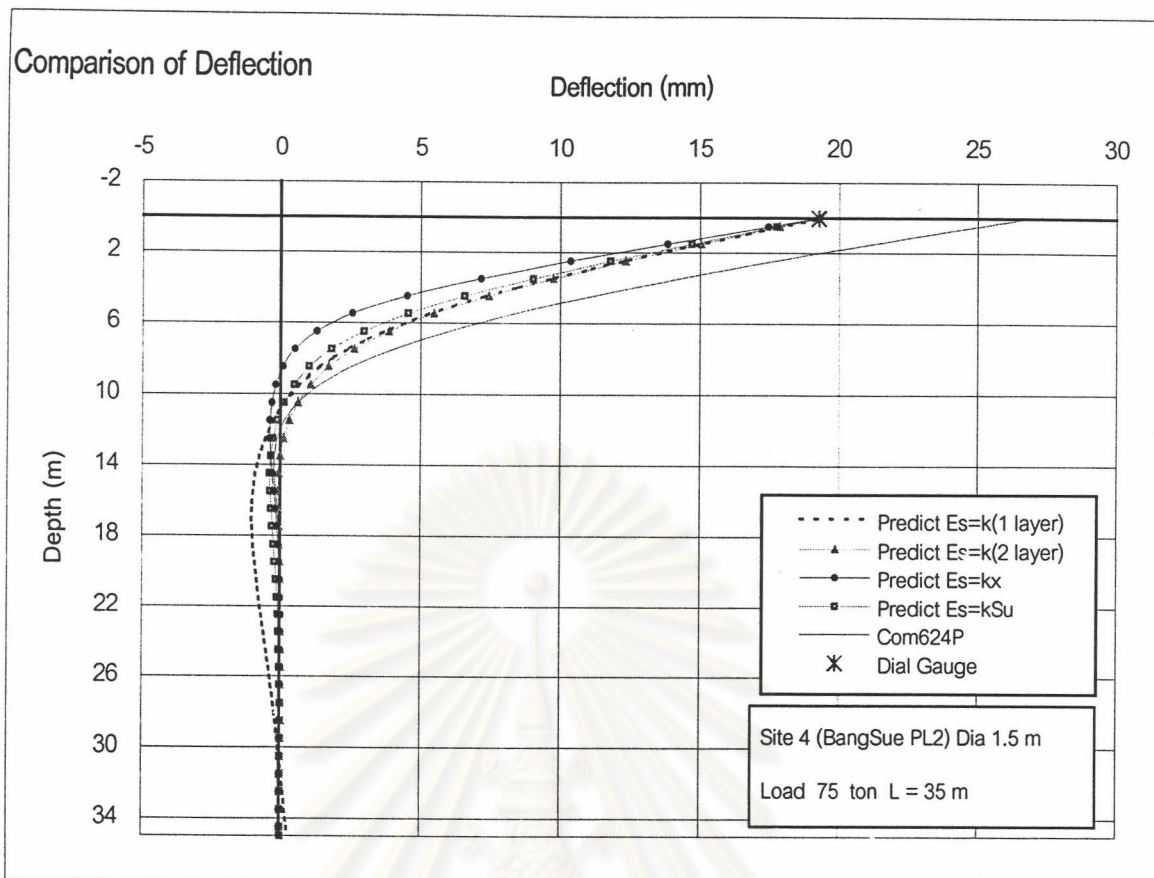
Measured Data		Yt (mm)	Lateral Load (Ton)				
			25	50	75	100	125
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	2.32	8.82	19.28	50.43	96.32
		M_{max} (ton*m)	45.5	112.5	160.6	216.5	269.9
		Es (Ton/m ²)	Es = 3815	Es = 1625	Es = 1175	Es = 595	Es = 390
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	2.32	8.82	19.28	50.42	96.33
		M_{max} (ton*m)	46.4	114.9	163.7	215.0	276.6
		Es (Ton/m ²)	Es up = 3735	Es up = 1590	Es up = 1155	Es up = 595	Es up = 380
			Es low = 153135	Es low = 25440	Es low = 53130	Es low = 12495	Es low = 36480
	Es = kx	Yt (mm)	2.32	8.81	19.27	50.51	96.75
		M_{max} (ton*m)	64.3	145.2	199.4	268.1	350.8
		Es (Ton/m ²)	Es = 2365 x	Es = 980 x	Es = 805 x	Es = 400 x	Es = 240 x
	Es = kSu	Yt (mm)	2.32	8.82	19.27	50.27	96.40
		M_{max} (ton*m)	50.7	129.8	177.1	234.3	297.0
		Es (Ton/m ²)	Es = 1665 Su	Es = 670 Su	Es = 515 Su	Es = 265 Su	Es = 170 Su
	Es = k ₀ + k ₁ x + k ₂ x ²	Yt (mm)	-	-	-	-	-
		M_{max} (ton*m)	-	-	-	-	-
Es (Ton/m ²)		-	-	-	-	-	
Com 624P	PL1, PL2	Yt (mm)	4.22	13.30	26.80	44.00	64.40
		M_{max} (ton*m)	82.1	194.7	322.1	456.7	600.4



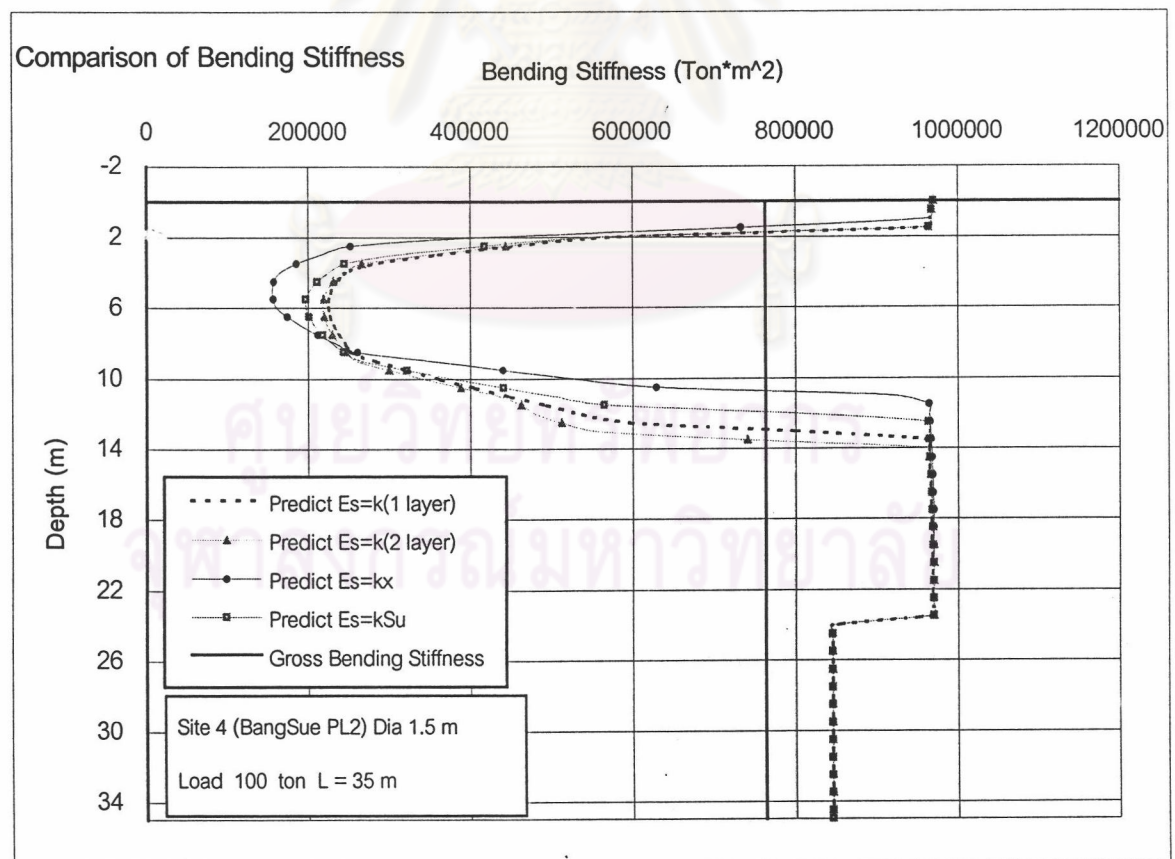
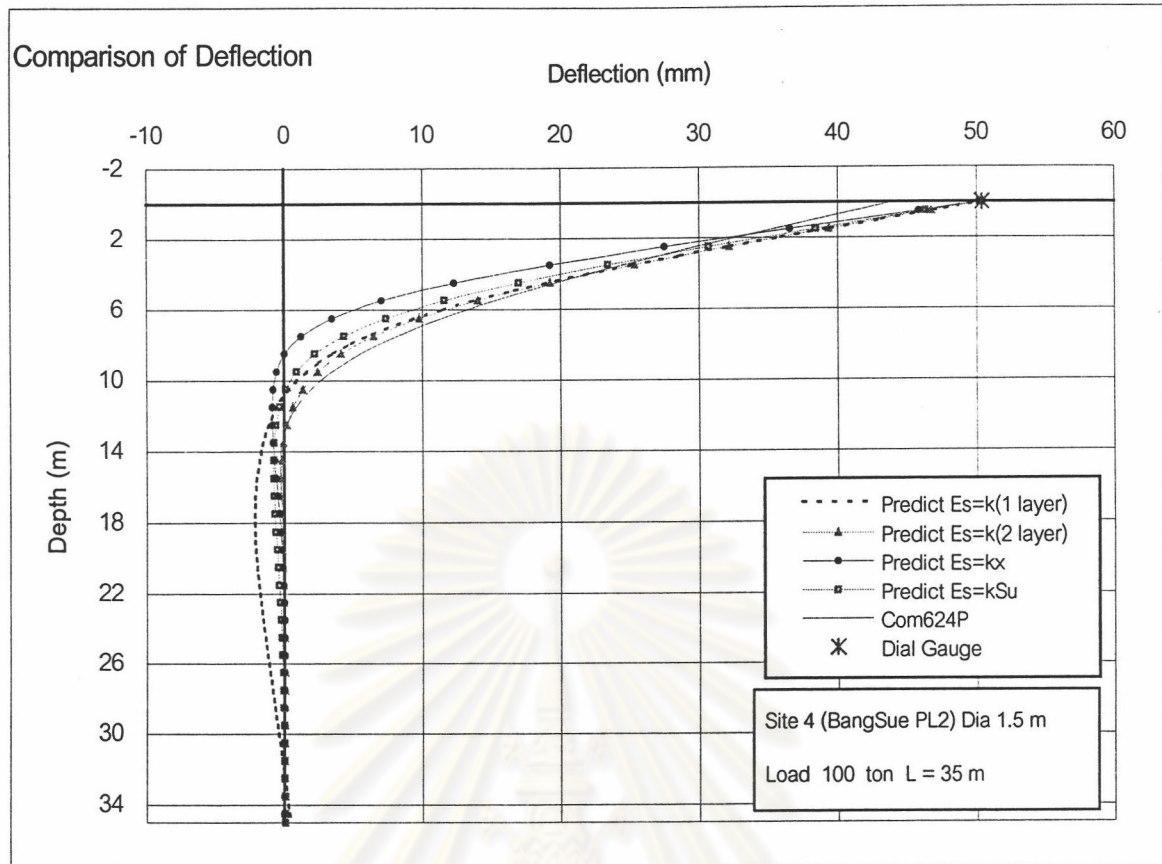
รูปที่ 4.47 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m at Load 25 ton



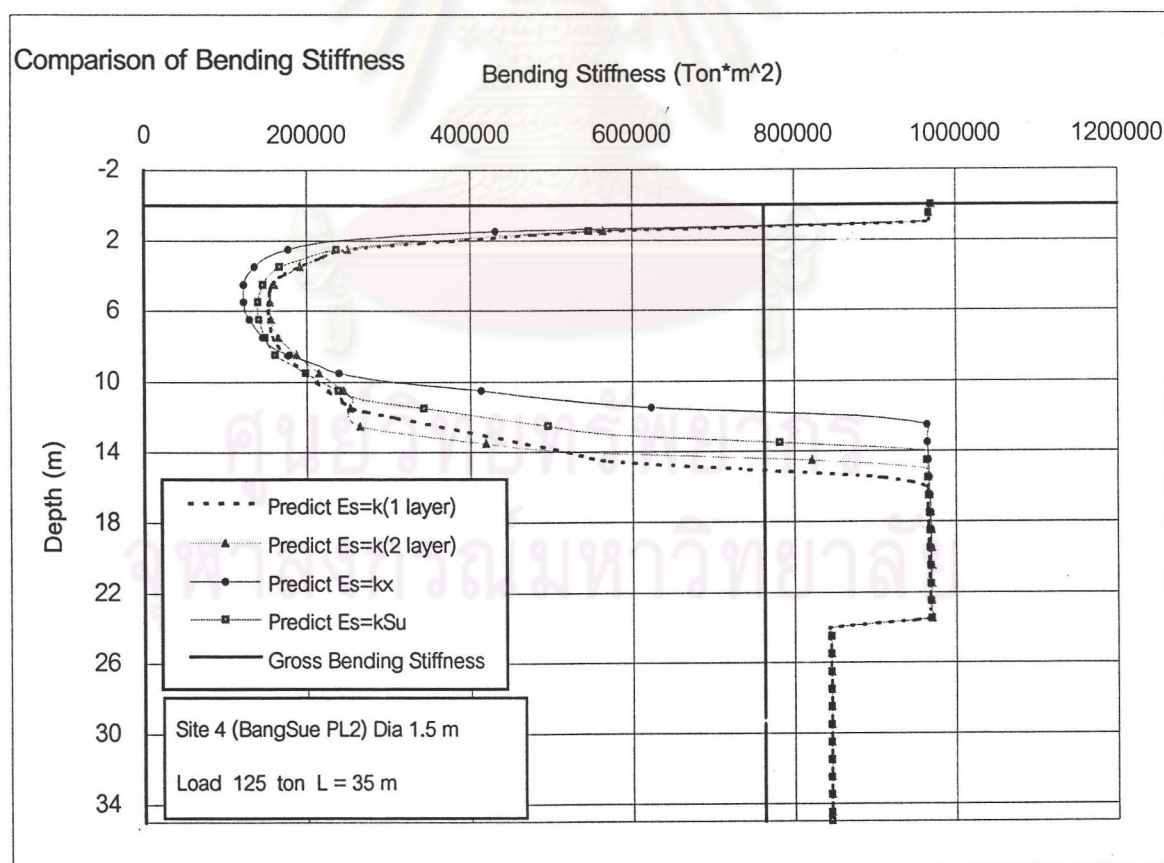
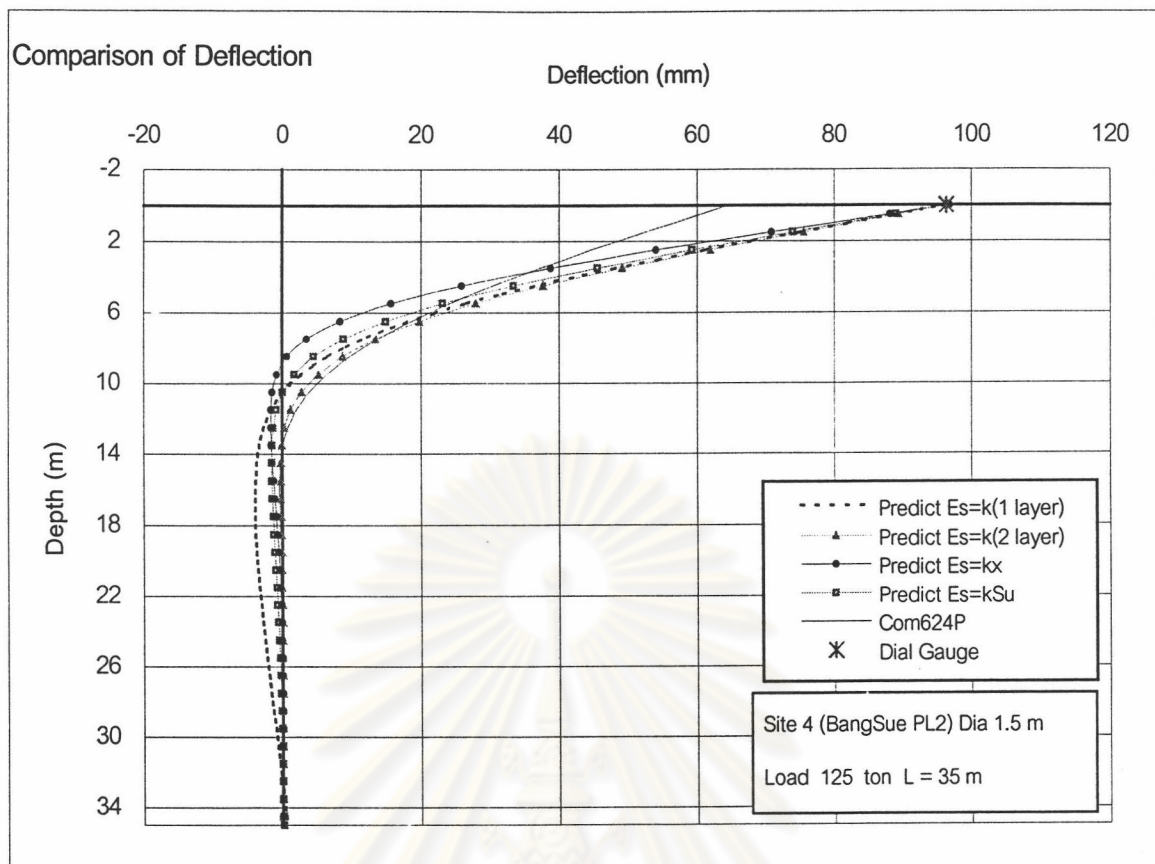
รูปที่ 4.48 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m at Load 50 ton



