

การวิเคราะห์และอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การแบ่งจำแนกชั้นดิน

การเจาะสำรวจดินโดยการใช้วิธี Electrical CPT ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่างดินมาเพื่อที่จะสามารถจำแนกดิน หรือ บ่งชี้ชนิดของดินได้โดยตรง แต่จากผลของการทดสอบ Electrical CPT ค่าที่ได้จะมีความแม่นยำสูง ซึ่งสามารถนำมาจำแนกดินได้อย่างแม่นยำ เพื่อสะดวกในการจำแนกชั้นดินและใช้ในการออกแบบ

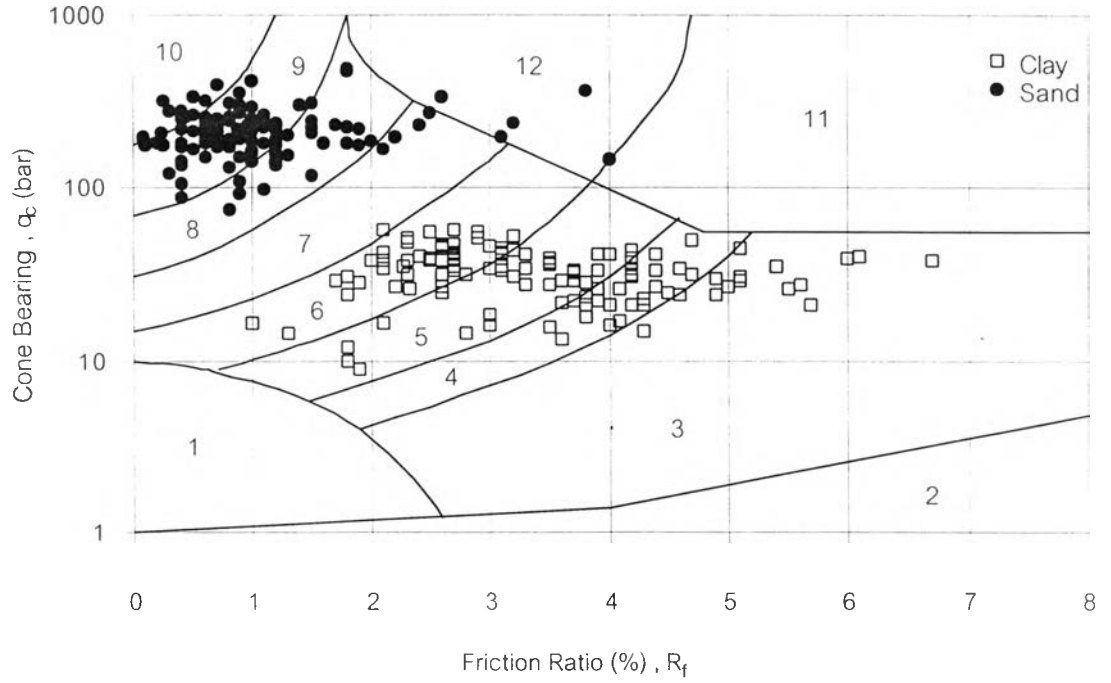
จากผลการทดสอบโดยวิธี Electrical CPT ค่าที่ได้จากการ ทดสอบจะมีด้วยกันสามค่า คือ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c , (Cone Resistance) แรงเสียดทานที่ต่อหน้าแรงเสียดทาน f_{sl} , (Local friction) และ Friction Ratio (R_f) ซึ่งจากการจำแนกแยกโดยใช้วิธีที่ เสนอโดย Robertson et al, (1986) เสนอวิธีการจำแนกโดยใช้ CPT ชนิด Electrical Friction

Cone ซึ่งนำ ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย (Cone Resistance ; q_c) และ Friction Ratio (R_f) ที่ได้จากการทดสอบ Electrical CPT มาเขียนลงในกราฟของ Robertson et al (1986) และนำมาเปรียบเทียบกับชนิดของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจดินโดยวิธี (Boring) ซึ่งผลที่ได้สามารถจำแนกชนิดของดินได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1

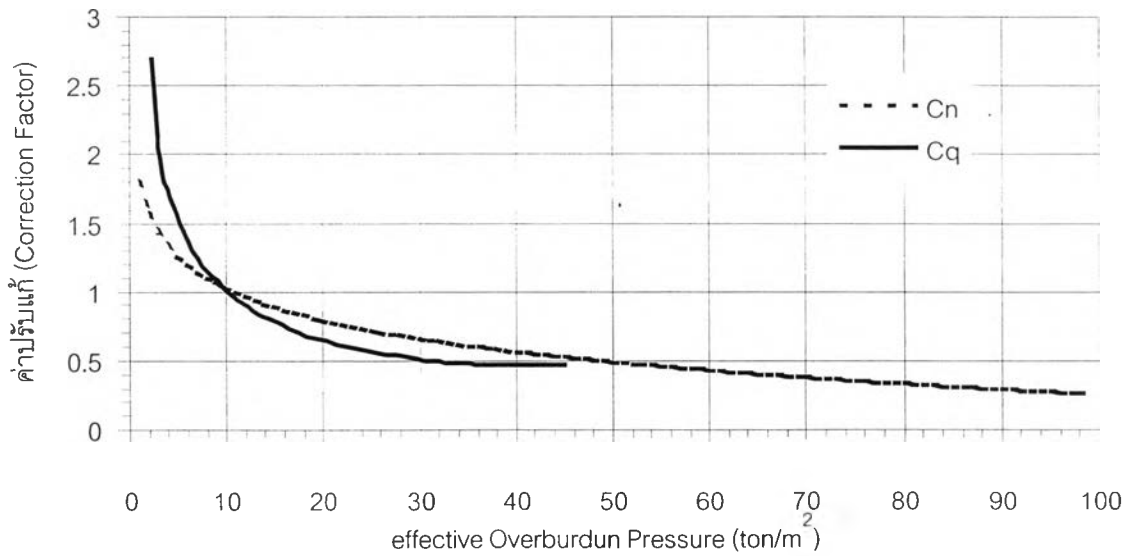
ซึ่งจากกราฟสามารถจำแนกดินเหนียวและดินทรายได้โดยใช้เส้นที่แบ่งช่วงที่ 6 และช่วงที่ 7 ในการแบ่งแยก และค่า q_c ของดินเหนียวส่วนใหญ่จะต่ำกว่า 90 bar ในขณะที่ ค่า q_c ของดินทรายในกรุงเทพฯ จะสูงกว่า 90 bar จากกราฟดังกล่าวสามารถใช้จำแนกชั้นดินในกรุงเทพฯ ได้

4.2 เปรียบเทียบค่าปรับแก้ C_n และค่าปรับแก้ C_o

ผลจากการเจาะสำรวจดิน ค่า N กับ ค่า q_c จะต้องมีการปรับแก้ เนื่องจาก effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) ซึ่งในการปรับแก้ ค่า N เสนอโดย Peck Hanson & Thornburn ส่วนการปรับแก้ q_c ใช้วิธีที่เสนอโดย After Robertson and Campanella, 1985 ดูรายละเอียดในบทที่ 2



รูปที่ 4.1 การจำแนกชั้นดินเสนอโดย Roberson et al , (1986)



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบ ค่าปรับแก้ N กับ qc

จากการนำค่า ปรับแก้ทั้งสองมาเปรียบเทียบนำมาเขียนอยู่บนกราฟเดียวกันแสดงให้เห็นว่า ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) ไม่เกิน 10 ตันต่อตารางเมตร ค่าปรับแก้ C_n ที่ได้น้อย

กว่าค่าปรับแก้ C_0 และค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) อยู่ระหว่างค่า 10 – 46 ดันต่อตารางเมตร ให้ค่าปรับแก้ C_n มากกว่า C_0 แต่เมื่อค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) เกินค่า 46 ดันต่อตารางเมตร ค่า C_0 จะคงที่ที่ 0.47 ในขณะที่เดียวกันค่าปรับแก้ C_n ยังคงลดลงแม้ว่าค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) จะมากกว่า 46 ดันต่อตารางเมตร และค่าปรับแก้ C_n ก็จะมีค่าน้อยกว่า C_0 เมื่อ σ'_{vo} มากกว่า 46 ดันต่อตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.2

การปรับแก้ค่าที่ได้จากการเจาะสำรวจดินที่ต่างวิธีกันจะใช้วิธีปรับแก้ของต่างผลการทดสอบที่ใช้ในการปรับแก้ เพื่อความถูกต้อง

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบ Electrical CPT กับ พารามิเตอร์ของดิน

การทดสอบเราสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าจากผลการเจาะสำรวจ Electrical CPT กับ พารามิเตอร์ต่างๆ ของการเจาะสำรวจดิน Boring หาค่าดัชนีพลาสติกซิตี (Plasticity index ; PI) ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) และ ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) ซึ่งหลุมเจาะทั้งสองแบบอยู่ใกล้กัน

ในประเทศไทยค่าการทดสอบส่วนใหญ่ที่ใช้กับการออกแบบเสาเข็มจะเป็น ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) ในขณะที่ไม่ค่อยมีการใช้ Electrical CPT มากนัก การหาความสัมพันธ์กันของค่าทั้งสองจะเพิ่มความสะดวกในการใช้ พารามิเตอร์ดังกล่าวมากขึ้น

ค่าพารามิเตอร์จากผลการทดสอบดินบางตัวจะต้องมีการ Normalization ด้วย Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) ซึ่งค่าดังกล่าวในการวิเคราะห์เป็นค่าที่ได้พิจารณาผลของการ draw down ของระดับน้ำใต้ดิน (Piesometric Level) ซึ่งผลการวิเคราะห์แยกตามประเภทของดินมีรายละเอียดดังนี้

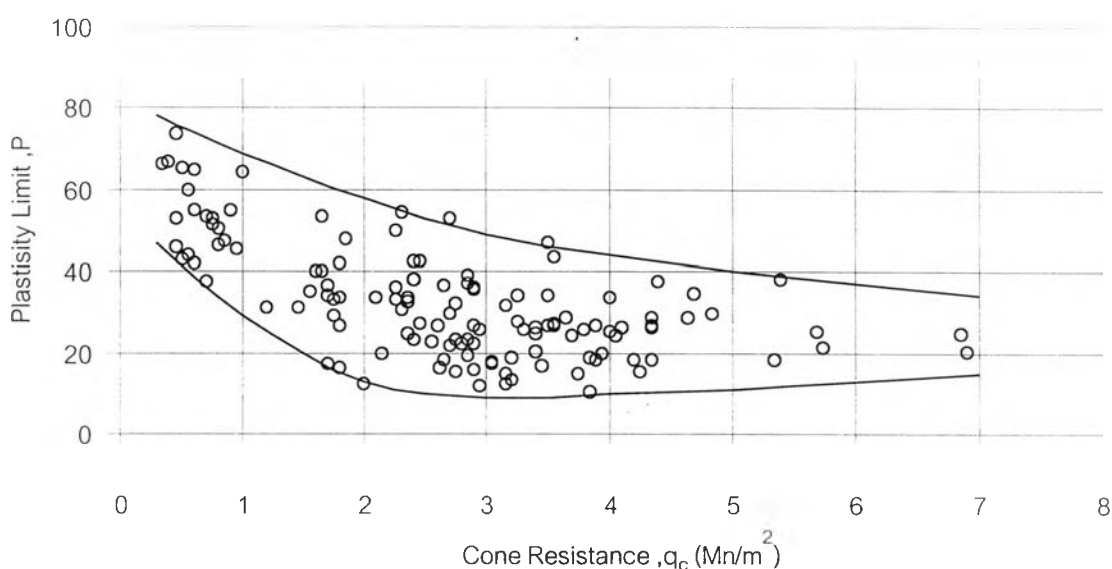
4.3.1 ดินเหนียว

พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญกับดินเหนียว คือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) , ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) หาค่าดัชนีพลาสติกซิตี

(Plasticity index ; PI) โดยสามารถหาความสัมพันธ์ กับ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) , แรงเสียดทานที่ค้นหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction)

4.3.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับ ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity index ; PI)

ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) กับ ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity index ; PI) จากการเจาะสำรวจดิน โดยการใช้วิธี Electrical CPT และวิธี Boring นำตัวอย่างดินมาหา ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity index ; PI) จำนวนหลุมเจาะทั้งหมดวิธีละ 28 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity index ; PI) และ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของดินเหนียว

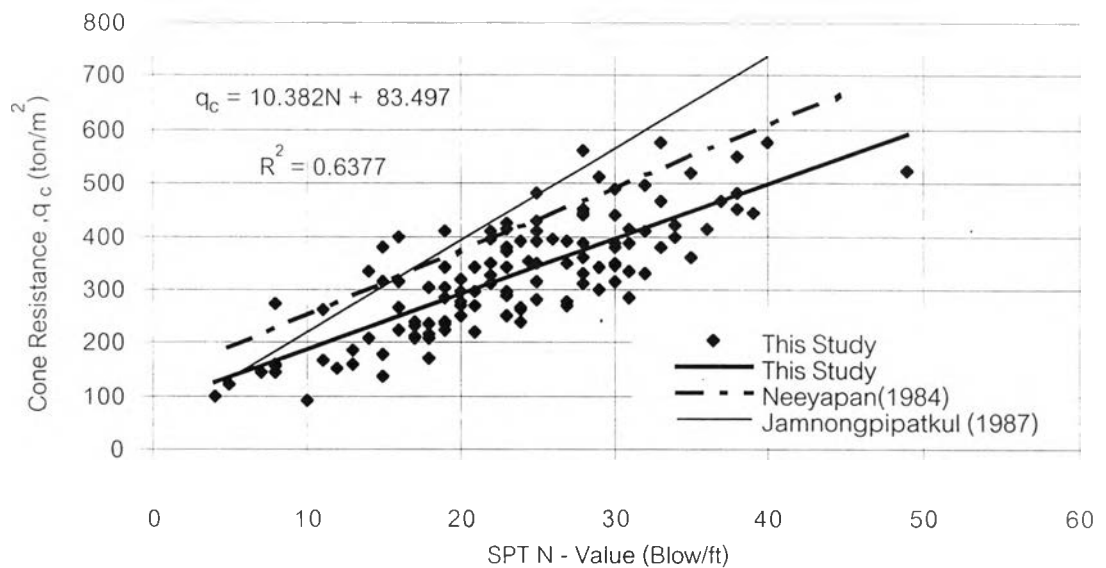
จากรูปที่ 4.3 ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (Plasticity index ; PI) จะมีค่าลดลง เมื่อค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) เพิ่มขึ้น

หน่วยแรงต้านที่ปลายโคน q_c (Cone Resistance) อยู่ในหน่วย เมกะนิวตันต่อตารางเมตร

4.3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับ N

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) จากผลการทดสอบ Electrical CPT กับ ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) ในชั้นดินเหนียว แสดงในรูปที่ 4.4 จากการเปรียบเทียบหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กัน ทั้งหมดจำนวน 35 หลุม ดังสมการ

$$q_c = 0.1038N + 0.835 \quad R^2 = 0.6377$$



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ N ของดินเหนียว

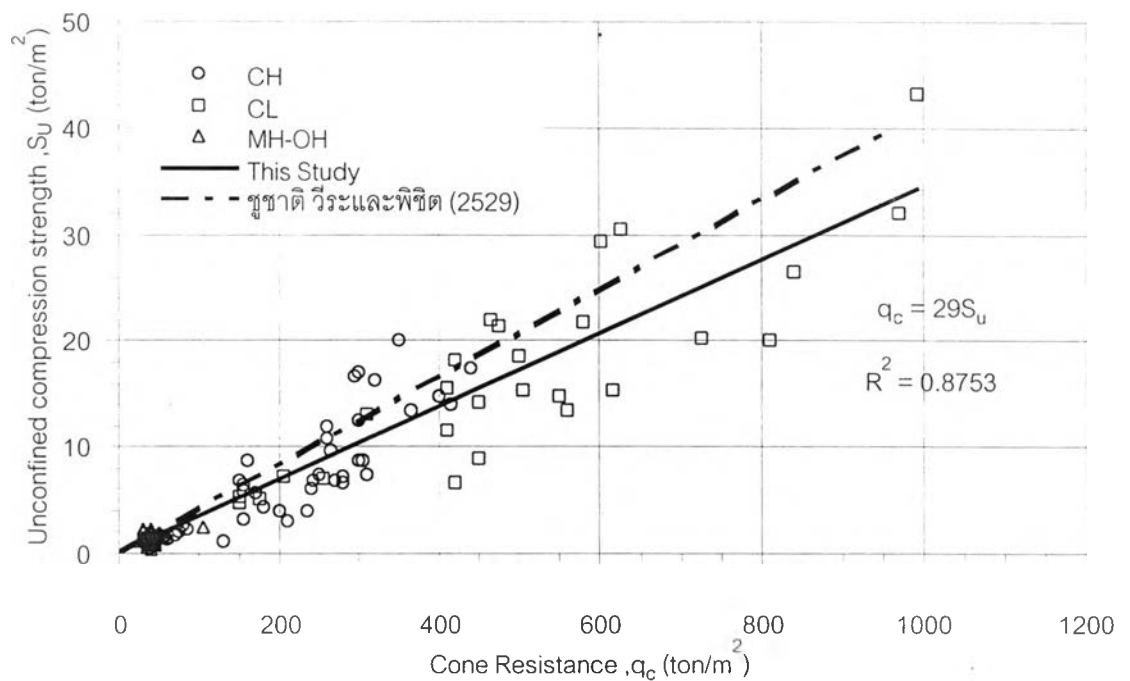
ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 100 – 600 ตันต่อตารางเมตร ส่วนค่า N อยู่ในหน่วย (ครั้ง/ฟุต) มีค่าอยู่ในช่วง 5 – 50 ครั้ง/ฟุตในชั้นดินเหนียวอ่อนจะไม่มีค่า N แต่ สามารถหาค่า จากการทดสอบ Electrical CPT ได้

ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c และ N จากการศึกษาครั้งนี้มีผลวิจัยใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Jamnongpipatkul et al(1987) และ Neeyapan (1984) ดินเหนียวในกรุงเทพฯ

4.3.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c กับ S_u

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) จากผลการทดสอบ Electrical CPT กับ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ในชั้นดินเหนียว แสดงในรูปที่ 4.5 จากการเปรียบเทียบหาค่าโดยวิธี Electrical CPT และ Boring ที่อยู่ใกล้กัน ทั้งหมดอย่างละ จำนวน 28 หลุม ดังสมการ

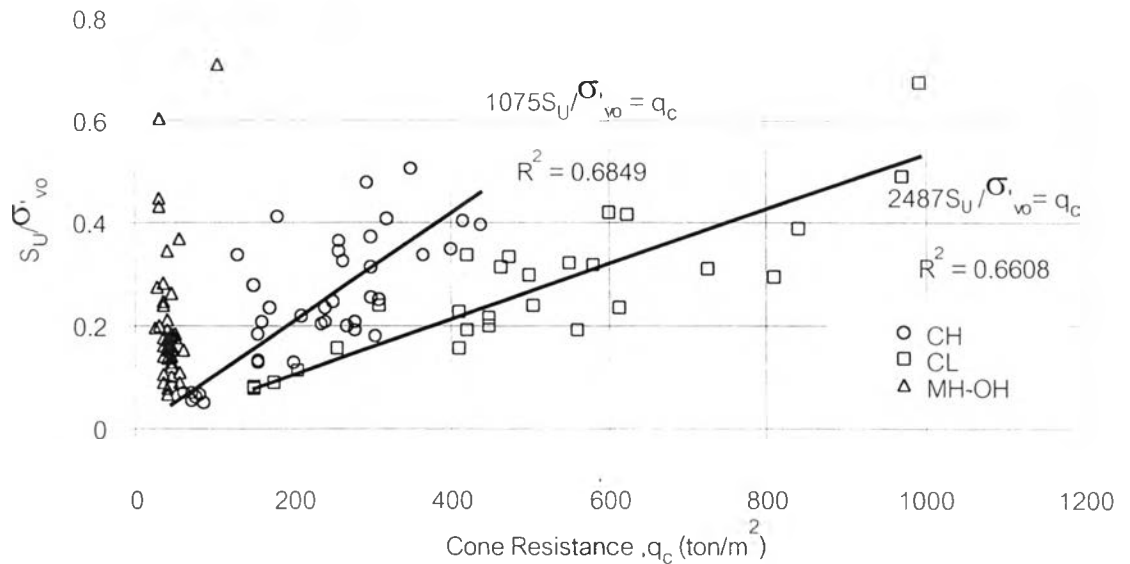
$$q_c = 29S_u \quad R^2 = 0.8753$$



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) ของดินเหนียว

ค่า S_u อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร และค่า q_c อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร มีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0 – 35 ตันต่อตารางเมตร และ 0 – 1000 ตันต่อตารางเมตรตามลำดับ

ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง S_u กับ q_c เมื่อแยกตามชนิดของดินเหนียว เป็น CH, CL และ MH-OH มีลักษณะของความสัมพันธ์เดียวกันไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อมีการ Normalization ด้วยค่า Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) แสดงในรูปที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ เมื่อแยกตามชนิดของดินเหนียว จะแตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (S_u) Normalization ด้วยค่า Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) ของดินเหนียว

สมการความสัมพันธ์ q_c กับ S_u ในชั้นดินเหนียว CH คือ

$$2487 S_u / \sigma'_{vo} = q_c \quad (\text{ton/m}^2) \quad R^2 = 0.6608$$

สมการความสัมพันธ์ q_c กับ S_u ในชั้นดินเหนียว CL คือ

$$1075 S_u / \sigma'_{vo} = q_c \quad (\text{ton/m}^2) \quad R^2 = 0.6849$$

โดยค่า S_u / σ'_{vo} ของ ดินเหนียว CH จะให้ค่า สูงกว่าดินเหนียว CL ที่ค่า q_c เดียวกัน ส่วนดินเหนียว MH-OH ส่วนใหญ่เป็นดินที่อยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน (soft Clay) ค่า Effective

Overburden Pressure (σ'_{vo}) จะมีค่าน้อย เมื่อ Normalization ด้วย Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) จะได้ค่า S_u/σ'_{vo} ค่อนข้างสูงและเส้นกราฟความสัมพันธ์ค่อนข้างจะชันด้วย

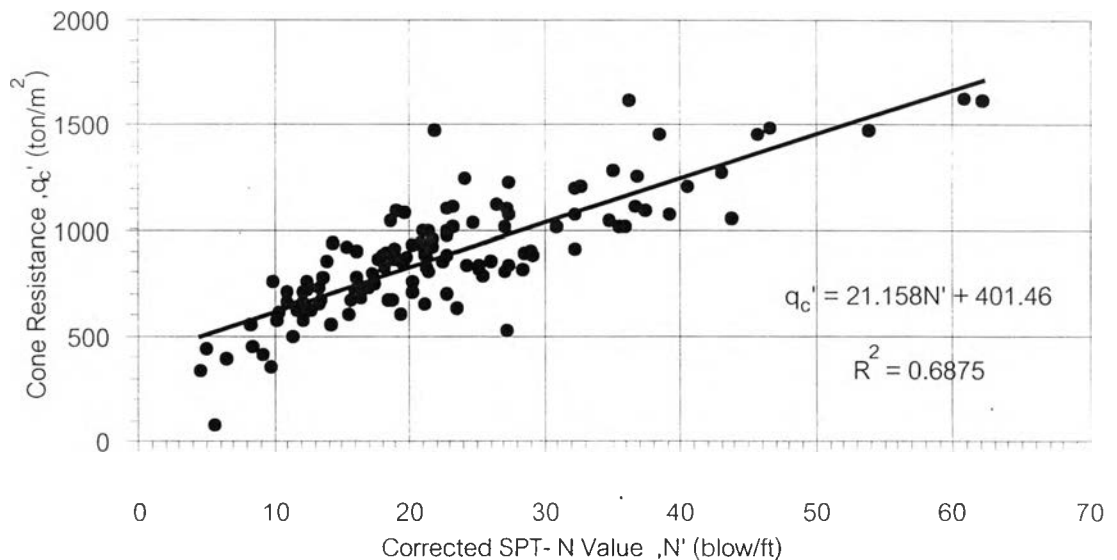
4.3.2 ดินทราย

พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญกับดินทราย คือ ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N Value) และมุมด้านแรงเฉือนประสิทธิภาพของดิน (ϕ') โดยสามารถหาความสัมพันธ์ กับ q_c' โดย คือ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ที่ปรับแก้เนื่องจาก σ'_{vo}

4.3.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c' กับ N'

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) จากผลการทดสอบ CPT กับ ค่าการทดสอบทะลุทะลวงมาตรฐาน (SPT- N

$$q_c' = 21.158N' + 401.46 \quad R^2 = 0.6875$$



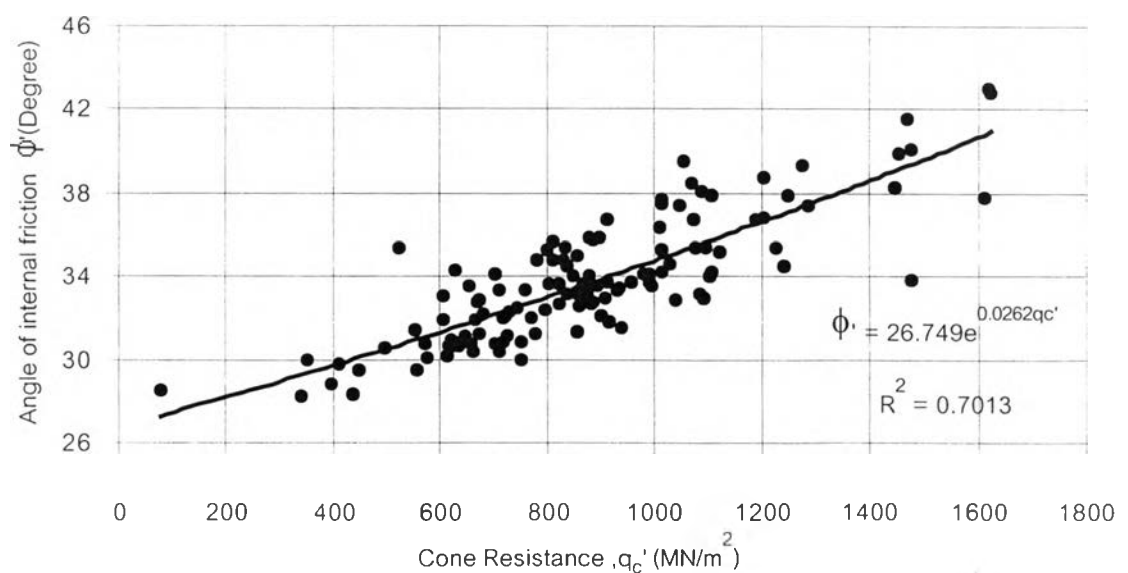
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ N' ของดินทราย

Value) ในชั้นดินทราย ซึ่ง ค่าทั้งสองจะถูกปรับแก้ เป็น q_c' และ N' ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 4.7 จากการเปรียบเทียบหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กัน ทั้งหมดจำนวน 35 หลุม ดังสมการ

ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c' (Cone Resistance) อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร มีค่าอยู่ในช่วง 400 – 1600 ตันต่อตารางเมตร ส่วนค่า N' อยู่ในหน่วย (ครั้ง/ฟุต) มีค่าอยู่ในช่วง 5 – 60 ครั้ง/ฟุต

4.3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง q_c' กับ ϕ'

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) จากผลการทดสอบ Electrical CPT กับ มุมต้านแรงเฉือนประสิทธิผลของดิน (ϕ') ในชั้นดินทราย แสดงในรูปที่ 4.8 โดยการผลการศึกษาของ Thanudkleung (1987) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง มุมต้านแรงเฉือนของดิน (ϕ') กับ ค่า SPT- N Value มีความใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Peck , Hanson & Thornburn (1974) ดังรายละเอียดในบทที่ 2 เปลี่ยนค่า N' มาเป็นค่า มุมต้านแรงเฉือนของดิน (ϕ') แล้วหาความสัมพันธ์ กับ q_c' ที่ปรับแก้เนื่องจาก Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) โดยจากการเปรียบเทียบหลุมเจาะที่อยู่ใกล้กัน ทั้งหมดจำนวน 35 หลุม ดังสมการ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϕ' กับ q_c' ในชั้นดินทราย

$$\phi' = 26.749e^{0.0262qc'} \quad R^2 = 0.7013$$

ค่า ϕ' อยู่ในหน่วย องศา และค่า qc' อยู่ในหน่วย ดันต่อตารางเมตร มีค่าอยู่ระหว่าง ช่วง 28 -42 องศา และ 100 – 1600 ดันต่อตารางเมตรตามลำดับ

4.4 การแปลผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกเสาเข็ม

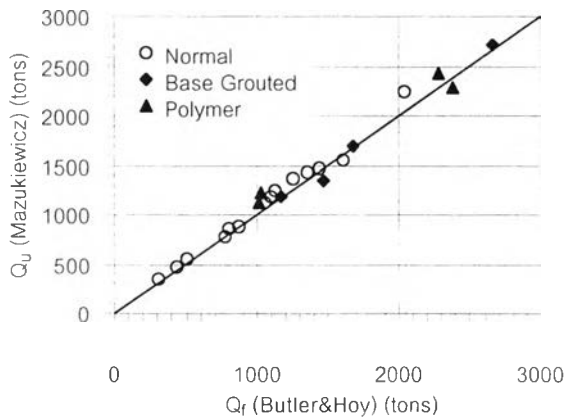
ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิติแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำกับค่าการทรุดตัว (Load – Settlement Curve) ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก การแปลผลการทดสอบเพื่อให้ได้กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) และ Mazurkiewicz (1972) ซึ่งจากผลวิจัยของ Wachiraprakarnpong (1993), SoonTornsiri(1995) และ ชาญชัย(2543) พบว่าทฤษฎีทั้งสองมีความเป็นใกล้เคียงมากที่สุดในการประเมินค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม

การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของเสาเข็มตามทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ต้องอาศัยข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ทดสอบถึงจุดวิบัติเพื่อหาค่าส่วนลาดชัน 0.05 นิ้วต่อตัน แต่ในกรณีที่ทดสอบเสาเข็มได้ทำการทดสอบเพียงถึงค่าน้ำหนักบรรทุกเป็นสองเท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไม่สามารถหาค่ากำลังน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติตามทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ได้ดังนั้นจะต้องใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz (1972) ในการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มสำหรับเสาเข็มที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติ

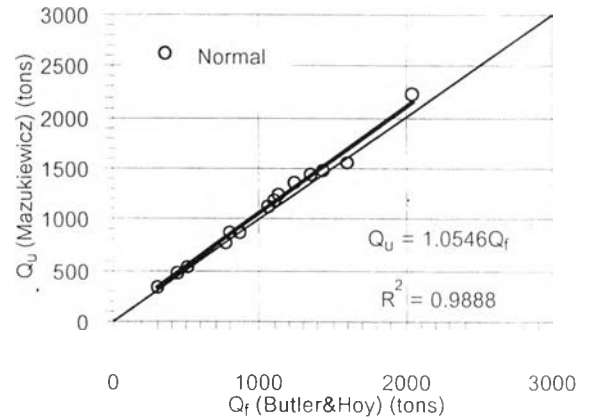
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่วิเคราะห์ได้จากสองทฤษฎีดังกล่าวข้างต้นมีรายละเอียดดังนี้

ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะที่รวบรวมได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายจำนวน 16 ต้น เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย จำนวน 10 ต้น และเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายมี Polymer เป็นตัวป้องกันการพังทลายของดิน จำนวน 5 ต้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิบัติของเสาเข็ม (Q_u)ตามทฤษฎี ของ Butler & Hoy

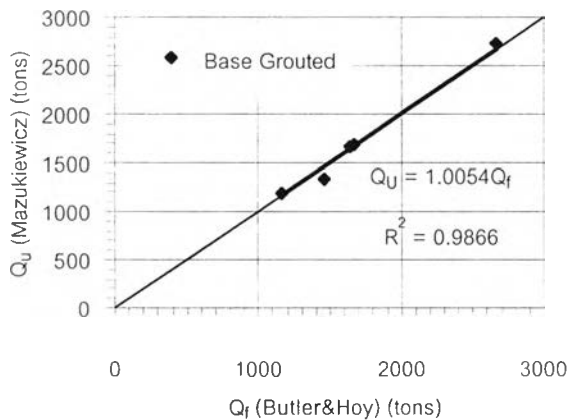
(1977) และค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดวิกฤติของเสาเข็ม (Q_U) ตามทฤษฎี ของ Mazurkiewicz (1972) พบว่า



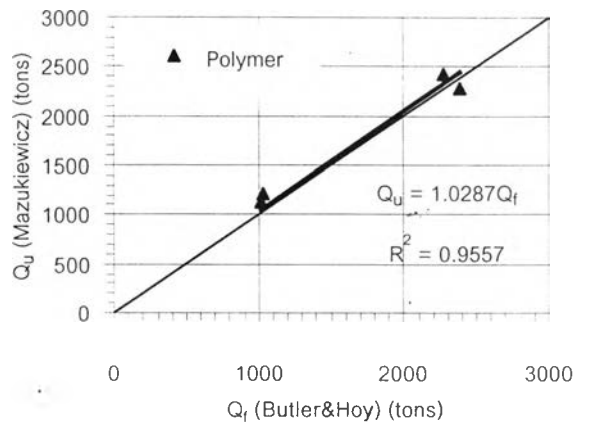
ก. ผลวิเคราะห์หรัวม



ข. เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย



ค. เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม ที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย



ง. เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายมี Polymer เป็นตัวป้องกันการพังทลายของดิน

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q_U จาก Mazurkiewicz(1972) และ Q_f จาก Butler & Hoy (1977) สำหรับเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ

- เสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

$$Q_f = 1.0546Q_u \quad (R^2 = 0.9888)$$

- เสาค้ำอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

$$Q_f = 1.0054Q_u \quad (R^2 = 0.9866)$$

- เสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายมี Polymer เป็นตัวป้องกันการพังทลายของดิน

$$Q_f = 1.0287Q_u \quad (R^2 = 0.9557)$$

ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาค้ำที่วิเคราะห์จากทั้งสองทฤษฎีแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งพบว่าสำหรับเสาค้ำที่ทดสอบไม่ถึงจุดวิบัติสามารถใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz (1972) ประมาณค่า Q_f ตามทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ได้อย่างเหมาะสมโดย Q_u จาก Mazurkiewicz (1972) จะได้ค่าสูงกว่าเล็กน้อยซึ่งได้ผลสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Pimpasugdi(1989), Wachiraprakarnpong(1993), SoonTornsiri (1995) และชาญชัย(2543)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาค้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz(1972) และ Butler & Hoy (1977)

หมายเลข เสาค้ำ	โครงการ	ขนาด เสาค้ำ	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย		หมายเหตุ
			Butler&Hoy	Mazurkiewicz	
TP 1	BBBE at 47+207	φ1.20x46.25	-	2340	
TP 2	BBBE at 41+282	φ1.20x57.50	2045	2240	
TP 3	BBBE at 36+191	φ1.20x54.19	1460	1340	Base Grouted
TP 4	BBBE at 36+191	φ1.20x44.64	1168	1186	Base Grouted
TP 5	BBBE at 28+161	φ1.20x62.03	-	3000	Base Grouted
TP 6	BBBE at 28+161	φ1.20x48.28	1670	1685	Base Grouted
TP 7	SES at 7+500	φ1.00x43.00	1250	1364	
TP 8	SES at 7+500	φ1.20x43.00	1130	1237	

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่ากำลังการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยนี้โดยใช้ทฤษฎีของ Mazurkiewicz(1972) และ Butler & Hoy (1977)

หมายเลข เสาเข็ม	โครงการ	ขนาด เสาเข็ม	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย		หมายเหตุ
			Butler&Hoy	Mazurkiewicz	
TP 9	SES at 11+ 000	φ1.00x44.10	1060	1123	
TP 10	SES at 11+ 000	φ1.20x44.10	1350	1435	
TP 11	B-PE at 7+650	φ1.00x46.51	1440	1477	
TP 12	B-PE at 1+750	φ1.00x49.47	1100	1190	
TP 13	B-PE at 3+500	φ1.20x43.50	875	870	
TP 14	B-PE at 3+500	φ1.00x43.50	798	860	
TP 15	Rama 8	φ0.80x49.00	1035	1218	Polymer
TP 16	Rama 8	φ0.80x50.19	1020	1120	Polymer
TP 17	Asoke Building Project	φ1.00x55.20	-	1778	
TP 18	BECM	φ1.50x57.50	2660	2720	Base Grouted
TP 19	New Krungthap bridge	φ1.50x53.60	-	2730	Base Grouted
TP 20	Hopewell C21 (CH 20+850 N)	φ1.50x49.70	2280	2420	Polymer
TP 21	Hopewell C22 (CH 20+850 N)	φ1.50x49.70	-	2965	Polymer
TP 22	Hopewell (Soi Soonvijai)	φ1.50x55.70	2380	2280	Polymer
TP 23	Worajack Complex Project	φ1.50x55.00	-	3370	
TP 24	BTS at Donmuang	φ1.00x47.50	900	1173	
TP 25	BWWT	φ1.50x57.50	1610	1560	
TP 26	New Krungthap bridge	φ1.50x52.34	2850	3015	
TP 27	Asoke Building Project	φ0.80x51.42	770	776	
TP 28	DTNE at 21+975	φ1.20x40.20	-	2490	Base Grouting
TP 29	DTNE at 26+250	φ1.20x48.50	-	2150	Base Grouting
TP 30	DTNE at 26+250	φ1.20x44.10	-	1875	Base Grouting
TP 31	DTNE at 26+250	φ1.20x48.00	1640	1674	Base Grouting

4.5 การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้าง

การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม จะแสดงอยู่ในรูปของ ความต้านการหยั่งที่ปลายประสิทธิ์ผล q_c (Cone Resistance) และ แรงเสียดทานที่ท่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ดินเหนียวใช้ค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวข้างต้นนี้ในการประมาณค่า แรงเสียดทานด้านข้าง ส่วนในดินทราย จะต้องมีการปรับค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ผลเนื่องมาจาก Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) เสนอโดย After Robertson and Campanella, 1985 นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ค่า Skin Friction Ratio ที่ Normalization ด้วย q_c และ q_c' สำหรับดินเหนียวและดินทรายตามลำดับ

โดยค่า q_c' คือค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ภายหลังจากปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิ์ผลในแนวตั้ง (σ'_{vo})

ค่าแรงเสียดทานสูงสุดที่นำมาวิเคราะห์ หาได้จากการ คำนวณโดยใช้การวัดค่าการส่งถ่าน้ำหนักบรรทุกภายนอกที่มากกระทำ (Load Transfer) จากหัวเสาเข็ม (Pile Top) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละชั้นดินจนถึงปลายเสาเข็ม (Pile Tip) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauges (VWSG) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ชั้นดินเหนียว

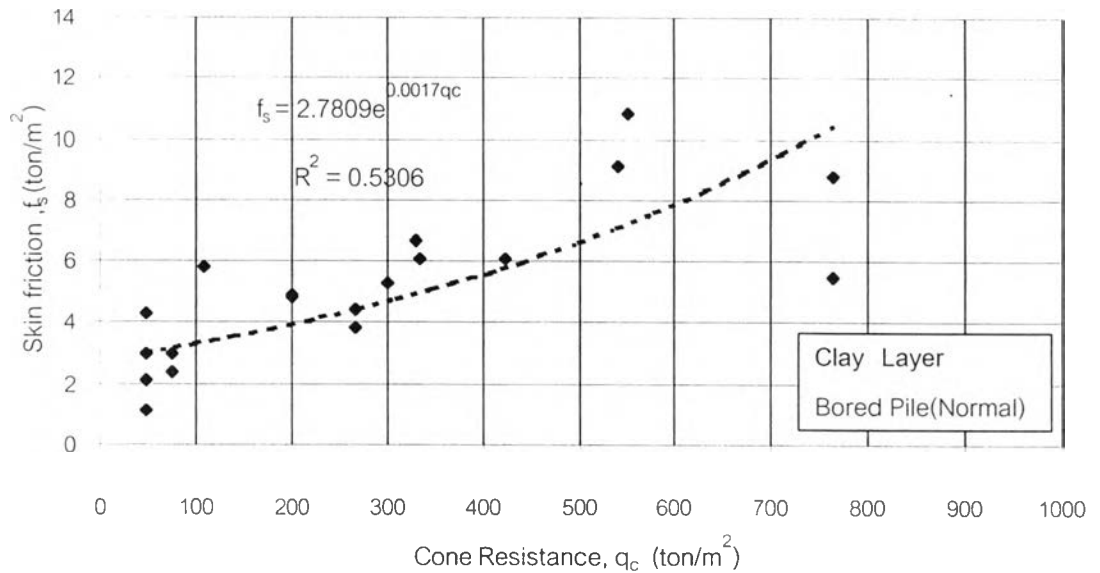
นำค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ แรงเสียดทานที่ท่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ได้จากเจาะสำรวจ โดยวิธี Electrical CPT มาหาความสัมพันธ์กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_u) จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดที่รวบรวมได้ในกรุงเทพฯ สำหรับเสาเข็มในแต่ละประเภทคือ

4.5.1.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

เสาเข็มในสภาวะนี้ที่รวบรวมได้มีเพียงเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดเท่านั้นซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 15 ต้น ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) แสดงในรูปที่ 4.10 โดยมีสมการดังนี้

$$f_s = 2.7809q_c^{0.0017q_c} \quad R^2 = 0.5306$$

ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร ค่า q_c อยู่ในหน่วย ตันต่อตารางเมตร โดยค่า f_s ที่วิเคราะห์มีค่าอยู่ในช่วง 2.00 – 9.00 ตันต่อตารางเมตร เมื่อค่า q_c มีค่าตั้งแต่ 40 – 800 ตันต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s) กับ q_c สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นทรายกรุงเทพฯ

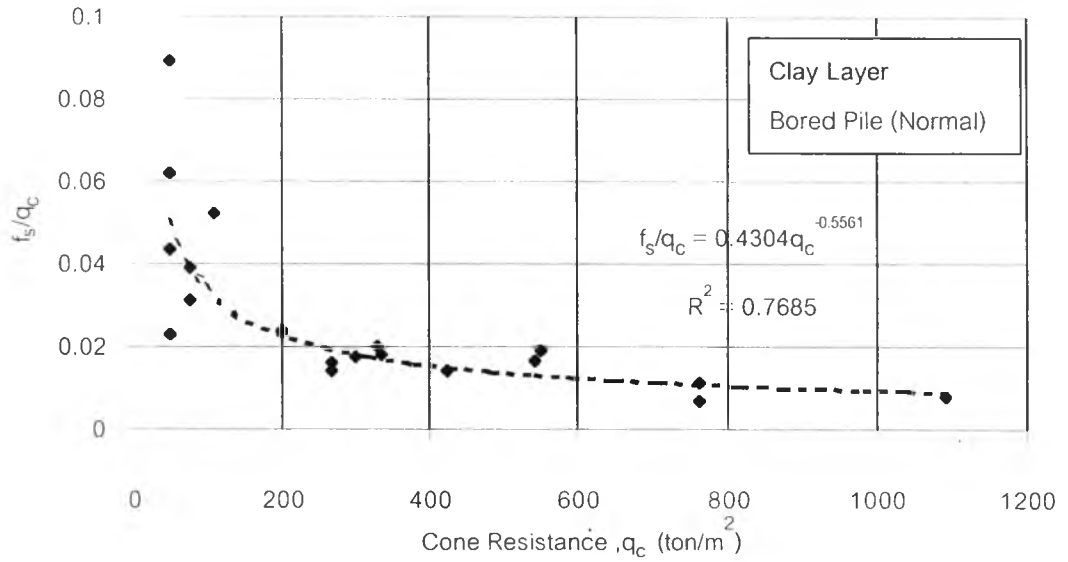
เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio (f_s/q_c) กับค่า ความต้านที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.11 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s/q_c = 0.4304q_c^{-0.5561} \quad R^2 = 0.7685$$

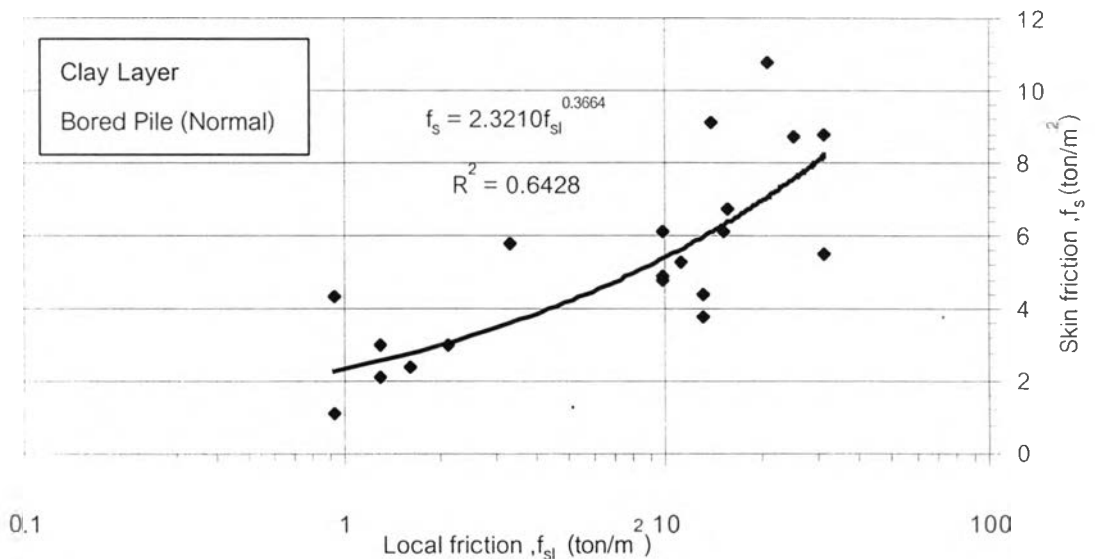
เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า แรงเสียดทานที่อ่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) กับค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.12 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s = 2.3210 f_{sl}^{0.3664} \quad R^2 = 0.6428$$

โดยที่ f_{sl} มีหน่วยเป็น ตันต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c) กับ q_c ดินเหนียวที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

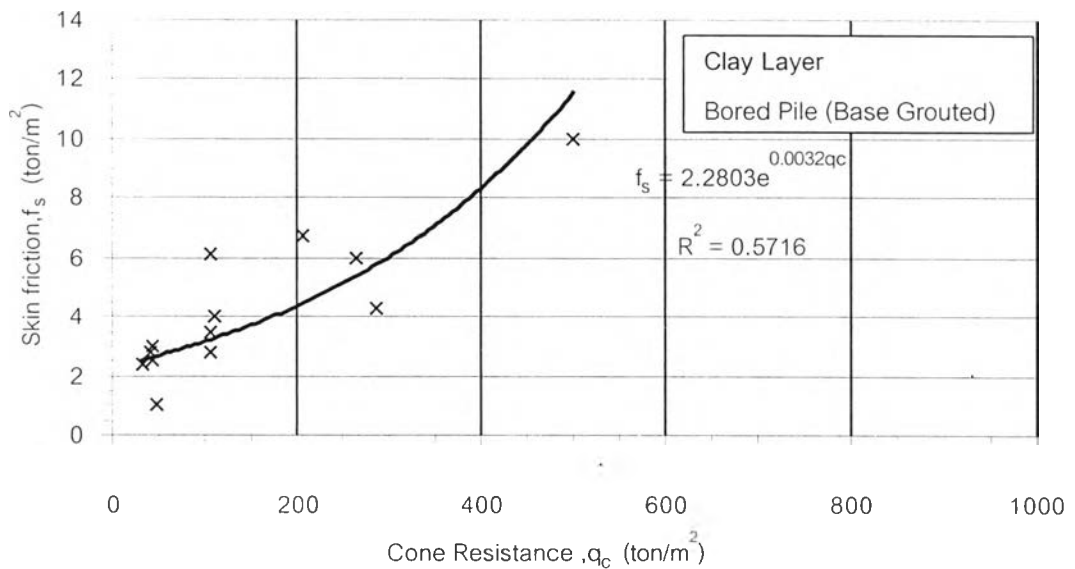


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ f_{sl} (Local friction) สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

4.5.1.2 เสาค้ำอัดน้ำปูนที่ปลายเสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

เสาค้ำอัดน้ำปูนที่ปลายเสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้เป็นเสาค้ำเจาะ 5 ต้น ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) แสดงในรูปที่ 4.13 โดยมีสมการดังนี้

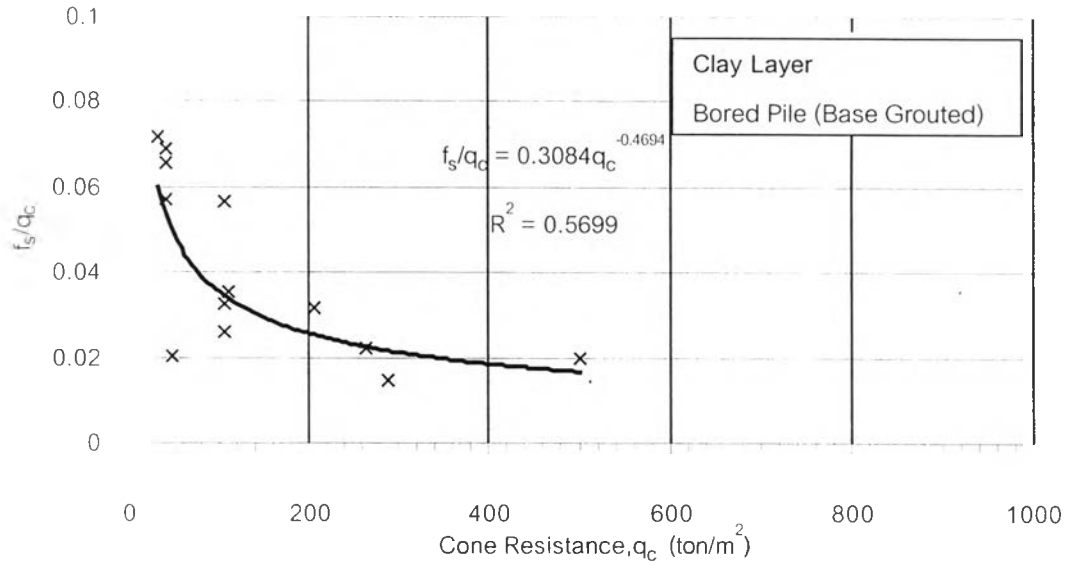
$$f_s = 2.2803q_c^{0.0032q_c} \quad R^2 = 0.5716$$



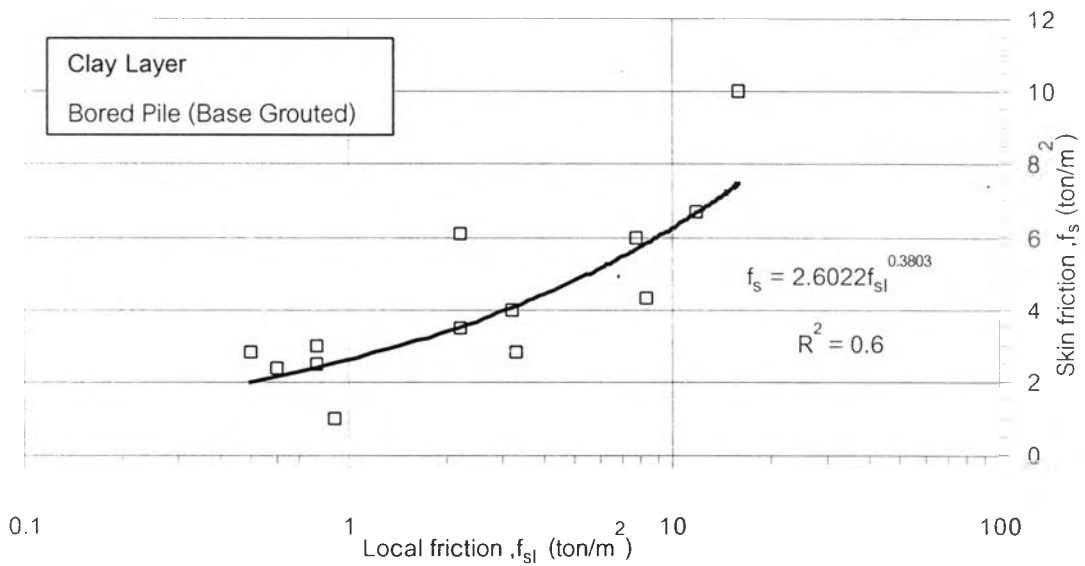
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s) กับ q_c สำหรับเสาค้ำอัดน้ำปูนที่ปลายเสาค้ำที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio (f_s/q_c) กับ ค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.14 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s / q_c = 0.3084q_c^{-0.4694} \quad R^2 = 0.5699$$



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c) กับ q_c สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ



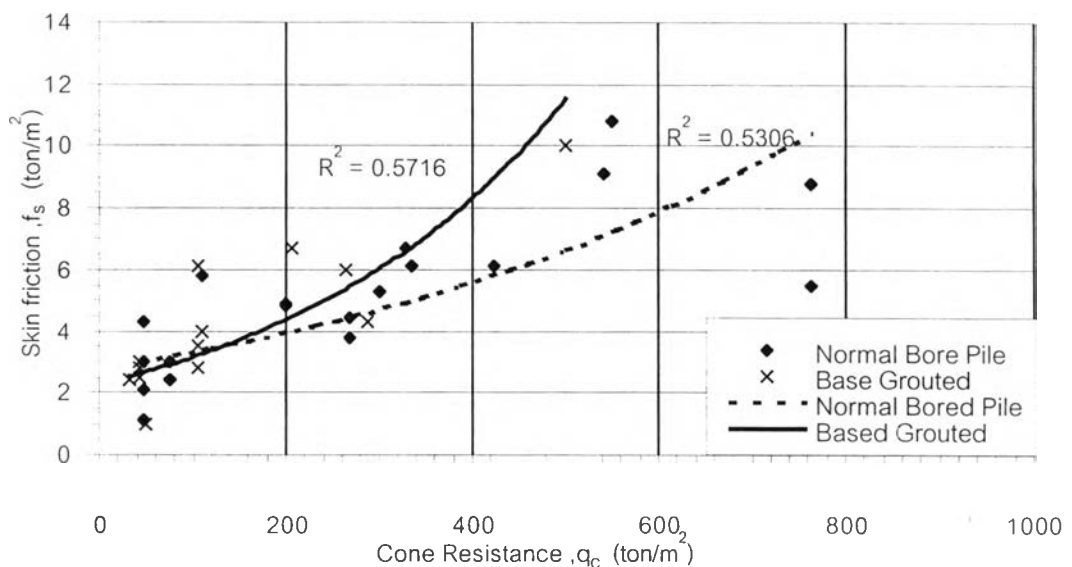
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_{sl} กับ q_c สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า แรงเสียดทานที่ต่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) กับค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.15 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s = 2.6022f_{sl}^{0.3803} \quad R^2 = 0.6$$

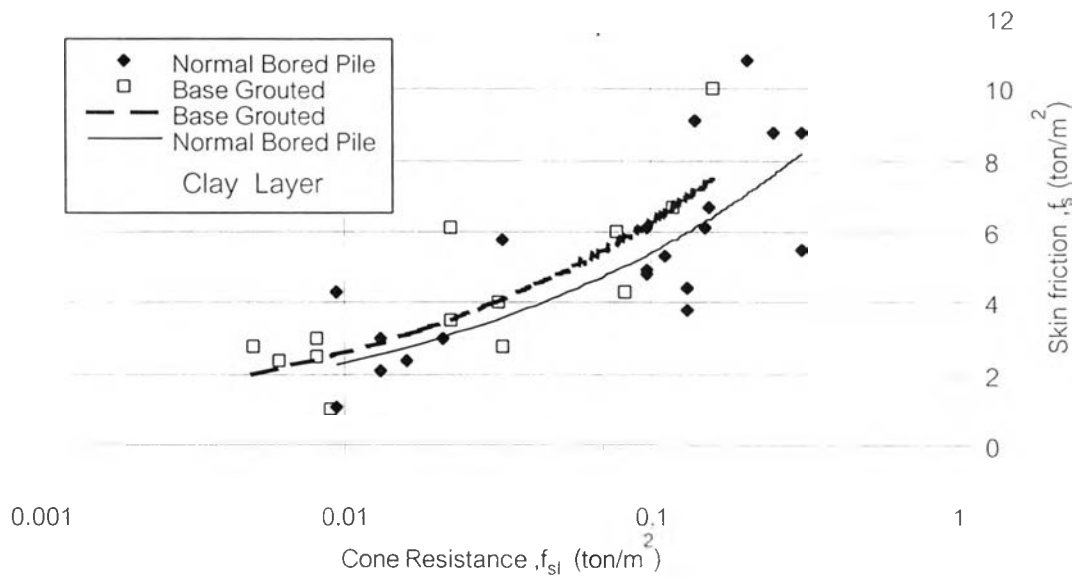
โดยที่ f_{sl} มีหน่วยเป็น ตันต่อตารางเมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม (f_s) กับหน่วยแรงต้านที่ปลายโคน (q_c) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะที่ปลายเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูน และไม่มีการอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.16



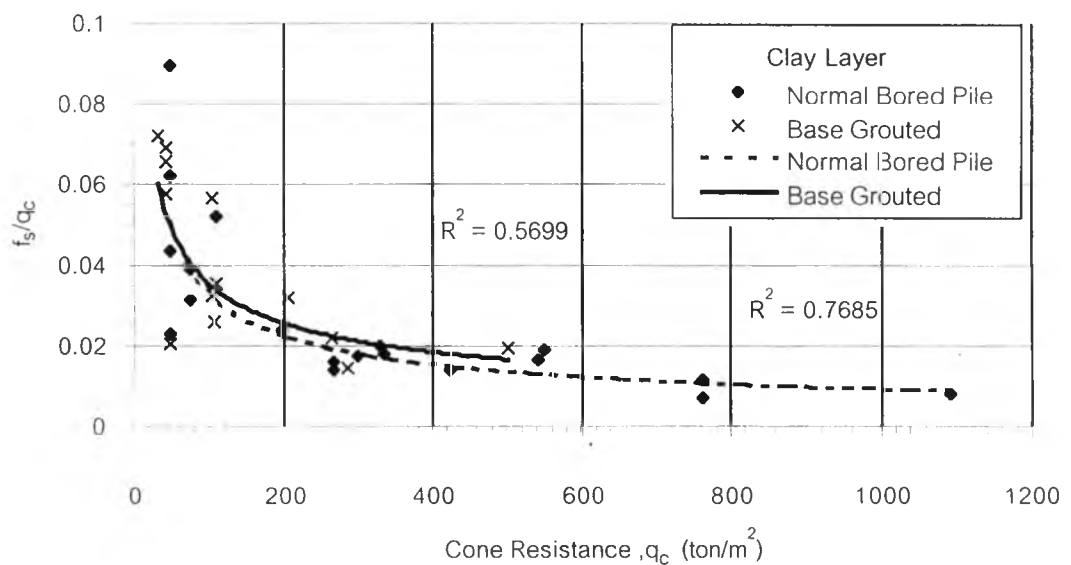
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับแรงเสียดทานที่ต่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะที่ปลายเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูน และไม่มีการอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับแรงเสียดทานที่ก่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s/q_c กับค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะที่ปลายเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูน และไม่มีการอัด ดั่งแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s/q_c กับค่าความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ของชั้นดินเหนียวสำหรับเสาเข็มเจาะในกรุงเทพฯ

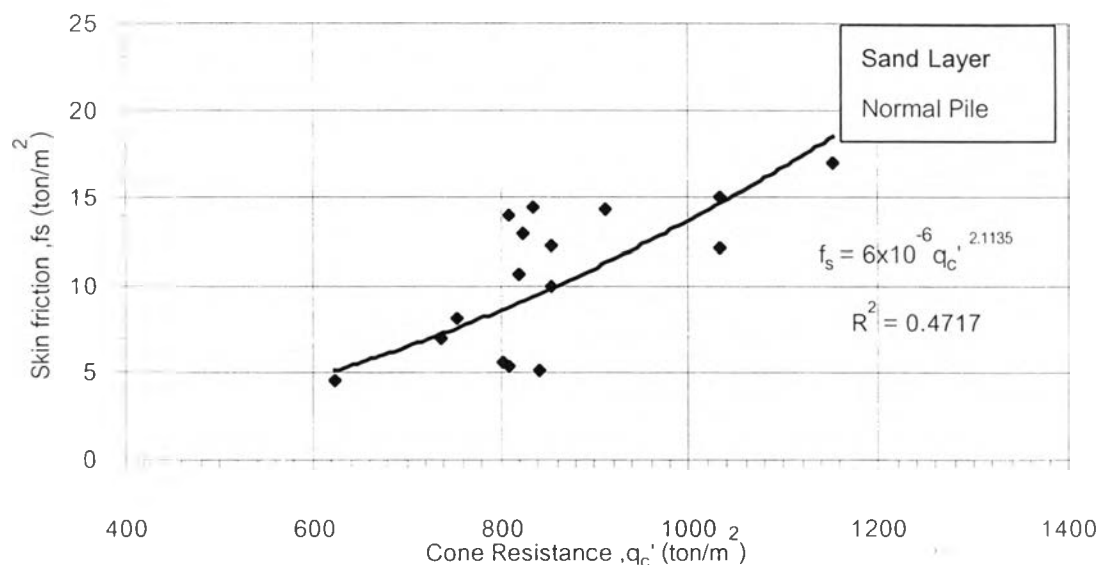
4.5.2 ชั้นดินทราย

ค่าพารามิเตอร์ในการประมาณแรงเสียดทานด้านข้างในชั้นทราย จะเป็น ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) ซึ่งแรงเสียดทานด้านข้างในดินทราย จะต้องมีการปรับค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ผลเนื่องมาจาก Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) เสนอโดย After Robertson and Campanella (1985) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ค่า Skin Friction Ratio ที่ Normalization ด้วย q_c'

4.5.2.1 เสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

เสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้เป็นเสาค้ำเข็มเจาะต้น 15 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c' กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) โดยค่า q_c' คือค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ภายหลังจากปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) แสดงในรูปที่ 4.19 โดยมีสมการดังนี้

$$f_s = 6 \times 10^{-6} q_c'^{2.1135} \quad R^2 = 0.4717$$

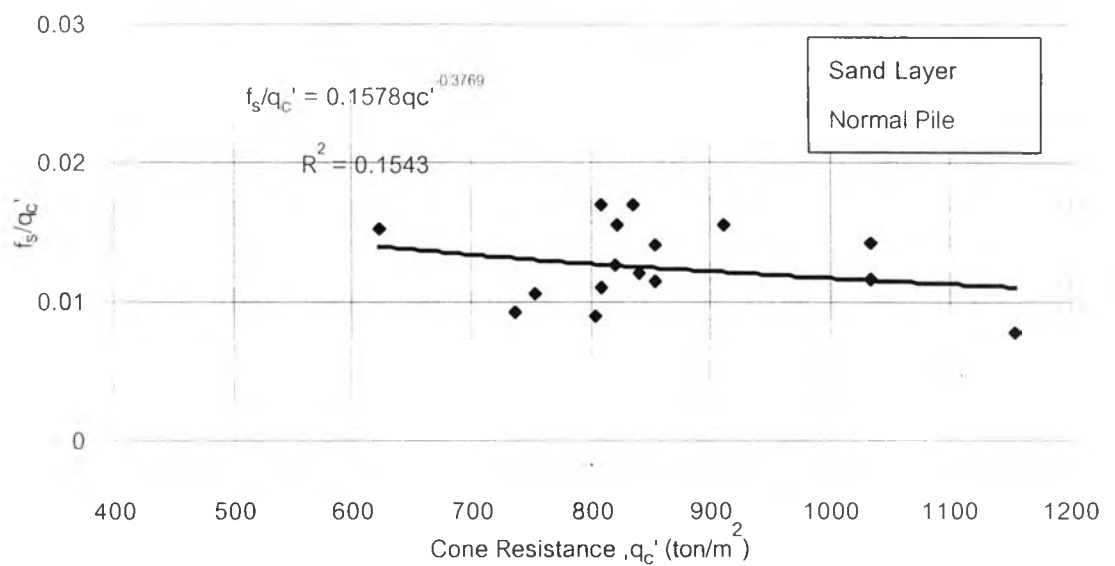


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ q_c' สำหรับเสาค้ำที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio (f_s/q_c) กับค่าความต้านทานการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.20 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s/q_c' = 0.1578q_c'^{-0.3769} \quad R^2 = 0.1543$$

การหาความสัมพันธ์ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) กับ แรงเสียดทานที่ต่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ไม่สามารถหาได้ สังเกตได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านทานการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) และ แรงเสียดทานที่ต่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ในชั้นดินทรายกระจายกันอาจจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน และ ปริมาณดินเหนียวหรือ Silt ที่ผสมอยู่ในชั้นทราย



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s/q_c' กับ q_c' สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

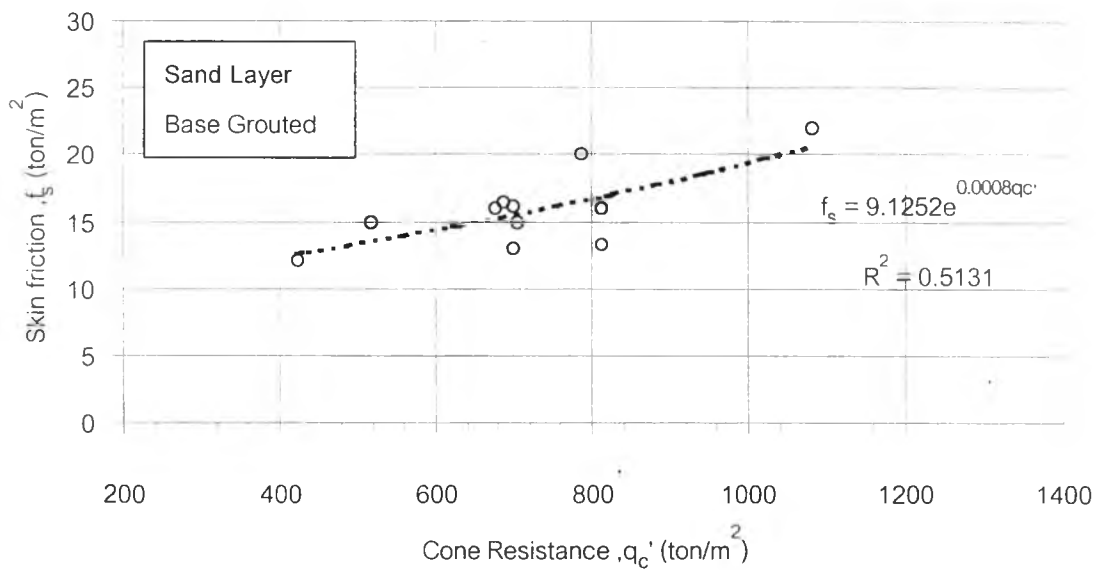
4.5.2.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้เป็นเสาเข็มเจาะ 5 ต้น ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c' กับ ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) โดยค่า q_c' คือค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ภายหลังจากปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) แสดงในรูปที่ 4.21 โดยมีสมการดังนี้

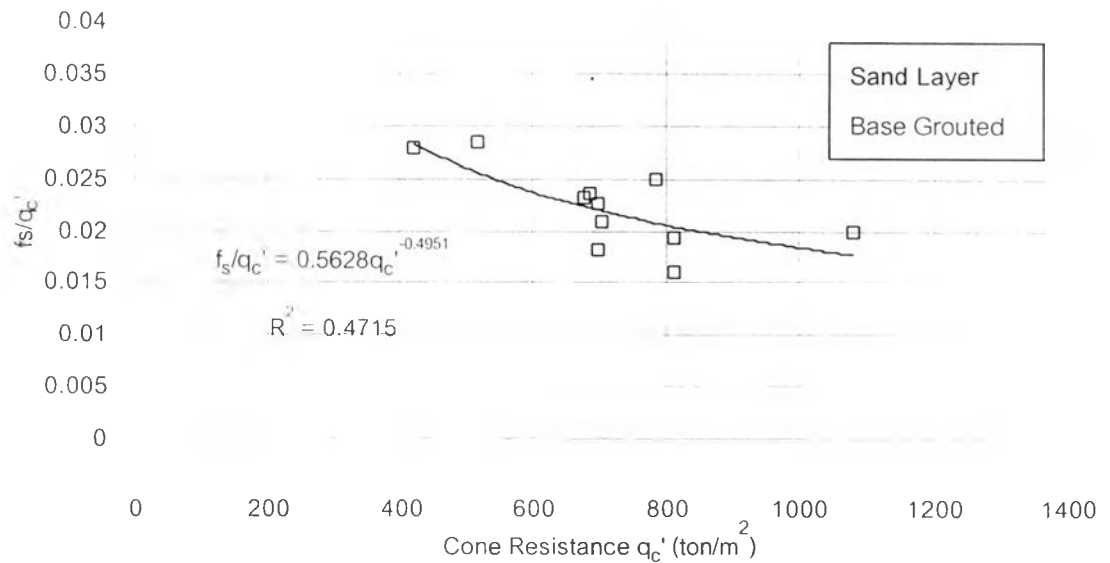
$$f_s = 9.1250e^{0.0008q_c'} \quad R^2 = 0.5131$$

เมื่อพิจารณาในความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio (f_s/q_c) ค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ตามรูปที่ 4.22 ได้ความสัมพันธ์คือ

$$f_s/q_c' = 0.5628q_c'^{-0.4951} \quad R^2 = 0.4715$$



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า f_s กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ



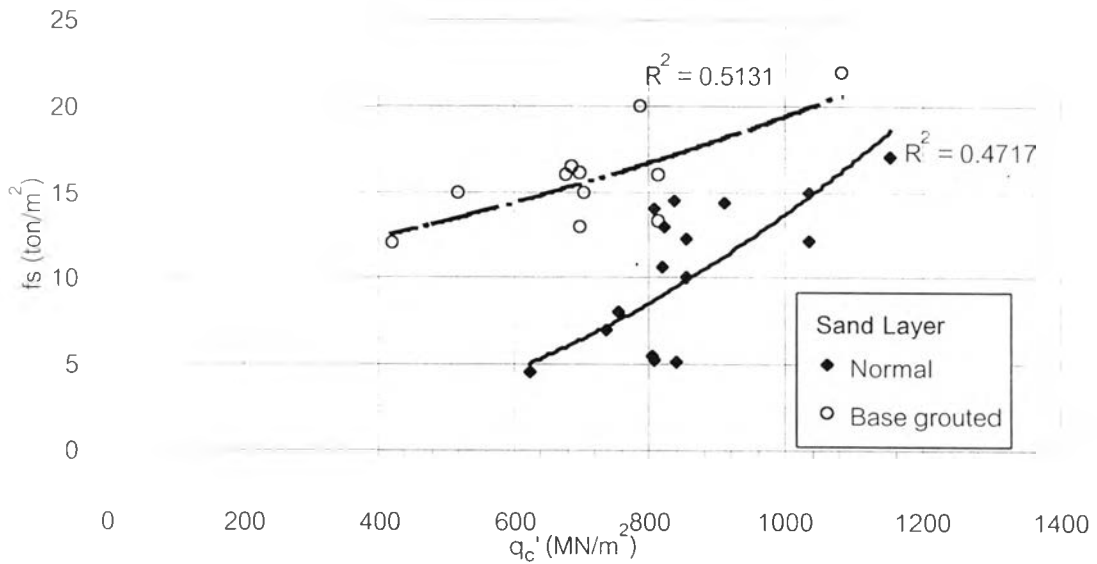
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (f_s/q_c') กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

การหาความสัมพันธ์ค่าแรงเสียดทานสูงสุด (f_s) กับ แรงเสียดทานที่พ้องหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction) ไม่สามารถหาได้ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่อนข้างกระจาย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับ q_c' ของชั้นดินทรายสำหรับเสาเข็มเจาะที่ปลายเสาเข็มอัดน้ำปูน และไม่มีการอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.23

4.6 การประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเข็ม

การประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเข็มสำหรับการวิเคราะห์ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทดสอบเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในชั้นดินกรุงเทพฯ ซึ่งจะมีปลายอยู่ในสามสถานะคือ เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย เสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทราย และเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายมี Polymer เป็นตัวป้องกันการพังทลายของดิน ผลการวิเคราะห์จะแสดงอยู่ในรูปของ ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) กับ ค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_p) ซึ่งหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มในดินทราย จะต้องมีการปรับค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ผลเนื่องมาจาก Effective Overburden Pressure (σ'_{vo}) เสนอโดย After Robertson and Campanella, 1985 โดยค่า Effective Overburden



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับ q_c' ของชั้นดินทราย สำหรับเสาเข็มเจาะ

Pressure (σ'_{vo}) ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่าที่ได้พิจารณาผลของการ draw down ของระดับน้ำใต้ดิน (Piezometric Level)

