

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรม

### การทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

ในการคำนวณออกแบบฐานรากภายใต้ของการเก็บตัวอย่างของชั้นดินมาทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมย่อมเป็นการสิ้นเปลือง นอกจากนั้นยังเป็นปัญหาว่าที่ผลลัพธ์ของการทดสอบดิน สามารถแทนลักษณะของชั้นดินฐานรากด้วยความมากนักน้อยเพียงใด ดังนั้นการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตามสภาพแท้จริงในสนามจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยเฉพาะอาคารขนาดใหญ่ที่มีเสาเข็มจำนวนมากรองรับ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขและปรับปรุงแบบให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ในการทดสอบเสาเข็มคือ

1. เพื่อหาค่าน้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate Load) ของเสาเข็มที่สามารถรับได้
2. เพื่อตรวจสอบค่าที่คำนวณได้จากสูตรทางสถิตศาสตร์ (Static Formula) หรือสูตรทางพลศาสตร์
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม
4. เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างเสาเข็ม

### วิธีการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มโดยใช้น้ำหนักบรรทุกในสนามนั้นควรกระทำหลังจากเสร็จสิ้นการติดตั้งเสาเข็มแล้วไม่ต่ำกว่า 30- 90 วัน (บุญเทพ,2539) หรืออย่างน้อย 3-30 วัน (ASTM D 3689-83) เพื่อให้ดินโดยรอบเสาเข็มคืนสภาพความแข็งแรงเสียก่อน วิธีการทดสอบเสาเข็มตามมาตรฐาน ASTM D-1143 ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้

1. Slow Maintained Load Test การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำเป็นขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนของปริมาณน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มรองรับจะคงสภาพด้วยระยะเวลาหนึ่งจนกว่าการทรุดตัวของเสาเข็มที่เกิดขึ้นน้อย จึงจะเพิ่มปริมาณน้ำหนักบรรทุกให้สูงขึ้นที่ละขั้นตอนๆ ละ 25% - 200% ของน้ำหนักที่ออกแบบไว้ โดยการเพิ่มน้ำหนักในแต่ละขั้นตอนจะกระทำได้ก็ต่อเมื่ออัตราการทรุดตัวไม่มากกว่า 0.30 มม. ต่อชั่วโมง แต่เวลาของการบรรทุกน้ำหนักในแต่ละขั้นต้องไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ยกเว้นน้ำหนักบรรทุกขั้นสุดท้ายต้องคงสภาพไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ส่วนการ

ลดน้ำหนักบรรทุกก็ดำเนินการเป็นชั้นๆ ไม่เกิน 25% ของน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยทุกๆ 1 ชั่วโมง และอ่านค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม

2. Constant Rate of Penetration Test เป็นวิธีการทดสอบเสาเข็มที่มีการพัฒนาขึ้นมาสำหรับค่าน้ำหนักบรรทุกทุกละชั้น (Ultimate Capacity) โดยเฉพาะวิธีนี้เสาเข็มจะเป็นเครื่องมือการทดสอบชั้นดินและการทรุดตัวของเสาเข็ม ได้กำหนดให้คงค้ำน้ำหนักไว้ให้อัตรา 0.25-1.27 มม./นาทิตั้งแต่ดินที่เป็น Cohesive, และ 0.76-2.5 มม./นาทิตั้งแต่ดินที่เป็น Granular ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบแต่ละครั้งไม่เกิน 2-3 ชั่วโมง

3. Cyclic Load Test โดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทีละชั้นจาก 25% จนถึง 200% ของน้ำหนักปลอดภัยที่ยอมให้หรือน้ำหนักที่ออกแบบไว้ โดยน้ำหนักแรงสุดให้ทำตามวิธีของ Slow Maintain Load Test ที่บรรทุก 50 , 100 และ 150% ของน้ำหนักที่ออกแบบ ให้ทิ้งน้ำหนักไว้ 1 ชั่วโมงแล้วถอนน้ำหนักส่วนที่เพิ่มนั้นออกและกลับไปน้ำหนักบรรทุกเดิมก่อนหน้านั้น จากนั้นทิ้งไว้ 20 นาที เพิ่มน้ำหนักอื่นอีกต่อไป และทำตามการทดสอบตามวิธี Slow Maintain Load Test

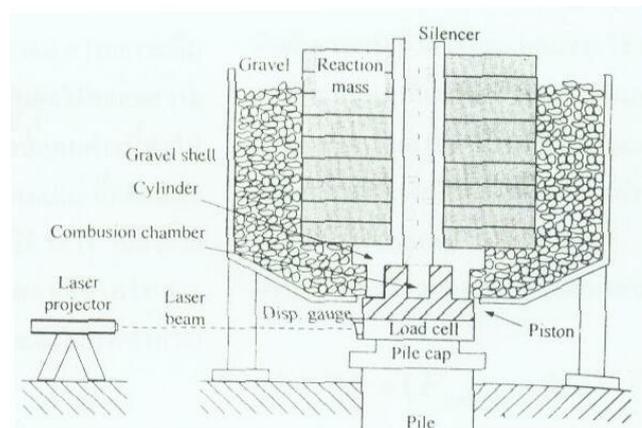
4. Quick Load Test การทดสอบแบบนี้จะใช้ทดสอบเสาเข็มเพื่อต้องการทราบถึงการรับน้ำหนักสูงสุดที่เสาเข็มสามารถรับได้ อีกทั้งยังสามารถทราบผลได้รวดเร็ว ซึ่งสามารถทำเร็วกว่าทุกแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึง 2-2.5 เท่า โดยวิธีการทดสอบแบบนี้จะคล้ายกับวิธีการทดสอบเสาเข็มแบบ CRP Test ซึ่ง Texas Highway Department ได้ดัดแปลงมาจากวิธีการทดสอบแบบ CRP Test และการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจะเพิ่มขึ้น 5 หรือ 10 ตัน แล้วบันทึกระยะทรุดตัวของเสาเข็ม น้ำหนักที่ใช้ทดสอบและข้อมูลอื่นๆ ทั้งที่ก่อนและหลังการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกบนเสาเข็ม ส่วนการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกในแต่ละครั้งจะคงที่ไว้ 2.5 นาที แล้วจึงเพิ่มน้ำหนักบนเสาเข็มใหม่

5. Method of Equilibrium เป็นการทดสอบเสาเข็มที่รวดเร็วซึ่งจะใช้เวลาในการทดสอบประมาณหนึ่งในสามของการทดสอบเสาเข็มแบบ Slow Maintain Load Test โดยที่ Mohanetal (1967) เป็นผู้ที่นำมาทดสอบและยังไม่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐานไว้ใน ASTM สามารถทำการทดสอบได้โดยเพิ่มน้ำหนักในแต่ละช่วงๆ ละประมาณ 20% ของน้ำหนักปลอดภัย หรือประมาณ 10% ของน้ำหนักบรรทุกทุกละชั้น โดยใช้เวลาในการเพิ่มน้ำหนักแต่ละครั้งประมาณ 3-5 นาที เมื่อถึงน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการแล้วให้กดด้วยน้ำหนักคงที่เป็นเวลา 5 นาที หรือ 10-15 นาที สำหรับ

น้ำหนักบรรทุกที่มีค่ามากๆ จากนั้นปล่อยให้น้ำหนักลดลงตามระยะการจมของเสาเข็ม จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล หลังจากนั้นให้เพิ่มน้ำหนักอื่นๆ ต่อไปจนถึงน้ำหนักสูงสุด

6. Dynamic Pile Load Test การทดสอบเพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกและพฤติกรรมของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ โดยการเริ่มต้นพัฒนาและทดลองใช้งานในเสาเข็มตอก (Driven Pile) เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมักไม่มีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์ในการทดสอบ โดยเฉพาะค้ำทดสอบและเครื่องก้านที่มีอยู่เป็นปกติอยู่แล้วสำหรับเสาเข็มตอก วิธีการทดสอบนั้นจะอาศัยหลักการทำการทดสอบเสาเข็มโดยวิธีทางพลศาสตร์ เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีคลื่นในแท่งโลหะ โดยจะมีการวัดค่าแรงและความเร็วจากสัญญาณสะท้อนคลื่นความเค้น ขณะที่มีการกระแทกของค้ำเหล็กจาก Strain Transducers และ Accelerometers ที่ติดตั้งไว้ที่หัวเสาเข็ม ปัญหาที่สำคัญที่สุดในการทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ ที่เกิดขึ้นในเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่คือจะทำอย่างไรให้เสาเข็มทดสอบซึ่งมักมีขนาดใหญ่และความยาวมากเคลื่อนตัว (ทรุดตัว) จากแรงกระแทกของค้ำทดสอบในระยะที่มากเพียงพอที่เสาเข็มดังกล่าวจะพัฒนาแรงต้านทานถึงจุดสูงสุด (Fully Mobilize of Resistance Capacity) หรืออย่างน้อยถึงค่าแรงต้านทานที่ต้องการ และเป็นที่ยอมรับว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวที่ประเมินได้จากการทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ไม่ใช่ค่าที่วัดได้จริงจากการทดสอบ เหมือนการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก แต่อาศัยการจำลอง (Simulation) โดยใช้ข้อมูลตัวแปร Stiffness ที่วิเคราะห์ได้จาก Sign Matching Program ความถูกต้องของผลการทดสอบดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของตัวแปร และประสบการณ์ของวิศวกรธรณีเทคนิคที่วิเคราะห์ผล

7. Statnamic Pile Load Test วิธีการทดสอบแบบ Statnamic ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในประเทศแคนาดาและได้รับความสนใจจากนักวิจัยของประเทศต่างๆ ในการทดสอบนั้นจะใช้แรงอัดอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของวัตถุไวไฟจำลองน้ำหนักบรรทุกลงบนหัวเสาเข็ม ชุดของอุปกรณ์ทดสอบจะคล้ายกับระบบลูกสูบ เมื่อมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ลูกสูบจะอัดลงบนหัวเสาเข็มในขณะที่ห้องเครื่องดันแท่งน้ำหนักต้านทานขึ้นในแนวตั้ง อุปกรณ์ใช้ในการทดสอบนั้นประกอบด้วย ห้องเผาไหม้, แท่งน้ำหนัก, ลูกสูบ, อุปกรณ์วัดน้ำหนัก, การทรุดตัว และอัตราเร่ง นอกจากนี้ยังมีชุดของอุปกรณ์ที่ช่วยรองรับการกระแทกของแท่งน้ำหนักภายหลังการทดสอบอันประกอบไปด้วย โครงเหล็กและกรวด ดังแสดงในภาพที่ ก1 ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบประกอบด้วย ช่วงของการติดตั้ง, ขณะทำการเผาไหม้, ช่วงของการตกของน้ำหนักต้าน



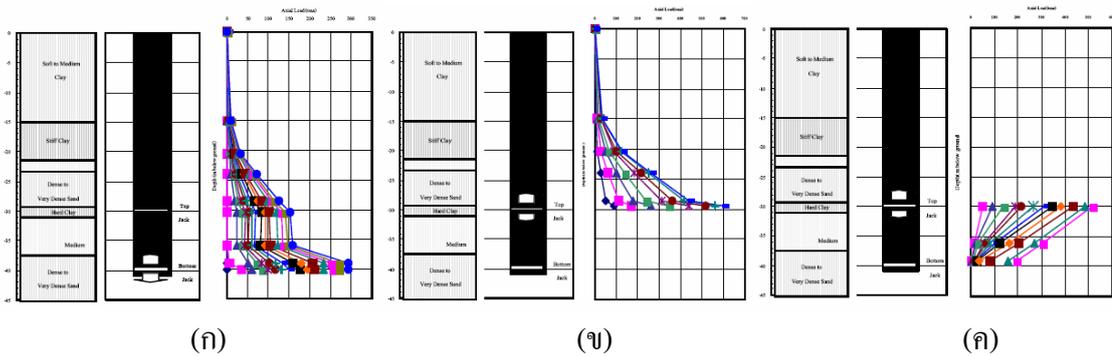
ภาพผนวกที่ ก1 แสดงรูปตัดของเครื่องมือทดสอบแบบ Statnamic

ที่มา : ฐิรวัตร (2545)

การทดสอบแบบ Statnamic จะมีลักษณะคล้ายกับเสาเข็มที่มีการทดสอบโดยวิธีสถิต (Static Load test) และยังสามารถทดสอบเสาเข็มที่มีแรงต้านทานสูงได้และโดยไม่ต้องใช้เสาเข็มยึดหรือน้ำหนักแบกทับสูง เนื่องจากน้ำหนักด้านที่ต้องการในการทดสอบวิธีนี้มีค่าเพียง 1/20 ของน้ำหนักทดสอบและไม่ทำให้เกิดคลื่นความเค้นดึงจากการกระทบแบบวิธีพลศาสตร์ด้วย

8. Bi – Directional Static Load Test หรือ O – Cell Method เป็นการทดสอบเสาเข็มวิธีหนึ่งได้นำเสนอโดย Osterberg (1998) โดยการติดตั้ง Hydraulic Jack ที่ปลายและกลางเสาเข็ม จากนั้นเพิ่มกำลังเพิ่มกำลังของ Hydraulic Jack จะทำให้เกิดการดันขึ้นของเสาเข็มและแรงกดลงที่ปลายเสาเข็ม โดยไม่ต้องใช้ Overhead Reaction Frame จากผลการทดสอบที่ได้สามารถแยกค่าแรงเสียดทานรอบผิวเสาเข็ม (Skin Friction) ออกจากค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing) ได้

โดยวิธีการทดสอบด้วยวิธี Bi – Directional Static Load Test คือ การอัดแรงที่ Hydraulic Jack ตัวล่างสุด ดังแสดงในภาพที่ ก2 (ก) แล้วทำการอัดแรงของ Hydraulic Jack ตัวกลางโดยการ Fix ส่วนบน ดังแสดงในภาพที่ ก2 (ข) จากนั้นทำการอัดแรงของ Hydraulic Jack ตัวกลางโดยการ Fix ส่วนล่างแล้วทำการอัดแรงขึ้นข้างบน ดังแสดงในภาพที่ ก2 (ค) จากการรวมแรงของทั้ง 3 กรณี จะทำให้ได้ผลจากแรงกระทำของเสาเข็มในลักษณะของแรงในแนวแกน (Axial Force) จากการทดสอบทำให้สามารถแยกค่าระหว่างแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มกับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มได้



ภาพผนวกที่ ก2 แสดงลักษณะแรง Axial Force ของการอัดแรงของ Hydraulic Jack ทั้ง 3 กรณี  
ที่มา : สาคเรศ (2546)

Seah (2545) ได้แนะนำการเปรียบเทียบลักษณะของชนิดวิธีการทดสอบ ระยะเวลาในการทดสอบน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะไว้ดังตารางผนวกที่ ก1

ตารางผนวกที่ ก1 ลักษณะการเปรียบเทียบลักษณะของชนิดวิธีการทดสอบ

No.	Type of Pile Load Test	Testing Limitation	Testing Duration	Interpretation	General Comments
1	Conventional Static Load	Max.Cap:4,200t for 1.8m.and 2m.dia.Pile	3-5 days	Straight-forward:load vs Settlement	1. Simple Interpretation-generally accepted 2. Best for Pilot Pile load test
2	Dynamic Pile Load	Hammer:40t for 1.8m.dia Max.Drop:2-3m.	0.5 day	Initial result on site and details by further interpretation	1. Simple test but needs correlation 2. Suitable on working piles and problem piles
3	Statnamic Pile Load	Dead wt.:5% of ultimate load for 1.8 m.and 2 m.dia.Pile	0.5 day	Initial result on site and details by further interpretation	1. Limited correlation, hence comparison required 2. Need some established specifications
4	Osterberg Cell	O-cell->1,260t. for 1.8 m.and 2 m.dia Pile	2-3 day	Initial result on site and details required further interpretation	1. Difficult to reach ultimate, extrapolation require 2. Different loading direction, hence may yield different results

ที่มา : Seah (2545)

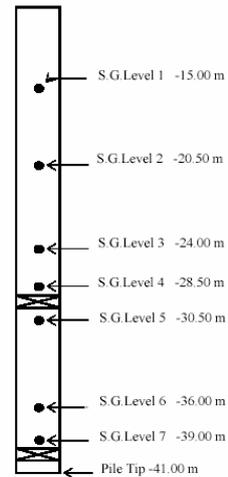
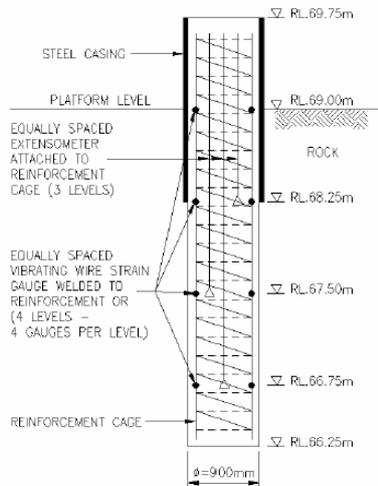
### เครื่องมือวัดพฤติกรรมของเสาเข็ม

เพื่อให้ได้ผลการทดสอบและวิเคราะห์เสาเข็มที่ดีที่สุด จึงมีการติดตั้งเครื่องมือต่างๆ ในหลายตำแหน่งเสาเข็มทดสอบ ซึ่งการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวทำให้ทราบถึงลักษณะการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็มที่ระดับความลึกต่างๆ ตลอดความยาวเสาเข็มและสามารถนำไปคำนวณกลับหาค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มและแรงเสียดทานที่ผิวที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความยาวเสาเข็ม

1. Load Cell เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดการถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงไปสู่ชั้นดิน ในลักษณะความลึกแตกต่างกันได้โดยตรง และหาค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Osterberg, 1998) จากวิธีการทดสอบ โดยวิธี Bi-Directional Load Test

2. Telltale Extensometer Rods การติดตั้งท่อใส่แกนเหล็กเส้นหยั่งปลายเสาเข็ม เพื่อใช้ในการวัดการยืดหดตัว (Elastic Shortening) ของเสาเข็มขณะรับน้ำหนักและวัดค่าการทรุดตัวของปลายเสาเข็มในแต่ละขั้นตอนของการทดสอบ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ๓

3. Vibrating Wire Strain Gauges (VWSG) เป็นเครื่องมือวัดความเครียดในเสาเข็มและนำมาใช้คำนวณหาหน่วยแรงเสียดทานที่ผิวและหน่วยแรงต้านทานของเสาเข็ม สำหรับงานทดสอบเสาเข็มเจาะโครงการใหญ่ๆ ในปัจจุบันมักนิยมนำมาติดตั้ง ดังแสดงตำแหน่งในการติดตั้งดังภาพผนวกที่ ๓ ผลความเครียดที่ได้จาก VWSG ต้องนำมาเปลี่ยนเป็นค่าแรง โดยคูณกับค่า Pile Stiffness ซึ่งมีความสำคัญต่อผลการวิเคราะห์มาก



ภาพผนวกที่ ก3 แสดงตำแหน่ง Telltale Rods  
ที่มา : Fellenius (1999)

ภาพผนวกที่ ก4 แสดงตำแหน่ง Strain Gauges  
ที่มา : สาครเศรษฐ (2546)

Fellenius (1989) สมมุติความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของเสาเข็มทดสอบเป็นสมการกำลังสอง ซึ่งในการพิสูจน์ความสัมพันธ์ของสมการให้พิจารณากรณีที่เสาเข็มไม่มีแรงเสียดทานที่ผิวก่อนคือ

สมการของ Tangent Modulus x  $A_p$  เป็น

$$M \times A_p = (d\sigma/d\varepsilon) \times A_p = D\varepsilon + C \tag{1}$$

ซึ่งสามารถ Integrated เป็น

$$\sigma \times A_p = 0.5D \varepsilon^2 + C\varepsilon \tag{2}$$

อย่างไรก็ตาม

$$\sigma = E_s \times \varepsilon \tag{3}$$

ดังนั้น

$$P = (E_s \times A_p) \varepsilon = (0.5D\varepsilon + C) \varepsilon \tag{4}$$

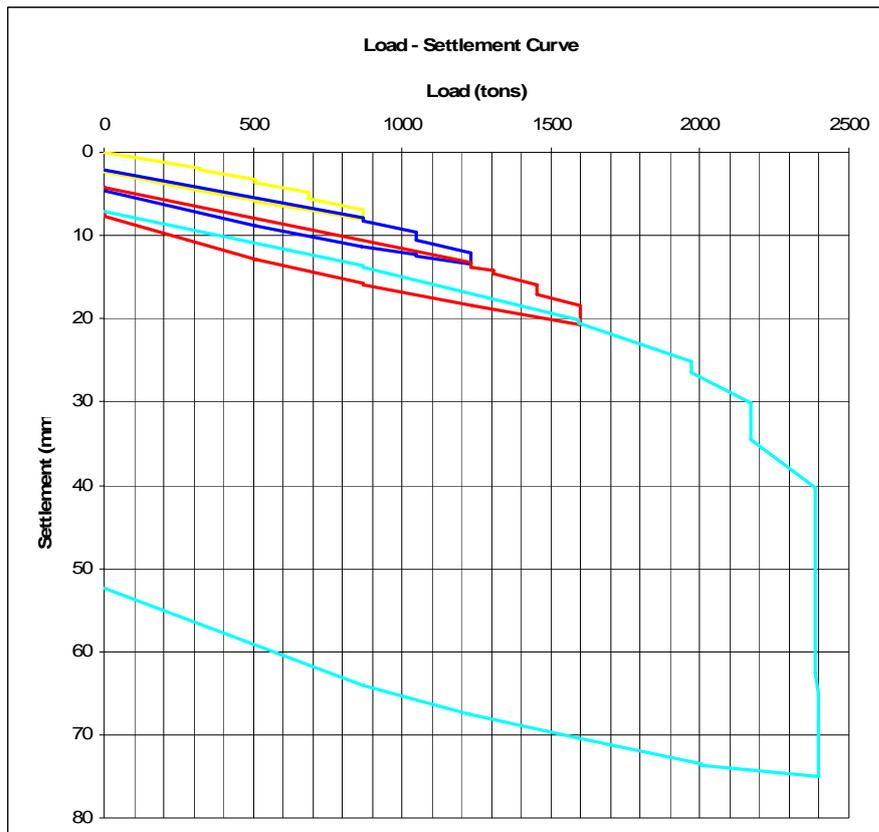
โดยที่

$M$	=	Tangent Modulus ของวัสดุเสาเข็มประกอบ
$E_s$	=	Secant Modulus ของวัสดุเสาเข็มประกอบ
$D$	=	ความชันของเส้น Tangent Modulus
$\mathcal{E}$	=	ค่าความเครียดจากการวัด
$P$	=	น้ำหนักบรรทุก
$A_p$	=	พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
$C$	=	ค่าในแนวตั้งของเส้น Tangent Modulus

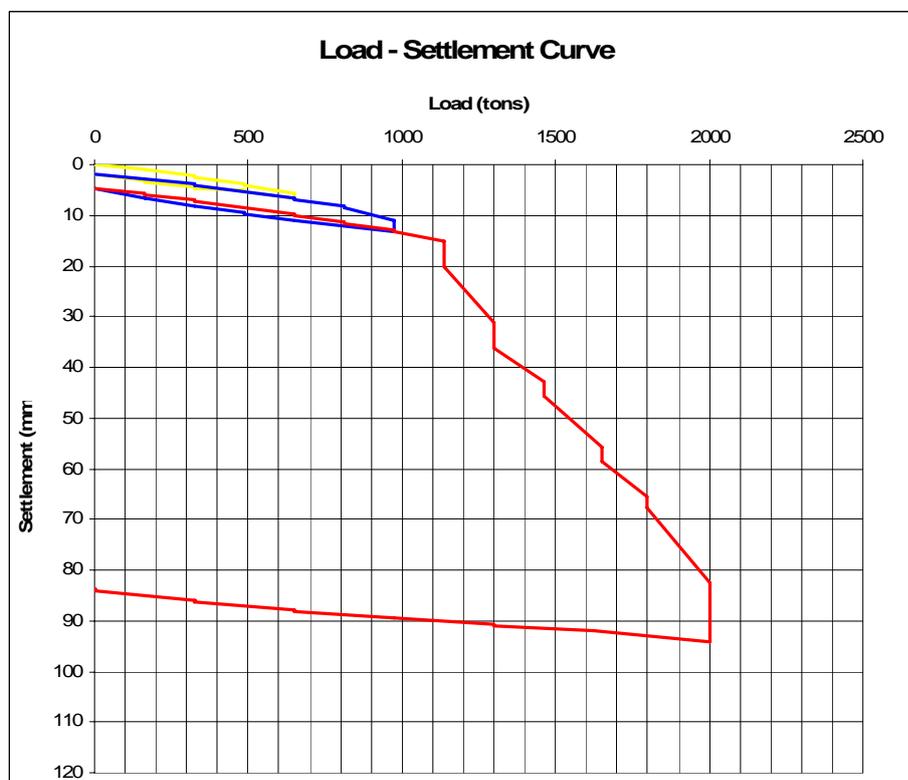
หลักการของ Fellenius คือ เมื่อแรงเสียดทานที่ผิวที่เกิดขึ้นเหนือตำแหน่งติดตั้ง VWSG ที่พิจารณา มีค่าการพัฒนาเต็ม (Full Mobilized) ตัวเสาเข็มเองก็มีลักษณะเหมือนกับ Free-Standing Column และกราฟที่สัมพันธ์กับความเครียดจะลู่เข้าสู่เส้นตรง โดยหลังจากพิศมการของเส้นตรงที่ลู่เข้านี้ก็จะสามารถทราบค่า  $E_s \times A_p$  ของหน้าตัดเสาเข็มที่ตำแหน่ง VWSG ที่พิจารณาได้ และสามารถนำค่าไปคำนวณค่าแรงตามสมการ

ภาคผนวก ข

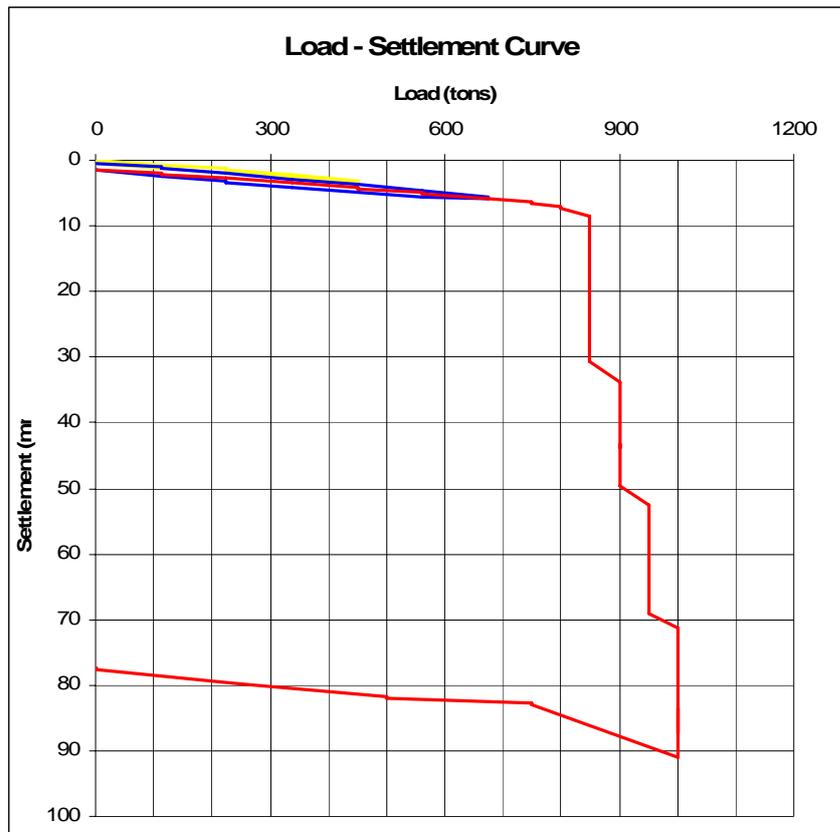
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มทดสอบ



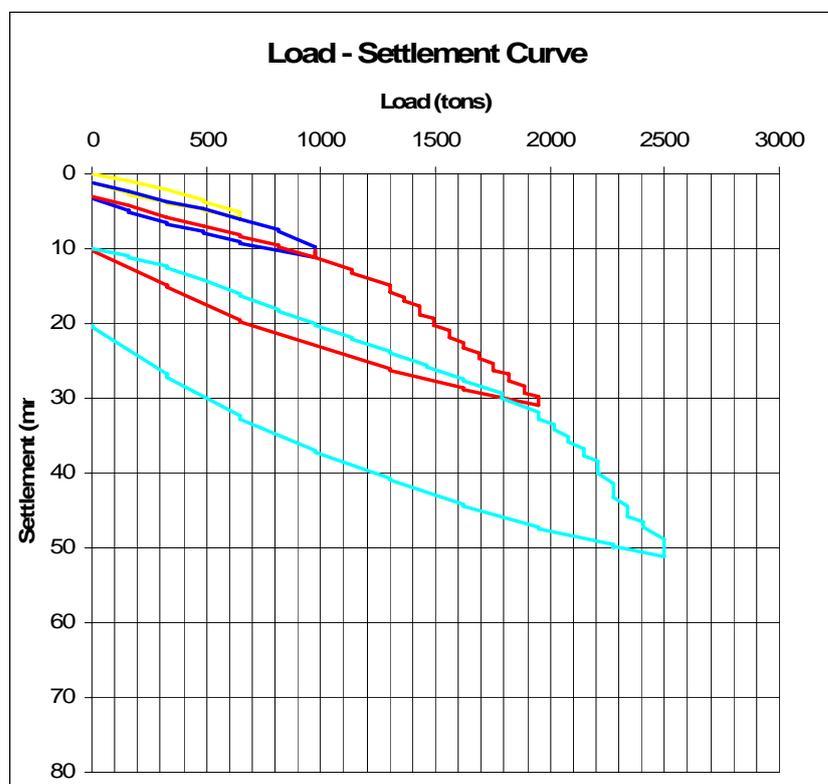
ภาพผนวกที่ ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P1



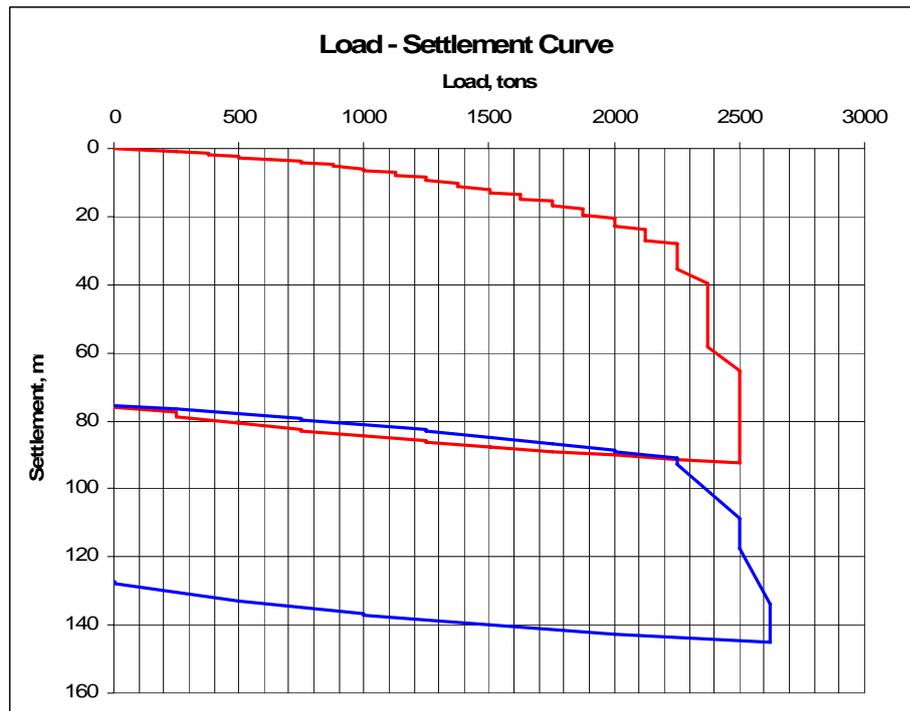
ภาพผนวกที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P2



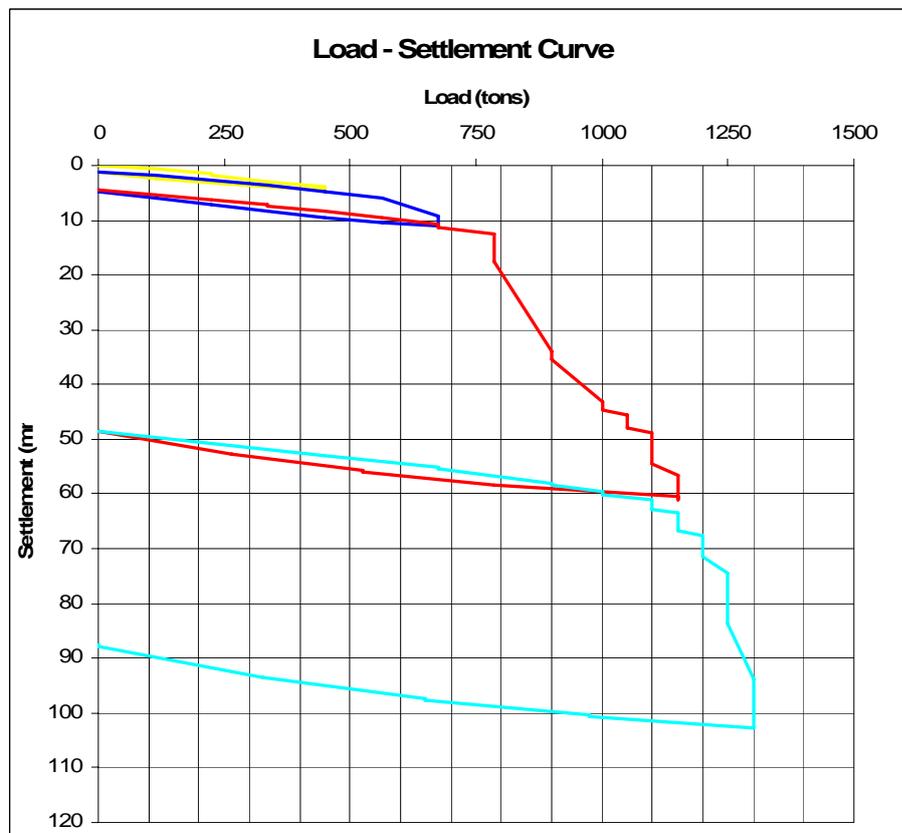
ภาพผนวกที่ ข3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P3



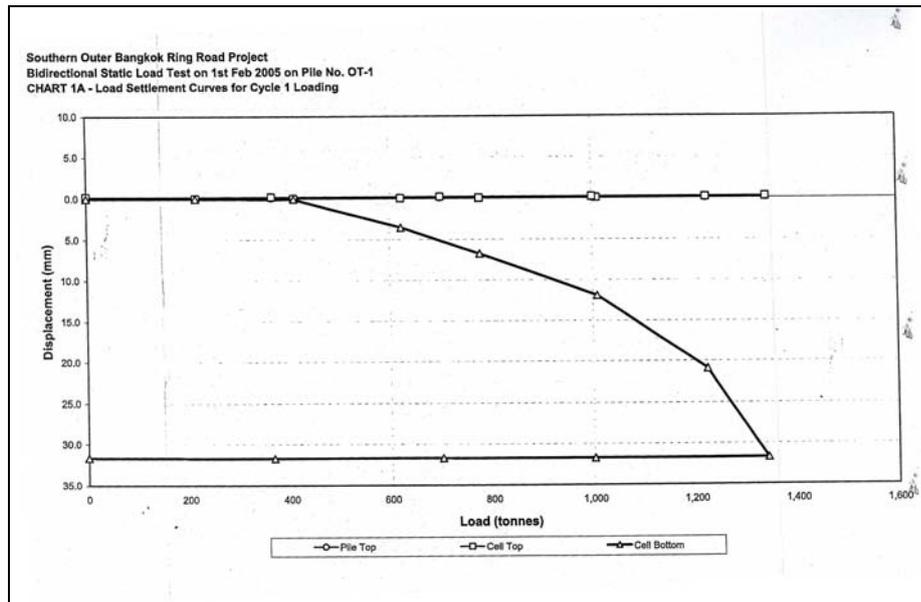
ภาพผนวกที่ ข4 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P4



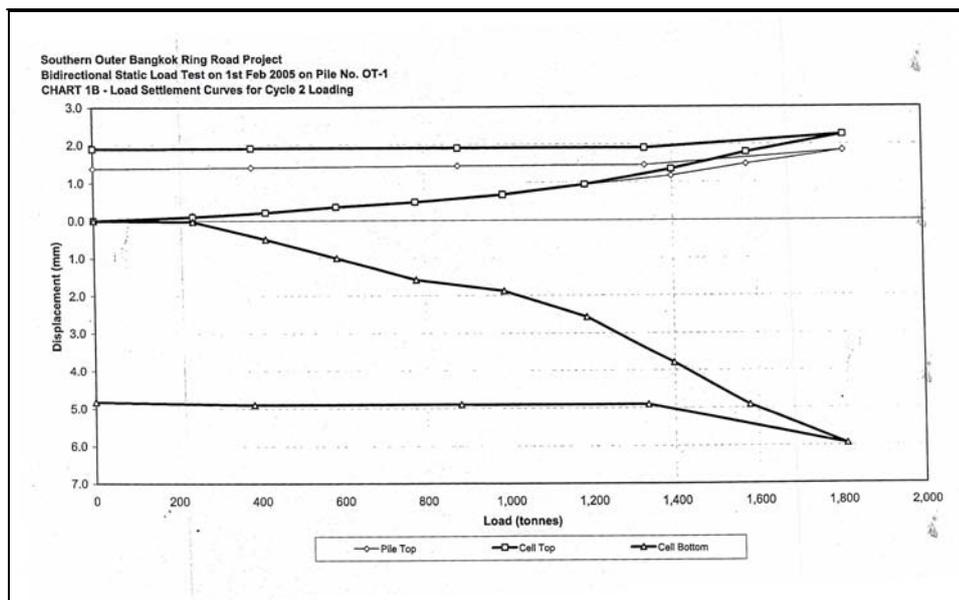
ภาพผนวกที่ ข5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P5



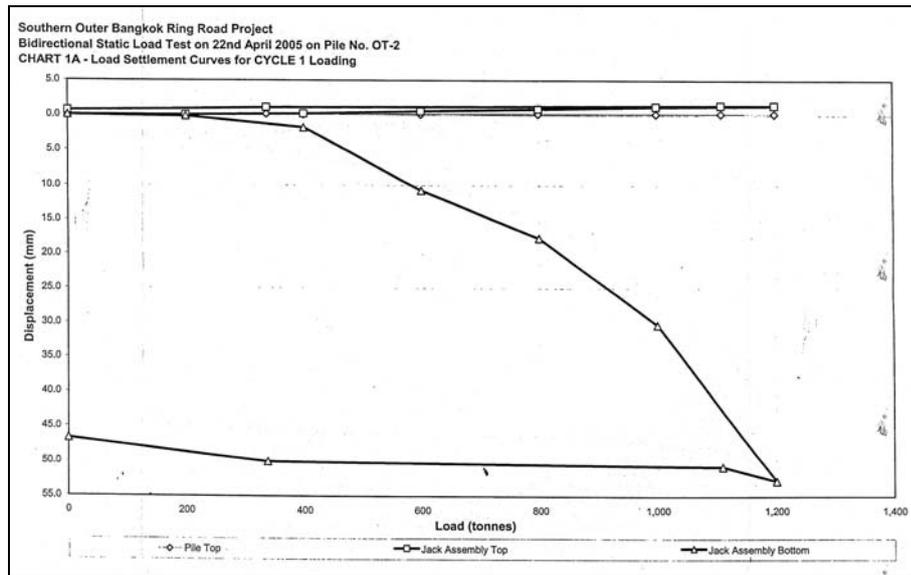
ภาพผนวกที่ ข6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P6



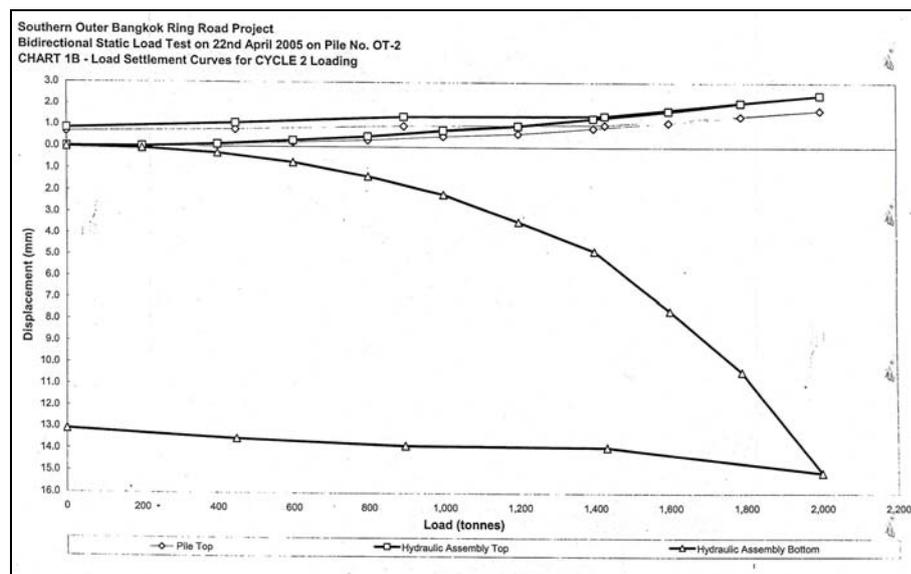
ภาพผนวกที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P7 (Stage1)



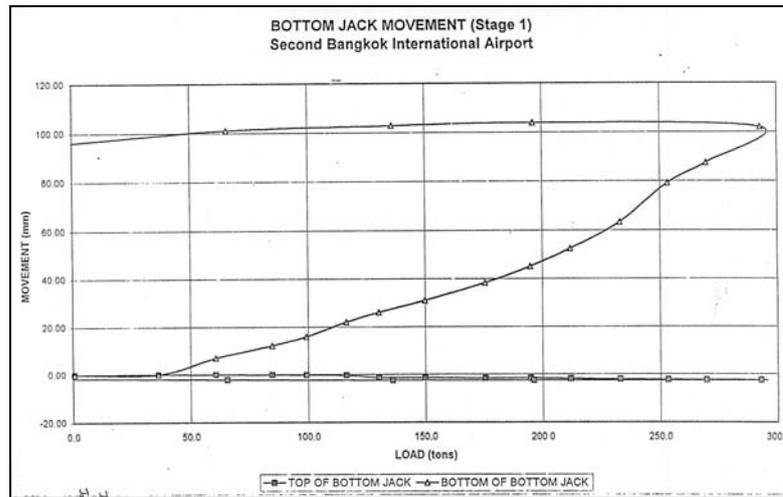
ภาพผนวกที่ ข7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P7 (Stage2)



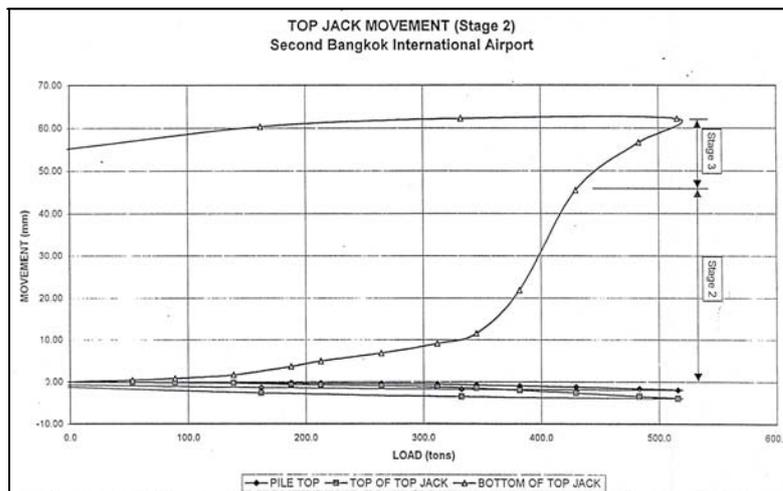
ภาพผนวกที่ ข8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P8 (Stage1)



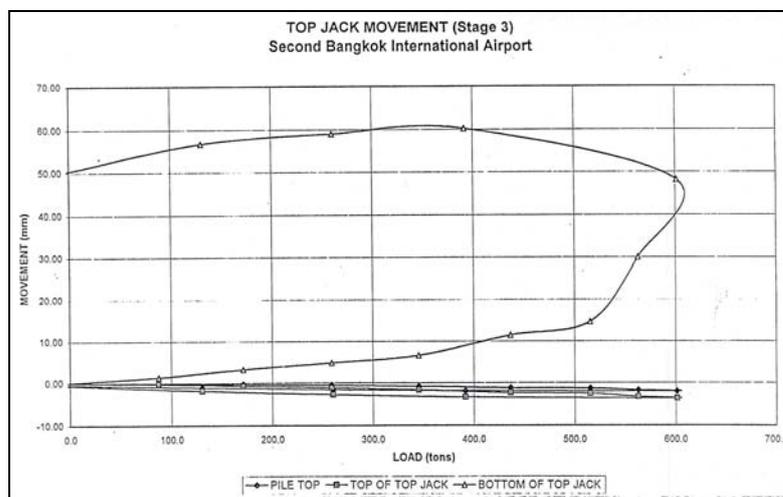
ภาพผนวกที่ ข8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P8 (Stage2)



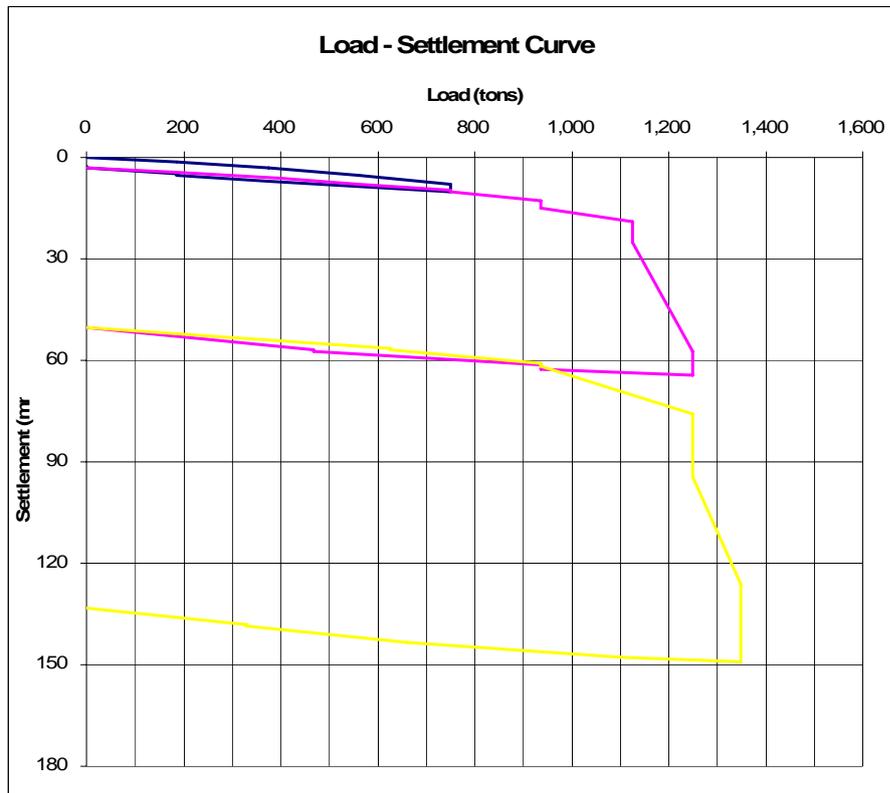
ภาพผนวกที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P9 (Stage1)



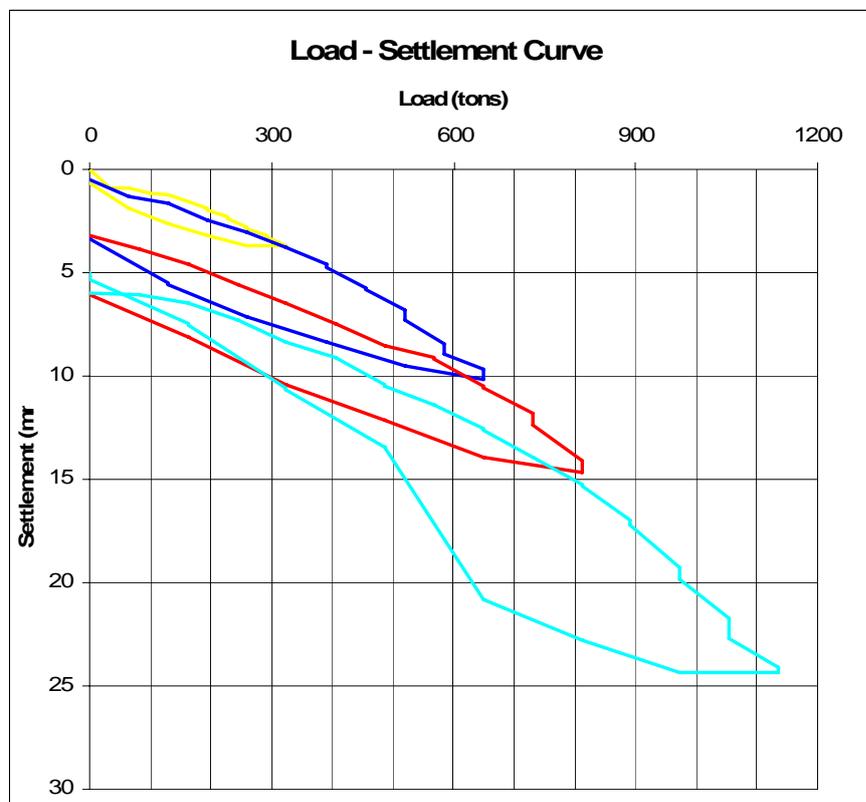
ภาพผนวกที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P9 (Stage2)



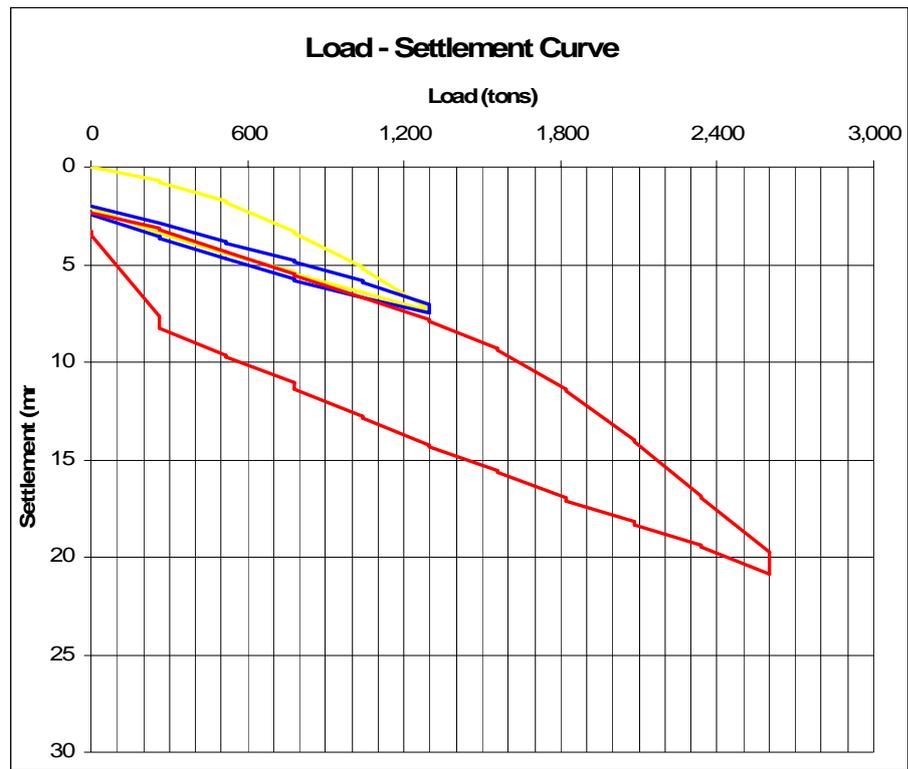
ภาพผนวกที่ ข9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P9 (Stage3)



ภาพผนวกที่ ข10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P10



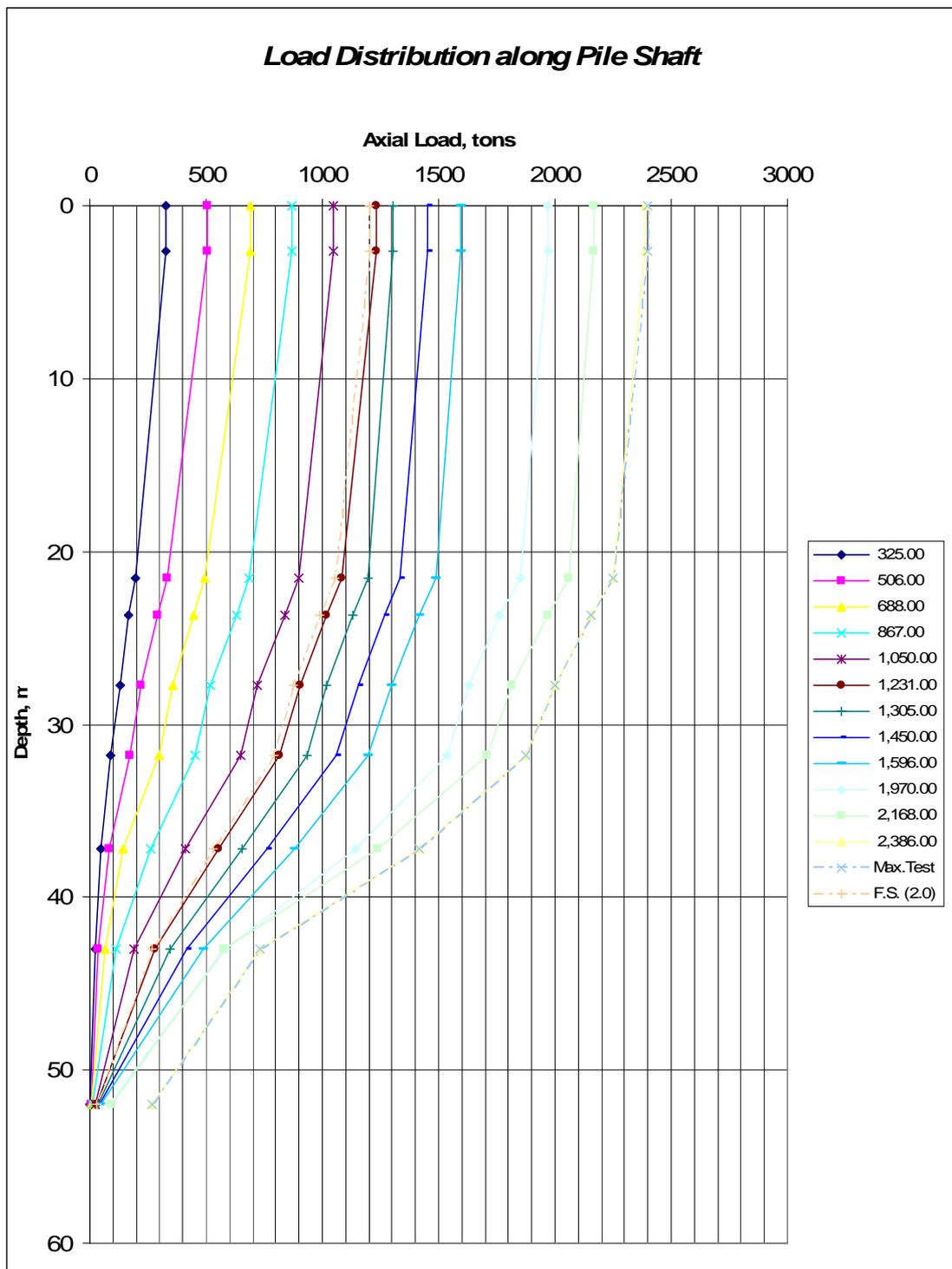
ภาพผนวกที่ ข11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P11



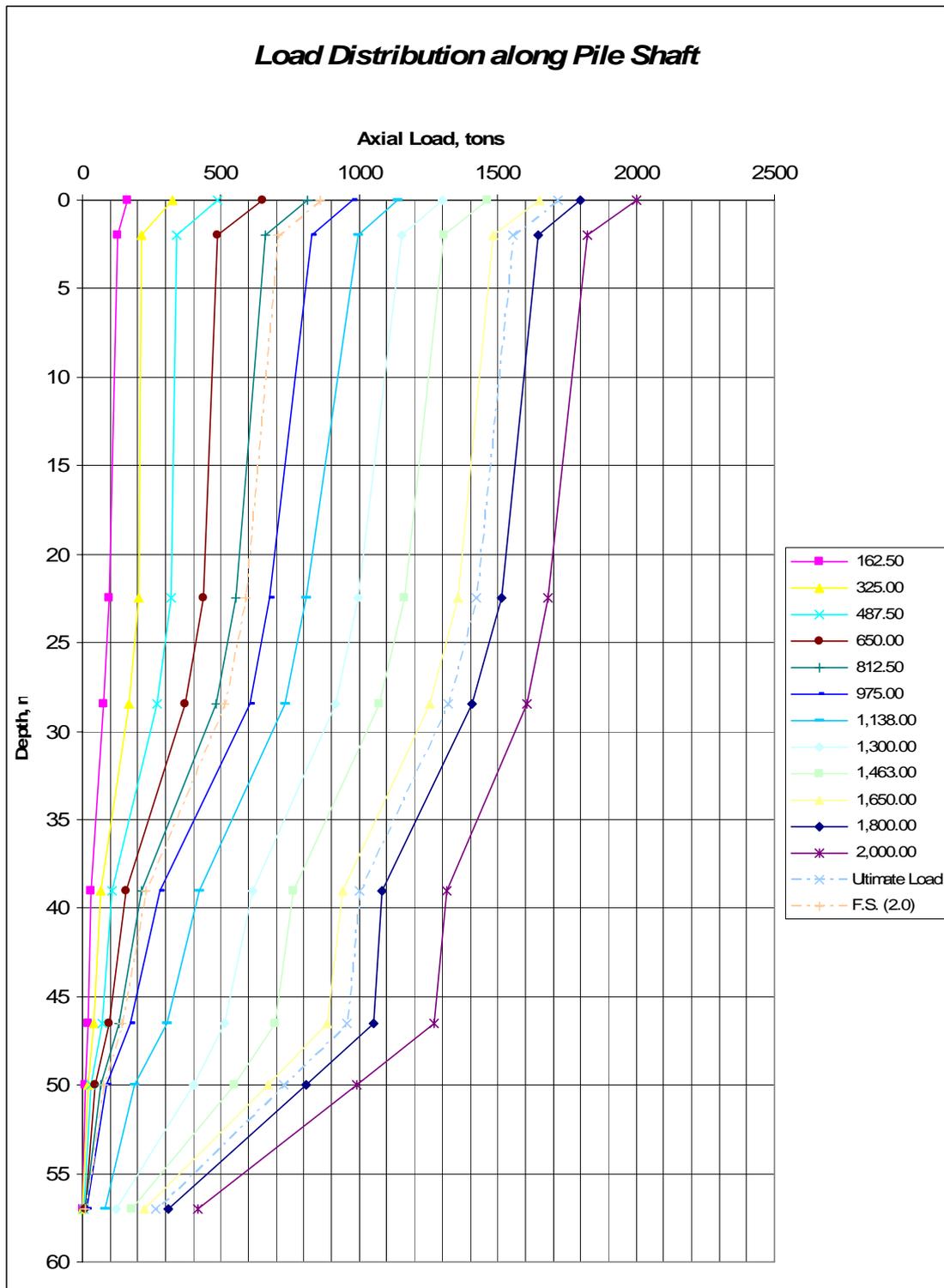
ภาพผนวกที่ ข12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต้น P12

ภาคผนวก ค

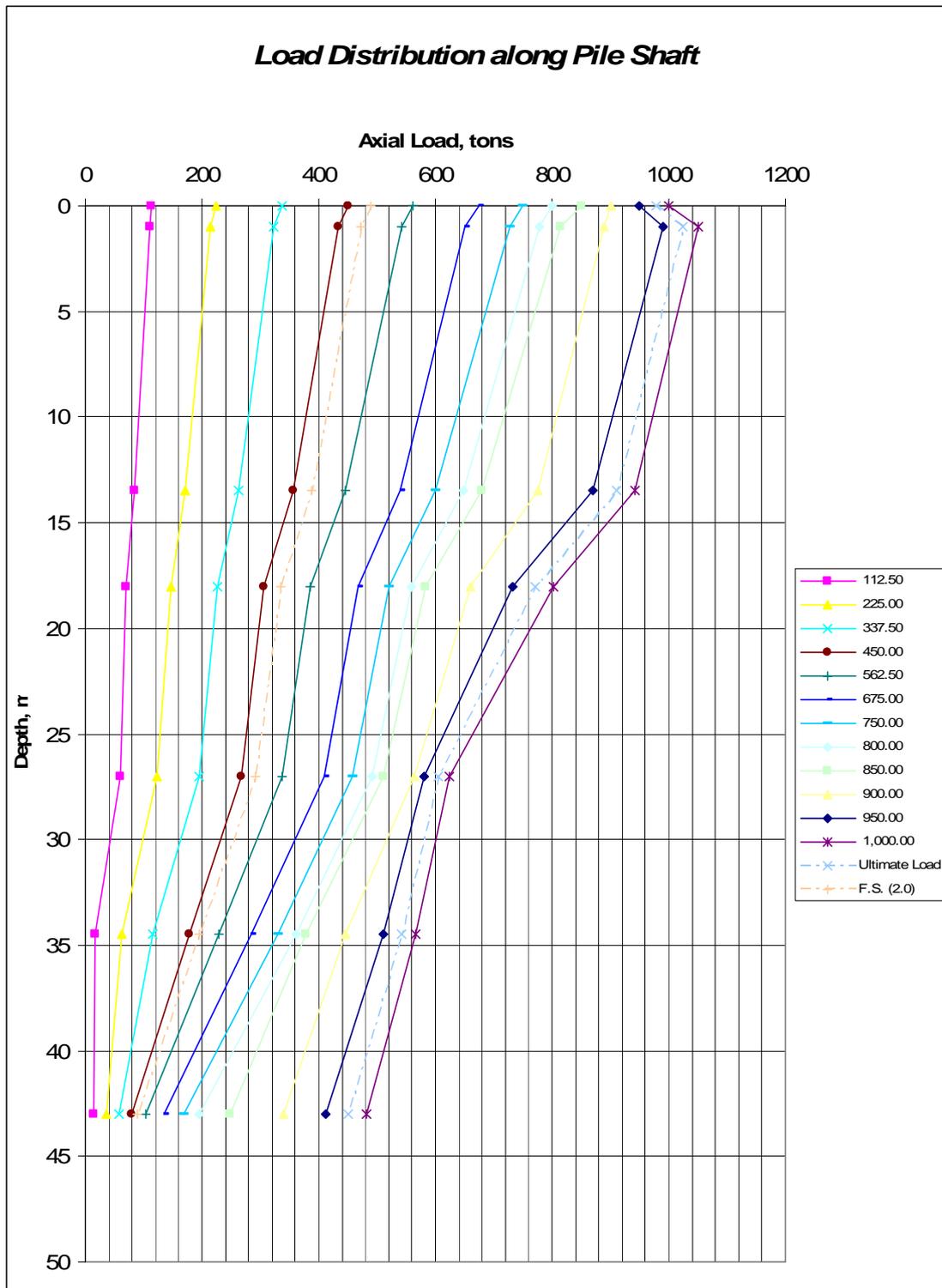
ลักษณะการถ่ายน้ำหน้าบรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต่างๆ



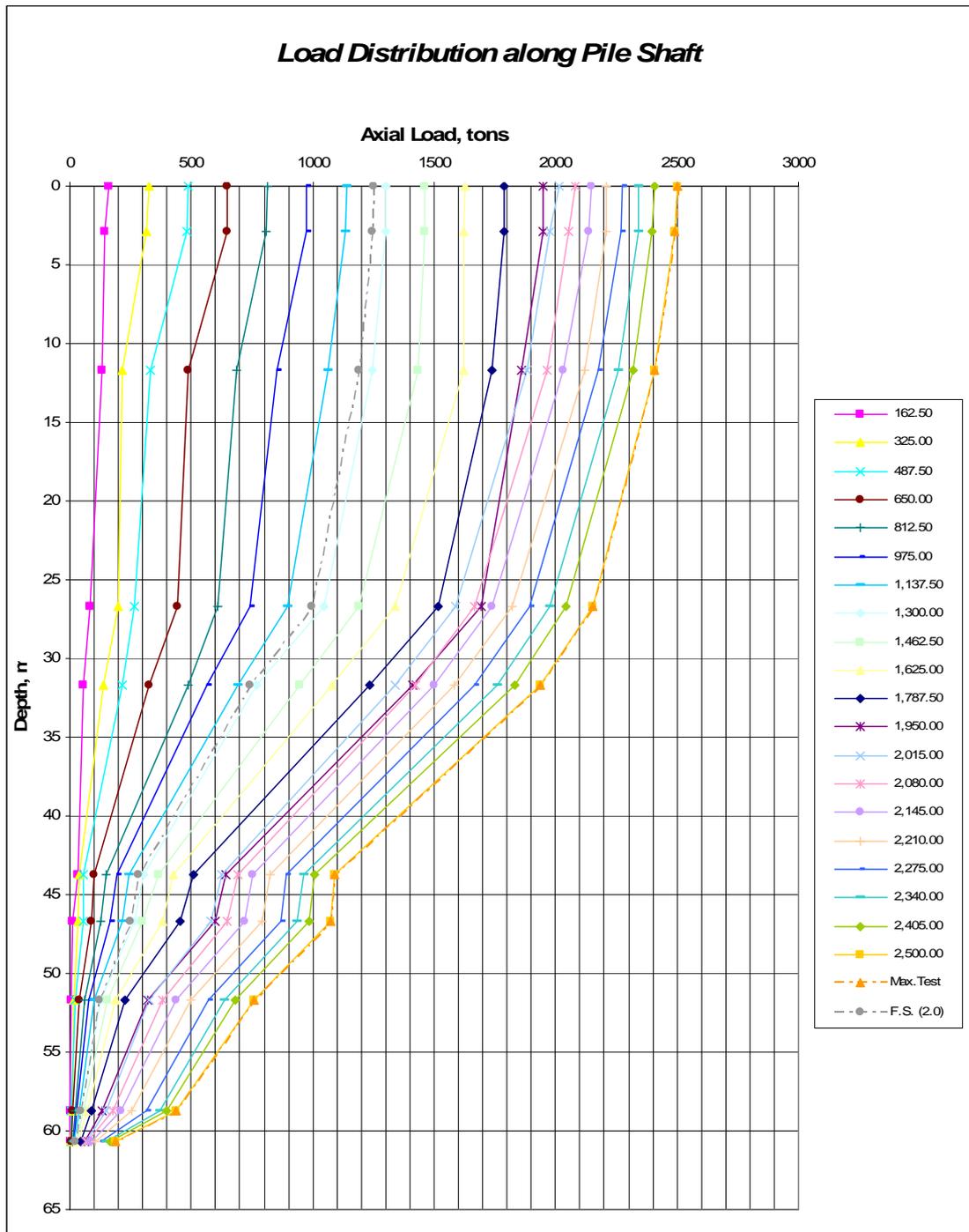
ภาพผนวกที่ ค1 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P1



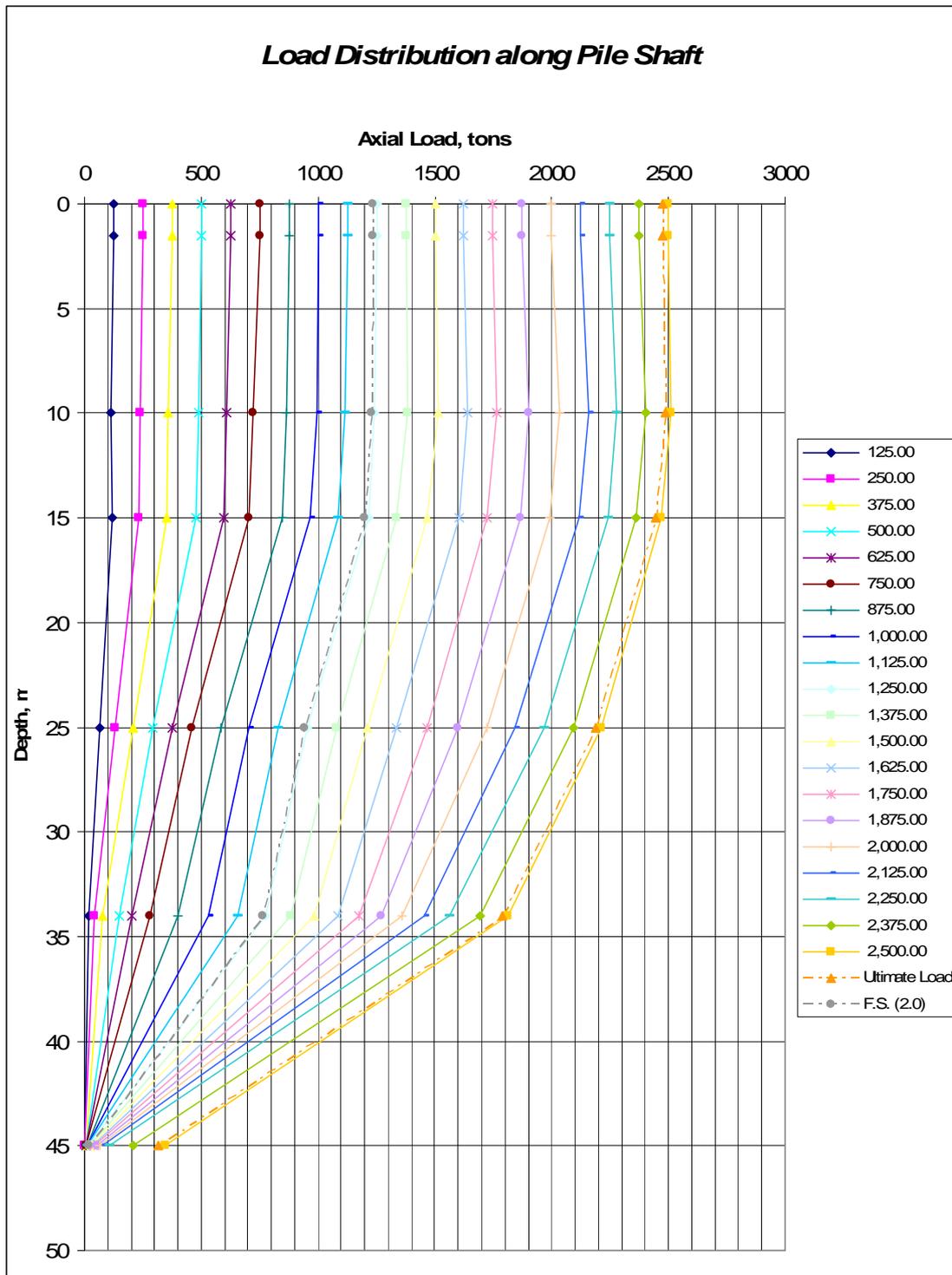
ภาพผนวกที่ ค2 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินชั้น P2



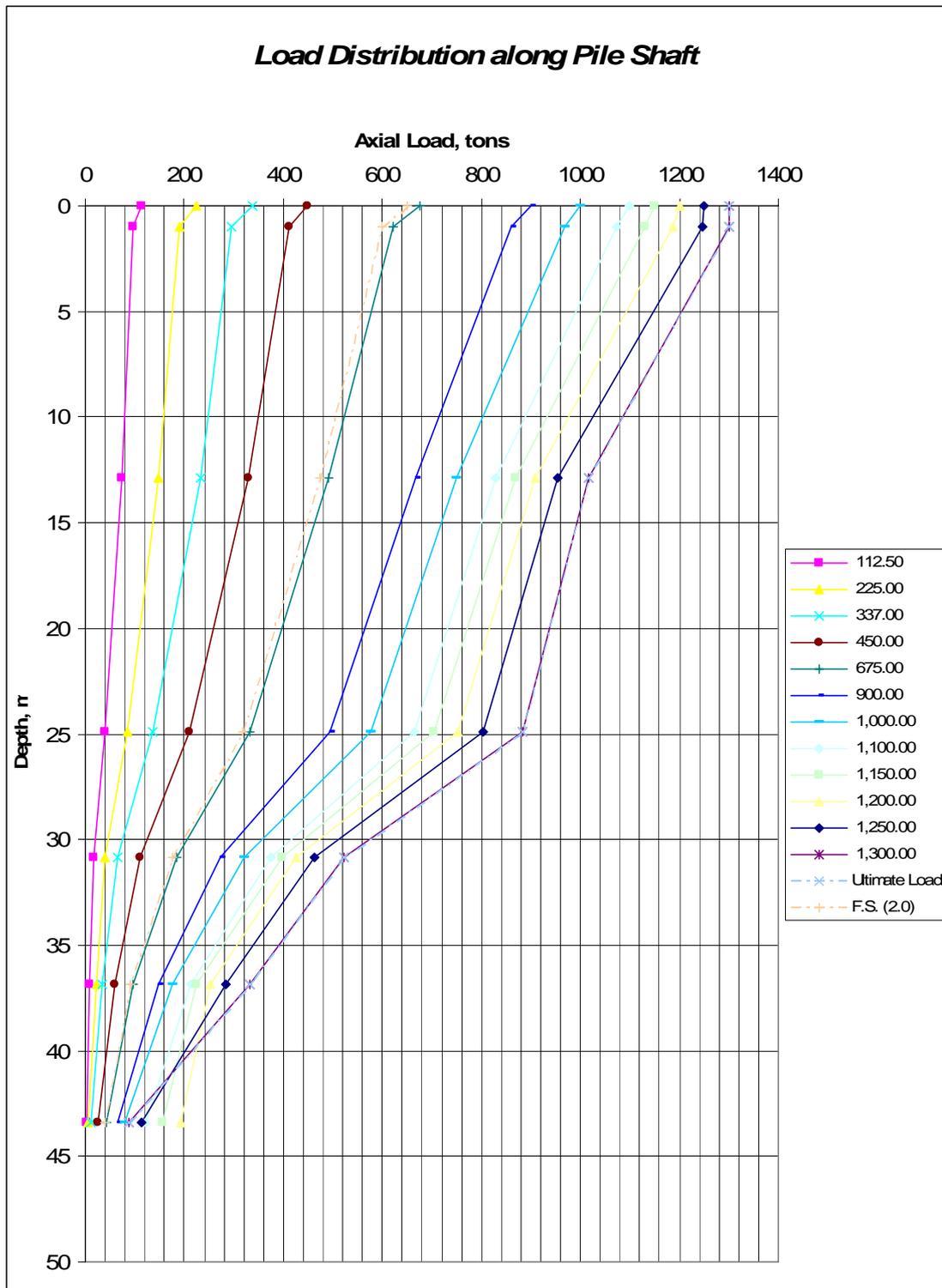
ภาพผนวกที่ ค3 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P3



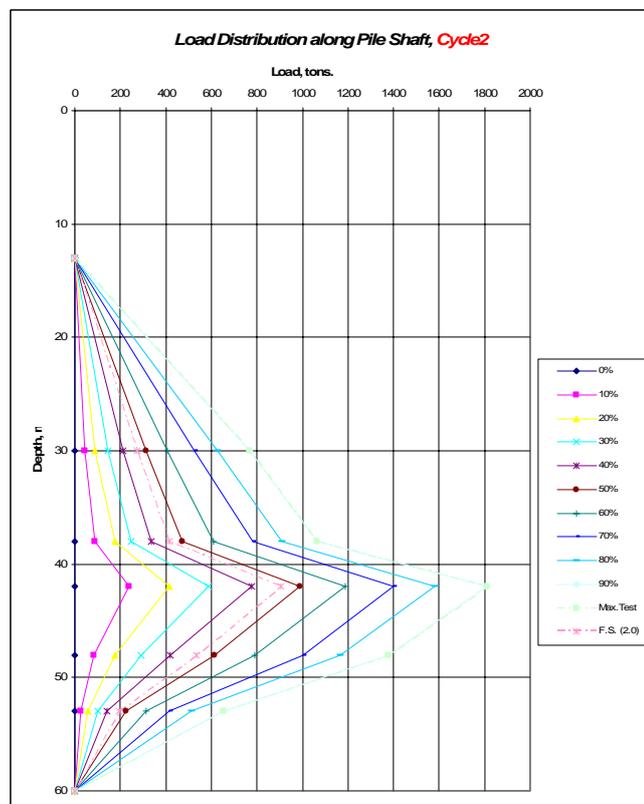
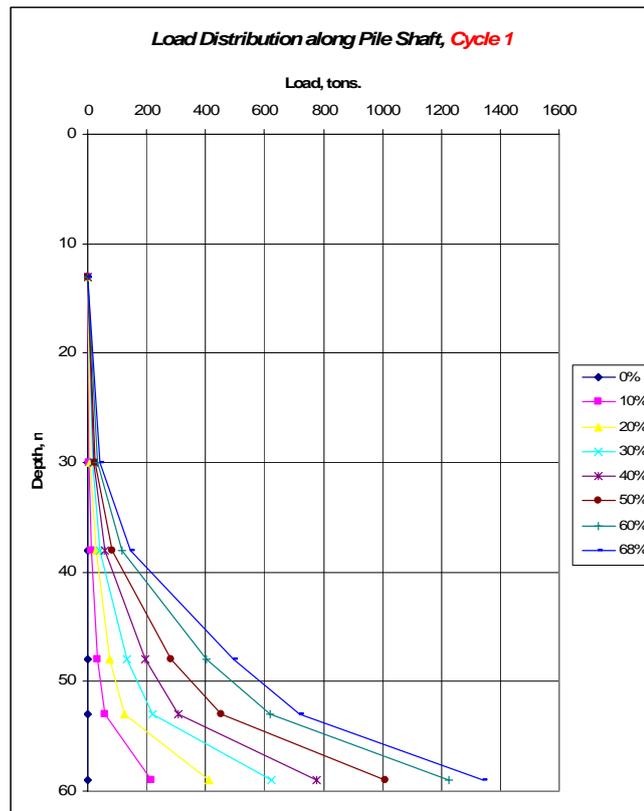
ภาพผนวกที่ ค4 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินชั้น P4



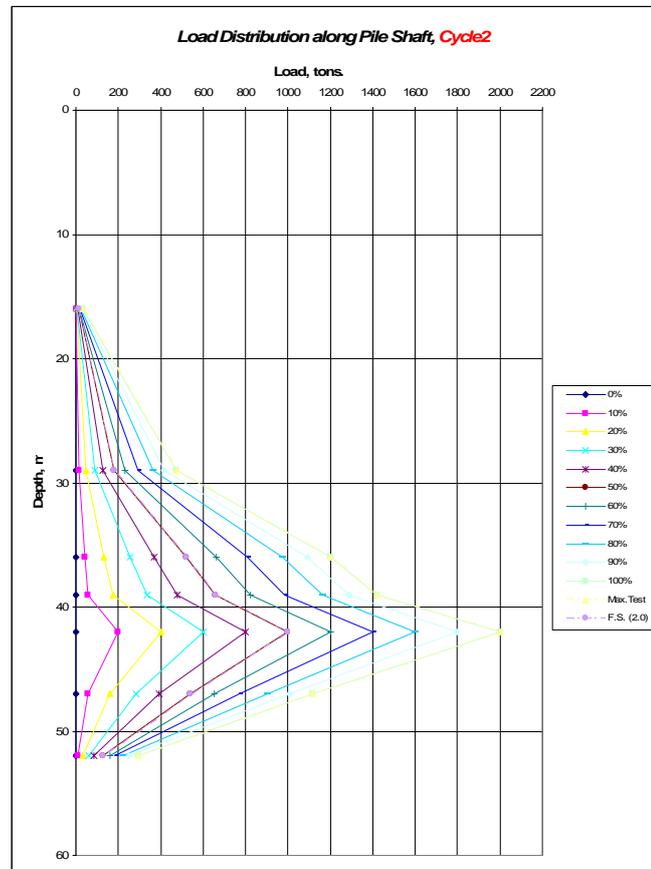
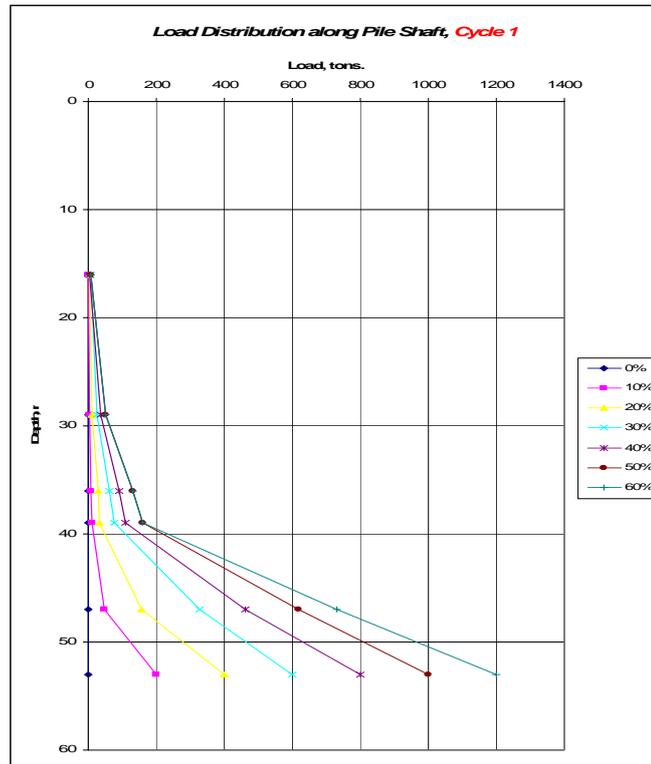
ภาพผนวกที่ ค5 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P5



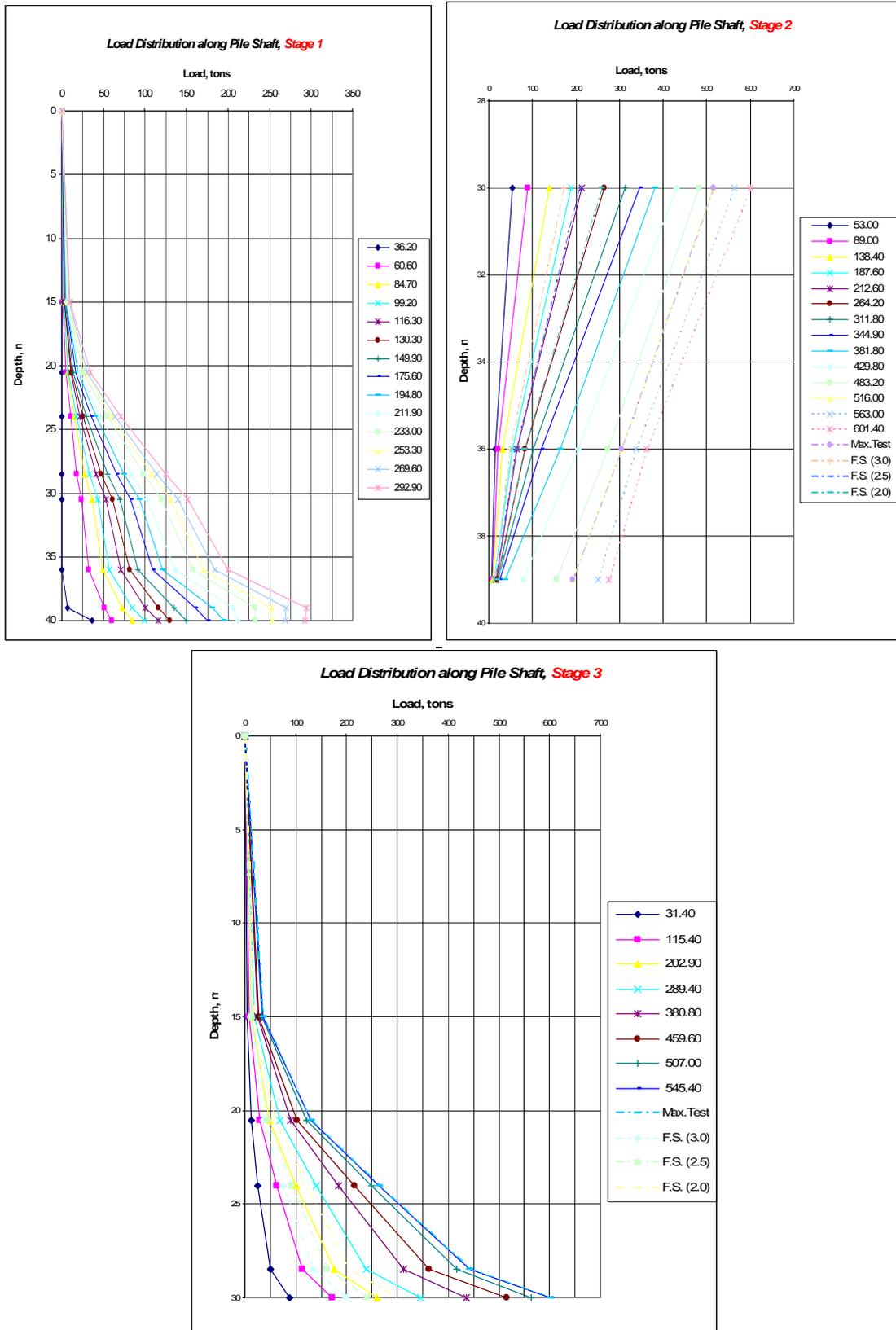
ภาพผนวกที่ ๑๖ การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P6



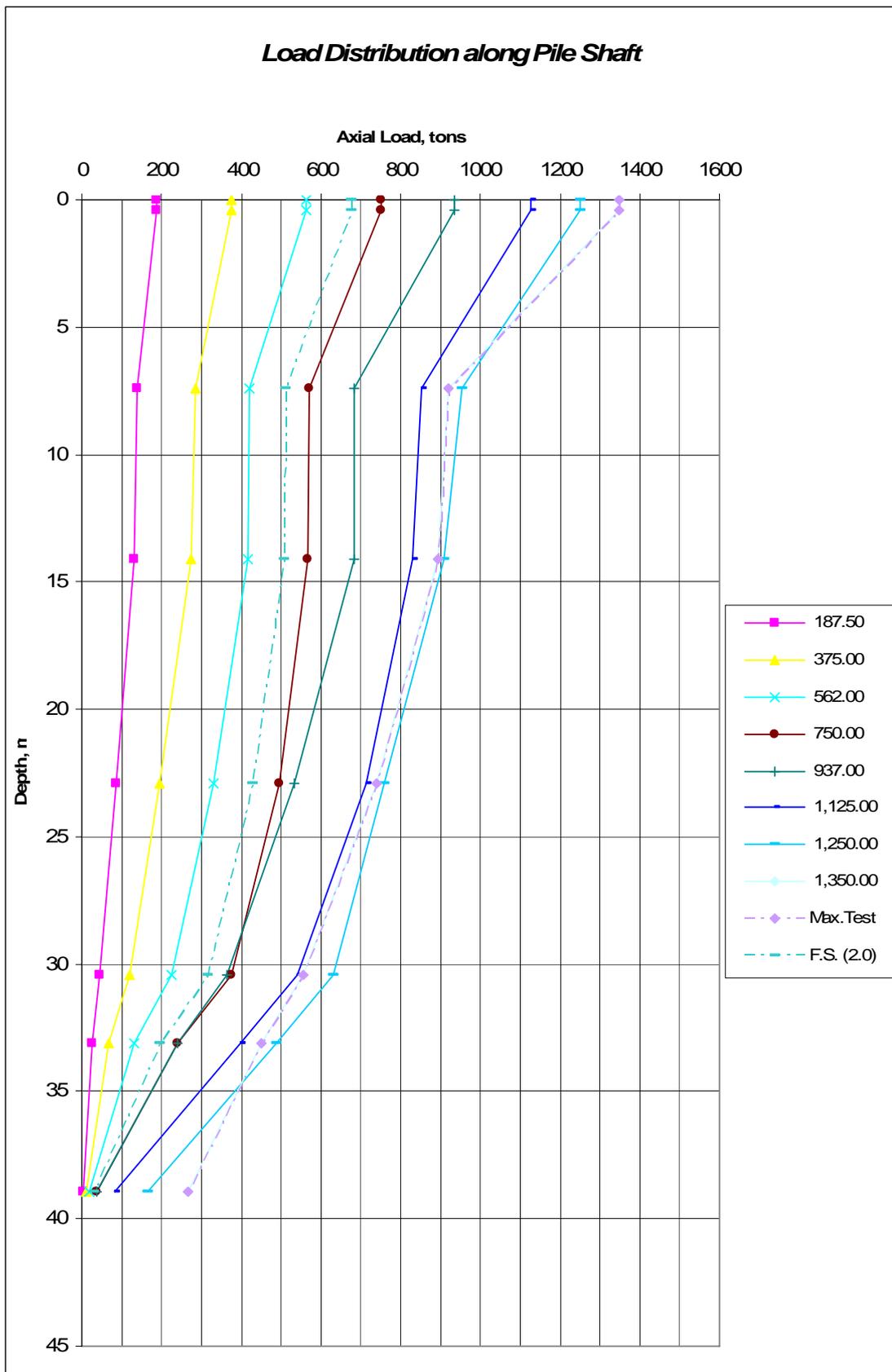
ภาพผนวกที่ ค7 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินตื้น P7



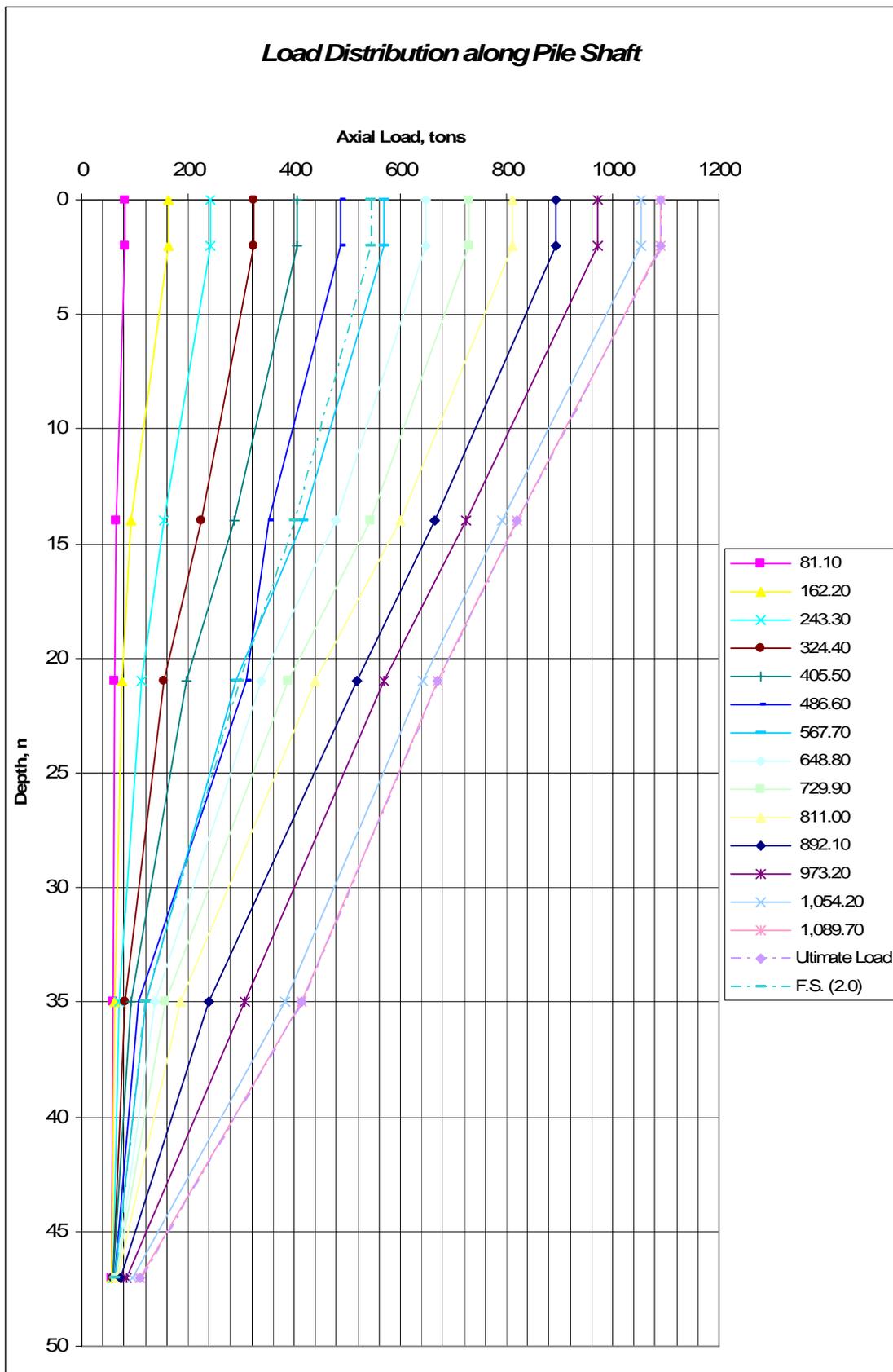
ภาพผนวกที่ ค8 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P8



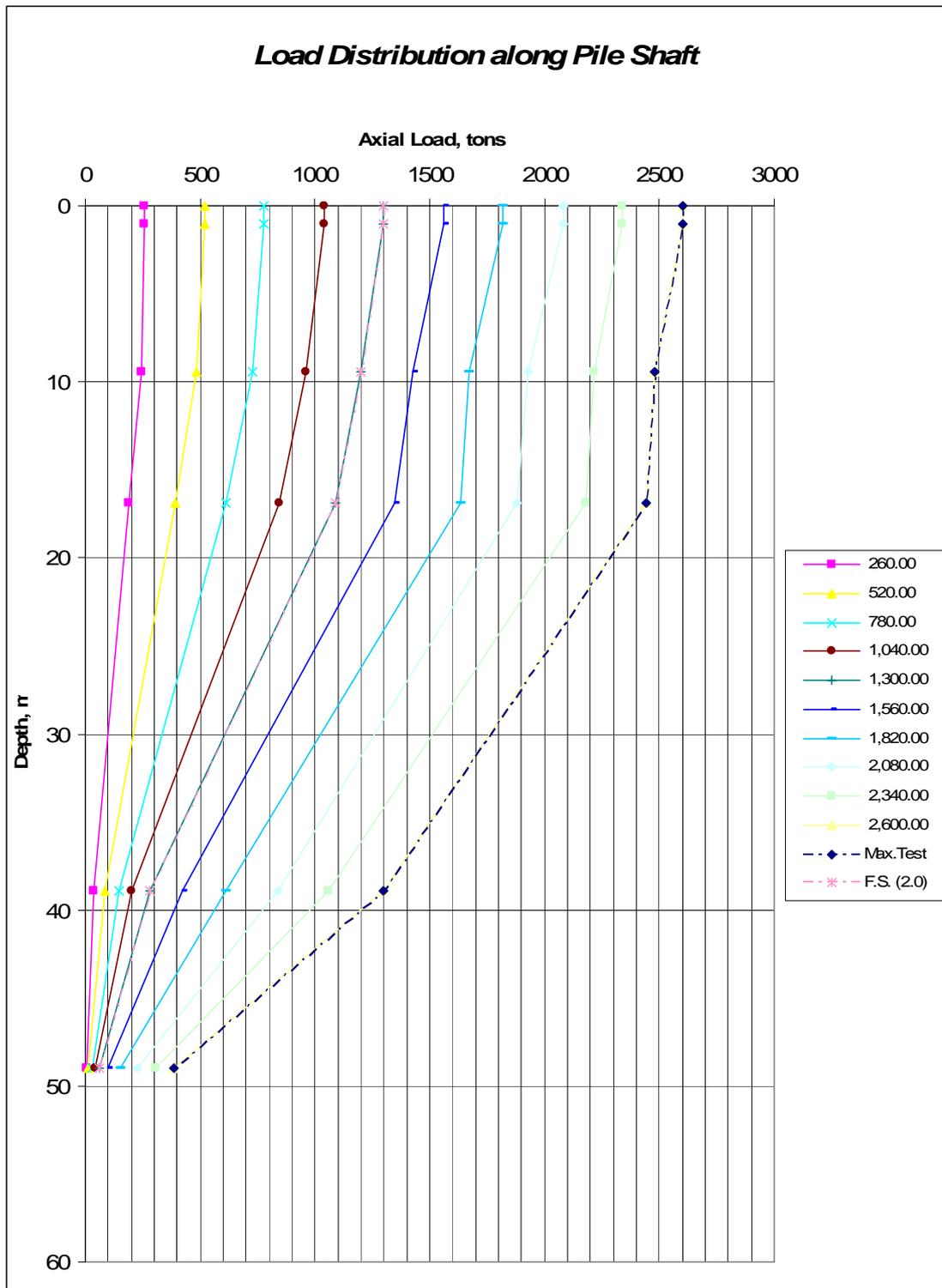
ภาพผนวกที่ ๑๑ การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P9



ภาพผนวกที่ ค10 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินตื้น P10

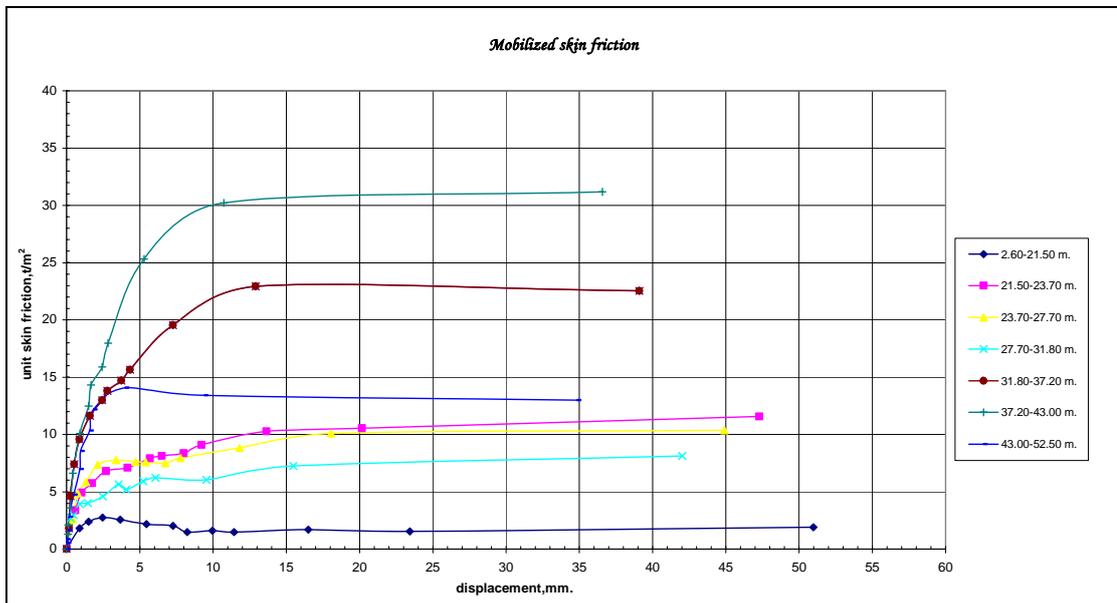


ภาพผนวกที่ ค11 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินต้น P11

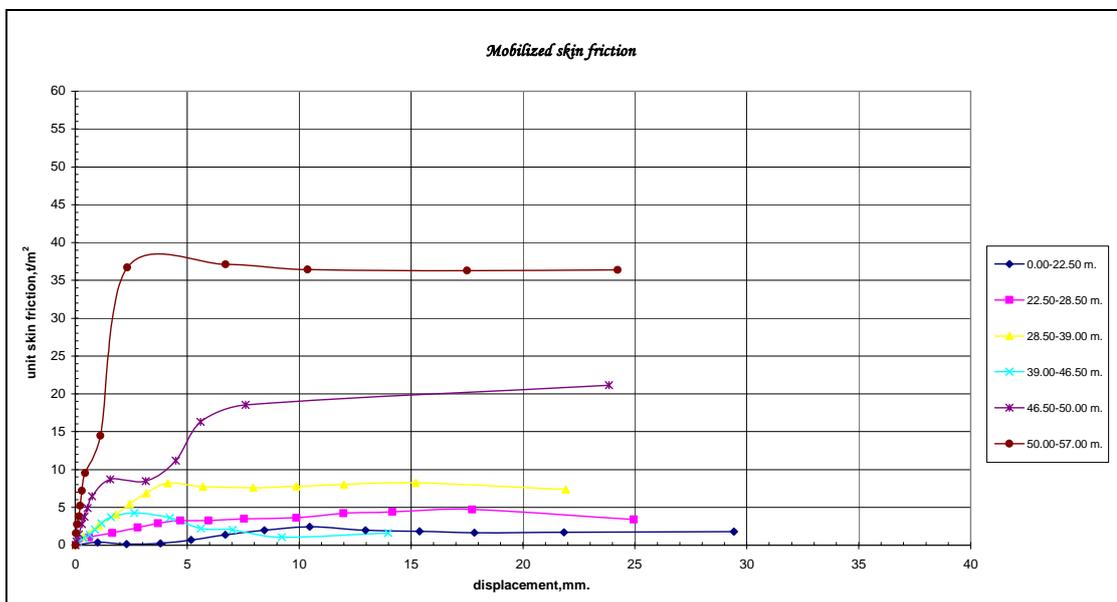


ภาพผนวกที่ ค12 การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มลงสู่ชั้นดินชั้น P12

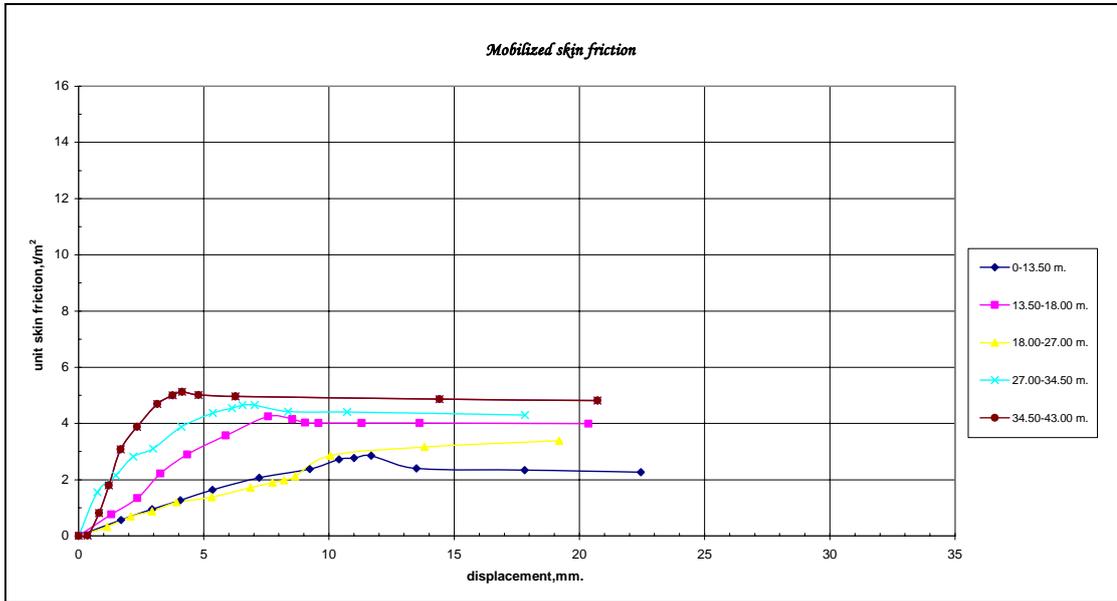
**ภาคผนวก ง**  
**การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม**



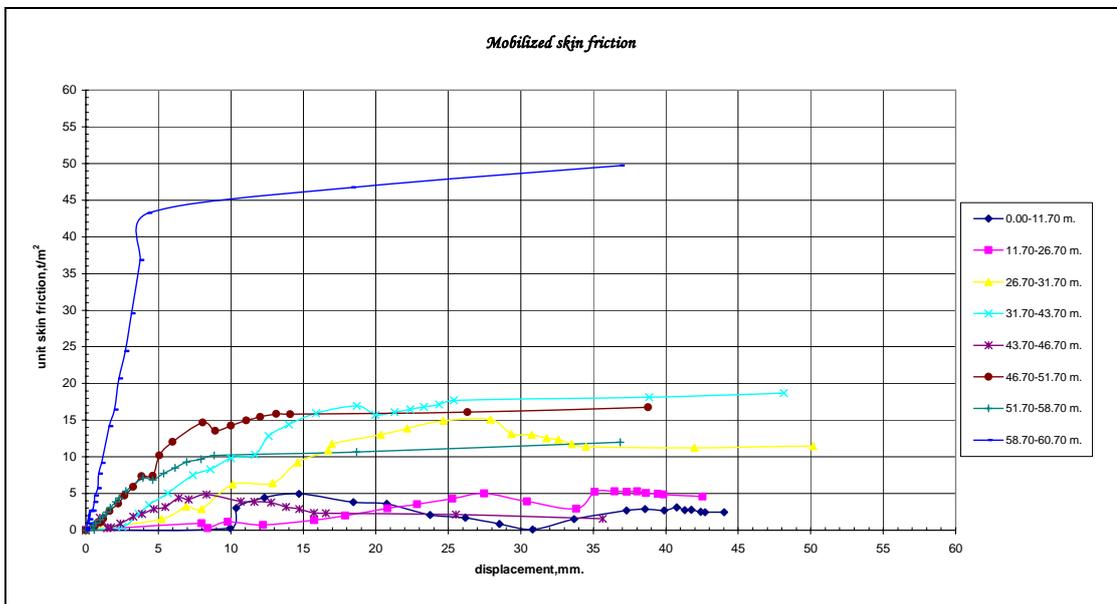
ภาพผนวกที่ 1 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P1)



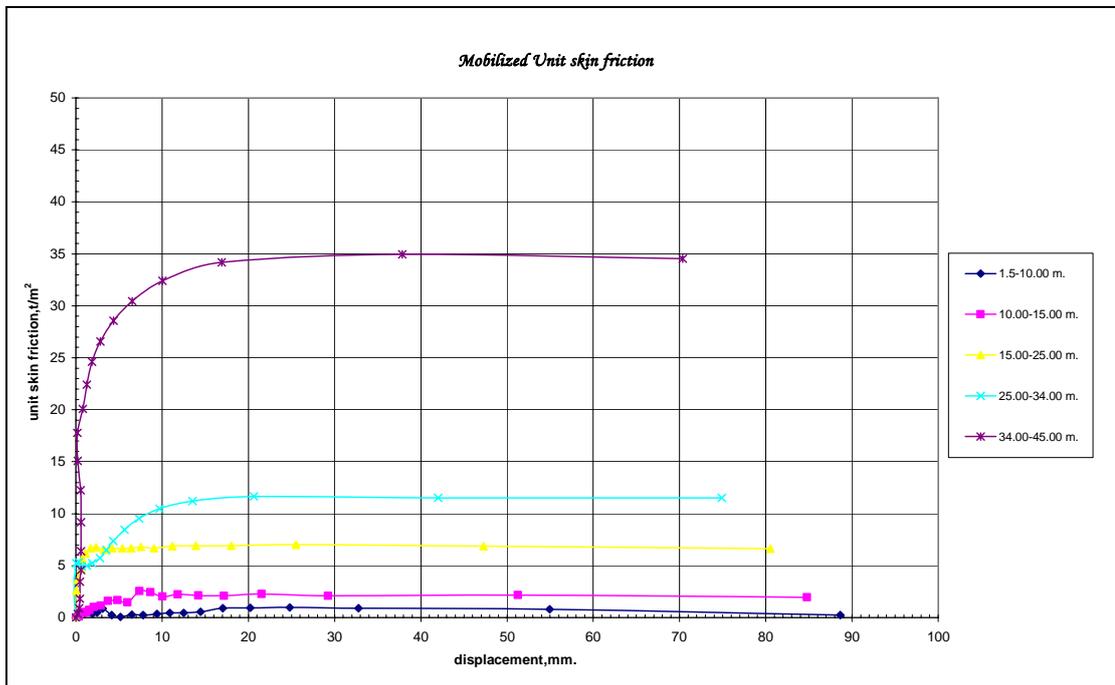
ภาพผนวกที่ 2 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P2)



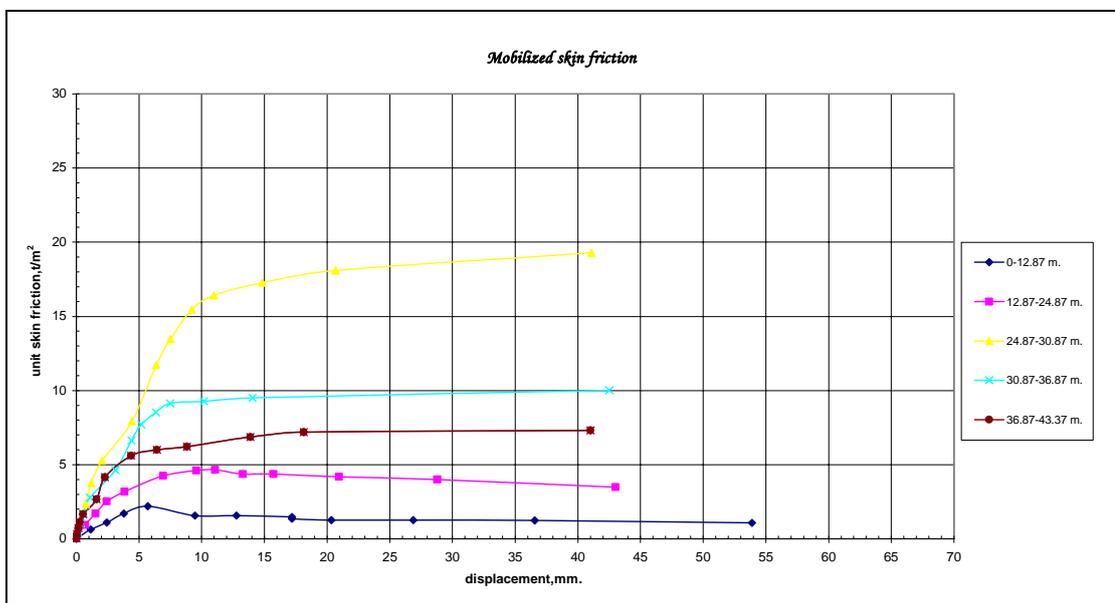
ภาพผนวกที่ 3 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P3)



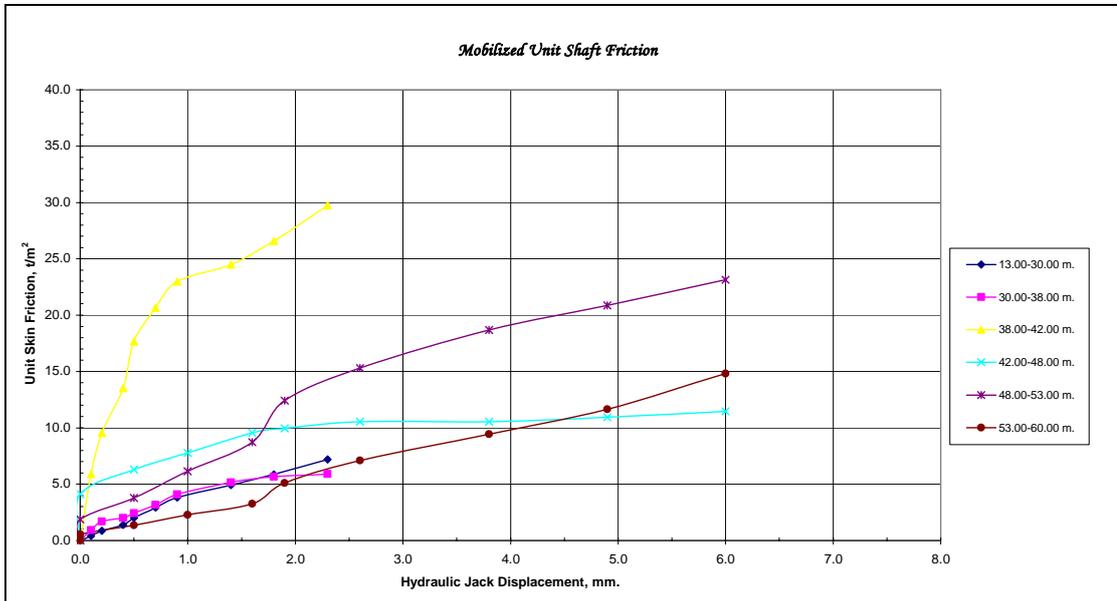
ภาพผนวกที่ 4 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P4)



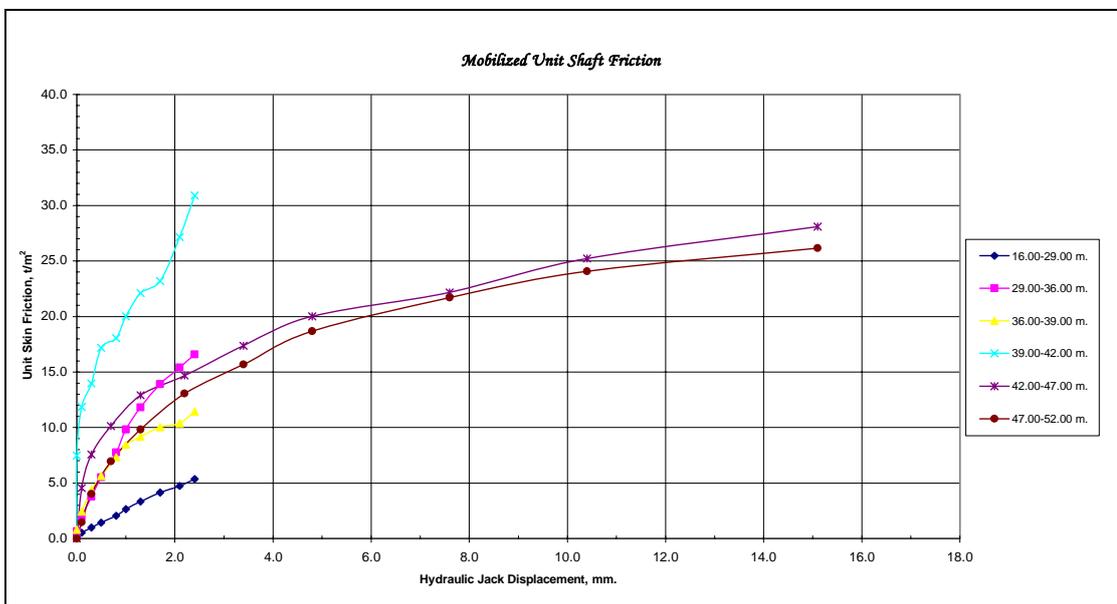
ภาพผนวกที่ 5 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P5)



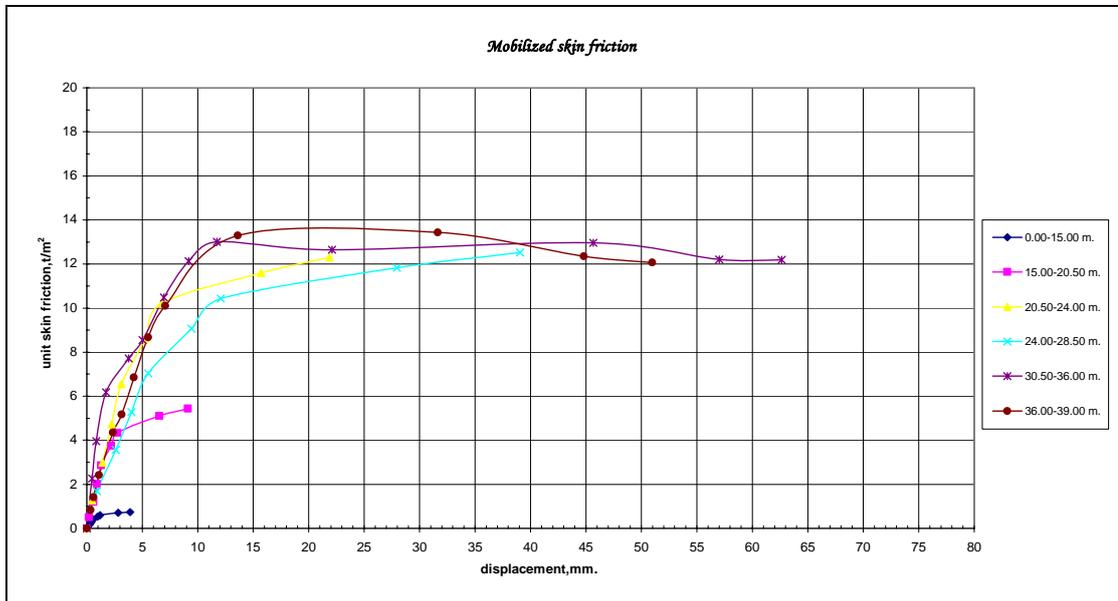
ภาพผนวกที่ 6 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P6)



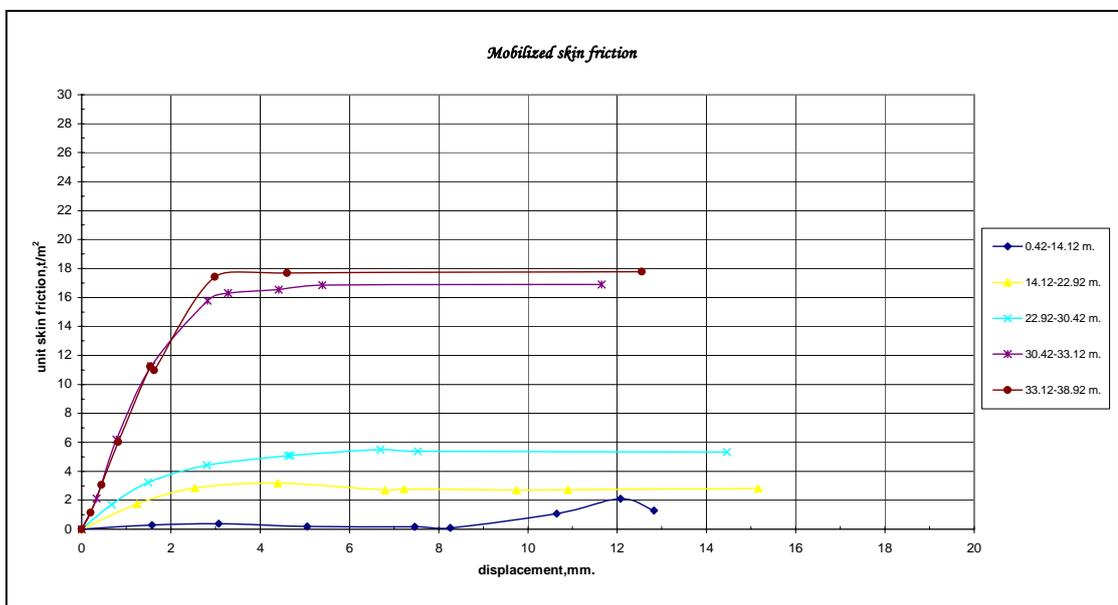
ภาพผนวกที่ ๗ การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P7)



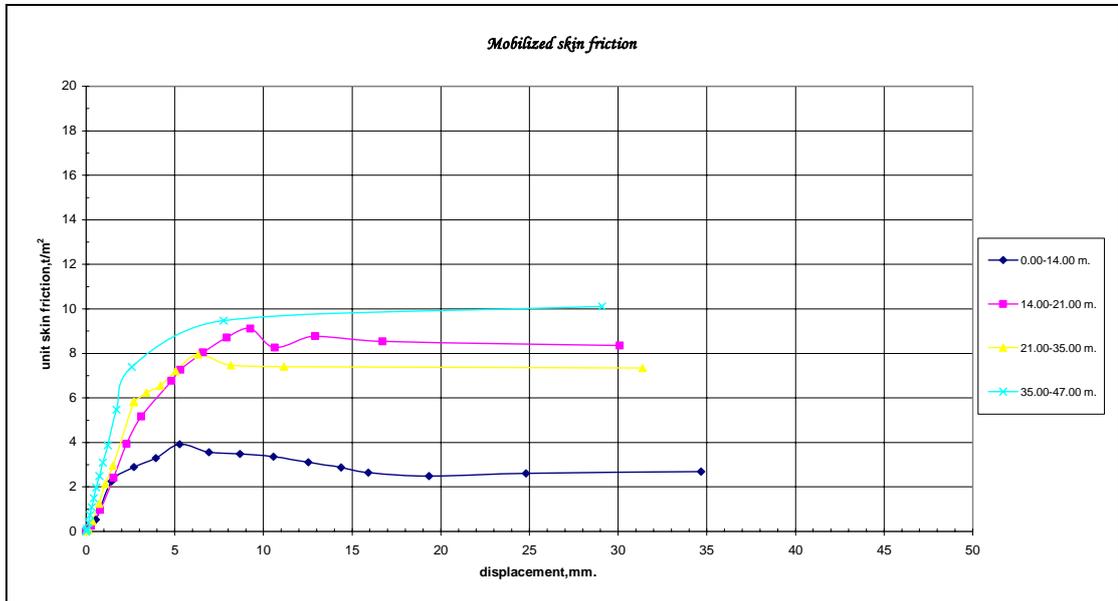
ภาพผนวกที่ ๘ การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P8)



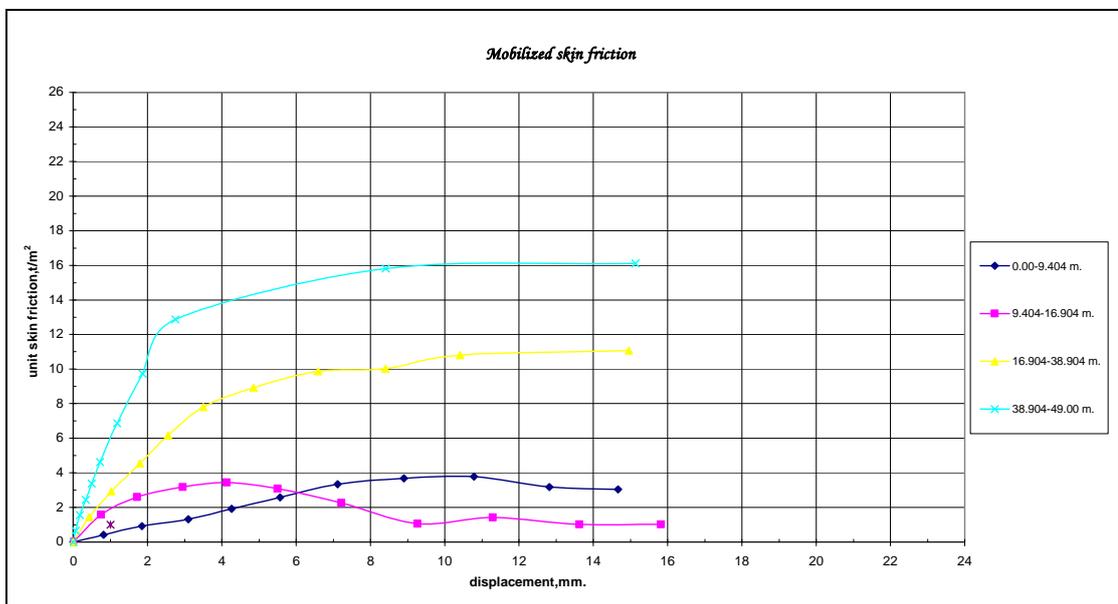
ภาพผนวกที่ 9 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P9)



ภาพผนวกที่ 10 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P10)



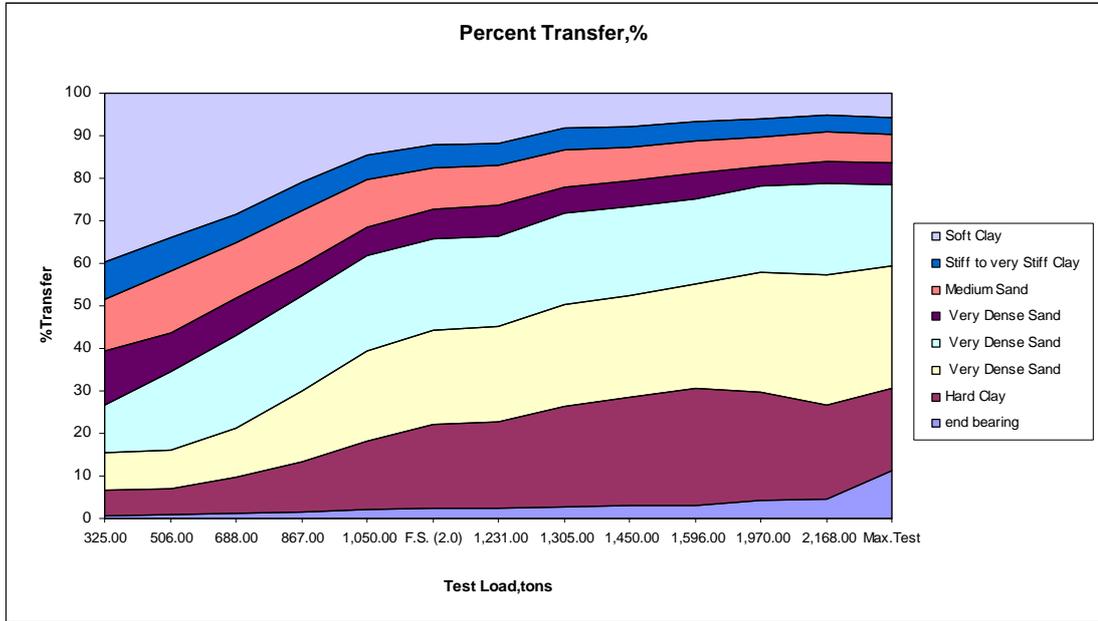
ภาพผนวกที่ 11 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P11)



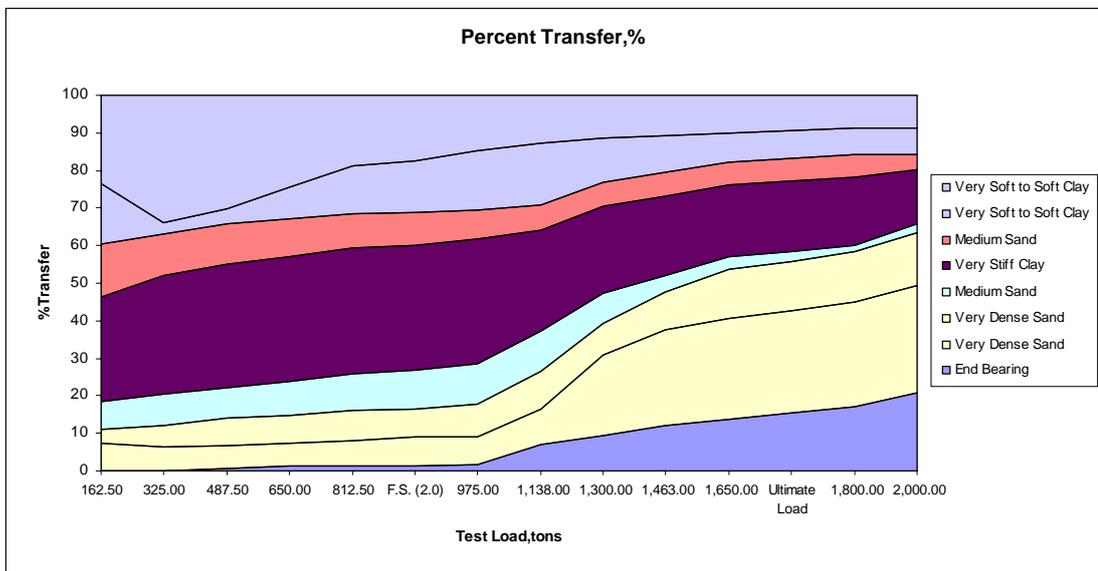
ภาพผนวกที่ 12 การพัฒนาแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม (P12)

ภาคผนวก จ

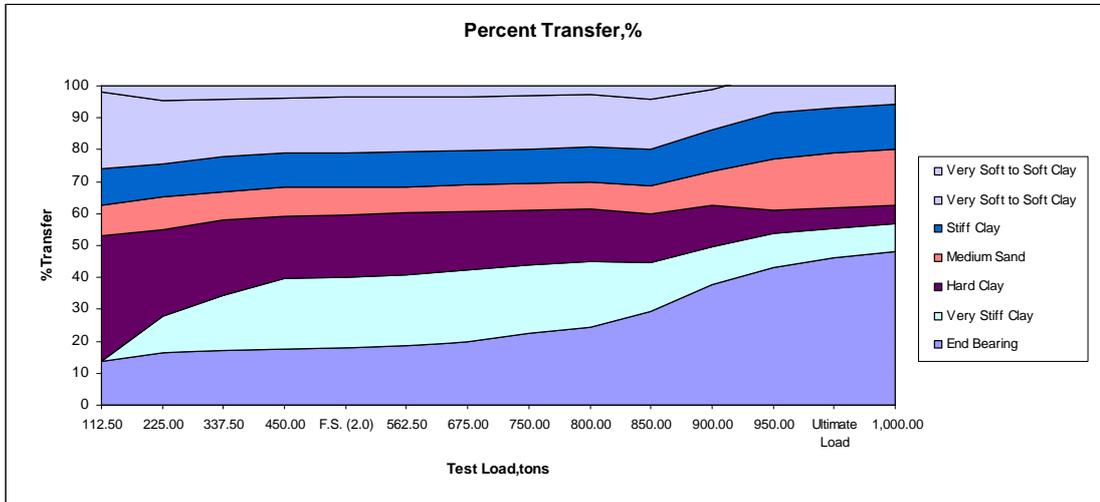
เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็มลงสู่ชั้นดิน



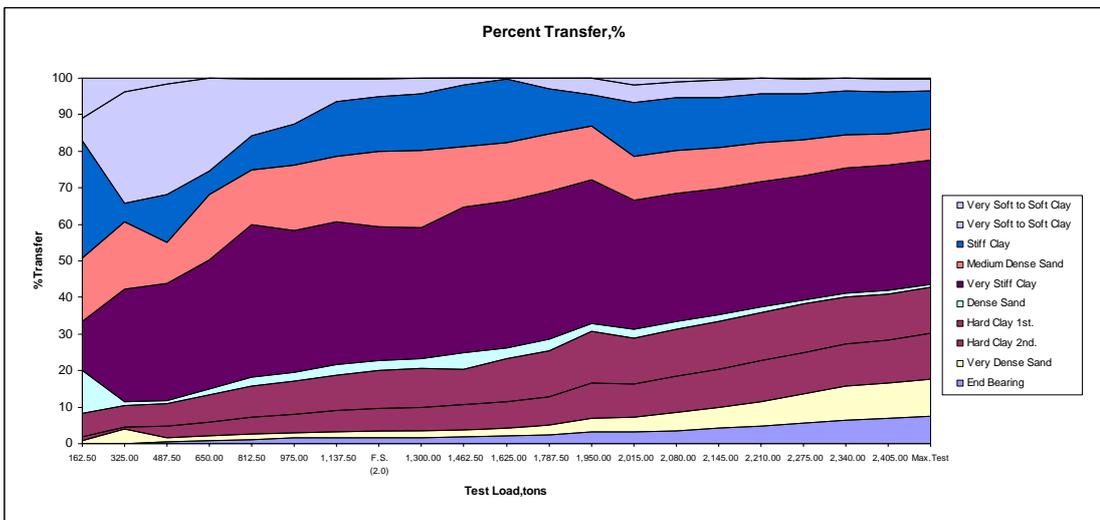
ภาพผนวกที่ จ1 เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P1)



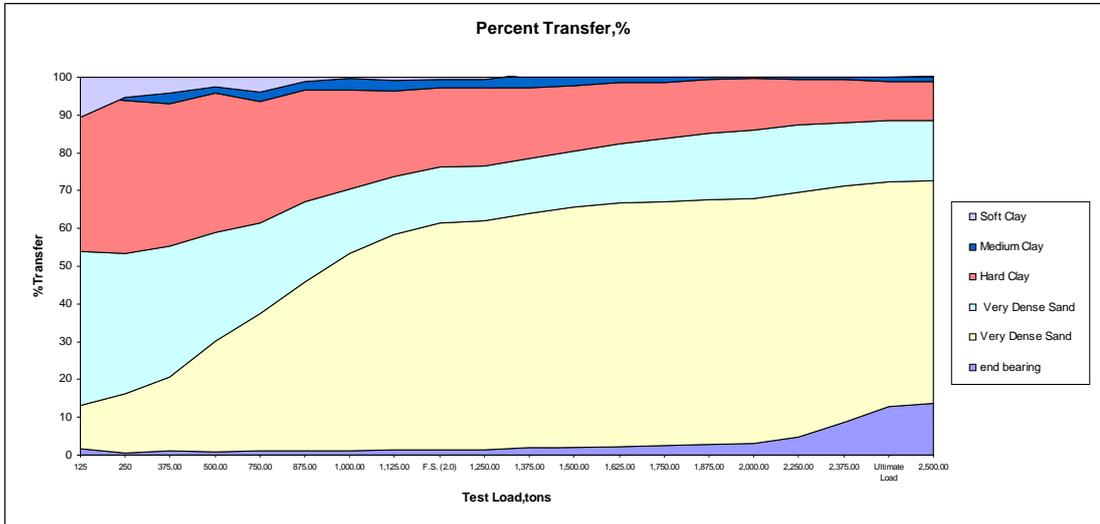
ภาพผนวกที่ จ2 เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P2)



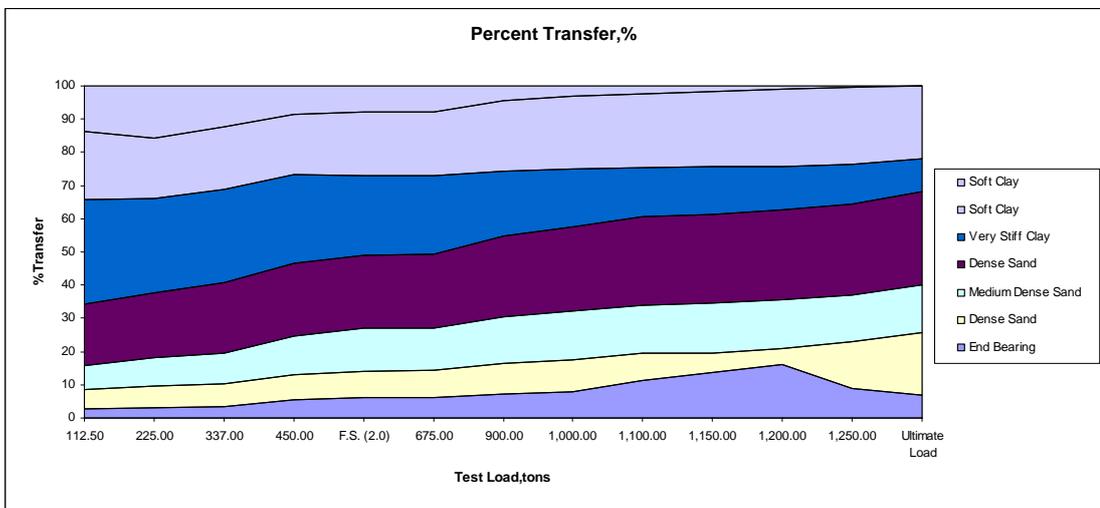
ภาพผนวกที่ ๓3 เปอร์เซนต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P3)



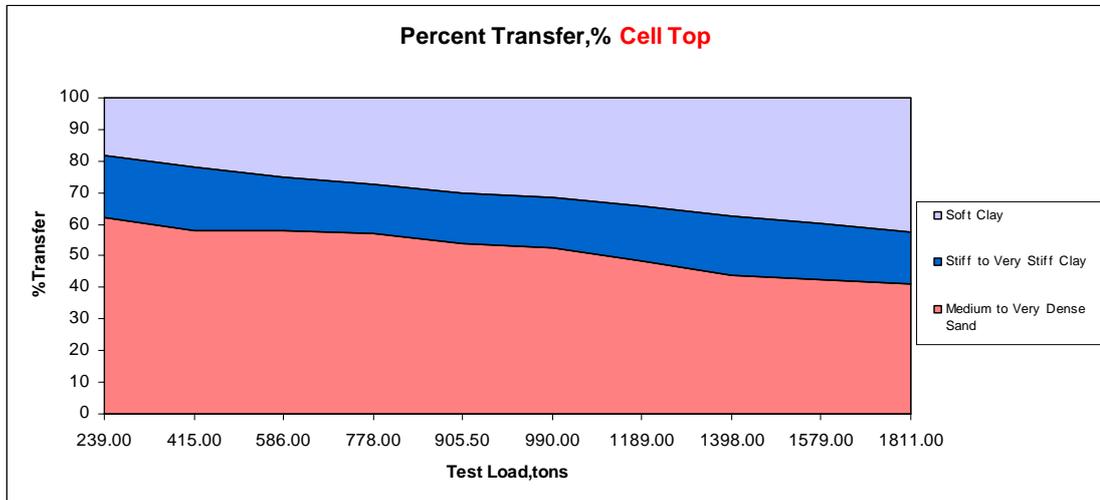
ภาพผนวกที่ ๓4 เปอร์เซนต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P4)



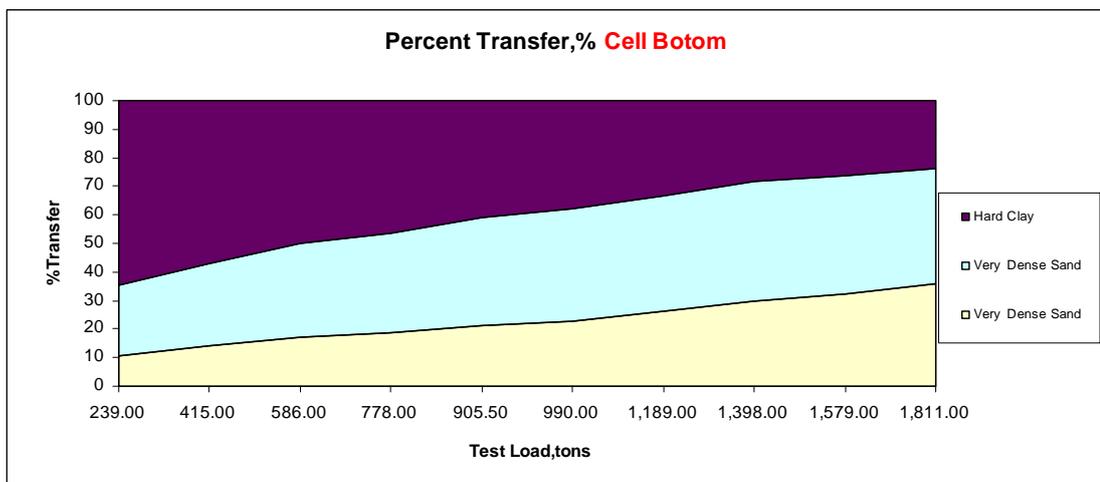
ภาพผนวกที่ จ5 เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P5)



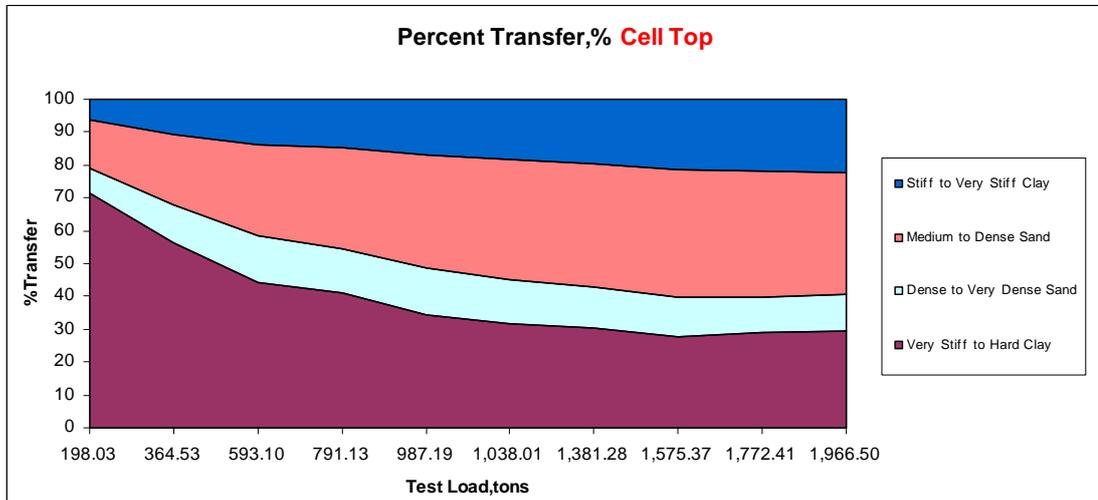
ภาพผนวกที่ จ6 เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P6)



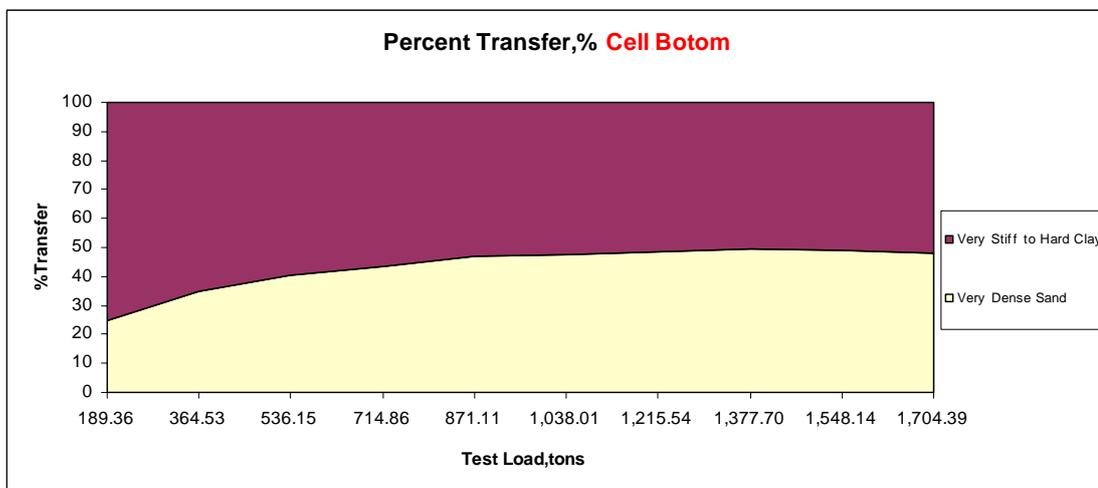
ภาพผนวกที่ ๗(ก) เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P7)



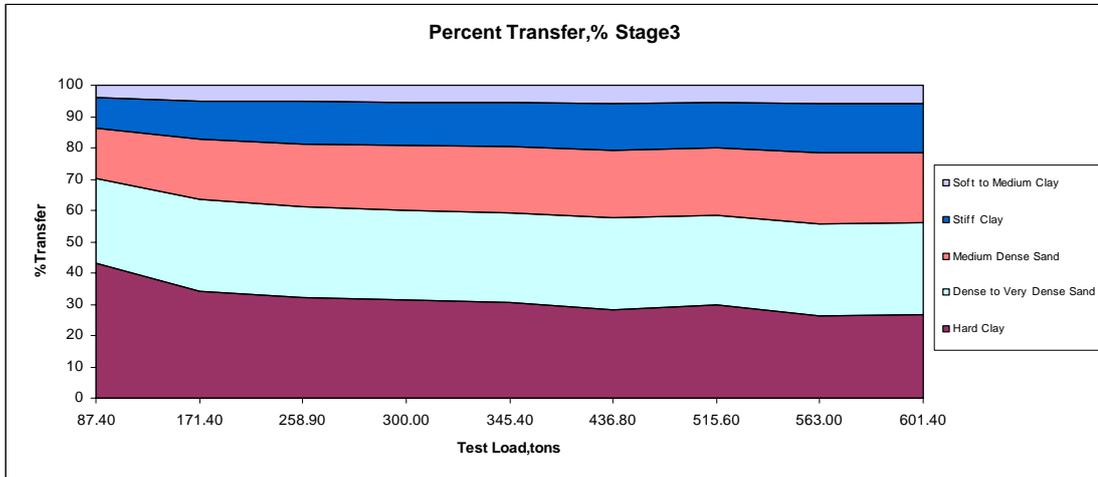
ภาพผนวกที่ ๗(ข) เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P7)



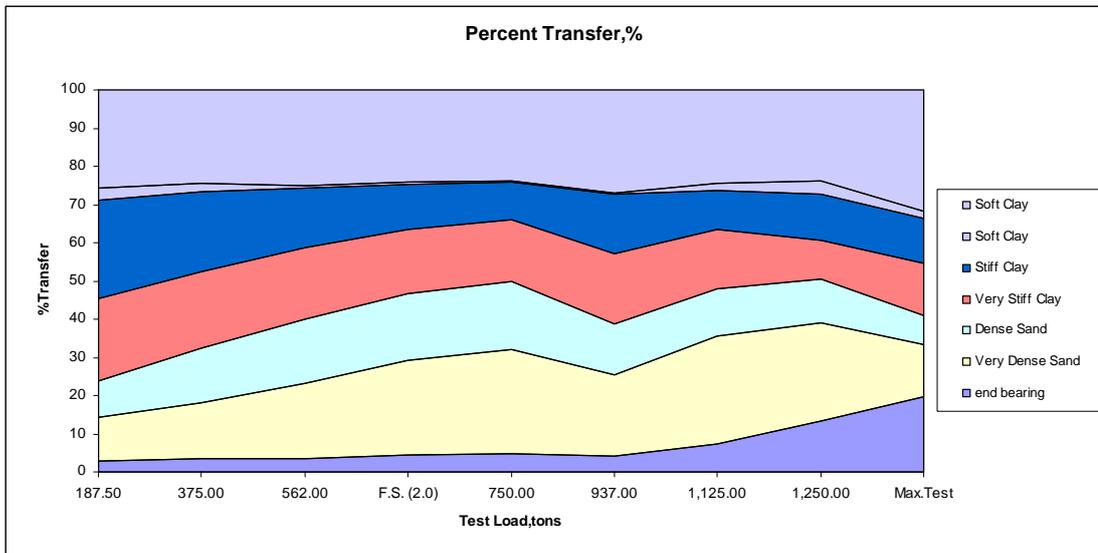
ภาพผนวกที่ จ8(ก) เปอร์เซนต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P8)



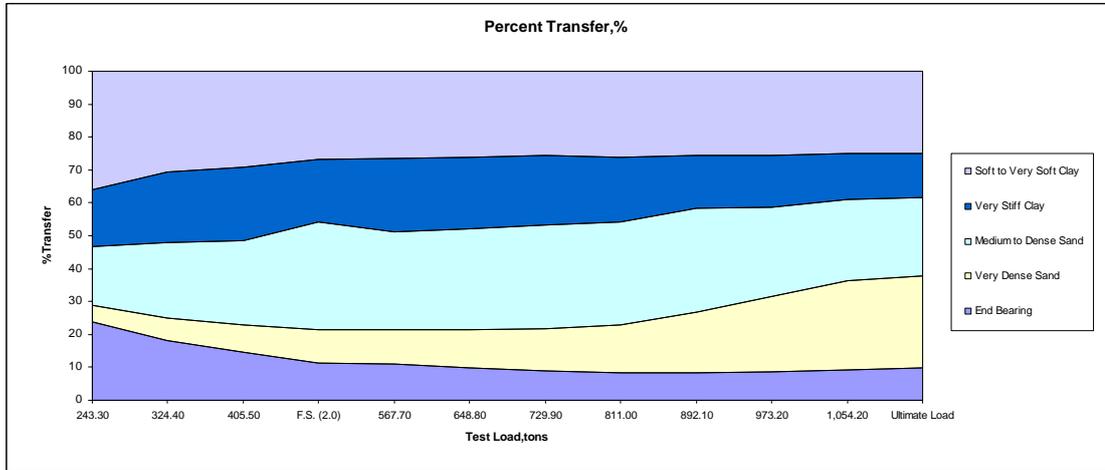
ภาพผนวกที่ จ8(ข) เปอร์เซนต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P8)



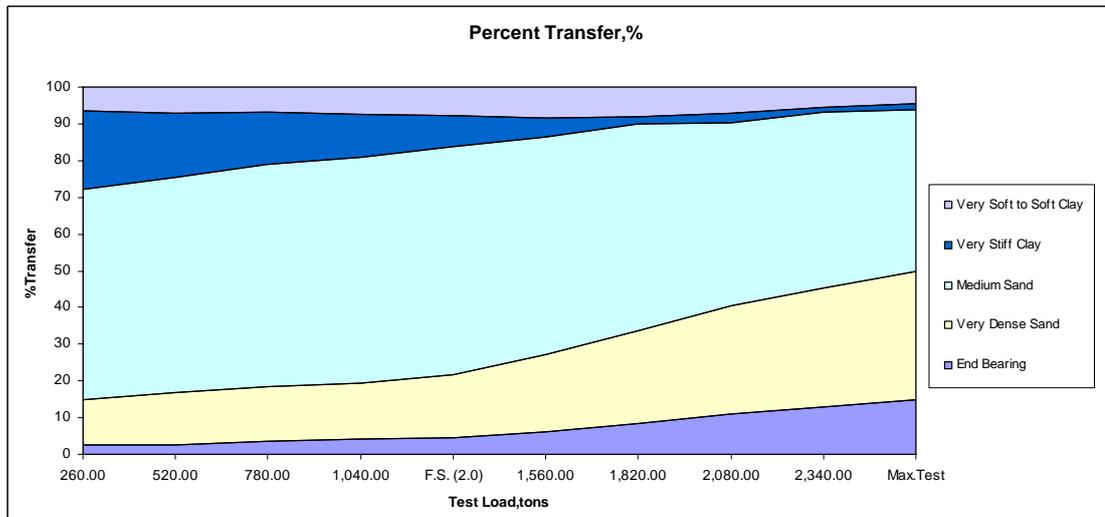
ภาพผนวกที่ ๑๑ เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P9)



ภาพผนวกที่ ๑๑๐ เเปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P10)



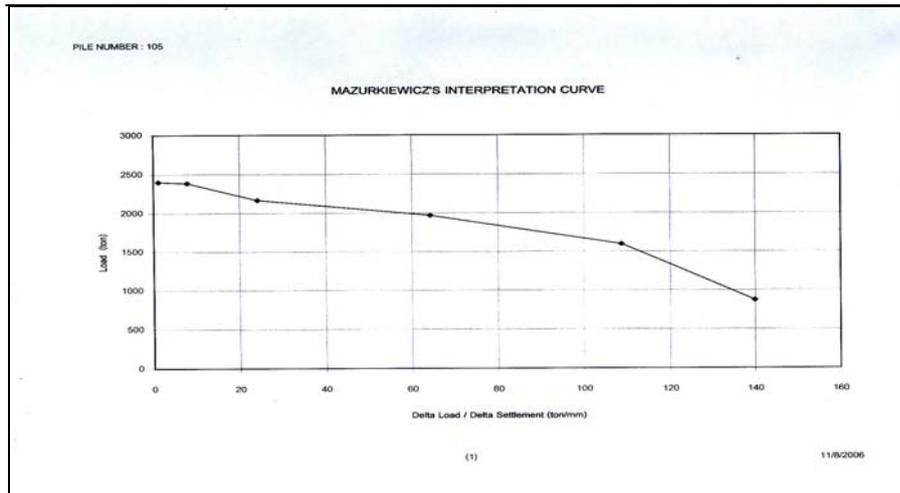
ภาพผนวกที่ ๑11 เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P11)



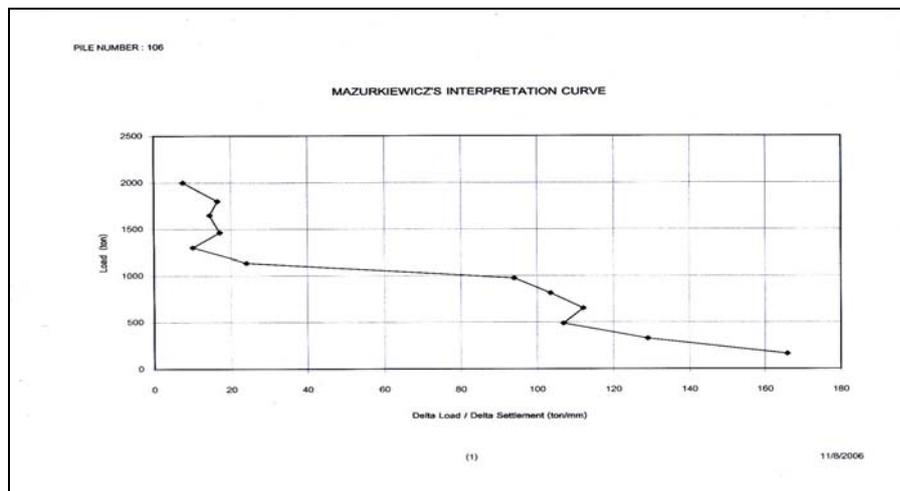
ภาพผนวกที่ ๑12 เปอร์เซ็นต์การถ่ายแรงของเสาเข็ม (P12)

**ภาคผนวก ฉ**

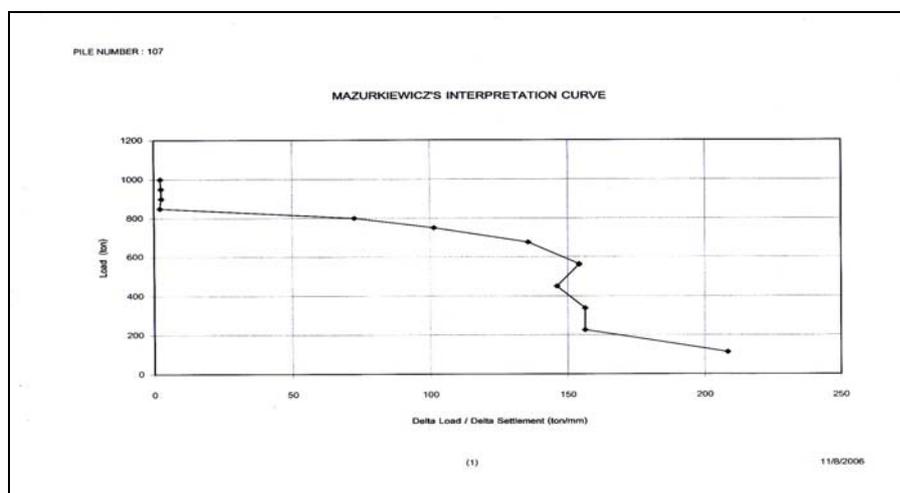
**การพัฒนาแรงต้านที่ปลายเสาเข็มจากการทดสอบด้วยวิธี Modified Mazurkiewicz**



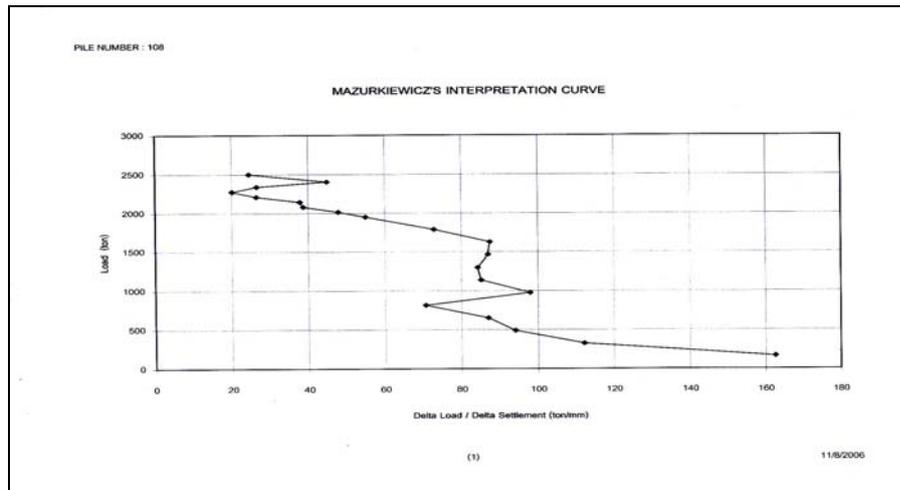
ภาพผนวกที่ ๑1 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P1



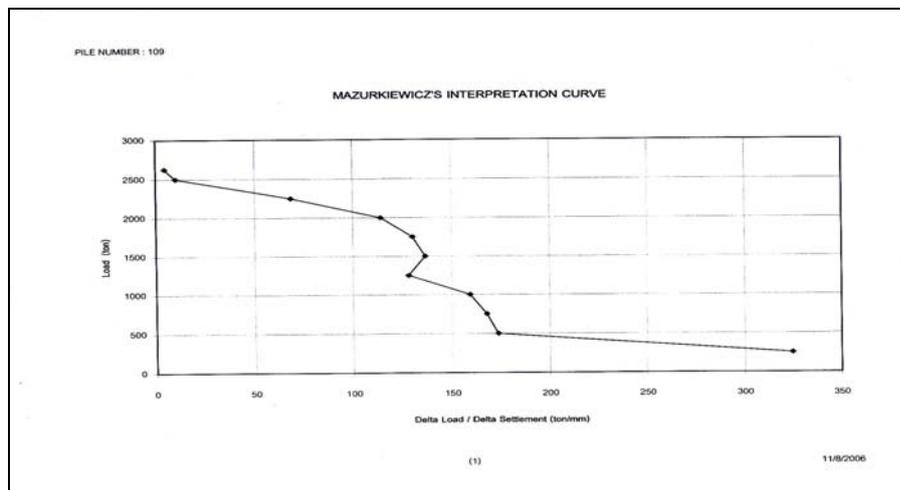
ภาพผนวกที่ ๑2 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P2



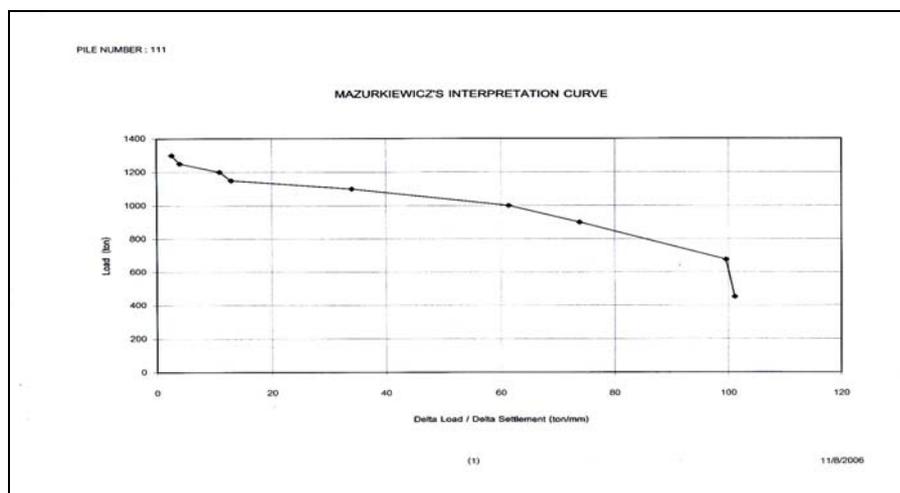
ภาพผนวกที่ ๑3 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P3



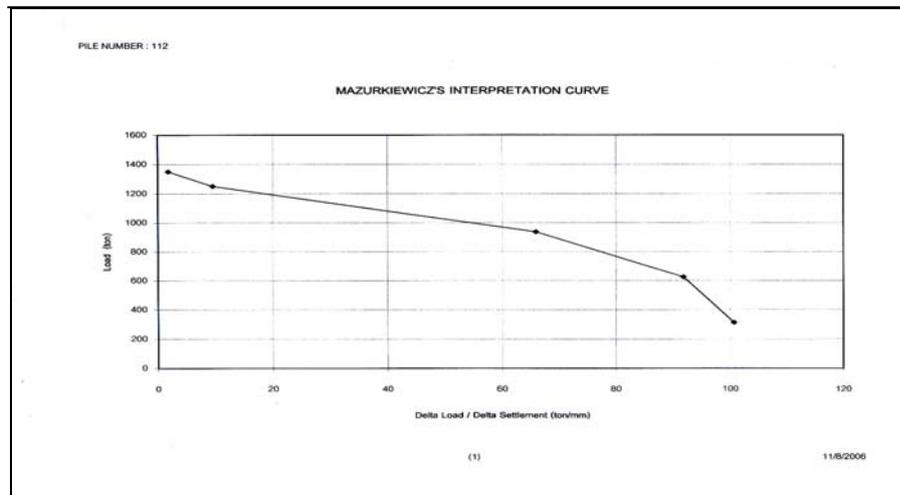
ภาพผนวกที่ ๑4 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P4



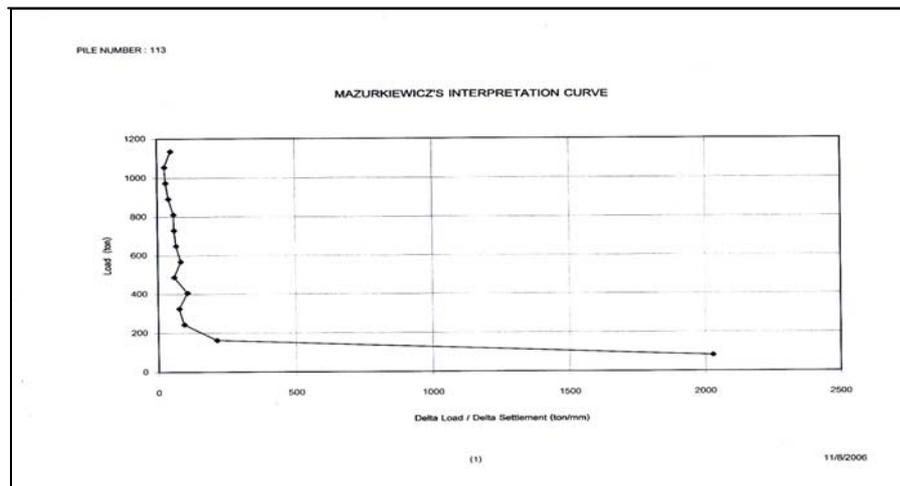
ภาพผนวกที่ ๑5 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P5



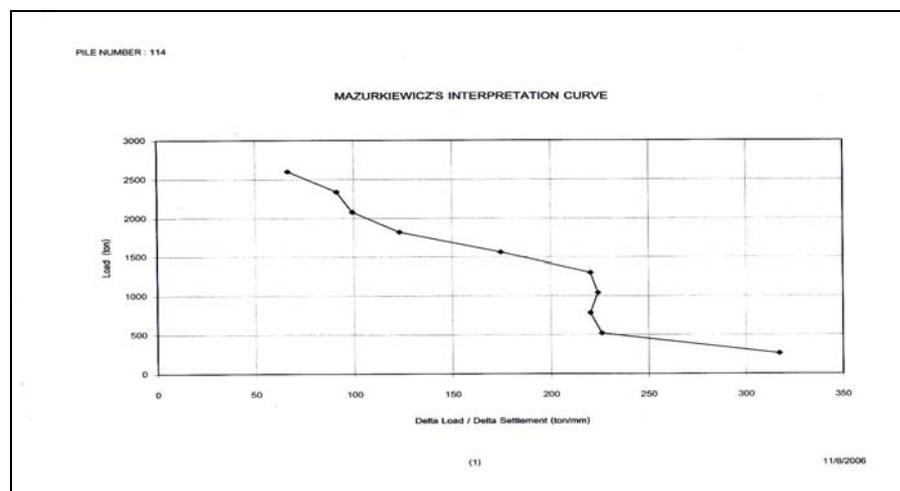
ภาพผนวกที่ ๑6 การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P6



ภาพผนวกที่ ๗ การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P10



ภาพผนวกที่ ๘ การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P11



ภาพผนวกที่ ๙ การพัฒนาแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มต้น P12