รูปที่ 4.49 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m at Load 75 ton



รูปที่ 4.50 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m at Load 100 ton



รูปที่ 4.51 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m at Load 125 ton

4.1.4.2 ผลสำหรับโครงการที่ 4 (บางชื่อ) เสาเข็มกลุ่มสองต้นและสามต้น

สำหรับโครงการที่ 4 (บางชื่อ) ได้มีการทดสอบเสาเข็มกลุ่มสองต้นและสามต้นคือ Pile PL3-4, PL5-PL7 ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะขนาด 1.5 m, Spacing ระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มเท่ากับ 3D และมีข้อมูล Y_t จากเครื่องมือ Dial Gauge และค่า Pile Head Slope จากเครื่องมือ Eletrolevel

ข้อมูลดินสำหรับโครงการที่ 4 เสาเข็ม PL3 ถึง PL7 ชั้น Soft – Midium Clay อยู่ในช่วงความลึก 0 – 8.57 m มี $S_u \text{ avg} = 3.4 \text{ ton/m}^2$, $PI \sim 42\%$, $LI \sim 0.554$, $w \sim 45.6\%$

จากข้อมูลดินข้างต้นสำหรับกรณี $E_s = k$ (2-layer) ผู้วิจัยกำหนดให้ชั้น Soft - Medium Clay เป็นชั้นบน ส่วนดินชั้นล่างให้เป็นดินที่อยู่ลึกกลงไปจากชั้น Soft - Medium Clay จนถึงปลายเสาเข็ม

ทั้งนี้สำหรับการวิเคราะห์ห้กลับเสาเข็มกลุ่มด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยจะใช้หลักการ Group Reduction Factor โดยสมมุติให้เสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มได้รับ Lateral Load และค่า E_s สำหรับเสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มมีค่าเท่ากัน ด้วยสมมุติฐานดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ห้กลับกรณีเสาเข็มกลุ่มเหมือนกรณีเสาเข็มเดี่ยวคือสามารถแยกพิจารณาเสาเข็มเพียงต้นเดียวจากกลุ่มเสาเข็มได้ โดยอาศัย Boundary Condition ที่หัวเสาเข็มคือทราบค่า Lateral Load และ Pile Head Slope (ข้อมูลจากเครื่องมือ Eletrolevel) แล้วให้โปรแกรมของผู้วิจัยหาค่า E_s ที่ทำให้ output พัดกับข้อมูลในสนาม (สำหรับโครงการนี้ให้พัดกับ Y_t ที่ได้จากเครื่องมือ Dial Gauge) เมื่อได้ค่า E_s สำหรับกรณีเสาเข็มกลุ่มแล้ว ก็จะนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่า E_s ที่ได้จากเสาเข็มเดี่ยว PL1 และ PL2 เพื่อหาค่า Group Reduction Factor

ตารางที่ 4.9 แสดงผลโดยย่อหรือผลโดยสรุปของกลุ่มเสาเข็มสองต้น PL3 และ PL4 ที่ได้จากการวิเคราะห์, วิเคราะห์ห้กลับที่ขนาดแรงกระทำทางด้านข้างต่างๆ และแสดง Measured Data: Y_t (Pile Head Deflection) ที่ได้จากเครื่องมือ Dial Gauge, Pile Head Slope ที่ได้จากเครื่องมือ Eletrolevel

ในตารางที่ 4.9 [ส่วน Back Analysis] ได้แสดงค่า Y_t (Pile Head Deflection), M_{\max} (Maximum moment in Pile), ค่า E_s ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับ, ไม่มีค่า Slope SqDev เนื่องจากไม่มีข้อมูล Inclinometer, และในตารางที่ 4.9 [ส่วน Group 4.0] ได้แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version)

โดยการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) นี้ผู้วิจัยกำหนด Boundary ที่หัวเสาเข็มเป็นแบบ fixed (มี pile cap) ดังนั้นผลการวิเคราะห์ห้กลับของเสาเข็มในกลุ่มทั้ง PL3 และ PL4 จะมีค่า Y_t , Pile Head Slope เท่ากัน ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.9 [ส่วน Group 4.0] และจะแสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับ V_t (Shear ที่หัวเสาเข็ม), M_{\max} , Axial Load ที่เกิดในเสาเข็ม (หากเป็น Tension ใช้เครื่องหมาย -, หากเป็น Compression ใช้เครื่องหมาย +) ของเสาเข็มแต่ละต้น

รูปที่ 4.54 – 4.58 แสดงรายละเอียดของผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ของกลุ่มเสาเข็มสองต้นและผลการวิเคราะห์ห้กลับด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยที่ขนาด

Load ต่างๆ โดยกราฟบนแสดง Deflection vs. Depth ซึ่งในกราฟได้แสดงค่า Y_t ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือ Dial Gauge ซึ่งได้จากผลการทดสอบในสนาม, ผลการวิเคราะห์ห้กลับโดยโปรแกรมของผู้วิจัยที่เขียนขึ้นโดยใช้ทฤษฎี Beam on Elastic Foundation ด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ (1-layer), $E_s = k$ (2-layer), $E_s = kx$, $E_s = kSu$ รวมทั้งแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) โดยจะแสดงเป็นผล Deflection Profile ของเสาเข็มในกลุ่มคือ PL3, PL4 (Deflection Profile ของเสาเข็ม PL3, PL4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ในรูปจะระบุเป็น Program Group PL3, Program Group PL4 ตามลำดับ)

ส่วนกราฟล่างในรูปที่ 4.3 – 4.7 แสดง Bending Stiffness ($E_p I_p$) vs. Depth ซึ่งในกราฟได้แสดงค่า $E_p I_p$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับด้วยฟังก์ชันต่างๆ และแสดงค่า Gross Bending Stiffness ($E_p I_p$, ใช้ $I_p = \pi D^4/64$ นั่นคือเป็นการหาค่า $E_p I_p$ โดยไม่คำนึงถึงเหล็กเสริมในเสาเข็ม) โดยสำหรับโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ผู้วิจัยได้กำหนดใช้ค่า $E_p I_p$ เท่ากับ Gross $E_p I_p$ ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปนี้ผู้วิจัยกำหนดให้ค่า $E_p I_p$ มีค่าคงที่ตลอดกล่าวคือไม่มีการลดลงของค่า $E_p I_p$ เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในเสาเข็ม

ในกรณีของเสาเข็มกลุ่มจะไม่มีหาค่า Lateral Load ที่ทำให้เกิด Local Yield ของดินเนื่องจากค่า p (Soil Resistance) ที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการทดสอบเสาเข็มในสนามของเสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นค่า p (Soil Resistance) ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับด้วยหลักการของ Group Reduction Factor ที่สมมุติให้เสาเข็มแต่ละต้นรับแรงกระทำทางด้านข้างเท่ากันทุกต้นแล้วแยกพิจารณาเสาเข็มเพียงต้นเดียวได้ (เสมือนว่าเสาเข็มทุกต้นในกลุ่มมี Y_t , Moment ที่เกิดในเสาเข็ม, p และอื่นๆ เหมือนกันหมด) ย่อมให้ค่า p ที่แตกต่างจากค่า p ของจริงที่เกิดขึ้นในสนามค่อนข้างมาก

ผลสำหรับเสาเข็มกลุ่มสองต้น (PL2 และ PL3) ที่แสดงในตารางที่ 4.9 และผลการวิเคราะห์ห้กลับที่แสดงในรูปที่ 4.54 – 4.58 พบว่า

1) จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์ห้กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 27.6% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 100, 200, 250, 300, 400 ton เท่ากับ 29.77%, 62.1%, 48.69%, 30.96%, -33.52% ตามลำดับ)

2) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.54 – 4.58 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k$, $E_s = kx$, $E_s = kSu$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ตำแหน่งแรก (เกิดขึ้นที่บริเวณหัวเสาเข็ม) ที่ขนาดของ Lateral Load 100 ton, 100 ton, 100 ton ตามลำดับ และเริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ตำแหน่งสอง (เกิดขึ้นถัดลงมาจากตำแหน่งที่เกิดการลดลงของค่า $E_p I_p$ ครั้งแรก) ที่ขนาดของ Lateral

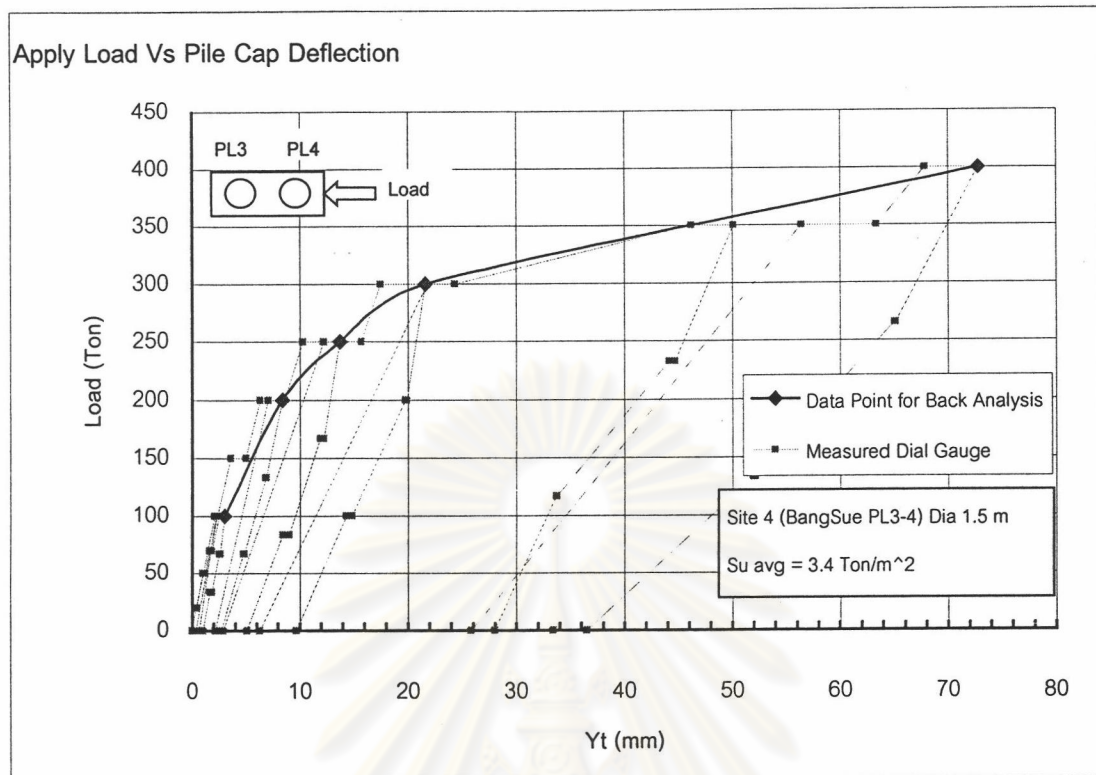
Load 250 ton, 200 ton, 250 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.53 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 275 ton

ผลสำหรับเสาเข็มกลุ่มสามต้น (PL4 ถึง PL7) ที่แสดงในตารางที่ 4.10 และผลการวิเคราะห์กลับที่แสดงในรูปที่ 4.60 - 4.64 พบว่า

1) จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่า Y_t ที่ได้จากการวิเคราะห์กลับให้ผลที่ใกล้เคียงกับ Measured Data: Y_t มาก ส่วนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 37.36% (ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามที่ขนาด Lateral Load 100, 200, 250, 300, 400 ton เท่ากับ 26.85%, 50.58%, 58.5%, 48.19%, 2.69% ตามลำดับ)

2) เมื่อพิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$ จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.60 - 4.64 พบว่าฟังก์ชัน $E_s = k$, $E_s = kx$, $E_s = kSu$ เริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ตำแหน่งแรก (เกิดขึ้นที่บริเวณหัวเสาเข็ม) ที่ขนาดของ Lateral Load 200 ton, 200 ton, 200 ton ตามลำดับ และเริ่มแสดงการลดลงของค่า $E_p I_p$ ตำแหน่งสอง (เกิดขึ้นถดถอยมาจากตำแหน่งที่เกิดการลดลงของค่า $E_p I_p$ ครั้งแรก) ที่ขนาดของ Lateral Load 400 ton, 300 ton, 400 ton ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 4.59 กราฟเริ่มโค้งที่ขนาดของ Lateral Load ประมาณ 275 ton

3) ผลจากโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ซึ่งการคำนวณสำหรับเสาเข็มที่อยู่ในแถวเดียวกัน (เป็นแถวที่มีแนวของแถวตั้งฉากกับทิศทางของ Lateral Load) จะได้รับ Distributed Lateral Load เท่ากันตามหลักการของ Shadow Effect ที่กล่าวเอาไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นเสาเข็มต้น PL5 และ PL6 จะได้ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวเหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.10 [ส่วน Group 4.0]

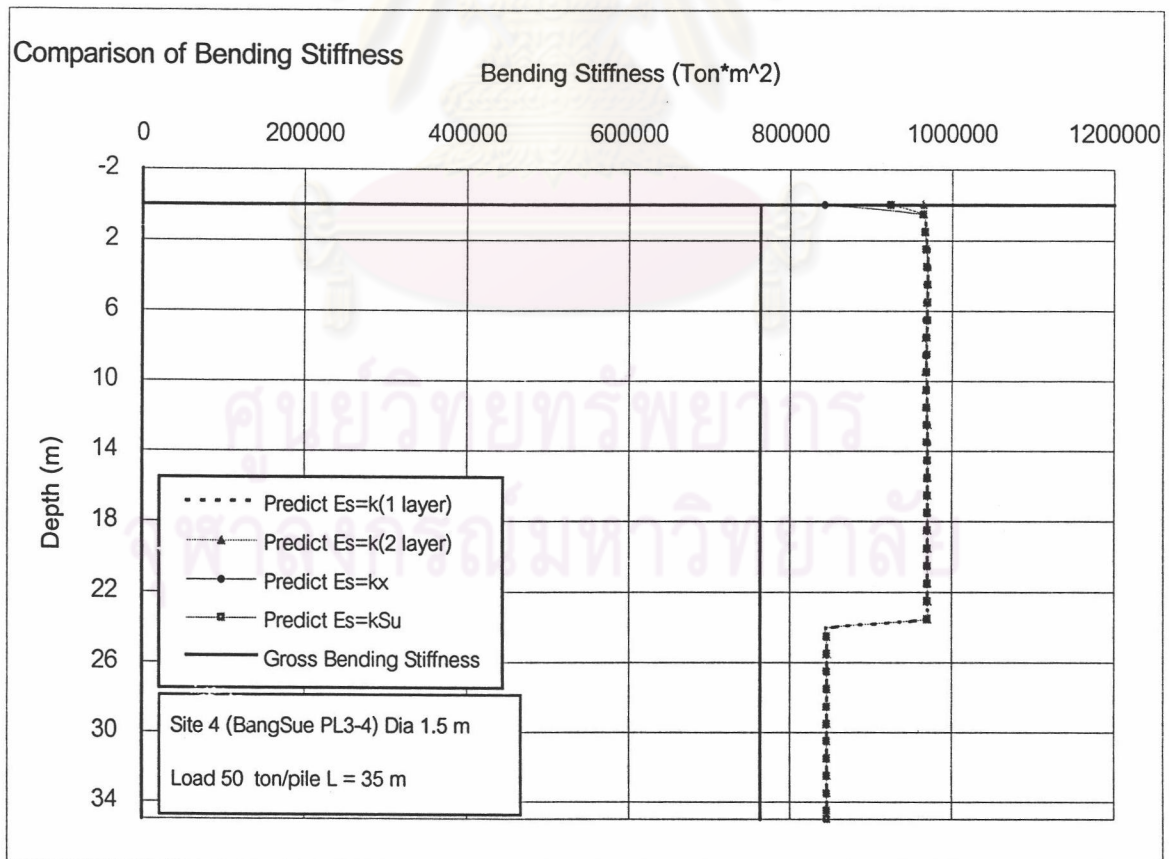
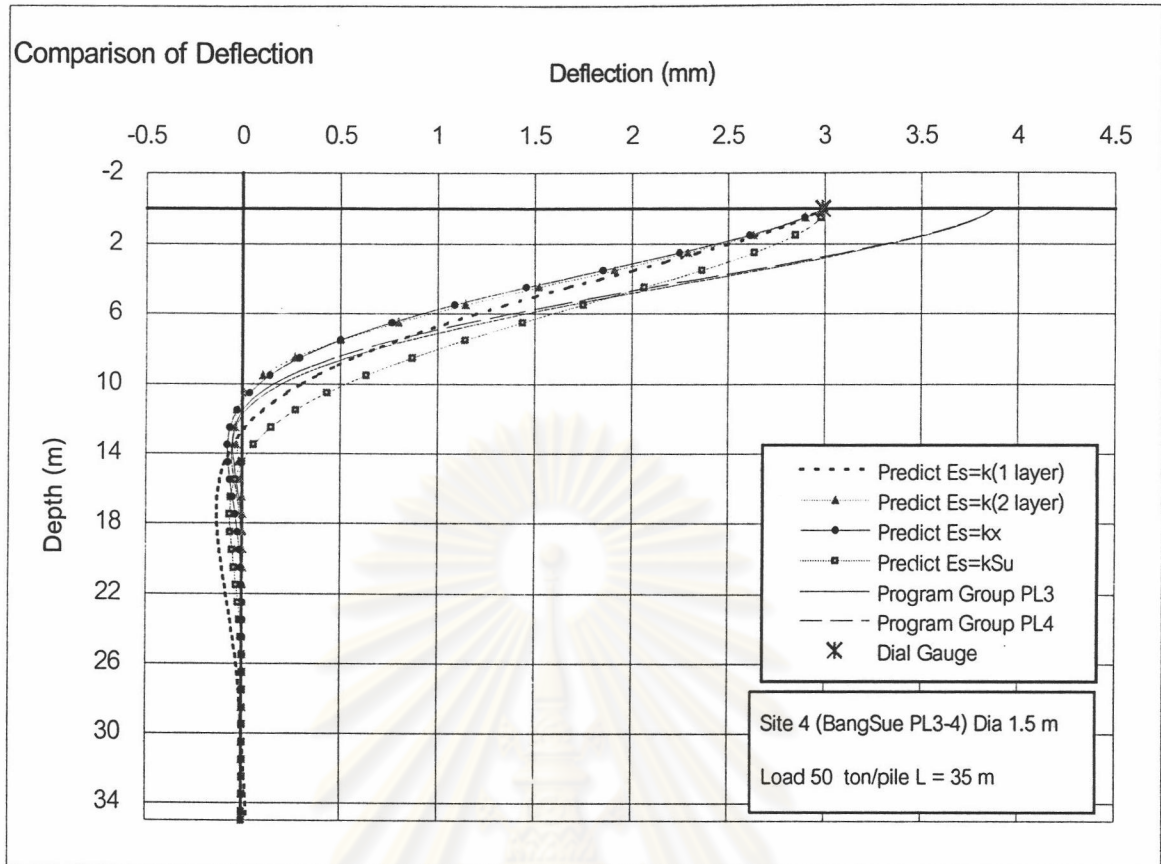