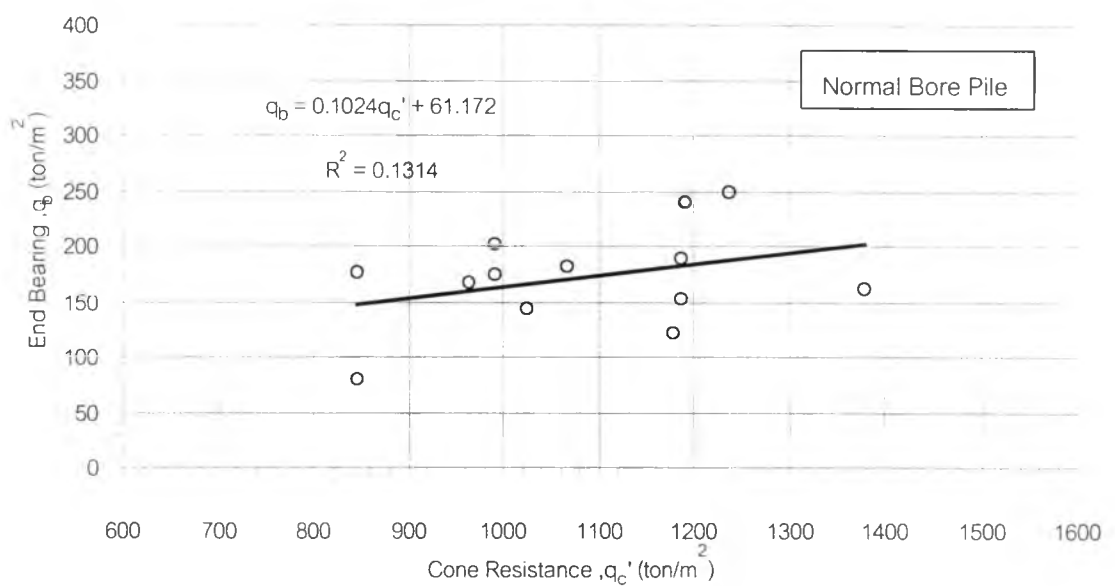
จากการศึกษาพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงในตัวเสาเข็มอย่างต่อเนื่องพบว่าการวิบัติของเสาเข็ม แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มถูกพัฒนาจนถึงค่าสูงสุดก่อนการพัฒนาจนถึงจุดสูงสุดของแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม ดังนั้นค่า ค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) ที่ใช้สำหรับการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักเสาเข็มโดยวิธีสถิตย จะเป็นค่าที่ไม่ถึงจุดสูงสุดเพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวที่มากเกินไปในการออกแบบโดยการวิเคราะห์ หากค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดสำหรับค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็มที่หาโดยวิธี Butler & Hoy (1977) ซึ่งหาค่าใกล้จุดคลาก (Yield Condition) ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวกำลังรับน้ำหนักบรรทุกนั้น (Load-Settlement Relationship)

รายละเอียดผลการวิเคราะห์หาค่า ค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) แยกตามสภาวะมีดังนี้

4.6.1 เสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) กับ q_c' โดยค่า q_c' คือค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ภายหลังจากการปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) สำหรับเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดเท่านั้นซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 15 ต้น แสดงในรูปที่ 4.24 โดยมีสมการดังนี้

$$q_b = 0.1024q_c' + 61.172 \quad R^2 = 0.1314$$

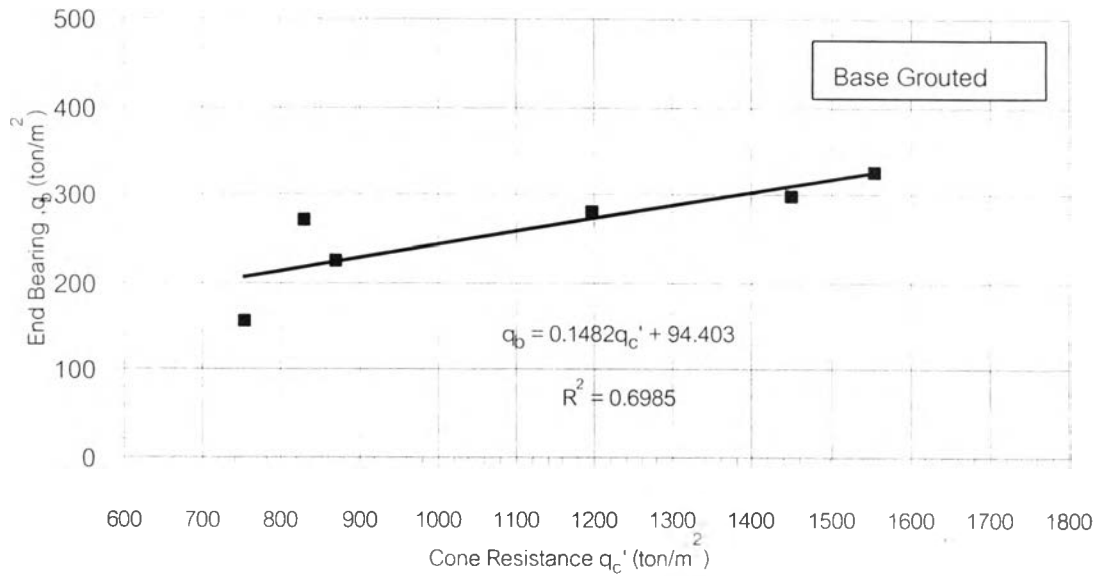


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_b กับ q_c' สำหรับปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

4.6.2 เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย

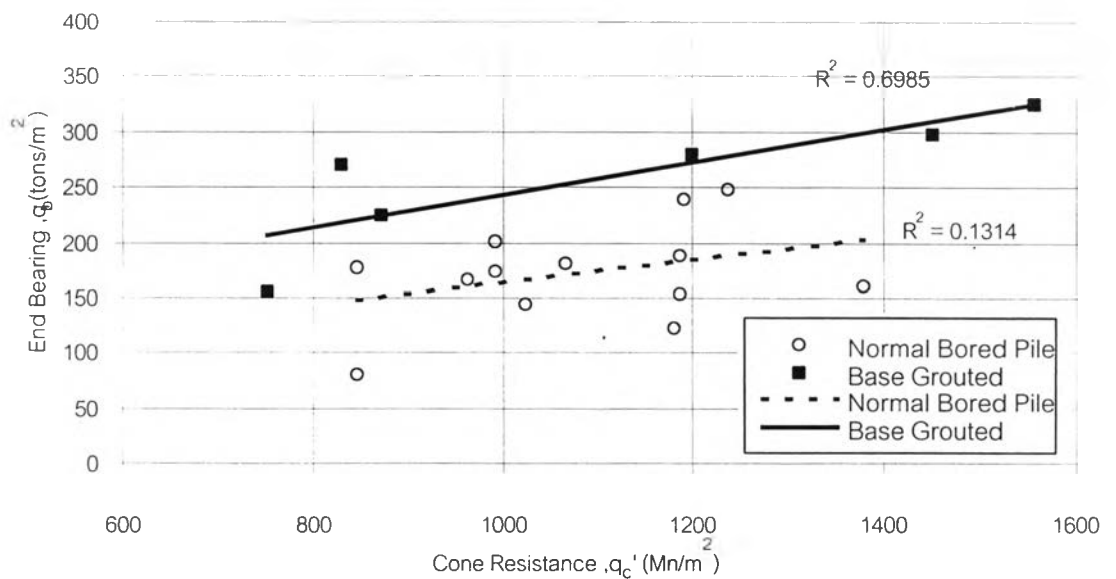
เสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้เป็นเสาเข็มเจาะ 5 ต้น ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_c' กับ ค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) โดยค่า q_c' คือค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c (Cone Resistance) ภายหลังจากการปรับแก้เนื่องจากผลของหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวตั้ง (σ'_{vo}) แสดงในรูปที่ 4.25 โดยมีสมการดังนี้

$$q_b = 0.1482q_c' + 94.403 \quad R^2 = 0.6985$$



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_b กับ q_c' สำหรับเสาเข็มอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินทรายในชั้นดินกรุงเทพฯ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลาย (q_b) กับ q_c' สำหรับเสาเข็มเจาะที่ปลายเสาเข็มอัดน้ำปูน และไม่มีการอัด ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลาย q_b กับ q_c' สำหรับเสาเข็มเจาะในกรุงเทพฯ

4.7 การเปรียบเทียบและอภิปรายค่าพารามิเตอร์ของเสาเข็มเจาะแต่ละประเภท

ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัยได้แก่ ค่าแรงเสียดทานด้านข้างสูงสุดของเสาเข็ม (f_s) ค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็มสูงสุด (q_b) อยู่ในรูปความสัมพันธ์ กับ หน่วยแรงต้านทานที่ปลายโคน q_c (Cone Resistance) และหน่วยแรงเสียดทานที่ท่อนหาแรงเสียดทาน f_{sl} (Local friction)

4.7.1 ค่าแรงเสียดทานด้านข้างเสาเข็ม (f_s) ในชั้นดินเหนียว

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio (f_s/q_c) ดังรูปที่ 4.18 ก็ได้ผลสรุปว่าค่า f_s/q_c สำหรับเสาเข็มทั้งในกรณีไม่มีการอัดฉีดน้ำที่ปลายเสาเข็มและมีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มอยู่ในแนวโน้มเดียวกันคือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.007 – 0.062 ที่ค่า q_c ตั้งแต่ 25 – 1100 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งช่วงดังกล่าวเป็นช่วงดินตั้งแต่ Soft Clay ถึง Hard Clay ทั้งนี้เนื่องจากการอัดน้ำปูนไม่สามารถซึมผ่านขึ้นไปยังชั้นดินเหนียวได้และในชั้นดินเหนียวไม่เกิด Cake film เนื่องจากสารละลายเบนโทไนท์ (วันชัย 2000, ชาญชัย 2000)

4.7.2 ค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) ในชั้นดินทราย

สำหรับการประมาณค่าแรงเสียดทานของเสาเข็มในชั้นทรายที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) กับค่า ความต้านการหยั่งที่ปลาย q_c , (Cone Resistance) ในรูปที่ 4.23 พบว่า ค่าแรงเสียดทานด้านข้าง (f_s) ในชั้นทรายชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองมีค่าในความสัมพันธ์เดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า f_s สำหรับเสาเข็มอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายให้ค่าสูงกว่ากรณีเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายอยู่ในชั้นทราย ทั้งนี้เนื่องจากผลจากการอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มอาจทำให้น้ำปูนย้อนขึ้นมาข้างตัวเสาเข็มมา Compact และแก้ไขปัญหาการเกิด Cake film จากสารละลายเบนโทไนท์

4.7.3 ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_b)

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_b) กับ q_c' เมื่อพิจารณา ผลการอัดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มเจาะที่มีค่าอยู่ในชั้นทรายดังรูปที่ 4.26 พบว่าเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มให้ค่า ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_b) สูงกว่ากรณีที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม โดยค่า ค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_b) สำหรับเสาเข็มที่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มสูงกว่าเสาเข็มที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม