

ความต้านทานจำเพาะของดินและการประยุกต์

โดย ดร.สุรพงษ์ จิระรัตนานนท์ \*

บทคัดย่อ

การสะสมข้อมูลพื้นฐานในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ และการพัฒนาเทคนิคการใช้ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มีส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศ บทความนี้รายงานความพยายามในการเก็บข้อมูลพื้นฐานหนึ่ง คือความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณมหาวิทยาลัย และผลการวิเคราะห์และคาดคะเนจากค่าความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณบ่อน้ำบาดาลบางแห่ง

Abstract

Collection of engineering data and development of techniques in utilizing these data are essential to the development of a country. This paper reports an attempt to obtain soil resistivity data for the area within the Khonkaen University campus. Results of analysis and prediction for soil resistivity measurements from the area in the vicinity of some underground artesian wells are also presented.

---

\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## คำนำ

ความต้านทานจำเพาะเชิงไฟฟ้าของดิน (electrical resistivity of soil) เป็นดัชนีชี้ลักษณะของดินในเชิงไฟฟ้าหนึ่งซึ่งมีความสำคัญหลายประการ ในวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณหนึ่งๆ เป็นเครื่องชี้ดัชนีการนำไฟฟ้าในบริเวณนั้น และเป็นค่าที่จะต้องทราบเพื่อใช้ในการออกแบบระบบกราวด์ (grounding system) ที่เหมาะสม ในวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ความต้านทานของดินมีส่วนสำคัญในการแผ่กระจายของคลื่นวิทยุ โดยเฉพาะการแผ่กระจายในลักษณะที่อาศัยดินที่เรียกว่า การแผ่กระจายคลื่นดิน (ground wave propagation) บริเวณใดที่มีความต้านทานจำเพาะค่าคลื่นดินสำหรับความถี่หนึ่งๆ จะไปได้ไกลกว่า ความต้านทานจำเพาะจึงมีส่วนโดยตรงกับการแผ่กระจายคลื่น

การวัดความต้านทานจำเพาะของดินและการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจำเพาะของดินยังได้ประยุกต์ใช้ในธรณีวิทยา ในธรณีฟิสิกส์ (geophysics) ได้พัฒนาเทคนิคการวัดความต้านทานจำเพาะของดินและการแปลผลการเปลี่ยนแปลงความต้านทานจำเพาะในสภาพต่างๆ เพื่อใช้คาดคะเนลักษณะส่วนประกอบและโครงสร้างทางธรณีวิทยา เทคนิคดังกล่าวมีประโยชน์และได้ผลพอสมควรในการสำรวจหาแหล่งน้ำใต้ดิน วิธีการที่ใช้ทั่วไปคือวัดความต้านทานโดยใช้อิเล็กโทรดจัดวางระยะห่างต่างๆกัน ผลที่ได้จากการวัดจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ควรได้ในทฤษฎีในกรณีต่างๆ เพื่อใช้ในการคาดคะเนลักษณะทางธรณีวิทยาอีกครั้งหนึ่ง วิธีการเช่นนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ผลถูกต้องเสมอไปแต่สำหรับแหล่งหรือบริเวณที่ทราบลักษณะทางธรณีวิทยาอย่างหยาบๆ แล้วผลที่ได้มักจะมีพอเชื่อถือได้ ข้อดีประการสำคัญของวิธีนี้คือความสะดวก รวดเร็วและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์สองประการ ประการหนึ่งคือแนะนำเทคนิคการวัดความต้านทานจำเพาะของดินและการแปลความหมายวิธีหนึ่งที่ใช้ในธรณีฟิสิกส์ การอธิบายจะยึดแนววิศวกรรมไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อให้ผู้อยู่ในสายวิชานี้เข้าใจได้ง่ายขึ้นซึ่งเนื้อหานี้จะอยู่ในส่วนที่สองของบทความนี้ อีกประการหนึ่งคือเสนอผลการวัดความต้านทานจำเพาะของดินสำหรับบริเวณมหาวิทยาลัยขอนแก่นและสรุปผลการวัดความต้านทานจำเพาะในบริเวณใกล้เคียงบ่อบาดาลสามแห่งซึ่งจะปรากฏในส่วนที่สามของบทความ การวัดทั้งหมดกระทำในระหว่างปี 2518 - 2519 ซึ่งนักศึกษาชั้นปีสุดท้ายในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าห้าคนเป็นผู้ทำการวัดภายใต้คำแนะนำของผู้เขียน รายงานผลปรากฏอยู่ในรายงานโครงการเลขที่ E76 ซึ่งจัดทำเพื่อเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งตามหลักสูตรปริญญาตรี

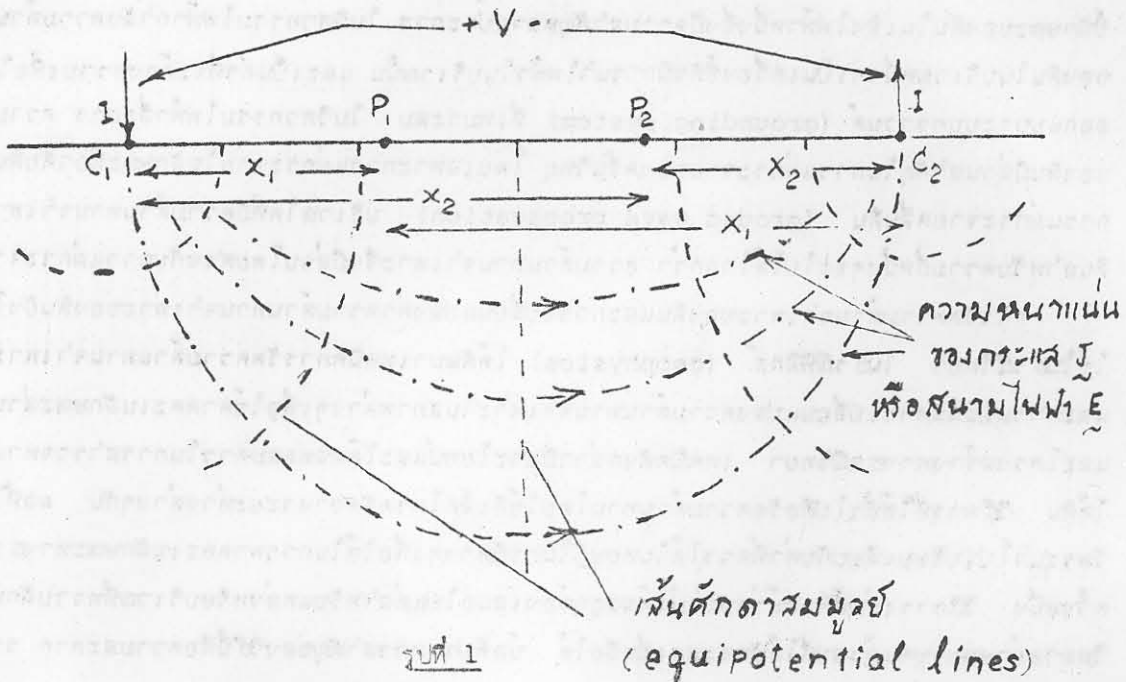
## 2. เทคนิคการวัดและแปลผล

เพื่อให้การอธิบายง่ายขึ้น พิจารณาทฤษฎีการกระจายกระแสไฟฟ้าและความสัมพันธ์กับความต้านทานจำเพาะก่อน

### 2.1 สูตรการหาความต้านทานจำเพาะ

สมมุติว่ามีตัวกลางซึ่งมีลักษณะพื้นที่กว้างและความลึกไม่จำกัด ผิวเรียบ ลักษณะเช่นนี้อนุโลมคร่าวๆว่าเป็นเช่นเดียวกับส่วนหนึ่งของโลก พื้นผิวเทียบไว้กับพื้นผิวโลก สมมุติต่อไปว่าตัวกลางนี้มีความต้านทานจำเพาะเท่ากันทุกส่วน

ถ้าหากว่ามีแหล่งกระแสไฟฟ้าที่มีลักษณะเทียบได้กับจุดสองจุด  $C_1$  และ  $C_2$  บนพื้นผิวตัวกลาง กระแส  $I$  ไหลจาก  $C_1$  สู่  $C_2$  ผ่านตัวกลาง จุด  $P_1$  และ  $P_2$  เป็นจุดสองจุดบนผิวดังรูปที่ 1



ในรูปแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด  $C_1$  และ  $C_2$  คือ  $V$  จากทฤษฎีของแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ได้ ถ้า  $V_{12}$  เป็นค่าความแรงดันระหว่างจุด  $P_1$  และ  $P_2$  จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{12}$  ในเทอมของ  $I$  และ  $\rho$  ได้ดังนี้

$$V_{12} = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{X_1} - \frac{1}{x_2} + \frac{1}{X_2} \right) \quad (1)$$

ในวิธีวัดความต้านทานจำเพาะทั่ว ๆ ไปจะวัดระยะห่างในแต่ละช่วงเท่ากันหมด\* นั่นคือ  $x_1 = x_2 = a$ ,  $X_1 = 2x_2$  และ  $x_2 = 2x_1$  ดังนั้นสมการ (1) ลดเหลือ

$$V_{12} = \frac{\rho I}{2\pi a}$$

และดังนั้นจะได้

$$\rho = 2\pi a \frac{V_{12}}{I} \quad (2)$$

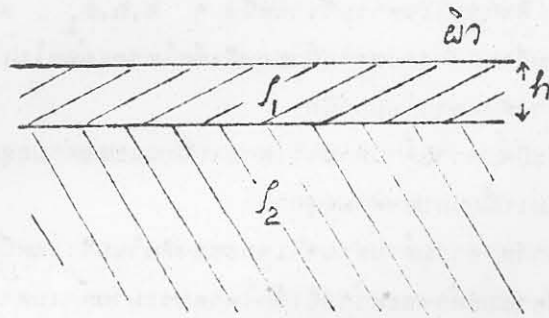
\* วิธีนี้เรียกว่าวิธีของ Wenner Gish และ Rooney

หลักการของเครื่องมือวัดความต้านทานจำเพาะของดินที่ใช้สี่อิเล็กโทรด (electrode) ดังเช่น  
ในรูปที่ 1 คือมีอิเล็กโทรดสำหรับให้กระแสสองอัน และมีอิเล็กโทรดสำหรับวัดแรงดันสองอัน มักให้ค่า  
ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับค่า  $V_{12}/I$  และเรียกค่านี้ว่า  $R_e$  ดังนั้นจะได้

$$\rho = 2\pi a \frac{V_{12}}{I}$$

$$= 2\pi a R_e \quad \text{----- (3)}$$

ความสัมพันธ์ (1)-(2) ที่ได้ พิจารณากรณีตัวกลางมีความต้านทานจำเพาะสม่ำเสมอค่าเดียว  
คราวนี้ลองพิจารณากรณีตัวกลางประกอบด้วยสองชั้น ชั้นบนมีความต้านทานจำเพาะ  $\rho_1$  และ  
ความหนาของชั้นเป็น  $h$  ชั้นล่างซึ่งมีความลึกไม่จำกัดมีความต้านทานจำเพาะ  $\rho_2$  ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2

ให้  $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$  เป็นค่าเรียกว่าดัชนีการสะท้อน และให้  $\rho_s$  เป็นค่าความต้านทานจำ-  
เพาะปรากฏ (apparent resistivity) ที่ได้จากการวัดโดยวิธีที่บรรยายข้างต้นจะได้ความสัม-  
พันธ์ดังนี้

$$\rho_s = \rho_1 \left[ 1 + 4 \frac{\rho_2}{\rho_1} k^n \frac{1}{1 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2} - \frac{1}{4 + \left(\frac{2nh}{a}\right)^2} \right] \quad \text{----- (4)}$$

ในความสัมพันธ์ (4) ค่า  $a$  เป็นระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดในการวัดซึ่งเป็นค่าที่ทราบแล้ว  
ค่า  $\rho_s$  เป็นความต้านทานจำเพาะปรากฏหรือคือค่าที่วัดได้จากเครื่อง ค่าที่ต้องการทราบจากการวัด  
คือ  $\rho_1$ ,  $k$  และ  $h$

## 2.2 เทคนิคการวัดและใช้งาน

ความสัมพันธ์ใน (2) และ (3) โดยลำพังก็เป็นประโยชน์ในการหาค่าความต้านทานจำเพาะ  
ในบริเวณหนึ่ง สำหรับนำไปออกแบบระบบกราวด์หรือนำไปใช้ในการคาดคะเนกำลังสัญญาณวิทยุ

จากประสบการณ์ที่ได้จากการทดลอง และจากรายงานที่ปรากฏในหนังสือ ธรณีฟิสิกส์ทั่วไปพบว่า มักจะมีการเปลี่ยนแปลงในโครงการสร้างของชั้นดินในระดับลึกซึ่งในแต่ละชั้นนั้นก็จะมีค่าความต้านทานจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างจากของชั้นอื่น ความกว้างของแต่ละชั้นแปรไปตามสภาพ ธรณีวิทยาของบริเวณนั้น

ชั้นดินระดับลึกไม่เกินห้า เมตรจากผิวดิน เป็นชั้นที่มีค่าความต้านทานจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ในฤดูแล้งดินชั้นนี้ในบางบริเวณจะแห้งทำให้มีค่าความต้านทานจำเพาะสูง แต่ในฤดูฝนความชื้นในดินจะทำให้ค่าความต้านทานจำเพาะต่ำ

ดังที่ปรากฏใน (4) ความต้านทานจำเพาะปรากฏมีค่าขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ในบริเวณหนึ่ง ๆ หากมีชั้นใต้พื้นสองชนิดซึ่งมีค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ความต้านทานจำเพาะปรากฏจะแปรตามระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด  $a$  (พิจารณาเฉพาะบริเวณหนึ่ง ๆ  $k, h, \rho_1$  และ  $\rho_2$  จะมีค่าคงที่) หลักปฏิบัติทั่วไปมักจะถือว่าความลึกของกระแสจากขั้วของอิเล็กโทรดแผ่ลงไปเป็นระยะเท่ากับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดหากระยะห่างดังกล่าวไม่มากนัก

ถึงแม้ว่าผิวดินส่วนนอกจะมีค่าความต้านทานจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลแต่ในระดับลึกลงไป ความต้านทานจำเพาะจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

ดังนั้นในทางปฏิบัติ ในการหาความต้านทานจำเพาะของดินในบริเวณหนึ่ง ๆ เพื่อจุดประสงค์ในการออกแบบระบบกราวนด์ มักจะจัดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดประมาณห้าเมตร (ความลึกของแท่งกราวนด์ - ground rod ที่ฝังไว้ในดินมักเป็นสี่หรือห้าเมตร) ตัวอิเล็กโทรดเองไม่จำเป็นต้องฝังลึก ค่าความต้านทานปรากฏที่วัดได้ถือเป็นค่าเฉลี่ยจากผิวดินถึงความลึกดังกล่าว

ในทาง ธรณีวิทยาการหาความต้านทานปรากฏมีจุดประสงค์เพื่อแปลหรือคาดคะเนลักษณะ ธรณีวิทยา ค่าที่ได้จากการวัดคือค่าของระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดและความต้านทานจำเพาะปรากฏ ถ้าหากว่าสามารถนำความสัมพันธ์ใน (4) มาประกอบกับผลที่ได้จากการวัดเมื่อทำการวัดโดยจัดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดหลาย ๆ ค่าและให้ผลในการคำนวณหาค่า  $\rho_1, \rho_2$  และ  $h$  ได้ก็จะสามารถคาดคะเนลักษณะการแบ่งชั้นดินของบริเวณหนึ่ง ๆ ได้

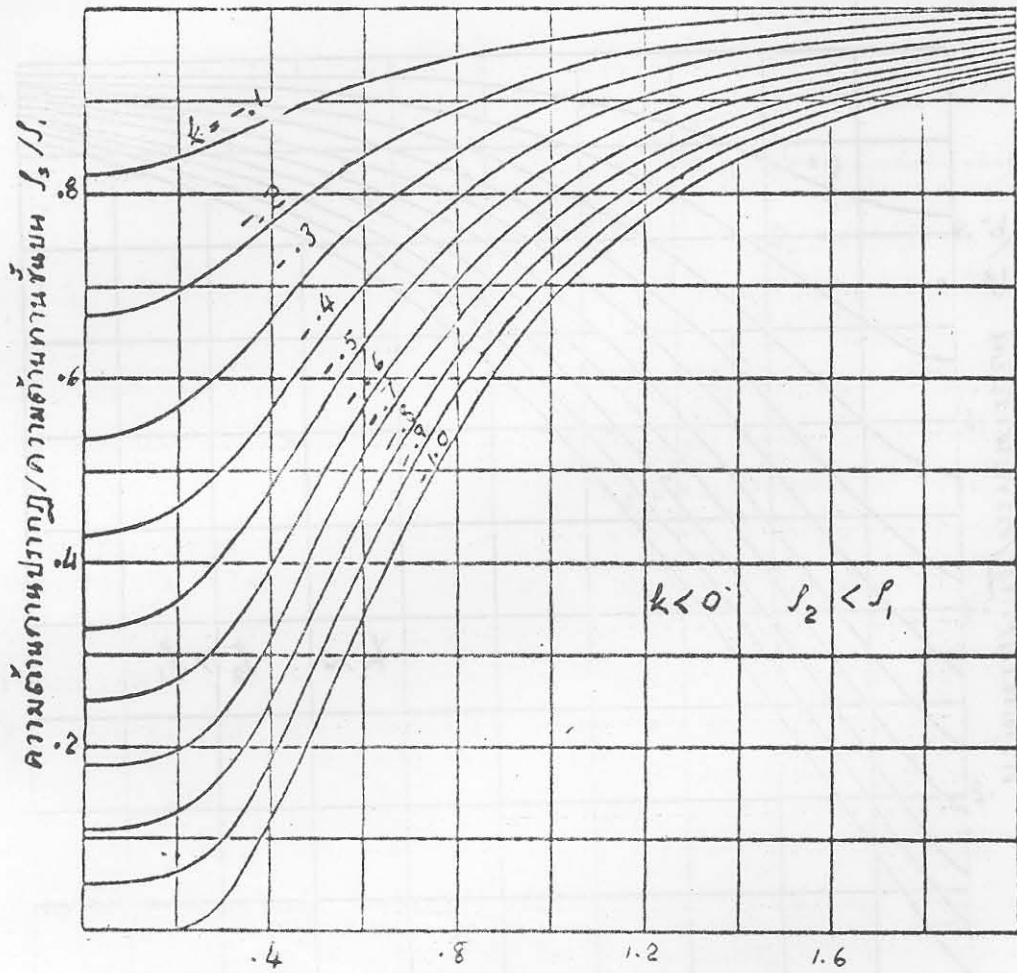
### 2.3 การแปรผลและคาดคะเน

ในส่วนที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะเน้นกรณีการแปลความหมายของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานปรากฏเมื่อระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดเปลี่ยนแปลงในเชิง ธรณีวิทยา

พิจารณาความสัมพันธ์ใน (4) หากนำ  $\rho_1$  ทหารตลอด พิจารณาค่า  $(h/a)$  เป็นตัวแปร และให้ค่า  $k$  เป็นพารามิเตอร์ (parameter) ก็จะคำนวณหาค่าของ  $\rho_s/\rho_1$  ได้ ผลที่ได้จากเป็นกราฟชุดหนึ่ง เรียกว่า โคอะแกรมของแทก (Tagg's diagram) ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3