รูปที่ 4.52 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์ห้กลับสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL3 และ PL4

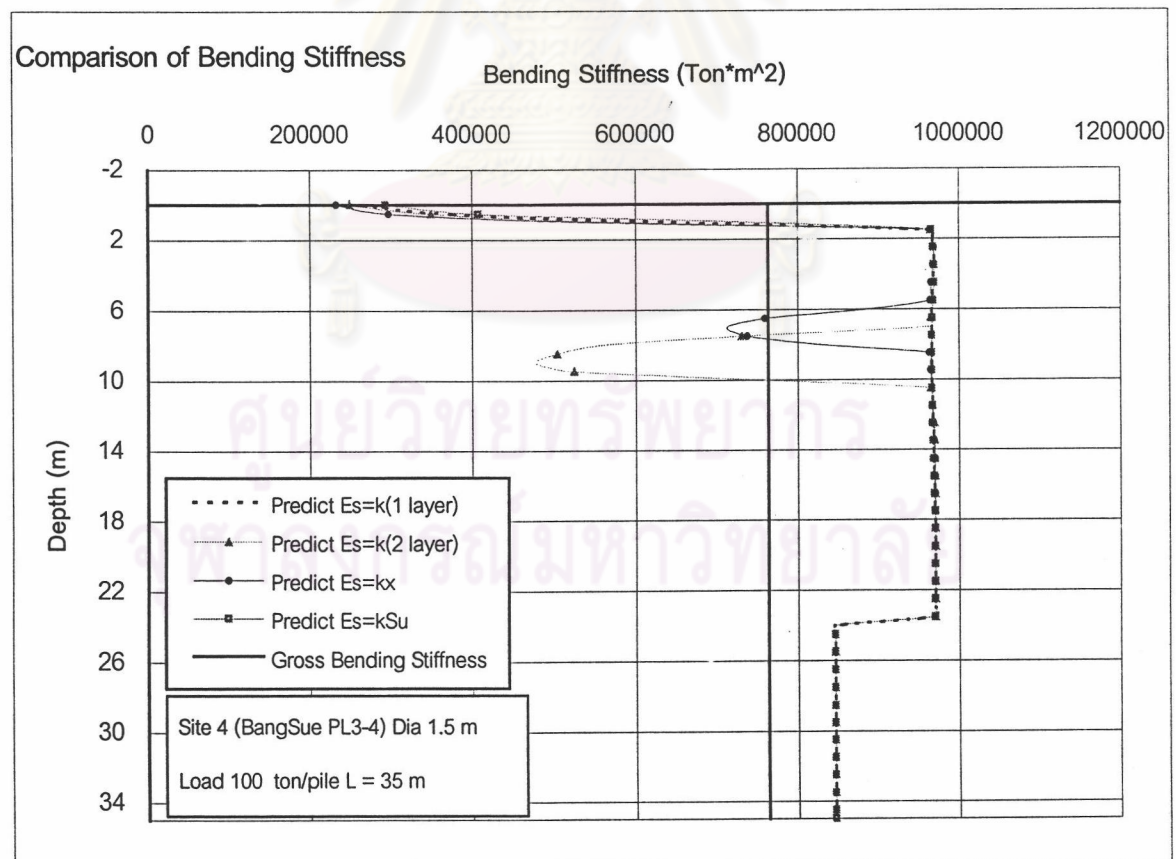
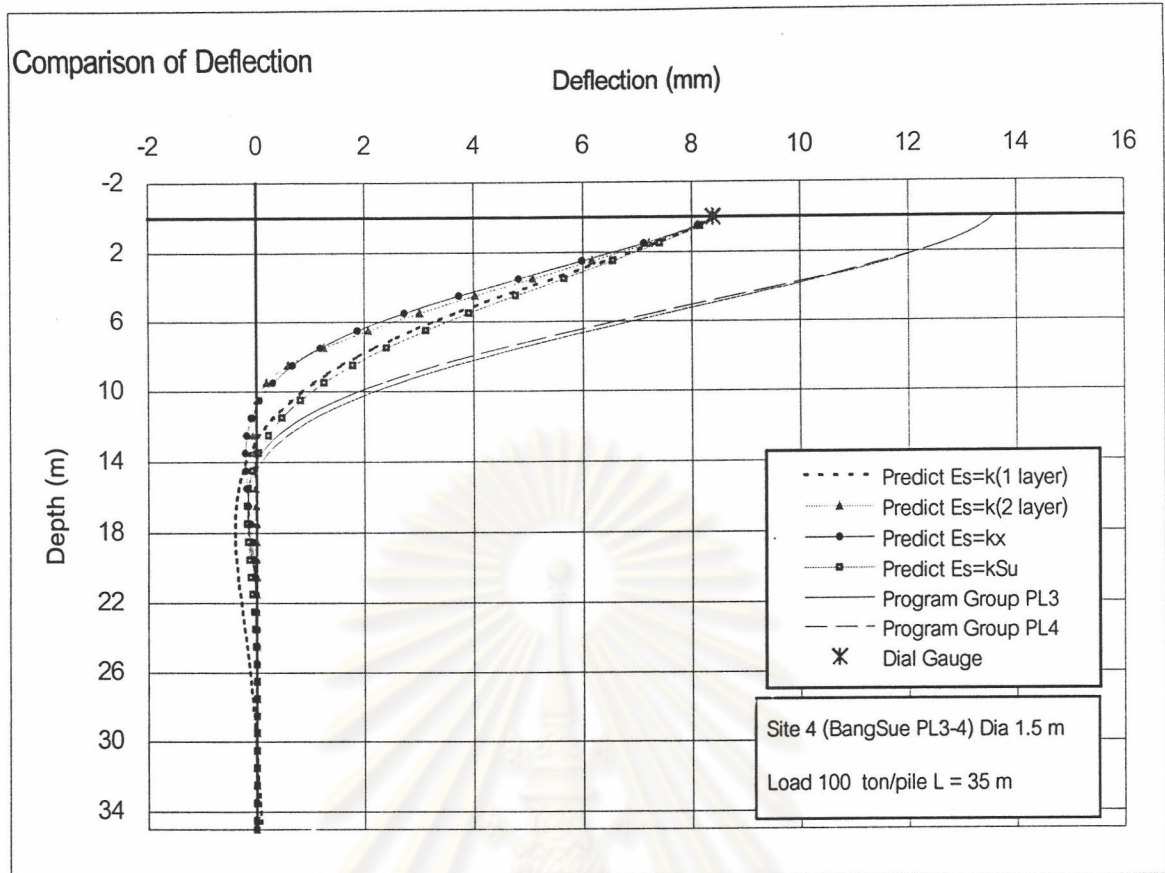
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL3 และ PL4

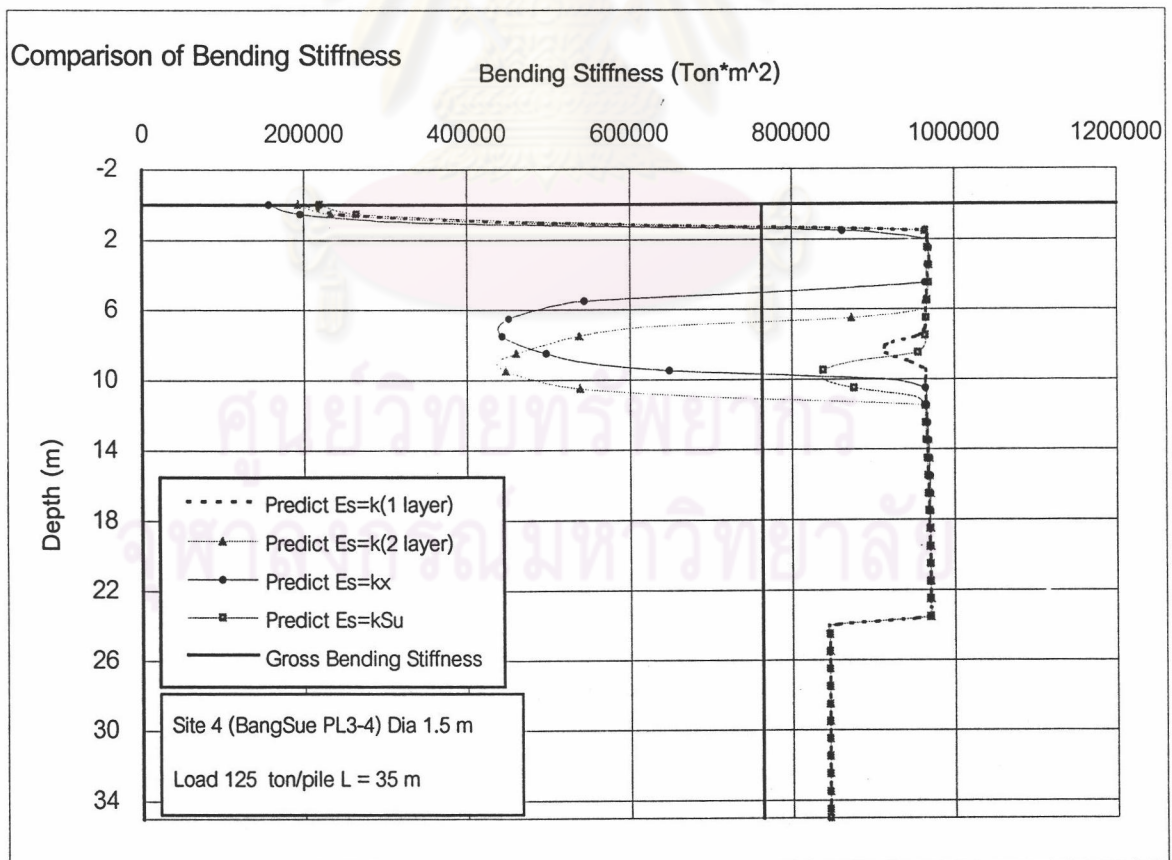
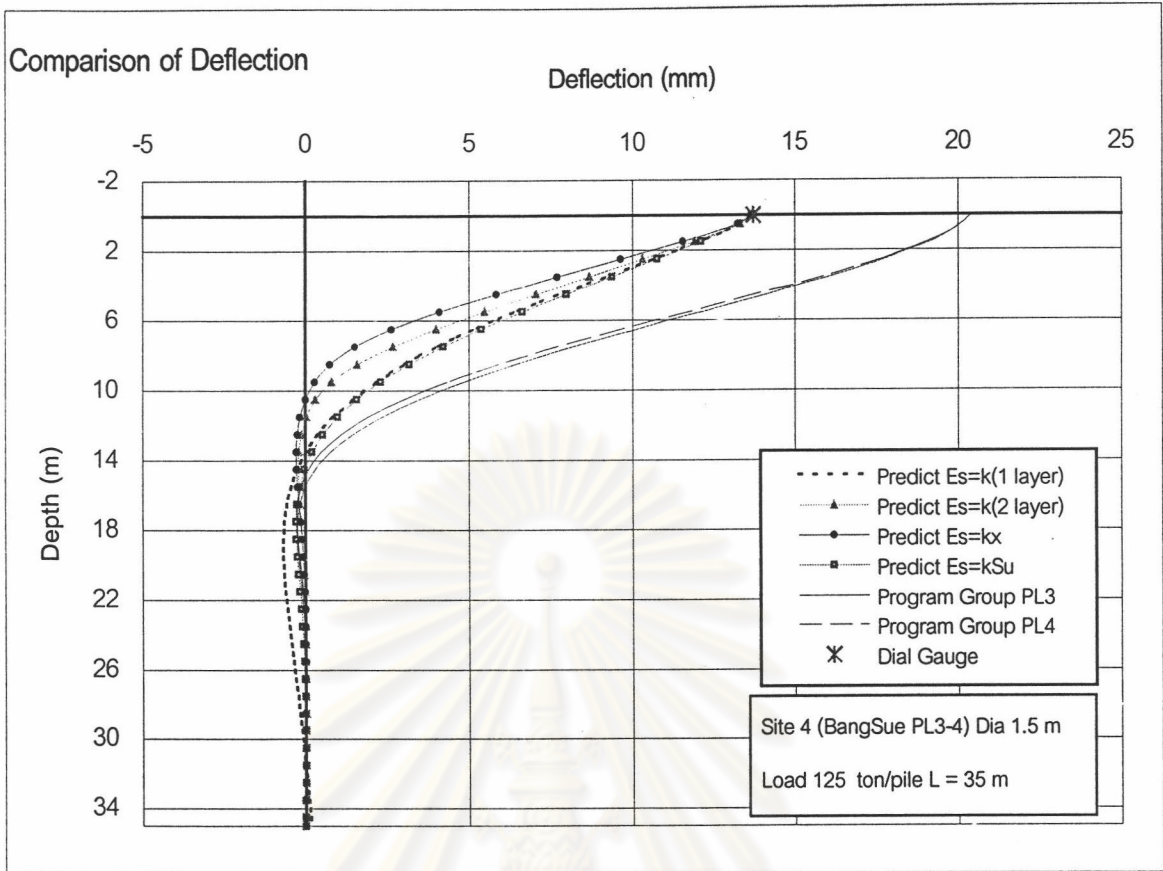
		Pile Group Lateral Load (Ton)					
		100	200	250	300	400	
Measured Data		Yt (mm)	2.99	8.39	13.72	21.61	72.8
		Pile Head Slope	-1.50E-04	-3.38E-04	-4.60E-04	-6.40E-04	-1.40E-03
Back Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	2.99	8.39	13.71	21.61	72.91
		M _{max} (ton*m)	-120.5	-211.9	-268.9	-316.1	-512.0
		Es (Ton/m ²)	Es = 3365	Es = 2485	Es = 1805	Es = 1410	Es = 480
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	2.99	8.39	13.72	21.61	72.82
		M _{max} (ton*m)	-137.2	-232.9	-284.5	-315.2	-585.5
		Es (Ton/m ²)	Es up = 2835 Es low = 158760	Es up = 2315 Es low = 141215	Es up = 1815 Es low = 19965	Es up = 1430 Es low = 8580	Es up = 420 Es low = 36120
	Es = kx	Yt (mm)	2.99	8.40	13.70	21.62	72.93
		M _{max} (ton*m)	-148.3	-246.9	-300.5	-367.2	-600.1
		Es (Ton/m ²)	Es = 1380 x	Es = 1120 x	Es = 925 x	Es = 705 x	Es = 200 x
	Es = kSu	Yt (mm)	3.00	8.41	13.68	21.59	72.24
		M _{max} (ton*m)	-145.2	-204.7	-261.2	-302.9	-487.4
		Es (Ton/m ²)	Es = 680 Su	Es = 590 Su	Es = 435 Su	Es = 340 Su	Es = 120 Su
Group 4.0	Yt (mm)		3.88	13.60	20.40	28.30	48.40
	Pile Head Slope		-1.04E-04	-2.55E-04	-3.38E-04	-4.26E-04	-7.29E-04
	PL3	Vt (ton)	47.40	94.70	118.25	142.71	190.62
		M _{max} (ton*m)	-156.0	-385.3	-514.8	-652.4	-938.8
		Axial Load (ton)	72.1	178.4	238.5	301.7	434.3
	PL4	Vt (ton)	52.6	105.0	131.5	158.0	210.0
		M _{max} (ton*m)	-168.2	-415.9	-556.6	-705.4	-1014.3
		Axial Load (ton)	-72.1	-178.4	-238.5	-301.7	-434.3



