



ผลการวิเคราะห์หสสัมพันธและเส้นถดถอย

1. การจำแนกข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 ค่าสังเกตที่นำมาพิจารณาได้กำหนดไว้ที่จุดที่มีการทดสอบ INDEX PROPERTIES, UNDRAINED SHEAR STRENGTH และ CONSOLIDATION โดยวิธีการเช่นนี้จะได้อ่าสังเกตประมาณ 3 ค่า ต่อหนึ่งหลุม และประมาณ 6 ค่า ต่อหนึ่งสถานที่ ซึ่งจะได้รับการกระจายข้อมูลทั่วทั้งกรุงเทพฯ ค่าสังเกตดังกล่าวได้ถูกนำมาพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่มแยกจากกัน คือ ส่วนของชั้นดินอ่อนและส่วนของชั้นดินแข็ง ดังนั้นในการวิเคราะห์หสสัมพันธและเส้นถดถอยจึงได้กำหนดตัวแปรแยกจากกันระหว่างชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็ง อย่างไรก็ตาม จากผลการวิเคราะห์หสสัมพันธและการทดสอบสมมุติฐาน ปรากฏว่าในกรณีของเส้นถดถอยแบบธรรมดา ค่า INDEX PROPERTIES และ UNDRAINED SHEAR STRENGTH ที่สัมพันธ์กับความลึกได้ให้ยัยสำคัญที่ค่า ดังนั้นค่าสังเกตได้ถูกนำมาพิจารณาใหม่อีกครั้งหนึ่งสำหรับกรณีของเส้นถดถอยธรรมดา ค่าสังเกตของ INDEX PROPERTIES ที่สัมพันธ์กับความลึกได้กระจายข้อมูลโดยนำเอาค่าสังเกตทุก ๆ ค่าในหลุม ๆ หนึ่งมาพิจารณา กำหนดโดยทั่วไปให้หนึ่งหลุมต่อหนึ่งสถานที่ และได้กระจายค่าสังเกตต่อเนื่องลงไปจนถึงชั้นดินแข็ง ส่วนค่าสังเกตของ UNDRAINED SHEAR STRENGTH ได้กระทำในทำนองเดียวกัน แต่ในการวิเคราะห์หสสัมพันธและเส้นถดถอยยังคงแยกค่าสังเกตออกจากกันระหว่างชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็ง ค่าสังเกตของการทดลอง CONSOLIDATION ได้กำหนดให้ COMPRESSION INDEX แปรตาม INDEX PROPERTIES ดังนั้นจึงรวมเอาค่าสังเกตทั้งชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็งรวมกันในการหาหสสัมพันธและสมการเส้นถดถอย

## 2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกำหนดชั้นดิน

ตามที่ได้อธิบายไว้ในรูปที่ 4.7 ค่าที่ได้จากการทดสอบ FIELD VANE SHEAR เมื่อนำมาพลอตเทียบกับความลึก จะเห็นได้ว่าที่บริเวณใกล้พื้นผิวค่า UNDISTURB FIELD VANE SHEAR จะสูงและลดลงตามความลึกจนกระทั่งถึงความลึกประมาณ 5.0 เมตร ค่า FIELD VANE SHEAR จะเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามโดยจะเพิ่มขึ้นตามความลึก จากการทดสอบที่เป็นเส้นตรงสองส่วนตามรูปที่ 4.7 ของ UNDISTURB FIELD VANE SHEAR นั้น ประมาณค่า CRUST DEPTH ได้ประมาณ 3.50 เมตร และชั้น WEATHERING ประมาณ 5.0 เมตร ส่วนของเส้นตรงจาก 5 เมตร ถึง 14 เมตรเป็นไปตามสมการ 11 ตารางที่ 4.7 ชนิดของ CRUST จัดอยู่ในพวก VERY SOFT CRUST ถึง SOFT CRUST รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของ UNDRAINED SHEAR STRENGTH (UNCONFINED COMPRESSION TEST) และ EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE กับความลึก จะเห็นได้ชัดถึงความไม่ต่อเนื่องที่ความลึก 14 เมตรทั้ง UNDISTURB UNCONFINED, REMOLD UNCONFINED และ EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE จากรูปตัดของชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไปชั้นดินอ่อนมากจนถึงชั้นดินอ่อน (VERY SOFT ถึง SOFT) มีความลึกประมาณ 14 เมตร และบางแห่งปกคลุมด้วยชั้นดินอ่อนปานกลาง (MEDIUM) ดังนั้นในการกำหนดค่าสังเกตและตัวแปรในกรณีของเส้นดัดดอยแบบธรรมชาติจึงพิจารณาจากลักษณะของกราฟเป็นสำคัญ ชั้นดินแข็งโดยทั่วไปมีความลึกจาก 14-25 เมตร ในพื้นที่หลายแห่งมีทรายและกรวดปนอยู่โดยทั่วไป

## 3. การกระจายความน่าจะเป็นและการกระจายของข้อมูล

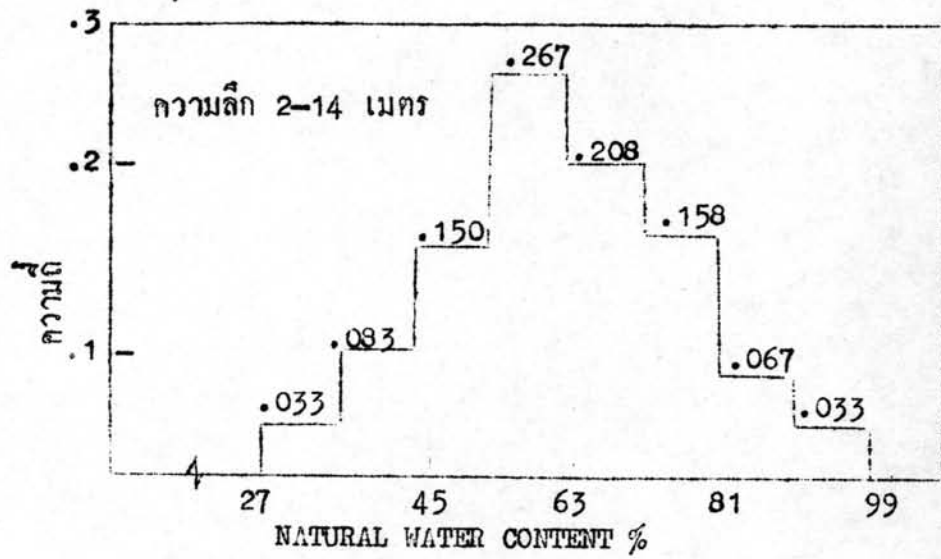
ตามที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1 การกระจายของค่าสังเกตของ

INDEX PROPERTIES และ SHEAR STRENGTH ได้เปลี่ยนไปจากเดิม และกำลังเกตุ  
ได้ถูกเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่มีผลทำให้การกระจายความน่าจะเป็นเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจาก  
คุณสมบัติของพารามิเตอร์อยู่ในช่วงหรือพิสัยที่จำกัด การกระจายความน่าจะเป็นในรูปแบบ  
ฮิสโตแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.3 การกระจายของข้อมูลได้แสดงไว้  
ในตารางที่ 4.1

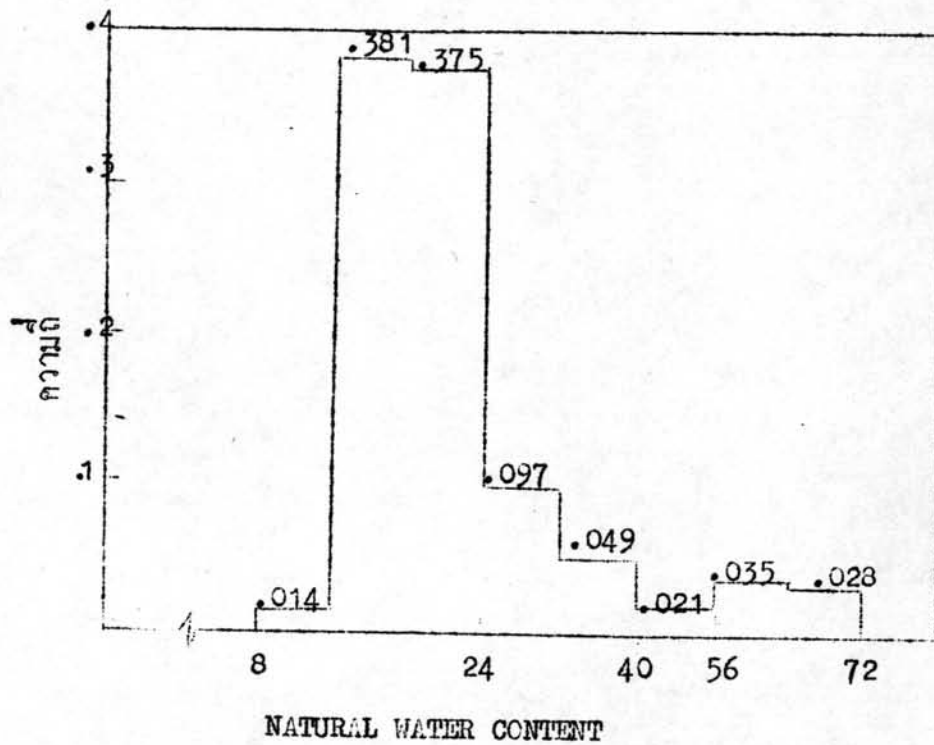
ตารางที่ 4.1 การกระจายของพารามิเตอร์ที่ความลึกต่าง ๆ

| พารามิเตอร์              | ความลึก (เมตร) |             |
|--------------------------|----------------|-------------|
|                          | 0 - 14         | 14 - 30     |
| NATURAL WATER CONTENT %  | 40 - 80        | 16 - 40     |
| LIQUID LIMIT %           | 40 - 88        | 16 - 64     |
| PLASTIC LIMIT %          | 20 - 35        | 12 - 28     |
| DRY DENSITY gm/cc        | 0.78 - 1.17    | 1.30 - 1.82 |
| พารามิเตอร์              | ความลึก (เมตร) |             |
|                          | 0 - 14         | 14 - 25     |
| UNDISTURB UNCONFINED ksc | .03 - .39      | 0.40 - 2.80 |
| REMOLD UNCONFINED ksc    | .01 - .25      | 0.03 - 1.75 |
| UNDISTURB VANE SHEAR ksc | 0 - .68        | -           |
| REMOLD VANE SHEAR ksc    | 0 - .50        | -           |
| INITIAL VOID RATIO       | 1.00 - 2.50    | 0.50 - 1.25 |
| COMPRESSION INDEX        | 0.50 - 1.50    | 0.10 - 0.75 |
| COMPRESSION RATIO        | 0.15 - 0.45    | 0.05 - 0.25 |

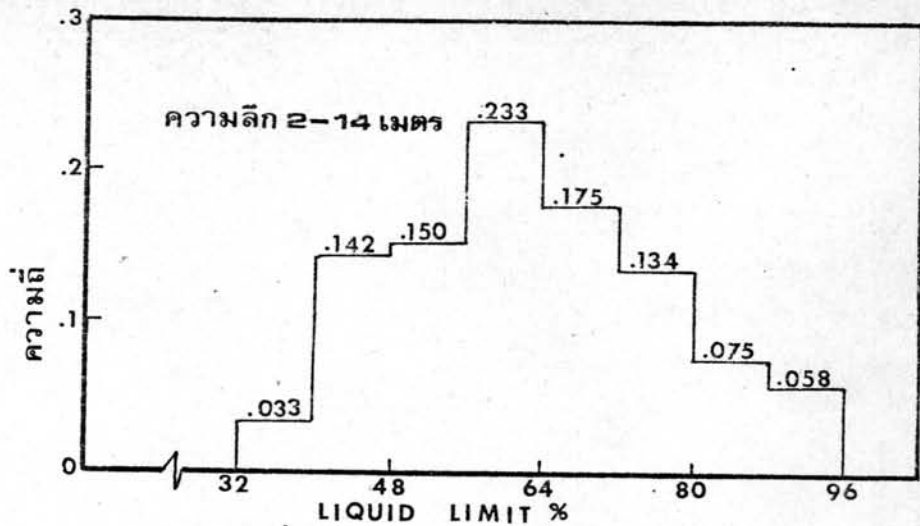
LIQUIDITY INDEX มีค่าประมาณ 1 ในชั้นดินอ่อน และน้อยกว่า 1 ในชั้นดินแข็ง ลักษณะของ PLASTICITY เมื่อนำค่า LIQUID LIMIT มาพล็อตกับ PLASTICITY INDEX แล้วจะให้เป็นแนวที่ขนานและส่วนมากจะอยู่เหนือเส้น CASAGRANDE "A" LINE ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ค่า PLASTICITY INDEX ในชั้นดินอ่อนมีค่าประมาณ 20-35 จัดอยู่ในพวก PLASTIC ส่วนในชั้นดินแข็งค่า PLASTICITY INDEX มีค่าประมาณ 10-30 จัดอยู่ในพวก MODERATELY PLASTIC ถึง PLASTIC ลักษณะทางด้าน TEXTURE ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 โดยใช้ตัวอย่างดินจากโครงการน้สะพานสาทร ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ SILT และ CLAY อยู่ในช่วง 30-60 % และจัดอยู่ในพวก SILTY CLAY



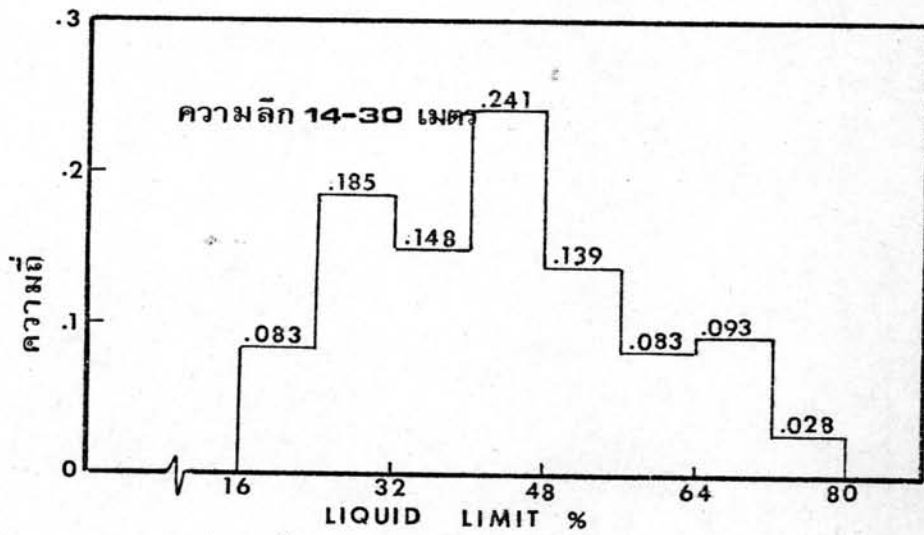
รูปที่ 4.1.1



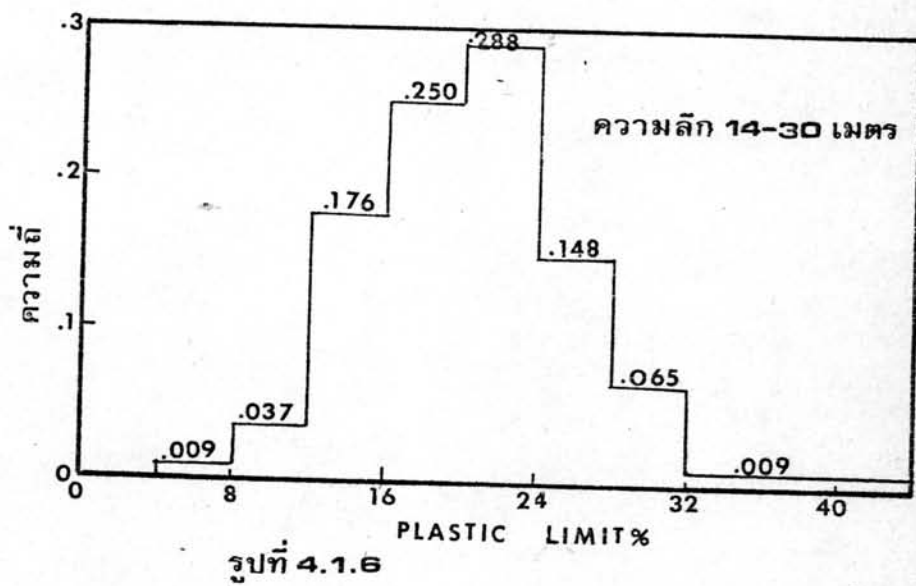
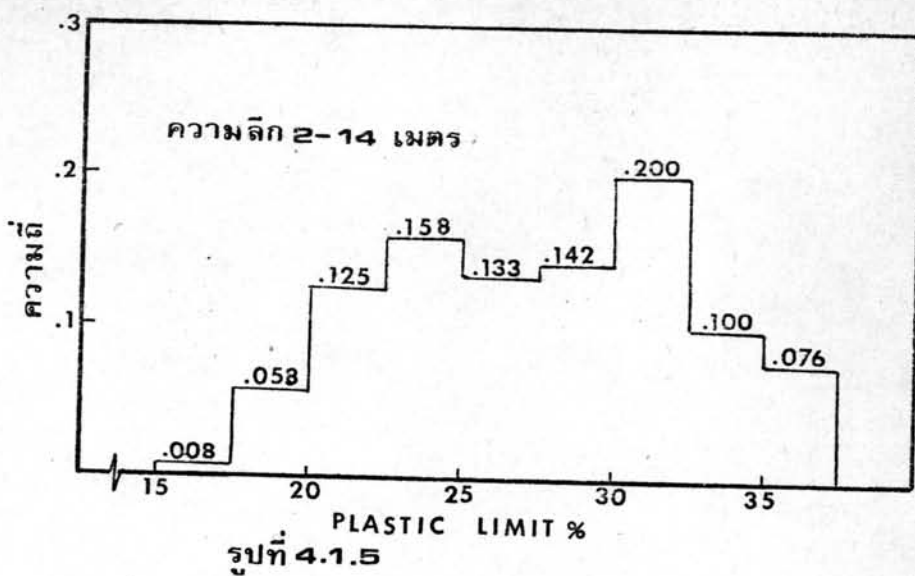
รูปที่ 4.1.2