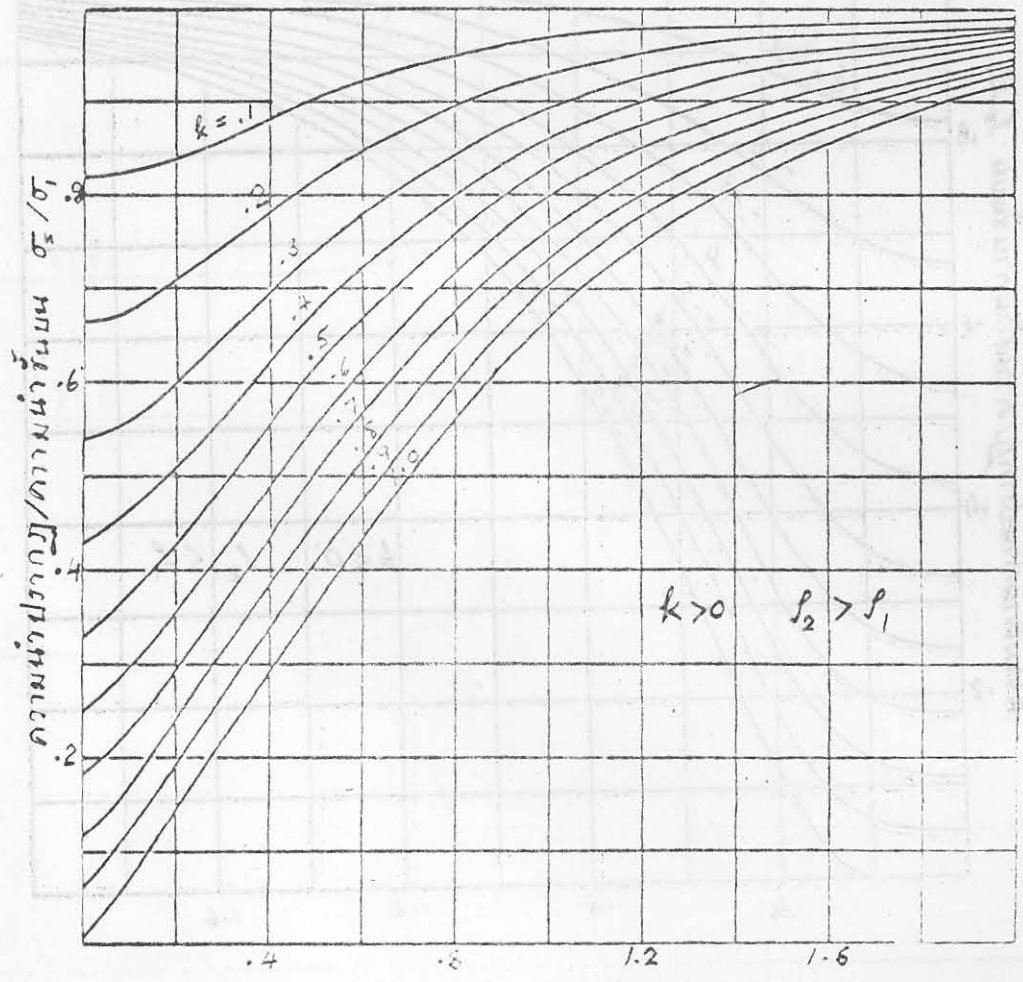


รูปที่ 3 ก.