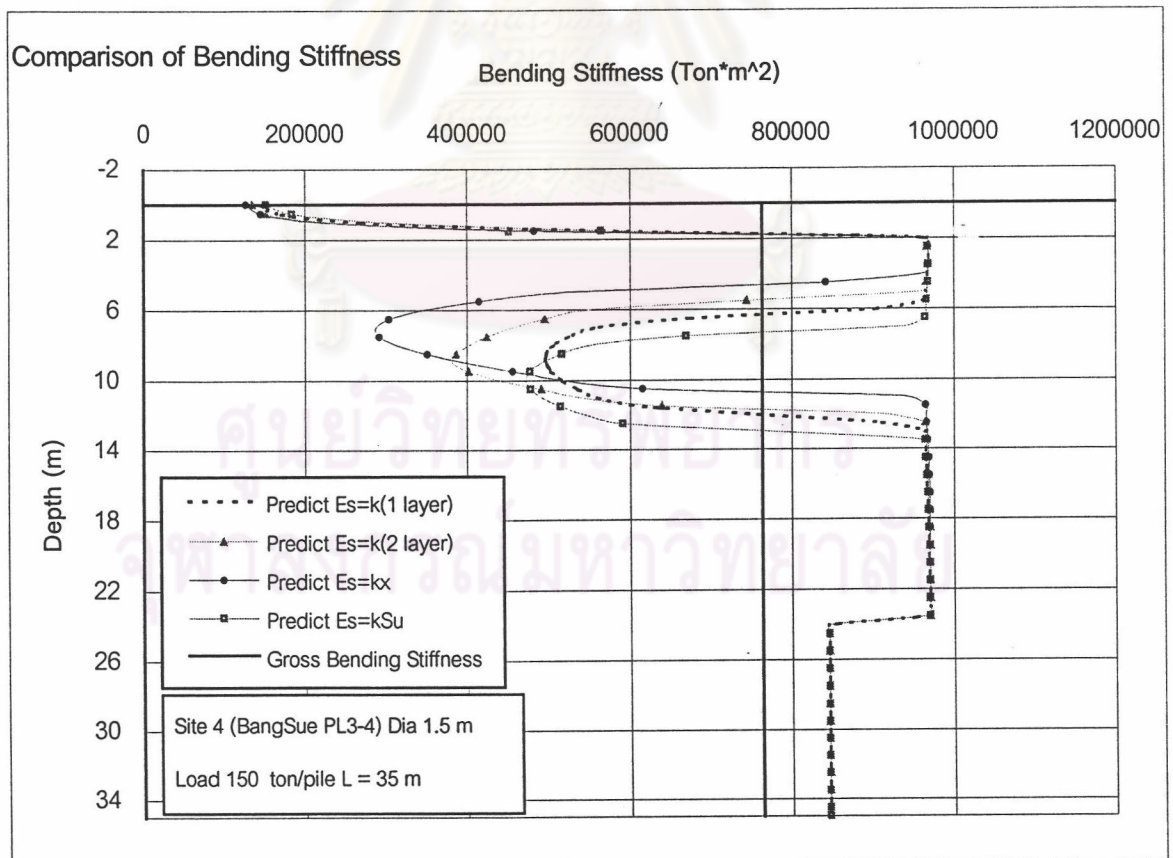
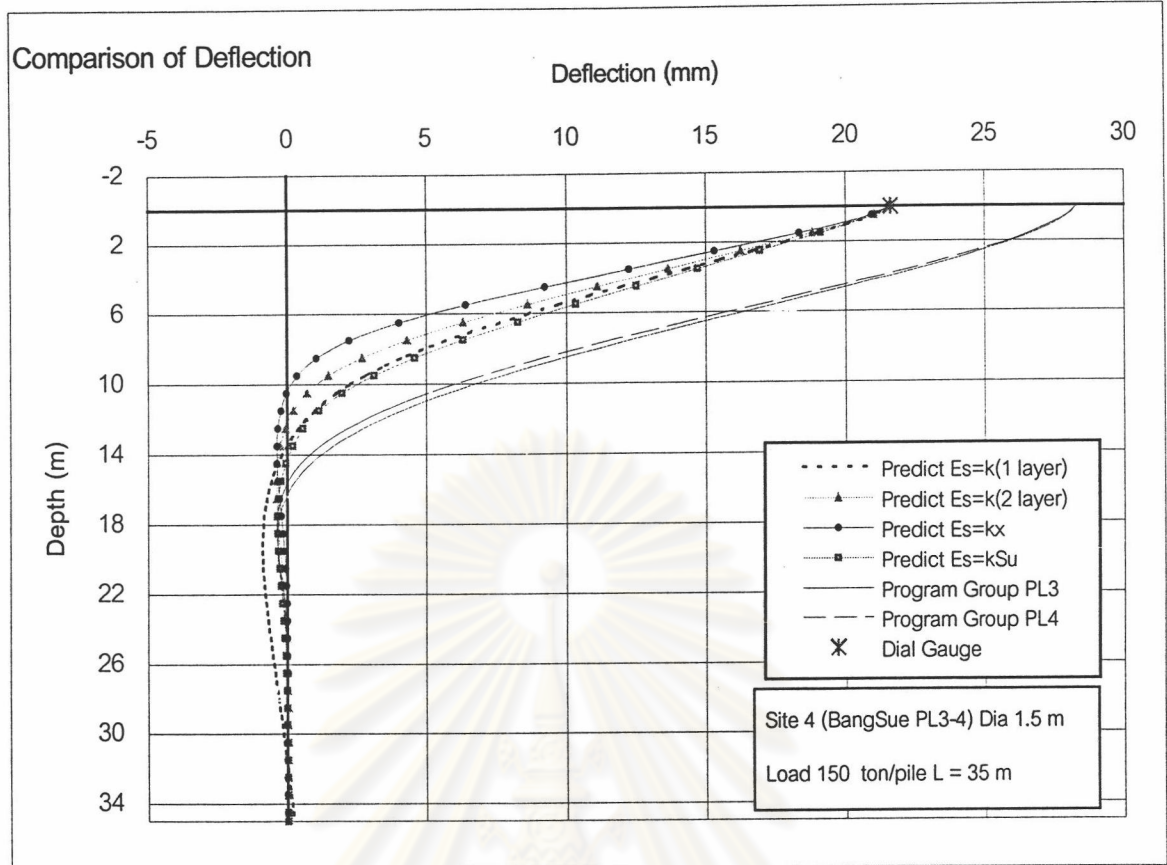
รูปที่ 4.53 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL3 and PL4) Dia 1.5 m at Load 50 ton/pile



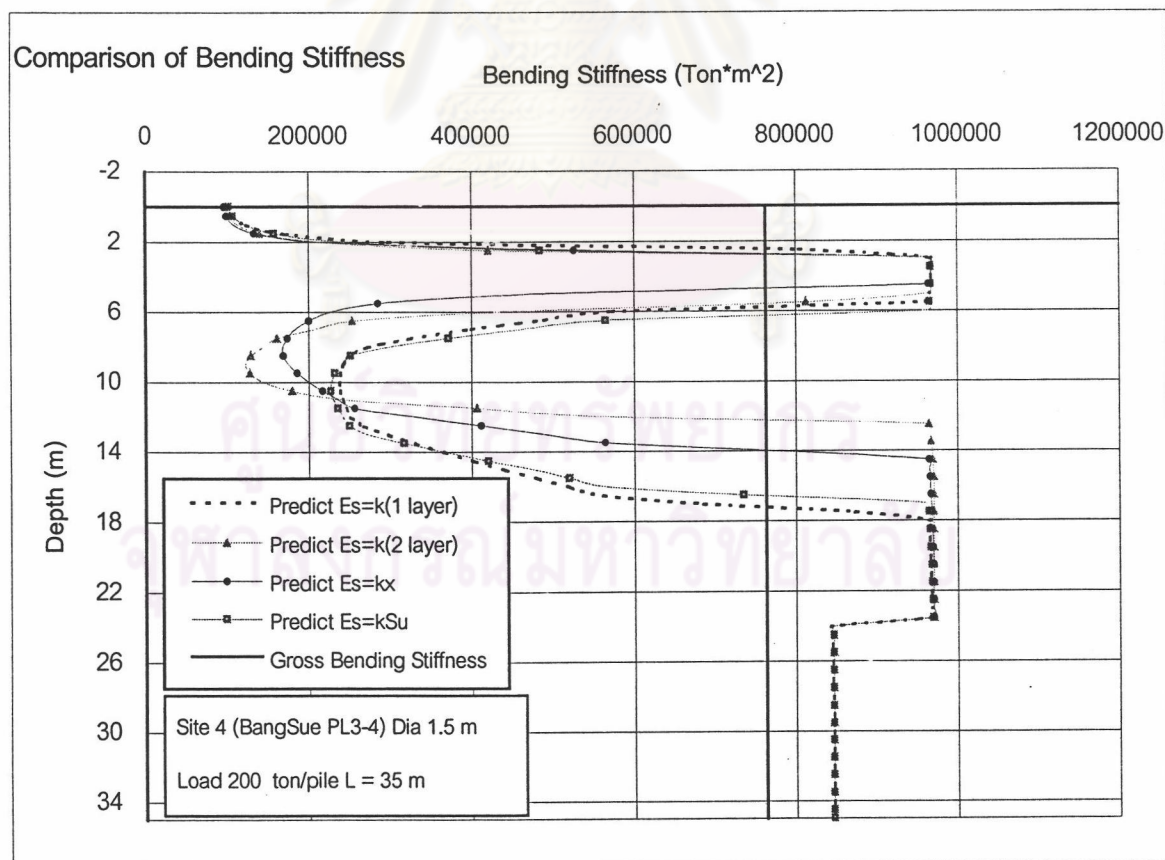
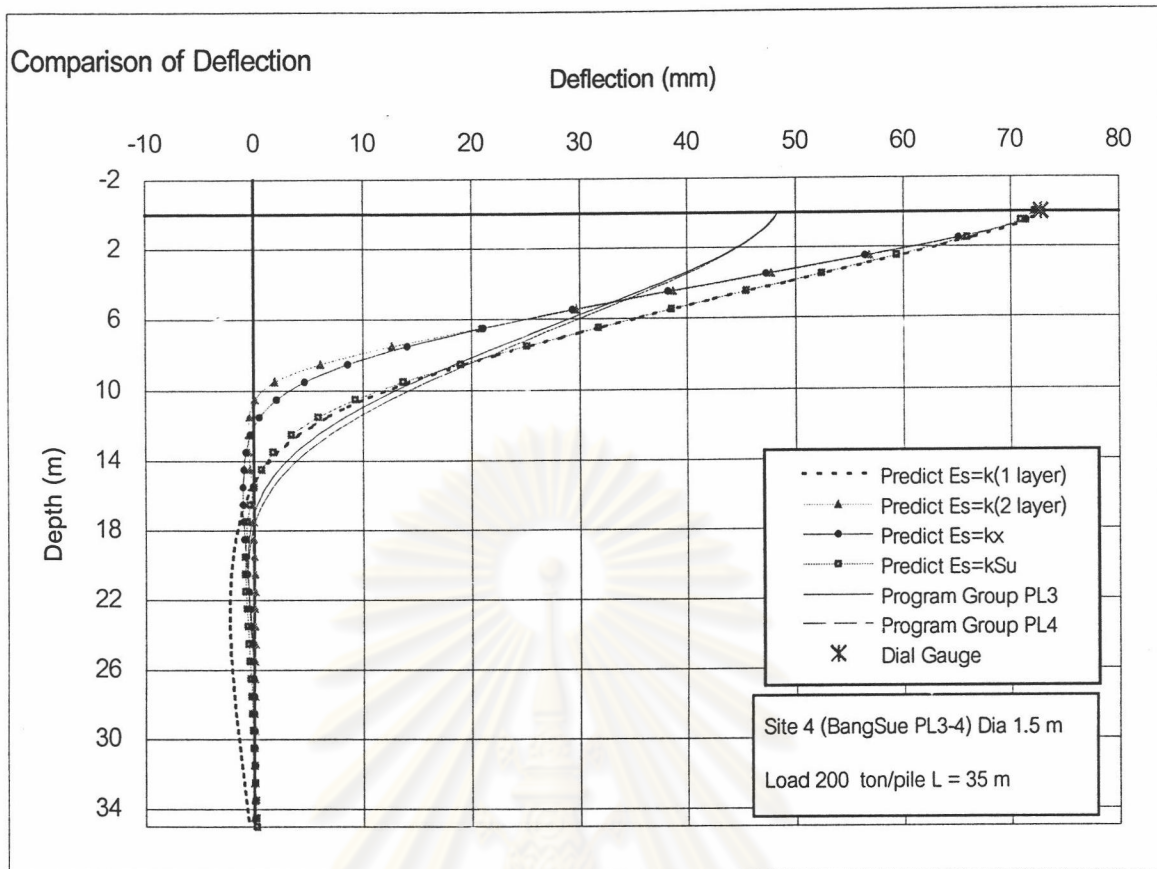
รูปที่ 4.54 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL3 and PL4) Dia 1.5 m at Load 100 ton/pile



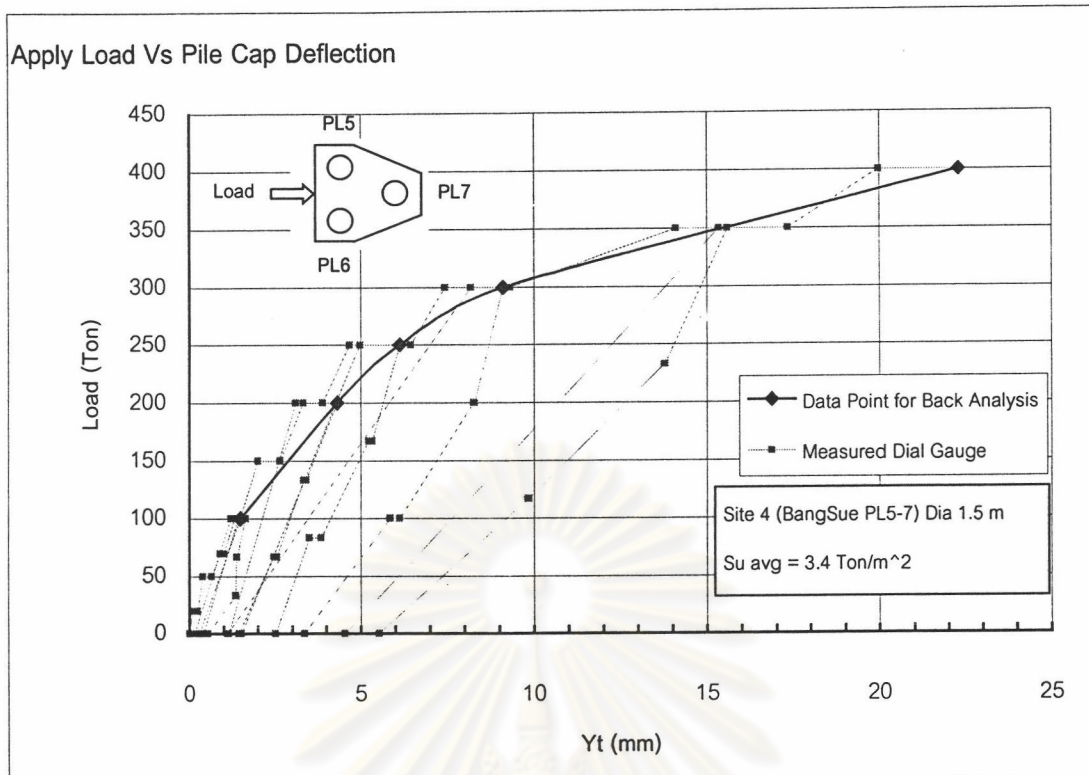
รูปที่ 4.55 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL3 and PL4) Dia 1.5 m at Load 125 ton/pile



รูปที่ 4.56 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL3 and PL4) Dia 1.5 m at Load 150 ton/pile



รูปที่ 4.57 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL3 and PL4) Dia 1.5 m at Load 200 ton/pile

