

รายงานวิจัย



เรื่อง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัด  
ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน

Design and Construction of Equipment for  
Determining Electrical Resistivity of Rock Samples

ผู้วิจัย

นายประเสริฐ พฤตมิกณี

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Order Key 21892

BIB Key 168911

แหล่งทุนสนับสนุน

สงข

เลขหมู่ QE433.5 1.16 2532

เลขทะเบียน  
12, 116, 2547

เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ปีงบประมาณ 2532

## บทคัดย่อ

ได้ทำการพัฒนาและสร้างชุดอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้าของตัวอย่างหิน โดยอาศัยการผ่านกระแสให้ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างหินรูปทรงกระบอก แล้ววัดอัตราส่วนของความต่างศักย์ที่ตกคล่อมระหว่างพื้นที่หน้าตัดของทรงกระบอกกับปริมาณกระแสที่ไหลผ่านทรงกระบอก ความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้า หรือ สภาพต้านทานทางไฟฟ้า กำหนดเป็นค่าคงตัวเกี่ยวกับรูปทรงเรขาคณิตของตัวอย่างหินคุณกับอัตราส่วนของความต่างศักย์กับกระแส ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ตัวอย่างหินตะกอนจากหลุมเจาะในบริเวณเหมืองถ่านหิน ลิกไนต์กระบี่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดกระบี่ ตัวอย่างหินจากหลุมเจาะเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร โดยมีช่วงความลึกของการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 45-200 เมตร โดยการสุ่มวัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินทุกๆระยะ 5-10 เมตร ตลอดความลึกของบ่อเจาะ ผลการวัดแสดงว่าความต้านทานจำเพาะของดินตะกอนในแอ่งถ่านหิน ลิกไนต์กระบี่ มีค่าแกว่งไกวอยู่รอบค่า 30 โอห์ม-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดความต้านทานของดินโดยเทคนิค Sirottem

## Abstract

The equipment for measuring electrical resistivity of core samples was designed and developed in this research work. This equipment was designed for cylindrical shaped rock samples of about 60 millimeters in diameter. A voltage difference across an assigned length of a sample was measured when a current was uniformly injected through a circular cross-section of a sample. The electrical resistivity is then proportional to a ratio of voltage difference and injected current. In this research work, core samples were taken from the Krabi lignite mine of the Electrical Generating Authority of Thailand in Changwat Krabi. The depths of chosen bore-holes were 45-200 meters. Core-sample was taken for resistivity measurement every 5-10 metres depth. Results from this research work showed that the resistivity of sedimentary rocks in the Krabi lignite mine deviate around 30 ohm-metres which correspond very well with resistivity measurement by Sirotem technique.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	v
1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีพื้นฐาน	3
3. วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย	5
4. ผลและวิจารณ์	10
5. สรุปผล	22
6. เอกสารอ้างอิง	23
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2698G	25
ข. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2701G	26
ค. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2703G	27
ง. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2707G	28
จ. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2712G	29
ฉ. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2721G	30
ช. ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2723G	31

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับคำนวณค่าความต้านทานจำเพาะ	3
รูปที่ 2 ความต้านทานจำเพาะของหิน	4
รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ยึดจับแท่งตัวอย่างหินสำหรับการวัดความต้านทานจำเพาะ	7
รูปที่ 4 การต่อชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน	8
รูปที่ 5 ตำแหน่งของหลุมเจาะเก็บตัวอย่างหินบนแผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งกระเป๋	9
รูปที่ 6 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2698G	14
รูปที่ 7 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2701G	15
รูปที่ 8 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2703G	16
รูปที่ 9 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2707G	17
รูปที่ 10 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK272G	18
รูปที่ 11 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2721G	19
รูปที่ 12 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2723G	20
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินระหว่างหลุมเจาะ	21

## 1. บทนำ

การวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นดินเป็นเทคนิคที่นิยมใช้เพื่อการตรวจหาการจัดวางตัวของชั้นหินหรือชั้นดินตามแนวตั้ง และการจัดวางตัวของชั้นหินตามแนวราบ การประยุกต์ใช้การวัดความต้านทานจำเพาะ ได้แก่ การตรวจหาความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน ลำดับของชั้นดินในแอ่งตะกอน การตรวจหาชั้นหินดานซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่ การตรวจหารอยแยกในหินแข็งที่สามารถใช้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำ การตรวจหาโพรงใต้ดินและอื่นๆ

ในงานสำรวจวัดค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้าของดิน เราจะป้อนกระแสไฟฟ้าประดิษฐ์ เช่น ไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำให้กับดินโดยผ่านทางขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว (เรียกว่าขั้วกระแส) และตรวจวัดการกระจายของศักย์ไฟฟ้าบนผิวดินโดยใช้ขั้วไฟฟ้าอีก 2 ขั้ว (เรียกว่าขั้วศักย์) การกระจายของศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้นี้จะสัมพันธ์กับการกระจายของความต้านทานจำเพาะใต้ผิวดิน

การวัดความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใช้เทคนิคหลักๆ อยู่ 2 เทคนิค คือ (1) เทคนิคการหยั่งลึกทางไฟฟ้าในแนวตั้ง (vertical electric sounding) และ (2) เทคนิคการทำแผนที่ทางไฟฟ้าหรือการทำโปรไฟล์ทางไฟฟ้า (electrical mapping or electrical profiling)

โดยเทคนิคของการหยั่งลึกทางไฟฟ้าในแนวตั้งนี้ เราจะตรวจวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่ระดับความลึกต่างๆกัน โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากระแสออกไป ที่ระยะห่างขั้วกระแสบ่อยๆ ค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้จะเป็นของดินในระดับตื้น และเมื่อระยะห่างขั้วกระแสเพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้จะเป็นของชั้นดินที่ความลึกเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากที่ระยะห่างระหว่างขั้วกระแสใดๆ กระแสจะกระจายไหลไปในหลายๆ ส่วนของชั้นดิน ดังนั้นค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วศักย์จะเป็นผลรวมของการกระจายของศักย์ไฟฟ้าที่ระดับความลึกต่างๆกัน นอกจากนี้ในธรรมชาติโดยทั่วไปดินใต้ผิวดินประกอบด้วยชั้นดินหลายๆชั้น ดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะที่คำนวณได้จะไม่ใช่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่ระดับความลึกใดความลึกหนึ่ง และไม่ใช้ความต้านทานจำเพาะของดินชั้นใดชั้นหนึ่ง ความต้านทานจำเพาะที่วัดได้ที่ระยะห่างระหว่างขั้วกระแสใดๆจึงรวมเรียกเป็นค่าความต้านทานจำเพาะปรากฏ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยอิทธิพลของชั้นดินหลายๆชั้น

การวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนชั้นดิน ค่าความต้านทานจำเพาะปรากฏของดินแต่ละชั้น ความหนาของดินแต่ละชั้น จากการแปลความกราฟการหยั่งลึกทางไฟฟ้าในแนวตั้งมักจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแปลความเสมอ กล่าวคือเราไม่สามารถกำหนดความหนาของดินแต่ละชั้นได้ถูกต้องถ้าเราไม่ทราบค่าความต้านทานจำเพาะหรือถูกต้องของดินชั้นนั้น จึงส่งผลให้การแปลความเพื่อกำหนดค่าความลึกของชั้นดินใดๆคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง นอกจากนี้แล้วในเทคนิคการหยั่งลึกทางไฟฟ้าในแนวตั้งเราไม่สามารถจำแนกชั้นดินที่มีความหนาน้อยกว่าความลึกได้ ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าเราสามารถกำหนดค่าความต้านทานจำเพาะที่แท้จริงของชั้นดินได้ถูกต้อง จากข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่บ่อเจาะซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ทำการศึกษาวิจัย เราก็สามารถกำหนดความลึกถึงโครงสร้างเป้าหมายได้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน ในกรณีตัวอย่างหินมีรูปทรงกระบอกและมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร

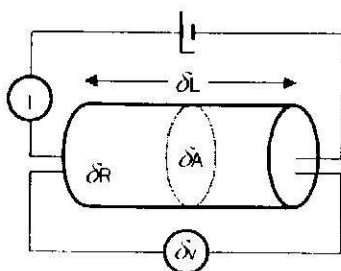
## 2. ทฤษฎีพื้นฐาน

ความต้านทานจำเพาะของสสารกำหนดเป็นความต้านทานในหน่วยโอห์มระหว่างผิวด้านตรงข้ามของแท่งลูกบาศก์ของสสารที่มีขนาดหนึ่งหน่วย (Parasnis, 1971; Telford et al, 1976)

ในกรณีของทรงกระบอกตัวนำที่มีความต้านทาน  $\delta R$  มีความยาว  $\delta L$  และมีพื้นที่หน้าตัด  $\delta A$  (รูปที่ 1) สภาพต้านทาน  $\rho$  กำหนดไว้โดย

$$\rho = \frac{\delta R \cdot \delta A}{\delta L} = \frac{\delta v}{I} \cdot \frac{\delta A}{\delta L} \quad (1)$$

สภาพต้านทาน  $\rho$  มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร ( $\Omega \text{ m}$ ) และ สภาพนำไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานมีหน่วยเป็นซีเมนตต่อเมตร ( $\text{S m}^{-1}$ ) โดย  $1 \text{ S m}^{-1} = 1 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$

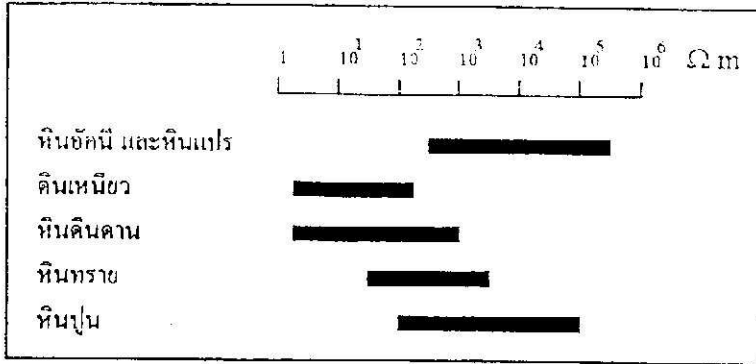


รูปที่ 1 พารามิเตอร์สำหรับคำนวณสภาพต้านทานทางไฟฟ้า

สภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีค่าเปลี่ยนแปลงมาก แต่ประกอบหินส่วนมากเป็นฉนวนและกระแสจะไหลผ่านหินได้โดยอาศัยอ็อนในน้ำภายในช่องว่างของหิน ดังนั้นค่าสภาพต้านทานของหินจึงถูกควบคุมด้วยค่าความพรุน (porosity) ของหิน โดยสภาพต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความพรุนลดลง ในกรณีของหินผลึก (crystalline rocks) กระแสจะสามารถไหลผ่านตามรอยแยกและรอยแตกของหิน

ค่าสภาพต้านทานของหินต่างชนิดกันจะมีค่าซ้อนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นเราจึงไม่สามารถจำแนกชนิดของหินได้จากค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว





รูปที่ 4.2 สภาพต้านทานไฟฟ้าของหิน (ที่มา : Kearey & Brooks, 1991)

สมการ (1) สำหรับการคำนวณค่าสภาพต้านทานข้างต้นเป็นสมการสำหรับกรณีที่มีการนำไฟฟ้าโดยอิเล็กตรอน แต่สามารถนำมาใช้คำนวณค่าสภาพต้านทานยังผล (effective resistivity) ของหิน ซึ่งเป็นค่าสภาพต้านทานรวมของหินและน้ำที่มีอยู่ในช่องว่างของหิน

สภาพต้านทานยังผลสามารถแสดงในเทอมของสภาพต้านทานและปริมาตรของน้ำภายในช่องว่างของหิน โดยอาศัยสูตรของ Archie (1992) ดังนี้

$$\rho = a \phi^b f^c \rho_w \quad (2)$$

เมื่อ  $\phi$  แทนความพรุน

$f$  แทนส่วนของช่องว่างซึ่งมีน้ำที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้า  $\rho_w$

$a, b, c$  แทนค่าคงตัว

$\rho_w$  มีค่าแปรผันตามปริมาณและสภาพนำไฟฟ้าของสารละลาย

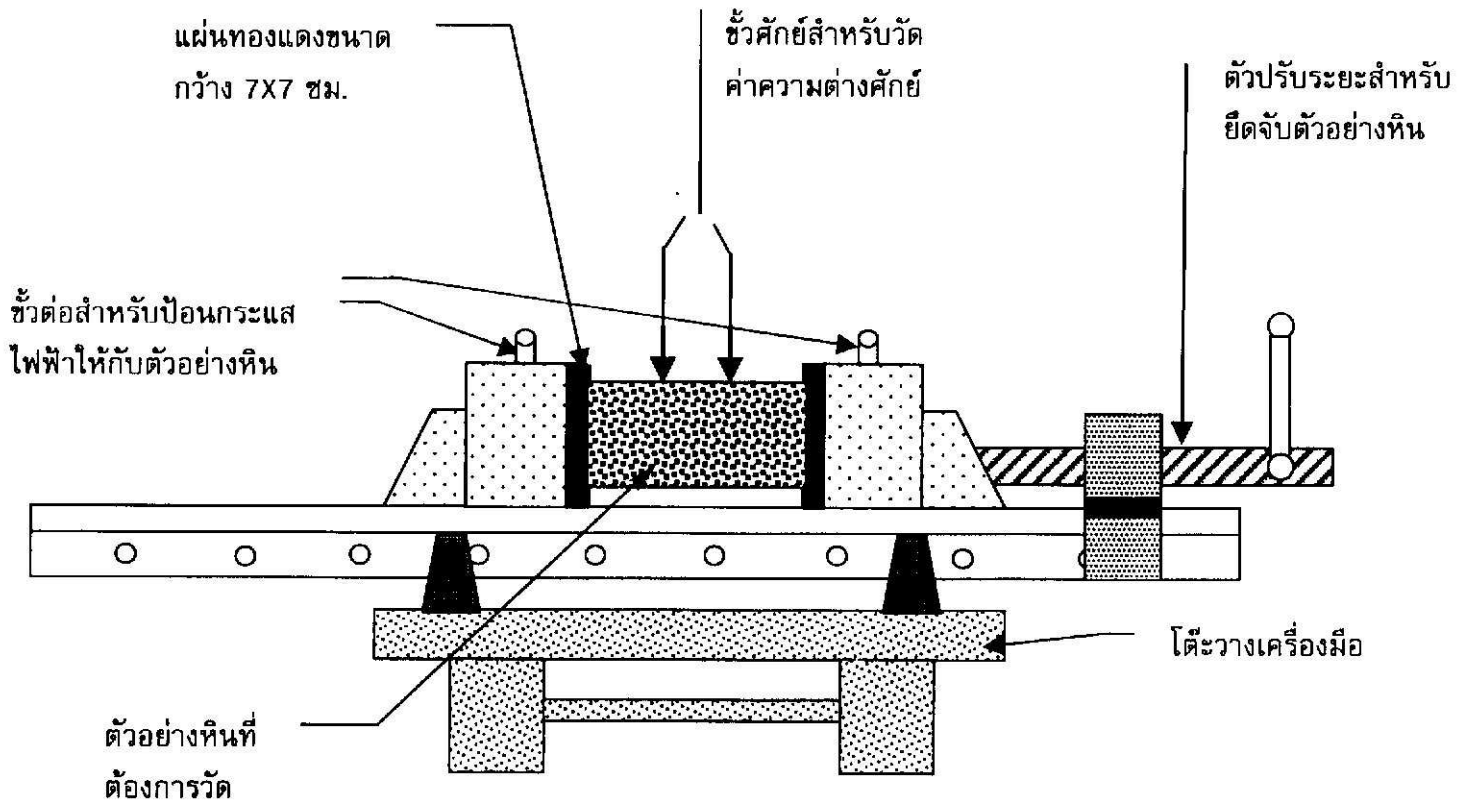
แม้ว่าค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าระหว่างหินต่างชนิดกันจะมีค่าซ้อนทับกัน แต่จะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการเทียบเคียงชั้นดินระหว่างหลุมเจาะและสามารถให้เป็นข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับการแปรผันตามของค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าตามความลึกของดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งจะใช้ประโยชน์เป็นค่าสภาพต้านทานของดินที่ความลึกระดับต่างๆ และใช้ประโยชน์สำหรับการแปลความข้อมูลการยังลิกของชั้นดินทางไฟฟ้าเพื่อกำหนดความลึกถึงชั้นหินดานในพื้นที่ที่ทำการศึกษาในอนาคต

### 3. วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

- 3.1 ออกแบบและหาค่าความอุปกรณวัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน (รูปที่ 3 และ 4) อุปกรณที่พัฒนาขึ้นเป็นอุปกรณสำหรับยึดจับแท่งตัวอย่างหินที่มีรูปทรงกระบอก โดยยึดจับที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวอย่างหินที่มีลักษณะเป็นพื้นที่วงกลม ตัวยึดจับที่สัมผัสกับแท่งตัวอย่างหินจะเป็นแท่งตัวนำทำด้วยแท่งทองแดงที่มีขนาด  $7 \times 7$  ตารางเซนติเมตร ร่องไว้ด้วยแผ่นยางและแผ่นไม้กั้นขึ้นหรือเพื่อเป็นขอบบ่งกันไม่ให้กระแสที่บ่อนให้กับแท่งตัวอย่างหินรั่วไหลไปยังแคลมป์ที่ยึดจับเครื่องมือ
- 3.2 ไฟฟ้ากระแสกับความถี่ต่ำ (4Hz) จากส่วนที่เป็น V-BOX ของเครื่องมือ ABEM AC TERRAMETER (รูปที่ 4) จะถูกป้อนให้กับแท่งตัวนำผ่านเส้นทางผิวสัมผัสที่ยึดจับ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านแท่งตัวอย่างหินอย่างสม่ำเสมอในทิศทางขนานกับแนวแกนของแท่งตัวอย่างหิน ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยใช้ตัวแคลมป์ (clamp) ขนาดใหญ่บีบอัดแผ่นตัวนำให้ติดกับปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวอย่างหิน ทั้งนี้เพื่อประกันว่าผิวสัมผัสที่เป็นแผ่นทองแดงติดแน่นกับปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวอย่างหินเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพื่อส่งผลให้กระแสไหลผ่านตัวอย่างหินอย่างสม่ำเสมอ
- 3.3 ขั้วไฟฟ้าศักย์ 2 ขั้วจะถูกจัดวางให้ห่างกันประมาณ 5-10 เซนติเมตร และสัมผัสกับผิวรูปทรงกระบอกของแท่งตัวอย่างหิน โดยให้แนวของขั้วไฟฟ้าศักย์ขนานกับแกนของแท่งตัวอย่างหิน ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าศักย์ทั้งสองจะถูกตรวจวัดโดยส่วนที่เป็น G-BOX ของเครื่องมือ ABEM AC TERRAMETER ซึ่งพร้อมแสดงผลเป็นอัตราส่วนของความต่างศักย์ที่วัดได้จากขั้วไฟฟ้าศักย์ทั้งสองกับปริมาณกระแสที่บ่อนให้กับตัวอย่างหิน โดยอัตราส่วนนี้มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อแอมแปร์ หรือ โอห์ม ซึ่งเป็นหน่วยของค่าความต้านทาน ดังนั้นความต้านทานจำเพาะของแท่งตัวอย่างหิน ( $\rho$ ) นี้ก็สามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่าความต้านทานที่วัดได้ (R) กับพื้นที่หน้าตัด (A) ของแท่งตัวอย่างแล้วหารด้วยระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าศักย์ (L) หรือ  $\rho = R \cdot A / L$  ดังนั้นความต้านทานจำเพาะที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น โอห์ม เมตร
- 3.4 ตัวอย่างหินจะเป็นตัวอย่างหินที่ได้จากหลุมเจาะ ตัวอย่างหินที่ใช้จะมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพเดิมมากที่สุดและยังอิมมิดด้วยน้ำ โดยแท่งตัวอย่างหินที่จะถูกห่อหุ้มไว้ด้วย

แผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้จะมีค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าความต้านทานจำเพาะ ณ ดินเดิม

- 3.5 ใช้ตัวอย่างดินจากหลุมเจาะเก็บตัวอย่างดินตะกอนและดิน ภายใต้อ่างถ่านหินลิกไนต์ กระบี่ การให้รายละเอียดแห่งประเทศไทย จังหวัดกระบี่ ตำแหน่งของหลุมเจาะแสดงไว้ในรูปที่ 5 โดยการสุ่มคัดเลือกตัวอย่างทุกระยะประมาณ 5-10 เซนติเมตร ตลอดความยาวของแท่งตัวอย่างที่ได้จากหลุมเจาะ ตัวอย่างดินจะมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ตัวอย่างดินนี้เป็นตัวอย่างจากจะถูกเก็บรักษาไว้อย่างดีห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำที่มีอยู่ภายในตัวอย่างดิน แท่งตัวอย่างดินจะถูกนำมาตัดให้มีความยาวประมาณ 10-20 เซนติเมตร

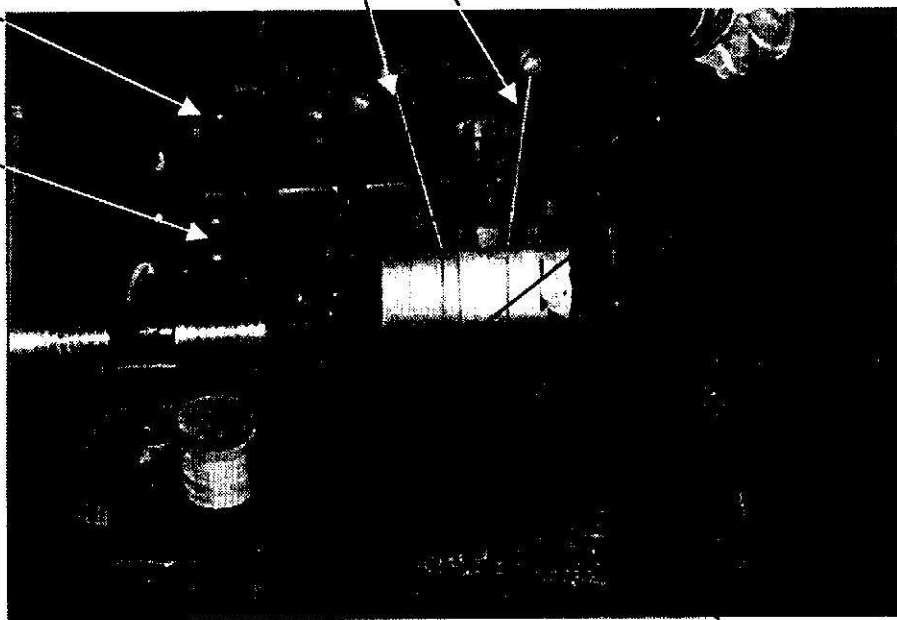


รูปที่ 3 ชุดอุปกรณ์ยึดจับแท่งตัวอย่างหินสำหรับการวัดความต้านทานจำเพาะ

ชั้วคักยสำหรับวัดค่าความต่างคักยไฟฟ้า

G-BOX

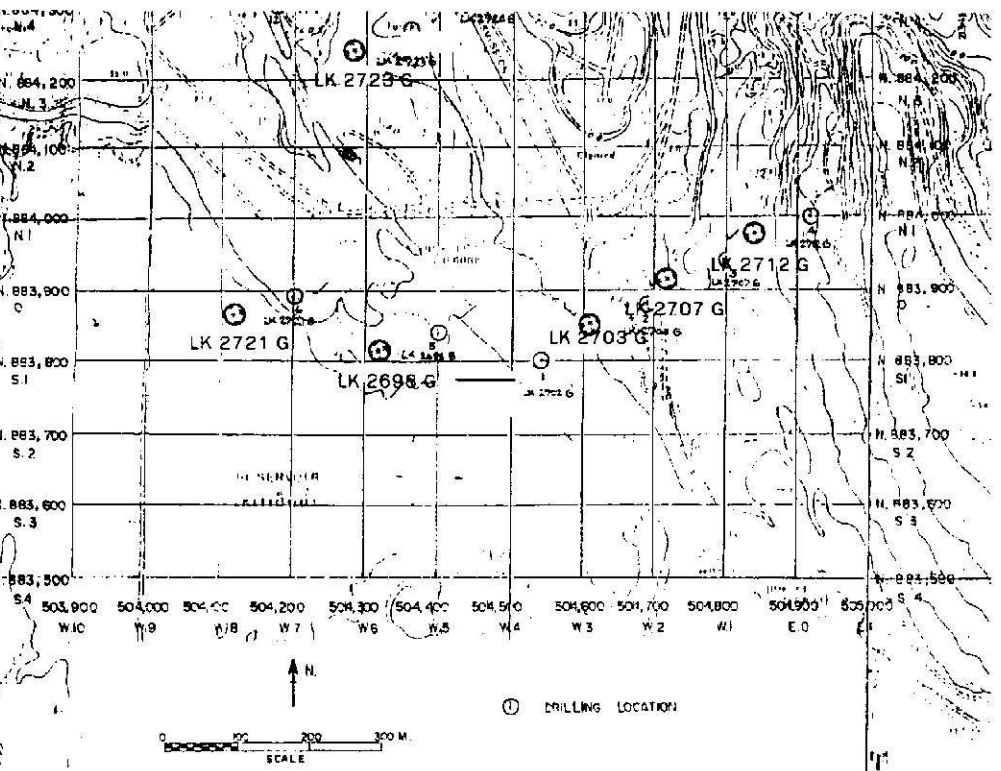
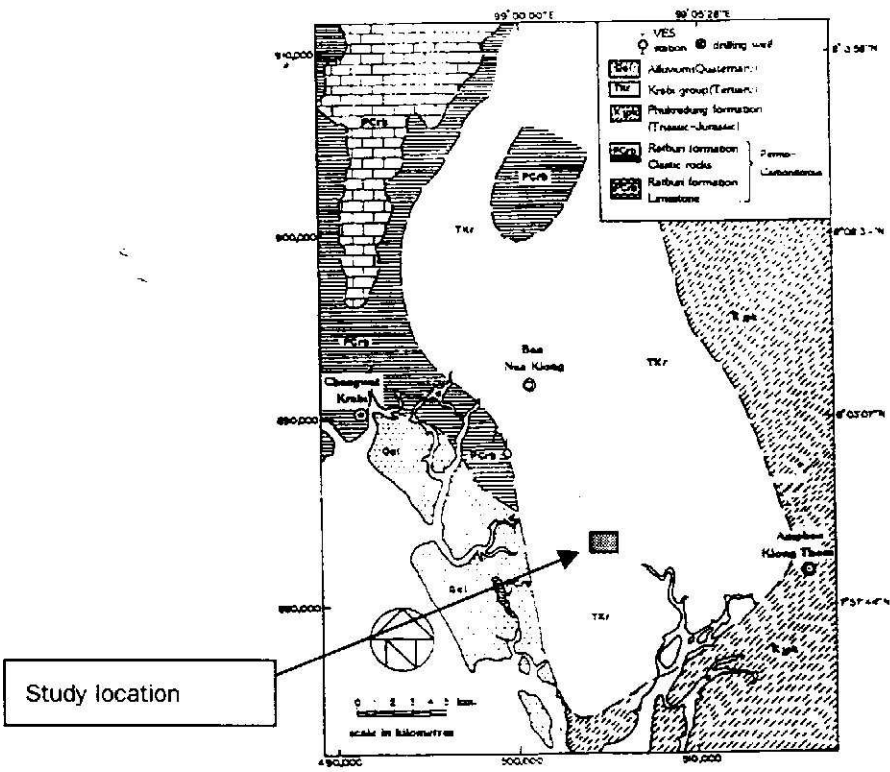
V-BOX



ชั้วต้อสำหรับป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับตัวอย่างหิน

ตัวอย่างหิน

รูปที่ 4 การต้อชุดอุปกรณ์สำหรับวัดความต้านทานของตัวอย่างหิน



รูปที่ 5 ตำแหน่งของหลุมเจาะเก็บตัวอย่างหินบนแผนที่ธรณีวิทยาของแอ่งกระบี่

## 4 ผลและวิจารณ์

- 4.1 วิธีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน ซึ่งประกอบด้วย (1) ส่วนที่ยึดจับแท่งตัวอย่างหิน ส่วนนี้เป็นส่วนที่ออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ทั้งหมด (รูปที่ 3) และ (2) อุปกรณ์วัดความต้านทาน ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่จ่ายไฟให้กับตัวอย่างหิน และสามารถวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าศักย์ที่สัมผัสกับตัวอย่างหินและแสดงผลในรูปของอัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าศักย์กับกระแสที่ป้อนให้กับตัวอย่างหิน ส่วนที่ (2) นี้เป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม คือ ABEM AC TERRAMETER (รูปที่ 4) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำให้ไหลผ่านตัวอย่างหิน และเป็นอุปกรณ์วัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าศักย์ที่กำหนด แล้วแสดงผลเป็นอัตราส่วนของความต่างศักย์ที่วัดได้กับปริมาณกระแสที่ป้อนออกไป เรียกว่าความต้านทานในหน่วยโอห์ม และเมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ส่วนที่ (1) และส่วนที่ (2) เข้าด้วยกัน ก็สามารถใช้อุปกรณ์รวมชุดนี้วัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน โดยตัวอย่างหินที่ใช้ควรมีรูทรงกระบอกและเป็นตัวอย่างหินตะกอนที่ได้จากการเจาะสำรวจและสามารถวัดค่าความต้านทานจำเพาะได้ทันทีที่นำตัวอย่างหินขึ้นมาจากหลุมเจาะ
- 4.2 ได้ใช้ชุดอุปกรณ์ข้างต้นวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ได้จากหลุมเจาะภายในแอ่งถ่านหินลิกไนต์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่จังหวัดกระบี่จำนวน 7 หลุมเจาะ โดยความยาวของแท่งตัวอย่างหินในแต่ละหลุมไม่เท่ากัน และการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของแท่งตัวอย่างหินจะสุ่มตัวอย่างที่ทุกๆ 5 หรือ 10 เมตร ตลอดความยาวของแท่งตัวอย่างหิน
- 4.3 ผลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของแท่งตัวอย่างหินที่ความลึกต่างๆ จากหลุมเจาะ LK2698, LK2701G, LK2703G, LK2707G, LK2712G, LK2721G และ LK2723G แสดงไว้ดังรูปที่ 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ดังนี้
- 4.3.1 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2698 ความลึกของหลุมเจาะเท่ากับ 100 เมตร และตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างหินจากหลุมเจาะนี้ เราจะชั่งตัวอย่างหินมาทุกๆ ระยะความลึกประมาณ 5 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับ

ความลึก 8-10 เมตร จะมีค่าระหว่าง 196-330 โอห์ม.เมตร ที่ระดับความลึก 17-40 เมตร จะมีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม.เมตร หรือ ประมาณ 20-70 โอห์ม.เมตร ที่ระดับความลึก 45-56 เมตร จะมีค่าสูงกว่า 100 โอห์ม.เมตร และแปรผกผันด้วยค่าความต้านทานจำเพาะ 67 โอห์ม.เมตร ที่ระดับความลึก 59 –100 เมตร ตัวอย่างหินจากหลุมเจาะนี้ จะมีความต้านทานต่ำกว่า 100 โอห์ม.เมตร กล่าวคือมีค่า 31-91 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 6)

4.3.2 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2701 หลุมเจาะนี้ จะมีความลึกเพียง 45 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะชักตัวอย่างหินมาทุกๆความลึกประมาณ 5 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับความลึก 4-30 เมตร จะมีค่า 5-35 โอห์ม.เมตร ที่ระดับความลึก 35-40 เมตร จะมีค่าประมาณ 109 โอห์ม.เมตร และที่ระดับความลึก 45 เมตร จะมีค่า 81 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 7)

4.3.3 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2703 หลุมเจาะนี้ จะมีความลึกเพียง 89 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะชักตัวอย่างหินมาทุกๆความลึกประมาณ 10 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับความลึก 5-80 เมตร จะมีค่า 7-76 โอห์ม.เมตร และที่ระดับความลึก 89 เมตร จะมีค่าสูงกว่า 100 โอห์ม.เมตร หรือประมาณ 119 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 8)

4.3.4 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2707 หลุมเจาะนี้ จะมีความลึกประมาณ 150 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะชักตัวอย่างหินมาทุกๆความลึกประมาณ 10 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับความลึก 6-140 เมตร จะมีค่า 7-37 โอห์ม.เมตร และที่ระดับความลึก 150 เมตร จะมีค่าสูงกว่า 100 ประมาณ 461 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 9)

4.3.5 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2712 หลุมเจาะนี้ จะมีความลึกประมาณ 200 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ



60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะซึบตัวอย่างหินมาทุกๆ ความลึกประมาณ 10 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับความลึก 4-50 เมตร จะมีค่า 8-32 โอห์ม.เมตร มีค่าสูงเป็น 278 โอห์ม.เมตร ที่ระดับความลึก 60 เมตร และที่ระดับความลึก 70-200 เมตร จะมีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม.เมตร หรือ ประมาณ 8-93 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 10)

4.3.6 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2721 หลุมเจาะนี้จะมีความลึกประมาณ 200 เมตร และ เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะซึบตัวอย่างหินมาทุกๆ ความลึกประมาณ 10 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ตั้งแต่ที่ระดับความลึก 7-200 เมตร จะมีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม.เมตร โดยมีค่าประมาณ 18-42 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 11)

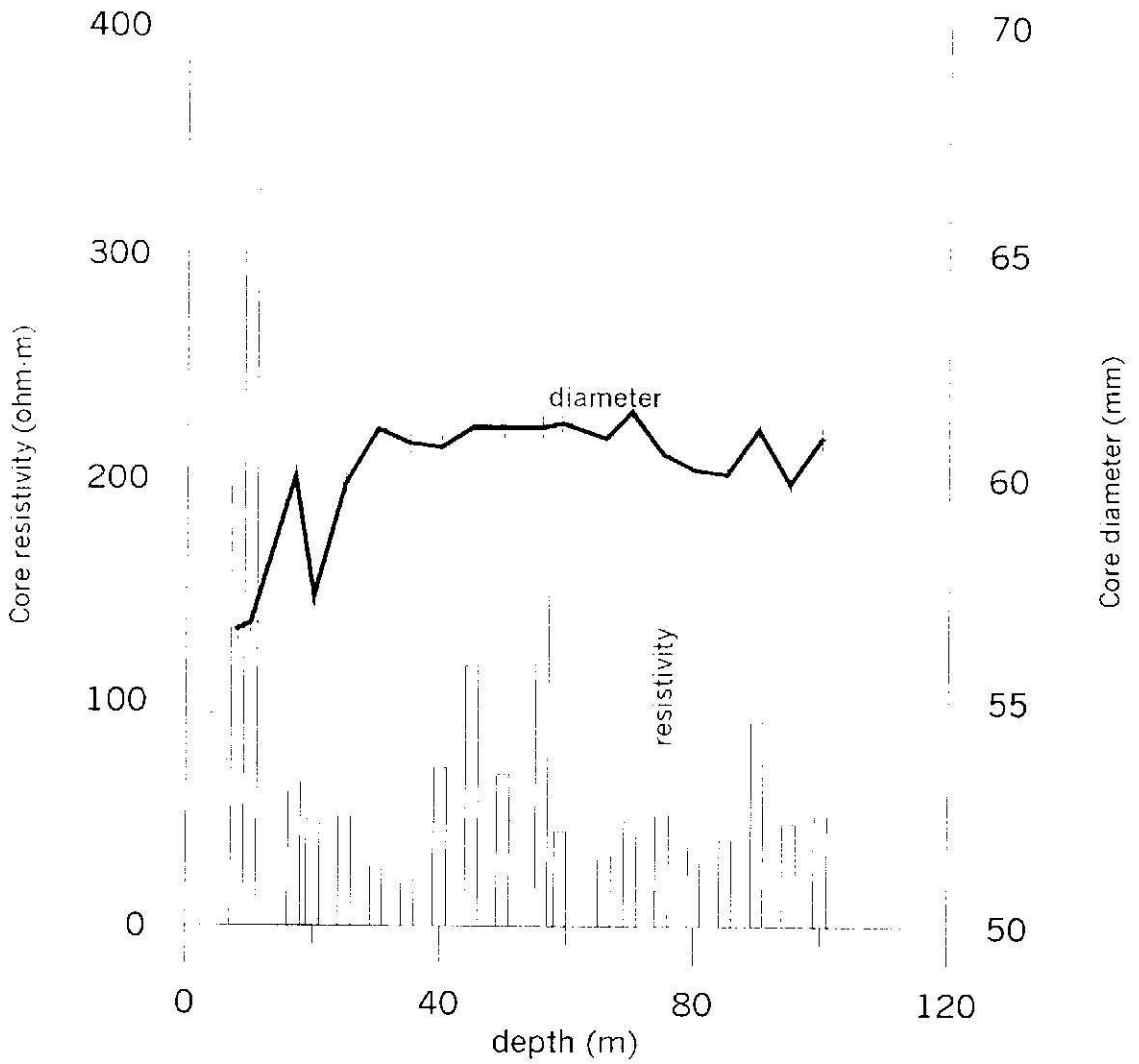
4.3.7 ในกรณีของหลุมเจาะ LK2723 หลุมเจาะนี้จะมีความลึกประมาณ 119 เมตร และ เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่างหินที่นำมาวัดค่าความต้านทานจำเพาะจะเท่ากับ 60 มิลลิเมตร สำหรับหลุมเจาะนี้ เราจะซึบตัวอย่างหินมาทุกๆ ความลึกประมาณ 10 เมตร ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะนี้ ที่ระดับความลึก 5-119 เมตรจะมีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม.เมตร โดยมีค่าประมาณ 9-35 โอห์ม.เมตร (รูปที่ 12)

4.4 ค่าความต้านทานจำเพาะที่มีค่าต่ำกว่า 30 โอห์ม.เมตร โดยทั่วไปจะเป็นตัวอย่างหิน ประเภทดินเหนียว หรือ ดินทรายแป้งที่มีเนื้อละเอียดและอิมตัวด้วยน้ำ ความต้านทาน จำเพาะที่มีค่าระหว่าง 30-100 โอห์ม.เมตร จะเป็นดินทรายเนื้อละเอียดถึงเนื้อหยาบที่มี ดินเหนียวแทรกสลับอยู่และอิมตัวด้วยน้ำ และความต้านทานจำเพาะที่มีค่ามากกว่า 100 โอห์ม.เมตร มักจะเป็นดินทรายเนื้อละเอียดถึงเนื้อหยาบที่อิมตัวด้วยน้ำ ดังนั้นการ แปรเปลี่ยนของค่าความต้านทานจำเพาะตามความลึกของหลุมเจาะจะสะท้อนการแปร เปลี่ยนประเภทของดินตามความลึก

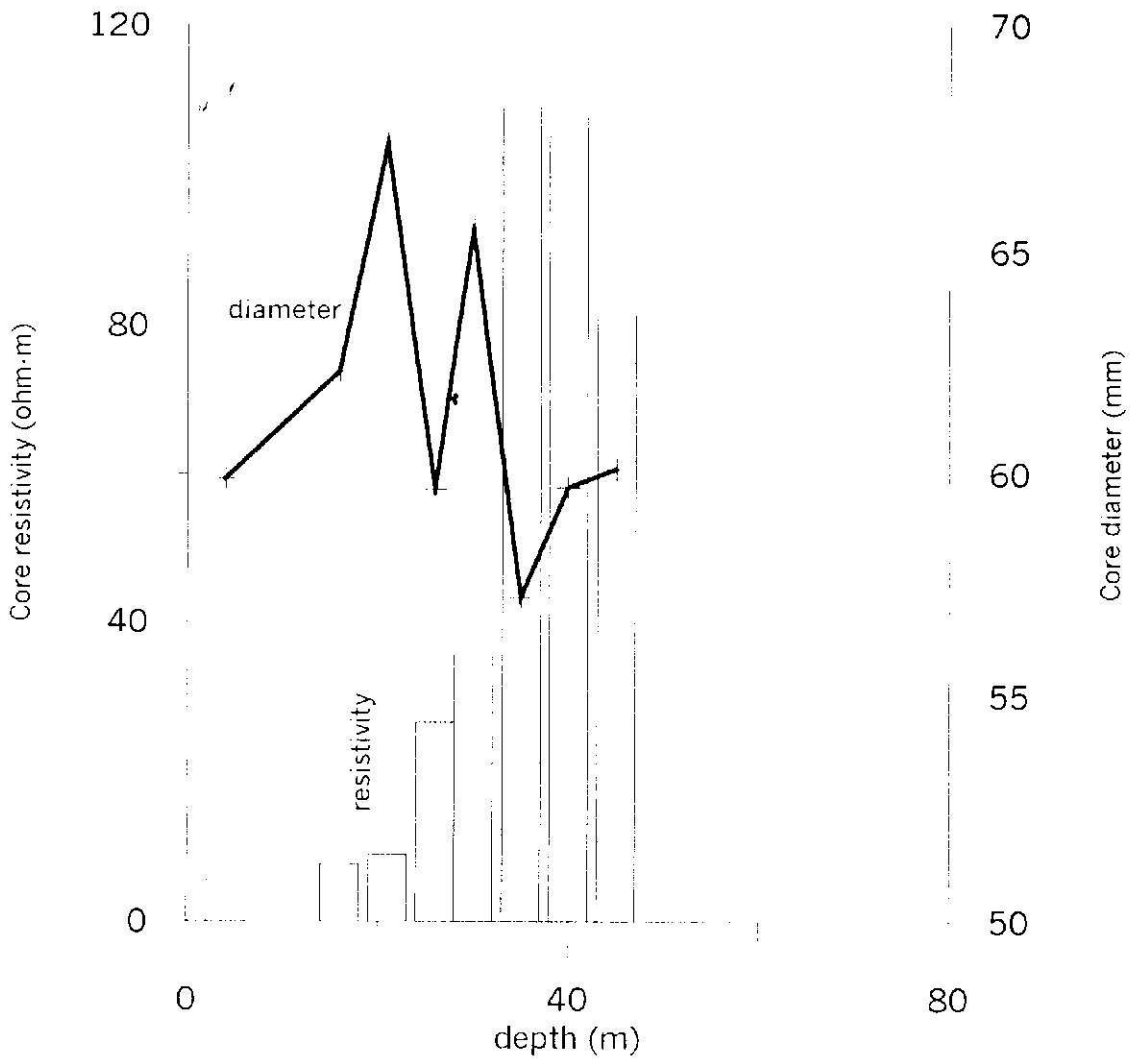
4.5 หินตะกอนในแอ่งถ้ำลิดในดักกระบีเป็นหินตะกอนยุคเทอร์เชียรี และจัดอยู่ในกลุ่มกระบี หินตะกอนควaternary ซึ่งวางอยู่ข้างลำตะกอนยุคควaternary หินตะกอนควaternary ประกอบด้วยหินดินเหนียว หินดินดาน หินดินเหนียวปนทราย หินดินเหนียวปน

ทรายแป้งและทรากบรพรพชีวิน หินปูน หินทรายกรวด หินทรายแทรกสลับด้วยดินเหนียว และลิกไนต์ (Lohawijarn and Bhongsuwan, 1993) ซึ่งจะเห็นว่าดินตะกอนในแอ่ง ลิกไนต์กระบี่มีดินเหนียวแทรกสลับอยู่เป็นส่วนใหญ่ ค่าความต้านทานจำเพาะของ ตะกอนจึงมีค่าต่ำและแกว่งกวัดรอบค่าเฉลี่ย 30 โอน์ม-เมตร

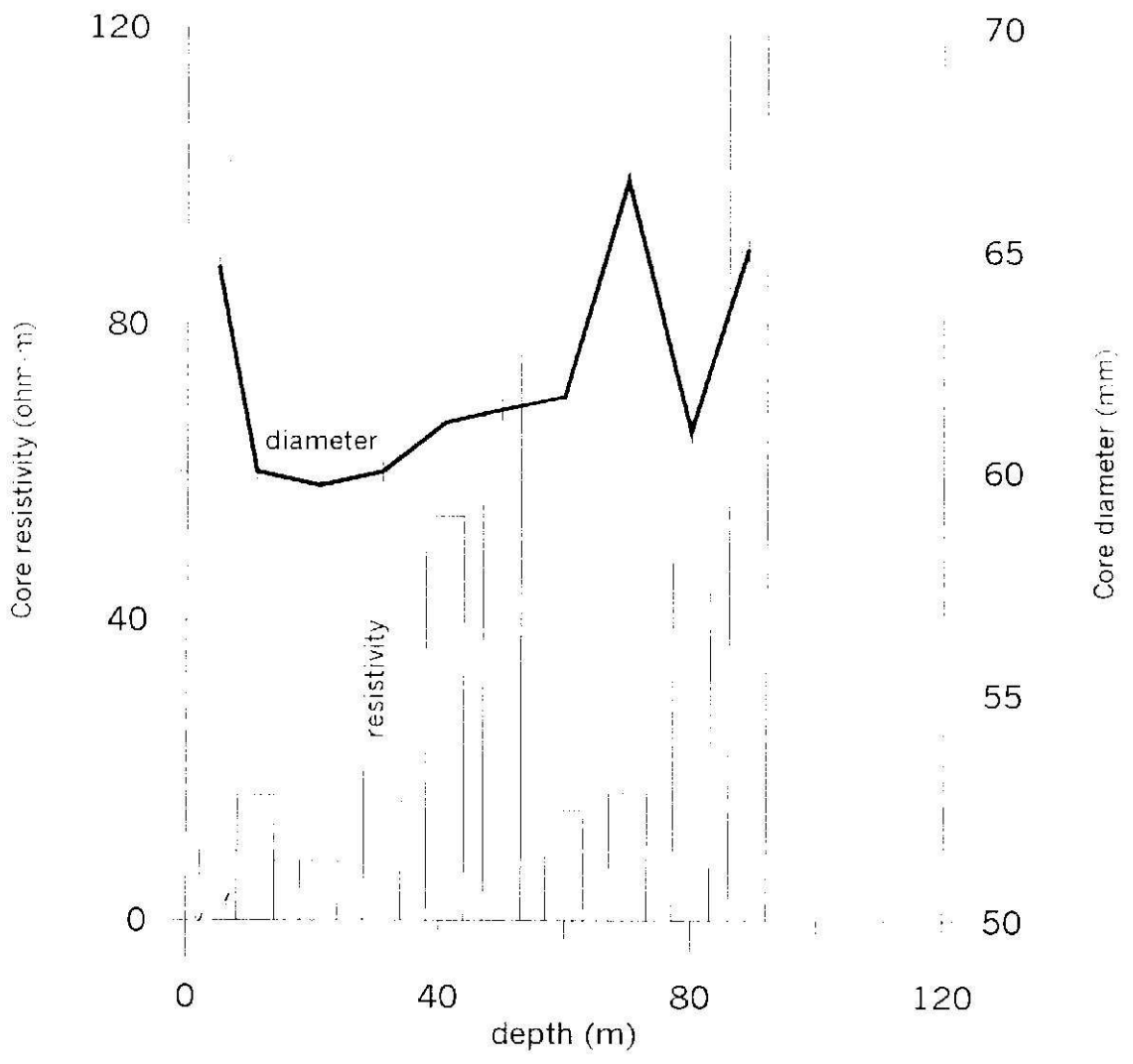
4.6 เราสามารถนำกราฟความต้านทานจำเพาะที่แปรผันตามความลึกของตัวชั่งขึ้นจาก หลุมเจาะจำนวน 6 หลุมที่อยู่ใกล้เคียงกันมาวางเรียงกันจากตะวันตกไปตะวันออก โดยการพล็อตค่าความต้านทานจำเพาะในสเกลลอการิทึมและความลึกในสเกลธรรมดา และเรียงลำดับตำแหน่งของหลุมเจาะจากแนวตะวันตกมายังตะวันออกตัวนี้คือ LK2721G, LK2723G, LK2698G, LK2703G, LK2707G และ LK2712G จะสังเกตเห็น ว่าโดยทั่วไปค่าความต้านทานจำเพาะในพื้นที่บริเวณศึกษามีค่าแกว่งไกวรอบค่าเฉลี่ย 30 โอน์ม-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจโดยเทคนิค Sirotem (Markirt et al, 1984) ซึ่งกำหนดว่าค่าความต้านทานจำเพาะของดินตะกอนในแอ่งลิกไนต์กระบี่เท่ากับ 8-30 โอน์ม-เมตร



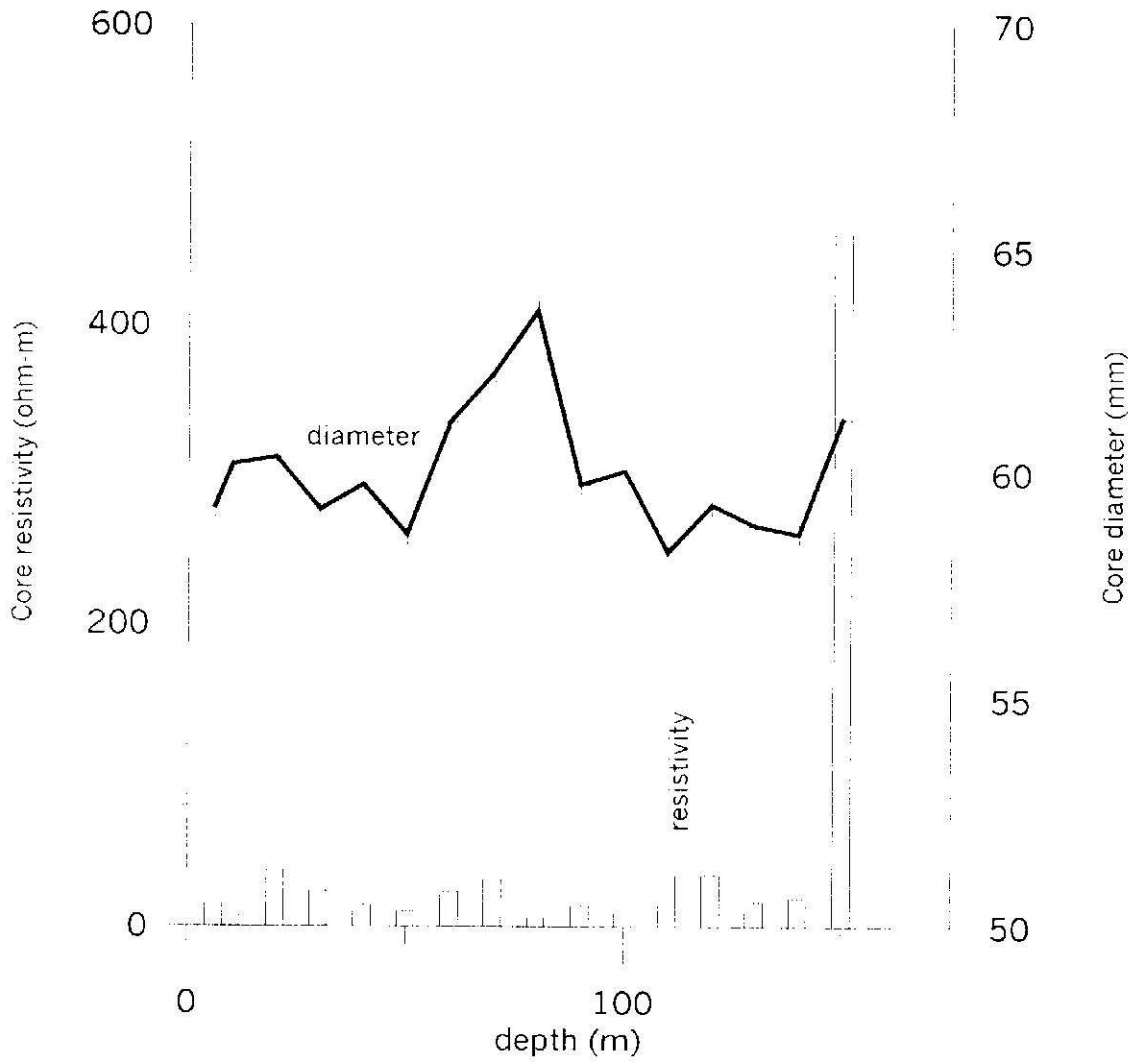
รูปที่ 6 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2698G



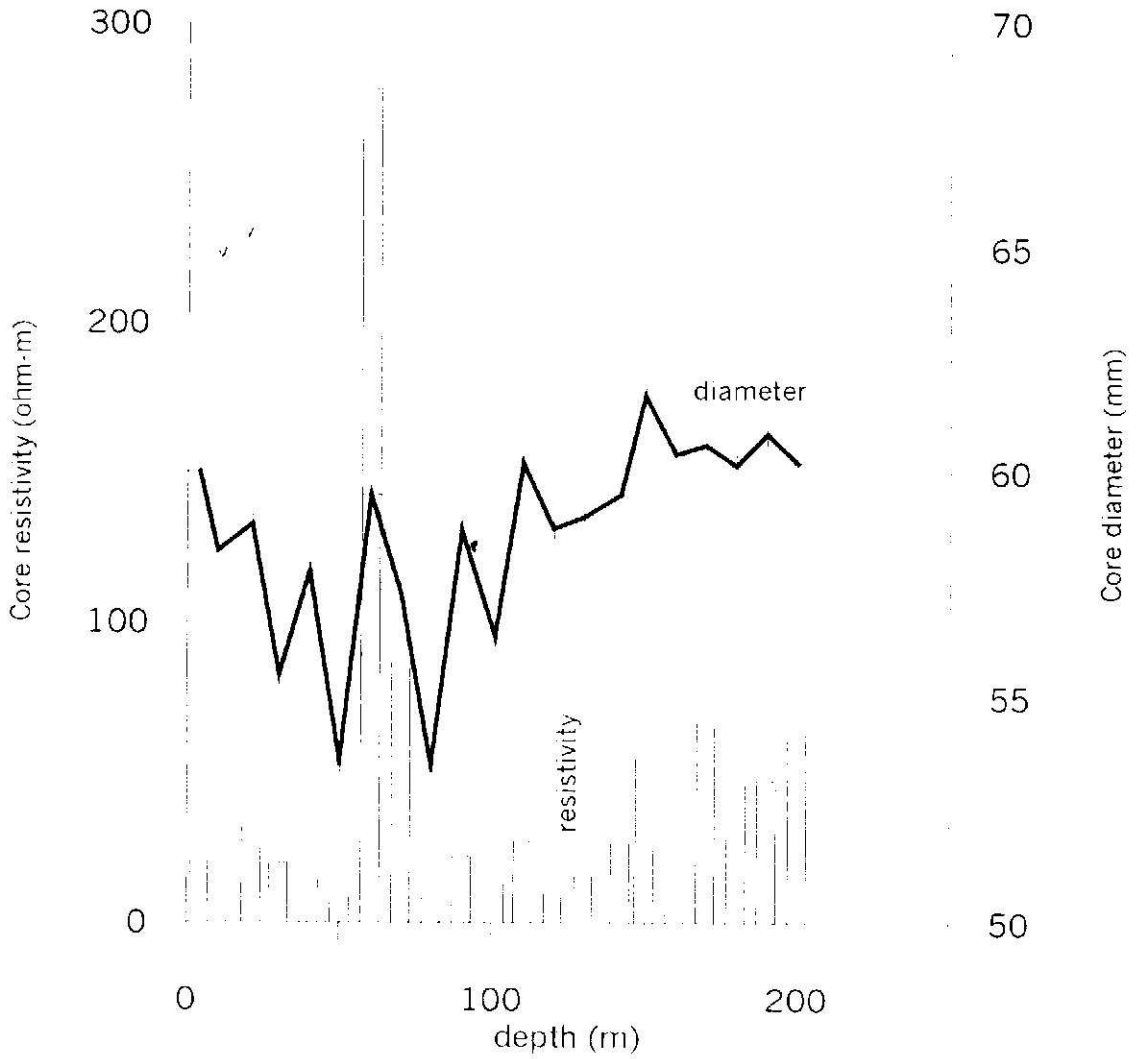
รูปที่ 7 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2701G



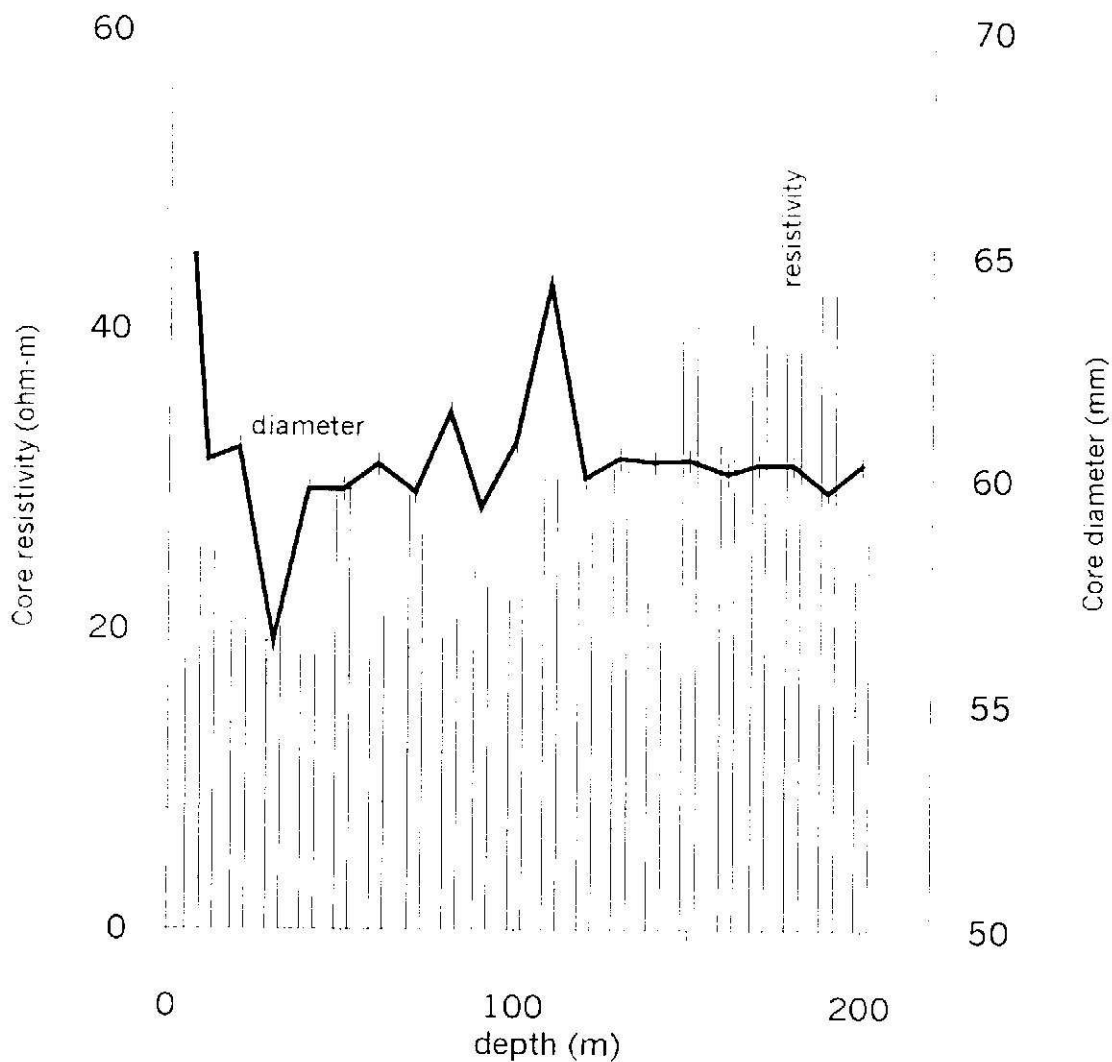
รูปที่ 8 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2703G



รูปที่ 9 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2707G

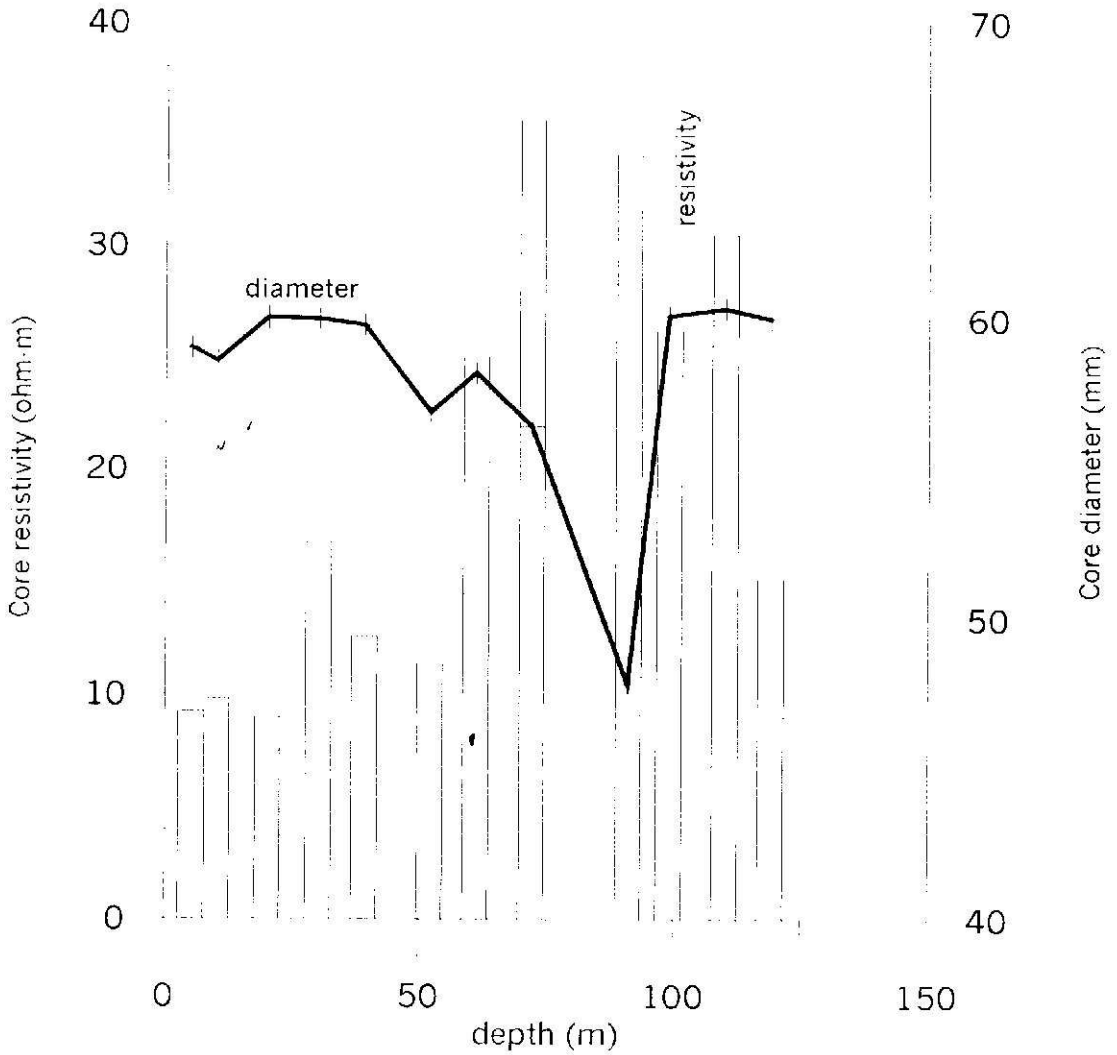


รูปที่ 10 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ I K2/12G

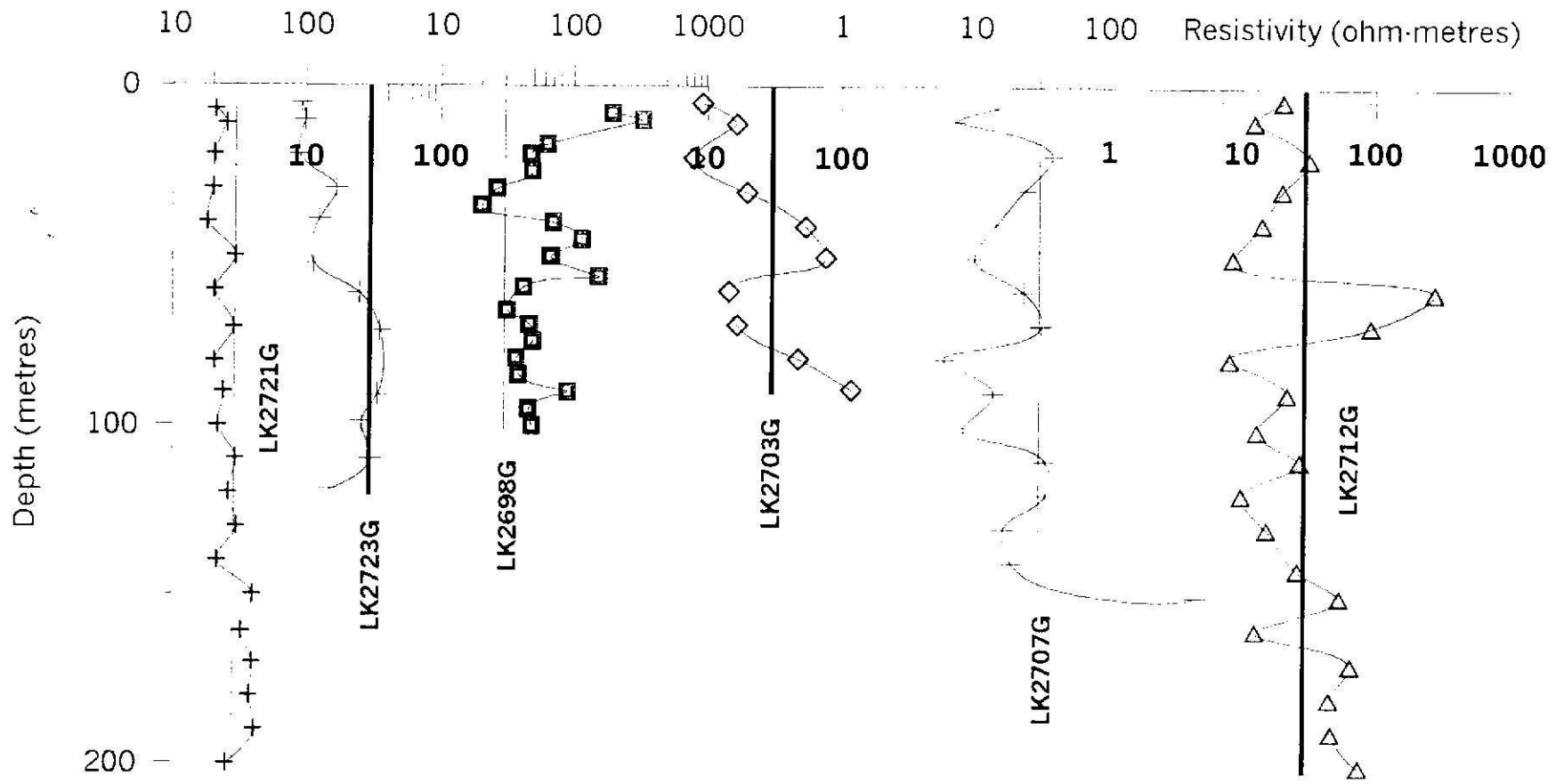


รูปที่ 11 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2721G





รูปที่ 12 ความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินของหลุมเจาะ LK2/23G



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินระหว่างหลุมเจาะ

## 5. สรุป

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหิน โดยเฉพาะกับตัวอย่างหินที่มีรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร เช่นตัวอย่างหินที่ได้จากบ่อเจาะ โดยอุปกรณ์ชุดหลักที่พัฒนาเป็นอุปกรณ์สำหรับยึดจับแท่งตัวอย่างหิน เพื่อให้กระแสไหลผ่านแท่งตัวอย่างหินอย่างสม่ำเสมอและสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ยึดจับแท่งตัวอย่างนี้กับอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์วัดความต่างศักย์

ได้ทดลองใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินตะกอนจากหลุมเจาะในแก๊สถ่านลิกไนต์กระบี่ ขอบการไฟฟ้าภายในประเทศไทย จังหวัดกระบี่ ซึ่งได้ย่นค่าค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินแล้วเป็นร้อยละค่าเฉลี่ยประมาณ 30 โหมบ-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานจำเพาะที่ประเมินได้จากการสำรวจโดยวิธี Sirotem

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Kearey, P and Brooks, M., 1991. An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Scientific Publications: Oxford, pp.173-174.
- Lohawijarn, W. and Bhongsuwan, T., 1993. Boundary delineation of a basin-like geological structure with an electrical sounding, Songklanakarin J.Sci. Technol, 15(3): 291-301
- Markirt, T., Laoprapaipan, P., Sanquanlosit, A., Jariyabhumi, O. and Anupandhanant, P., 1984. Lignite exploration at Karbi basin. Proc. Conf. On Applications of Geology and the National Development. Bangkok, Pp.9-39
- Parasnis, D.S., 1971. Physical property guide for rocks and minerals, Geophysical Memorandum 4/71. ABFM printed matter no 90157. ABFM AB:Bromma.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A., 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press : Cambridge, pp. 448-449, 455.

## ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2698G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
8	56.60	5	389.67	196.1	07.75/07.85
10	56.75	10	1306.00	330.3	10.15/10.30
17	60.05	5	112.57	63.8	16.50/16.60
20	57.35	5	91.47	47.3	20.40/20.45
25	59.90	10	172.47	48.6	25.25/25.40
30	61.10	10	89.70	26.3	30.00/30.20
35	60.80	10	69.63	20.2	35.00/35.15
40	60.70	10	242.33	70.1	40.00/40.15
45	61.15	10	394.00	115.7	45.20/45.45
50	61.15	10	229.33	67.4	50.00/50.15
56	61.15	10	529.00	155.4	55.60/55.85
59	61.25	10	142.43	42.0	59.05/59.25
66	60.90	10	108.17	31.5	65.60/65.90
70	61.50	10	156.33	46.4	70.00/70.15
75	60.55	5	85.87	49.5	75.30/75.45
80	60.20	5	64.87	36.9	80.00/80.10
85	60.10	10	136.30	38.7	85.15/85.25
90	61.10	10	311.00	91.2	90.30/90.45
95	59.90	5	81.67	46.0	95.40-95.55
100	60.90	10	168.13	49.0	99.80/100.00

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2701G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
4	59.90	5	9.80	5.52	04.45/04.55
16	62.30	10	24.99	7.62	15.65/15.80
21	67.40	5	12.48	8.91	20.85/20.95
26	59.65	10	94.70	26.46	25.55/25.70
30	65.50	10	105.43	35.53	30.35/30.50
35	57.20	10	424.67	109.13	35.15/35.30
40	59.70	10	386.67	108.24	40.00/40.20
45	60.10	5	143.20	81.25	44.50/44.60

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2703G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
5	64.60	10	28.10	9.21	04.60/04.75
11	60.00	10	58.60	16.57	10.50/10.65
21	59.70	10	28.40	7.95	20.55/20.70
31	60.00	5	34.97	19.78	30.55/30.65
41	61.10	5	92.07	53.99	41.40/41.48
50	61.40	10	258.00	76.39	50.10/50.20
60	61.70	10	49.00	14.65	60.15/60.25
70	66.60	10	48.60	16.93	70.00/70.15
80	60.90	10	164.20	47.83	79.55/79.65
89	65.00	10	359.00	119.13	89.45/89.60

## ภาคผนวก ง.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่สามแห่ง LK2707G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
6	59.25	10	53.30	14.70	06.15/06.30
10	60.20	10	24.90	7.09	10.20/10.30
20	60.35	10	130.60	37.36	20.00/20.20
30	59.20	10	85.20	23.45	30.05/30.18
40	59.75	10	51.20	14.36	40.10/40.20
50	58.65	10	36.60	9.89	50.25/50.35
60	61.15	10	79.00	23.20	60.00/60.15
70	62.25	10	103.10	31.38	70.65/70.78
80	63.65	10	18.53	5.90	80.75/80.90
90	59.75	10	49.20	13.80	90.20/90.35
100	60.05	10	29.20	8.27	100.35/100.50
110	58.25	10	126.90	33.82	110.25/110.40
120	59.30	10	123.10	34.00	120.50/120.65
130	58.85	10	60.30	16.40	130.30/130.40
140	58.65	10	69.90	18.88	140.35/140.45
150	61.20	10	1568.00	461.25	149.85/150.00



## ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2712G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
4	60.00	10	71.80	20.30	4.00/4.08
10	58.25	10	46.40	12.37	10.05/10.15
21	58.85	10	117.10	31.85	20.85/21.00
30	55.50	10	82.80	20.03	30.40/30.50
40	57.80	10	54.20	14.22	40.26/40.40
50	53.60	10	38.00	8.57	50.60/50.72
60	59.50	10	999.90	278.02	60.18/60.30
70	57.30	10	361.00	93.09	70.10/70.20
80	53.50	10	36.10	8.12	80.35/80.50
90	58.70	10	81.60	22.08	90.05/90.20
101	56.35	10	52.60	13.12	101.20/101.35
110	60.20	10	96.30	27.41	110.30/110.40
120	58.75	10	36.90	10.00	120.45/120.55
130	59.00	20	114.30	15.62	130.20/130.40
142	59.50	10	95.90	26.67	142.20/142.30
150	61.70	20	366.00	54.72	150.15/150.25
160	60.40	20	90.00	12.89	160.14/160.28
170	60.60	20	462.00	66.63	170.08/170.30
180	60.15	20	325.00	46.18	180.45/180.60
190	60.85	20	328.00	47.69	190.16/190.30
200	60.20	20	541.00	76.99	199.84/199.97

## ภาคผนวก จ.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2721G

๗

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity (ohm.m)	remark
7	65.00	5	31.57	20.95	06.85/07.00
11	60.40	10	88.60	25.39	10.85/11.00
20	60.65	5	35.77	20.67	20.45/20.58
30	56.40	10	80.63	20.14	30.00/30.15
40	59.75	10	65.07	18.25	40.25/40.45
50	59.75	5	52.98	29.71	50.00/50.05
60	60.30	10	72.90	20.82	60.00/60.15
71	59.70	5	51.57	28.87	70.90/71.00
81	61.45	5	34.90	20.70	80.90/81.00
90	59.35	5	43.80	24.23	90.35/90.50
100	60.80	5	37.90	22.01	100.20/100.35
110	64.35	5	46.00	29.92	110.00/110.10
120	60.00	5	46.77	26.45	120.00/120.10
130	60.45	10	106.50	30.57	130.00/130.25
140	60.35	5	38.37	21.95	140.10/140.20
150	60.40	10	141.60	40.57	150.15/150.30
161	60.10	5	59.13	33.55	160.55/160.65
170	60.30	10	141.93	40.53	170.30/170.40
180	60.30	10	135.27	38.63	180.05/180.20
190	59.70	5	75.80	42.44	190.2/190.3
200	60.30	5	45.53	26.00	199.75/199.85

## ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของตัวอย่างหินที่ตำแหน่ง LK2723G

depth(m)	diameter(mm)	length(mm)	reading(ohm)	resistivity(ohm.m)	remark
4	60.00	10	71.80	20.30	4.00/4.08
10	58.25	10	46.40	12.37	10.05/10.15
21	58.85	10	117.10	31.85	20.85/21.00
30	55.50	10	82.80	20.03	30.40/30.50
40	57.80	10	54.20	14.22	40.26/40.40
50	53.60	10	38.00	8.57	50.60/50.72
60	59.50	10	999.90	278.02	60.18/60.30
70	57.30	10	361.00	93.09	70.10/70.20
80	53.50	10	36.10	8.12	80.35/80.50
90	58.70	10	81.60	22.08	90.05/90.20
101	56.35	10	52.60	13.12	101.20/101.35
110	60.20	10	96.30	27.41	110.30/110.40
120	58.75	10	36.90	10.00	120.45/120.55
130	59.00	20	114.30	15.62	130.20/130.40
142	59.50	10	95.90	26.67	142.20/142.30
150	61.70	20	366.00	54.72	150.15/150.25
160	60.40	20	90.00	12.89	160.14/160.28
170	60.60	20	462.00	66.63	170.08/170.30
180	60.15	20	325.00	46.18	180.45/180.60
190	60.85	20	328.00	47.69	190.16/190.30
200	60.20	20	541.00	76.99	199.84/199.97