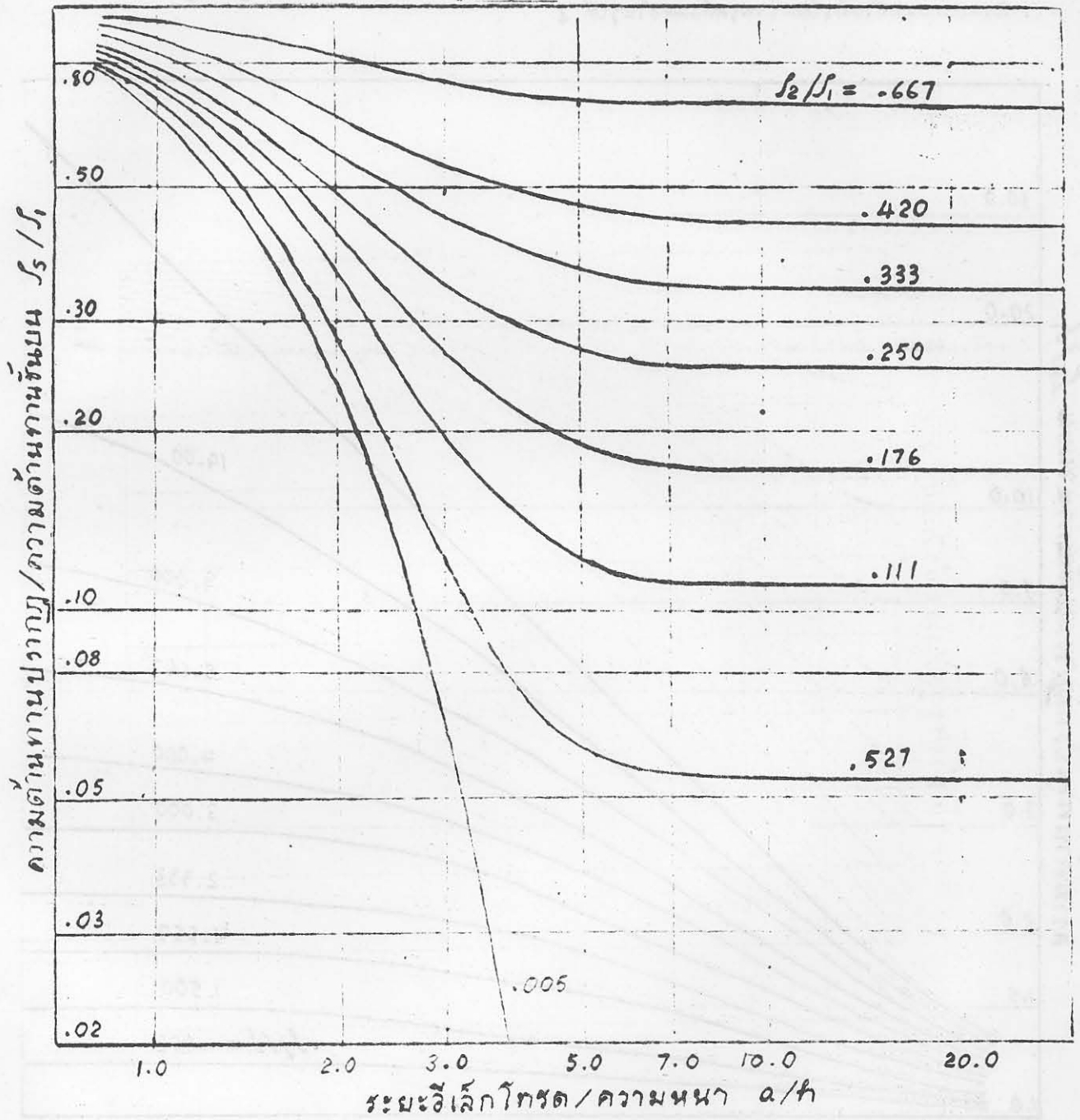
ความหนา/ระยะอิเล็กโทรด  $h/a$

รูปที่ 3 ข.



ความหนา/ระยะอีเล็กโทรด h/a

รูปที่ 4 ก.

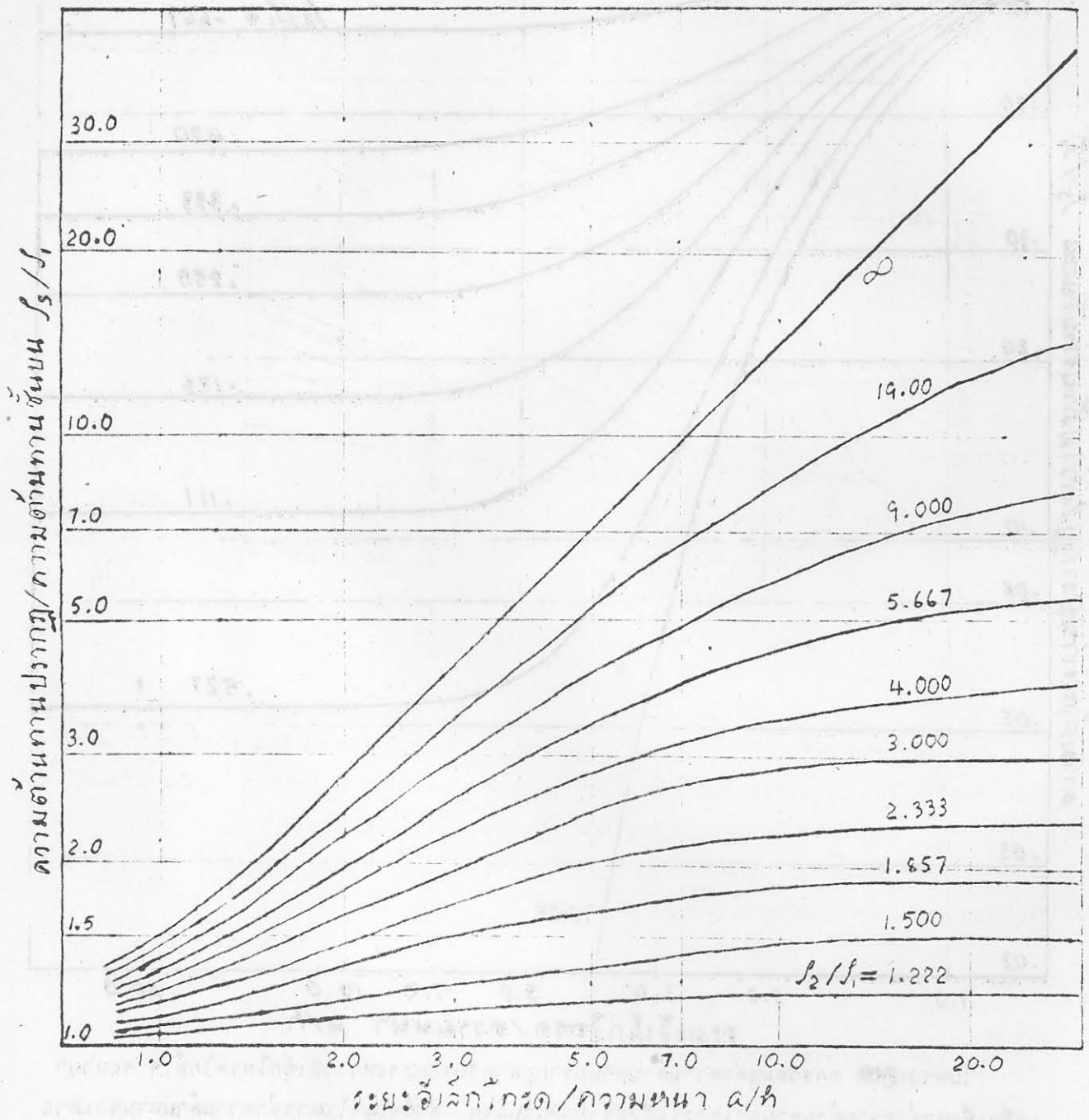


ในทางปฏิบัติ การวัดผลค่าความต้านทานปรากฏสำหรับระยะระหว่างอิเล็กโทรดใกล้ ๆ จะนำมาเฉลี่ยเพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะเฉลี่ยของผิวดินชั้นแรก ค่านี้จะนำไปหารค่าความต้านทานจำเพาะปรากฏค่าอื่น ๆ ผลที่ได้จากการวัดซึ่งประกอบด้วยค่า  $a$  และค่า  $\rho_s/\rho_1$  จะนำมาเปรียบเทียบกับกราฟในไดอะแกรมของแทก หากใกล้เคียงค่าจากกราฟใดก็จะถือว่าค่า  $k$  และ  $h$  ที่ได้จากไดอะแกรมเป็นค่าของพื้นที่บริเวณนั้น ค่า  $k$  ที่ได้จะนำไปคำนวณหาค่า  $\rho_2$  อีกที

ความสัมพันธ์ใน (4) ยังสามารถนำมาใช้เพื่อแปลผลที่ได้จากการวัดอีกหลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าจะกำหนดค่าใดเป็นตัวแปร ค่าใดเป็นพารามิเตอร์และค่าใดเป็นค่าที่ต้องการแสดง