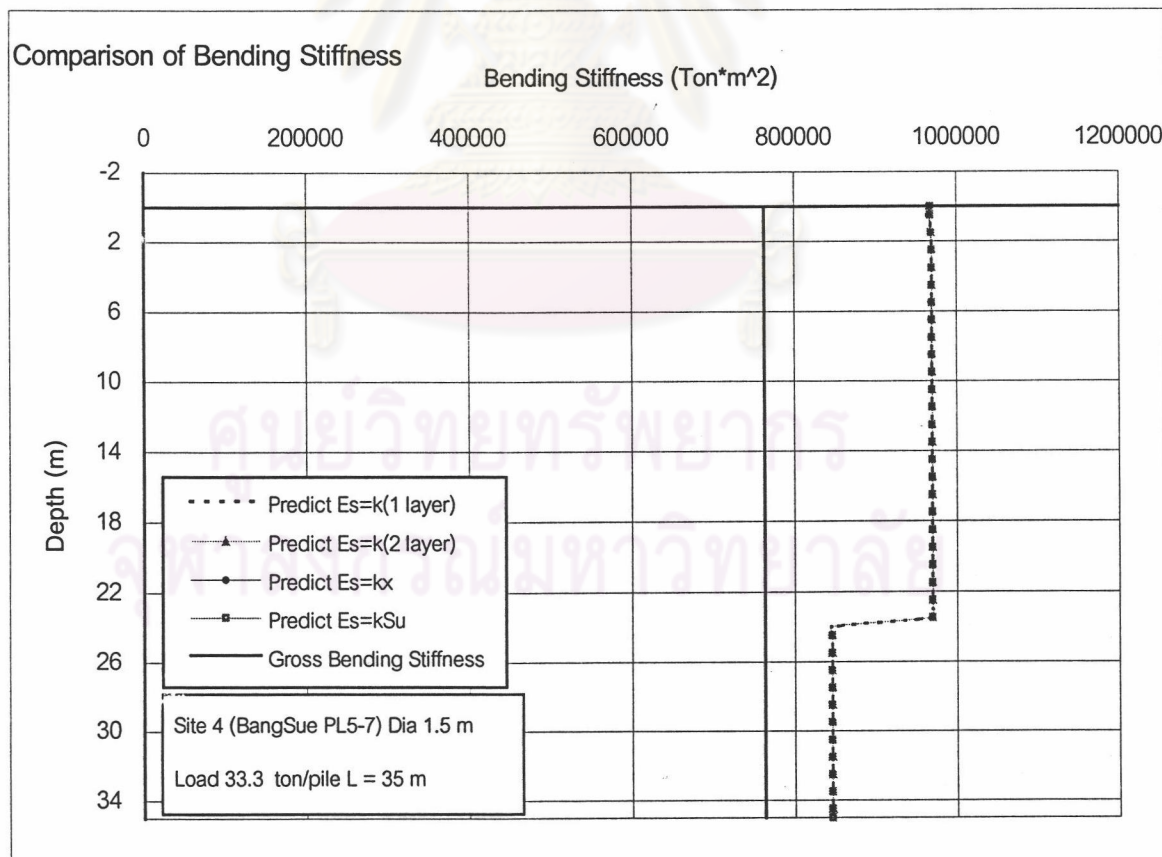
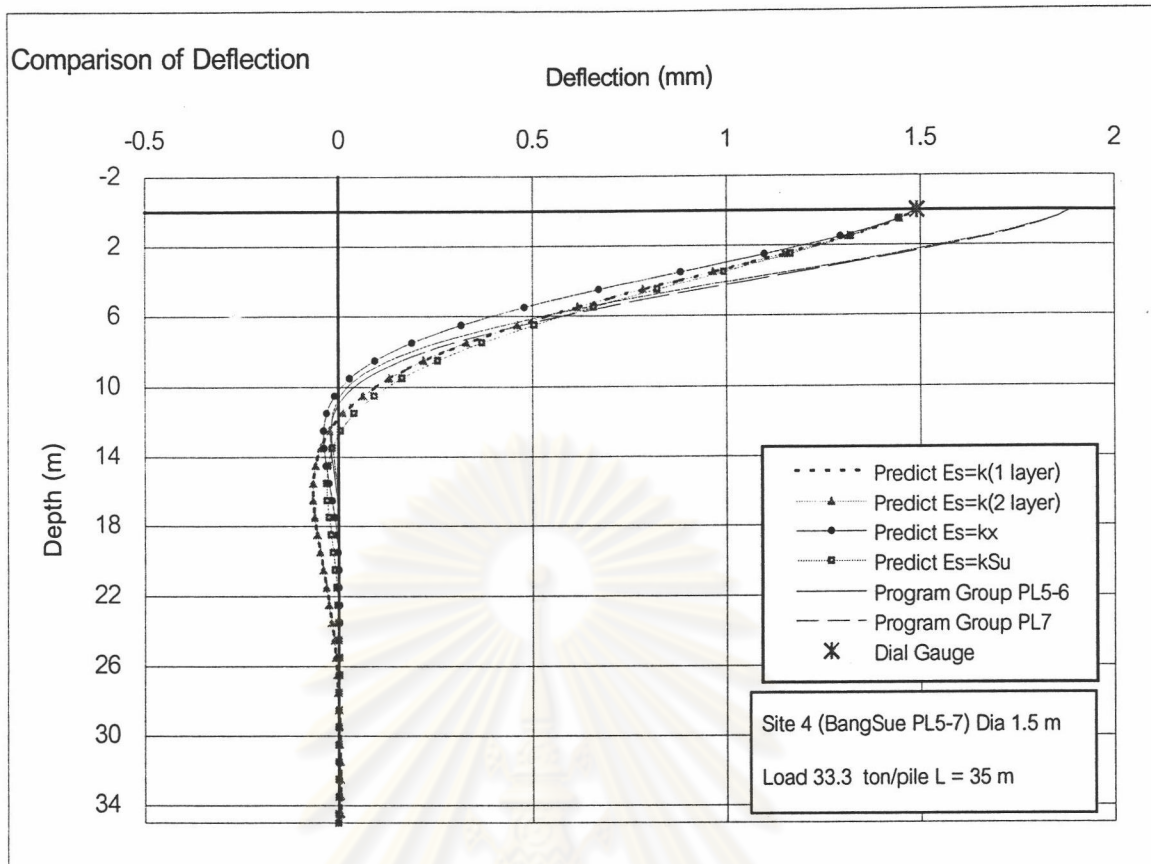


รูปที่ 4.58 Load – Deflection Curve และตำแหน่งของข้อมูลนำไปวิเคราะห์หาค่ากลับสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL5 ถึง PL7

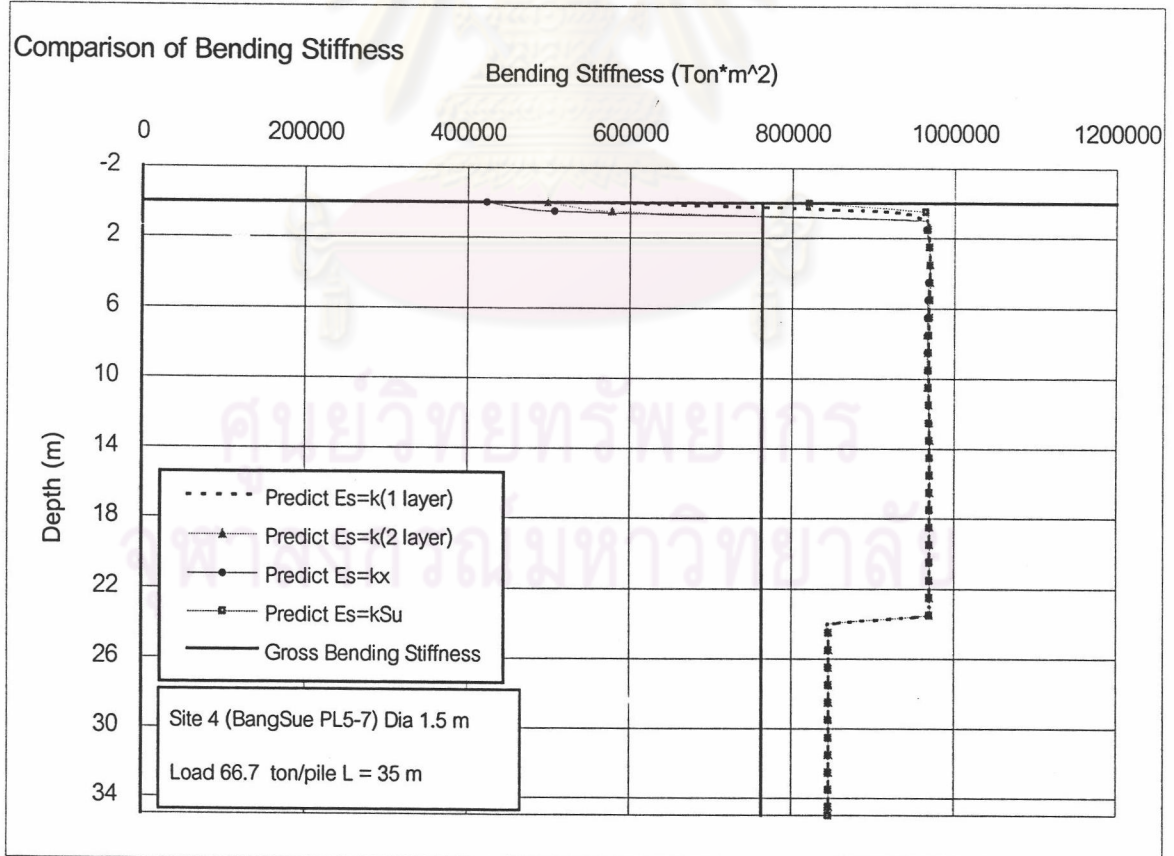
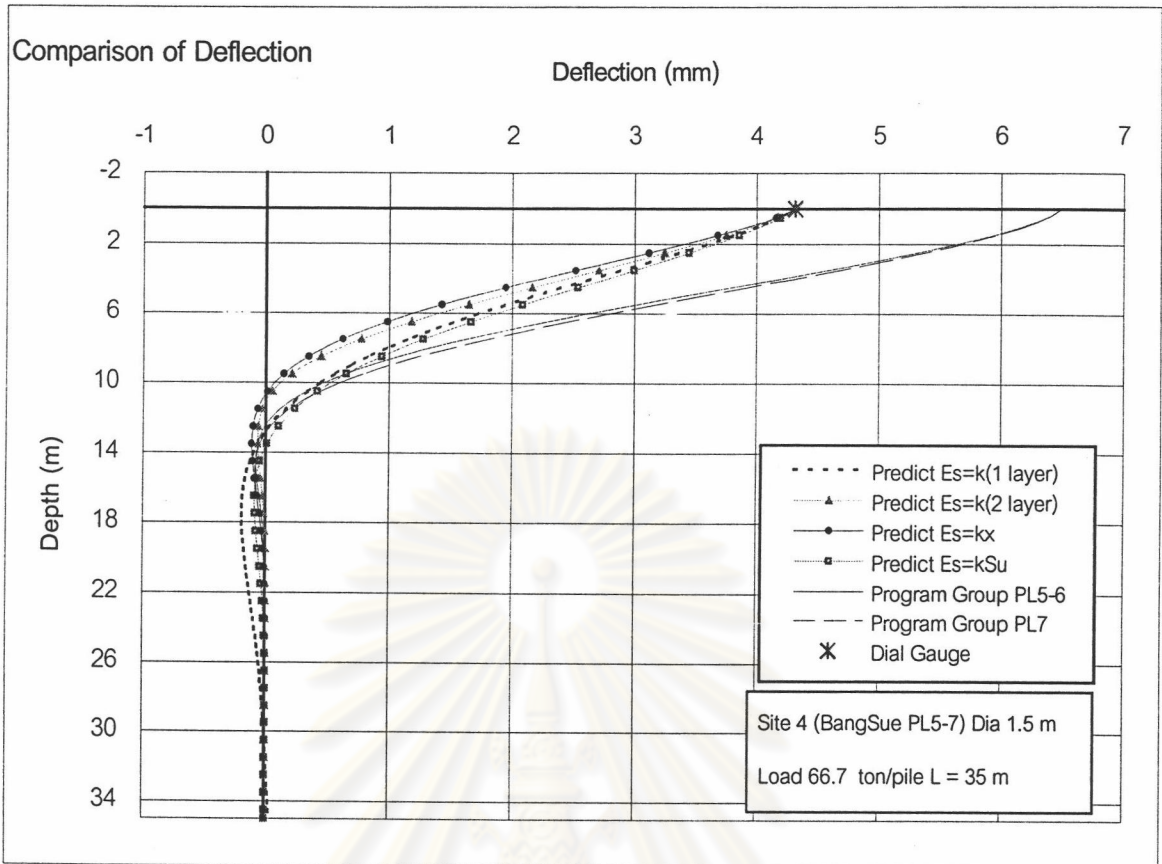
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ผลโดยย่อสำหรับโครงการที่ 4-Pile PL5 ถึง PL7

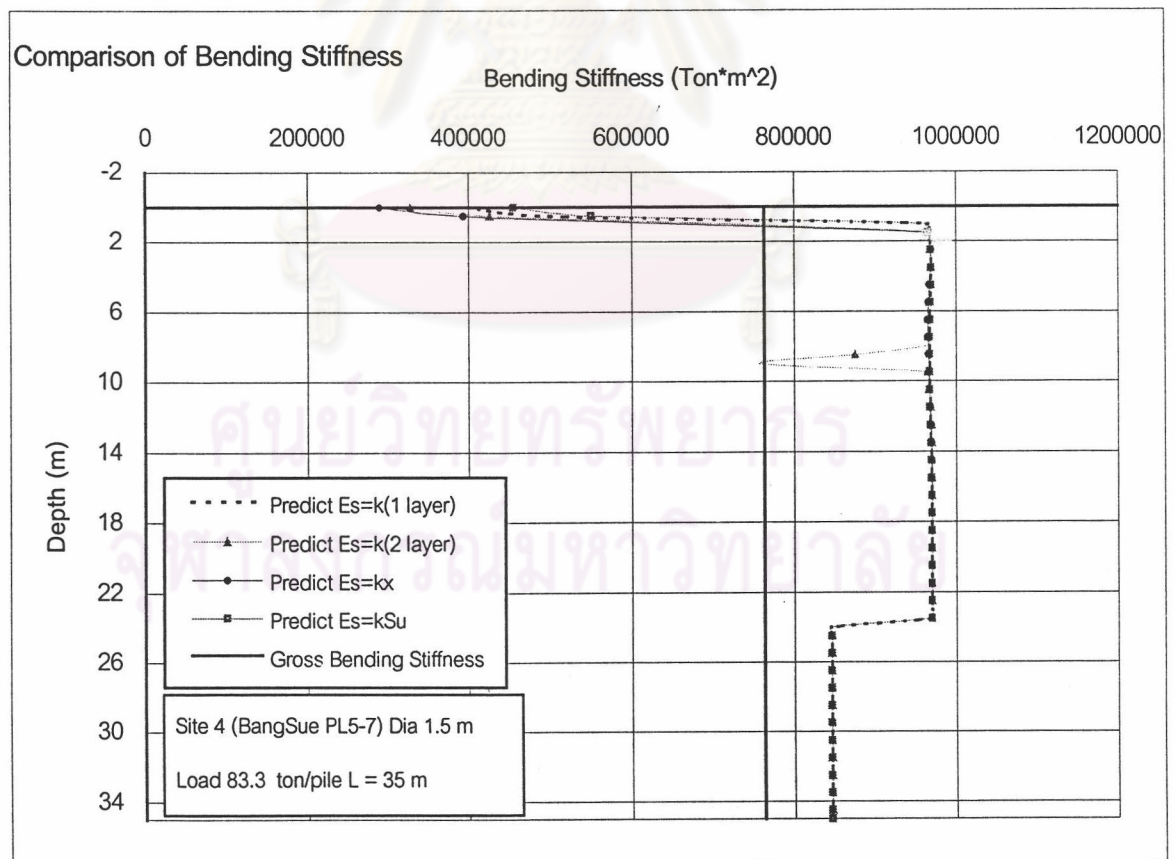
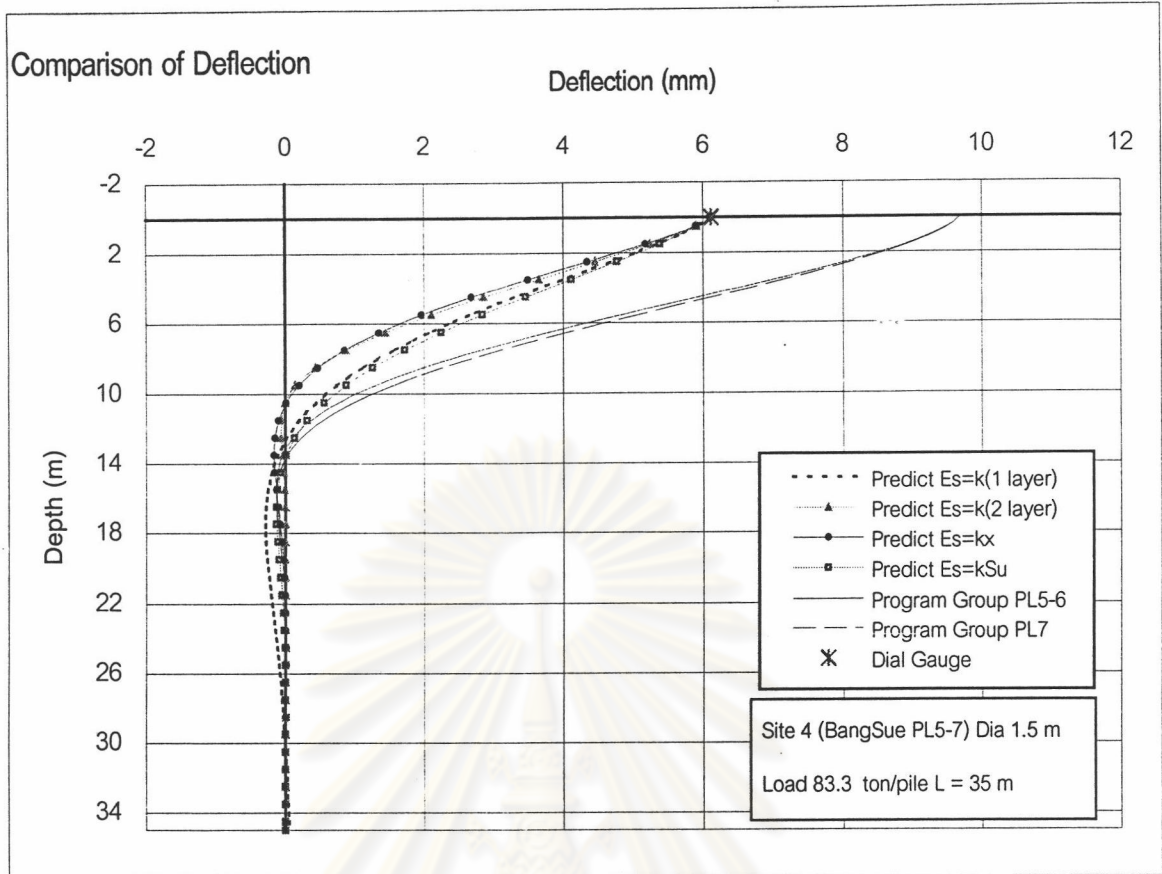
		Pile Group Lateral Load (Ton)						
		100.00	200.00	250.00	300.00	400.00		
Measured Data		Yt (mm)	1.49	4.31	6.12	9.11	22.3	
		Pile Head Slope	-7.00E-05	-2.00E-04	-2.93E-04	-4.30E-04	-8.40E-04	
Analysis	Es = k (1-layer)	Yt (mm)	1.49	4.31	6.12	9.12	22.33	
		M _{max} (ton*m)	-76.0	-158.5	-183.4	-208.4	-305.7	
		Es (Ton/m ²)	Es = 4800	Es = 3120	Es = 2840	Es = 2285	Es = 1140	
	Es = k (2-layer)	Yt (mm)	1.49	4.31	6.12	9.11	22.30	
		M _{max} (ton*m)	-76.0	-166.3	-195.9	-221.5	-328.9	
		Es (Ton/m ²)	Es up = 4800	Es up = 2875	Es up = 2500	Es up = 2140	Es up = 1090	
			Es low = 4800	Es low = 74750	Es low = 215000	Es low = 34240	Es low = 61040	
	Es = kx	Yt (mm)	1.49	4.31	6.13	9.11	22.33	
		M _{max} (ton*m)	-94.0	-177.7	-204.8	-248.7	-344.0	
		Es (Ton/m ²)	Es = 2100 x	Es = 1420 x	Es = 1305 x	Es = 1035 x	Es = 535 x	
	Es = kSu	Yt (mm)	1.49	4.31	6.11	9.11	22.45	
		M _{max} (ton*m)	-69.0	-152.3	-175.4	-201.1	-294.4	
		Es (Ton/m ²)	Es = 1170 Su	Es = 745 Su	Es = 680 Su	Es = 545 Su	Es = 275 Su	
	Group 4.0	Yt (mm)		1.89	6.49	9.70	13.50	22.90
		Pile Head Slope		6.83E-05	1.68E-04	2.23E-04	2.82E-04	4.38E-04
PL5-6		Vt (ton)	34.76	69.62	86.95	103.98	138.63	
		M _{max} (ton*m)	-96.9	-240.6	-322.1	-407.7	-591.2	
		Axial Load (ton)	-31.3	-77.7	-104.0	-131.5	-190.6	
PL7		Vt (ton)	30.4	60.9	76.0	91.3	122.3	
		M _{max} (ton*m)	-88.3	-219.2	-292.6	-371.0	-537.2	
		Axial Load (ton)	62.7	154.9	208.0	264.0	382.3	



