

ความสัมพันธ์ของผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะกับคุณสมบัติดินเหนียวระดับลึก ในพื้นที่  
กรุงเทพฯ

**CORRELATION OF BORE HOLE LOGGING AND PHYSICAL PROPERTIES IN DEEP  
BANGKOK AQUITARD CLAY**

พรสวรรค์ วงศ์วิวัฒน์ (Pornsawat Wongwiwat)<sup>1</sup>

วรากร ไม้เรียง (Warakorn Mairaing)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**บทคัดย่อ :** การเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติของดินระดับลึก ใช้เทคนิคการเจาะสำรวจน้ำบาดาล มีการตรวจวัดด้วยวิธี wire line logging ร่วมด้วย เพื่อให้สามารถระบุชนิดของดิน (ดินทรายหรือดินเหนียว) ปริมาณ และคุณภาพน้ำ ที่อยู่ใต้ผิวดิน ผลการตรวจวัดที่นำมาใช้แปลผลประกอบด้วย 4 ค่าหลักคือ Gamma ray ( $G_R$ ), Neutron (N), Resistivity (R) และ Spontaneous potential ( $S_p$ ) บทความนี้นำเสนอการศึกษาความสัมพันธ์ของผลการตรวจวัด Wire line logging กับคุณสมบัติของดินเหนียวกรุงเทพฯ ในระดับลึก จากการศึกษาพบว่าผลการสำรวจด้วย wire line logging ( $G_R$ , N, R and  $S_p$ ) มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพของดิน โดยค่า N มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับ  $w_n$ ,  $w_L$ ,  $w_p$ , PI และ Clay content, ค่า  $S_p$  มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับ  $w_L$  และ PI, ค่า  $G_R$  มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับ  $w_L$  และ Clay content และยังพบอีกว่าผล wire line logging มีความสัมพันธ์กับสมบัติการยุบอัดตัวของน้ำอีกด้วย โดยค่า  $c_c$  มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรงกับค่า  $G_R$  และค่า  $c_s$  มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่า N และ R อย่างไรก็ตามสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมีความน่าเชื่อถือต่ำ  $R^2 < 0.60$

**ABSTRACT :** Soil Investigation and soil sampling from deep subsoil are obtained in parallel with wire line logging test in order to separate type of soil (sand or clay), quantity and quality of water. The primary data from wire line logging are Gamma ray ( $G_R$ ), Neutron (N), Resistivity (R) and Spontaneous potential ( $S_p$ ). This paper presents the study of relation of wire line logging and properties of deep aquitard layers in Bangkok area. The results of wire line logging,  $G_R$ , N, S and  $S_p$ , revealed that these are the relation with physical properties. N decreased with increasing of  $w_n$ ,  $w_L$ ,  $w_p$ , PI and clay content. And  $S_p$  decreased with increasing of  $w_L$  and PI. Moreover,  $G_R$  also decreased with increasing of  $w_L$  and clay content. Relation between consolidation property and result of wire line logging indicates that  $c_c$  decreased with increasing of  $G_R$ . Similar to  $c_s$  decreased with increasing of N and R. However the levels of confidence between those parameters are not strong as  $R^2 < 0.60$ .

**KEYWORDS :** Wire line logging, Soil properties, Deep aquitard, Bangkok area

## 1. บทนำ

การเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในระดับลึก เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติในแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นการเก็บตัวอย่างดินให้มีคุณภาพตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้ศึกษาต้องใช้เทคนิคการขุดเจาะน้ำบาดาลหรือน้ำมันเข้ามาช่วย โดยมีเทคนิคที่ใช้ร่วมกับการขุดเจาะเพื่อช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของชั้นดินอุ้มน้ำ (ดินทราย) และชั้นดินกั้นน้ำ (ดินเหนียว) ได้ถูกต้อง เทคนิคดังกล่าวเรียกว่า Wire line logging ซึ่งเป็นเทคนิคที่อาศัยการตรวจวัดแบบไฟฟ้าร่วมกับการตรวจวัดแบบกัมมันตภาพรังสี ตัวอย่างผลการตรวจวัดจะแสดงผลเป็นกราฟ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลการตรวจวัดในสนามด้วยเทคนิค Wire line logging

การทำ Wire line logging จะมีการตรวจวัดค่าต่างๆ มากมายหลายค่า แต่ค่าที่นำมาใช้แปลผลมี 4 ค่าหลักคือ Gamma ray ( $G_r$ ), Neutron (N), Resistivity (R) และ Spontaneous potential ( $S_p$ ) ค่าดังกล่าวจะถูกแปลผลเป็น ชนิดดินหรือหิน, ปริมาณและคุณภาพน้ำในมวลดิน แต่ไม่มีการแปลผลถึงคุณสมบัติทางกายภาพและการยุบอัดตัวของดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ช่วยให้สามารถทำนายการทรุดตัวของชั้นดินจากการสูบน้ำบาดาลได้

## 2. การตรวจวัดแบบไฟฟ้า (Electric logging)

การตรวจวัดแบบไฟฟ้าเป็นเทคนิคการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นดินหรือหิน โดยการหย่อนขั้ววัดลงไปบ่อสำรวจคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Spontaneous potential,  $S_p$  มีหน่วย mV) และความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยจากเครื่องวัดทางขั้ววัด (Resistivity, R มีหน่วย Ohm-m) การวัดค่าทั้งสองทำ

ไปพร้อมกันคือ เมื่อปล่อยขั้ววัดลงไปจากปากหลุมเจาะหรือตึ้งขึ้นจากก้นหลุมเจาะ เครื่องตรวจวัดแสดงผลเป็นเส้นกราฟ 2 เส้น โดยอัตโนมัติพร้อมบอกความลึกของชั้นดินหรือหินที่ตรวจวัดอยู่

### 2.1 กราฟ Resistivity log (R log)

เนื้อดินหรือหินจะมีพฤติกรรมเป็นฉนวนไฟฟ้า กล่าวคือมีความต้านทานกระแสไฟฟ้าสูง (R สูง) น้ำมีพฤติกรรมเป็นสื่อไฟฟ้าที่ดีคือ มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าต่ำ (R ต่ำ) และจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณเกลือปะปนอยู่ในน้ำหรืออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มสูงขึ้น กราฟ R log ของชั้นดินหรือหินแต่ละชนิดหรือของเหลวแต่ละประเภทสรุปความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปค่า Resistivity ของชั้นดิน/หิน/ชนิดของเหลวแต่ละประเภท

ชนิดของดินหรือหิน	Range	หน่วย
กรวดทรายน้ำจืด	20-100	โอห์ม-เมตร
หินทรายและหินปูนน้ำจืด	50-500	โอห์ม-เมตร
กรวดทรายน้ำกร่อย	4-20	โอห์ม-เมตร
กรวดทรายน้ำเค็ม	0.1-4	โอห์ม-เมตร
ดินเหนียวและดินดาน	2-10	โอห์ม-เมตร
หินเนื้อแน่น	1,000-10,000	โอห์ม-เมตร
น้ำเค็ม	10-1,000	โอห์ม-เมตร
น้ำโคลนเจาะ	1-2	โอห์ม-เมตร

ที่มา: เจริญ (2540)

### 2.2 กราฟ Spontaneous potential log ( $S_p$ log)

$S_p$  log เป็นกราฟที่ได้จากการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า (Potential difference) ตามธรรมชาติของชั้นดินหรือหินในหลุมเจาะ การเกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าในขั้วนำไฟฟ้าเกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้าบริเวณรอยต่อของชั้นดินหรือหินเนื้อพรุนกับเนื้อแน่น กราฟ  $S_p$  log ใช้แปลผลหาตำแหน่งชั้นดินหรือหินเนื้อพรุนหรือชั้นอุ้มน้ำ ซึ่งแสดงด้วยจุดยอดกราฟ (Peak) ที่มีค่าเป็นลบ และยังพบอีกว่าค่า  $S_p$  ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความซึมได้ของน้ำในดิน (Permeability) และกราฟ  $S_p$  log ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างชั้นดินหรือหินที่มีน้ำ และชั้นดินหรือหินที่ไม่มีน้ำได้

### 2.3 การแปลผลจากผลการตรวจวัดแบบไฟฟ้า

การแปลผลการเจาะสำรวจกระทำโดยพิจารณาร่วมกันทั้งกราฟ  $S_p$  log และกราฟ R log โดยอาศัยหลักการคือ กราฟ  $S_p$  log มีจุด

ยอดเป็นลบและอยู่ทางซ้ายมือเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นฐานซึ่งเป็นเส้นตรงแนวตั้งในตำแหน่งที่ทราบว่าเป็นชั้นดินหรือหินที่บ่น้ำ บริเวณจุดยอดดังกล่าวจะเป็นบริเวณที่มีชั้นดินทรายหรือหินเนื้อพรุนอยู่ สำหรับกราฟ R log แสดงความแตกต่างของชนิดชั้นดินหรือหินได้โดยชั้นหินต่างชนิดกันจะมีค่า R ที่แตกต่างกันและให้รูปกราฟต่างกันด้วย การแปลผลโดยรวมสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การพิจารณาชนิดชั้นดินหรือหินวัดในหลุมเจาะด้วยโคลนจืด

Type of soil / rock	Spontaneous potential	Resistivity
ดินเหนียวหรือหินดินดาน	ไม่มีค่าเลย (0)	ต่ำ
ทรายอุ้มน้ำจืด	ต่ำ (-) / ไปทาง +	ปานกลาง/สูง
ชั้นหินอุ้มน้ำเค็ม	สูง	ต่ำ
หินทราย	ต่ำ	สูง
หินปูน (no crack), ยิปซัม, ถ่าน		
หิน, แอนไฮไดรต์, หินเกลือ	ต่ำ	สูง
ทรายอุ้มน้ำมัน/แก๊สธรรมชาติ	สูง	สูง
หินเนื้อแน่นทุกประเภท	ต่ำ	สูงมาก

ที่มา: เจริญ (2540)

### 3. การตรวจวัดแบบกัมมันตภาพรังสี (Radioactive logging)

การตรวจวัดแบบกัมมันตภาพรังสีใช้ตรวจวัดคุณสมบัติของดินหรือหินใน ส่วนที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสี และสามารถตรวจวัดบ่อไม่มีน้ำ ผลการตรวจวัดจะประกอบด้วยกราฟ 2 เส้นคือ กราฟรังสีแกมมาและกราฟนิวตรอน สำหรับการแปลผลจะมีรายละเอียดที่สอดคล้องกับการตรวจวัดด้วยไฟฟ้า การตรวจวัดแบบกัมมันตภาพรังสีนี้ไม่สามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำได้ แต่สามารถบอกรายละเอียดปริมาณน้ำใต้ดิน

#### 3.1 Gamma ray log ( $G_R$ log)

$G_R$  log เป็นการตรวจวัดค่า Natural gamma ray ที่แผ่กระจายจากการสลายตัวของสารที่อยู่ในชั้นดินหรือหินที่เจาะสำรวจผ่านรังสีในดินหรือหิน ซึ่งมีอยู่ 3 ชนิดคือ Alfa ray, Beta ray และ Gamma ray แต่ที่สามารถตรวจวัดได้ชัดเจนคือ Gamma ray ซึ่งมีความสามารถแผ่ขยายและทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้ดีมาก สารที่ให้ Gamma ray ในชั้นดินหรือหินตามธรรมชาติได้แก่ โปแตสเซียม ( $K^{40}$ ) ซึ่งพบมากในดินเหนียวหรือหินดินดาน (Shale) สามารถกำหนดแนวเส้นลากผ่านค่าต่ำสุดของดินเหนียวหรือหินดินดาน ซึ่งเรียกว่า “Shale line” การตรวจวัดได้ค่า  $G_R$  มีค่าต่ำกว่า Shale

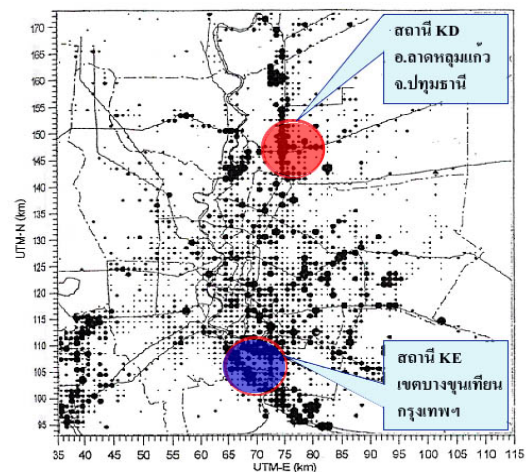
line แสดงว่าเป็นชั้นดินทราย, หินทราย และหินปูน หากค่าวัดได้มีค่ามากกว่า Shale line แสดงว่าเป็นชั้นดินเหนียว (Marine clay)

#### 3.2 Neutron log ( $N$ log)

หลักการของตรวจวัด N log คือปล่อย N ออกจากต้นกำเนิด (สารกัมมันตภาพรังสีชนิดหนึ่ง) ในบ่อสำรวจ N จะวิ่งทะลุทะลวงสิ่งกีดขวางไปชนกับปรมาณูของดินหรือหิน ดินหรือหินที่ถูกชนจะปล่อย  $G_R$  ออกมา และวิ่งกลับไปยังเครื่องรับแสดงผลเป็นกราฟ N log ความเข้มข้นของค่าที่ตรวจวัดได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของ N ที่วิ่งชนกับปรมาณูของดินหรือหิน ถ้าภายในชั้นดินหรือหินมีน้ำ ความเร็วของ N จะลดลง เนื่องจาก N ส่วนหนึ่งจะชนกับปรมาณูของไฮโดรเจนของน้ำทำให้ความเร็วของ N ลดลง และชนกับปรมาณูของดินหรือหินไม่รุนแรง ความเข้มข้นของ  $G_R$  ที่เกิดขึ้นจึงลดลง คุณสมบัตินี้ใช้ในการแปลค่าหาชั้นน้ำและปริมาณน้ำ

### 4. กระบวนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดิน พร้อมสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ Wire line logging จำนวน 2 หลุมเจาะ โดยหลุมแรกอยู่ทางเหนือของแอ่งลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนใต้ บริเวณวัด อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี หลุมที่สองอยู่ทางใต้ของแอ่งลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนใต้ บริเวณโรงงานกระเบื้องแดง บางบอน เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ ตำแหน่งของหลุมเจาะเป็นดังภาพที่ 2 การเก็บตัวอย่างดินจะเน้นเก็บตัวอย่างที่อยู่ในระดับลึกที่เป็นดินที่บ่น้ำ (Aquitard) เป็นหลัก และนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติการยุบอัดตัวคายน้ำในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับการตรวจวัด Wire line logging ( $G_R$ , N, R และ  $S_p$ )



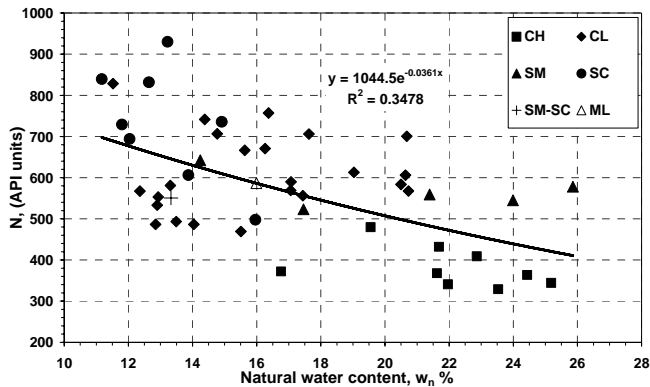
ภาพที่ 2 ตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ลุ่มน้ำบาดาล

## 5. ผลการศึกษา

### 5.1 ความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพ

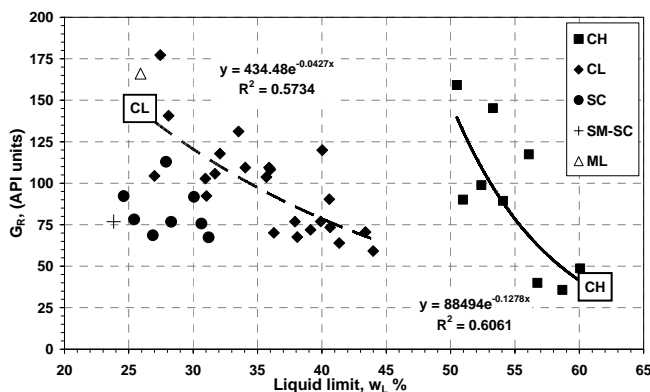
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ผลการตรวจวัด Wire line logging ( $G_R$ ,  $N$ ,  $R$  และ  $S_p$ ) กับคุณสมบัติทางกายภาพของดิน สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มความสัมพันธ์ได้ดังนี้

กลุ่มความชื้นตามธรรมชาติ ( $w_n$ ) จากภาพที่ 2 พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า  $N$  เท่านั้น โดยมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผัน กล่าวคือเมื่อดินมีความชื้นต่ำก็จะวัดค่า  $N$  ได้สูง ถ้าดินมีความชื้นสูงก็จะวัดค่า  $N$  ได้ต่ำ

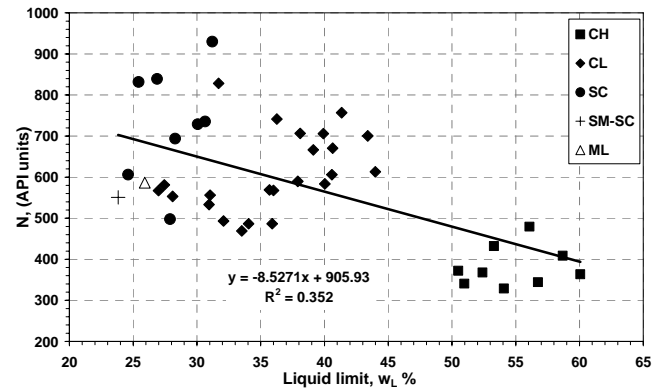


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Natural water content

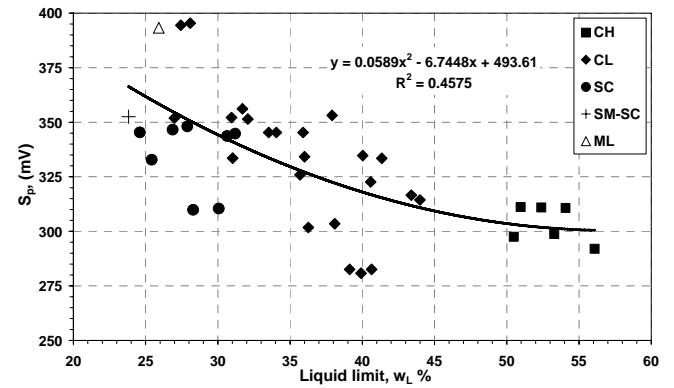
กลุ่ม Atterberg's Limits เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ที่มีต่อค่า Liquid limit พบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่า  $G_R$ ,  $N$  และ  $S_p$  ดังภาพที่ 3-5 โดยความสัมพันธ์กับค่า  $G_R$  จะต้องพิจารณาความสัมพันธ์โดยแบ่งตามชนิดของดิน (CH และ CL) จึงจะพบมีความสัมพันธ์ เนื่องจากการดูดซับ  $G_R$  ของดินเหนียวต่างชนิดมีความต่างกัน ความสัมพันธ์กับค่า Plastic limit พบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่า  $N$  เท่านั้นดังภาพที่ 6 และความสัมพันธ์กับค่า Plastic index พบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่า  $N$  และค่า  $S_p$  เช่นกัน ดังภาพที่ 7-8



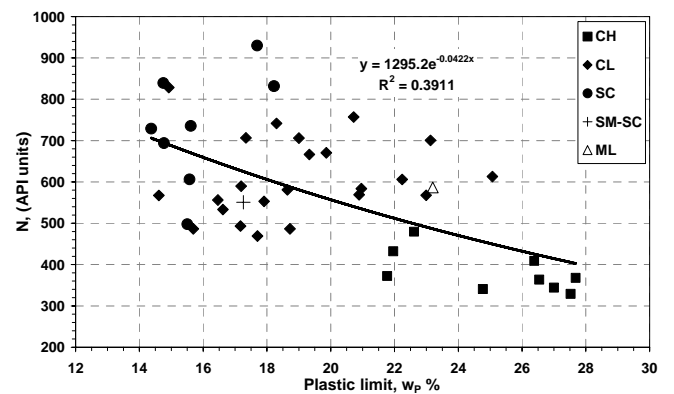
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gamma ray กับ Liquid limit



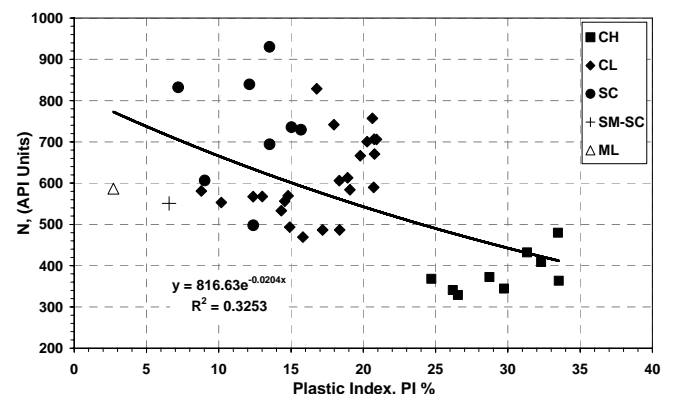
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Liquid limit



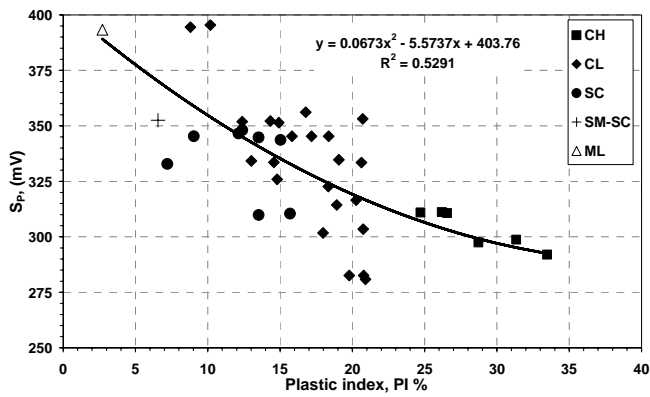
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Spontaneous potential กับ Liquid limit



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Plastic limit

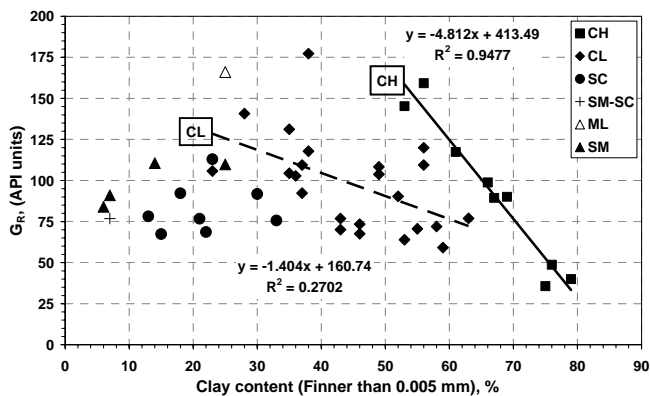


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Plastic index

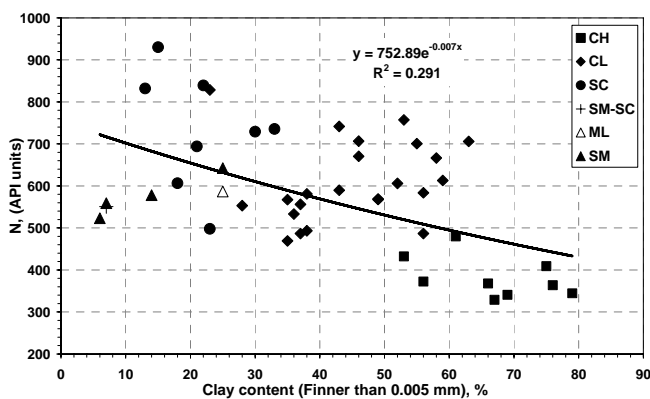


ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Spontaneous potential กับ Plastic index

กลุ่ม Clay content พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า  $G_R$  และค่า  $N$  มีแนวโน้มความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ดังภาพที่ 9-10 พิจารณาความสัมพันธ์กับค่า  $G_R$  โดยแบ่งตามชนิดของดิน ยังพบอีกว่า ดินชนิด CH มีความสัมพันธ์ที่ดี แต่ดินชนิด CL จะมีความสัมพันธ์ที่ไม่ดีนัก ส่วนดินชนิดอื่น (SC, ML และ SM-SC) ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากข้อมูลผลทดสอบดินชนิดอื่นมีน้อย



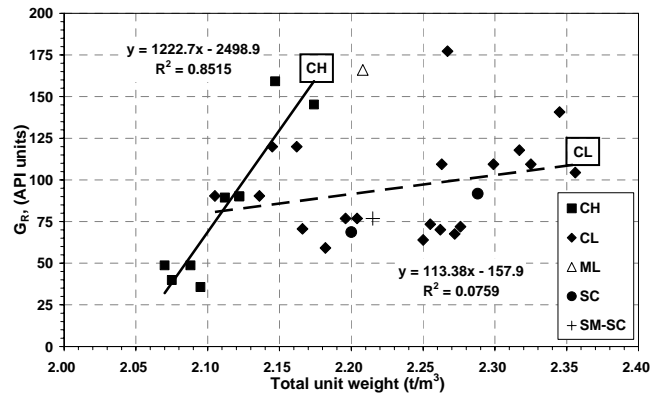
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gamma ray กับ Clay content



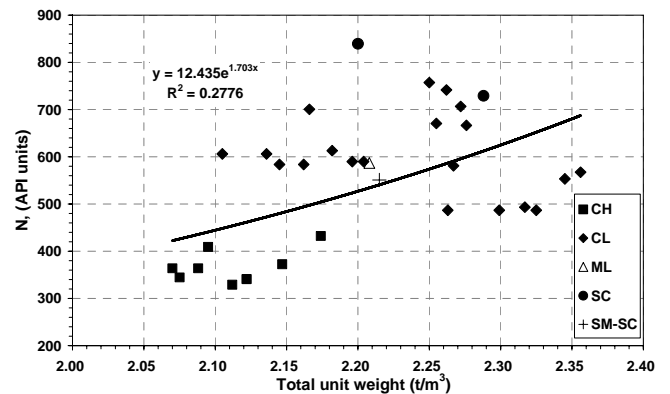
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Clay content

กลุ่ม Total unit weight พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตรงกับค่า  $G_R$  และค่า  $N$  ดังภาพที่ 11-12 พิจารณาความ

สัมพันธ์กับค่า  $G_R$  พบมีความสัมพันธ์ที่ดีสำหรับดินชนิด CH แต่ดินชนิด CL มีความสัมพันธ์ที่ต่ำมาก ส่วนดินชนิดอื่นข้อมูลที่ทดสอบมีน้อยไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้



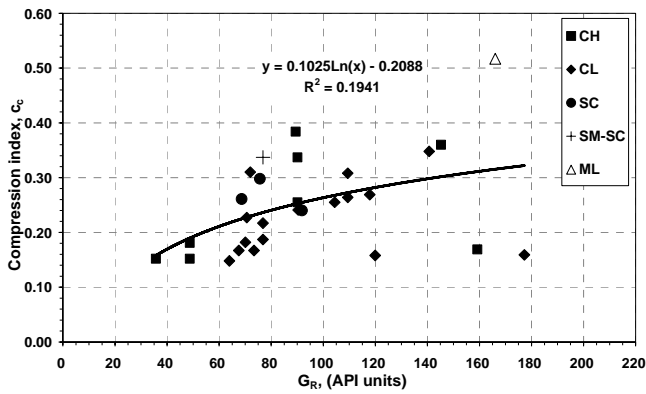
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gamma ray กับ Total unit weight



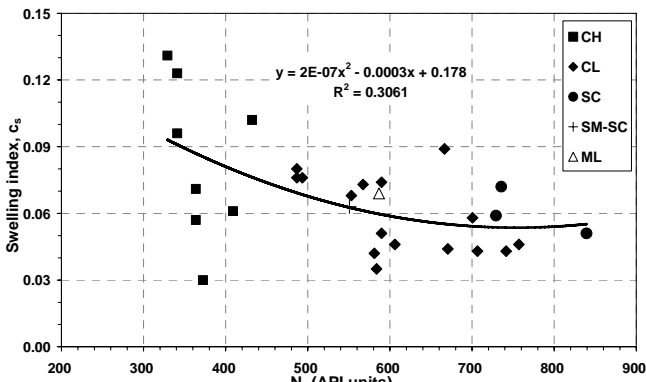
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Total unit weight

## 5.2 ความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการยุบอัดตัวคายน้ำ

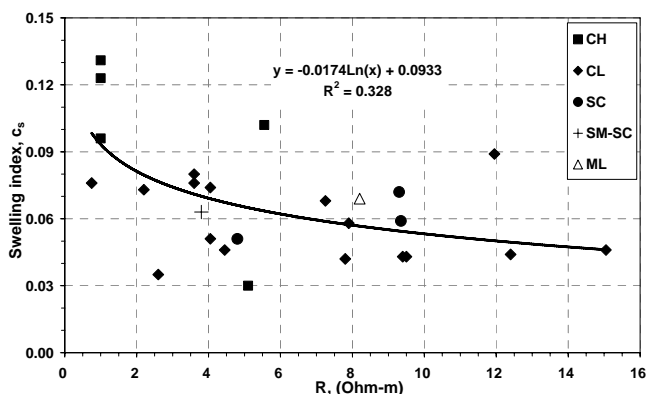
จากการวิจัยพบว่าค่า Compression index,  $c_c$  มีความสัมพันธ์กับค่า  $G_R$  เท่านั้น โดยพบมีแนวโน้มของความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันตรง ข้อมูลของความสัมพันธ์กระจายระจกระจายมากทำให้สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีค่าความน่าเชื่อถือต่ำ (ค่า  $R^2$  ต่ำ) ดังภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของค่า Recompression index,  $c_r$  พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับผลการตรวจวัด Wire line logging สำหรับความสัมพันธ์ของค่า Swelling index,  $c_s$  พบมีความสัมพันธ์กับค่า  $N$  และค่า  $R$  เท่านั้น และมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผัน สมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ ดังภาพที่ 14-15 พิจารณาความสัมพันธ์ของค่า Coefficient of consolidation,  $c_v$  พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูล  $c_v$  จากการทดสอบมีจำนวนน้อย



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Gamma ray กับ Compression index



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Neutron กับ Swelling index



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Resistivity กับ Swelling index

## 6. สรุปผลการศึกษา

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับผลการตรวจวัด Wire line logging พบว่าค่า Neutron จะมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันกับความชื้นตามธรรมชาติ, Liquid limit, Plastic limit, Plastic index และ Clay content, ค่า Spontaneous potential มีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผกผันกับ Liquid limit และ Plastic index และค่า Gamma ray มีแนวโน้มของความสัมพัทธ์เป็นแบบแปรผกผันกับ Liquid limit และ Clay content

โดยต้องพิจารณาความสัมพันธ์ตามชนิดดิน CL หรือ CH เท่านั้น สมการความสัมพันธ์ที่ได้ส่วนมากมีความน่าเชื่อถือต่ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด Wire line logging กับคุณสมบัติของดินด้านการยุบอัดตัวคายน้ำ พบว่าค่า Compression index จะมีแนวโน้มของความสัมพัทธ์เป็นแบบแปรผันตรงกับค่า Gamma ray สำหรับค่า Swelling index พบว่ามีแนวโน้มของความสัมพัทธ์เป็นแบบแปรผกผันกับค่า Neutron และ Resistivity โดยสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมีความน่าเชื่อถือต่ำ (ค่า  $R^2$  ต่ำ)

อย่างไรก็ตามยังการแปลผลชั้นดินจากผลการตรวจวัด Wire line logging ออกมาเป็นชนิดของดินและชนิดของชั้นน้ำ ต้องใช้ความรู้บวกระบุการตีความของผู้เชี่ยวชาญในการแปลผลร่วมกัน แต่ก็ยังให้ผลที่ไม่ตรงกับความจริงนักจึงควรศึกษาพัฒนาความรู้ในด้านนี้ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Adrian Digby. 2002. Wireline Logging for Deepwater Geohazard Assessment. Alluvial Mining Ltd., Society of Underwater Technology, London.
- [2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. รายงานหลักโครงการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลเกินปริมาณสมดุลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. รายงานฉบับสมบูรณ์.
- [3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547. ภาคผนวกโครงการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาลเกินปริมาณสมดุลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. รายงานฉบับกลาง เล่ม 2.
- [4] เจริญ เพ็ชรเจริญ. 2540. น้ำบาดาล-บ่อบาดาล. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ. 150 น.
- [5] พรสวรรค์ วงศ์วิวัฒน์. 2548. การศึกษาพฤติกรรมของการยุบอัดตัวคายน้ำของดินชั้นน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์การทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพฯ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 187