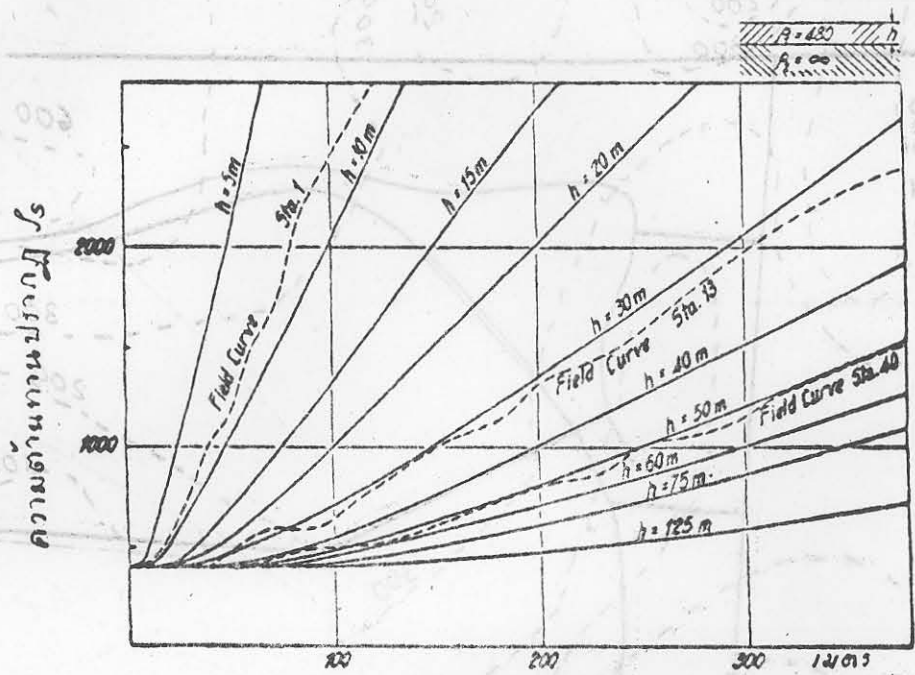


วิธีของเว็นเนอร์ (Wenner) กำหนดให้ค่า  $a/h$  เป็นตัวแปรให้  $\rho_2/\rho_1$  เป็นพารามิเตอร์ ผลที่ได้ก็เป็นกราฟชุดที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข

อีกวิธีที่ใช้กัน เป็นวิธีของชลัมเบอร์เจอร์ (Shlumberger) จัดทำชุดกราฟแต่ละชุดสำหรับ  
 ค่า  $\rho_1$  หนึ่งค่า ดังนั้นกราฟแต่ละแผ่นจึงใช้ได้กันเพียงค่า  $\rho_1$  ค่าเดียว ตัวอย่างกราฟดังกล่าว  
 ปรากฏในรูปที่ 5



ระยะอิเล็กโทรด a

รูปที่ 5

ในบางครั้งชั้นดินอาจจะมีมากกว่าสองชั้น หากชั้นแรกและชั้นที่สองอยู่ไม่ลึกนักอาจถือค่าความต้านทานปรากฏซึ่งเป็นผลรวมจากสองชั้นเป็นค่าเฉลี่ยและถือเสมือนว่าเป็นค่าของชั้นเดียว ชั้นที่สามถือเสมือนเป็นชั้นที่สอง ความสัมพันธ์ใน (4) ก็ยังอนุโลมใช้กับกรณีเช่นนี้ได้โดยประมาณ

เทคนิคการแปลความหมายผลที่ได้จากการวัดยังมีรายละเอียดต่างจากที่กล่าวมาอย่างย่อ ๆ ซึ่งไม่ใช่วัตถุประสงค์ของบทความนี้ที่จะกล่าวละเอียดถึงขนาดนั้น

3. ผลจากการวัด

3.1 ความต้านทานจำเพาะของบริเวณมหาวิทยาลัย

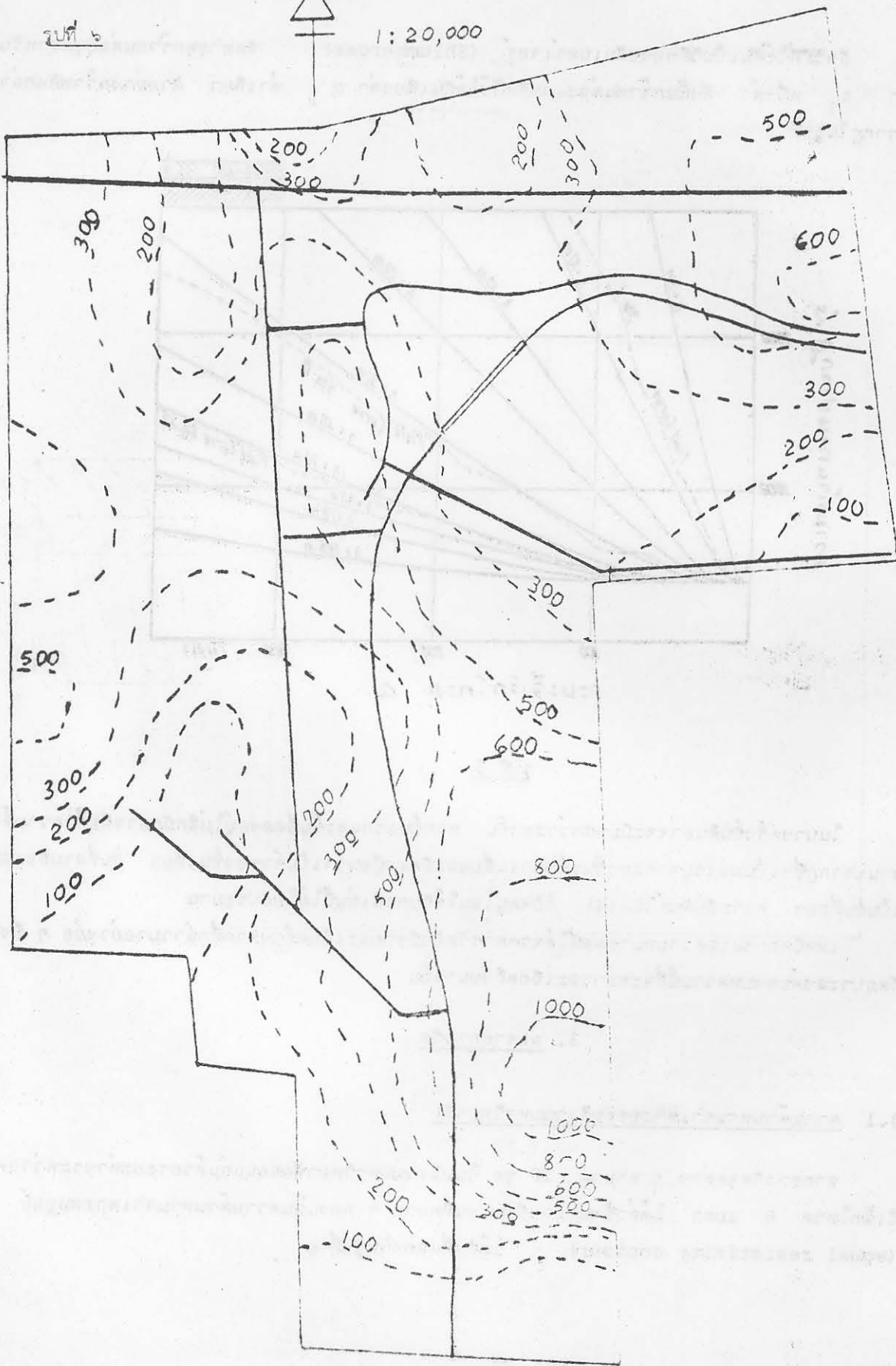
จากการวัดจุดต่าง ๆ จำนวน 30 จุด ในบริเวณมหาวิทยาลัยขอนแก่นด้วยระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 6 เมตร ได้ค่าซึ่งนำมาเขียนแผนที่หายาบ ๆ ของเส้นความต้านทานจำเพาะสมมูล (equal resistivity contour) ได้ดังที่แสดงในรูปที่ 6

207 5



1:20,000

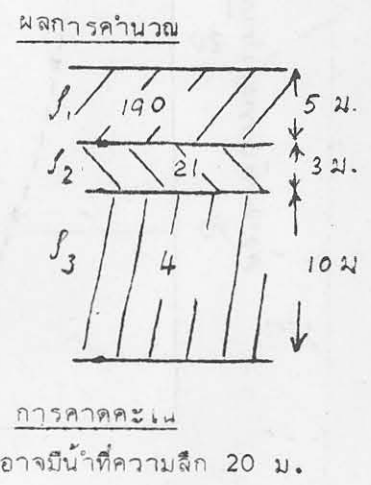
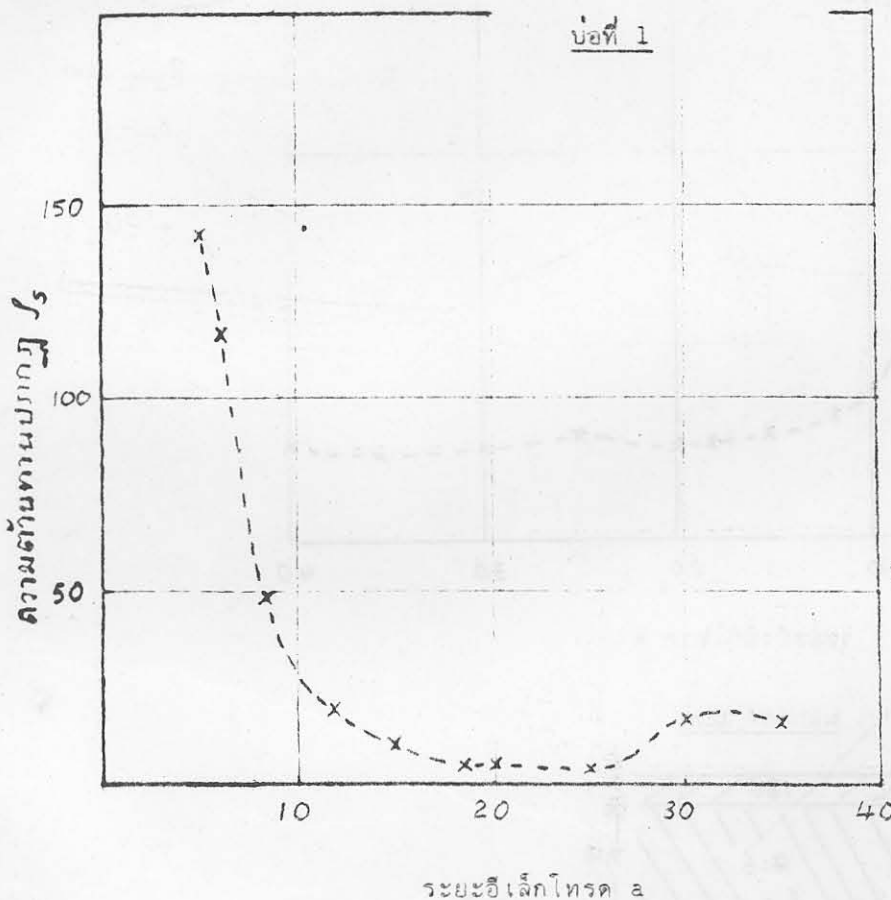
18.



ขอให้สังเกตลักษณะทั่ว ๆ ไปในรูป บริเวณที่เป็นที่สูงผลการวัดให้ค่าความต้านทานจำเพาะสูงด้วย ความต้านทานจำเพาะที่ได้มีค่าต่ำในบริเวณใกล้หนองน้ำ เช่นที่ใกล้บึงสีฐานทางทิศใต้ของมหาวิทยาลัย แผนที่ดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ในภายหน้า

3.2 ผลจากการวัดในบริเวณบ่อบาดาล

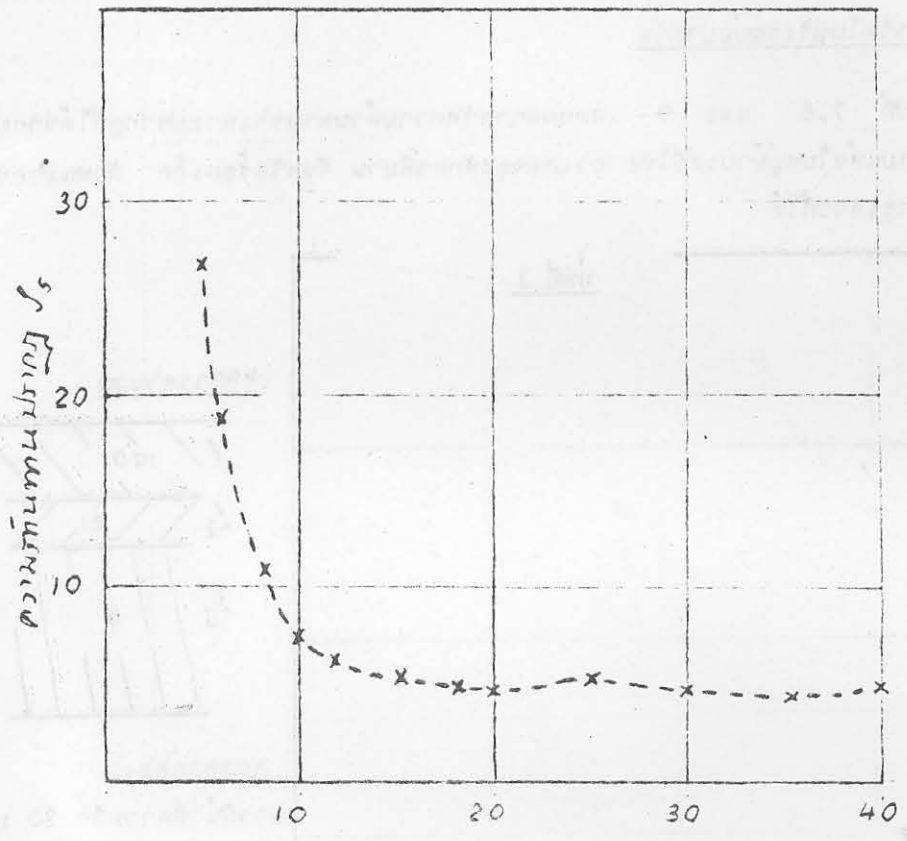
กราฟในรูปที่ 7, 8 และ 9 แสดงผลการวัดความต้านทานจำเพาะปรากฏที่ได้จากบริเวณ-เจาะบ่อบาดาลสามแห่งในหมู่บ้านเสรีไทย อำเภोजตุรพิตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด ลักษณะของกราฟ สอดคล้องกับผลการเจาะที่ได้



ผลการเจาะบ่อ	ดินชั้นบน	10 ม.
	Impervious	11 ม.
	Aquifer จากผิวดิน	21 ม.
	พบน้ำที่ระดับ static head	23 ม.
		8 ม.

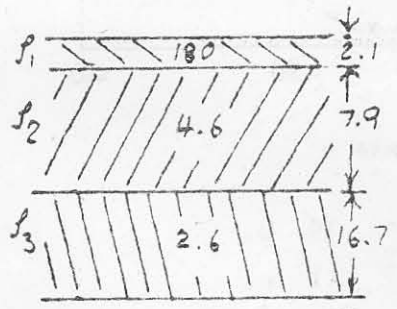
รูปที่ 7

บ่อที่ 2



ระยะอีเล็กโทรด a

ผลการคำนวณ



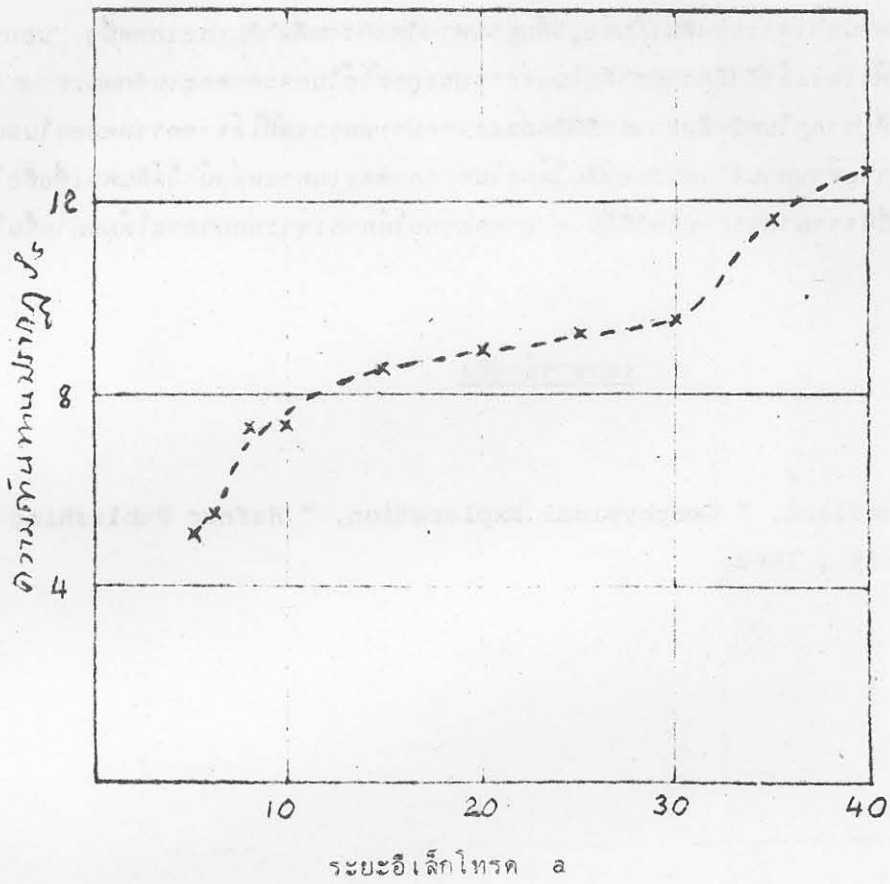
การคาดคะเน

ควรมีน้ำที่ความลึก 20 ม.  
หากมีน้ำอาจเป็นบ่อทราย

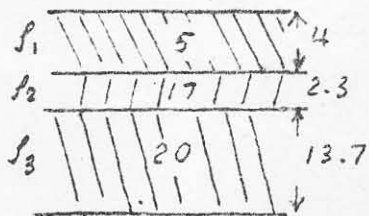
ผลการเจาะบ่อ

พบน้ำปริมาณน้อย ปริมาณพอประมาณที่ 39 เมตร.





ผลการคำนวณ



การคาดคะเน

มิน้ำระดับดิน - ไม่ถึง 4 ม.

ผลการเจาะบ่อ

พบน้ำปริมาณมากที่ระดับ 2.7 เมตร

## สรุป

ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิศวกรรมที่สำคัญประเภทหนึ่ง นอกจากในแง่ของวิศวกรรมไฟฟ้า เองแล้วยังมีความสำคัญในแง่การประยุกต์ใช้ในการคาดคะเนลักษณะทางธรณีวิทยา จากรายงานที่ปรากฏในหนังสือทางธรณีฟิสิกส์และจากประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองในสนามพอจะสรุปได้ว่าวิธีวัดความต้านทานจำเพาะของดินให้ผลในการคาดคะเนหาแหล่งน้ำใต้ดินพอเชื่อถือได้ หากนำข้อมูลที่ได้จากวิธีนี้พิจารณาประกอบกับวิธีอื่น ๆ อาจจะช่วยให้การเจาะบ่อน้ำบาดาลได้ผลมากขึ้นได้.

## เอกสารอ้างอิง

1. C.A. Heiland, " Geophysical Exploration, " Hafner Publishing Co., New York , 1968.