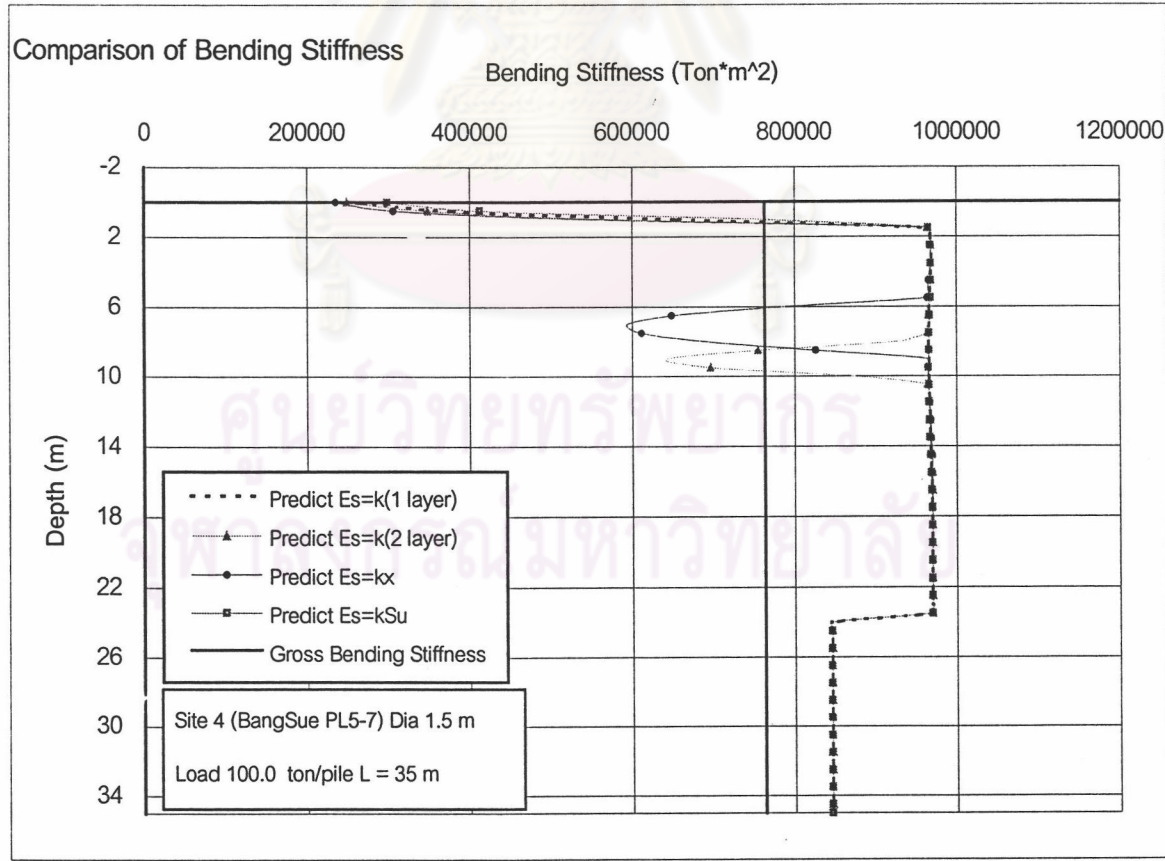
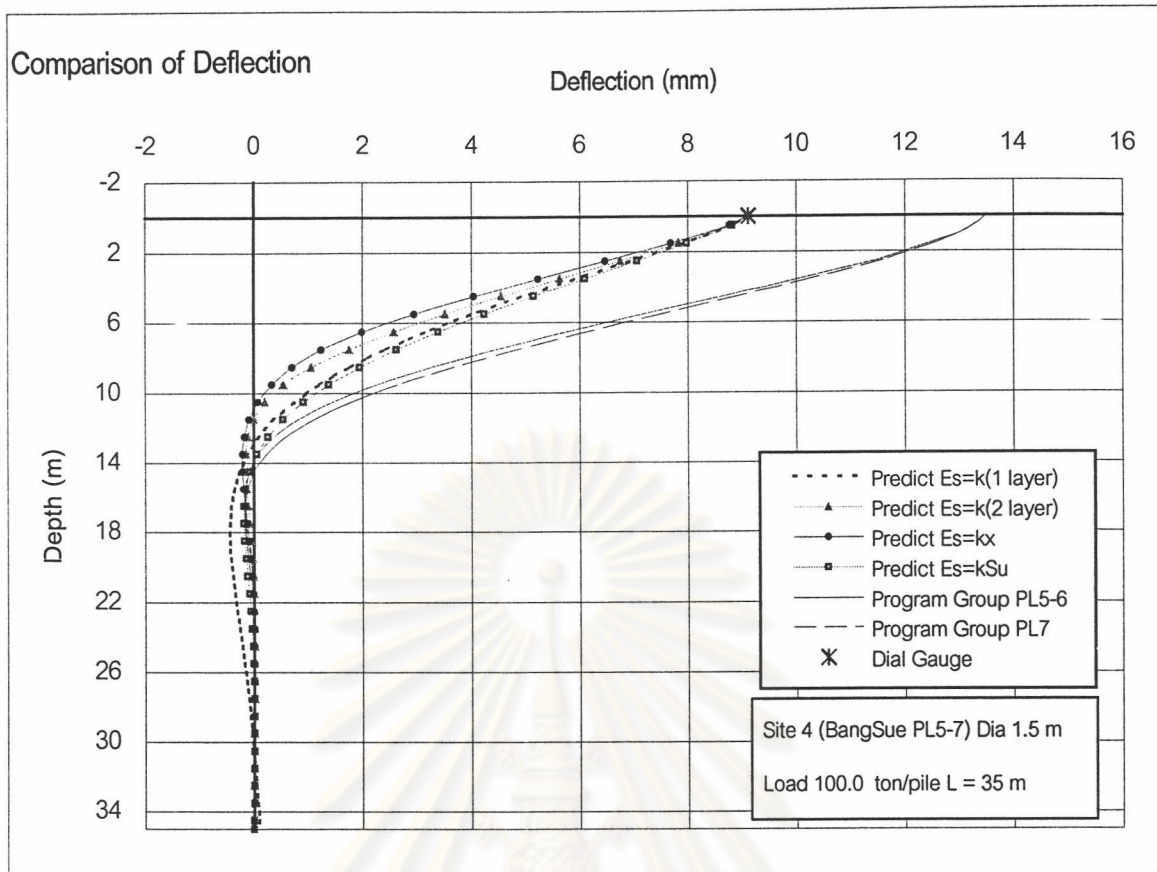
รูปที่ 4.59 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL5 to PL7) Dia 1.5 m at Load 33.3 ton/pile



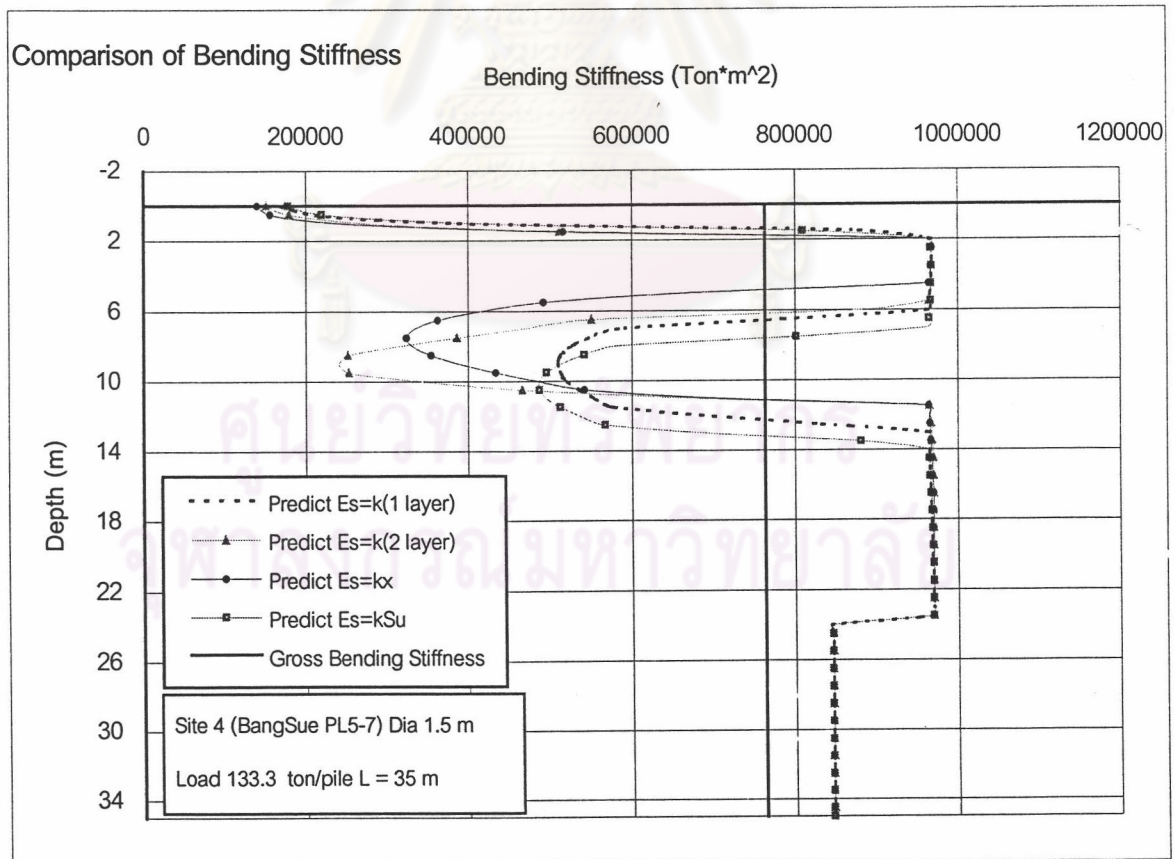
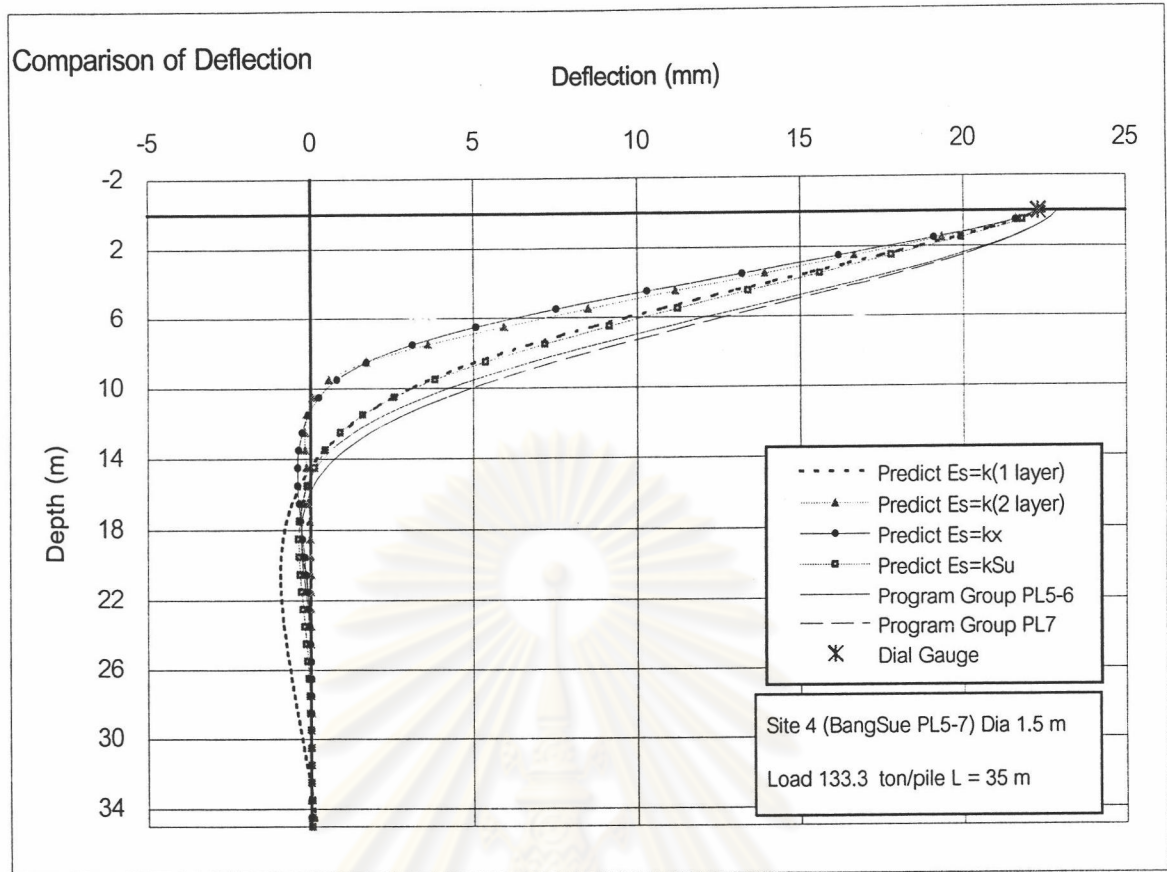
รูปที่ 4.60 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL5 to PL7) Dia 1.5 m at Load 66.7 ton/pile



รูปที่ 4.61 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL5 to PL7) Dia 1.5 m at Load 83.3 ton/pile



รูปที่ 4.62 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL5 to PL7) Dia 1.5 m at Load 100 ton/pile



รูปที่ 4.63 Result of ProgramBEF for Site 4 (BangSue PL5 to PL7) Dia 1.5 m at Load 133.3 ton/pile

4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ผลและข้อเสนอแนะในการออกแบบ

4.2.1 สรุปผลการวิเคราะห์ของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกระทำด้านข้างสำหรับโครงการที่ 1, 2 และ 3

1) ที่ขนาดของแรงกระทำด้านข้างมากพอที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวพอสสมควร (ซึ่งให้ผลที่ได้จาก Inclinomater มีความผิดพลาดน้อยลง) ในโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 การวิเคราะห์กลับด้วยทฤษฎีคานบนฐานรากยึดหยุ่นสำหรับเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกระทำด้านข้างด้วยให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่า Inclinomater (Slope) ที่วัดได้จากการทดสอบในสนาม โดยฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1x + k_2x^2$ ให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในการทดสอบเสาเข็มมากที่สุด, ตามด้วยฟังก์ชัน $E_s = k(2 - \text{layer})$, $E_s = kx$ ก็ให้ผลที่ใกล้เคียงมากเหมือนกัน ส่วนฟังก์ชัน $E_s = k(1 - \text{layer})$ พืดได้แย่ที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันอื่นๆ ทว่าก็ยังให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบในสนาม และฟังก์ชัน $E_s = kSu$ ให้ผลการพืดที่ดีขึ้นกว่าฟังก์ชัน $E_s = k(1 - \text{layer})$ เล็กน้อย

ในโครงการที่ 3 (ห้วยขวาง) เสาเข็มต้น BPL1 ค่า Inclinomater (Slope) บริเวณผิวดินคาดว่าคงเกิดความผิดพลาดขึ้นซึ่งทราบได้จากการเปรียบเทียบกับค่า Slope ที่ได้จาก Tiltmeter ส่งผลให้การพืดด้วยฟังก์ชันต่างๆ ได้ผลที่ไม่ดีที่สุด

2) ผลการวิเคราะห์กลับของทุกโครงการ พบว่าค่า E_s มีค่าลดลงเมื่อแรงกระทำด้านข้างเพิ่มขึ้น

3) จากผลการวิเคราะห์กลับพบว่าค่า Effective Depth (ค่าความลึกที่วัดจากหัวเสาเข็มจนถึงความลึกที่มีค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเป็นศูนย์) มีค่าประมาณ 6D – 8D โดยผู้วิจัยเลือกค่าเป็น 8D เป็นค่า Effective Depth เพื่อใช้เป็นช่วงที่หาค่า Su_{avg}

4) การวิเคราะห์กลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k(1 - \text{layer})$ และ $E_s = k(2 - \text{layer})$, ดินชั้นบนเป็น Soft – Medium Clay ส่วนชั้นล่างจะอยู่ถัดลงไป) ผลการวิเคราะห์กลับพบว่าค่า E_s สำหรับดินชั้นบนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากดินชั้นล่างอยู่ค่อนข้างลึก