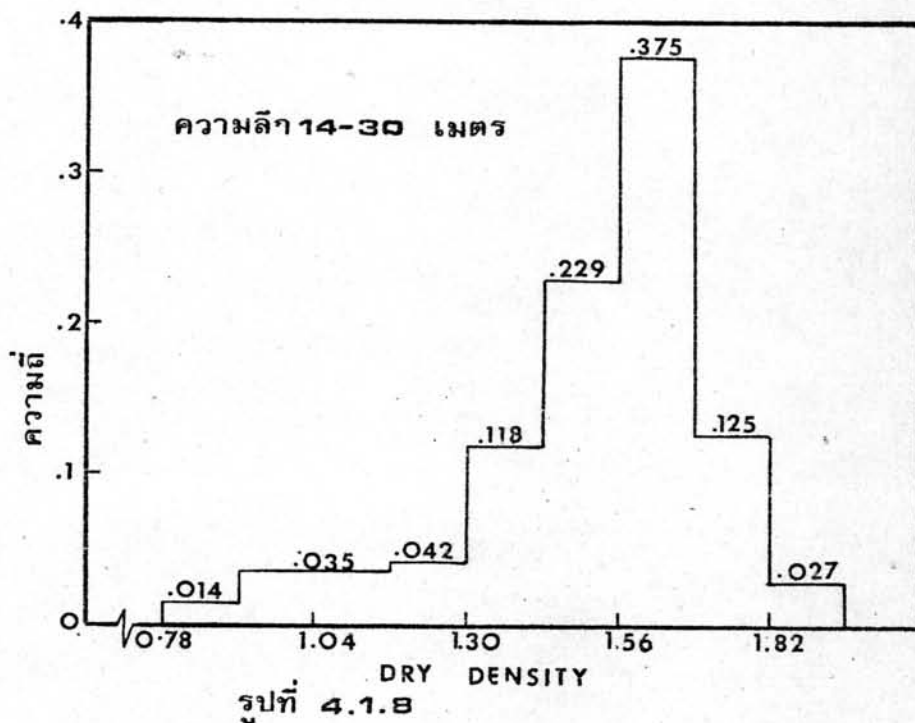
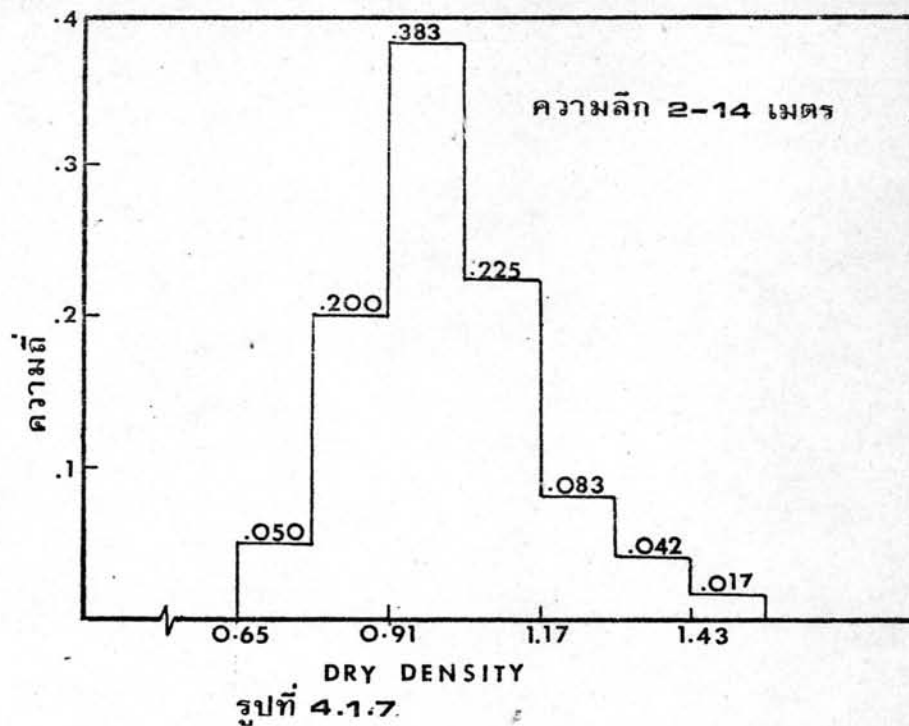


รูปที่ 4.1.3



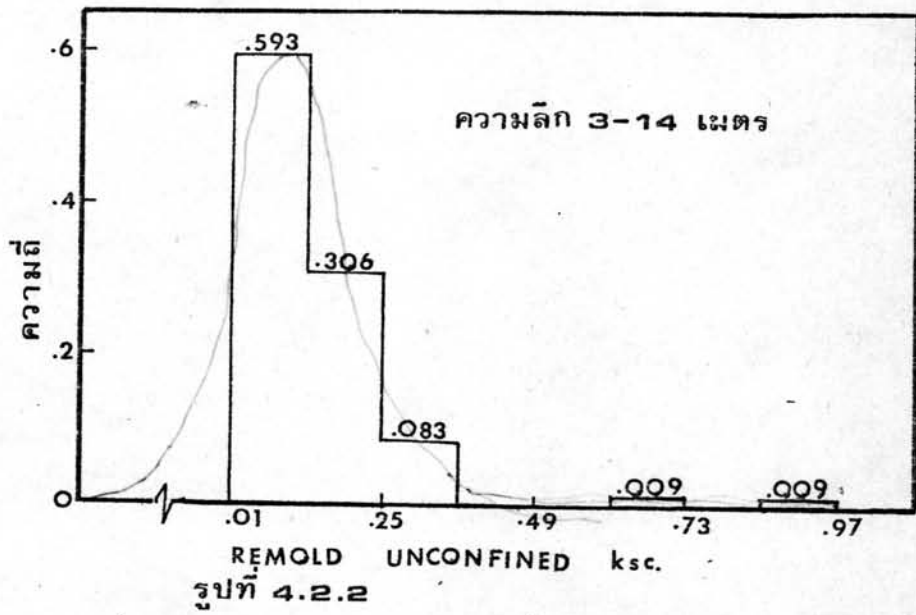
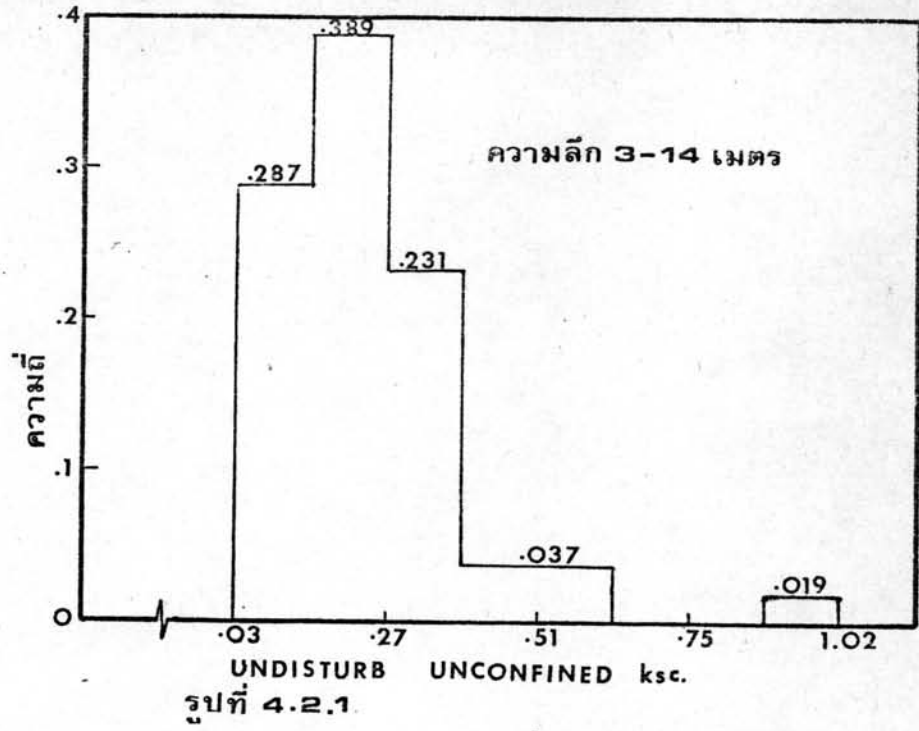
รูปที่ 4.1.4

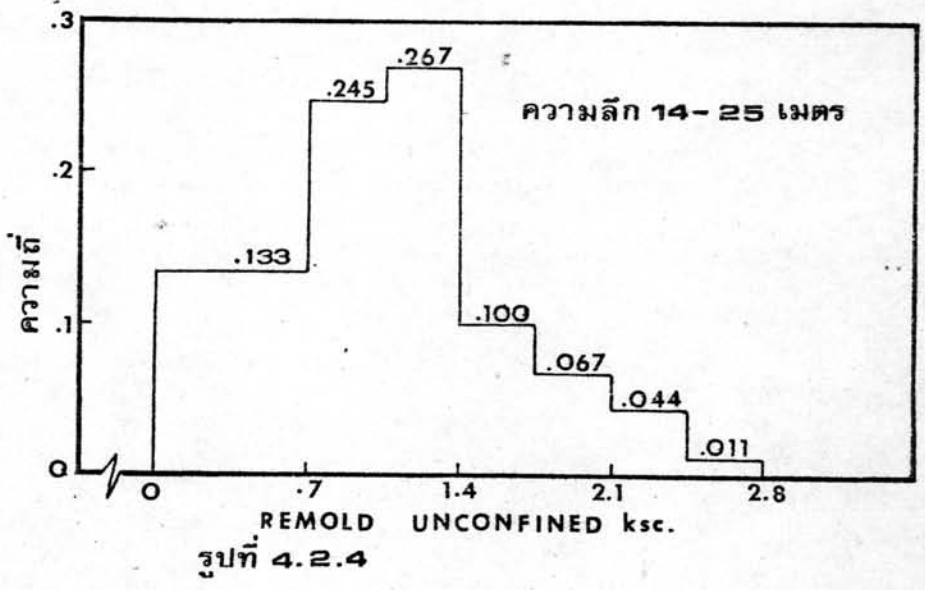
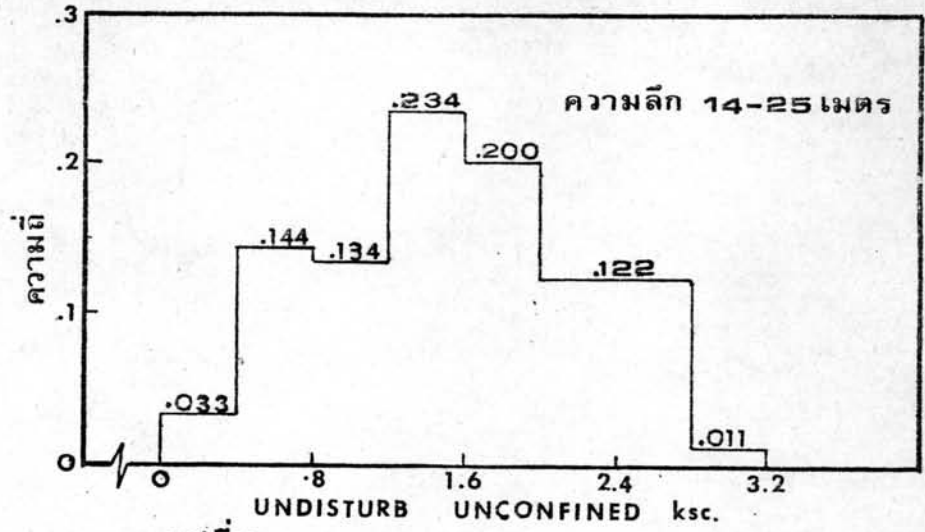


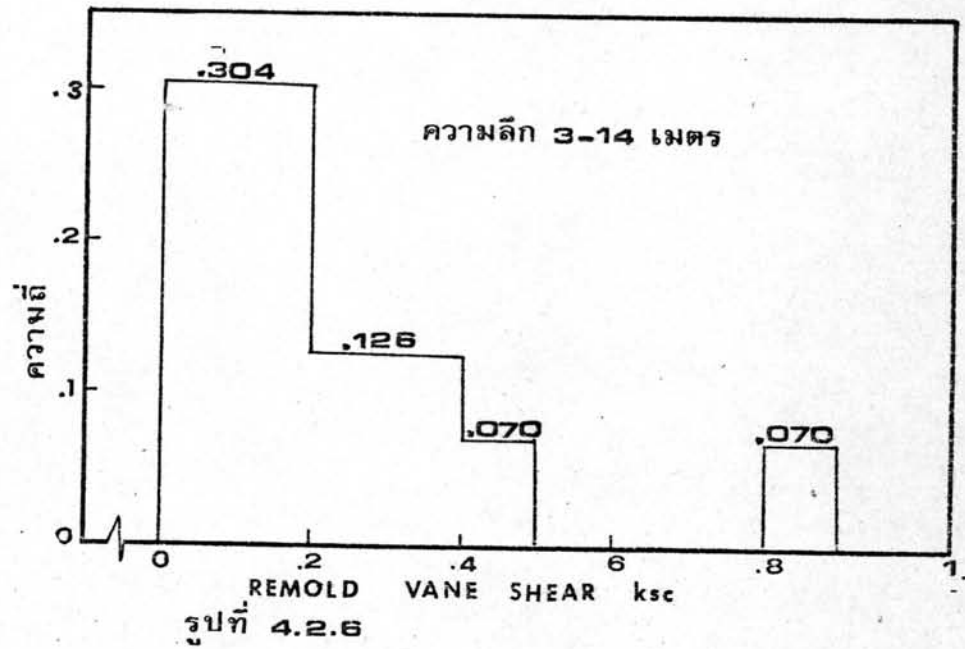
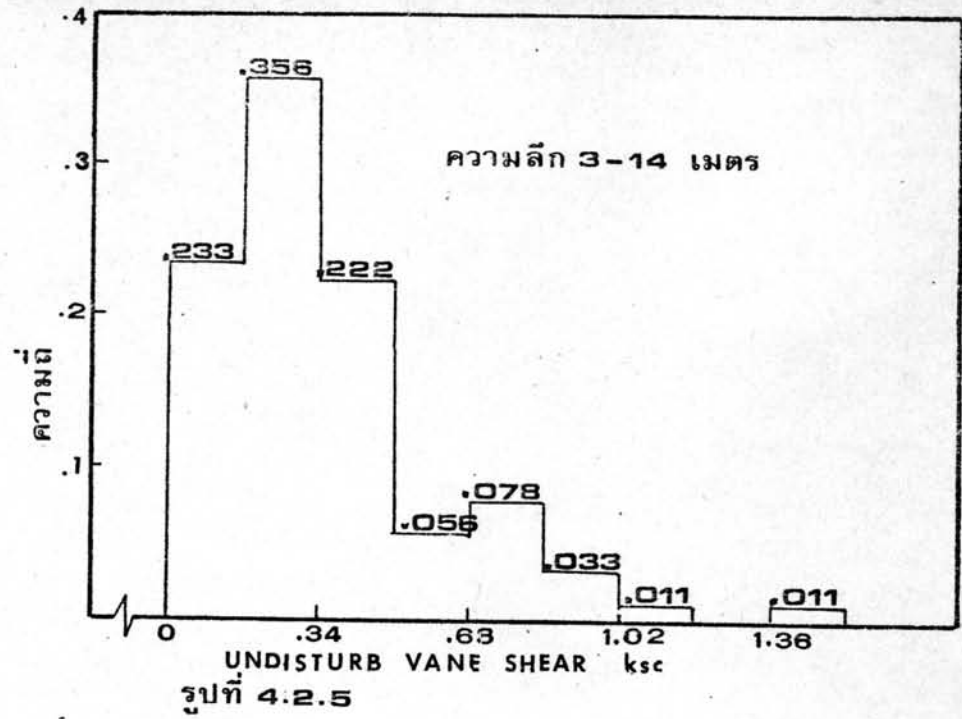


รูปที่ 4.1 แสดง ฮิสโตแกรมของ INDEX PROPERTY

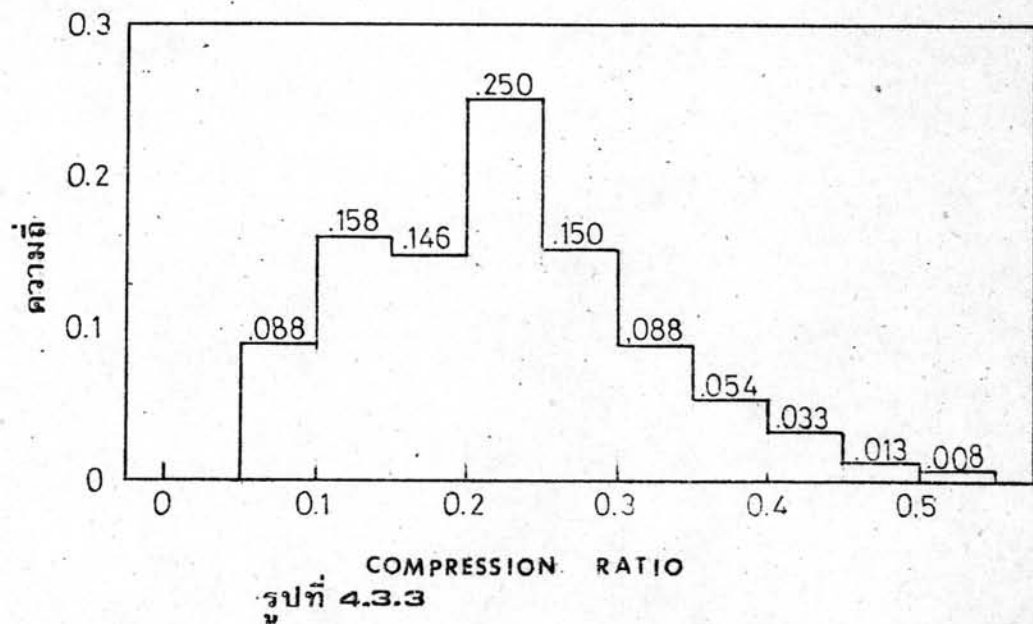
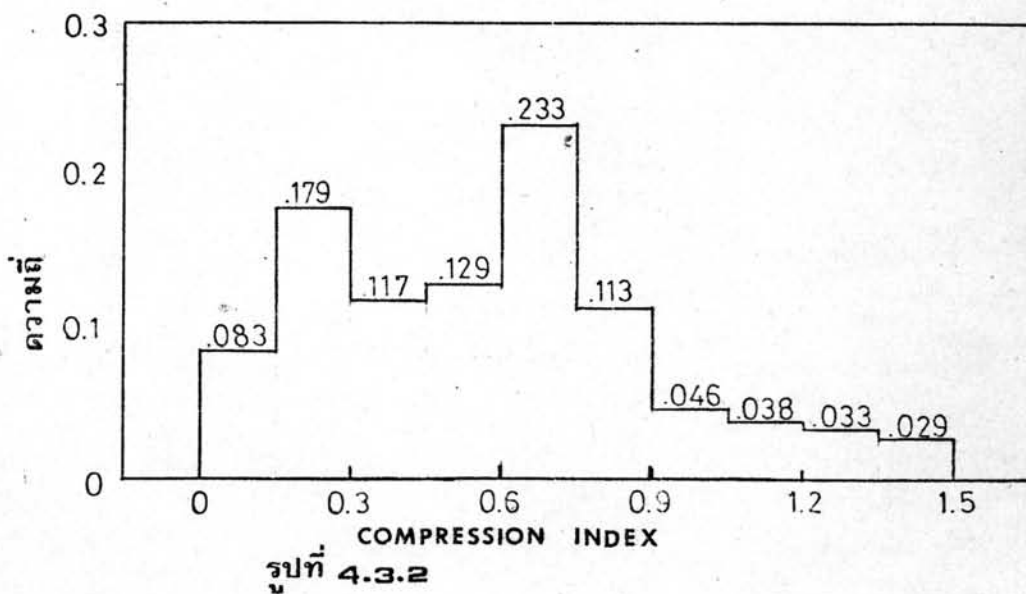
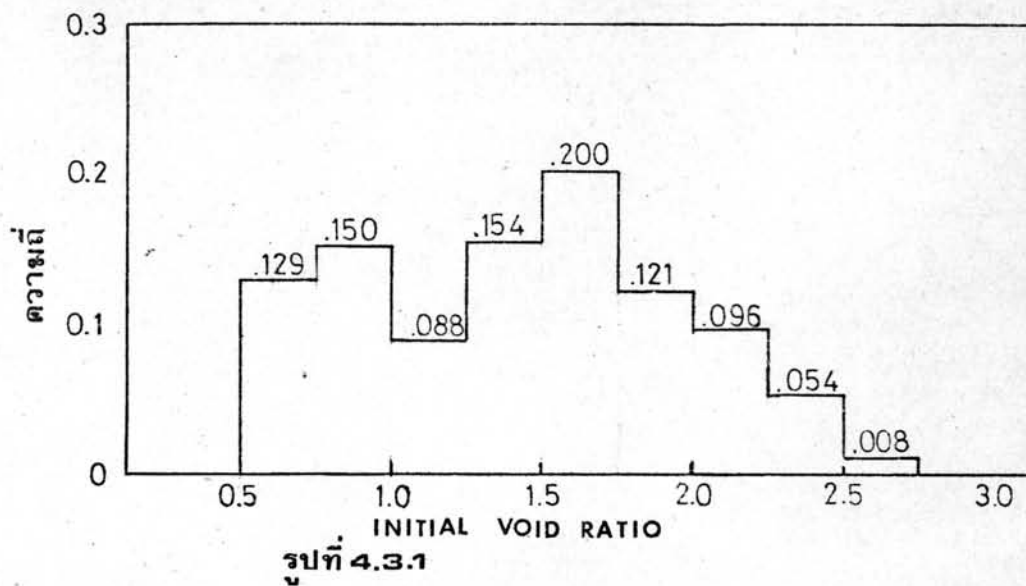


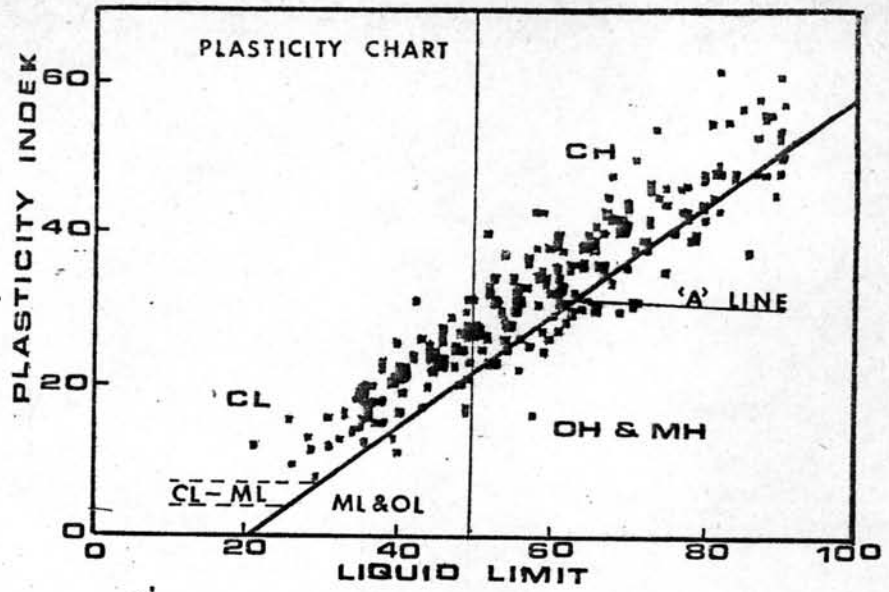




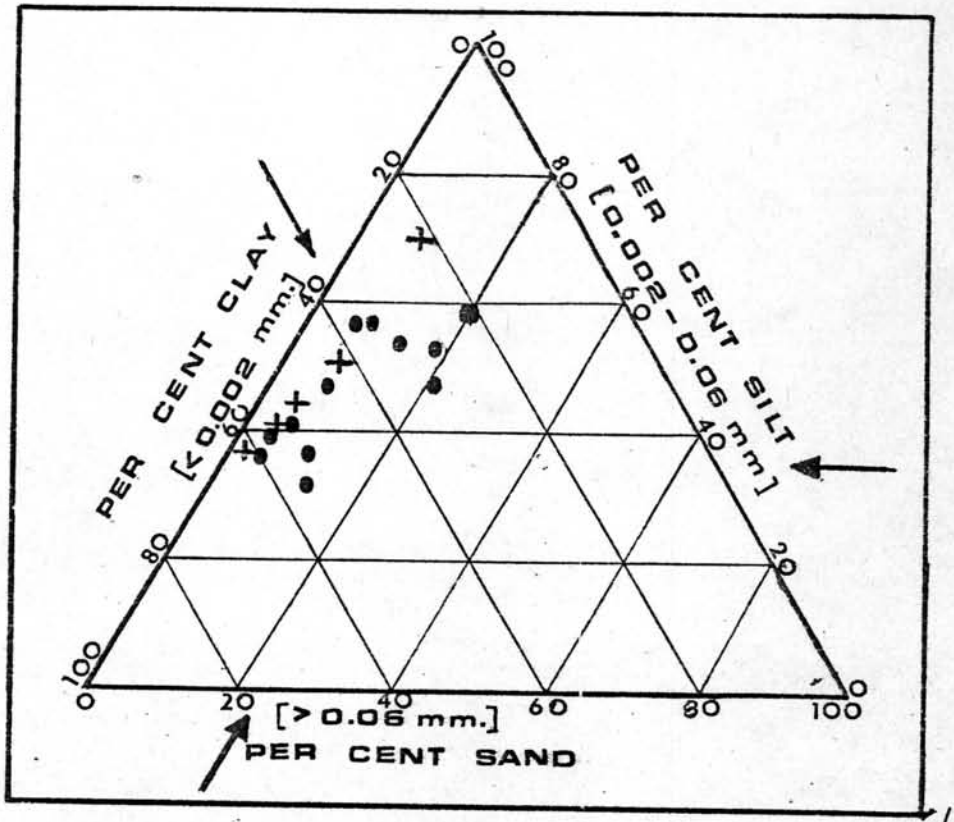


รูปที่ 4.2 แสดง ฮิสโตแกรม ของ UNDRAIN SHEAR STRENGTH





รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของ PLASTICITY



รูปที่ 4.5 ลักษณะ TEXTURE

- ความลึก 0-20 เมตร
- + ความลึก 39-42 เมตร

ค่า SENSITIVITY จากการทดลอง UNCONFINED COMPRESSION มีค่าประมาณ 2-4 ดังรูปที่ 4.8 และจัดอยู่ในพวก MODERATELY SENSITIVE ค่า SENSITIVITY จากการทดลอง VANE SHEAR มีค่ามากกว่า 1-3 ดังรูปที่ 4.7 ในพื้นที่บางแห่งจะมีค่า SENSITIVITY ค่อนข้างสูง เช่นบริเวณถนนเลียบแม่น้ำเจ้าพระยา ค่า SENSITIVITY จากการทดลอง UNCONFINED COMPRESSION มีค่าประมาณ 2-11 (SENSITIVE - VERY SENSITIVE) และจาก VANE SHEAR มีค่าประมาณ 2-13

#### 4. สหสัมพันธ์และเส้นถดถอย

ตารางที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.3 แสดง ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็งตามลำดับ ตารางที่ 4.4 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทางด้าน MATRIX ของชั้นดินอ่อน อย่างไรก็ตามสมการเส้นถดถอยแบบธรรมดาเมื่อผ่านการทดสอบสมมติฐาน ปรากฏว่าส่วนมากให้ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ต่ำ ทำให้สมการที่ได้ขาดความเชื่อมั่นในการทำนาย คงมีเพียงความสัมพันธ์ของ  $c_o = f(e_o)$  และ  $e_o = f(w_n)$  ที่มีระดับนัยสำคัญทางสถิติมากกว่า 0.05

ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และเส้นถดถอยเชิงซ้อนในชั้นดินอ่อน ปรากฏว่า  $Suc = f(w_n, D)$  และ  $Suc = f(w_1, D)$  ให้การระดับนัยสำคัญทางสถิติมากกว่า 0.05 และค่า  $Suv = f(w_1, D)$  ให้การระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.2 ความสัมพันธ์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ในการหาความสัมพันธ์ของ  $Suc$  และ  $Suv$  นั้น พบว่าค่า  $Suc$  ไม่เพียงแต่จะมีความสัมพันธ์กับ  $Suv$  แต่เพียงอย่างเดียว แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับ  $w_n$ ,  $w_1$  และความลึก กล่าวคือ  $Suc = f(Suv, D)$  ให้การระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

$Suc = f(Suv, W_1)$  ให้นัยสำคัญที่ระดับ 0.10 และ  $Suc = f(Suv, W_n)$  ให้นัยสำคัญที่ระดับ 0.4 ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11.2 และผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ทางค่า MATRIX ของชั้นดินแข็ง ที่ความลึกประมาณ 14-25 เมตร สมการเส้นถดถอยแบบธรรมดาที่ผ่านการทดสอบสมมุติฐานและให้นัยสำคัญที่ระดับมากกว่า 0.05 มี  $c_0 = f(e_0)$  และ  $e_0 = f(W_n)$  ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และสมการเส้นถดถอยเชิงซ้อนนั้น ค่า  $Suc = f(W_n, W_1)$  ให้ความสัมพันธ์ทางสถิติมากกว่า 0.05 ความสัมพันธ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.24 ซึ่งจะได้นำมาพิจารณาอีกครั้งหนึ่งในหัวข้อที่ 5 ว่าด้วยสหสัมพันธ์และสมการเส้นถดถอยในปรูฟีกาลศาสตร์ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 4.1 สมการของเส้นถดถอยแบบธรรมดาของค่า INDEX PROPERTIES ที่แยกค่าสังเกตออกจากกันระหว่างชั้นดินอ่อน ที่ความลึกประมาณ 2-14 เมตร และชั้นดินแข็งที่ความลึกประมาณ 14-25 เมตร ได้ให้นัยสำคัญและสหสัมพันธ์ที่ต่ำ แม้ว่าค่าสังเกตจะถูกเพิ่มเข้าไปอีกสหสัมพันธ์กลับลดต่ำลง ทั้งนี้เพราะข้อมูลมีลักษณะเป็นกระจุกตามรูปที่ 2.2 เนื่องจากค่าสังเกตอยู่ในช่วงพิสัยที่จำกัด อันเป็นผลทำให้การกระจายความน่าจะเป็นตามหัวข้อที่ 4.3 ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลให้ค่าของ  $\chi^2$  มีค่าเข้าใกล้  $\chi^2$  ทำให้ค่า  $R^2$  จากสมการ (10.2) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ในกรณีเช่นนี้จึงได้กระจายค่าสังเกตลงไปถึงชั้นดินแข็ง ทำให้ค่า INDEX PROPERTIES ที่สัมพันธ์กับความลึกมีสหสัมพันธ์และระดับนัยสำคัญทางสถิติที่สูง ในทำนองเดียวกันค่า SHEAR STRENGTH ก็ประสบปัญหาเช่นเดียวกันคือค่า  $R^2$  ลดต่ำลงเมื่อเพิ่มค่าสังเกต ในขณะที่เกี่ยวกับการทดสอบสมมุติฐานก็ให้ค่าระดับนัยสำคัญที่สูง ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์กับความลึกและความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์กับพารามิเตอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และได้แสดงความสัมพันธ์เป็นรูปจากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.11.1 และรูปที่ 4.12 ถึงรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของการทดลองที่ได้จาก UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL และ DIRECT SHEAR กับความลึก ในที่นี้ไม่ได้หา สหสัมพันธ์และเส้นถดถอยเนื่องจากข้อมูลที่น้อย เช่นเดียวกับรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบ CONSOLIDATION กับความลึกซึ่งไม่ได้แสดงสหสัมพันธ์ และเส้นถดถอยไว้ ทั้งนี้เพราะประสบปัญหาเช่นเดียวกับ INDEX PROPERTIES อย่างไรก็ตามตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญ ๆ เช่น INITIAL VOID RATIO, COMPRESSION INDEX และ COMPRESSION RATIO กลับมีความสัมพันธ์กับ INDEX PROPERTIES ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากสมการตามตาราง ที่ 4.6 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 มีข้อที่น่าสนใจเกี่ยวกับสมการที่ 20 สมการ ที่แท้จริงคือ

$$C_c = .01 W_L - .005$$

การทดสอบสมมุติฐานของค่า  $b$  (.01) ให้การระดับนัยสำคัญที่สูง แต่ การทดสอบสมมุติฐานของค่า  $a$  (-.005) กลับให้การระดับนัยสำคัญที่ต่ำ แต่จากข้อเท็จจริงแล้วค่า  $a$  ซึ่งเท่ากับ .005 มีผลกระทบกระเทือนต่อสมการน้อยมาก และถือว่ามีความเข้าใจคลาดเคลื่อน นั่นคือสมการเส้นถดถอยนี้จะผ่านจุด ORIGIN และสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$C_c = .01 W_L$$

การหาความสัมพันธ์ของ STANDARD PENETRATION TEST กับความลึกนั้น ได้ให้ผลที่ไม่มีมีความสัมพันธ์ต่อกัน เนื่องจากลักษณะของชั้นดินแข็งในที่หลายแห่งมีทราย และกรวดผสมคละกันอยู่ก่อนจะถึงชั้นทราย



ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความลึก  
ประมาณ 2 - 14 เมตร

| พารามิเตอร์                                  | ค่าเฉลี่ย | ความเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
|--|-----------|--------------------------|
| NATURAL WATER CONTENT ( $W_n$ )%             | 61.06     | 11.532                   |
| LIQUID LIMIT ( $W_L$ )%                      | 63.47     | 12.821                   |
| INITIAL VOID RATIO ( $e_o$ )                 | 1.734     | .325                     |
| LIQUIDITY INDEX (LI)                         | 1.172     | .584                     |
| SPECIFIC GRAVITY (G)                         | 2.66      | .035                     |
| UNCONFINED COMPRESSION TEST $k_{sc}(S_{uc})$ | .313      | .198                     |
| SENSITIVITY (UNCONFINED) (S <sub>uc</sub> )  | 2.604     | 1.867                    |
| FIELD VANE SHEAR $k_{sc}(S_{uv})$            | .272      | .155                     |
| SENSITIVITY (VANE SHEAR) (S <sub>uv</sub> )  | 2.585     | 1.666                    |
| COMPRESSION INDEX ( $C_c$ )                  | .805      | .304                     |
| COMPRESSION RATIO ( $C_r$ )                  | .291      | .091                     |

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ความลึก  
ประมาณ 14 - 25 เมตร

| พารามิเตอร์                              | ค่าเฉลี่ย | ความเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน |
|--|-----------|--------------------------|
| NATURAL WATER CONTENT ( $w_n$ )%         | 31.80     | 12.10                    |
| LIQUID LIMIT ( $w_L$ )%                  | 49.09     | 15.10                    |
| INITIAL VOID RATIO ( $e_0$ )             | .896      | .322                     |
| SPECIFIC GRAVITY (G)                     | 2.67      | 2.807                    |
| UNCONFINED COMPRESSION TEST<br>ksc (Suc) | 1.567     | .915                     |
| COMPRESSION INDEX ( $c_c$ )              | .304      | .215                     |
| COMPRESSION RATIO ( $c_r$ )              | .151      | .078                     |

ตารางที่ 4.4 แสดง MATRIX CORRELATION COEFFICIENTS ของชั้นดินอ่อนที่ความลึกประมาณ 2-14 เมตร

|             | $C_c$   | $e_o$   | $W_n \%$ | $W_L \%$ | $C_r$   | $D_m$   | G       | $Suv_{ksc}$ | $SuV$   | $Suc_{ksc}$ | $Su\bar{c}$ | LI      |
|-------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|-------------|---------|-------------|-------------|---------|
| $C_c$       | 1.0000  | 0.6725  | 0.4991   | 0.3196   | 0.9291  | -0.0575 | 0.0042  | -0.0774     | 0.1793  | -0.0540     | 0.1900      | 0.0483  |
| $e_o$       | 0.6725  | 1.0000  | 0.7075   | 0.3698   | 0.4610  | -0.1474 | 0.1401  | -0.1215     | 0.2622  | -0.1922     | 0.2919      | 0.1554  |
| $W_n \%$    | 0.4991  | 0.7075  | 1.0000   | 0.5827   | 0.3371  | -0.1748 | -0.0186 | -0.1069     | 0.1539  | -0.3124     | 0.1820      | 0.2145  |
| $W_L \%$    | 0.3196  | 0.3698  | 0.5827   | 1.0000   | 0.2498  | 0.0281  | -0.3707 | -0.1018     | -0.1080 | -0.2407     | -0.2205     | -0.5514 |
| $C_r$       | 0.9291  | 0.4610  | 0.3371   | 0.2498   | 1.0000  | 0.0360  | -0.0388 | -0.0229     | 0.0882  | 0.0332      | 0.0925      | -0.0028 |
| $D_m$       | -0.0575 | -0.1474 | -0.1748  | 0.0281   | 0.0360  | 1.0000  | -0.0034 | 0.6705      | -0.1637 | 0.5034      | -0.0647     | -0.2049 |
| G           | 0.0042  | 0.1401  | -0.0186  | -0.3707  | -0.0388 | -0.0034 | 1.0000  | 0.1823      | 0.3634  | 0.2013      | 0.3857      | 0.3088  |
| $Suv_{ksc}$ | -0.0774 | -0.1215 | -0.1069  | -0.1018  | -0.0229 | 0.6705  | 0.1823  | 1.0000      | 0.0113  | 0.4403      | 0.1772      | -0.0377 |
| $SuV$       | 0.1793  | 0.2622  | 0.1539   | -0.1080  | 0.0882  | -0.1637 | 0.3634  | 0.0113      | 1.0000  | -0.0063     | 0.5264      | 0.1209  |
| $Suc$       | -0.0540 | -0.1922 | -0.3124  | -0.2407  | 0.0332  | 0.5034  | 0.2013  | 0.4403      | -0.0063 | 1.0000      | 0.2021      | -0.0253 |
| $Su\bar{c}$ | 0.1900  | 0.2919  | 0.1820   | -0.2205  | 0.0925  | -0.0647 | 0.3857  | 0.1772      | 0.5264  | 0.2021      | 1.0000      | 0.3045  |
| LI          | 0.0483  | 0.1554  | 0.2145   | -0.5514  | -0.0028 | -0.2049 | 0.3088  | -0.0377     | 0.1209  | -0.0253     | 0.3045      | 1.0000  |

ตารางที่ 4.5 แสดง MATRIX CORRELATION COEFFICIENT ของชั้นดินแข็งที่ความลึกประมาณ 14-25 เมตร

|                    | $C_c$  | $e_o$  | $W_n \%$ | $W_L \%$ | $C_r$  | D(m)   | G      | Suc <sub>ksc</sub> |
|--------------------|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------------------|
| $C_c$              | 1.0000 | .8423  | .7904    | .5467    | .9645  | -.2102 | -.1367 | -.3149             |
| $e_o$              | .8423  | 1.0000 | .8324    | .4780    | .7048  | -.3328 | -.0538 | -.3890             |
| $W_n \%$           | .7904  | .8324  | 1.0000   | .4714    | .6817  | -.3776 | -.2154 | -.5580             |
| $W_L \%$           | .5467  | .4780  | .4714    | 1.0000   | .5592  | -.2201 | .0479  | -.0674             |
| $C_r$              | .9645  | .7048  | .6816    | .5592    | 1.0000 | -.1352 | -.1287 | -.2469             |
| D(m)               | -.2102 | -.3328 | -.3776   | -.2201   | -.1351 | 1.0000 | -.0992 | .5682              |
| G                  | -.1367 | -.0538 | -.2154   | .0479    | -.1287 | -.0992 | 1.0000 | .2055              |
| Suc <sub>ksc</sub> | -.3149 | -.3890 | -.5580   | .0674    | -.2469 | .5682  | .2055  | 1.0000             |



ตารางที่ 4.6 สมการเส้นดัดของแบบขรรค์คาน

| No | สมการ                     | ความ<br>ลึก | SEE  | R     | STD. ERR. |                | T-STAT |                | N   | SIG.<br>LEV. |
|----|---------------------------|-------------|------|-------|-----------|----------------|--------|----------------|-----|--------------|
|    |                           | เมตร        |      |       | a         | b <sub>1</sub> | a      | b <sub>1</sub> |     |              |
| 1  | $W_n = 74.2 - 2.1D$       | 2-30        | 13.9 | -.751 | 1.845     | .112           | 40.20  | 18.80          | 264 | .001         |
| 2  | $W_1 = 72.7 - 1.50D$      | 2-30        | 14.5 | -.563 | 2.090     | .145           | 34.80  | 10.40          | 228 | .001         |
| 3  | $W_p = 30.6 - 0.5D$       | 2-30        | 5.5  | -.514 | .788      | .055           | 38.80  | 9.20           | 228 | .001         |
| 4  | $\gamma_d = .831 + .032D$ | 2-30        | .2   | .772  | .026      | .005           | 32.00  | 6.40           | 264 | .001         |
| 5  | $W_1 = .530 (W_n + 60)$   | 2-30        | 13.3 | .614  | 2.430     | .044           | 13.04  | 12.03          | 240 | .001         |
| 6  | $e_o = .023 (W_n + 10)$   | 2-30        | .27  | .863  | .049      | .001           | 4.78   | 26.34          | 240 | .001         |
| 7  | $P_o = .288 + .065D$      | 2-14        | .04  | .985  | .015      | .002           | 14.92  | 32.90          | 36  | .001         |
| 8  | $P_o = -.182 + .095D$     | 14-25       | .07  | .991  | .047      | .002           | 3.85   | 42.50          | 36  | .001         |
| 9  | $Suc = .073 + .019D$      | 3-14        | .14  | .394  | .038      | .004           | 1.91   | 4.37           | 108 | .100         |
| 10 | $Suc = .033 + .012D$      | 3-14        | .17  | .328  | .029      | .003           | 1.14   | 4.00           | 108 | .400         |
| 11 | $Suv = .188 + .060D$      | 3-14        | .17  | .733  | .056      | .059           | 3.34   | 10.12          | 90  | .005         |
| 12 | $Suv = -.148 + .038D$     | 3-14        | .12  | .717  | .038      | .040           | 3.89   | .97            | 90  | .400         |
| 13 | $Suc = -1.279 + .159D$    | 14-25       | .53  | .661  | .345      | .019           | 2.31   | 8.26           | 90  | .025         |

|    | สมการ                          | ความ<br>ลึกเมตร | SEE | R    | STD.ERR. |                | T-STAT |                | N   | SIG.<br>LEV. |
|----|--------------------------------|-----------------|-----|------|----------|----------------|--------|----------------|-----|--------------|
|    |                                |                 |     |      | a        | b <sub>1</sub> | a      | b <sub>1</sub> |     |              |
| 14 | $\dot{S}uc = .798 + .104D$     | 14-25           | .48 | .536 | .098     | .017           | 8.16   | 5.97           | 90  | .001         |
| 15 | $Suc = .133 + .127 \dot{S}uc$  | 3-25            | .29 | .935 | .028     | .004           | 4.78   | 36.80          | 198 | .001         |
| 16 | $\dot{S}uv = -.013 + .602 Suv$ | 3-14            | .07 | .917 | .012     | .028           | 1.07   | 21.50          | 90  | .400         |
| 17 | $Suc = .170 + .780 Suv$        | 3-14            | .25 | .500 | .056     | .178           | 4.41   | 4.39           | 60  | .001         |
| 18 | $C_c = .514 (e_o - .31)$       | 2-30            | .19 | .823 | .035     | .008           | 4.54   | 64.25          | 240 | .001         |
| 19 | $C_c = .013(W_n - 7)$          | 2-30            | .21 | .768 | .039     | .001           | 2.33   | 18.57          | 240 | .025         |
| 20 | $C_c = .01 W_1$                | 2-30            | .28 | .505 | .067     | .001           | -      | -              | -   | -            |
| 21 | $C_r = .129 (e_o + .306)$      | 2-30            | .07 | .695 | .013     | .009           | 2.99   | 14.93          | 240 | .010         |
| 22 | $C_r = .0034 (W_n + 15)$       | 2-30            | .07 | .671 | .013     | .0002          | 3.86   | 13.96          | 240 | .001         |
| 23 | $C_r = .0026 (W_1 + 26.5)$     | 2-30            | .09 | .452 | .021     | .0003          | 3.38   | 7.81           | 240 | .001         |

SEE = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการคำนวณ (Standard Error of Estimate)

R = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation)

STD.ERR. = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)

T-STAT = สถิติ t (t-Statistic)

N = จำนวนค่าสังเกต

SIG.LEV. = ระดับนัยสำคัญ (Significant Level)

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

49

| NO |     | DF  | SS     | MS     | F    |
|----|-----|-----|--------|--------|------|
| 1  | RGR | 1   | 65797  | 65797  | 339  |
|    | RSD | 262 | 50800  | 194    |      |
| 2  | RGR | 1   | 22066  | 22066  | 105  |
|    | RSD | 226 | 47574  | 210    |      |
| 3  | RGR | 1   | 2427   | 2427   | 226  |
|    | RSD | 226 | 6760   | 11     |      |
| 4  | RGR | 1   | 15     | 15     | 375  |
|    | RSD | 262 | 10     | .04    |      |
| 5  | RGR | 1   | 25333  | 25333  | 144  |
|    | RSD | 238 | 41900  | 176    |      |
| 6  | RGR | 1   | 49.17  | 49.17  | 694  |
|    | RSD | 238 | 18.86  | .07    |      |
| 7  | RGR | 1   | 1.779  | 1.779  | 1089 |
|    | RSD | 34  | .055   | .0016  |      |
| 8  | RGR | 1   | 7.769  | 7.769  | 1839 |
|    | RSD | 34  | .144   | .0042  |      |
| 9  | RGR | 1   | .385   | .385   | 19   |
|    | RSD | 106 | 2.102  | .019   |      |
| 10 | RGR | 1   | 14.62  | 14.62  | 13   |
|    | RSD | 106 | 121.13 | 1.142  |      |
| 11 | RGR | 1   | 305.26 | 305.26 | 102  |
|    | RSD | 88  | 262.46 | 2.98   |      |

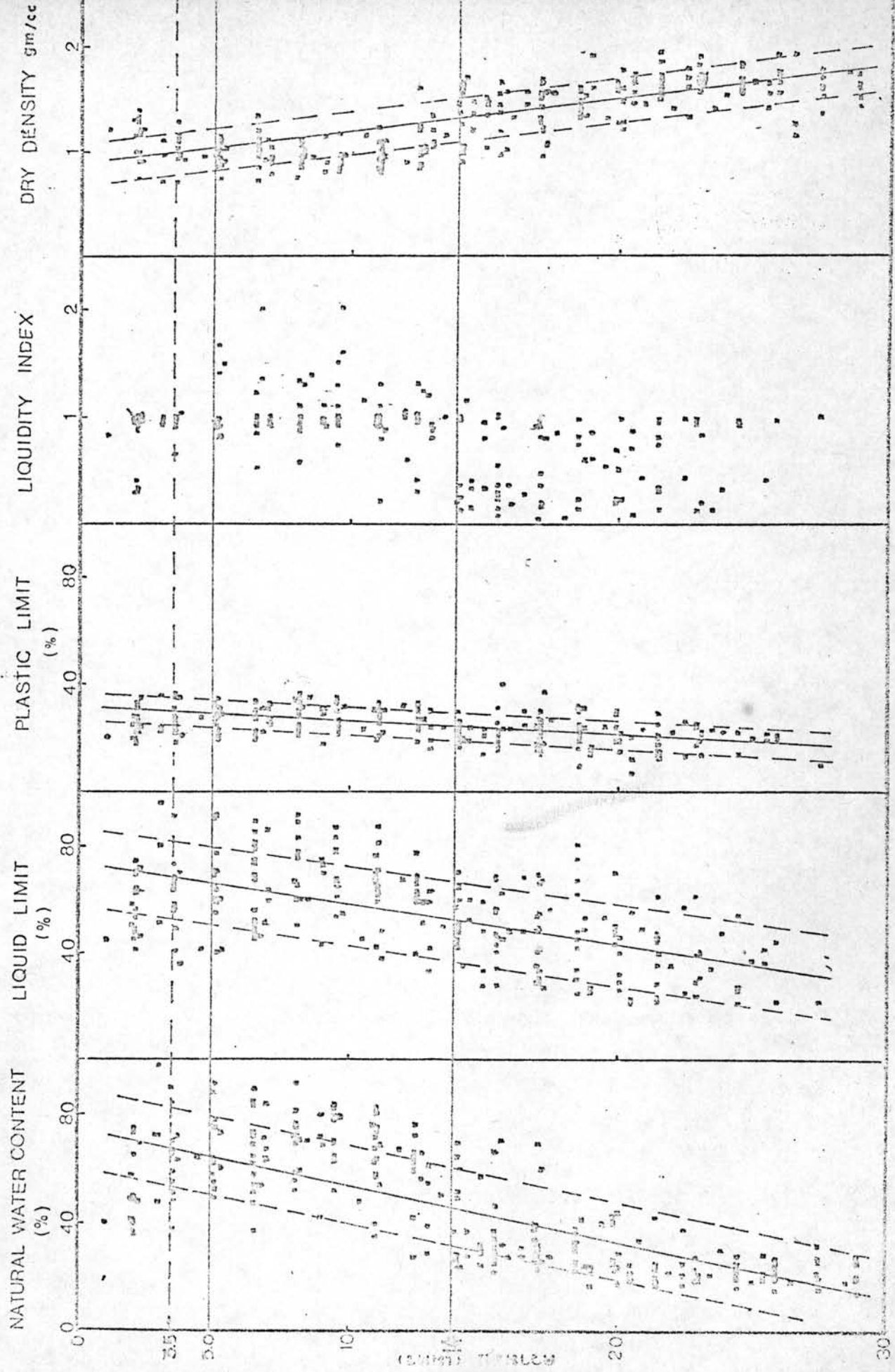
| NO |     | DF  | SS     | MS     | F   |
|----|-----|-----|--------|--------|-----|
| 12 | RGR | 1   | 126    | 126    | 93  |
|    | RSD | 88  | 119    | 1.35   |     |
| 13 | RGR | 1   | 19     | 19     | 68  |
|    | RSD | 88  | 24.6   | .279   |     |
| 14 | RGR | 1   | 8.122  | 8.122  | 36  |
|    | RSD | 88  | 20.000 | .227   |     |
| 15 | RGR | 1   | 1.134  | 1.134  | 14  |
|    | RSD | 196 | 16.410 | .084   |     |
| 16 | RGR | 1   | 2.059  | 2.059  | 462 |
|    | RSD | 88  | .392   | .005   |     |
| 17 | RGR | 1   | 1.187  | 1.187  | 19  |
|    | RSD | 58  | 3.565  | .061   |     |
| 18 | RGR | 1   | 17.430 | 17.430 | 498 |
|    | RSD | 238 | 8.330  | .035   |     |
| 19 | RGR | 1   | 15.280 | 15.280 | 344 |
|    | RSD | 238 | 10.480 | .044   |     |
| 20 | RGR | 1   | 6.573  | 6.573  | 82  |
|    | RSD | 238 | 19.190 | .081   |     |
| 21 | RGR | 1   | 1.093  | 1.093  | 223 |
|    | RSD | 238 | 1.167  | .005   |     |
| 22 | RGR | 1   | 1.017  | 1.017  | 195 |
|    | RSD | 238 | 1.234  | .005   |     |
| 23 | RGR | 1   | .461   | .461   | 61  |
|    | RSD | 238 | 1.799  | .007   |     |

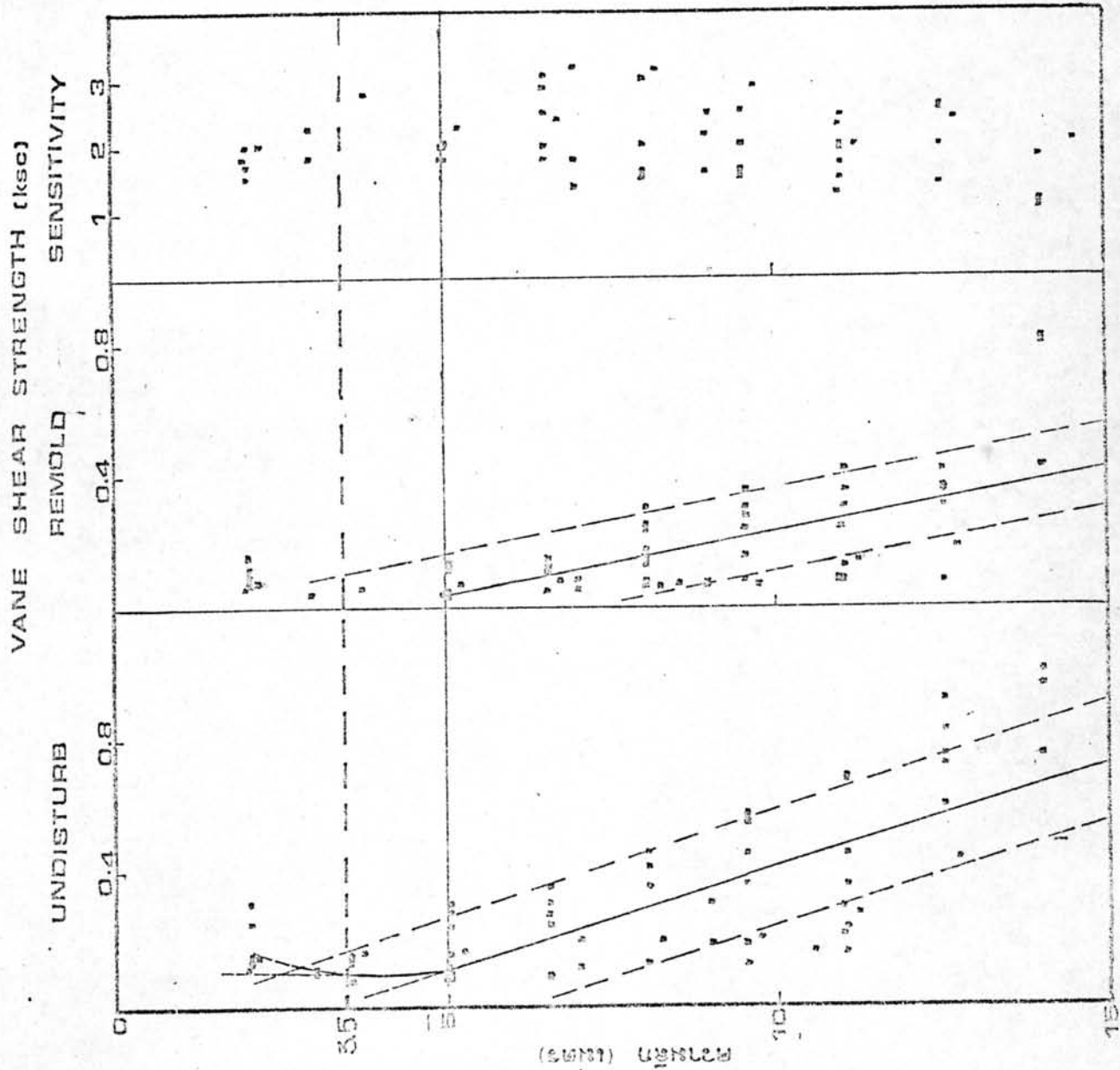
No. เป็นไปตามหมายเลขของตารางที่ 4.6

RGR หมายถึง ความแปรปรวนของ Regression

RSD หมายถึง ความแปรปรวนของ Residual







รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง UNDRAINED SHEAR STRENGTH

กับ SENSITIVITY

EFFECTIVE OVERBURDEN PRESSURE (ksc)      UNCONFINED UNDISTURBED      COMPRESSIVE REMOLD      STRENGTH (ksc)      SENSITIVITY

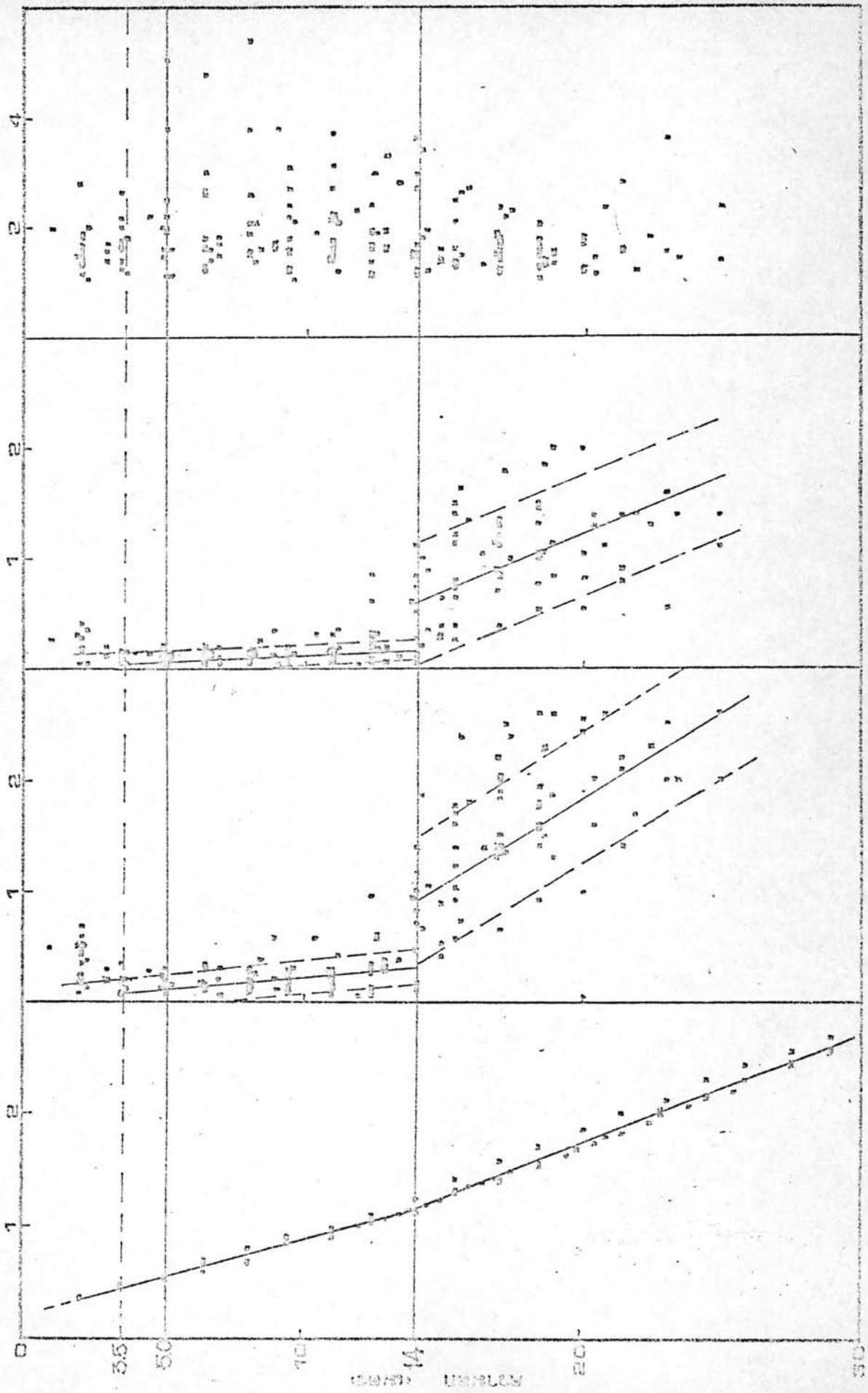
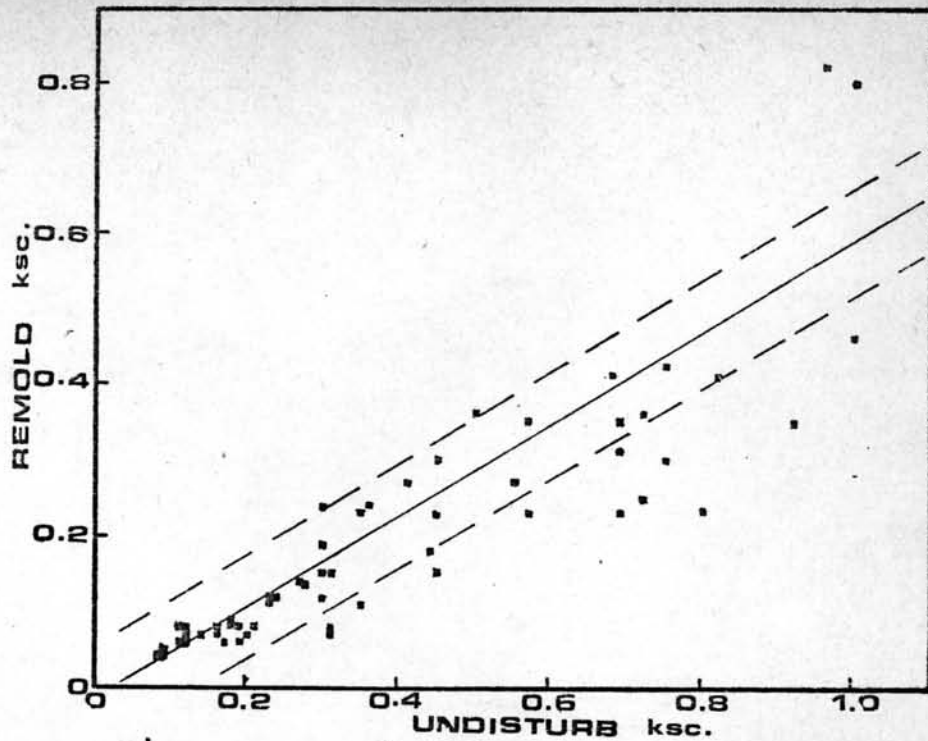
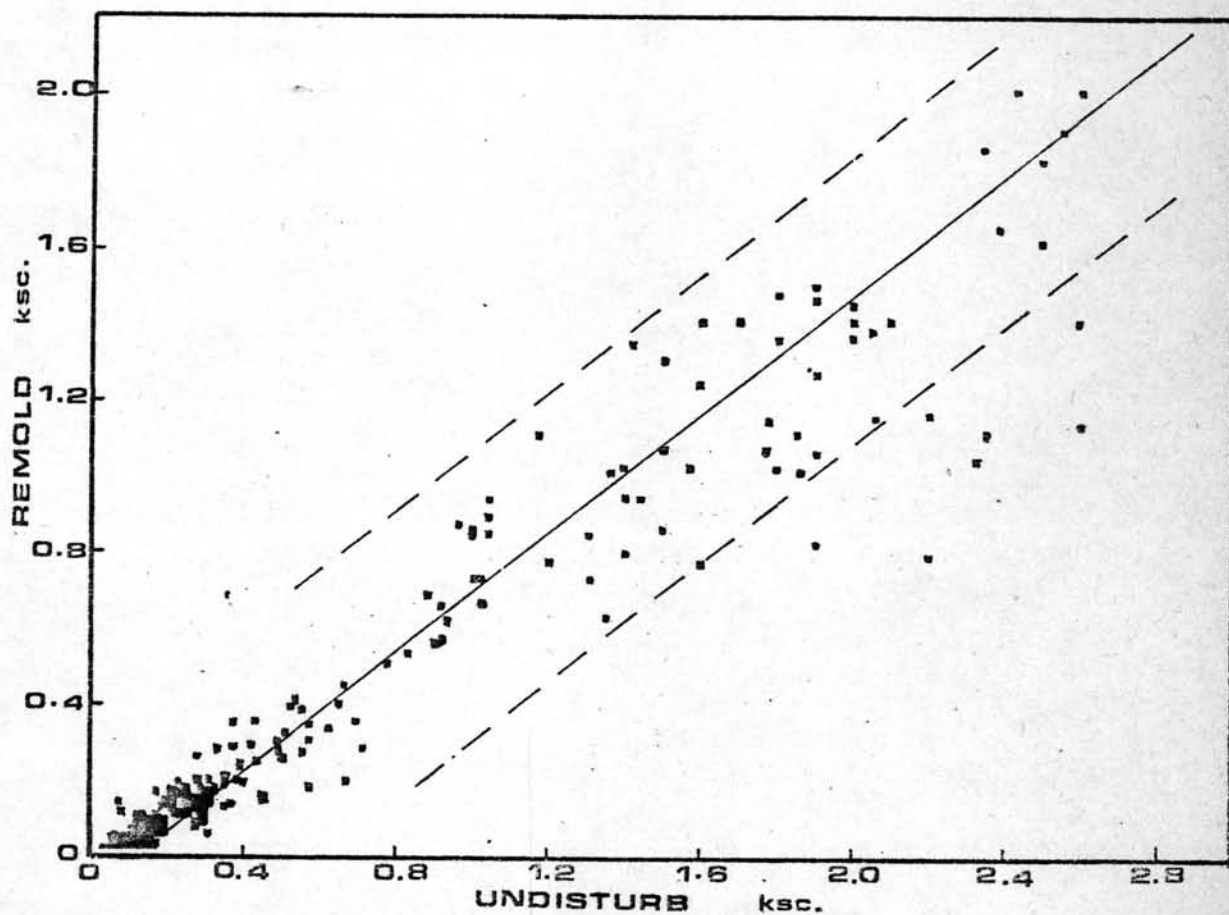


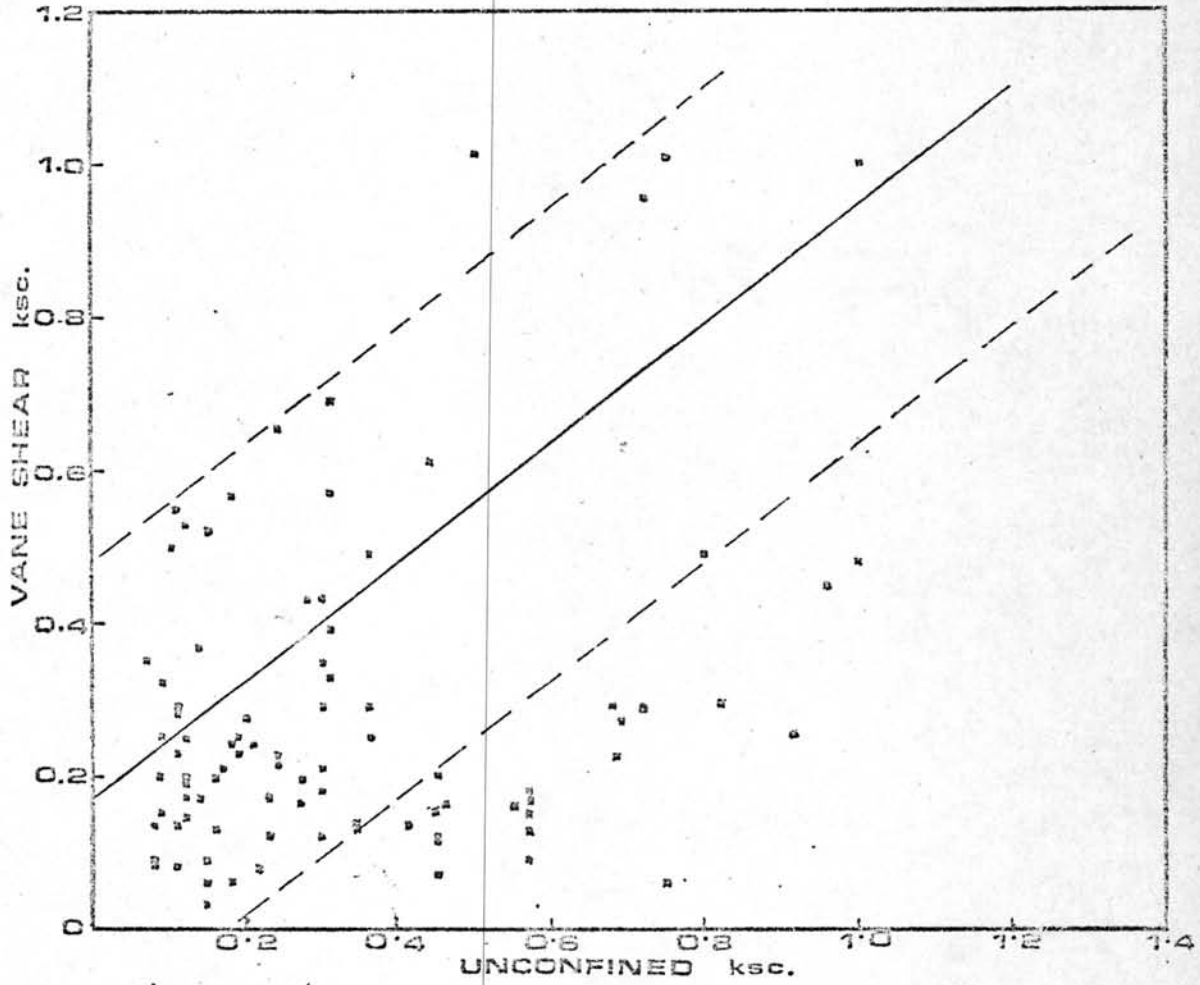
Figure 4.3 Relationship between Effective Overburden Pressure and Undrained Shear Strength



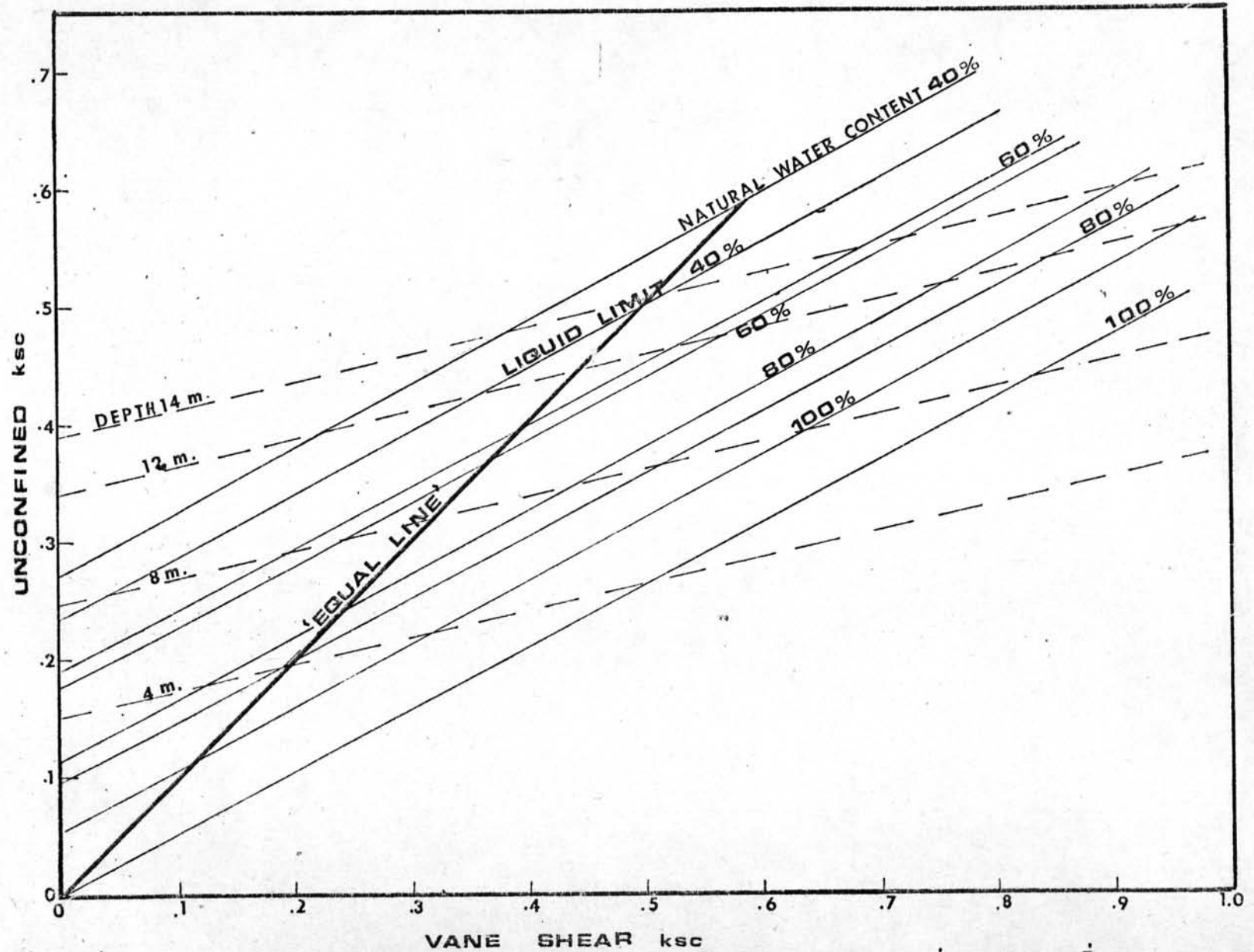
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของ VANE SHEAR ระหว่าง  
UNDISTURB กับ REMOLD



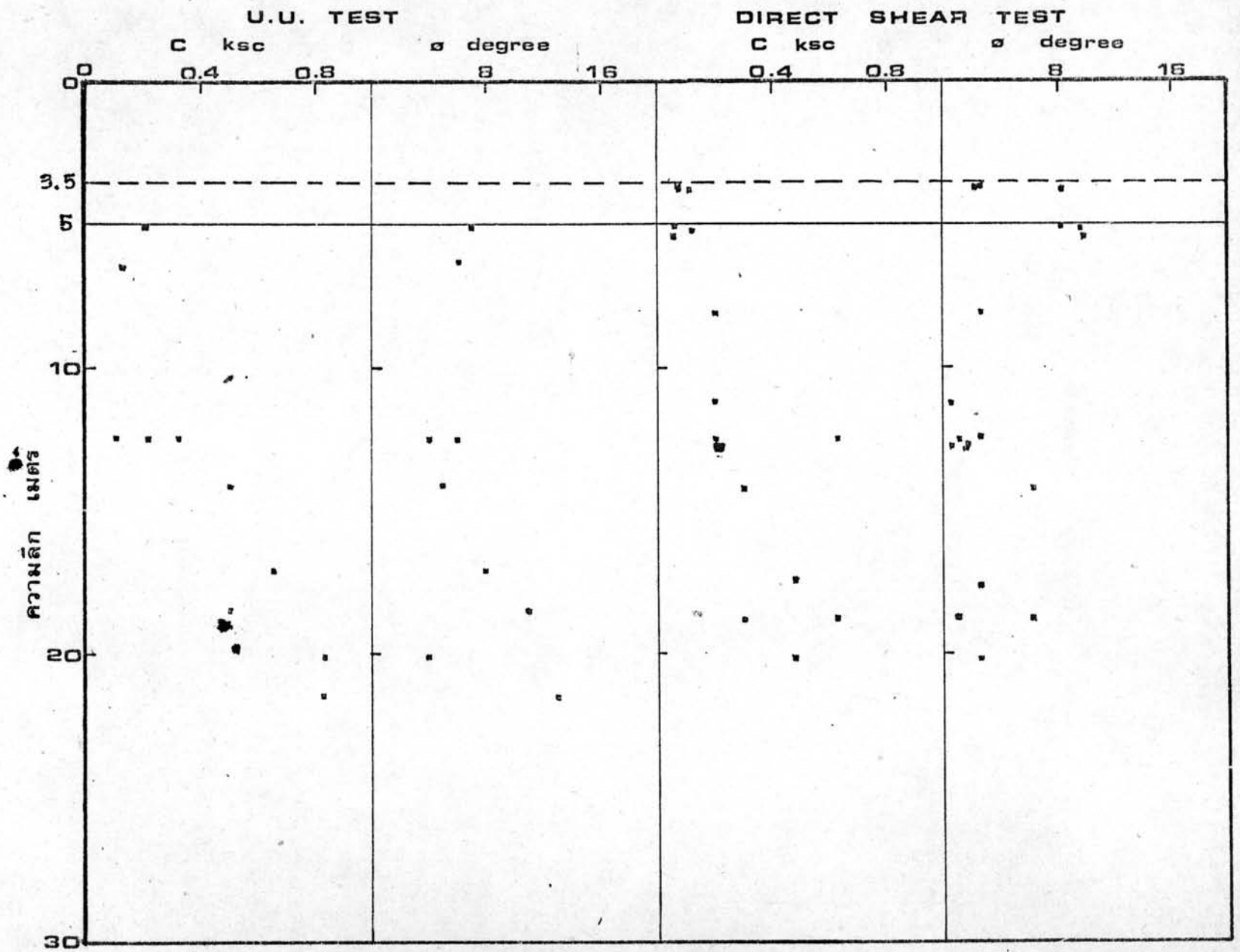
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของ UNCONFINED COMPRESSIVE  
STRENGTH ระหว่าง UNDISTURB กับ REMOLD



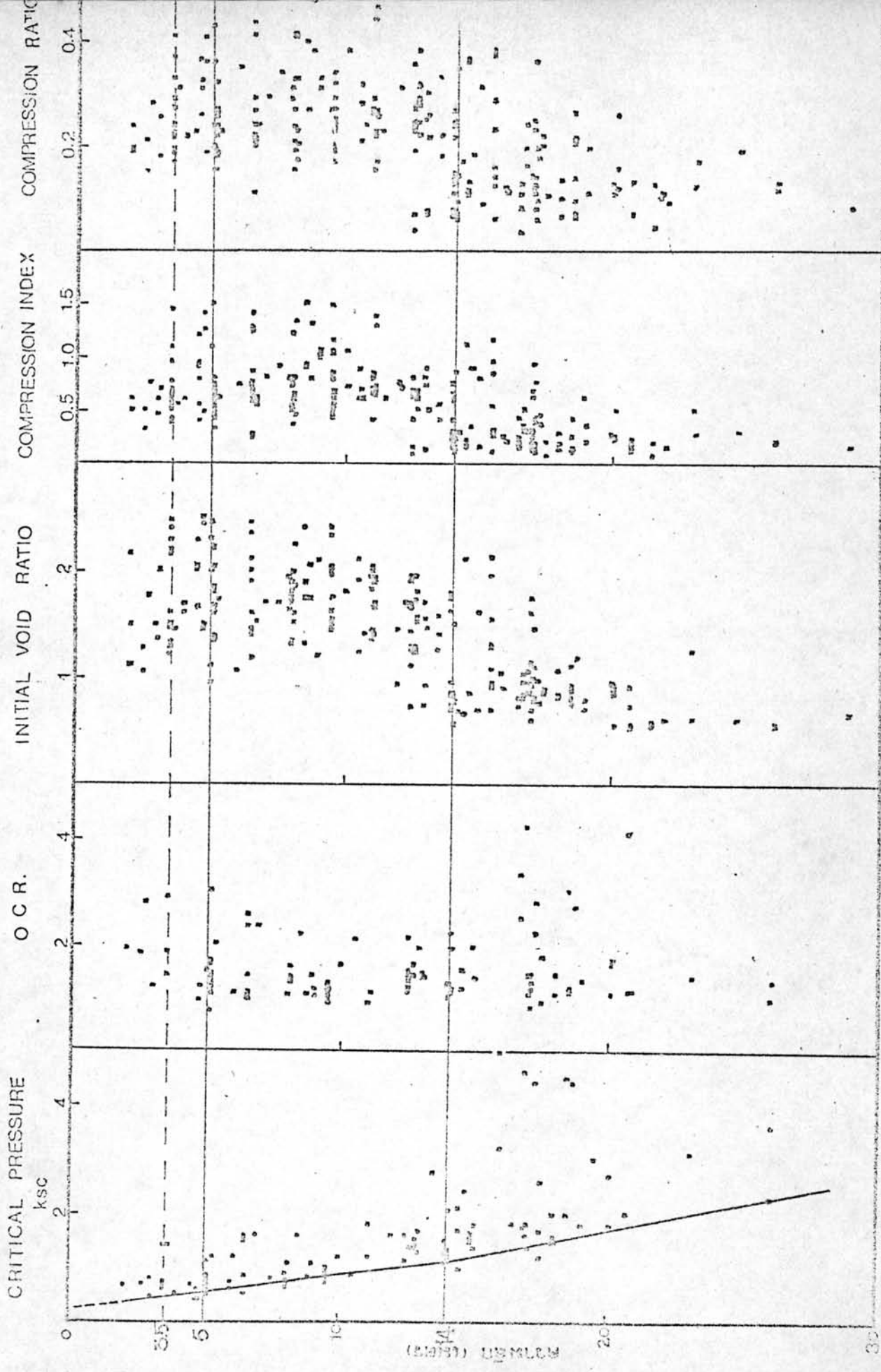
รูปที่ 4.11.1 แสดงความสัมพันธ์ของ UNDRAINED SHEAR STRENGTH



รูปที่ 4-11.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง UNCONFINED กับ VANE SHEAR ที่ความลึก และที่ WATER CONTENT ต่างๆ

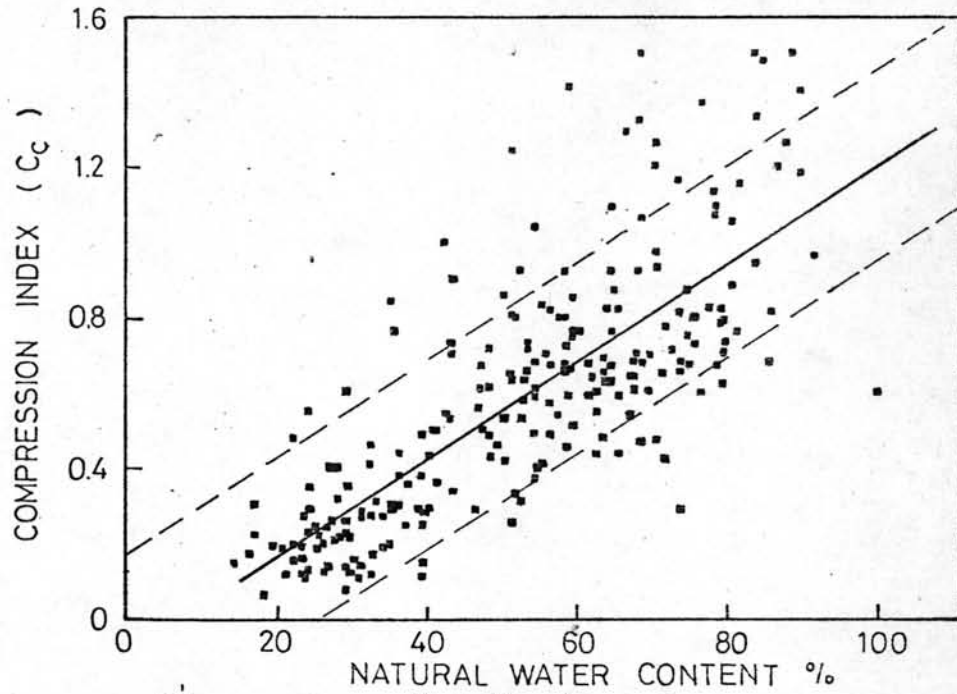


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของการทดลอง UNCONSOLIDATED UNDRAIN TRIAXIAL และ DIRECT SHEAR กับความลึก

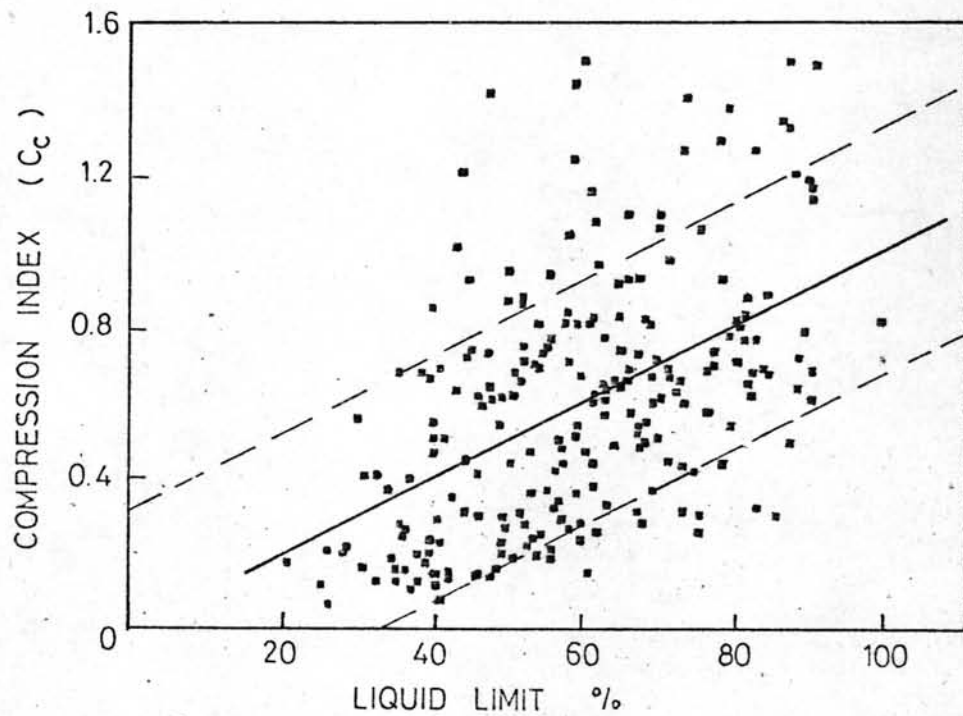


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CONSOLIDATION TEST กับความลึก

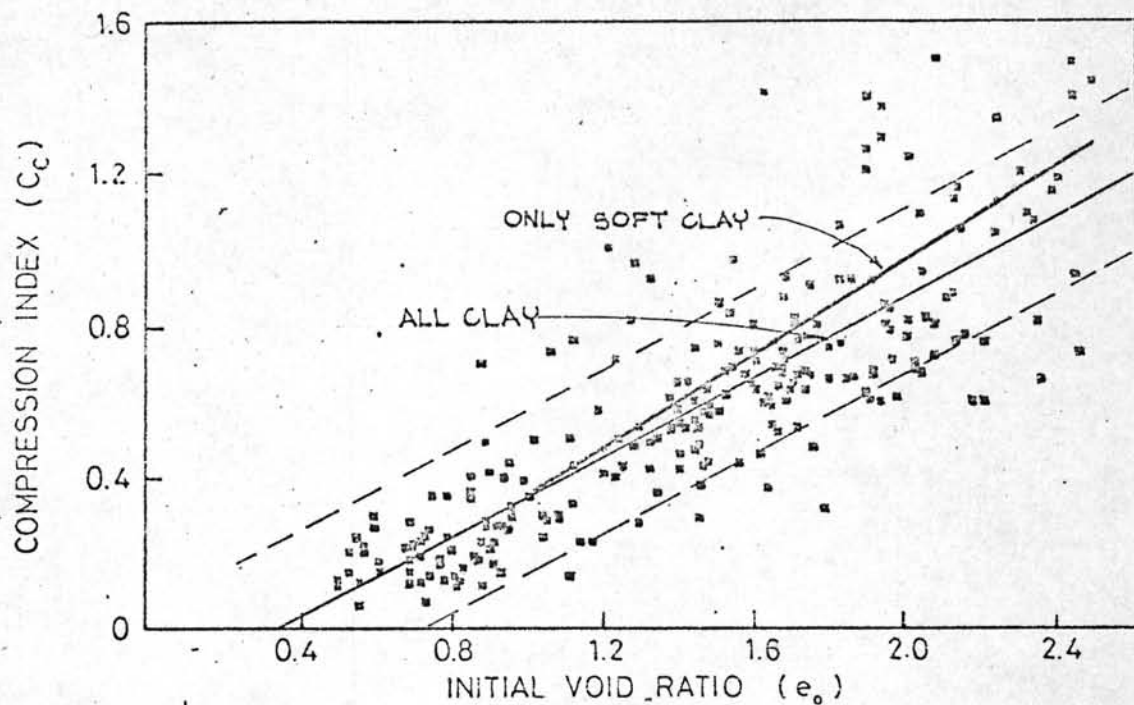




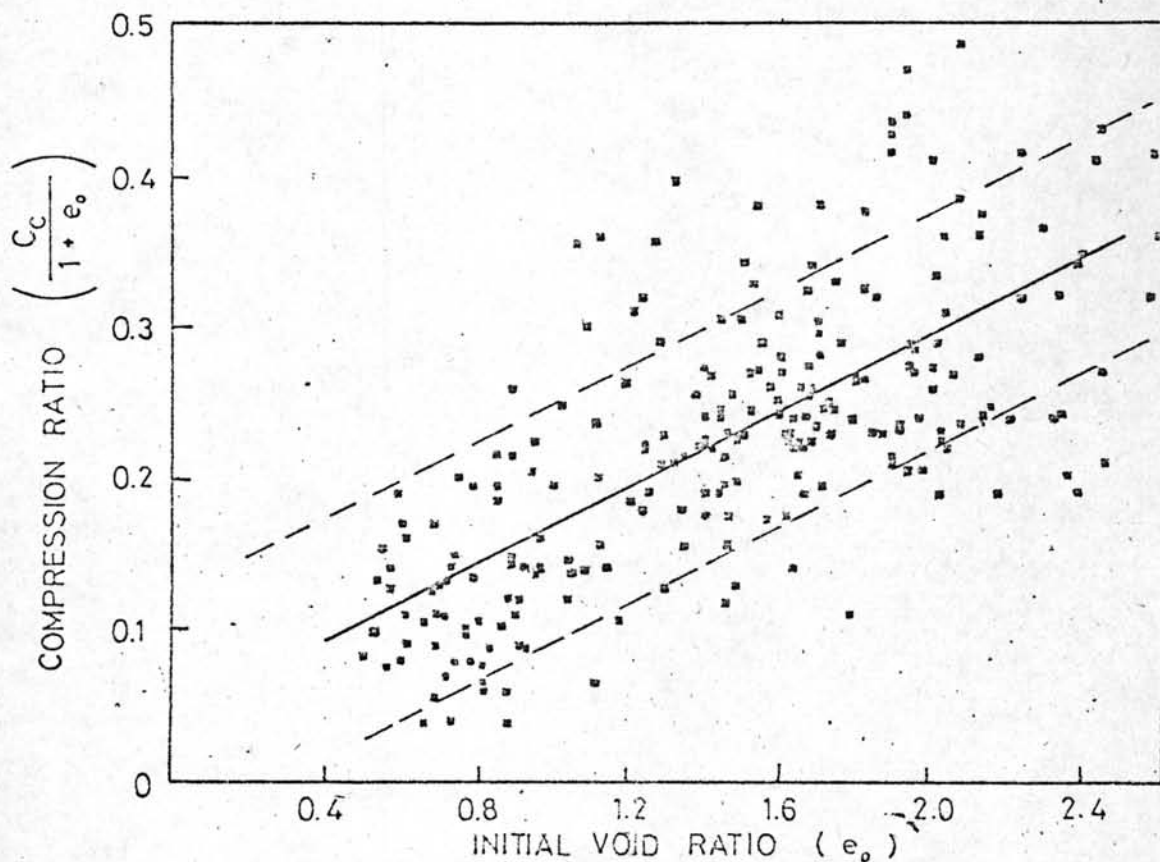
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NATURAL WATER CONTENT กับ COMPRESSION INDEX.



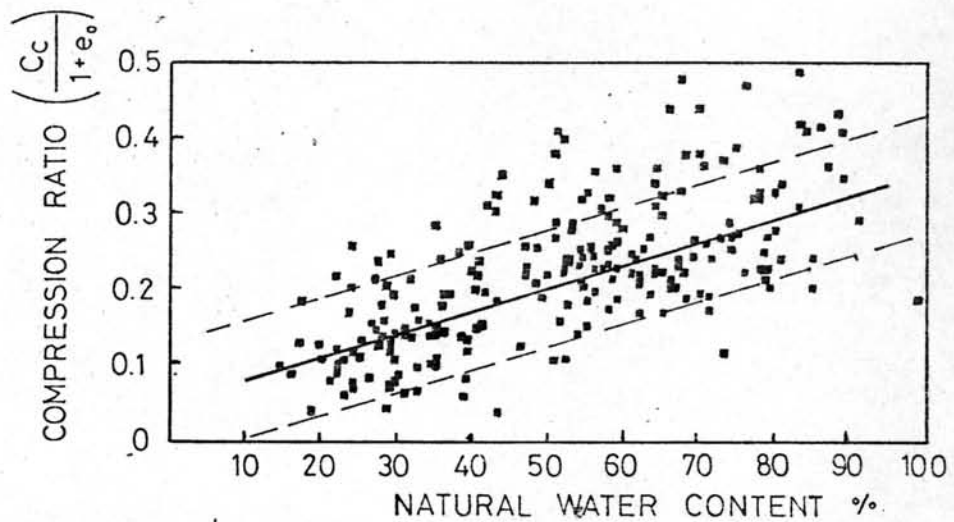
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LIQUID LIMIT กับ COMPRESSION INDEX.



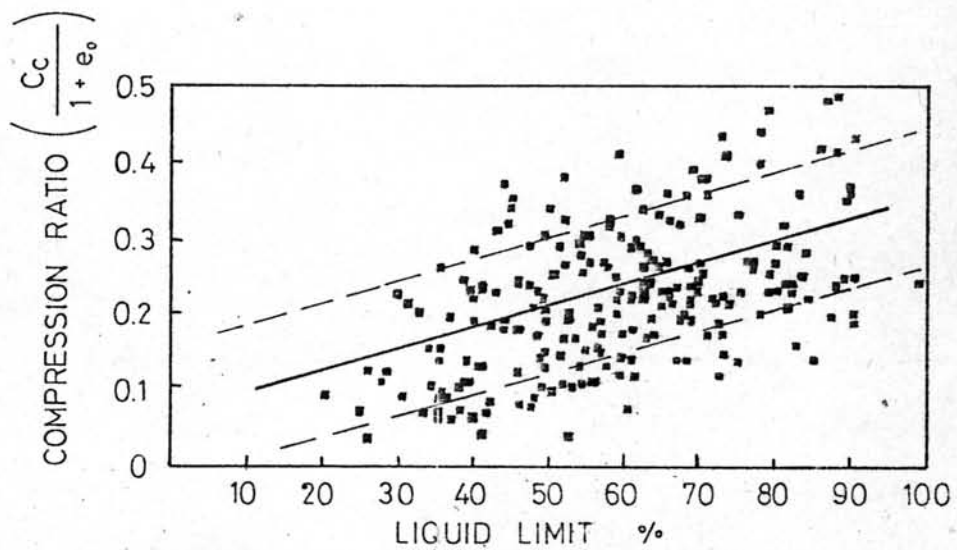
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง INITIAL VOID RATIO กับ COMPRESSION INDEX.



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง INITIAL VOID RATIO กับ COMPRESSION RATIO



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NATURAL WATER CONTENT COMPRESSION RATIO



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง LIQUID LIMIT กับ COMPRESSION RATIO



## 5. สหสัมพันธ์และสมการ เส้นตกอยู่ในประพิกศาสตร์

รูปที่ 4.20 แสดงผลการคาคะเนจากสมการ (9) ซึ่งแสดงค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH กับความลึกในชั้นดินอ่อนประมาณ 3.50-14.00 เมตร จากสมการ

$$Suc = .073 + .019D$$

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการคำนวณ (SEE) = 0.141 ksc  
เส้นขอบเขตชั้นสูง (+0.141) และเส้นขอบเขตชั้นต่ำ (-0.141) ได้แสดงเป็น  
เส้นประ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดสอบ UNCONFINED ของสายชนบุรี-  
ปากท่ออยู่ในขอบเขตชั้นต่ำคือ  $Suc = .073 + .019D - .141$  ถนนพหลโยธิน  
อยู่ในช่วงของสมการและขอบเขตชั้นต่ำประมาณ  $Suc = .073 + .019D - .141/2$   
สะพานสาทรท่านกรุงเทอยู่ในขอบเขตระหว่างสมการและขอบเขตชั้นสูงในช่วงคัน  
และลคลงมีแนวโน้เข้าหาและขนานไปกับสมการจนถึงความลึกประมาณ 12.00 เมตร  
ถนนวงแหวนมีแนวโน้ที่จะขนานไปกับเส้นขอบเขตชั้นสูงจนถึงความลึกประมาณ 7.50  
เมตร การเปลี่ยนแปลงของค่า UNCONFINED กับความลึกของสะพานสาทรท่าน  
ฝั่งชนบุรีกลับเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับสมการ อย่างไรก็ตามจากผลการ  
ทดลอง VANE SHEAR ตามรูปที่ 4.21 สะพานสาทรท่านชนบุรีมีค่า VANE SHEAR  
ใกล้เคียงกับการทดลองของสายกรุงเทพฯ-ศรีราชา สะพานสาทรท่านกรุงเทมีค่า  
VANE SHEAR ที่สูงในระยะแรกและลคลงตามความลึกเข้าหาขอบเขตชั้นต่ำของสมการ  
จนกระทั่งที่ความลึกประมาณ 10 เมตร มีแนวโน้ที่จะเพิ่มขึ้นตามความลึกในแนวที่ขนาน  
ไปกับขอบเขตชั้นต่ำตามสมการ การทดลอง VANE SHEAR ที่ถนนสุขุมวิทและพหลโยธิน  
อยู่ระหว่างขอบเขตชั้นสูงกับสมการ

การเปรียบเทียบในรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 นั้นได้แสดงให้เห็นถึงความ  
สำคัญของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการนำมาใช้ และอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y = a + bX \pm SEE/N$$

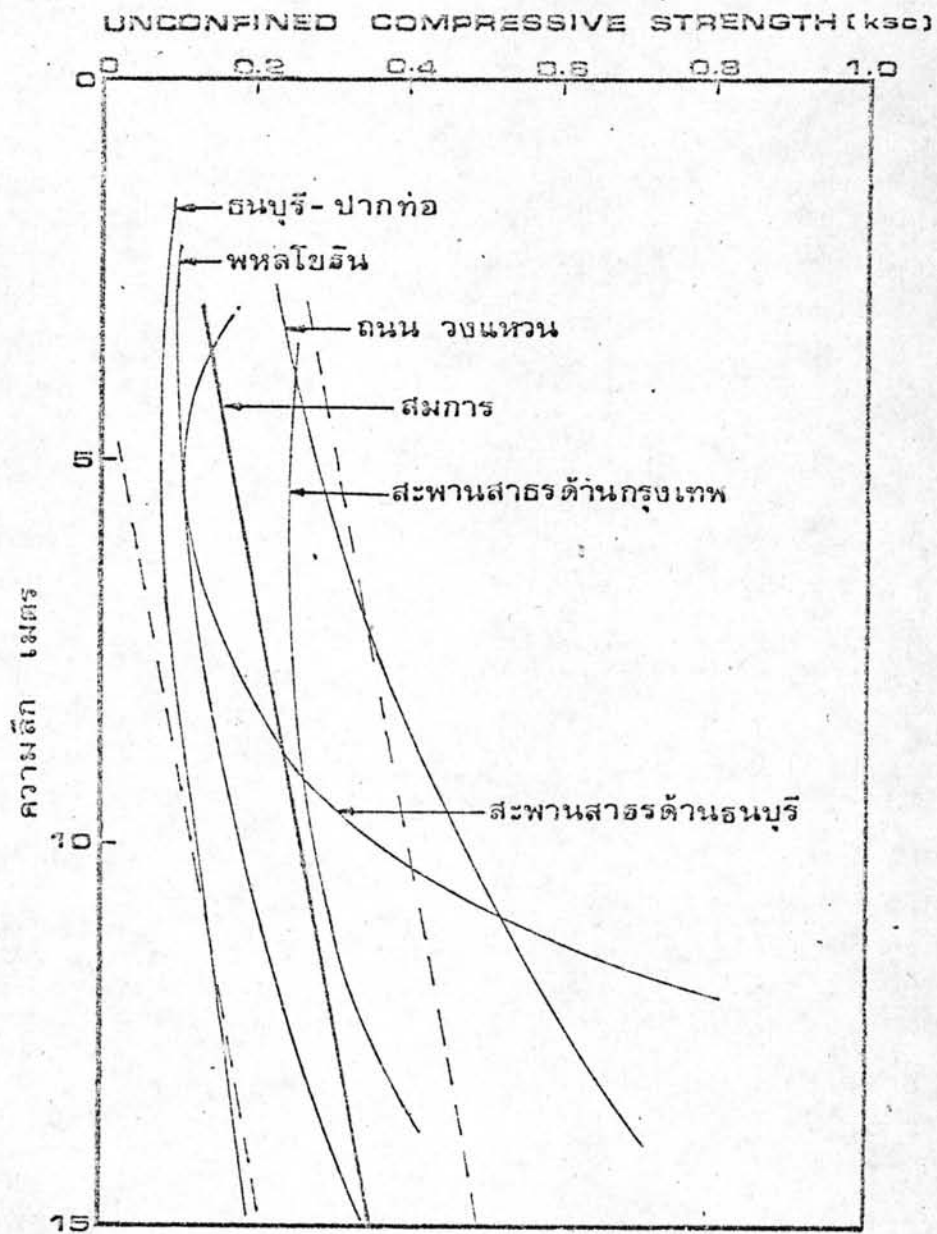
โดยที่  $N$  คือค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะของสถานที่ต่าง ๆ

เช่นเดียวกัน สมการเส้นดัดโดยทุกเส้น ที่ได้แสดงไว้ ก็สามารถที่จะอธิบายได้ใน  
 หนองเดียวกัน รูปที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง  
 COMPRESSION INDEX กับ COMPRESSION RATIO ที่มีความสัมพันธ์กับ INDEX PROPERTIES  
 เปรียบเทียบกับผลการทดลองในที่ต่าง ๆ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการทดสอบ  
 CONSOLIDATION ที่สัมพันธ์กับ INDEX PROPERTIES ไม่มีความแตกต่างกันมากนักสำหรับ  
 ชั้นดินอ่อนและชั้นดินแข็ง (เช่น  $C_c = f(W_n)$  ในชั้นดินอ่อนที่ความลึกประมาณ 21- 14  
 เมตร  $C_c = f(W_n)$  ในชั้นดินแข็งที่ความลึกประมาณ 14 - 30 เมตร และ  $C_c = f(W_n)$   
 ซึ่งรวมเอาค่าสังเกตทั้งหมด โดยไม่คำนึงว่าเป็นชั้นดินอ่อนหรือชั้นดินแข็ง ให้ค่าความชื้นที่  
 คล้ายกันและซิกซ์เข้าหากัน) รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ของ UNDRAINED SHEAR  
 STRENGTH, COMPRESSION INDEX และ INITIAL VOID RATIO ที่ WATER CONTENT  
 ต่าง ๆ ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.4 ตารางที่ 4.8 ได้แสดงผลการเปรียบเทียบ ผลการ  
 ทดลองจากตัวอย่างดินในโครงการสะพานสาทร และผลการคาดคะเนจากความสัมพันธ์ตาม  
 รูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในชั้นดินอ่อนให้ค่าที่ไม่ผิดพลาดมากนัก ในชั้นดินแข็งค่าที่ได้จาก  
 รูปที่ 4.24 ให้ค่าที่สูงกว่าจากผลการทดลอง โดยเฉพาะตัวอย่างที่ 18 - 11 ที่ความลึก  
 17.00 เมตร ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRNGTH จากผลการทดลองได้  
 0.78 kscv. อย่างไรก็ตามในชั้นดินที่ 17 เมตรนั้นโดยทั่วไปเป็นชั้นดินแข็ง แต่จากตัวอย่างที่  
 18 - 11 นั้นจัดอยู่ในพวกชั้นดินอ่อนปานกลาง (MEDIUM) ทำให้ค่าที่ได้จากการประมาณจากรูป  
 ที่ 4.24 เมื่อเทียบกับผลการทดลองให้ค่าที่ผิดพลาดมาก ค่า  $P_L$  จากตารางที่ 4.8 ทดลองจากตัวอย่าง  
 ดินจากสภาพธรรมชาติโดยไม่ไคผ่านการอบให้แห้ง เสียกตอน ค่า  $C_c$  ในชั้นดินอ่อนประมาณจาก  
 FIELD VIRGIN

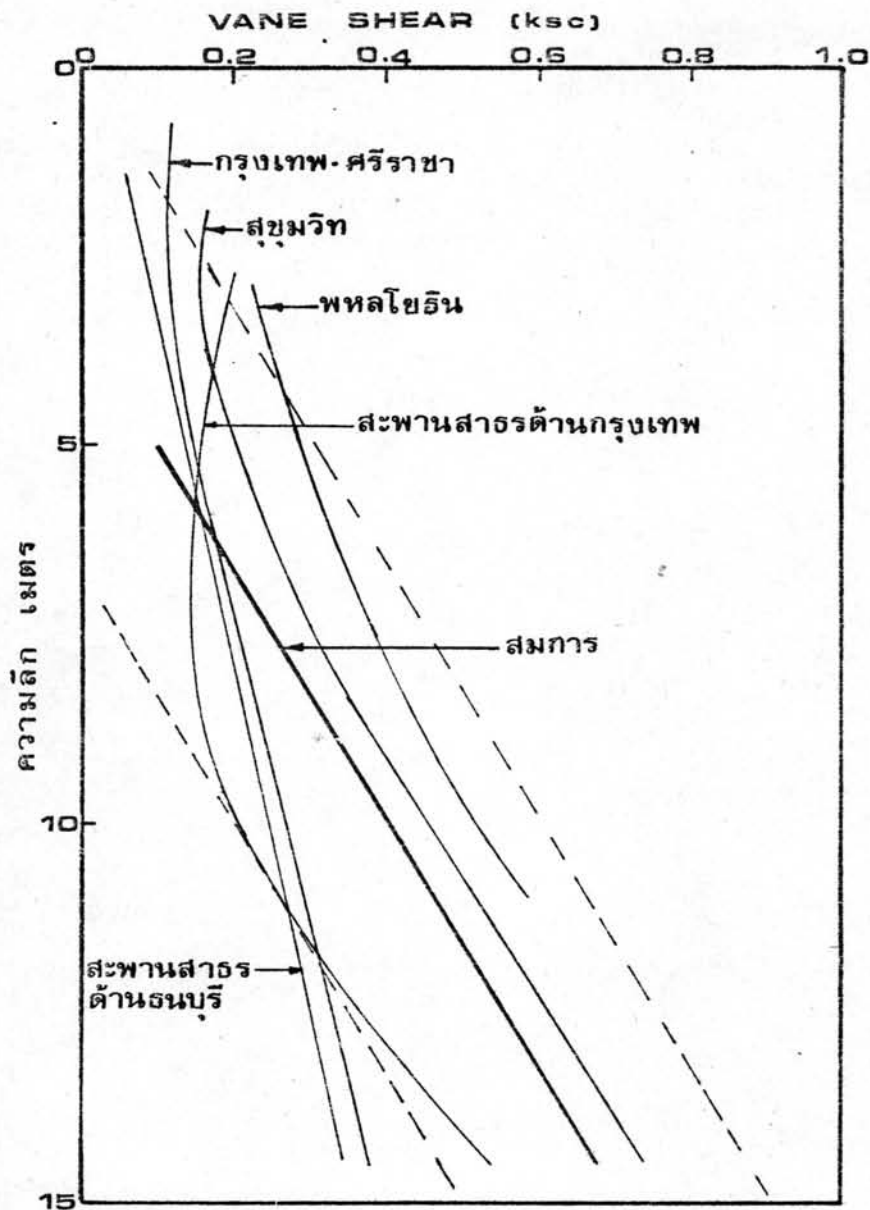
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการเปรียบเทียบจากการทดลองและการคาดคะเน  
จากรูปที่ 4.24

| ตัวอย่าง  | ความลึก (เมตร) | $W_n\%$ | $W_{Le}\%$ | $S_{uv}$<br>(kso) | $S_{uc}$<br>(ksc) | $e_o$ | $C_c$ |
|-----------|----------------|---------|------------|-------------------|-------------------|-------|-------|
| (20 - 3)  | 5.10           | 60      | 65         | .08               | .24               | 1.944 | .686  |
|           |                |         |            | .15               | .23               | 1.66  | .76   |
| (9 - 3)   | 6.00           | 73.3    | 85.5       | .15               | .31               | 1.857 | .89   |
|           |                |         |            | .17               | .21               | 1.92  | .93   |
| (9 - 7)   | 11.10          | 71.5    | 71.0       | .326              | .31               | 2.03  | 1.00  |
|           |                |         |            | .35               | .365              | 1.85  | .91   |
| (9 - 10)  | 15.60          | 26.4    | 53.0       | 2.49              | 1.370             | .787  | .115  |
|           |                |         |            | -                 | 1.94              | .780  | .250  |
| (18 - 11) | 17.0           | 32      | 67         | .996              | .780              | .888  | .198  |
|           |                |         |            | -                 | 1.83              | .90   | .31   |

ตัวอย่าง (20 - 3), (9 - 4) ..... (18 - 11) เป็นตำแหน่งของ  
ตัวอย่างดินที่ความลึกต่าง ๆ จากโครงการสะพานสาทร รูปตัดชั้นดินได้แสดงไว้ใน  
ภาคผนวก ข. หน้า 96

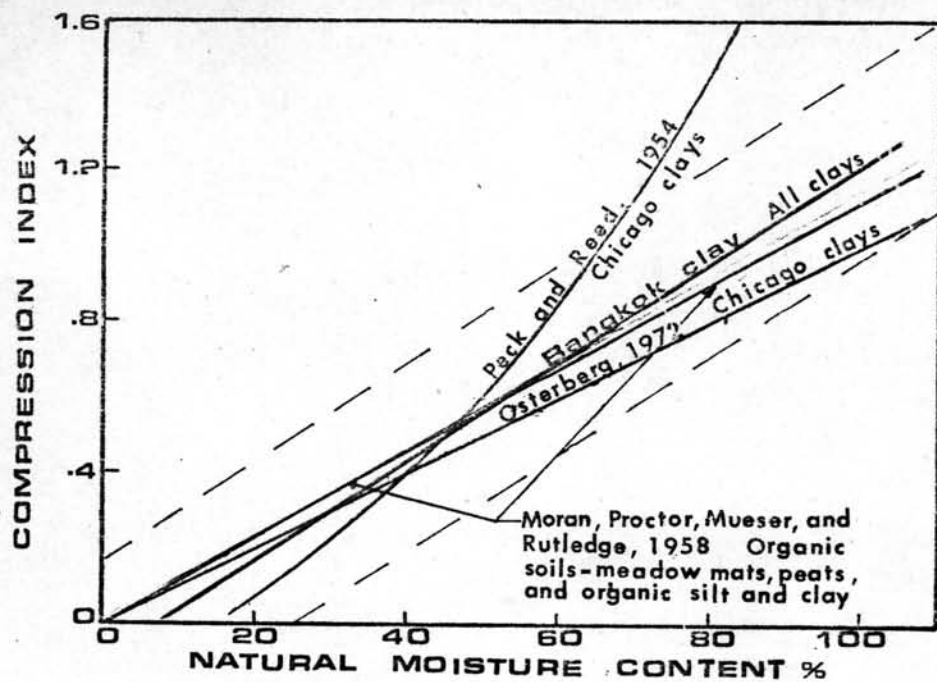


รูปที่ 4.20 แสดงผลการคาดคะเนจากสมการเปรียบเทียบกับ การทดลองในที่ต่างๆ

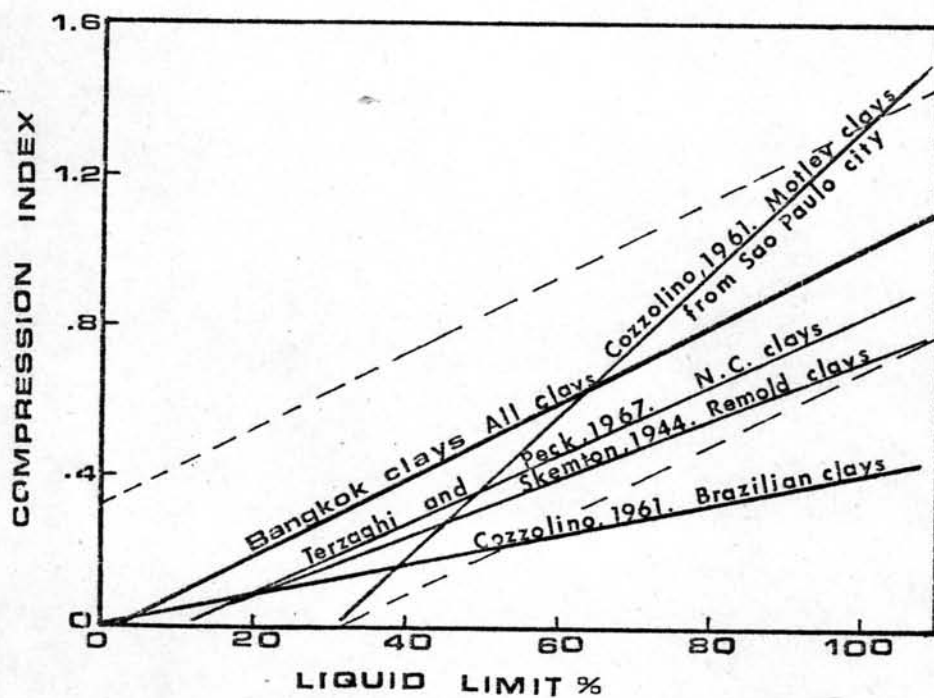


รูปที่ 4.21 แสดงผลการคาดคะเนจากสมการ เปรียบเทียบกับการทดลองในที่ต่างๆ

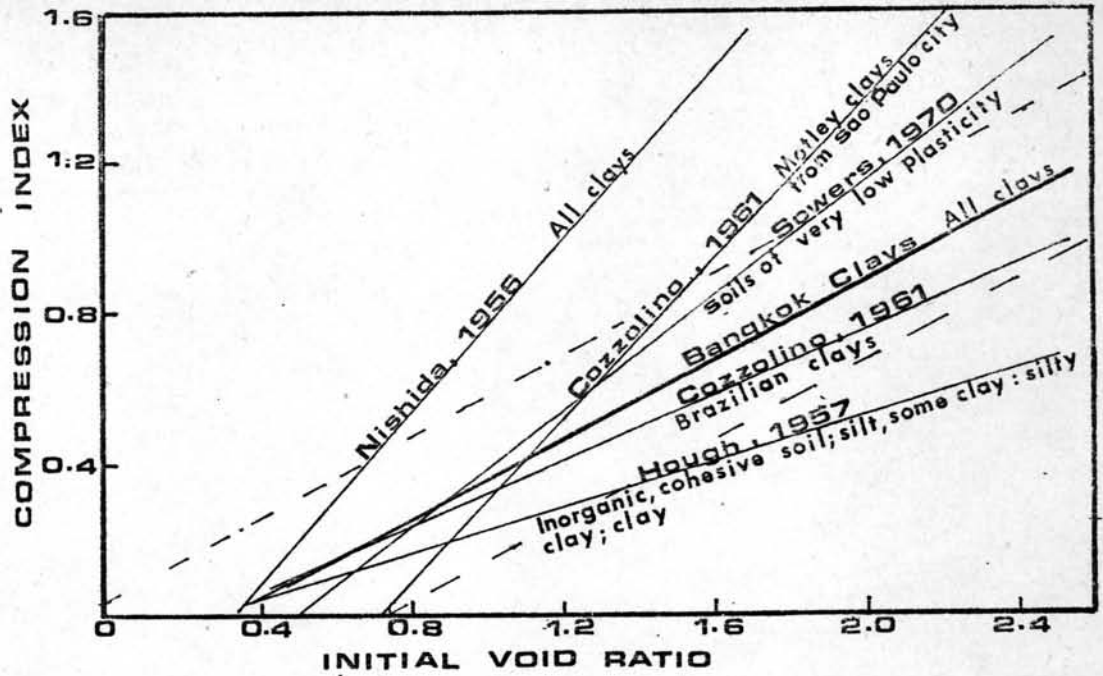




รูปที่ 4.22.1

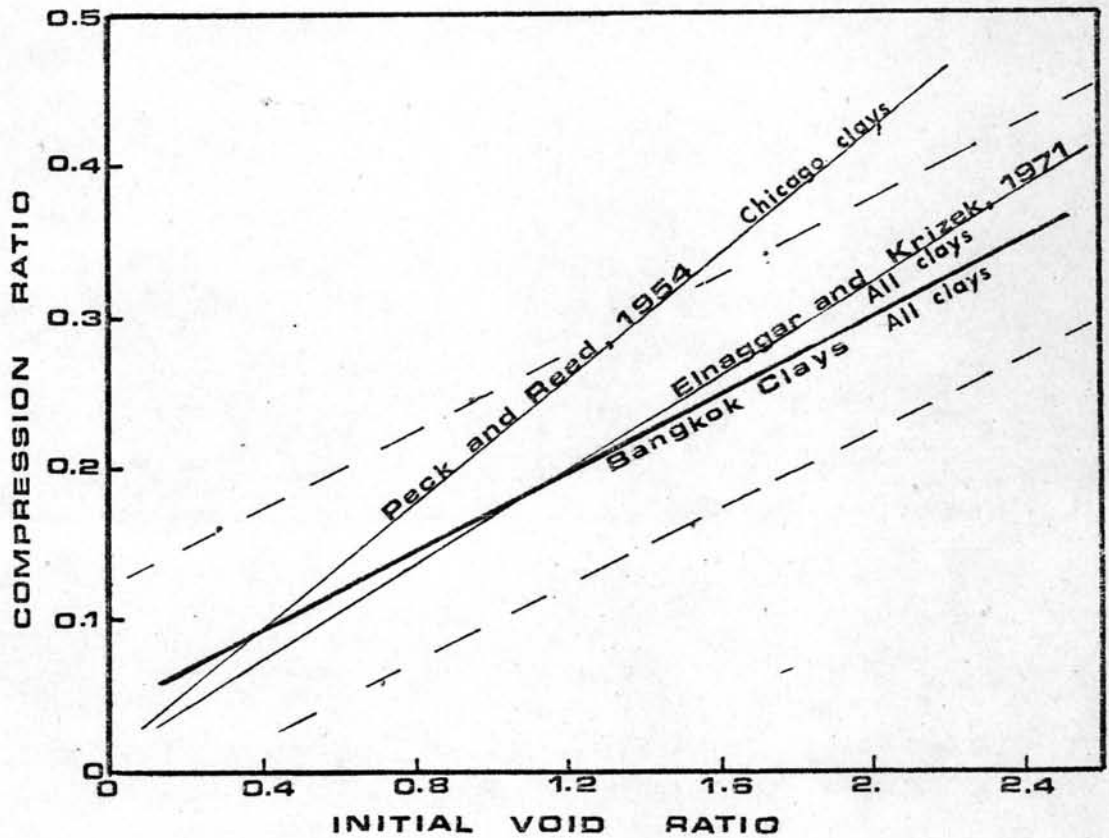


รูปที่ 4.22.2

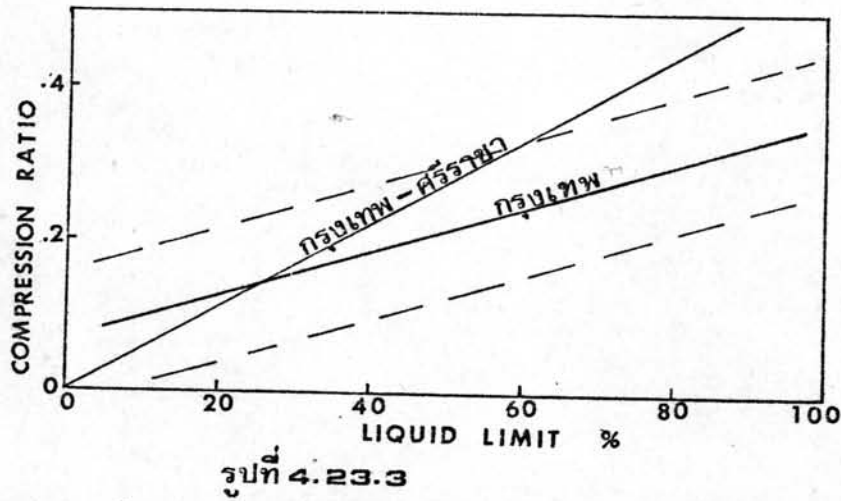
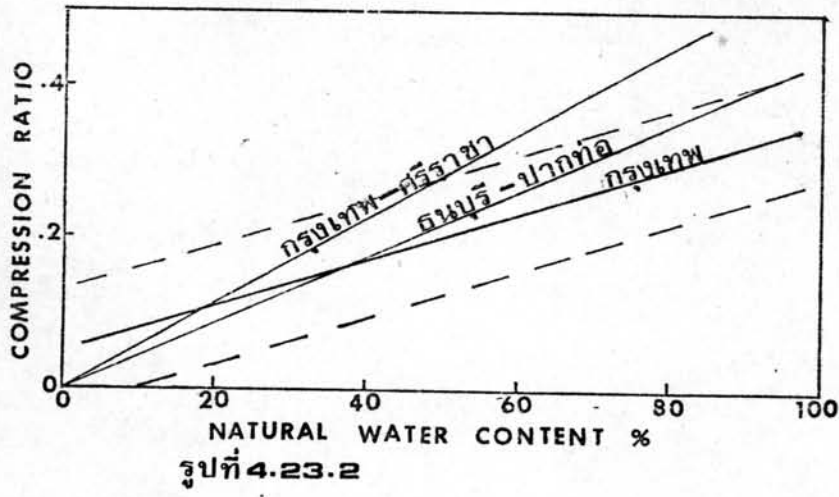


รูปที่ 4.22.3

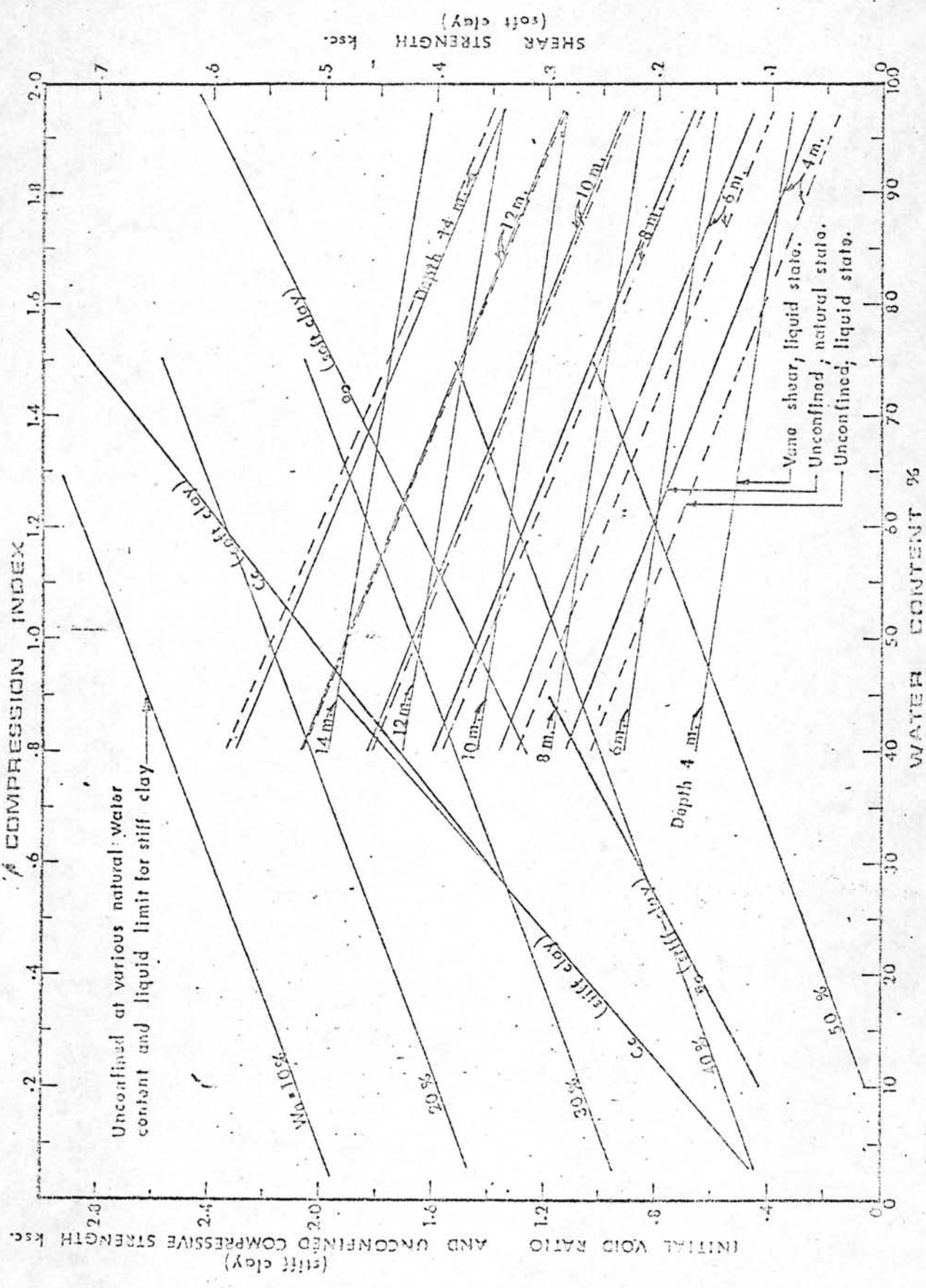
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ COMPRESSION INDEX กับ INDEX PROPERTY ในที่ต่างๆ



รูปที่ 4.23.1



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ COMPRESSION RATIO กับ INDEX PROPERTY ในที่ต่างๆ



Graph showing the relationship between Initial Void Ratio, Compression Index, and Shear Strength for soft clay at various depths (4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, 14 m). The graph also includes curves for Unconfined Compressive Strength and Water Content. The legend indicates different states: Unconfined, liquid state; Unconfined, natural state; and Vane shear, liquid state.