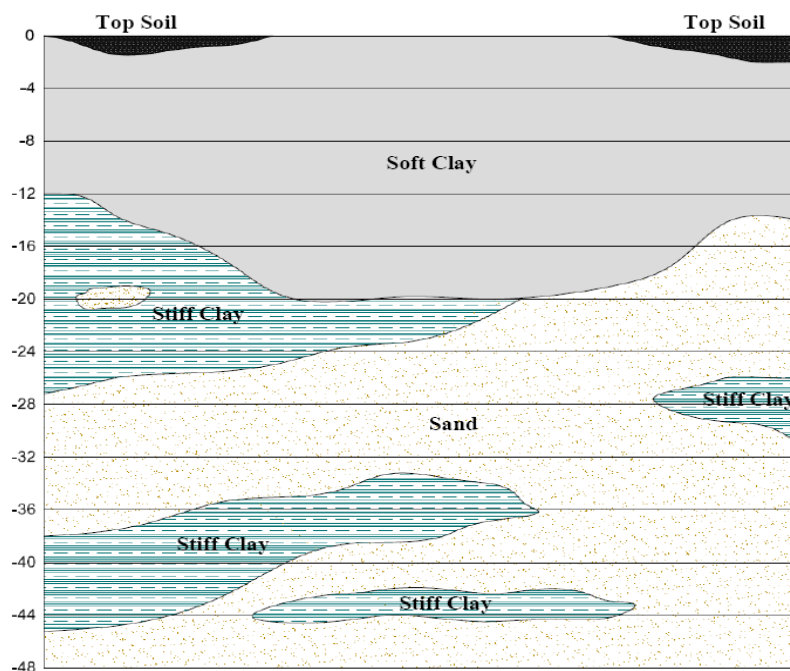


บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลและการเปรียบเทียบความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกจากทั้ง 3 วิธีที่นำเสนอ คือ วิธีออกแบบโดยทั่วไป (Conventional analysis) Suchada, 1989, Poulos (2001) และ ICP (Saldivar et al., 2005) โดยนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเทียบกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการทดลองด้วยวิธี Static Load Test ซึ่งนำมาหาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยด้วยวิธี Mazurkiewicz (1972) จากการรวบรวมข้อมูลทั้งสิ้น 26 ข้อมูล โดยที่แต่ละเสาเข็มที่ทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักได้มีผลการเจาะสำรวจ (Boring Log) ในโครงการแนบมา ดังได้แสดงในภาคผนวก ค. และจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินทั้งหมด 26 ดัน ที่ได้รวบรวม พบว่า ชั้นดินในกรุงเทพมหานครเป็นชั้นตะกอนดินเหนียวอยู่ที่ระดับความลึก 0-2 ม. มีชั้นดินเหนียวอ่อนอยู่ที่ความลึกประมาณ 0-20 ม. ซึ่งมีค่า S_u อยู่ในช่วง 1.3 – 5 ตัน/ตร.ม. จากนั้นจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งที่ระดับความลึกประมาณ 12-27 ม. มีค่า S_u อยู่ในช่วง 4-32 ตัน/ตร.ม. และจะพบทรายแน่นชั้นที่ 1 ที่ระดับความลึก 14-38 ม. มีค่า SPT-N อยู่ระหว่าง 12-85 ครั้ง/ฟุต ต่อจากนั้นจะพบชั้นดินเหนียวแข็งเป็นชั้นต่อไปที่ระดับความลึกประมาณ 26-45 ม. ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะสภาพชั้นดินโดยทั่วไป ดังรูปที่ 4.1 และเนื่องจากการศึกษาในหัวข้องานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะเสาเข็มที่มีขนาดเล็กดังนั้นข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินจึงหยุดอยู่ที่ความลึกไม่มากนัก ค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาเป็นผลมาจากการทดลองในห้องทดสอบทางธรณีวิทยา ซึ่งจะถูกนำมาใช้เพื่อการคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักด้วยวิธีต่างๆ ดังที่จะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 4.1 ลักษณะสภาพชั้นดินกรุงเทพมหานครจากการเจาะสำรวจจำนวน 26 หลุม

4.1 ผลการศึกษาวิธีการต่างๆในการหาคำนํ้าหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็ม

การคำนวณหาคํ้าลึงรับนํ้าหนักบรรทุกของเสาเข็มสำหรับทุกวิธี สูตรทั่วไปที่ใช้กันคือ $Q_u = Q_s + Q_b$ โดยแรงต้านทานผิวเสาเข็ม (Q_s) จะถูกคำนวณแตกต่างกันตามแต่ละวิธีที่น่าเสนอ คือ วิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada, Poulos และ ICP ส่วนแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Q_b) จะถูกคำนวณโดยแบ่งออกเป็นแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มที่ยังในชั้นดินเหนียวคำนวณมาจาก $Q_b = N_c \cdot S_u \cdot A_b$ โดยที่ $N_c = 9$ (Meyerhof, 1976) และแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มที่ยังในชั้นทรายคำนวณมาจาก $Q_b = N_q \cdot \sigma'_{vo} \cdot A_b$ โดยที่ N_q ขึ้นอยู่กับค่า ϕ (Suchada, 1989) ดังรูปที่ 3.3 และจากการคำนวณจากสูตรของ Suchada (1989) N_q มีค่าอยู่ในช่วง 14-48

ในการรวบรวมข้อมูลการทดสอบเสาเข็มตอกบริเวณกรุงเทพมหานครพบว่าการทดสอบคํ้าลึงรับนํ้าหนักของเสาเข็มตอกส่วนใหญ่มักทำการทดสอบไม่ถึงคํ้าลึงการรับนํ้าหนักบรรทุกประลัย จึงได้ทำการประเมินคํ้าลึงรับนํ้าหนักบรรทุกประลัยจากผลการทดสอบในสนามด้วยวิธี Static Load Test โดยวิธี Mazurkiewicz (1972) และวิธี Davisson (1972) แต่เนื่องจากวิธี Davisson (1972) ที่ได้ทำการนำเสนอไปนั้น ไม่สามารถทำการลากเส้น Offset ขนานกับเส้น Elastic Shortening ไปตัดกับเส้นโค้งของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคํ้าการทรุดตัวและนํ้าหนักที่ของเสาเข็มได้เพราะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคํ้าการทรุดตัวและนํ้าหนักสั้นเกินไป ในที่นี้จึงได้ทำการประเมินคํ้าลึงรับนํ้าหนักบรรทุกประลัยจากผลการทดสอบในสนามด้วยวิธี Static Load Test โดยวิธี Mazurkiewicz (1972) ดังได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. เพียงวิธีเดียวเท่านั้น ซึ่งจะเรียกว่าคํ้าลึงรับนํ้าหนักบรรทุกจากการทดสอบ (Tested Load) นำมาเปรียบเทียบกับคํ้าการประเมินคํ้าลึงรับนํ้าหนักบรรทุก (Predicted Load) จากทั้ง 3 วิธี ดังได้แสดงในตารางที่ 4.1 และนำเสนอในรูปของกราฟการเปรียบเทียบจากการประเมินด้วยวิธีต่างๆดังได้แสดงไว้ในบทนี้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบในสนามด้วยวิธี Static Load Test โดย Mazurkiewicz (1972) กับการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากทั้ง 3 วิธี

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดของ Pile Load Test (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติโดย Mazurkiewicz (1972) (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี (ตัน)		
				การออกแบบโดยวิธีทั่วไป (Conventional Analysis)	การออกแบบโดยวิธี Poulos (2001)	การออกแบบโดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005)
P-1	อาคารจอดรถไฟฟ้าสายสีม่วง บางใหญ่	300.00	415.00	272.35	270.53	609.49
P-2	อาคารจอดรถไฟฟ้าสายสีม่วง บางใหญ่	300.00	555.00	249.33	233.37	442.53
P-3	ทางพิเศษสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก ถ.รามอินทรา	375.00	550.00	249.28	280.29	343.17
P-4	ทางพิเศษสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก ถ.รามอินทรา	375.00	470.00	284.65	314.03	341.45
P-5	ทางพิเศษสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก ถ.รามอินทรา	375.00	530.00	220.82	244.38	420.20
P-6	ทางพิเศษสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก ถ.รามอินทรา	750.00	750 (Test Failed)	359.63	484.94	645.72
P-7	ทางพิเศษสายรามอินทรา – วงแหวนรอบนอก ถ.รามอินทรา	375.00	780.00	263.99	345.57	496.80
P-8	อาคารฝึกและทดสอบสมรรถภาพทางทหาร ดอนเมือง	60.00	170.00	87.55	90.38	76.06
P-9	บ้านเอื้ออาทร แสมดำ 17	105.00	160.00	66.07	68.88	69.38
P-10	บ้านเอื้ออาทร บางขุนเทียน 3 ซอยเทียนทะเล 28	125.00	145.00	164.10	216.85	244.12
P-11	Tree Condo สุขุมวิท 52	125.00	155.00	148.29	154.03	166.37
P-12	Tree Condo สุขุมวิท 52	125.00	200.00	155.82	201.48	206.92

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบในสนามด้วยวิธี Static Load Test โดย Mazurkiewicz (1972) กับการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากทั้ง 3 วิธี (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดของ Pile Load Test (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติโดย Mazurkiewicz (1972) (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี (ตัน)		
				การออกแบบโดยวิธีทั่วไป (Conventional Analysis)	การออกแบบโดยวิธี Poulos (2001)	การออกแบบโดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005)
P-13	Tree Condo สุขุมวิท 52	125.00	240.00	121.70	137.91	164.65
P-14	Expansion of Bangkhen Water Treatment	150.00	205.00	137.27	143.90	185.70
P-15	Expansion of Bangkhen Water Treatment	150.00	240.00	115.44	115.38	149.51
P-16	Expansion of Bangkhen Water Treatment	150.00	290.00	102.95	103.07	124.59
P-17	Expansion of Bangkhen Water Treatment	175.00	300.00	124.90	128.38	151.78
P-18	Expansion of Bangkhen Water Treatment	175.00	270.00	100.58	96.92	107.15
P-19	Expansion of Bangkhen Water Treatment	175.00	250.00	125.89	129.14	153.75
P-20	อาคารสำนักงานอัยการตลิ่งชัน	80.00	124.00	95.43	78.95	72.74
P-21	อาคารสำนักงาน 9 ชั้น กรมศุลกากร คลองเตย	180.00	168.00 (Test Failed)	176.34	197.61	203.61
P-22	อาคารบัญชาการกองทัพอากาศและอาคารจอดรถ ถ.อิสรภาพ บางกอกน้อย	250.00	320.00	235.36	285.60	316.81

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากผลการทดสอบในสนามด้วยวิธี Static Load Test โดย Mazurkiewicz (1972) กับการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากทั้ง 3 วิธี (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อโครงการ	น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดของ Pile Load Test (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดพิบัติโดย Mazurkiewicz (1972) (ตัน)	การประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี (ตัน)		
				การออกแบบโดยวิธีทั่วไป (Conventional Analysis)	การออกแบบโดยวิธี Poulos (2001)	การออกแบบโดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005)
P-23	อาคารปฏิบัติการกลางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สจล. ลาดกระบัง	240.00	360.00	303.44	329.43	447.03
P-24	อาคารเรียนรวมและห้องเอนกประสงค์ สำนักงานอธิการบดี สจล. ลาดกระบัง	250.00	290.00	243.51	279.00	351.87
P-25	อาคารเรียน 12 ชั้น คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก	375.00	660.00	661.86	656.90	826.30
P-26	Index Living Mall บางนา	300.00	340.00	377.22	396.61	477.36

4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าน้ำหนักประลัยจากการทดสอบในสนามกับค่าน้ำหนักประลัยจากการประเมินโดยวิธีของSuchada (1989)

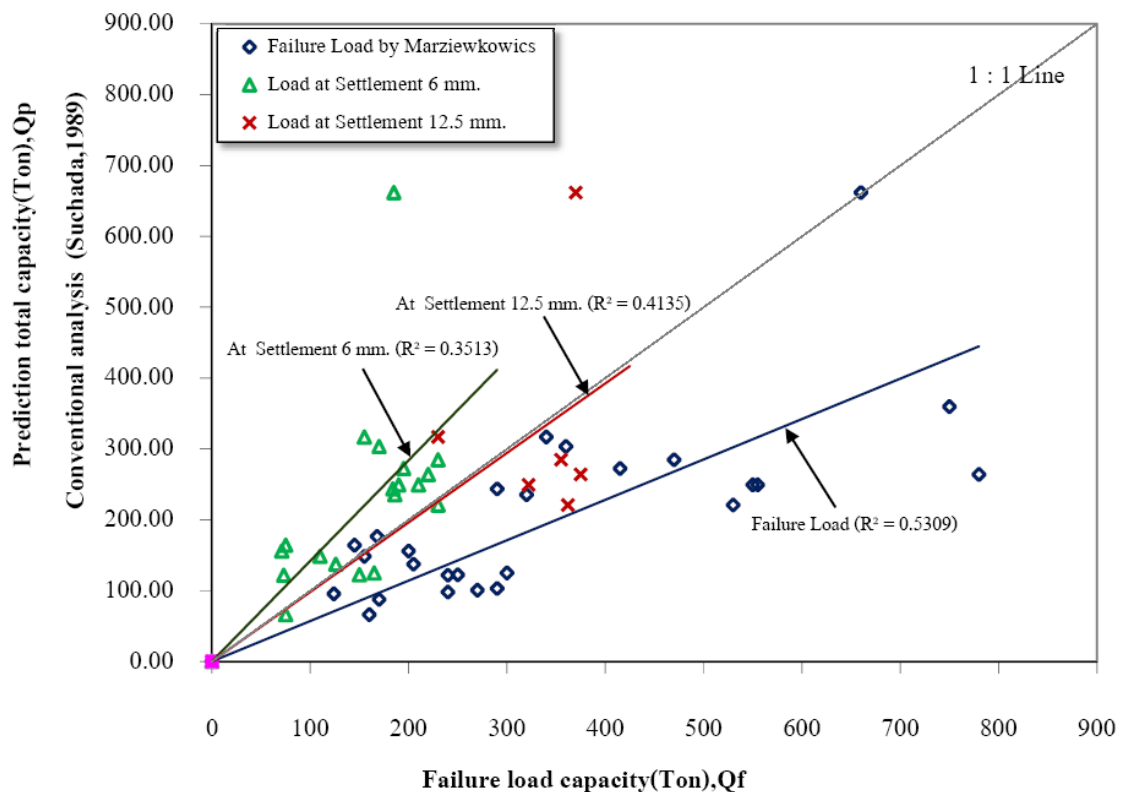
การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) ซึ่งเป็นวิธีการพิจารณาถึงหน่วยแรงรวม (Total Stress Method) โดยคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะ (α) ระหว่างผิวเสาเข็มกับชั้นดินเป็นตัวแปรหลักในการพิจารณาคำนวณแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็ม (Skin Friction) ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3.1

4.2.1 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) ที่ค่าการทรุดตัวต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 กราฟการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคำนวณด้วยวิธี Suchada (1989) (Q_p) กับค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบโดย Mazurkiewicz (1972) (Q_r) มีแนวโน้มเป็นรูปพาราโบลาและอยู่ต่ำกว่าเส้น 1:1 ในช่วงกำลังรับน้ำหนักบรรทุก(Q_r) ของเสาเข็มตอกที่มีค่าสูงขึ้นกราฟมีแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้นแสดงให้เห็นว่าการประเมินด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada(Q_p) จะมีค่าความแม่นยำใกล้เคียงค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยจริงในช่วงที่เสาเข็มมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย(Q_p) ไม่มากกว่าคือไม่เกิน 350 ตัน โดยประมาณ หากใช้ในการคำนวณหรือออกแบบเสาเข็มที่รับน้ำหนักบรรทุกประลัยเกิน 350 ตัน ค่าที่ได้จากการประเมินมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าการทดสอบมากขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากกราฟมีแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้น

เมื่อพิจารณาจากค่าการทรุดตัวที่ 6 มม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) พบว่าการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย(Q_p) ที่ได้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักการทดสอบเสาเข็ม(Q_r) เนื่องจากการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย(Q_p) ที่คำนวณได้ด้วยวิธีนี้มีค่ามากกว่าค่าน้ำหนักการทดสอบเสาเข็ม(Q_r) ที่การทรุดตัว 6 มม.

ที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) จากข้อมูลที่มีอยู่ค่อนข้างมีฐานข้อมูลน้อยและการกระจายตัวของข้อมูลไม่มากนัก กล่าวคืออยู่ในช่วงน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบ(Q_r) 220-380 ตันโดยประมาณ แต่พอจะสามารถพิจารณาแนวโน้มได้ โดยค่าที่ได้จากการประเมินค่าใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดสอบ แนวโน้มของกราฟใกล้เคียงเส้น 1:1 และอยู่ต่ำกว่าเส้น 1:1 เพียงเล็กน้อยแสดงว่าการทดสอบกำลังรับน้ำหนักด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) (Q_r) ที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. สำหรับชั้นดินกรุงเทพมหานครมีค่ากำลังรับน้ำหนักใกล้เคียงกับการประเมินกำลังรับน้ำหนักประลัยด้วยวิธีการออกแบบโดยทั่วไป (Q_p) และมีความปลอดภัยเนื่องจากค่าที่ประเมินมีค่าต่ำกว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Static Load Test ที่การทรุดตัว 12.5 มม.



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยโดยวิธีการออกแบบทั่วไป (Suchada, 1989) กับผลการทดสอบในสนาม

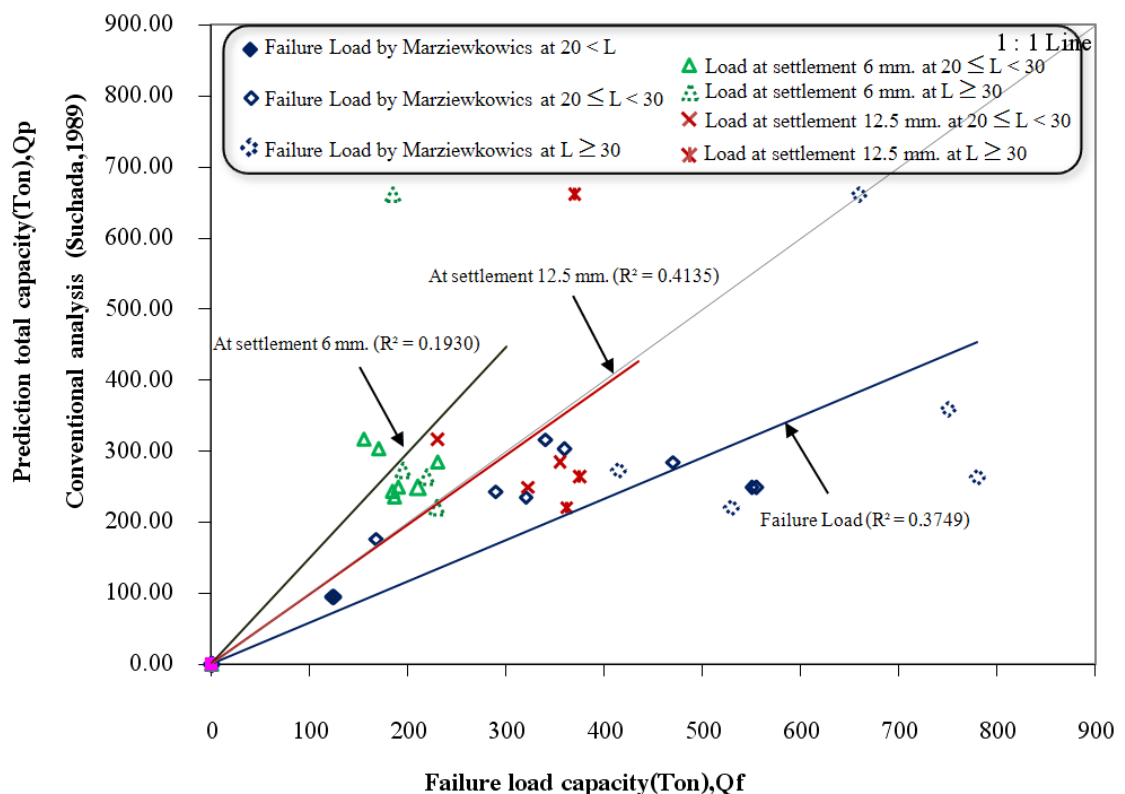
4.2.2 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) ของเสาเข็มตอกชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 หากพิจารณาผลของเสาเข็มตอกชนิด Spun เพียงอย่างเดียว ที่น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย กราฟที่ได้มีแนวโน้มต่ำกว่าเส้น 1:1 ในช่วงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มตอกที่มีค่าสูงขึ้นกราฟมีแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้นแสดงให้เห็นว่าการประเมินด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (Q_p) จะมีค่าความแม่นยำใกล้เคียงค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจริง (Q_f) ในช่วงที่เสาเข็มมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยไม่มากกว่าคือไม่เกิน 350 ตัน โดยประมาณ หากใช้ในการคำนวณหรือออกแบบเสาเข็มที่รับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเกิน 350 ตัน ค่าที่ได้จากการประเมิน (Q_p) มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าการทดสอบมากขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากกราฟมีแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้น

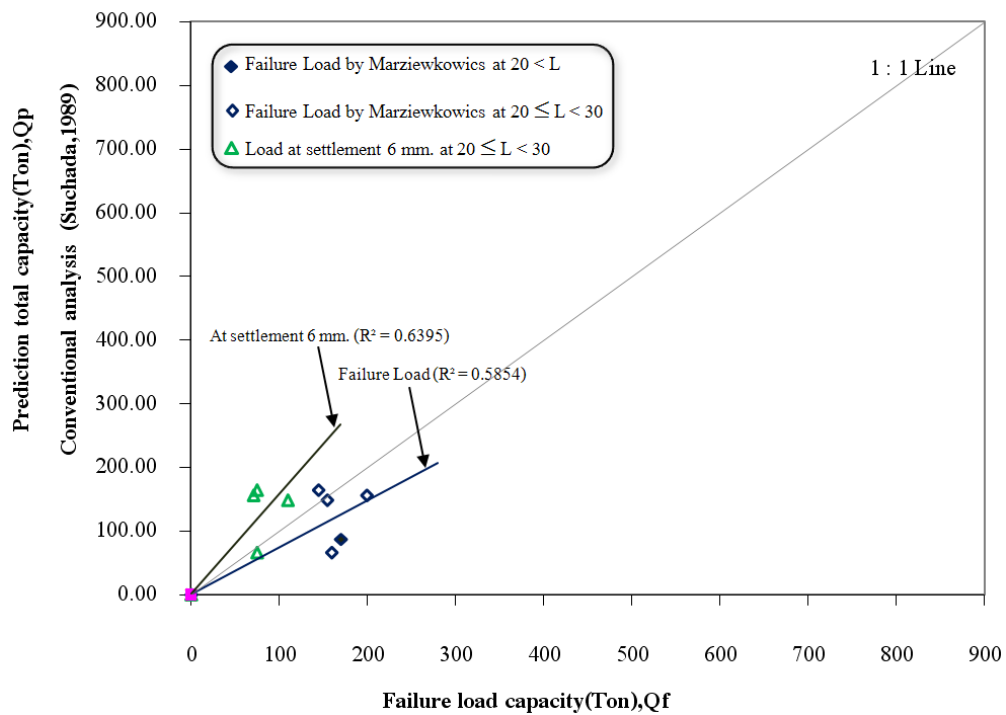
ที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการคำนวณ (Q_p) จะมีค่าสูงกว่าค่าน้ำหนักที่ทดสอบค่าการทรุดตัว 6 มม. แทบทั้งสิ้นการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างน้อยมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกจากการทดสอบ (Q_f) ที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. อยู่ระหว่าง 150-250 ตัน โดยประมาณ

ที่ค่าการทรุดตัวที่ 12.5 มม. พบว่าค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการคำนวณ(Q_p) มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบ(Q_f) ที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. เป็นส่วนใหญ่

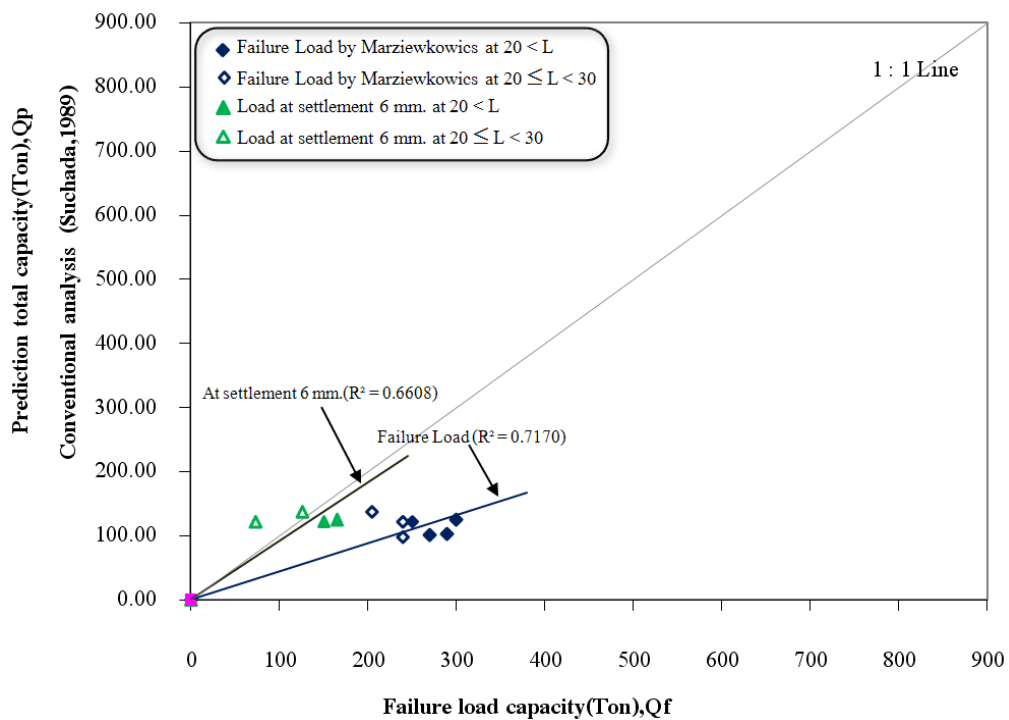
เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบกราฟจากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นเสาเข็มตอกชนิด I-Pile และเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยม ตามลำดับ พบว่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจากการคำนวณ (Q_p) มีค่าต่ำกว่าค่าการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบ (Q_f) ทั้งคู่ แต่ค่าที่ได้ของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile มีความแม่นยำใกล้เคียงเส้น 1:1 สูงกว่าเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยม สำหรับเสาเข็มชนิดสี่เหลี่ยมพบว่าความแม่นยำของข้อมูลการประเมินโดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada ในการศึกษา ค่า R^2 (Coefficient of Determination : R Square) มีค่าเท่ากับ 0.7170 ทั้งๆที่มีเส้นแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากกว่าเสาเข็มตอกชนิด I-Pile เนื่องจากเสาเข็มชนิดสี่เหลี่ยมเป็นข้อมูลที่มาจากการเจาะเดียวกันทั้งสิ้นจึงใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Boring log เดียวกัน หากต้องการทำการพิจารณาเพื่อให้สามารถทำการสรุปผลได้ควรทำการเก็บข้อมูลในบริเวณอื่นเพิ่มเติมเพื่อดูแนวโน้มของค่าที่คำนวณ (Q_p) ได้กับค่าที่ได้จากผลการทดลอง (Q_f) มากกว่านี้



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด Spun ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35, 0.60 และ 0.80 ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile ขนาดความกว้าง 0.26, 0.30, 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.2 ค่า R-Square โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) โดยเปรียบเทียบเสาเข็มชนิดต่างๆ

ชนิดเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
Spun Pile	0.3749	0.1930	0.4135
I – Pile	0.5854	0.6395	-
□ - Pile	0.7170	0.6608	-

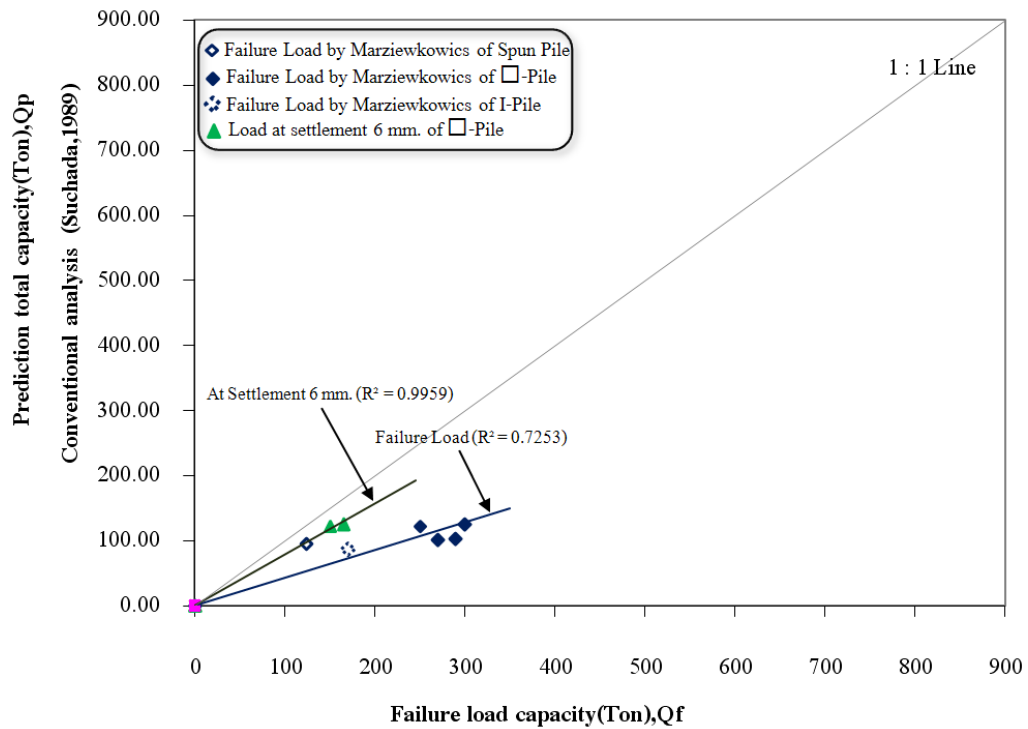
4.2.3 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) ที่ความยาวต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าที่ความยาวเสาเข็มน้อยกว่า 20 ม. ในการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada นั้น จะทำให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Q_p) ต่ำกว่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทำการทดสอบ (Q_t) ก่อนข้างมาก แม้ตัวอย่างการทดสอบในสนามบางต้นจะมีค่ากำลังการรับน้ำหนักที่มากขึ้นแต่ค่ากำลังการรับน้ำหนักที่คำนวณด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada ก็ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเสาเข็มตกอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนทำให้ค่ากำลังรับแรงเสียดทานที่ผิว (Q_s) มีค่าน้อยมาก อีกทั้งการรวบรวมข้อมูลของเสาเข็มที่มีความยาวน้อยกว่า 20 ม. ยังมีจำนวนค่อนข้างน้อยและการกระจายของข้อมูลไม่มากพอจึงยังไม่สามารถเห็นแนวโน้มของการคำนวณด้วยวิธีนี้อย่างชัดเจน

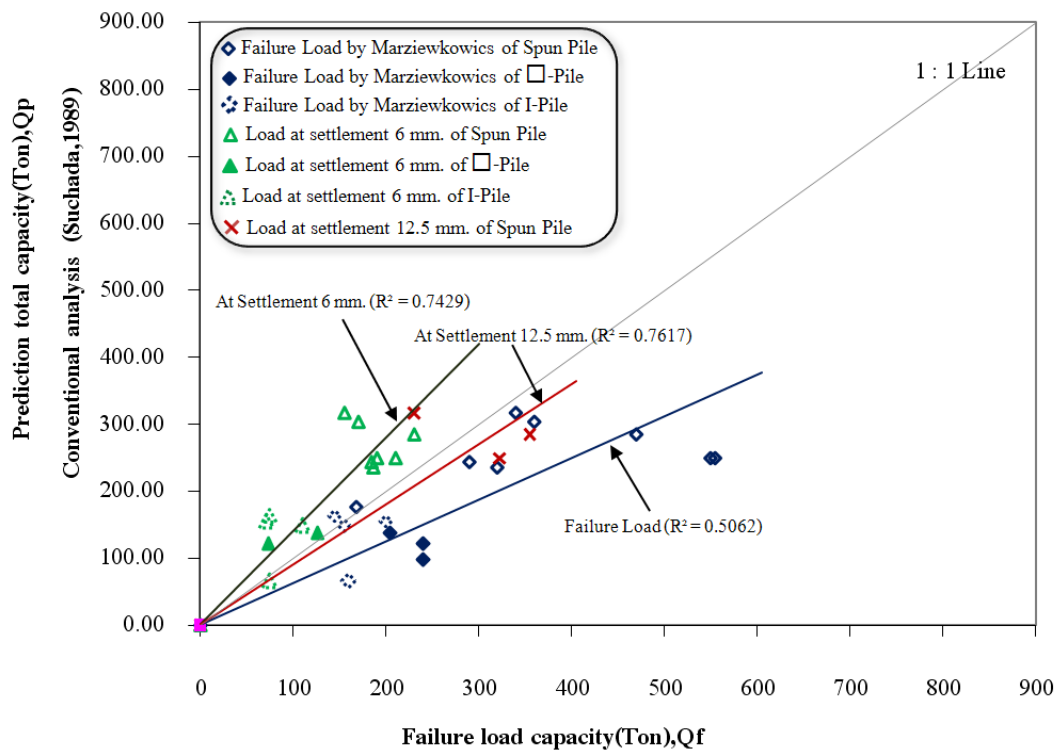
เมื่อพิจารณากำลังรับน้ำหนักประลัยจากรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่าที่ความยาวเข็มตั้งแต่ 20 ม. เป็นต้นไป กราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงอยู่ภายใต้เส้น 1:1 หมายความว่า การคำนวณด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (Q_p) มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ (Q_t) โดยที่ช่วงความยาวเข็มตั้งแต่ 20-30 ม. มีการกระจายของข้อมูลอยู่ใกล้เส้น 1:1 มากกว่าช่วงความยาวเข็มตั้งแต่ 30 ม. ขึ้นไปมีค่า $R^2 = 0.5062$ ส่วนที่ช่วงความยาวตั้งแต่ 30 ม. เป็นต้นไปนี้แนวโน้มของการคำนวณที่ได้โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (Q_p) มีค่าห่างจากค่าที่ได้จากการทดสอบ (Q_t) มากขึ้นเมื่อกำลังการรับน้ำหนักของเข็มมากขึ้นมีค่า $R^2 = 0.4576$ ซึ่งจะเห็นว่ามีความแม่นยำในการคำนวณน้อยลงเมื่อเทียบกับการคำนวณที่ช่วงความยาวเข็มตั้งแต่ 20-30 ม.

ที่ค่าการทรุดของเสาเข็มทดสอบ 6 มม. สำหรับเสาเข็มที่มีความยาวตั้งแต่ 20 ม. เป็นต้นไป พบว่าแนวโน้มของการคำนวณ (Q_p) ด้วยวิธีนี้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการอ่านกราฟการทดสอบที่ 6 มม. และมีเส้นแนวโน้มเป็นเส้นตรงใกล้เคียงเส้น 1:1 สำหรับค่าการทรุดตัวที่ 12.5 มม. เมื่อพิจารณาแนวโน้ม

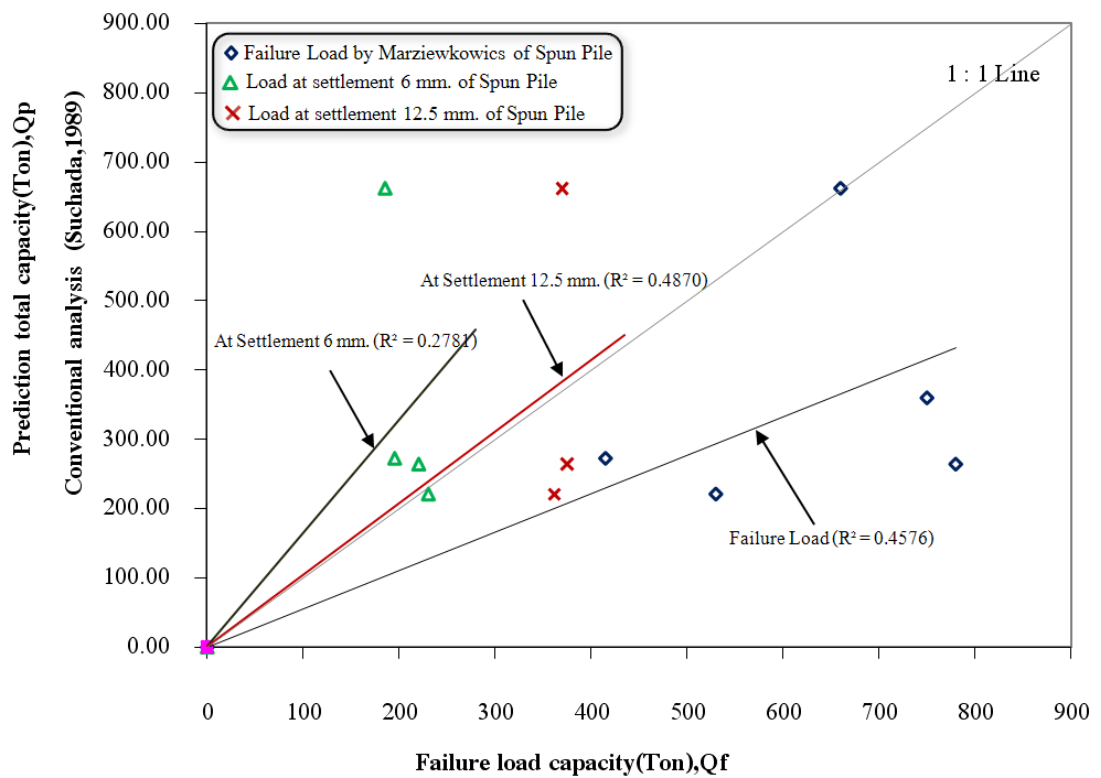
การคำนวณด้วยวิธีนี้จากกราฟมีค่า $R^2 = 0.7617$ และ $R^2 = 0.4870$ ที่ความยาวเสาเข็มตั้งแต่ 20-30 ม. และความยาวเสาเข็มตั้งแต่ 30 ม. ขึ้นไป ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $L < 20$ ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $20 \leq L < 30$ ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $L \geq 30$ ม. โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) กับผลการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.3 ค่า R-Square โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) เปรียบเทียบที่ความยาวต่างๆ

ความยาวเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
$L < 20$ ม.	0.7253	0.9959	-
$20 \leq L < 30$ ม.	0.5062	0.7429	0.7617
$L \geq 30$ ม.	0.4576	0.2781	0.4870

4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าน้ำหนักประลัยจากการทดสอบในสนามกับค่าน้ำหนักประลัยจากการประเมินโดยวิธี Poulos (2001)

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธี Poulos (2001) เป็นวิธีการคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกที่ถูกพัฒนามาจาก Fleming et al. (1985) โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การยึดเกาะ (α) จากค่าความต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength) และค่าหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Overburden Pressure) และยังพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์การปรับลดเนื่องจากความชะลูดของเสาเข็ม (F1) ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3.2

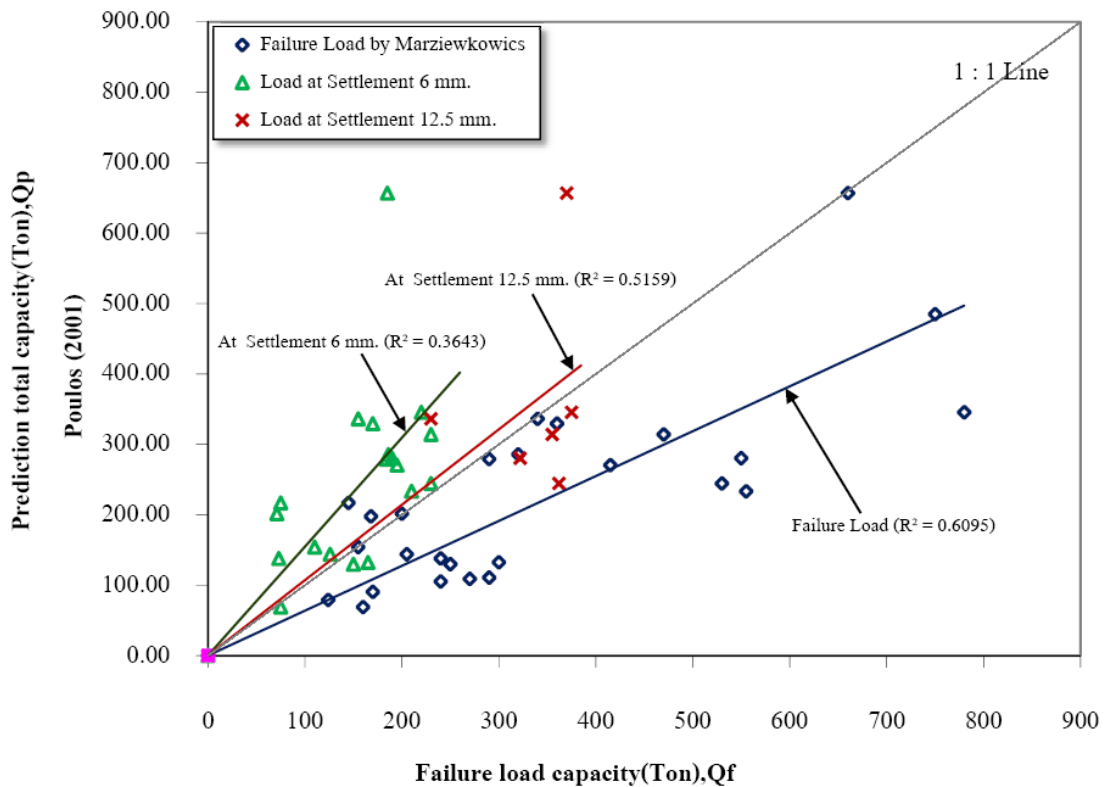
4.3.1 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี Poulos (2001) ที่ค่าการทรุดตัวต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 กราฟการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคำนวณด้วยวิธี Poulos (2001) (Q_p) กับค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบโดย Mazurkiewicz (1972) (Q_p) มีแนวโน้มอยู่ต่ำกว่าเส้น 1:1 ในช่วงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกที่มีค่าสูงขึ้นกราฟมีแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้นแต่มีแนวโน้มเข้าใกล้เส้น 1:1 มากกว่าการประเมินด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) และค่า R^2 (Coefficient of Determination : R-Square) โดยวิธี Poulos (2001) มีค่าเท่ากับ 0.6095 มีค่ามากกว่าค่า R^2 โดยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5309 แสดงให้เห็นว่าการประเมินด้วยวิธี Poulos (2001) มีความแม่นยำในการคำนวณใกล้เคียงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยจริงที่ได้จากการทดสอบในสนามมากกว่าวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada

ค่าการทรุดตัวที่ 6 มม. โดยวิธี Poulos (2001) พบว่าค่าการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Q_p) ที่ได้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงขนานใกล้เคียงเส้น 1:1 และมีค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่าค่าน้ำหนักการทดสอบเสาเข็มที่การทรุดตัว 6 มม. จึงไม่ควรใช้ค่าการทรุดตัวที่ 6 มม. ในการออกแบบที่การทรุดตัวดังกล่าว เนื่องจากมีความสามารถในการรับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ หากใช้ค่าดังกล่าวจะทำให้มีความปลอดภัยในการออกแบบต่ำลงมาก

ที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. โดยวิธี Poulos (2001) จากข้อมูลที่มีอยู่ค่อนข้างมีฐานข้อมูลน้อยและการกระจายตัวของข้อมูลไม่มากนัก กล่าวคืออยู่ในช่วงน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการทดสอบ (Q_p) 220-380 ตันโดยประมาณ โดยค่าที่ได้จากการประเมินด้วยการคำนวณ (Q_p) มีค่าใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดสอบ (Q_p) แนวโน้มของกราฟใกล้เคียงเส้น 1:1 แสดงว่าการทดสอบกำลังรับน้ำหนักด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Load Test) ที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. สำหรับวิธีนี้มีค่ากำลังรับน้ำหนักใกล้เคียงกับการประเมินกำลังรับน้ำหนักด้วยวิธี Suchada ที่การทรุดตัว 12.5 มม. และหากนำค่ากำลังรับน้ำหนักด้วยวิธีนี้ไปใช้ในการออกแบบที่การทรุดตัว 12.5 มม. พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังรับ

น้ำหนักจริงที่การทรุดตัว 12.5 มม. แต่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าน้ำหนักจากทดสอบที่การทรุดตัว 12.5 มม. เล็กน้อยซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้ แต่ควรทำการเผื่อค่าความปลอดภัยให้สูงขึ้น



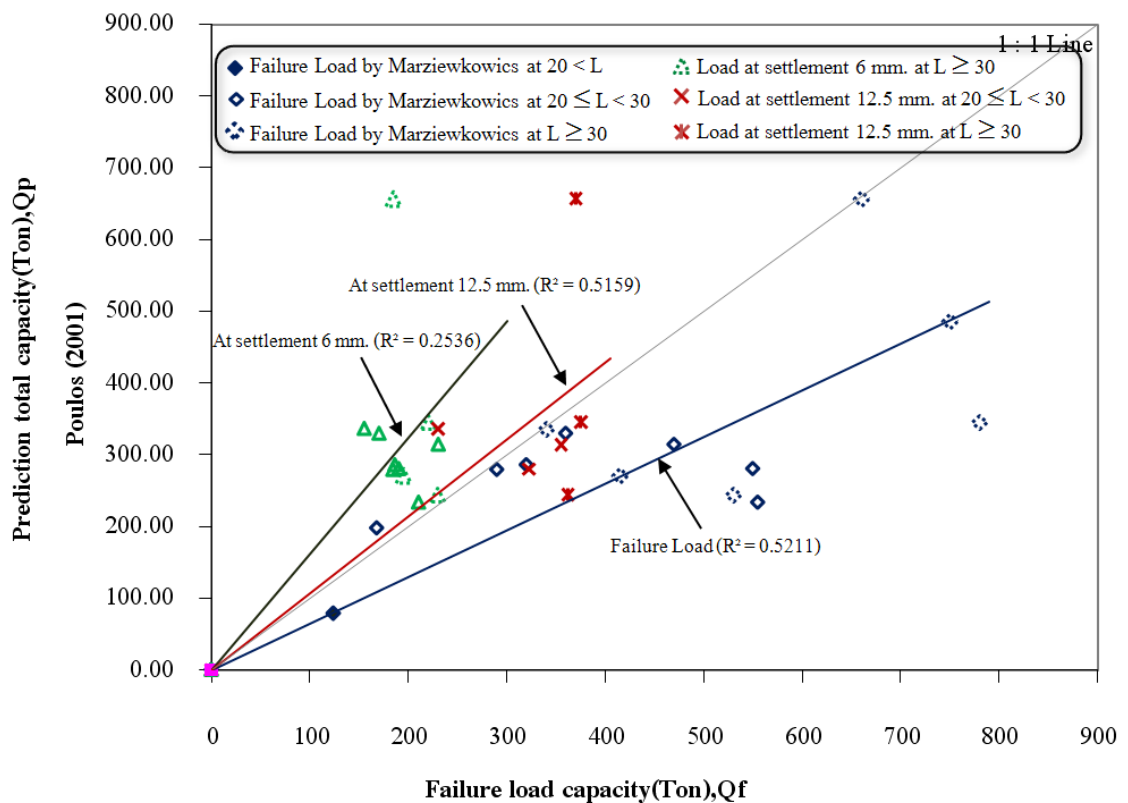
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยโดย Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม

4.3.2 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี Poulos (2001) ของเสาเข็มตอกชนิดต่างๆ

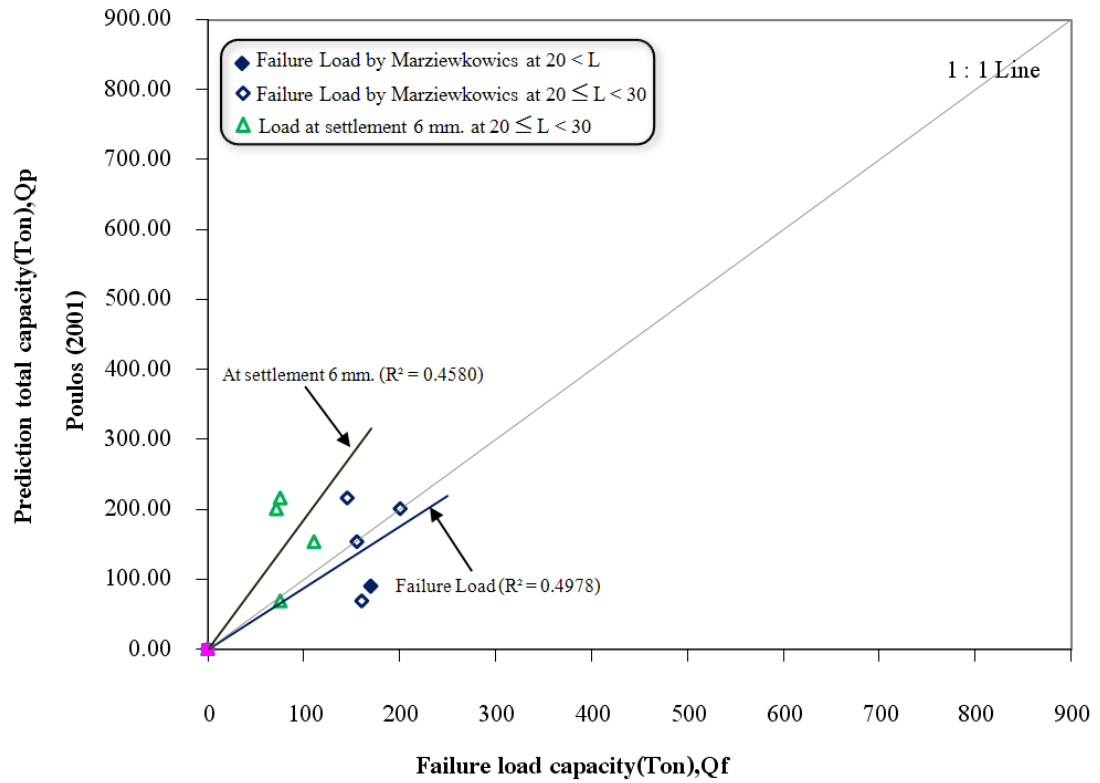
จากรูปที่ 4.10 เสาเข็มตอกชนิด Spun กราฟการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยจากการคำนวณด้วยวิธี Poulos (2001) (Q_p) กับค่าน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบโดย Mazurkiewicz (1972) (Q_f) กราฟที่ได้มีแนวโน้มอยู่ภายใต้เส้น 1:1 โดยที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบที่เพิ่มขึ้นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Poulos (Q_p) มีค่าแนวโน้มห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้น เช่นเดียวกับการคำนวณด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada ส่วนที่ค่าการทรุดตัวที่ 6 มม.สำหรับเสาเข็ม Spun เมื่อคำนวณด้วยวิธีนี้จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของกราฟทั้งหมดอยู่เหนือเส้น 1:1 ทั้งสิ้นแสดงว่าหากทำการคำนวณด้วยวิธีนี้ที่ค่าการทรุดตัวดังกล่าวค่าที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของเสาเข็มที่การทรุดตัว 6 มม.ทุกต้น หากลองมาพิจารณาที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. จะพบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้น 1:1 มากกว่าค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่ 6 มม. และมีความปลอดภัยจากการคำนวณมากกว่าเนื่องจากการกระจายของข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ต่ำ

กว่าเส้น 1:1 หมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกที่การทรุดตัว 12.5 มม. ที่ได้จากการทดสอบ

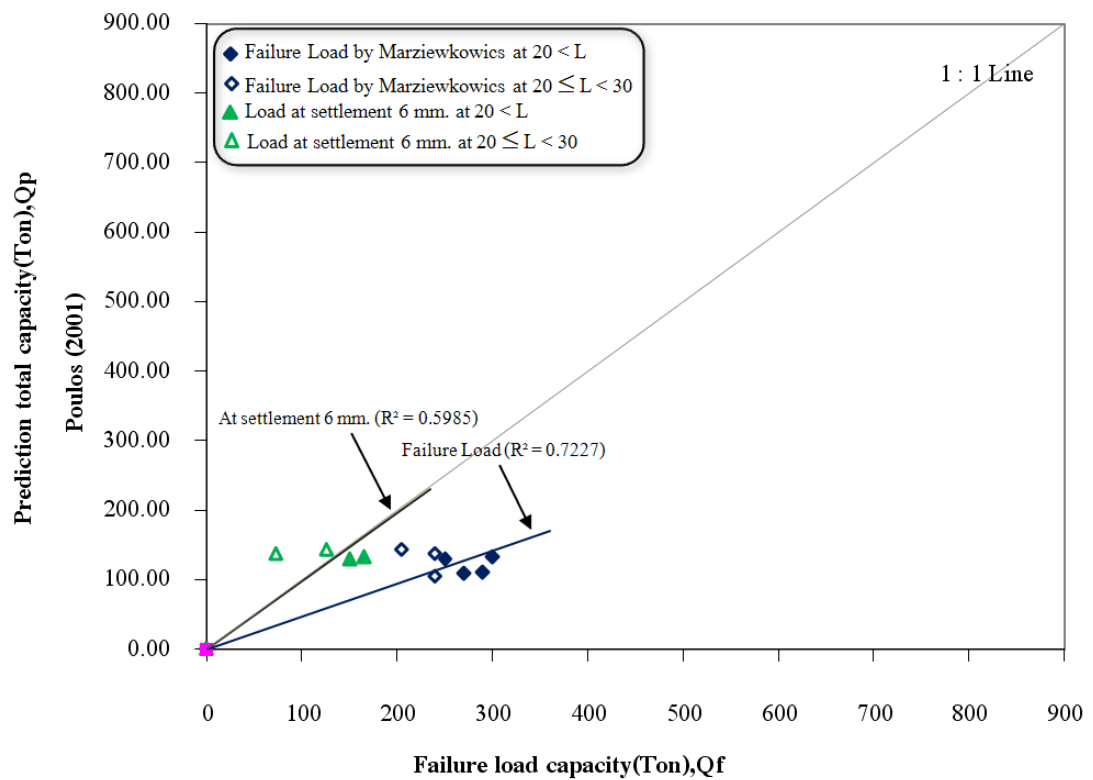
ส่วนเข็มตอกชนิด I-Pile และชนิดสี่เหลี่ยมจากรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 พบว่าการคำนวณด้วยวิธีนี้สำหรับเสาเข็มตอกชนิด I-Pile มีแนวโน้มที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_p) จะสูงกว่าค่าที่เสาเข็มตอกรับได้จริง (Q_p) อยู่เล็กน้อย แต่เสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยมกลับมีแนวโน้มค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_p) ต่ำกว่าค่าที่เสาเข็มตอกรับได้จริง (Q_p) อยู่ค่อนข้างมาก หากพิจารณาจากค่า R^2 พบว่า เสาเข็มตอกชนิด I-Pile มีค่าเท่ากับ 0.4978 แสดงว่าความแม่นยำในการคำนวณของข้อมูลของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile มีค่าความสัมพันธ์กันน้อย ส่วน R^2 ของเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 0.7227 มีความแม่นยำในการคำนวณค่อนข้างมากแต่เส้นแนวโน้มกลับอยู่ห่างจากเส้น 1:1 มากกว่าเสาเข็มตอกชนิด I-Pile อาจเป็นเพราะตัวอย่างที่รวบรวมได้ของเสาเข็มชนิดสี่เหลี่ยมทั้งหมดมาจากโครงการเดียวกันและอยู่ใกล้แม่น้ำซึ่งมีความยาวของเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางทุกต้น การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มใช้ค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินเหมือนกันเนื่องจากอยู่ในบริเวณเดียวกันทั้งสิ้น ทำให้การกระจายตัวของฐานข้อมูลที่มีอยู่ไม่มากพอที่จะสามารถทราบได้ว่าที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_p) ในชั้นดินบริเวณอื่นของกรุงเทพฯ จะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด Spun ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35, 0.60 และ 0.80 ม. โดยวิธี Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile ขนาดความกว้าง 0.26, 0.30, 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธี Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธี Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม

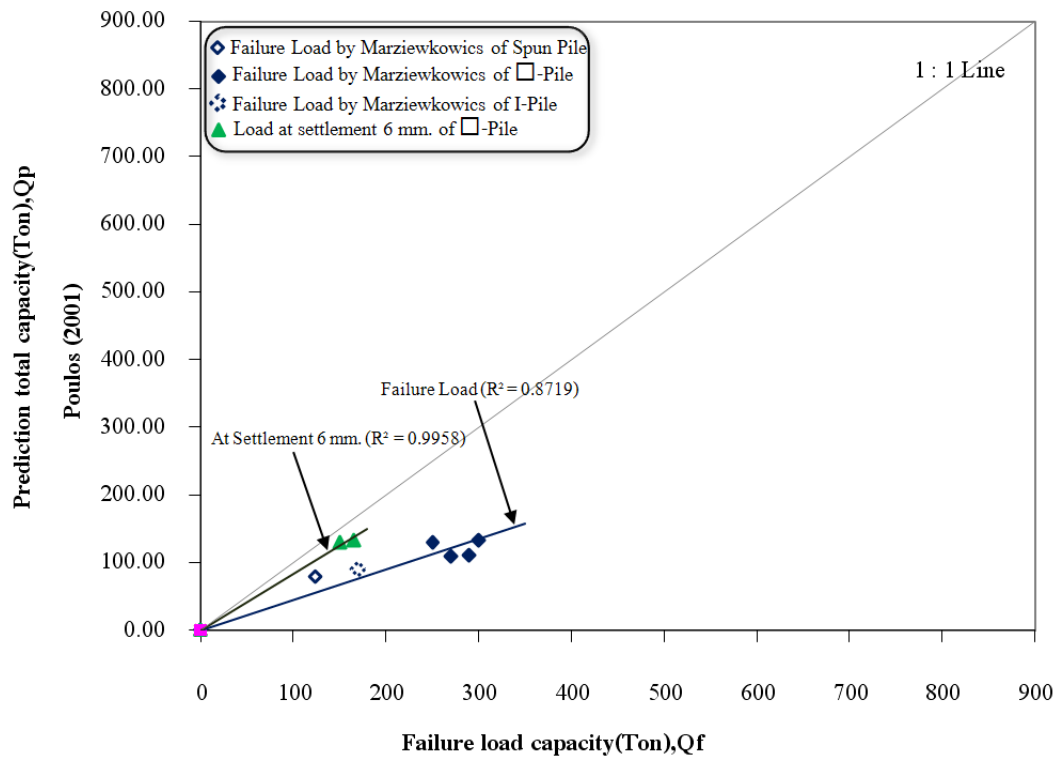
ตารางที่ 4.4 ค่า R-Square โดยวิธี Poulos (2001) เปรียบเทียบเสาเข็มชนิดต่างๆ

ชนิดเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
Spun Pile	0.5211	0.2536	0.5159
I – Pile	0.4978	0.4580	-
□ - Pile	0.7227	0.5985	-

4.3.3 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี Poulos (2001) ที่ความยาวต่างๆ

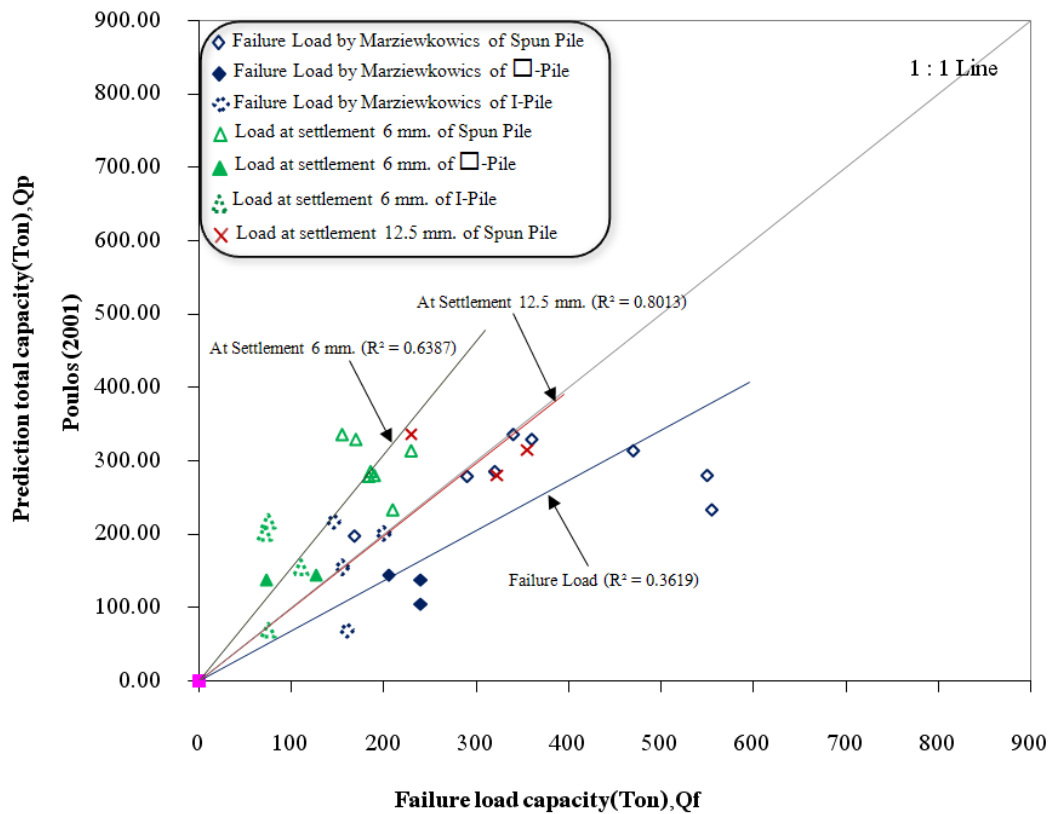
จากรูปที่ 4.13 พบว่าเสาเข็มตอกที่มีความยาวน้อยกว่า 20 ม.ลงไปมีแนวโน้มของข้อมูลที่ได้จากคำนวณด้วยวิธี Poulos (Q_p) ต่ำกว่าเส้น 1:1 คือมีค่าที่ได้จากการคำนวณกำลังการรับน้ำหนักบรรทุก (Q_p) น้อยกว่าค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริงที่ทดสอบได้ (Q_r) ทั้งที่กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทำการประเมินโดยวิธี Marziewkowics และที่กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่การทรุดตัว 6 มม. แต่เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมค่อนข้างน้อยและค่า R_p^2 ออกมาติดลบจึงทำให้ไม่สามารถประเมินแนวโน้มสำหรับการคำนวณด้วยวิธี Poulos (2001) (Q_p) ได้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 พบว่าที่ความยาวของเสาเข็มตอกตั้งแต่ 20 ม. เป็นต้นไปค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Poulos (2001) (Q_p) มีแนวโน้มต่ำกว่าเส้น 1:1 โดยที่ช่วงความยาว ตั้งแต่ 20 - 30 ม. มีแนวโน้มของกราฟข้อมูลอยู่ใกล้เส้น 1:1 ($R^2 = 0.3619$) มากกว่าช่วงความยาวเข็มตั้งแต่ 30 ม. ขึ้นไป ($R^2 = 0.6508$) แสดงว่าที่ช่วงความยาวมากๆ ตั้งแต่ 30 ม. เป็นต้นไปการคำนวณด้วยวิธีนี้มีค่าความแม่นยำมากขึ้นและมีความปลอดภัยมากขึ้น สำหรับที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักที่การทรุดตัว 6 มม. พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ (Q_p) มีค่าสูงกว่าค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริง (Q_r) จึงไม่เหมาะในการนำมาออกแบบเนื่องจากจะทำให้การออกแบบไม่มีความปลอดภัย ส่วนค่าการคำนวณด้วยวิธีนี้ที่กำลังการรับน้ำหนักที่การทรุดตัว 12.5 มม. มีแนวโน้มของกราฟชิดเส้น 1:1 ที่ความยาวเสาเข็มตั้งแต่ 20-30 ม. และสูงกว่าเส้น 1:1 ที่ความยาวตั้งแต่ 30 ม. เป็นต้นไป



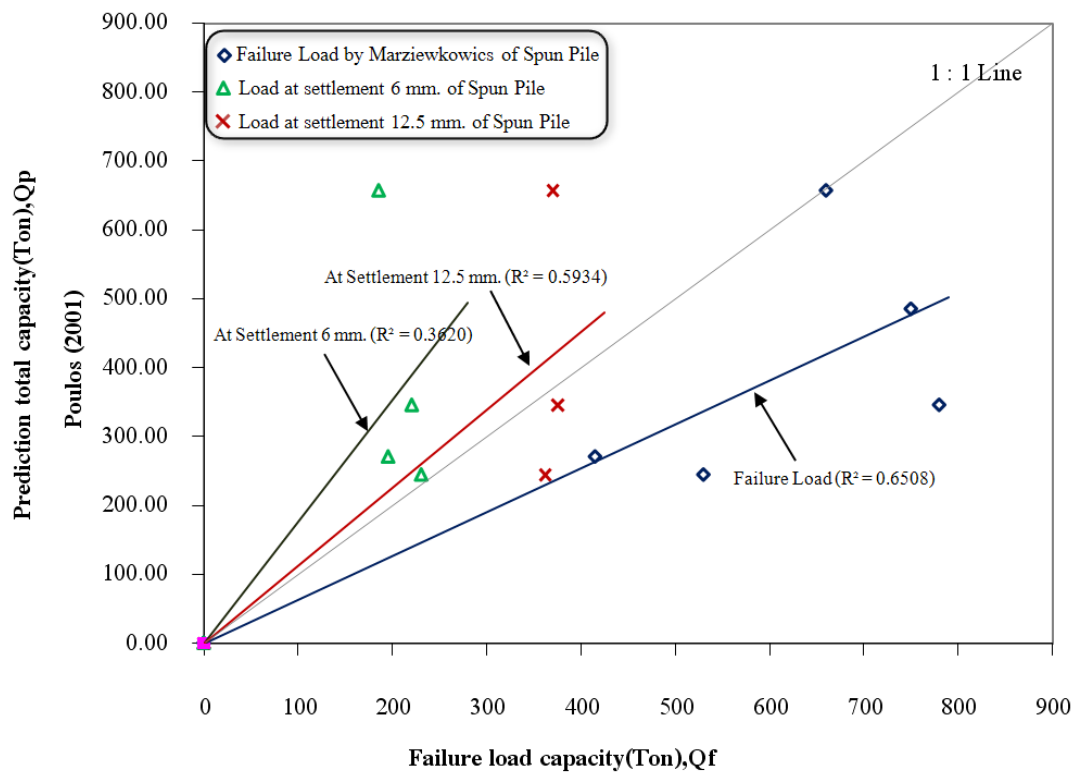
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $L < 20$ ม. โดยวิธี

Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $20 \leq L < 30$ ม. โดยวิธี

Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ความยาว $L \geq 30$ ม. โดยวิธี Poulos (2001) กับผลการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.5 ค่า R-Square โดยวิธี Poulos (2001) เปรียบเทียบที่ความยาวต่างๆ

ความยาวเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
$L < 20$ ม.	0.8719	0.9958	-
$20 \leq L < 30$ ม.	0.3619	0.6387	0.8013
$L \geq 30$ ม.	0.6508	0.3620	0.5934

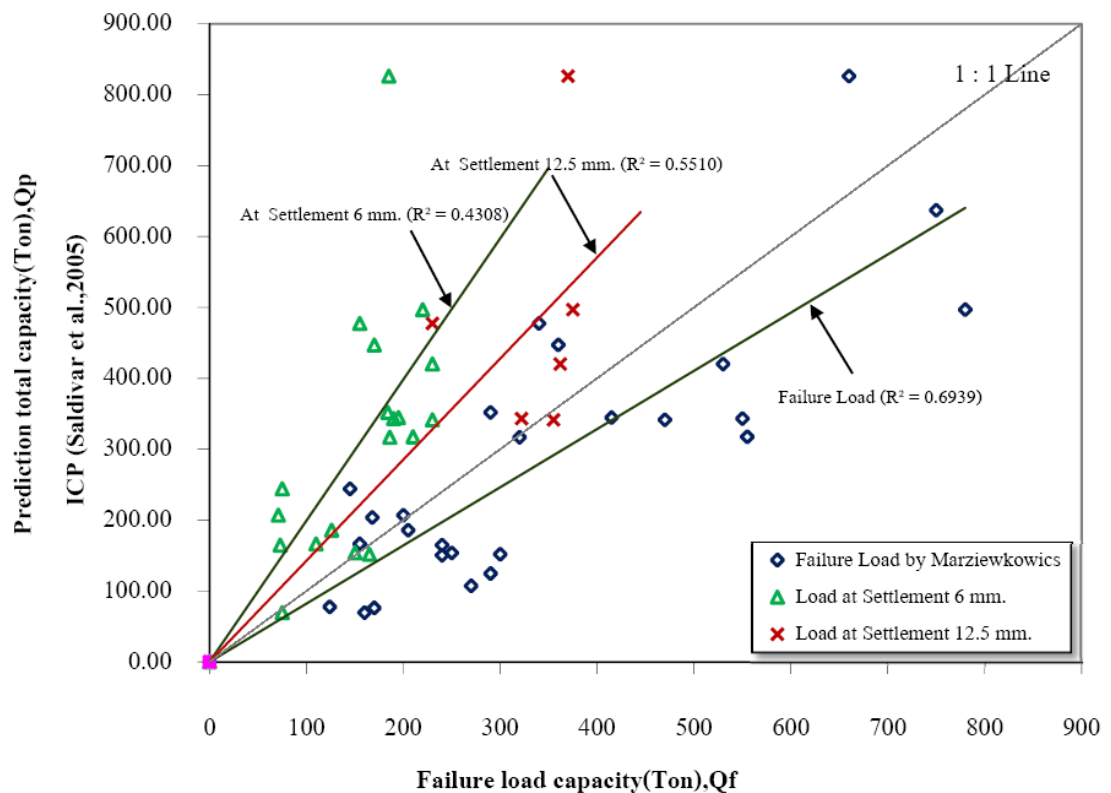
4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าน้ำหนักประลัยจากการทดสอบในสนามกับค่าน้ำหนักประลัยจากการประเมินโดยวิธี ICP

การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกโดยวิธี ICP เป็นวิธีการประเมินกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกเพื่อใช้สำหรับเสาเข็มตอกโดยเฉพาะ (Jardine และ Chow , 1996) โดยมีค่าพารามิเตอร์ของสภาพชั้นดินเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง คือ ค่าความไว (Sensitivity, S_p), มุมเสียดทาน (Friction angle, ϕ) และอัตราส่วนความเค้นจุดคลาก (Yield stress ratio, YSR) ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3.3

4.4.1 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี ICP ที่ค่าการทรุดตัวต่างๆ

จากรูปที่ 4.16 พบว่าการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Q_p) ด้วยวิธี ICP ค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและอยู่ต่ำกว่าเส้น 1:1 คือ ค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุก (Q) และเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนตามกำลังรับน้ำหนักจริงของเสาเข็ม (Q_p) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) และวิธี Poulos (2001) จะพบว่าวิธีนี้ให้ความแม่นยำจากการคำนวณกำลังรับน้ำหนักสูงกว่าวิธีอื่นเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับเส้น 1:1 แม้ในช่วงที่มีกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นก็ยังมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงใกล้เคียงกับเส้น 1:1 เช่นกัน และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.6939 ซึ่งมีค่ามากกว่าการคำนวณด้วยวิธีการออกแบบโดยทั่วไป ($R^2 = 0.5309$) และวิธี Poulos ($R^2 = 0.6095$) แสดงว่าการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยด้วยวิธี ICP มีความแม่นยำมากกว่าวิธีอื่นๆ

ส่วนที่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. และ 12.5 มม. พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ (Q_p) มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ (Q) และมีแนวโน้มที่ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ห่างจากเส้น 1:1 มากขึ้นที่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกจริง (Q) สูงขึ้น ดังนั้นสำหรับวิธี ICP นี้ การออกแบบจึงควรใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยในการออกแบบตามปกติจะให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

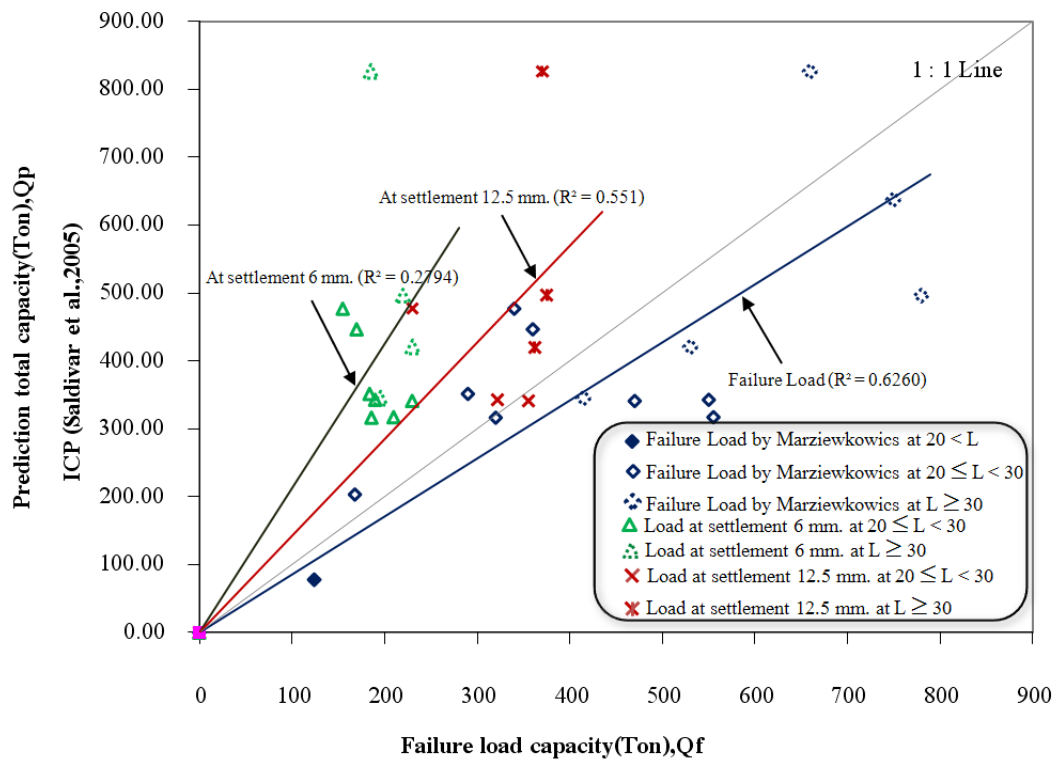


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยโดย ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม

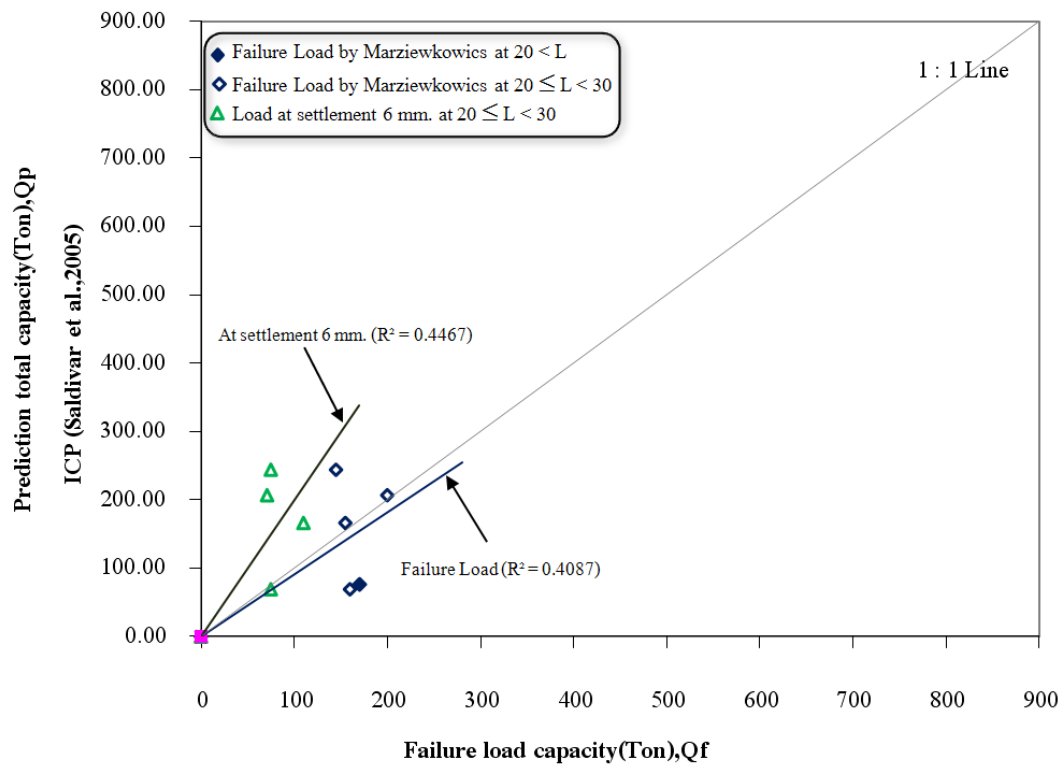
4.4.2 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี ICP ของเสาเข็มตอกชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาเสาเข็มตอกชนิด Spun สำหรับค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_p) ค่าที่คำนวณได้มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้น 1:1 โดยเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงภายใต้เส้น 1:1 ซึ่งมีความปลอดภัยในการคำนวณ แต่ที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. และ 12.5 มม. นั้นการกระจายตัวของข้อมูลทางด้านกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบจริง (Q_p) ค่อนข้างต่ำ ส่วนค่าที่คำนวณได้ (Q_p) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างไม่แน่นอนและค่า R^2 ที่การทรุดตัว 6 มม. มีค่าเท่ากับ 0.2794 มีความสัมพันธ์กันของข้อมูลต่ำมาก ส่วนที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. มีค่า $R^2 = 0.5510$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลมีค่าค่อนข้างต่ำหมายถึงมีความแม่นยำในการคำนวณน้อยเมื่อเทียบกับการทดลอง

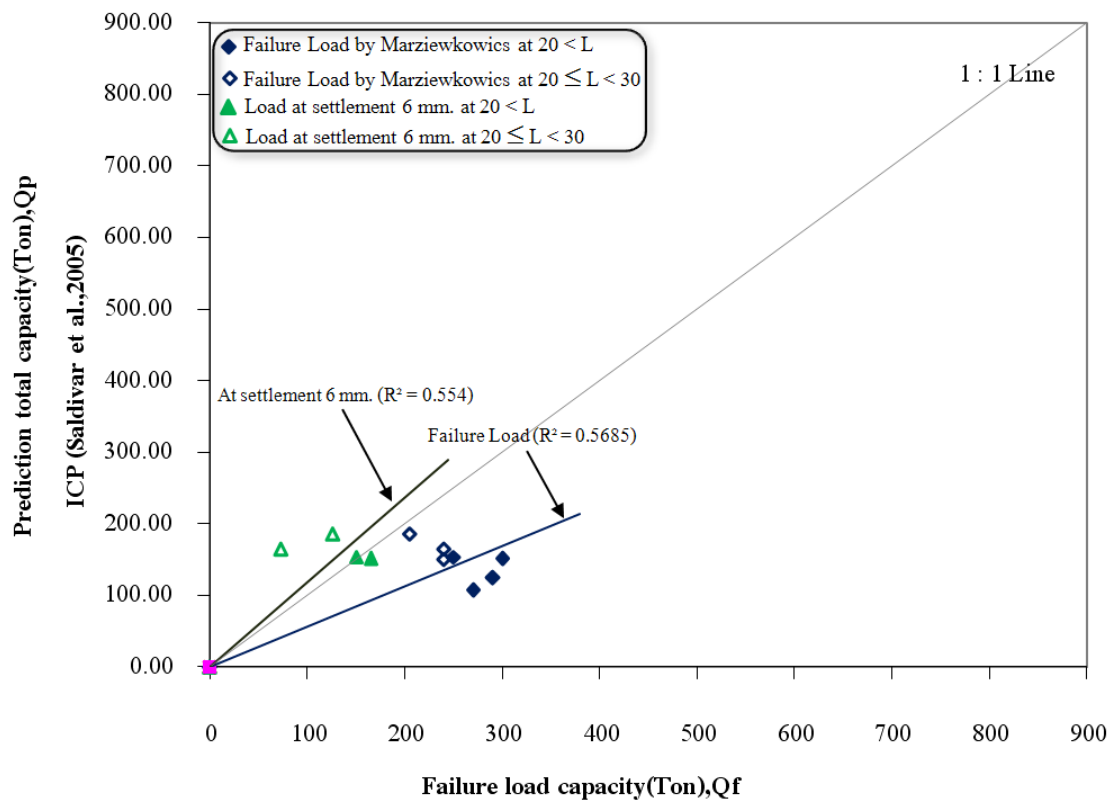
ส่วนที่ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile และชนิดสี่เหลี่ยม จากรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ที่กำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยและค่าการทรุดตัว 6 มม. ค่า $R^2 = 0.4467$ และ $R^2 = 0.5540$ ตามลำดับ อีกทั้งเส้นแนวโน้มของเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยมมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้น 1:1 มากกว่าเสาเข็มตอกชนิด I-Pile



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด Spun ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35, 0.60 และ 0.80 ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิด I-Pile ขนาดความกว้าง 0.26, 0.30, 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มตอกชนิดสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 0.35 และ 0.40 ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.6 ค่า R-Square โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) เปรียบเทียบเสาเข็มชนิดต่างๆ

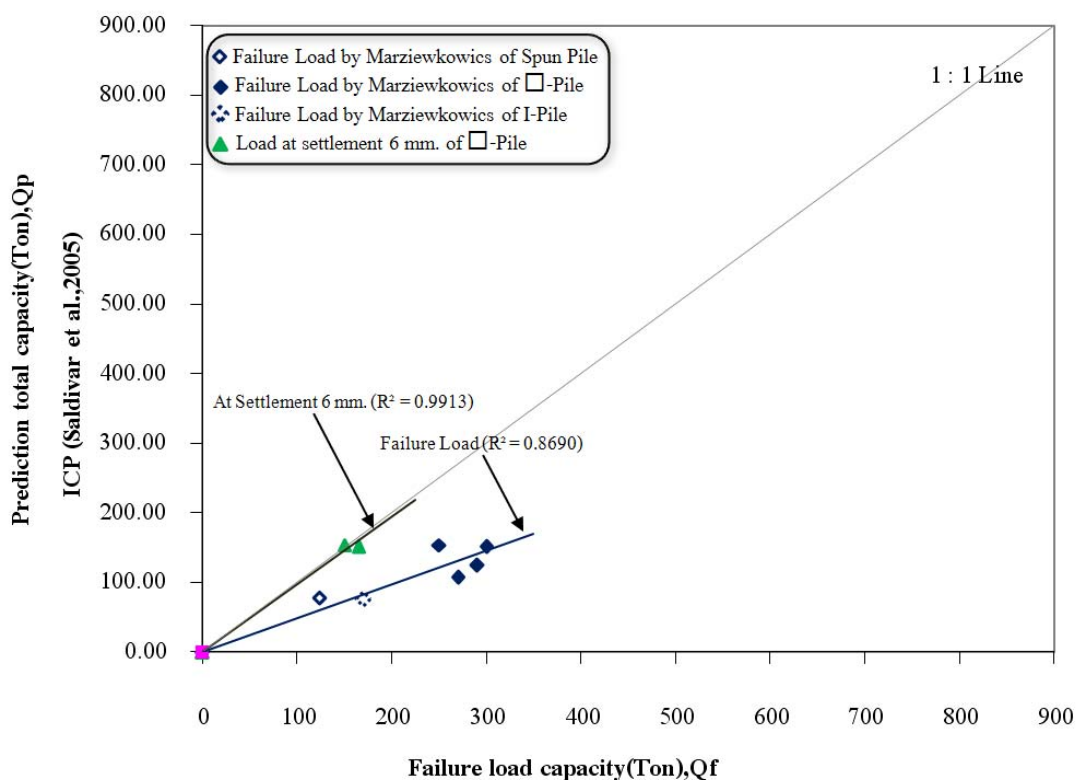
ชนิดเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
Spun Pile	0.6260	0.2794	0.5510
I – Pile	0.4087	0.4467	-
□ - Pile	0.5685	0.5540	-

4.4.3 การเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักโดยวิธี ICP ที่ความยาวต่างๆ

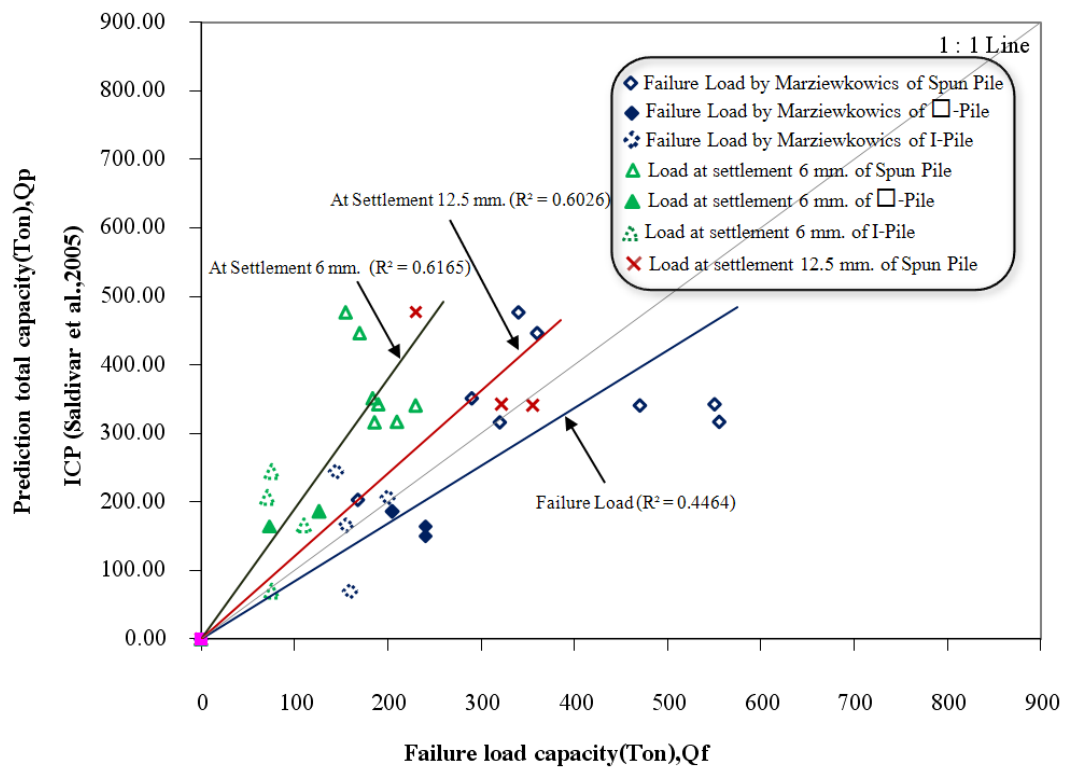
ที่ความยาวเสาเข็มน้อยกว่า 20 ม. พบว่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยจากการคำนวณ (Q_p) มีค่าน้อยและต่ำกว่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริงที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Q_f) ค่อนข้างมาก ดังกราฟในรูปที่ 4.20 เนื่องจากที่ความยาวเสาเข็มน้อยกว่า 20 ม. ลักษณะของชั้นดินมีสภาพเป็นดินเหนียวอ่อนปลายเสาเข็มจึงยังไม่ถึงชั้นทรายทำให้การคำนวณกำลังการรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มมีค่าน้อย ส่วนที่เสาเข็มตอกช่วงความยาวตั้งแต่ 20-30 ม. จากรูปที่ 4.21 พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงใกล้เคียงเส้น 1:1 เนื่องจากที่ความยาวดังกล่าว เริ่มพบชั้นดินที่มีสภาพ

เป็นทรายแน่น ซึ่งปลายเสาเข็มที่ยังในชั้นทรายจะให้กำลังรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็มมีค่าสูงกว่าในชั้นดินเหนียวมาก

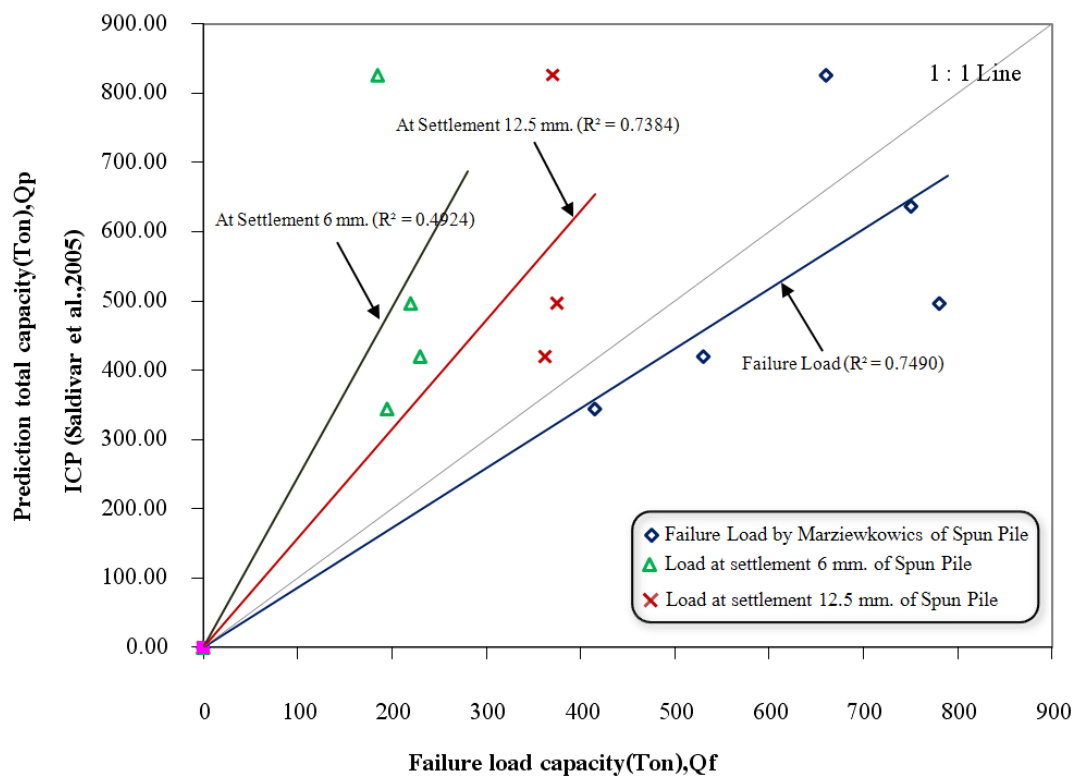
ที่ความยาวตั้งแต่ 30 ม. ขึ้นไป ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (Q_p) มีค่าต่ำกว่าเส้น 1:1 และมีแนวโน้มค่อนข้างขนานเส้น 1:1 สำหรับที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. และ 12.5 มม. พบว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบ (Q_p) เนื่องจากค่า $R^2 = 0.4924$ และ $R^2 = 0.7384$ และเส้นแนวโน้มอยู่เหนือเส้น 1:1 หากจะคำนวณด้วยวิธีนี้จึงควรทำการคำนวณที่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $L < 20$ ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $20 \leq L < 30$ ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม



รูปที่ 4.22 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่มีความยาว $L \geq 30$ ม. โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนาม

ตารางที่ 4.7 ค่า R-Square โดยวิธี ICP (Saldivar et al., 2005) เปรียบเทียบที่ความยาวต่างๆ

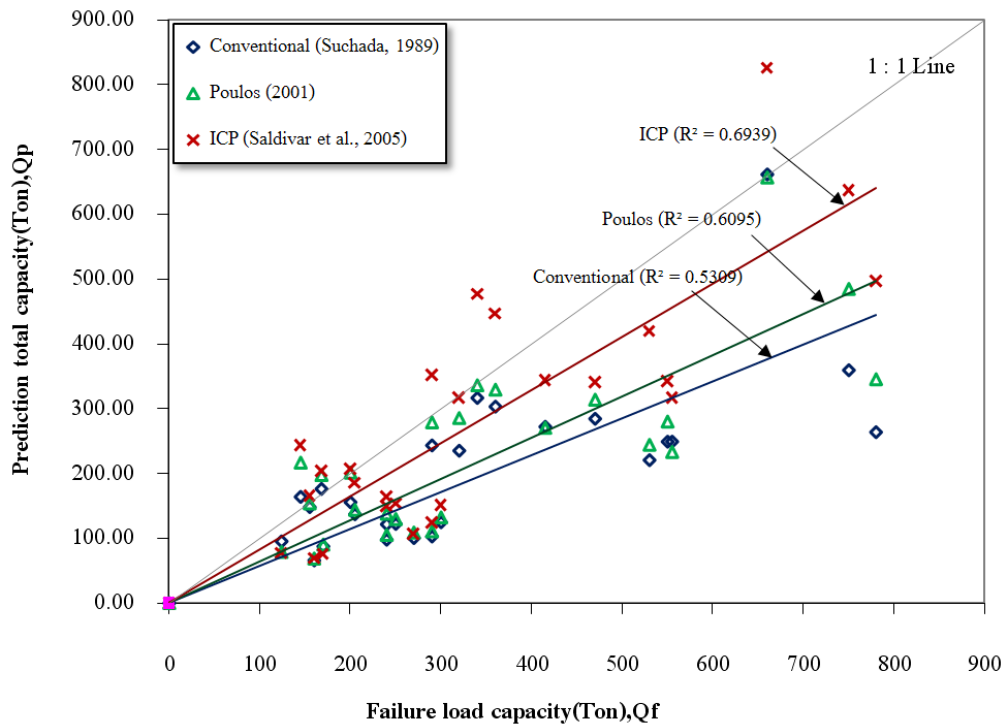
ความยาวเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
$L < 20$ ม.	0.8690	0.9913	-
$20 \leq L < 30$ ม.	0.4464	0.6165	0.6026
$L \geq 30$ ม.	0.7490	0.4924	0.7384

4.5 การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักประลัยจากการทดสอบในสนามกับค่าน้ำหนักประลัยจากการประเมินทั้ง 3 วิธี

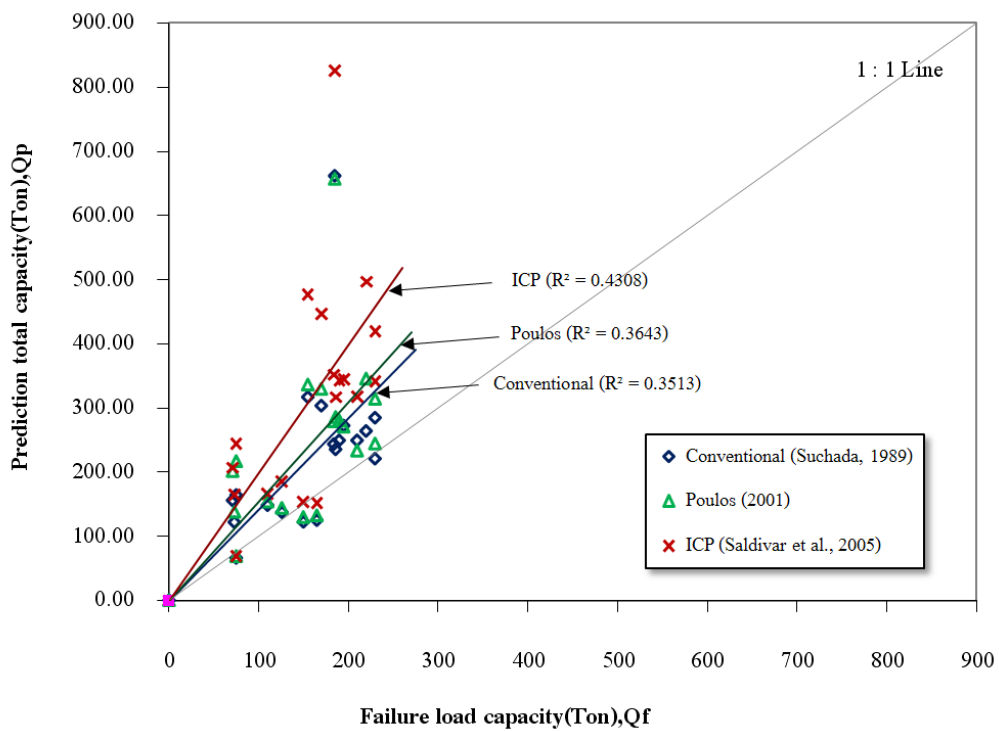
หากทำการเปรียบเทียบการประเมินกำลังรับน้ำหนักประลัย (Q_p) จากทั้ง 3 วิธี จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยด้วยวิธี ICP เป็นวิธีที่ให้ค่าความแม่นยำสูงสุดการกระจายของข้อมูลค่าน้ำหนักต่างๆมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเข้าใกล้เส้น 1:1 มากกว่าการคำนวณด้วยวิธีอื่นและค่า R^2 ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่า R^2 จากวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada และวิธี Poulos ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้ (Q_p) ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม (Q_r) หมายความว่ามีความปลอดภัยพอสมควรในการนำวิธีนี้มาใช้คำนวณเพื่อการประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

จากรูปที่ 4.24 พบว่าค่าที่คำนวณได้ (Q_p) ที่การรับน้ำหนักบรรทุกที่การทรุดตัว 6 มม. มีค่าค่อนข้างสูงกว่าค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริงจากการทดสอบในสนาม (Q_r) มากเช่นกันทั้ง 3 วิธี แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟการคำนวณด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) จะให้ค่ากำลังการรับน้ำหนักใกล้เคียงเส้น 1:1 มากกว่า แต่มีค่า R^2 ที่เป็นตัวบ่งบอกถึงความแม่นยำที่ค่าการทรุดตัวดังกล่าวต่ำกว่าการคำนวณด้วยวิธีอื่นที่ค่าการทรุดตัวเดียวกัน ค่าที่ได้จากการคำนวณหากนำมาใช้งานจะทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยลดลงเป็นอย่างมากจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการออกแบบที่ค่าการทรุดตัว 6 มม. ทั้ง 3 วิธี

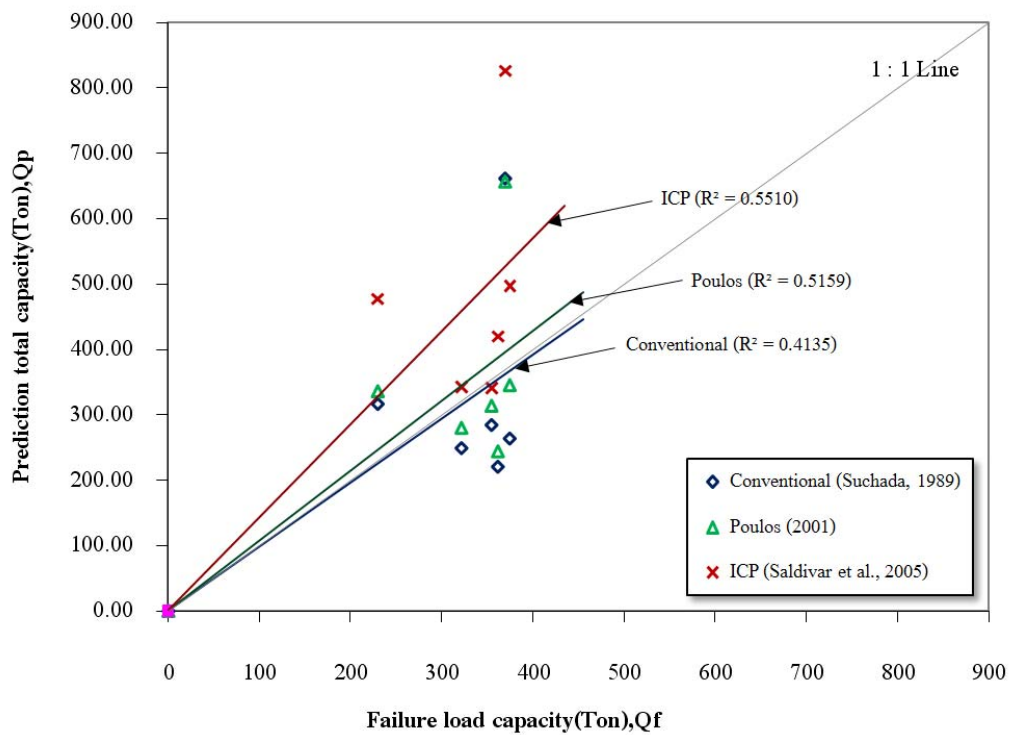
เมื่อพิจารณากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. พบว่าการคำนวณกำลังรับน้ำหนักด้วยวิธีความเค้นรวมโดย α ของ Suchada (1989) เป็นวิธีที่มีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังรับน้ำหนักจริงที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม. มากที่สุด ค่าที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับน้ำหนักจริง แต่หากจะทำการสรุปผลควรมีจำนวนข้อมูลมากกว่านี้เพื่อดูแนวโน้มของกราฟที่กำลังรับน้ำหนักอื่นๆด้วยเนื่องจากข้อมูลที่ทำการรวบรวมได้ยังมีจำนวนน้อยทำให้ช่วงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการทดสอบ (Q_r) มีช่วงแคบเมื่อทำการวาดกราฟข้อมูลจึงรวมตัวกันอยู่ในช่วง 200-400 ตันของน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยที่ได้จากการทดสอบ (Q_r)



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มจากการประเมินทั้ง 3 วิธี โดย Conventional analysis, Poulos (2001) และ ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนามที่กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มจากการประเมินทั้ง 3 วิธี โดย Conventional analysis, Poulos (2001) และ ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนามที่ค่าการทรุดตัว 6 มม.



รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มจากการประเมินทั้ง 3 วิธีโดย Conventional analysis, Poulos (2001) และ ICP (Saldivar et al., 2005) กับผลการทดสอบในสนามที่ค่าการทรุดตัว 12.5 มม.

ตารางที่ 4.8 ค่า R-Square เปรียบเทียบค่าน้ำหนักประลัยจากการทดสอบในสนามกับค่าน้ำหนักประลัยจากการประเมินทั้ง 3 วิธี

ความยาวเสาเข็ม	ที่กำลังรับน้ำหนัก บรรทุกประลัย	ที่การทรุดตัว 6 มม.	ที่การทรุดตัว 12.5 มม.
Conventional analysis	0.5309	0.3513	0.4135
Poulos (2001)	0.6095	0.3643	0.5159
ICP (Saldivar et al., 2005)	0.6939	0.4308	0.5510