5) โครงการที่ 1, โครงการที่ 2 และโครงการที่ 3 (เสาเข็มต้น BPL1) เมื่อนำค่า $E_s = k(1 - \text{layer})$ มาหารด้วยค่า Su เฉลี่ยในช่วง 8D ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับ $E_s = kSu$ เนื่องมาจากค่า Su ในโครงการดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความลึกไม่มาก ส่วนโครงการที่ 3 (ห้วยขวาง) – เสาเข็มต้น BPL2 (Diameter 0.8 m) พบว่าน่าจะมีชั้น Crust หนาประมาณ 2 m ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้ Crust เป็นชั้นแรก ส่วนดินชั้นที่สองให้เป็นดินที่อยู่ลึกลงไปจนถึงปลายเสาเข็ม โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์กลับสำหรับโครงการดังกล่าวกรณี $E_s = k(2 - \text{layer})$ ให้ผลลัพธ์ของค่า E_s / Su_{avg} สำหรับดิน Soft to Medium Clay ต่ำกว่าผลการวิเคราะห์กลับของโครงการที่ 1 และ 2 (Pile Diameter 1.5 m) ดังแสดงในรูปที่ 4.66-4.67

และผลจากชั้น Crust ในโครงการที่ 3 เสาเข็ม BPL2 ทำให้ผลการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน $E_s = kx$ ได้ผลที่ไม่ดี

6) จากผลการวิเคราะห์ที่วิเคราะห์ผลการลดลงของค่า $E_p I_p$ เนื่องจากการเกิดการแตกร้าวในส่วนที่รับแรงดึงของคอนกรีตอันเป็นผลของ Bending Moment พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มที่วัดได้จาก Dial Gauge กับค่าแรงทางด้านข้างที่มากกระทำ จะเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟค่อนข้างชัดเจนเมื่อแรงกระทำด้านข้างมากพอที่ทำให้ค่า $E_p I_p$ มีค่าลดลง

7) การหา Lateral Load ที่ทำให้เกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรก (ลักษณะของการเกิด Local Yield ของดินเป็นครั้งแรกในกรณีเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกระทำทางด้านข้าง จากผลการวิเคราะห์ที่กลับพบว่ามักจะเกิดที่บริเวณผิวดินและเกิดเป็นจุดหรือเป็นแถบแคบๆ ประมาณ 0.1-1 m) ผลที่ได้ที่แสดงในหัวข้อ 4.1 เป็นค่าคร่าวๆ ดังนั้นจึงสรุปแน่ชัดไม่ได้ว่าเสาเข็มที่ใช้ทดสอบในสนามนั้นแท้จริงแล้วเมื่อเพิ่มค่า Lateral Load แล้วจะเกิด Local Yield ของดินก่อนหรือเกิดการลดลงของค่า $E_p I_p$ ก่อน

8) ผลการวิเคราะห์ที่กลับโดยใช้ฟังก์ชัน $E_s = k(1 - \text{layer})$ เมื่อนำมาพล็อตลงในแกน E_s vs Y_t และ E_s/Su_{avg} vs Y_t/D สำหรับทุกโครงการพบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 4.66 – 4.67 ทว่าผลการวิเคราะห์ที่กลับโดยใช้ฟังก์ชัน $E_s = kx$ โครงการที่ 3 (ห้วยขวาง) ให้ค่าที่ไม่ใกล้เคียงกับเสาเข็มต้นอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.68 – 4.69, ส่วนกรณีฟังก์ชัน $E_s = k_0 + k_1 x + k_2 x^2$ ถึงแม้จะได้ผลที่ดีที่สุดกับผลการทดสอบในสนาม ทว่าการนำผลการวิเคราะห์ที่กลับที่ได้ของเสาเข็มต้น R1, R2, L1, L2 ไปพล็อตรวมกันแล้ว พบว่ามีค่าค่อนข้างแตกต่างกันมาก ไม่อาจได้แนวโน้ม

โปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ที่ใช้วิธี p-y curve ให้ผลการวิเคราะห์ที่เป็นที่น่าพอใจ ดังตารางที่ 4.15 Column 14 ซึ่งแสดงค่าความผิดพลาดของการวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มโดยเทียบกับผลการทดสอบในสนาม

4.2.2 สรุปผลการวิเคราะห์ของเสาเข็มเดี่ยวและเสาเข็มกลุ่มรับแรงกระทำด้านข้างสำหรับโครงการที่ 4

หากพิจารณาค่า Pile Head Deflection ของเสาเข็มกลุ่มและเสาเข็มเดี่ยวที่ขนาดของ Lateral Load/Pile เท่ากัน, สภาพดินที่เหมือนกัน เสาเข็มกลุ่มควรที่ได้ค่า Pile Head Deflection ที่มีค่ามากกว่ากรณีที่เป็นเสาเข็มเดี่ยวเนื่องจากผล Shadow Effect (Brown et al., 1988) ทว่าผลการทดสอบในสนามที่โครงการที่ 4 (คลองตัน) กลับได้ผลตรงกันข้าม ดังแสดงในตารางที่ 4.12 – 4.14

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็มเดี่ยว PL1

Single Pile, Site 4 (BangSue PL1) Dia 1.5 m					
Su avg = 3.75 Ton/m ²					
Load/pile	Measured Pile Head Deflection (Yt)	Yt/D	k / (Su avg)		k
			Case Es=k	Case Es=kx	Case Es=kSu
(ton)	(mm)	(%)	(ton/m ²) / (ton/m ²)	(ton/m ³) / (ton/m ²)	(-)
25	2.34	0.156	1007	622	1645
50	7.42	0.495	546	324	855
75	16.98	1.132	367	253	605
100	48.8	3.253	164	112	275
125	95.26	6.351	105	65	175

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็มเดี่ยว PL2

Single Pile, Site 4 (BangSue PL2) Dia 1.5 m					
Su avg = 3.75 Ton/m ²					
Load/pile	Measured Pile Head Deflection (Yt)	Yt/D	k / (Su avg)		k
			Case Es=k	Case Es=kx	Case Es=kSu
(ton)	(mm)	(%)	(ton/m ²) / (ton/m ²)	(ton/m ³) / (ton/m ²)	(-)
25	2.32	0.155	1018	631	1665
50	8.82	0.588	434	261	670
75	19.28	1.285	314	215	515
100	50.43	3.362	159	107	265
125	96.32	6.421	104	64	170

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็มกลุ่มสองต้น PL3 และ PL4

Group 2 Piles, Site 4 (BangSue PL3-4) Dia 1.5 m					
Su avg = 3.4 Ton/m ²					
Load/pile	Measured Pile Head Deflection (Yt)	Yt/D	k / (Su avg)		k
			Case Es=k	Case Es=kx	Case Es=kSu
(ton)	(mm)	(%)	(ton/m ²) / (ton/m ²)	(ton/m ³) / (ton/m ²)	(-)
50	2.99	0.199	989	405	680
100	8.39	0.559	730	329	590
125	13.72	0.915	530	272	435
150	21.61	1.441	414	207	340
200	72.8	4.853	141	59	120

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ห้กลับสำหรับเสาเข็มกลุ่มสามต้น PL5 ถึง PL7

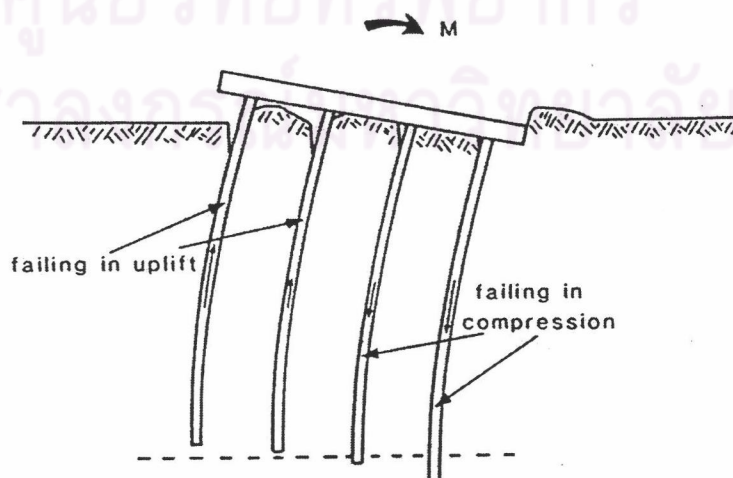
Group 3 Piles, Site 4 (BangSue PL5-7) Dia 1.5 m					
Su avg = 3.4 Ton/m ²					
Load/pile	Measured Pile Head Deflection (Yt)	Yt/D	k / (Su avg)		k
			Case Es=k	Case Es=kx	Case Es=kSu
(ton)	(mm)	(%)	(ton/m ²) / (ton/m ²)	(ton/m ³) / (ton/m ²)	(-)
33.3	1.49	0.099	1410	617	1170
66.6	4.31	0.287	917	417	745
83.3	6.12	0.408	834	383	680
100	9.11	0.607	671	304	545
133.3	22.3	1.487	335	157	275

เพราะการทดสอบเสาเข็มกลุ่มรับแรงทางด้านข้างที่โครงการนี้มี Pile Cap โดยส่งผลให้มีการหมุน, การเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ pile cap และเสาเข็มกลุ่ม ดังรูปที่ 4.65 โดยเสาเข็ม Leading Row รับแรงดึง ส่วนเสาเข็ม Trailing Row จะรับแรงอัด ดังนั้นเสถียรภาพหรือ Displacement ของกลุ่มเสาเข็มที่มีเฉพาะแรงกระทำด้านข้าง นอกจากจะขึ้นอยู่กับ Lateral capacity ของเสาเข็มแล้วยังขึ้นกับ Axial capacity ของเสาเข็มด้วยรวมทั้ง Geometry ของกลุ่มเสาเข็มก็มีผลด้วย ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ Group Reduction Concept ได้โดยจากการวิเคราะห์หักกลับจะได้ค่า Group Reduction Factor เกิน 1 และได้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของกลุ่มเสาเข็มน้อยกว่ากรณีเสาเข็มเดี่ยวดังผลการทดสอบที่แสดงในตารางที่ 4.11 - 4.14 นอกจากนั้นการทดสอบเสาเข็มกลุ่มนี้ไม่ทราบค่าการกระจายของแรงกระทำทางด้านข้างไปยังแต่ละเสาเข็มในกลุ่มด้วย ทำให้ความเชื่อถือในการวิเคราะห์หักกลับลดลงเนื่องจากผู้วิจัยจำเป็นต้องสมมุติว่าเสาเข็มในกลุ่มรับแรงเท่ากันหมด

ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์หักกลับที่แสดงในตารางที่ 4.11 - 4.14 แสดงผลของใช้ฟังก์ชัน $E_s = kSu$, $E_s = k$, $E_s = kx$ ไม่ประสบผลในการหาค่า Group Reduction Factor โดยได้ค่า Group Reduction Factor เกิน 1

ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Group 4.0 (Student Version) ให้ผลที่ติดตั้งแสดงในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 โดยสำหรับกรณีกลุ่มเสาเข็มสองต้นได้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 27.6% (29.77%, 62.1%, 48.69%, 30.96%, -33.52%) และกรณีกลุ่มเสาเข็มสามต้นเฉลี่ยแล้วประมาณ 37.36% (26.85%, 50.58%, 58.5%, 48.19%, 2.69%)

สำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Com624P ในกรณีเสาเข็มเดี่ยว ให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างที่หัวเสาเข็มมากกว่าค่าที่วัดได้ในสนามเฉลี่ยแล้วประมาณ 30.1% (80.34%, 79.25%, 57.83%, -9.84%, -32.4%, 81.9%, 50.79%, 39%, -12.75%, -33.14%)



รูปที่ 4.64 รูปแบบการวิบัติของเสาเข็มกลุ่มที่มี Pile cap ภายใต้แรงกระทำด้านข้าง

4.2.3 ค่า E_s ของเสาเข็มเดี่ยวรับแรงกระทำด้านข้างสำหรับการนำไปใช้ในงานออกแบบ

ผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์หักกลับกรณี $E_s = k$ และ $E_s = kx$ ของทุกโครงการมาพล็อตรวมกันดังแสดงในรูปที่ 4.66 – 4.69 ซึ่งพบว่ากรณี $E_s = k$ ทุกโครงการให้ค่าที่อยู่ในแนวโน้มเดียวกัน ส่วนกรณี $E_s = kx$ มีเพียงโครงการที่ 3 (ห้วยขวาง) เท่านั้นที่มีค่าหลุดแนวโน้มออกไปมาก (ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์หักกลับที่โครงการที่ 3 กรณี $E_s = kx$ พิดกับข้อมูล Inclinator ได้ไม่ดีเท่าที่ควร)

สำหรับวิธีการใช้กราฟรูปที่ 4.67 หรือ 4.69 เริ่มแรกผู้ใช้ต้องหาค่า Su_{avg} ในช่วงความลึก 0 – 8D ของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงปานกลาง จากนั้นสมมุติค่า Y_t / D (%) ที่ต้องการแล้วอ่านค่าจากกราฟได้ค่า E_s / Su_{avg} (ข้อมูลดินค่า Su อาจได้มาจาก Corrected Field Vane หรือ Triaxial UU Test) นำค่าดังกล่าวไปใช้กับชาร์ตไร้มิตติ์ดังแสดงในบทที่ 2 (เช่นรูปที่ 2.4, รูปที่ 2.5) ได้ค่า Y_t ให้ผู้ใช้นำค่า Y_t ที่ได้ไปเช้คกับค่าที่สมมุติไว้อีกครั้งเพื่อความมั่นใจ

อย่างไรก็ตามการนำกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.66 – 4.69 ไปใช้จำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งเหล่านี้ด้วยคือ

- 1) ผลที่ได้ส่วนใหญ่ได้จากผลการทดสอบเสาเข็มเจาะขนาด 1.5 m, % Reinforcement = 1.493% ถึง 2%, Static Loading ในกรุงเทพฯ ซึ่งในช่วง 0 – 8D ดิน Soft – Medium Clay มีค่า PI ~44.9%, LI ~0.748, w ~ 60.4% ได้แนวโน้มอยู่ในแนวเดียวกันสำหรับทุกโครงการที่มีขนาดเสาเข็ม 1.5 m (ข้อมูลต่างๆไปของดินและเสาเข็มได้แสดงสำหรับเสาเข็มเดี่ยวทุกต้นที่ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หักกลับได้แสดงในตารางที่ 4.15)
- 2) E_s จากผลการวิเคราะห์หักกลับเป็นค่า Semi – Empirical กล่าวคือเป็นค่าที่ขึ้นกับ $E_p I_p$, Pile Diameter, Shape of Pile, Soil Type and Soil properties, Load Type (Cyclic or Static or Sustain Loading) ดังนั้นการจะนำกราฟของผู้วิจัยไปใช้งานออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้ด้วย
- 3) ในกรณีที่มีทั้ง Moment, Lateral Load กระทำที่หัวเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก การวิเคราะห์โดยใช้ชาร์ตไร้มิตติ์ต้องใช้ทฤษฎี Superposition ซึ่งทฤษฎีนี้ใช้ได้กับกรณีที่เสาเข็มยังอยู่ในช่วง elastic หรืออยู่ในช่วงที่เสาเข็มยังไม่เกิดการแตกร้าวของคอนกรีตที่ส่วนรับแรงดึง ดังนั้นในการออกแบบจำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องทราบค่า M_{cr} ของเสาเข็ม ซึ่งการคำนวณจะต้องตรวจสอบให้ได้ค่า $M_{max} < M_{cr}$

ในตารางที่ 4.15 ค่า P_{cr} หมายถึงค่า Lateral Load ที่ทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Apply load vs. Pile Head Deflection เริ่ม โ้โค้ง และ Predict P_{cr} หมายถึงช่วงของค่า Lateral Load ที่พบว่าทำให้ $E_p I_p$ ลดลงซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์หักกลับด้วยฟังก์ชัน $E_s = k$ ใน Column 13 – 15 แสดงค่า

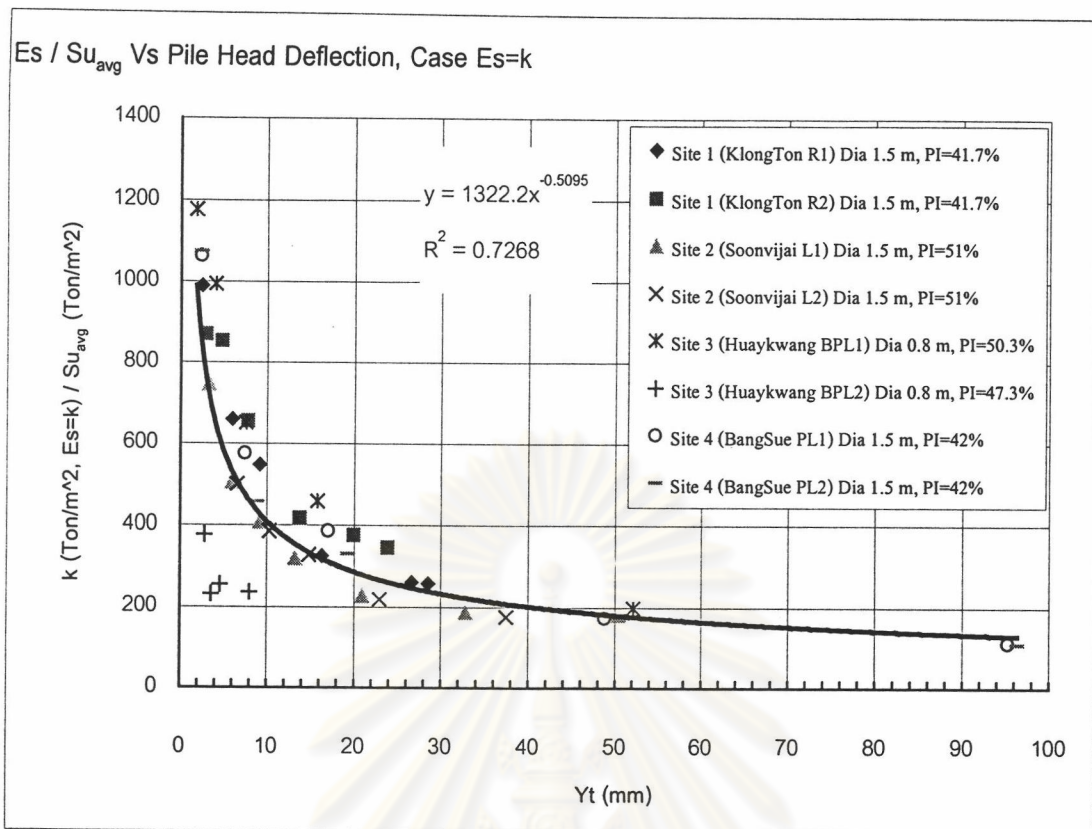
Predict Yt Error ของการวิเคราะห์กลับด้วยโปรแกรมของผู้วิจัยและด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป
Com624P ที่ Lateral Load ต่างๆที่แสดงใน Column 15 ตามลำดับ



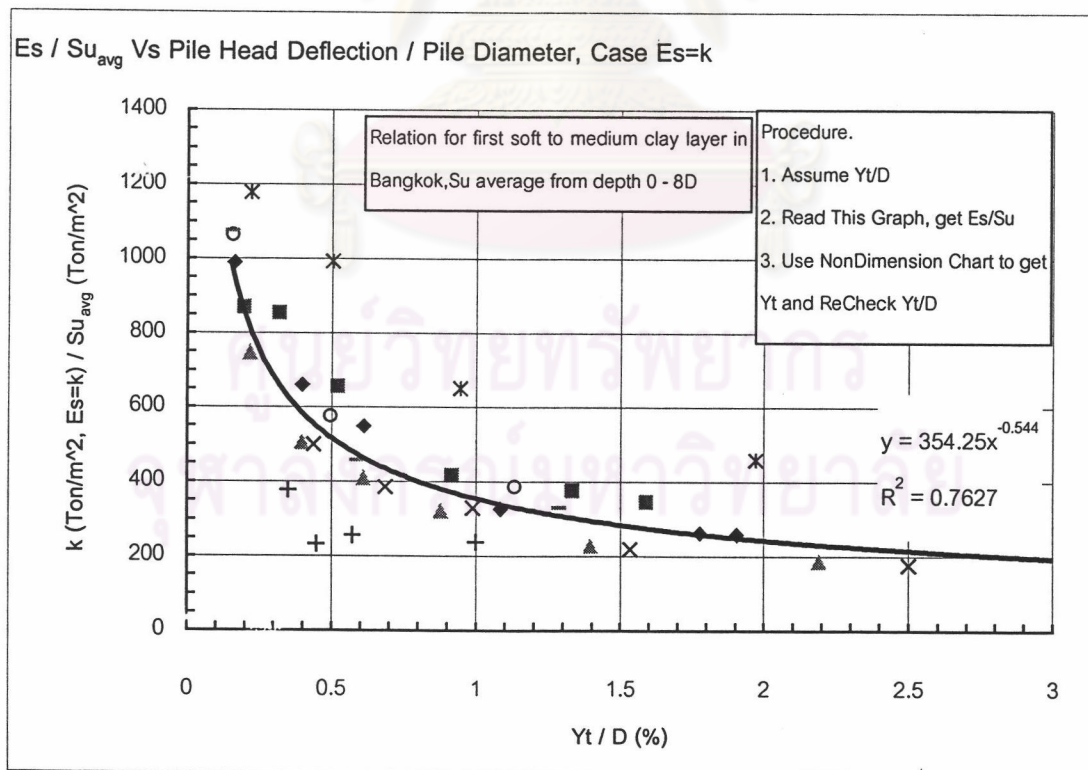
ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลทั่วไปของดิน (ในช่วง 0 – 8D ของดิน Soft to medium clay) และเสาค้ำได้แสดงสำหรับเสาเข็มเดี่ยวทุกต้นที่ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาค่า

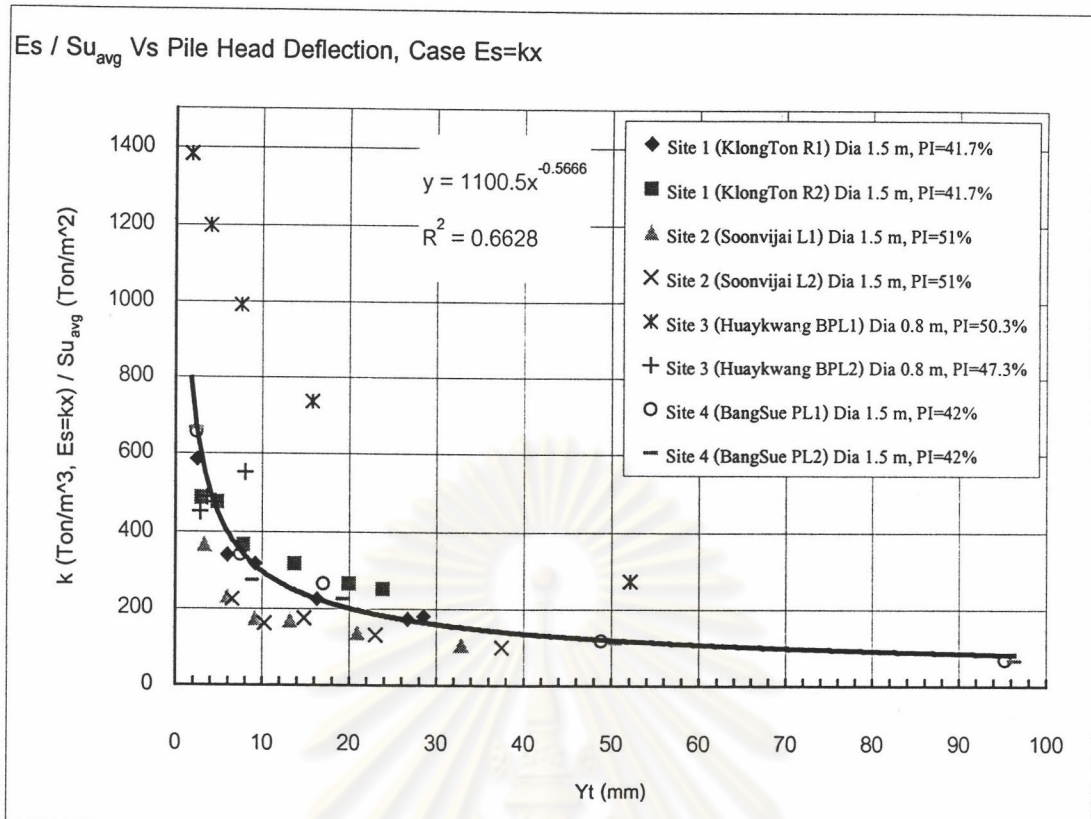
โครงการ	File Name	File Diameter (m)	% Reinforce ment	f _c (ksc)	PI (%)	LI	w (%)	Su avg (ton/m ²)	Soil layer condition	P _{cr} predict (ton)	P _{cr} (ton)	Yt Predict Error = (Yt [Back Analysis] - Measured Yt)/Measured Yt	Yt Predict Error = (Yt [Com624P] - Measured Yt)/Measured Yt	Lateral Load
Site 1 (คลอง ตัน)	R1	1.5	1.493	387	41.7	0.84	68.3	2.51	Soft to medium clay 0 - 13.26 m	40-55	40	3.19%, -0.65%, 6.18%, -1.41%, 1.96%	70.6%, 74.3%, 41.3%, 15.9%, 23.5%	35, 45, 55, 65, 70 ton
	R2			384						42-55	42	6.68%, 2.29%, 2%, -1.99%, -3.36%	113.6%, 106.3%, 67.4%, 64.7%, 48%	
Site 2 (ขอย ศูนย์วิจัย)	L1	1.5	1.493	384	51	0.8	67.3	1.93	Soft to medium clay 0 - 9.67 m	31.14-3	32	-0.04%, 14.34%, 4.85%, 11.82%, 14.77%, 10.22%	17.4%, 33.9%, 20%, 25.1%, -12.3%	16.64, 25.82, 31.14, 39.79, 47.38, 56.3 ton
	L2			386						31.14-3	32	NA., 4.29%, -2.5%, -2.32%, 7.42%, 1%	-3.3%, 21.3%, 6.8%, 11.3%, 5.2%, -23.2%	
Site 4 (คลอง ตัน)	PL1	1.5	2	407.7	42	0.55	45.6	3.55	Soft to medium clay 0 - 11.98 m	50-75	70	-0.04%, -0.05%, 0.01%, 0.34%, -0.21%	80.34%, 79.25%, 57.83%, -9.84%, -32.4%	25, 55, 75, 100, 125 ton
	PL2									50-75	70	0.03%, -0.07%, -0.08%, -0.21%, -0.27%	81.9%, 50.79%, 39%, -12.75%, -33.14%	
Site 3 (หัว ขวาง)	BFL1	0.8	1.172	368	50.3	1.15	93	1.69	Soft to medium clay 0 - 18 m	12-16	15	-0.08%, -3.75%, -3.53%, 3.43%, -7.39%	176.6%, 308%, 264.6%, 210.7%, 64.3%	6, 12, 16, 22, 30 ton
	BFL2									10-15	NA.	-0.06%, 0.11%, 0.15%, -0.02%	-66.4%, -54.4%, -42%, -20.3%	6, 8, 10, 15 ton



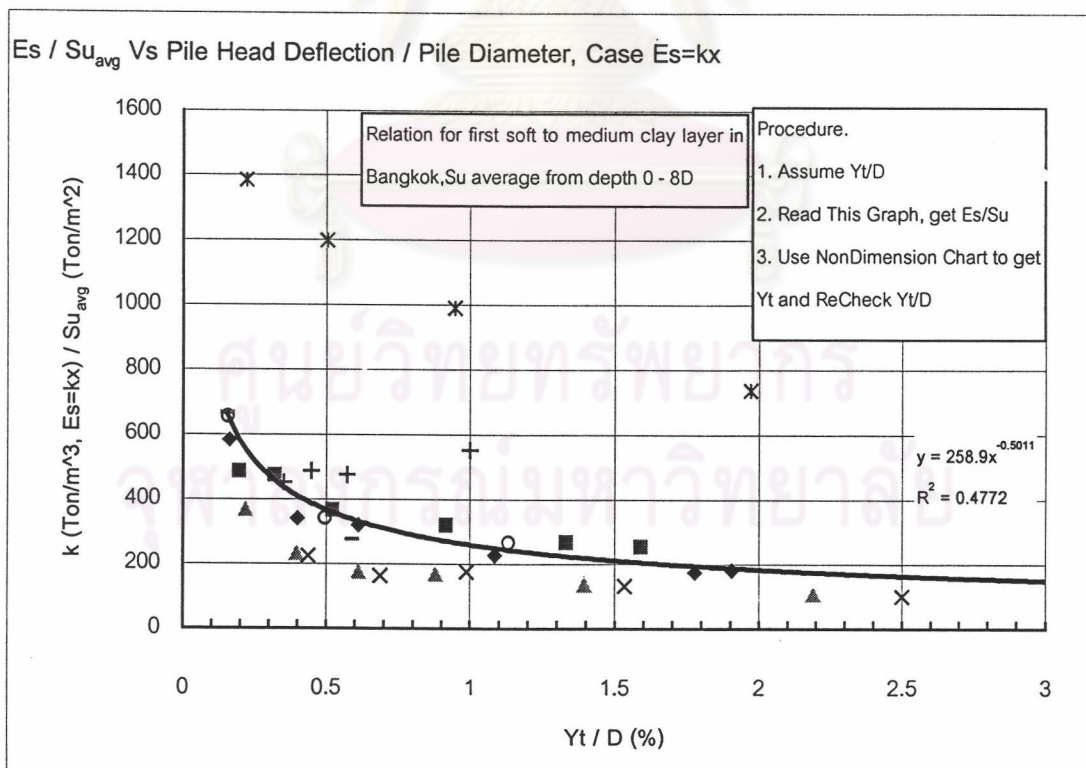
รูปที่ 4.65 Es / Su_{avg} vs. Pile Head Deflection กรณี $Es = k$ สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน - ปานกลางในกรุงเทพฯ



รูปที่ 4.66 Es / Su_{avg} vs. Pile Head Deflection / Pile Diameter กรณี $Es = k$ สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน - ปานกลางในกรุงเทพฯ



รูปที่ 4.67 Es / Su avg vs. Pile Head Deflection กรณี Es = kx สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน - ปานกลางในกรุงเทพฯ

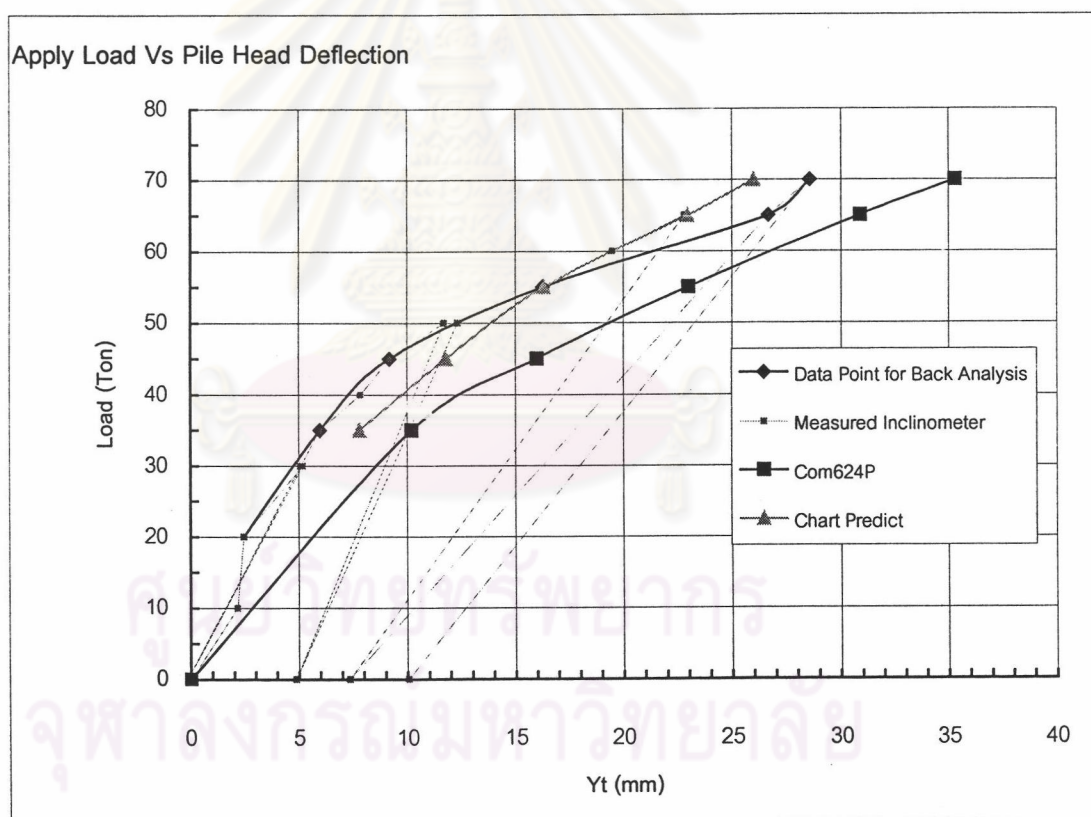


รูปที่ 4.68 Es / Su avg vs. Pile Head Deflection / Pile Diameter กรณี Es = kx สำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน - ปานกลางในกรุงเทพฯ

4.2.3.1 ตัวอย่างการนำกราฟไปใช้งาน

ข้อมูลที่ใช้อ้างอิงในการแสดงตัวอย่างการนำกราฟในรูปที่ 4.67 (กรณี $E_s = k$) ไปใช้งานนั้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลโครงการที่ 1 (คลองตัน) เสาเข็ม R1 ซึ่งมีข้อมูลคือ Pile Diameter (D) = 1.5 m, Pile Length (L) = 46.1 m, Gross $E_p I_p = 743566.2 \text{ ton} \cdot \text{m}^2$ (ใช้ $I_p = \pi D^4 / 64$ นั่นคือเป็นการหาค่า $E_p I_p$ โดยไม่คำนึงถึงเหล็กเสริมในเสาเข็ม), $S_u \text{ avg}$ ของดิน Soft-Medium clay ในช่วงความลึก 8D มีค่าเท่ากับ 2.51 ton/m^2

สำหรับการคำนวณต้องใช้ชาร์ตไร้มิติของ Davisson and Gill, 1963 (กรณี $E_s = k$) ดังรูปที่ 2.7 และใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่ากลับของผู้วิจัยดังรูปที่ 4.67 (รายละเอียดการคำนวณ ผู้วิจัยได้แสดงในภาคผนวก) โดยผลการวิเคราะห์หาค่า Y_t ได้แสดงในรูปที่ 4.70 (เส้นกราฟ Chart Predict)



รูปที่ 4.69 แสดงผลการคำนวณด้วยชาร์ตไร้มิติของ Davisson and Gill, 1963 (กรณี $E_s = k$) โดยใช้พารามิเตอร์ E_s ที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่ากลับของผู้วิจัย

รูปที่ 4.70 (เส้นกราฟ Chart Predict) แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ Lateral Load < P_{cr} ผลการคำนวณจะได้ค่า Y_t (predict) > Y_t (Measured) และช่วงที่ Lateral Load > P_{cr} การคำนวณจะได้ค่า Y_t (predict) < Y_t (Measured) เนื่องจากการคำนวณโดยใช้ชาร์ตไว้มิติที่ทุกขนาดของ Lateral Load ผู้วิจัยใช้ $E_p I_p = \text{Gross } E_p I_p$ ซึ่งค่า $E_p I_p$ ที่เกิดขึ้นจริงในขณะการทดสอบเสาเข็มมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ อีกทั้งค่า $E_s / (Su \text{ avg})$ ในรูปที่ 4.16 ได้จากการวิเคราะห์หักกลับของผู้วิจัยที่พิจารณาการลดลงของค่า $E_p I_p$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย