



การทดสอบความต้านทานดิน

คำจำกัดความ

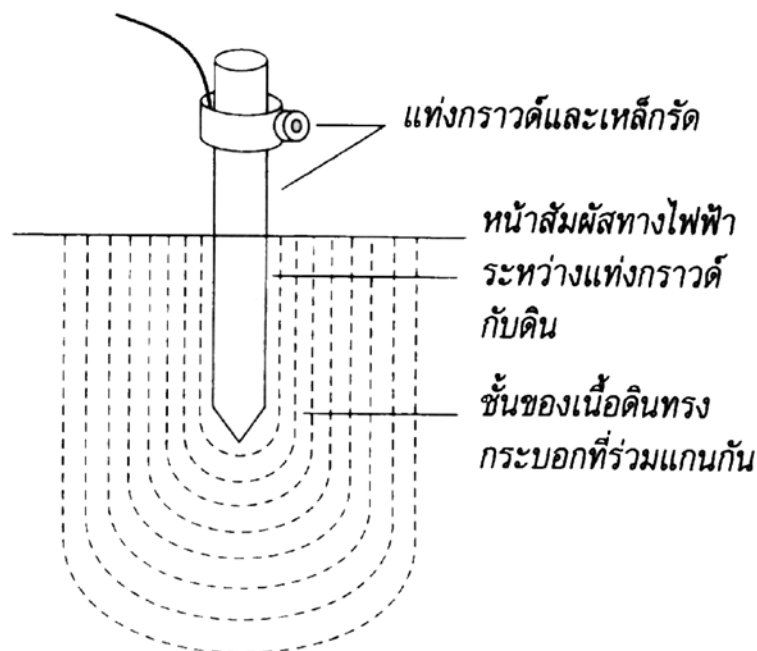
คำว่ากราวด์(ground) หรือดินในที่นี้หมายถึงการต่อเชื่อมทางไฟฟ้าโดยวงจรหรืออุปกรณ์ใดๆ เข้ากับพื้นโลก เพื่อให้เกิดและรักษาศักดาไฟฟ้าของวงจรส่วนนั้นๆ ให้เท่ากับพื้นโลกให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ กราวด์ประกอบด้วยสายตัวนำที่ทำหน้าที่เป็นสายดิน, ตัวนำเชื่อมต่อต่างๆ, แท่งกราวด์(ที่ตอกลงดินจริง)และดินส่วนที่สัมผัสกับแท่งกราวด์นั้น

กราวด์มีหน้าที่สำคัญในการป้องกันความเสียหายจากสาเหตุหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นอันตรายจากฟ้าผ่า กราวด์จะทำหน้าที่ถ่ายเทกระแสไฟฟ้าให้หมดก่อนทำอันตรายแก่คนและอุปกรณ์ต่างๆ

เมื่อเกิดศักดาไฟฟ้าที่ผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าที่มีกราวด์ กราวด์จะเป็นทางผ่านที่สะดวกของกระแสผิดปกตินั้น ทำให้ระบบป้องกัน (เช่น รีเลย์) สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วถูกต้อง ก่อนที่จะทำอันตรายแก่คน, ระบบสื่อสาร หรือระบบจ่ายไฟฟ้า ให้เกิดความเสียหายขึ้น

ในทางอุดมคติแล้ว การรักษาศักดาไฟฟ้าสถิตย์และการจำกัดศักดาไฟฟ้าที่ตัวถังเครื่องไฟฟ้าต่างๆ เพื่อความปลอดภัยแก่บุคคลล้วนต้องการความต้านทานกราวด์ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้(คือศูนย์โอห์ม) แต่ในความเป็นจริง(ที่เราจะพูดถึงต่อไป) ไม่สามารถทำให้เป็นศูนย์จริงๆ ได้ แต่ความต้านทานที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้นี้ก็ถือว่าเพียงพอและจำเป็นสำหรับการผ่านมาตรฐานความปลอดภัยทางไฟฟ้าของหลายๆสถาบัน เช่น OSHA, NEC ฯลฯ

ความต้านทานของแท่งกราวด์



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของแท่งกราวด์

ความต้านทานของแท่งกราวด์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ความต้านทานของโลหะและรอยต่อระหว่างโลหะต่างๆ
- 2) ความต้านทานหน้าสัมผัสระหว่างแท่งกราวด์โลหะกับดิน
- 3) ความต้านทานของหน้าดินรอบๆแท่งกราวด์ที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน หรือเรียกว่า “ความต้านทานดิน” ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด

โดยคุณสมบัติหลักๆของแต่ละส่วนประกอบ ต้องเป็นไปตามนี้

- ก) แท่งกราวด์นั้นปกติใช้โลหะตัวนำที่ดี(เช่น ทองแดง)ที่มีขนาดใหญ่พื้นที่หน้าตัดใหญ่พอเพียงที่ตัวมันจะไม่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าเสียเอง
- ข) NBS ของอเมริกาได้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานของผิวสัมผัสระหว่างแท่งโลหะกับดินรอบๆแท่งโลหะนั้นจะน้อยจนตัดทิ้งไปไม่พิจารณาได้ หากแท่งกราวด์ปราศจากสีเคลือบ, ไขมัน หรือ วัตถุเคลือบผิวอื่นๆและดินบริเวณนั้นแห้งและแข็ง
- ค) ส่วนประกอบเดียวที่เหลือคือความต้านทานของเนื้อดินรอบๆแท่งกราวด์นั้น พิจารณาง่ายๆได้เป็นชั้นของเนื้อดินทรงกระบอกที่รวมแกนศูนย์กลางกัน ณ จุดที่แท่งกราวด์ตอกอยู่โดยมีความหนาแน่นแต่ละชั้นเท่ากัน ชั้นที่อยู่ใกล้แท่งกราวด์มากกว่าก็จะมีพื้นที่ผิวน้อยกว่า และชั้นที่พื้นที่ผิวน้อยกว่าก็จะมีมีความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าชั้นที่อยู่นอกกว่า จะมีพื้นที่ผิวน้อยกว่า และให้ความต้านทานน้อยกว่า ให้พิจารณาชั้นต่างๆเหล่านี้เรื่อยๆไปจนกว่าจะถึงชั้นที่มีความต้านทานต่ำจนไม่ต้องพิจารณาอีกแล้วจะได้ระยะทางจากแท่งกราวด์ถึงจุดที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลง และพื้นที่ผิวดินที่ส่งผลกับความต้านทานไฟฟ้า(หาได้โดยลากวงกลมโดยเอาแท่งกราวด์เป็นจุดศูนย์กลางถึงจุดที่ไม่มีความเปลี่ยนแปลงเป็นรัศมี) ซึ่งพื้นที่ที่ส่งผลกับความต้านทานไฟฟ้านี้ จะมีขนาดใหญ่-เล็กขึ้นอยู่กับความลึกของแท่งกราวด์ด้วย
- ในทางทฤษฎี ความต้านทานดินอาจเขียนในรูปสมการง่ายๆได้ดังนี้

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad , \text{Resistance} = \text{Resistivity} \times \frac{\text{Length}}{\text{Area}}$$

สมการนี้สามารถสรุปได้ว่าทำโนที่อยู่ห่างแท่งกราวด์มากกว่า(ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่า) จึงมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าชั้นที่อยู่ใกล้แท่งกราวด์ (ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้อยกว่า)

$$R = \text{ความต้านทานของเนื้อดิน} \times (\text{ความหนาของชั้นดิน/พื้นที่ผิวของชั้นดิน/พื้นที่ผิวของชั้นดิน})$$

ในการพิจารณาความต้านทานดินนี้ เราคิดคร่าว ๆ โดยเหมาเอาว่าความต้านทานจำเพาะของดินในทุกชั้นดินเป็นค่าเดียวกัน ซึ่งตามธรรมชาติจะเป็นเช่นนั้นน้อยมาก

หากระบบกราวด์มีแท่งกราวด์หลายอัน สมการที่แสดงคุณสมบัติของกราวด์จะซับซ้อนมากกว่านี้ สมการสำหรับกราวด์แท่งเดียวที่แพร่หลายที่สุดเป็นของศาสตราจารย์ H.R. Dwight แห่ง MIT มีรูปแบบดังนี้:-

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left\{ \left(\frac{1.6L}{r} \right) - 1 \right\}$$

R = ความต้านทานของแท่งกราวด์กับเนื้อดิน (Ω)

L = ความยาวของแท่งกราวด์

r = รัศมีของแท่งกราวด์

P = ความต้านทานเฉลี่ยของเนื้อดิน(Ω - Cm)

ผลของขนาดแท่งกรวดและความลึกที่มีต่อความต้านทาน

ขนาด ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้ความต้านทานไฟฟ้าของแท่งกรวดลดลงมากนัก การเพิ่มขนาดแท่งกรวดขึ้น 2 เท่า สามารถลดความต้านทานลงได้เพียง 10 % เท่านั้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2

ความลึก เมื่อตอกแท่งกรวดลึกกว่าเดิมนั้นลดความต้านทานของกรวดโดยรวมลงโดยมาก โดยปกติแล้วเมื่อเพิ่มความยาวของแท่งกรวดขึ้น 2 เท่า จะลดความต้านทานลงได้ถึง 40 % ดัง รูปที่ 3 NEC* แนะนำให้ตอกกรวดลึกอย่างน้อย 8 ฟุต (2.4 เมตร) ปกติเรานิยมตอกที่ 10 ฟุต (3 เมตร) กับแท่งกรวดทรงกลม เพื่อให้มคมคุณสมบัติตามที่ NEC กำหนด ขนาดของแท่งกรวดเหล็กที่เหมาะสมอย่างน้อยต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว (1.6 ซม.) และแท่งกรวดทองแดงต้องอย่างน้อย 1/2 นิ้ว (1.27 ซม.) (แท่งกรวดโลหะที่ชุบผิวด้วยทองแดงให้ใช้ค่าเดียวกัน)

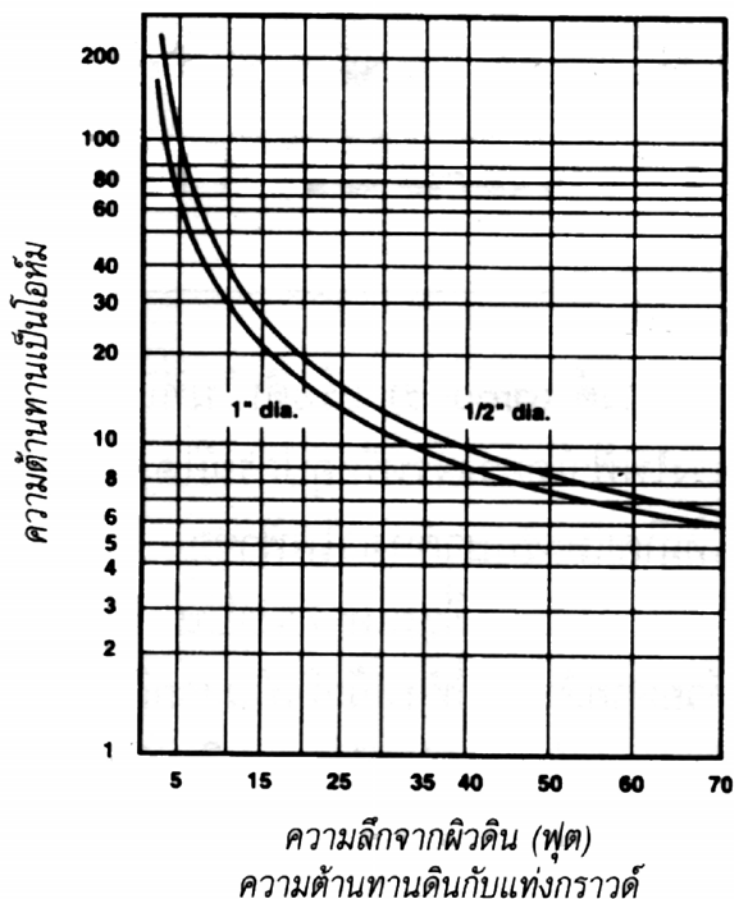
หากต้องการใช้ค่าความลึก 10 ฟุตเป็นมาตรฐานให้พิจารณาเพิ่ม – ลดขนาดแท่งกรวดตามชนิดของดิน ดังนี้

1/2 นิ้ว สำหรับดินที่มีเนื้อละเอียดทั่วไป

5/8 นิ้ว สำหรับดินแฉะ

3/4 นิ้ว สำหรับดินแข็ง

รูปที่ 3



ผลของความต้านทานของเนื้อดินที่มีต่อความต้านทานของแท่งกราวด์

จากสมการของ Dwight ที่กล่าวมาแล้วได้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานดินของแท่งกราวด์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับแท่งกราวด์เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความต้านทานของเนื้อดินด้วย และความต้านทานของเนื้อดินนี้แหละเป็นตัวสำคัญที่สุดในองค์ประกอบทั้งหมด เพราะมันเป็นตัวกำหนดว่าความต้านทานรวมในที่สุดจะเป็นเท่าไร ปลายจะต้องตอกแท่งกราวด์ลึกเท่าไร ความต้านทานของเนื้อดินนี้มีค่าไม่เท่ากันโดยขึ้นกับลักษณะของเนื้อดิน , สถานที่ และฤดูกาล

ความต้านทานของเนื้อดินสามารถพิจารณาได้ง่าย ๆ ได้จากองค์ประกอบของเนื้อดินนั้น ตามลักษณะและปริมาณของความชื้นในเนื้อดิน, สารละลายในดินและแร่ธาตุธรรมชาติ ปกติดินแห้งจะมีความต้านทานสูง หากไม่มีเกลือละลายอยู่ในเนื้อดิน สรุปคร่าว ๆ ได้ดังรูปที่ 4

ชนิดของดิน	ความต้านทาน Ω -cm		
	Min.	Average	Max.
เถ้า, ดินดาล, ถ่าน	590	2,370	7,000
ดินเหนียว	340	4,060	16,300
ดินเหนียวปนทรายและกรวด	1,020	15,800	135,000
หินกรวดทรายที่มีเนื้อดินปนอยู่เล็กน้อย	59,000	94,000	458,000

รูปที่ 4

ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อความต้านทานของเนื้อดิน

จากตัวอย่างของดิน 2 ตัวอย่างที่ถูกนำมาไล่ความชื้นออกไปจนหมดจะกลายเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีได้เลย เพราะดินจะนำไฟฟ้าดีขึ้นอย่างมากที่ความชื้นระดับ 20 % ดังรูปที่ 5

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินตามน้ำหนัก	ความต้านทานดิน	
	ดินเหนียว	ดินเหนียวปนทราย
0	$>10^9$	$>10^9$
2.5	250,000	150,000
5	165,000	43,000
10	53,000	18,500
15	19,000	10,500
20	12,000	6,300
30	6,400	4,200

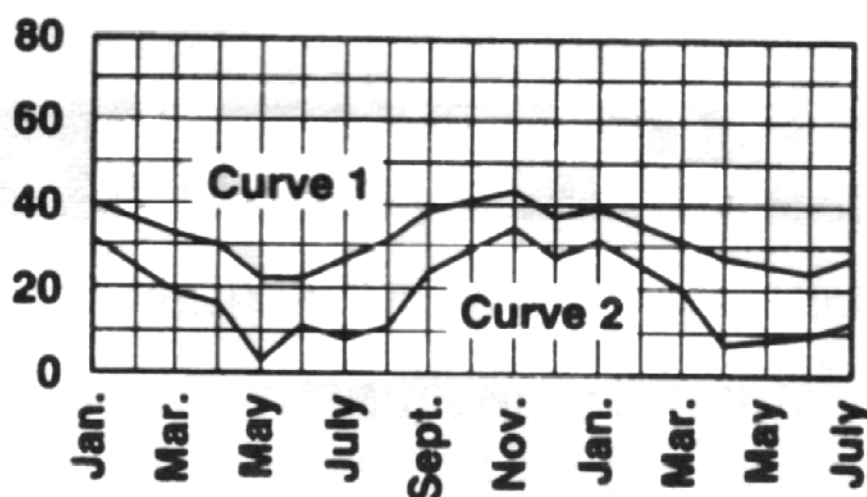
รูปที่ 5

ความต้านทานของเนื้อดินนี้ยังเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้ด้วย รูปที่ 6 เป็นความต้านทานของดินเหนียวปนทราย ที่มีความชื้น 15.2 % และเปลี่ยนอุณหภูมิไปมาระหว่าง 20 °C ถึง - 15 °C ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้กว้างในช่วง 7200 ถึง 330,000 โอห์ม - เซนติเมตร

อุณหภูมิ		ความต้านทานดิน
°C	°F	Ω-cm
20	68	7,200
10	50	9,900
0	32 (Water)	13,800
0	32 (Ice)	30,000
-5	23	79,000
-15	14	330,000

รูปที่ 6

เนื่องจากความต้านทานของเนื้อดินเปลี่ยนแปลงได้ความชื้นและอุณหภูมิ จึงอาจสรุปได้ว่าความต้านทานของระบบกราวด์ทุกระบบเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลในแต่ละช่วงของปีเช่นกัน รูปที่ 7 แสดงกราฟความเปลี่ยนแปลงความต้านทานดังกล่าวในแต่ละเดือนของปี ของกราวด์ 2 ระบบที่มีความลึกต่างกัน



ความเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของความต้านทานดินของท่อน้ำขนาด 3/4 นิ้ว ฟังในดินเหนียวปนหิน Curve 1 เป็นกราฟที่ความลึก 3 ฟุต Curve 2 ที่ 10 ฟุต

รูปที่ 7

และเนื่อง จากความชื้นและอุณหภูมิจะลดความเปลี่ยนแปลงลงในดินระดับลึก ๆ จึงพบความจริงว่า กราวด์ที่ตอกลึกถึงระดับที่มากพอจะมีเสถียรภาพในทุกฤดูกาลและจะมีเสถียรภาพที่สุดเมื่อตอกลึกจนถึงระดับ น้ำใต้ดิน

ในบางพื้นที่ ความต้านทานของดินจะสูงมากจนต้องลงทุนสูงและใช้ความพิถีพิถันมากในการสร้าง ระบบกราวด์ให้ได้ความต้านทานต่ำ ทางออกที่ประหยัดกว่าคือ การใช้สารเคมีช่วยปรับความต้านทานของเนื้อ ดินเป็นประจำ รูปที่ 8 แสดงค่าความต้านทานของเนื้อดินเหนียวปนทรายที่เพิ่มสารละลายของเกลือลงไปใน ปริมาณต่าง ๆ กัน

ผลของปริมาณเกลือ* ที่มีต่อความต้านทานดิน (ดินเหนียวปนทราย, ความชื้น 15% ตามน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 17°C)	
เปอร์เซ็นต์ของเกลือ	ความต้านทาน (Ω -cm)
0	10,700
0.1	1,800
1.0	460
5	190
10	130
20	100

รูปที่ 8

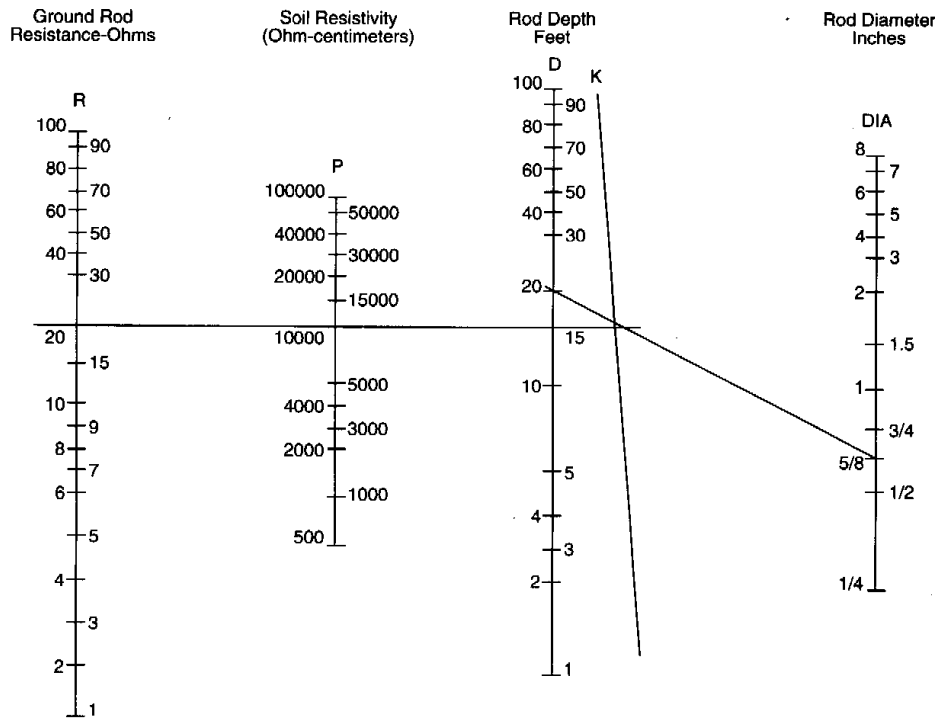
การปรับสภาพด้วยสารเคมีวิธีนี้จะทำให้ความต้านทานของเนื้อดินบริเวณนั้นแปรไปตามอุณหภูมิอย่างมาก รูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว และวิธีนี้ยังต้องการแท่งกราวด์ที่ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีได้ดีอีกด้วย

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทานของดินปนเกลือ* (ดินเหนียวปนทราย, ความชื้น 20%)	
อุณหภูมิ	ความต้านทาน (Ω -cm)
20	110
10	142
0	190
-5	312
-13	1440

รูปที่ 9

ผลของความลึกของแท่งกราวด์ที่มีต่อความต้านทาน

เพื่อช่วยให้วิศวกรพิจารณาความลึกคร่าว ๆ ของแท่งกราวด์ที่พอเพียงกับความต้านทานที่ต้องการ Nomograph ดังรูปที่ 10 จะช่วยให้ทราบค่าความลึกได้ความต้านทาน 20 โอห์มในดินที่มีความต้านทาน 10,000 โอห์ม – เซนติเมตร โดยใช้แท่งกราวด์ขนาดโต 5/8 นิ้ว ซึ่งได้ค่าผลลัพธ์ 20 ฟุต



Grounding Nomograph

รูปที่ 10

Nomograph ดังกล่าวถือว่าเนื้อดินเป็นแบบเดียวกันในบริเวณกว้างและมีความต้านทานค่าเดียวกับโดยตลอด และค่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น

ค่าของความต้านทานกราวด์ที่เหมาะสม

NEC กำหนดให้ค่าสูงสุดของกราวด์ที่ยอมรับได้ไว้ที่ 25 โอห์ม ซึ่งโดยปกติแล้วเรามักจะได้ค่าต่ำกว่านี้มากโดยไม่ต้องลงทุนสูง หากจะถามว่าความต้านทานกราวด์ควรมีค่าต่ำเพียงใด การจะตอบว่าเป็นเท่านั้นเท่านี้โอห์มดูเหมือนจะยากและขึ้นกับผู้ตอบมากเกินไป ความจริงก็คือความต้านทานยิ่งต่ำก็ยิ่งให้ความปลอดภัยแก่บุคคลและทรัพย์สินสูง และการทำให้ความต้านทานกราวด์ต่ำกว่า 1 โอห์ม จะยังต้องลงทุนลงแรงมาก และกับระบบกราวด์ของสายส่งไฟฟ้ายังไม่มีการที่กราวด์ของเสาแต่ละต้นจะมีความต้านทานต่ำทุกต้น ในบางภูมิภาคสามารถทำความต้านทานกราวด์ได้ 5 โอห์ม หรือต่ำกว่าได้อย่างสบาย แต่บางภูมิภาคก็ยากที่จะทำความต้านทานกราวด์ให้ต่ำกว่า 100 โอห์ม

มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับกันทั่วไปได้กำหนดให้สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเดี่ยวต้องออกแบบระบบกราวด์ให้มีค่าต่ำกว่า 1 โอห์ม และยอมให้ได้ถึง 5 โอห์ม หากเป็นสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยแบบกระจายเพื่อให้ได้ตามข้อกำหนด สถานีย่อยเกือบทุกแห่งจะใช้กราวด์แบบฝังกระจายแบบตะแกรง

สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรือศูนย์โทรคมนาคมค่าที่ยอมรับได้คือ 5 โอห์ม ส่วนในระบบป้องกันฟ้าผ่านั้น กราวด์ที่ต่ออยู่กับ Arrestor ต้องมีความต้านทานต่ำกว่าระดับ 1 โอห์ม

ค่าต่าง ๆ ที่ระบุมาเหล่านี้ หากจะทำให้ได้ต้องอาศัยการประยุกต์ทฤษฎีระบบกราวด์พื้นฐานให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ เพราะอุปสรรคตามธรรมชาติที่จะทำให้ความต้านทานกราวด์ไม่ได้ค่านั้นเราต้องพบเจออยู่ทั่วไป วิชาว่าด้วยการลดความต้านทานกราวด์ถูกนำมาใช้เสมอในหลาย ๆ วิธี เช่น การขนานแท่งกราวด์, การตรอกแท่งกราวด์ลงลึกโดยต่อกันหลาย ๆ ท่อน และการใช้เคมีปรับปรุงสภาพดิน นอกจากนี้ยังมีอีกหลายวิธีที่ไม่กล่าวละเอียดในที่นี้ เช่น การฝังแผ่นโลหะแทนแท่งกราวด์, การฝังลวดตัวนำแทนแท่งกราวด์ (ในระบบสื่อสาร

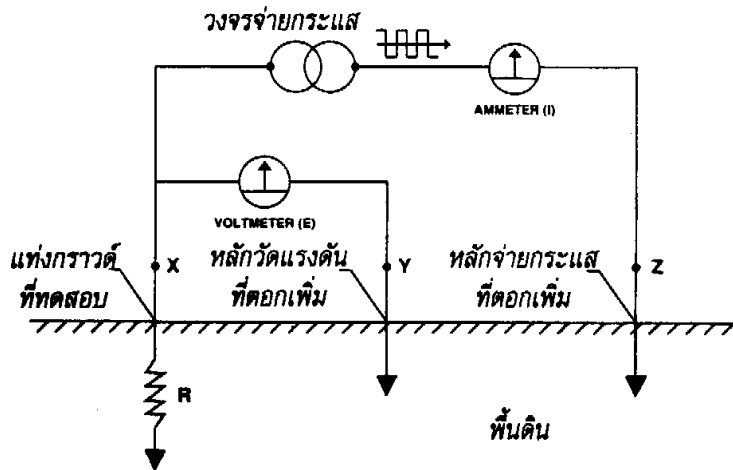
วิทยุ), การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างระบบกราวด์กับโครงเหล็กของตัวอาคาร และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่ใช้คอนกรีตเสริมเหล็ก ฯลฯ

การต่อระบบกราวด์เข้ากับท่อประปาโลหะเคยได้รับการยอมรับว่าได้ความต้านทานกราวด์ที่ดี แต่ปัจจุบันนี้ ระบบท่อสมัยใหม่ที่เปลี่ยนมาใช้ท่อและข้อต่อที่ไม่ใช่โลหะทำให้การวัดวิธีนี้เกิดปัญหาความต้านทานสูง และไม่มีเสถียรภาพที่ดีพออีกต่อไป

การวัดค่าความต้านทานของกราวด์ให้ได้ค่าตามความเป็นจริงนั้น ต้องอาศัยเครื่องทดสอบที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเท่านั้น เครื่องทดสอบความต้านทานดินโดยทั่วไปจะใช้หลักการวัดศักดาไฟฟ้าที่ตกลงตามระยะทางโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับไหลวนครบวงจรระหว่างแท่งอิเล็กโทรดที่ตอกเพิ่มลงไปกับแท่งกราวด์ที่ต้องการทราบค่าความต้านทาน ซึ่งจะอ่านได้ค่าความต้านทานของแท่งกราวด์กับดินโดยรอบในหน่วยโอห์ม

ทฤษฎีพื้นฐานของการทดสอบความต้านทานกราวด์(วัดแบบ 3 จุด)

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแท่ง X และ Y เราใช้โวลต์มิเตอร์วัด จากนั้นวัดกระแสที่ไหลระหว่างแท่ง X และ Z ด้วยแอมมิเตอร์ (หมายเหตุ : X,Y และ Z ในที่นี้ตรงกับ X,P และ C ในเครื่องวัดแบบ 3 จุดยี่ห้ออื่น และตรงกับ C1,P2 และ C2 ในเครื่องวัดแบบ 4 จุด) ดังรูปที่ 11

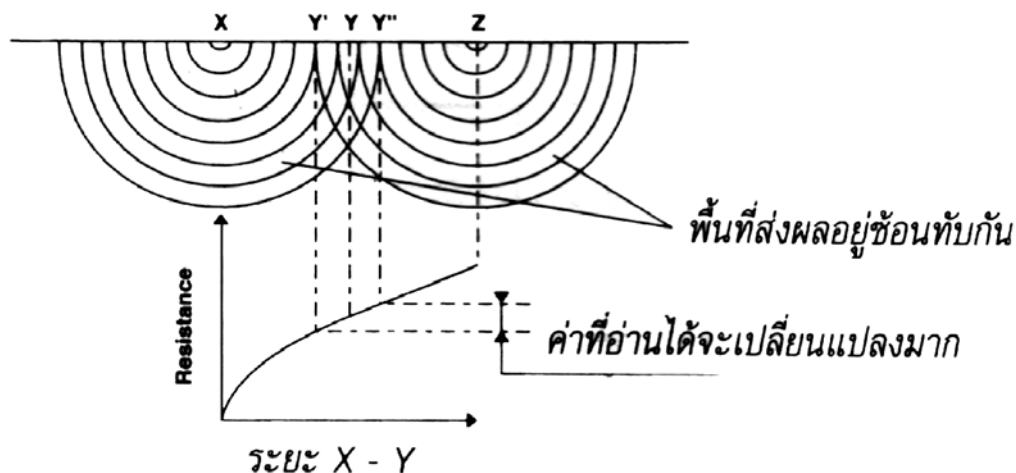


รูปที่ 11

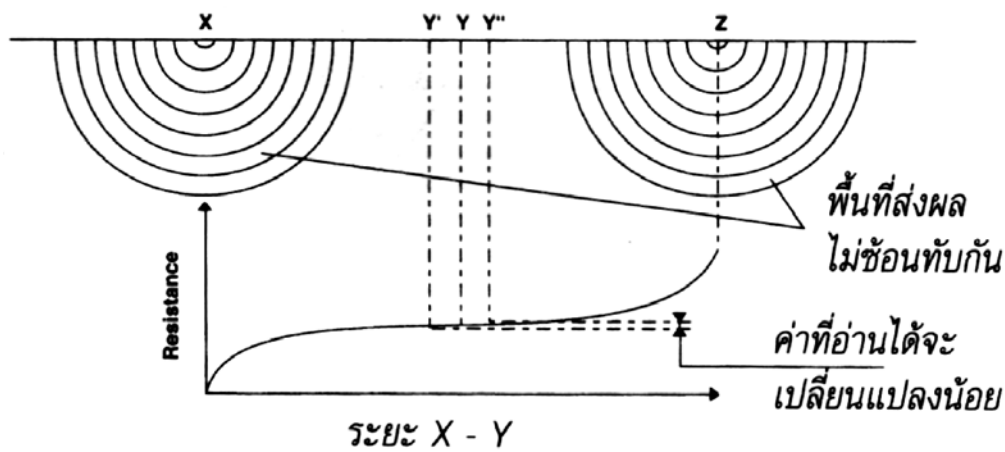
ตามกฎของโอห์มสามารถหาค่าความต้านทานได้เพื่อทราบค่าแรงดันและกระแสดังกล่าว แต่สำหรับเครื่องวัดความต้านทานกราวด์เราจะได้อ่านค่าความต้านทานเป็นโอห์มออกมาที่จอโดยตรง เพราะภายในเรียบร้อยแล้ว

ตำแหน่งของการตอกหลักเพิ่มเพื่อวัดความต้านทานกราวด์

เราต้องการวัดความต้านทานกราวด์ให้แม่นยำ ต้องตอกหลักกระแส Z ให้ไกลพอสมควรจากแท่งกราวด์ที่ต้องการทราบค่าเพื่อให้แท่ง Y อยู่บนพื้นที่ที่ส่งผลต่อความต้านทานไฟฟ้าของแท่ง X และ Z วิธีที่ดีที่สุดที่จะพิสูจน์ว่าแท่ง Y อยู่บนพื้นที่ดังกล่าวแน่ๆ ก็คือลองขยับแท่ง Y ย้ายตำแหน่งไป-มาในแนว X-Z ดูหากแท่ง Y อยู่ในพื้นดังกล่าว(ของ X หรือ Z หรือทั้ง X และ Z ในกรณี ที่พื้นที่ส่งผลฯ อยู่ทับกัน ดังรูป 12) ค่าของความต้านทานที่อ่านได้เมื่อย้ายแท่ง Y ไป Y' และ Y'' จะแตกต่างกันมากและไม่มีค่าใดเลยที่เป็นจริง



รูปที่ 12



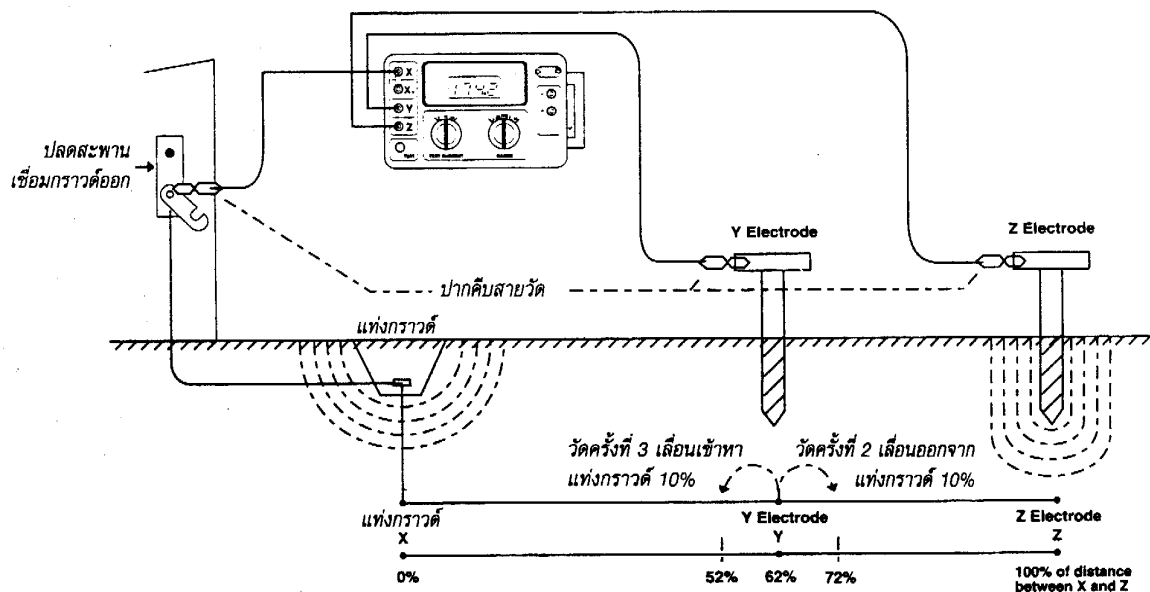
รูปที่ 13

ในทางกลับกัน หากแท่ง Y อยู่นอกพื้นที่ส่งผล (ดังรูปที่ 13) อยู่ก่อนแล้ว การเลื่อนตำแหน่งมายัง Y' และ Y'' จะให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเป็นค่าที่แท้จริงของความต้านทาน ณ แท่ง X ถ้าจะให้แน่นอนยิ่งขึ้น ควรวัดค่าความต้านทานเมื่อย้ายจุด Y ไปหลายค่า แล้วพล็อตกราฟค่าความต้านทานกับระยะทางออกมา ค่าความต้านทานที่แท้จริงจะอยู่ในช่วงเอนลาด (เกือบเป็นเส้นนอน) ของกราฟ และมักอยู่ในช่วง 62% ของระยะทางระหว่าง X-Z

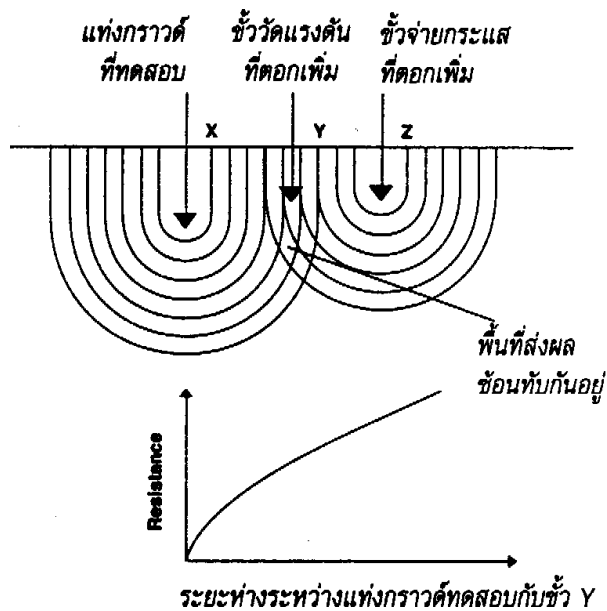
การวัดความต้านทานของแท่งกราวด์ด้วยวิธี 62 %

วิธี 62 % เป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปว่าแม่นยำที่สุดจากการทดลองกันหลายต่อหลายครั้งกับพื้นที่สารพัดแบบ แต่เป็นวิธีที่ได้ผลเฉพาะกับระบบกราวด์ที่มีแท่งกราวด์เดียวเท่านั้น

เราใช้วิธีนี้ได้เฉพาะกับระบบแท่งกราวด์เดียว (กราวด์แท่ง, ท่อน้ำ, กราวด์แผ่น) และทุกแท่งทดสอบเรียงตัวกันในแนวเส้นตรงเท่านั้น ดังรูปที่ 14 หากตอกแท่งวัด Z ไม่ยาวพอจะเกิดการซ้อนทับของพื้นที่ส่งผลตามรูปที่ 15 ดังกล่าวมาแล้ว ทางแก้คือ เพิ่มระยะ X-Z ออกไปจนไม่เกิดการซ้อนทับของพื้นที่ส่งผล ตามรูปที่ 16 พิสูจน์โดยการย้าย แท่ง Y ไป-มาในแนวเส้นตรงระหว่าง X-Z จนได้ค่าไม่แตกต่างกันมาก ค่าความแตกต่างของความต้านทานดังกล่าวควรจะไม่เกินค่า Tolerance ที่กำหนดไว้ในความต้องการ (เช่น $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ ฯลฯ)



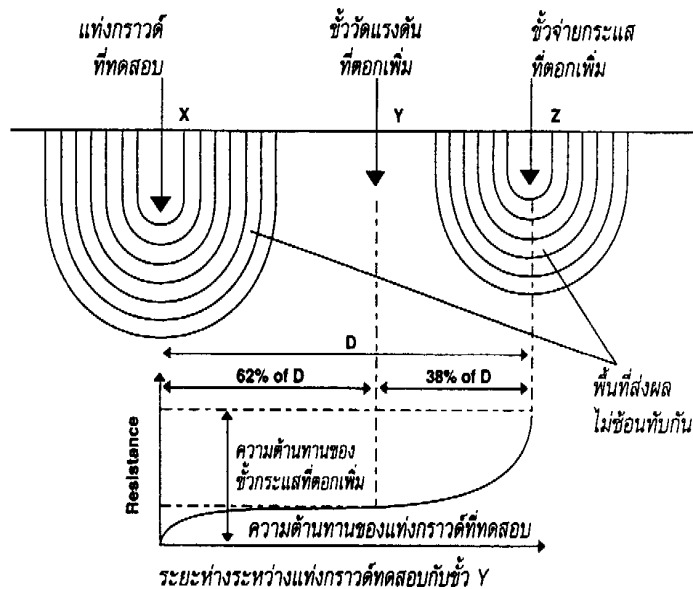
รูปที่ 14



รูปที่ 15

ระยะทางที่เหมาะสมสำหรับแท่งอิเล็กโทรดที่ตอกเพิ่มลงไป

ระยะทางระหว่าง X (ซึ่งเป็นแท่งกราวด์ที่ต้องการวัดค่าความต้านทาน) กับ Z (ซึ่งต้องตอกเพิ่มเพื่อทำการวัดค่า X) ไม่มีค่าที่แน่นอนตายตัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความโตของแท่งกราวด์, ความยาวของแท่งกราวด์, ลักษณะของเนื้อดิน, และความกว้างของพื้นที่ส่งผล แต่ก็มีผู้ประมาณค่าระยะทางไว้คร่าวๆ สำหรับใช้กับดินเนื้อเดียว และใช้แท่งกราวด์ขนาดโต 1 นิ้ว (หากใช้แท่งกราวด์โต $\frac{1}{2}$ นิ้ว ให้ลดระยะในตารางลง 10 %, หากใช้แท่งกราวด์โต 2 นิ้ว ให้เพิ่มระยะให้มากขึ้น 10%)



รูปที่ 16

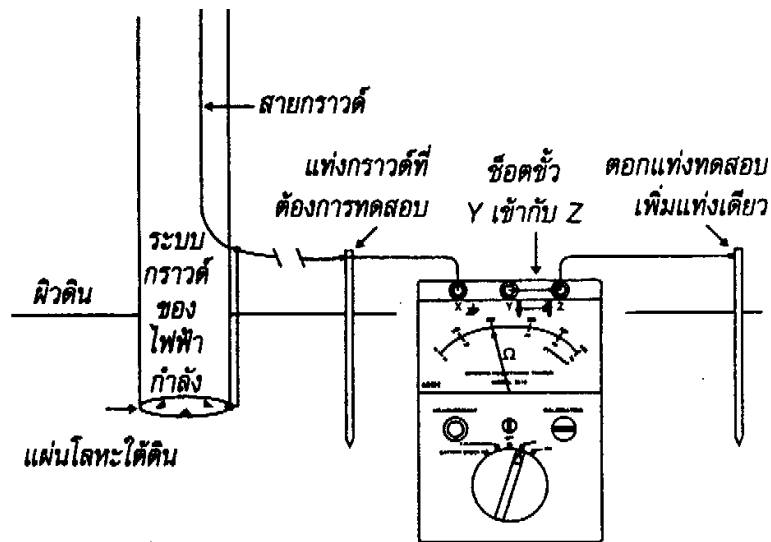
Approximate Distance to Auxiliary Electrodes Using the 62% Method		
Depth Driven	Distance to Y	Distance to Z
6 ft.	45 ft.	72 ft.
8 ft.	50 ft.	80 ft.
10 ft.	55 ft.	88 ft.
12 ft.	60 ft.	96 ft.
18 ft.	71 ft.	115 ft.
20 ft.	74 ft.	120 ft.
30 ft.	86 ft.	140 ft.

ตารางแสดงระยะทางสำหรับตอกแท่งอิเล็กโทรดเพิ่ม Y และ Z

การวัดแบบ 2 จุด

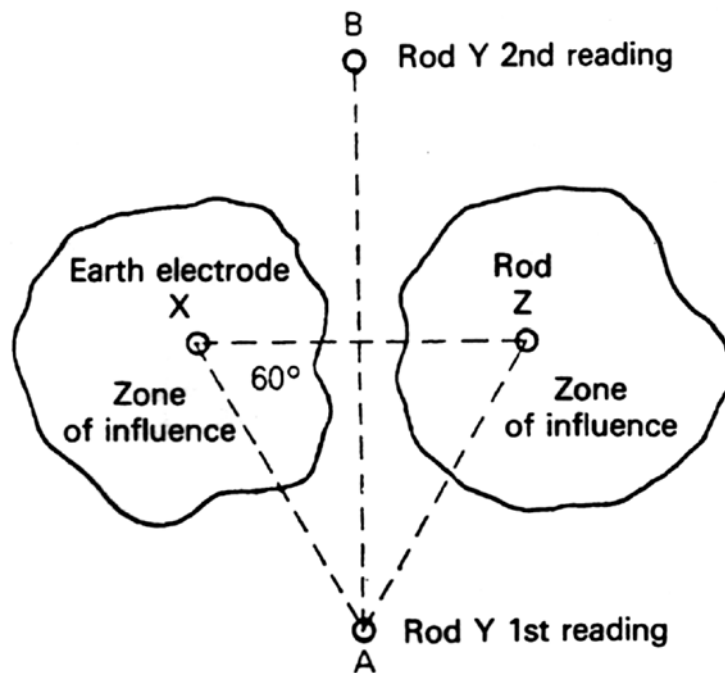
วิธีนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วกว่าสำหรับวัดความต้านทานของแท่งกราวด์ที่แน่ใจว่าดีเยี่ยมอยู่แล้ว

ในพื้นที่แออัดซึ่งยากจะปักแท่งอิเล็กโทรดเพิ่ม วิธีวัดแบบ 2 จุดจะเหมาะสมกว่าวิธีอื่นเพราะง่าย และได้ผลลัพธ์เป็นค่าโดยประมาณ การวัดให้ต่อดังรูปที่ 17 ผลการวัดจะเป็นค่าความต้านทานของกราวด์ 2 แท่งอนุกรมกัน คือกราวด์แท่งที่ต่อกับเครื่องวัดและกราวด์ของระบบไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กัน หากกราวด์ที่อยู่ใกล้(ที่เราไม่ต้องการจะวัด) มีค่าใกล้ศูนย์มากเท่าไร ผลของวัดก็จะเป็นค่าของกราวด์ข้อที่เราต้องการวัดมากเท่านั้นหรือพูดอีกนัยหนึ่งคือ ค่าผลการวัดจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อกราวด์ที่อยู่กับแท่งที่จะวัดต้องน้อยมากๆ จนไม่ต้องนำมาคิด หรือไม่มีกราวด์อื่นอยู่ใกล้เลยจะดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ผลการวัดวิธีนี้ก็แม่นยำน้อยกว่าวิธีวัด 3 จุด (62%) และไม่สามารถใช้วิธีนี้เป็นมาตรฐานได้ เพียงแต่อนุโลมให้ใช้กับพื้นที่ที่ไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธี 3 จุดเท่านั้น



รูปที่ 17

วิธีการต่อแบบสามเหลี่ยม



รูปที่ 18

ถ้าหากไม่สามารถใช้วิธีการต่อในวิธีการแบบ 62% ได้ (แท่งกราวด์ไม่สามารถที่จะวางในแนวเส้นตรง X-Z ไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายไปไกล ได้อย่างเพียงพอ) ดังนั้นเราจึงนำวิธีการต่อแบบสามเหลี่ยมมาใช้ (ดูรูปที่ 18)

- วางแท่งกราวด์ที่จุด X, Y และ Z ให้เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า (ถ้าเป็นไปได้)
- อ่านค่าแรกของ Y ที่จุด A แล้วหลังจากนั้นย้ายไปที่จุด B และทำการอ่านค่าเป็นครั้งที่ 2 และนำค่าที่อ่านได้ทั้ง 2 ค่ามาเปรียบเทียบกัน

หากค่าที่อ่านได้มีความแตกต่างกันมากให้ย้ายแท่งอิเล็กโทรด Y มาในส่วนพื้นที่ของ Z และ Y จะต้องเคลื่อนย้ายออกจาก X และจึงอ่านค่าอีกครั้งหนึ่ง

หากค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากันหรือมีความแตกต่างกันเป็นเปอร์เซ็นต์เพียงเล็กน้อยโดยการวัดจะพิจารณาจากค่าที่สามารถยอมรับได้

อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะเตรียมไว้หาค่าในบางสถานที่ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อการนำค่าที่อ่านได้จากจุด A และ B นำมาเปรียบเทียบกับกันโดยจะอยู่ในขอบเขตของแท่งกราวด์ที่มีผลกระทบสามารถทับซ้อนกันได้

การวัดพิกัดความต้านทานของดิน

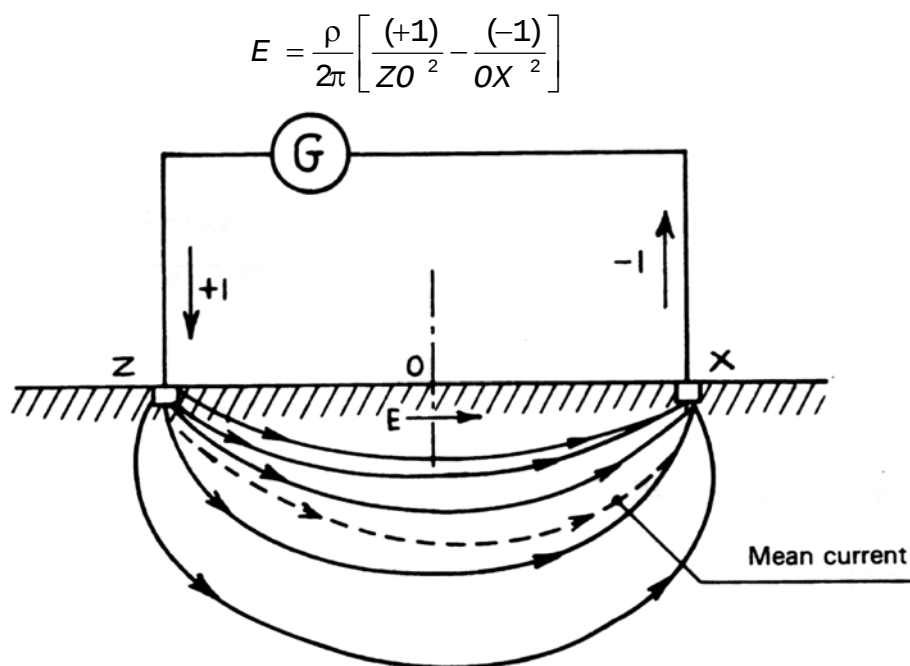
เราวัดพิกัดความต้านทานของดินมีวัตถุประสงค์ 3 ประการ คือ

- (1) ใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในงานสำรวจทางธรณีวิทยาใต้ดินเพื่อค้นหาตำแหน่งของสินแร่, ความลึกของชั้นหินใต้ดินและอื่นๆ
- (2) พิกัดความต้านทานของดินเป็นตัวฟ้องปริมาณการผุกร่อนของท่อโลหะใต้ดินความต้านทานจะลดลงเมื่อท่อเป็นสนิมมากขึ้น เราใช้เป็นตัวกำหนดเวลาซ่อมบำรุงท่อโลหะใต้ดินได้อย่างแม่นยำ
- (3) พิกัดความต้านทานของดินแต่ละแห่งเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบกราวด์ และเมื่อออกแบบระบบกราวด์ใหม่นั้นสมควรที่จะสำรวจและระบุตำแหน่งที่ดินมีพิกัดความต้านทานต่ำที่สุดเพื่อให้ระบบกราวด์จะสร้างลึนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

วิธีการวัดความต้านทานจำเพาะของดินมีอยู่หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 2 วิธี คือ การวัดแบบใช้แท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง และแบบใช้แท่งอิเล็กโทรด 4 แท่ง การวัดหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่แม่นยำที่สุดจะเป็นในแบบวิธีใช้แท่งอิเล็กโทรด 4 แท่ง เนื่องจากการใช้วิธีแบบอิเล็กโทรด 2 แท่งนั้นจะใช้ในกรณีที่ดินที่ในการวัดหาค่าความต้านทานจำเพาะมีจำกัดเท่านั้น จึงจะขอกกล่าวแต่เพียงวิธีการวัดแบบ 4 แท่งเท่านั้น

วิธีการวัดแบบแท่งอิเล็กโทรด 4 แท่ง

การหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินนั้นจะหาโดยอาศัยความลึก (วัดโดยตรงผ่านใต้จุด O) จะปล่อยกระแสผ่านระหว่างแท่งกราวด์ 2 จุด คือ จุด Z และ X ดังรูปที่ 19



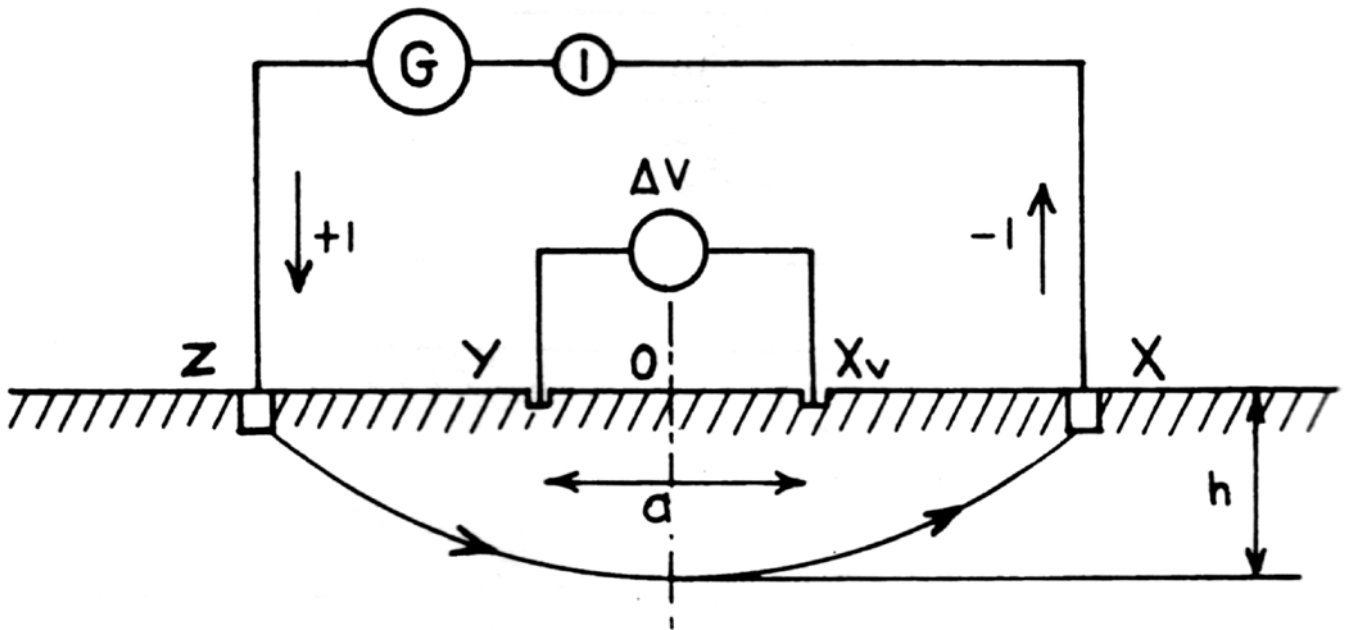
รูปที่ 19

ถ้าจุด O อยู่ตรงกลางระหว่าง Z และ X ดังนั้นค่าของ $ZO = OX = d$ โดยค่าความต้านทานจำเพาะของดินจะสามารถพิจารณาได้จากสูตร

$$\rho = \pi d^2 \frac{E}{I}$$

การหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินนั้นไม่มีสูตรที่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับชั้นของดินใต้จุด O ซึ่งอาจไม่ดีพอในการส่งผ่านกระแสไปได้ดีระหว่างจุด Z และ X

ดังตัวอย่าง สนามไฟฟ้า E คือการหาค่าโดยเทียบอัตราส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ΔV ในขณะที่อยู่ระหว่างแท่งอิเล็กโทรด 2 แท่ง คือ Y และ X_v ที่วางอย่างเป็นสัดส่วนกับจุด O และอยู่จากจุด a ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20

$$E = \Delta V / a$$

ความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้า ΔV สามารถที่จะแสดงเป็นฟังก์ชันลำดับของระยะ Y และ X_v ในการพิจารณากระแส +I และ -I จากความสัมพันธ์นี้จะได้

$$\Delta V = V_c - V_d = \frac{aI}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{ZY} - \frac{1}{YX} \right) - \left(\frac{1}{ZX_v} - \frac{1}{X_v X} \right) \right]$$

จากความสัมพันธ์นี้เราสามารถพิจารณาความชัดเจนของความต้านทานจำเพาะ ρ ของการสะสมขึ้นของชั้นดินได้โดยตรงโดยผ่านได้จุด O

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{1}{ZY} - \frac{1}{YX} - \frac{1}{ZX_v} + \frac{1}{X_v X}} \frac{\Delta V}{I}$$

นี่เป็นสูตรทั่วไปสำหรับการคำนวณค่าที่ชัดเจนของความต้านทานจำเพาะของดิน โดยจะเป็น

อิสระจากส่วนของความยาวและความลึกของแท่งกราวด์ ในเทอมของ $\frac{V}{I}$ คือค่าความต้านทาน R ในขณะทำการวัดโดยใช้เครื่องโอห์มมิเตอร์วัดความเป็นกราวด์แบบ 4 หลัก ด้วยขั้วของแรงดันที่ต่ออยู่กับแท่งกราวด์ Y และ X_v และขั้วของกระแสที่ต่ออยู่กับขั้วของกราวด์ Z และ X

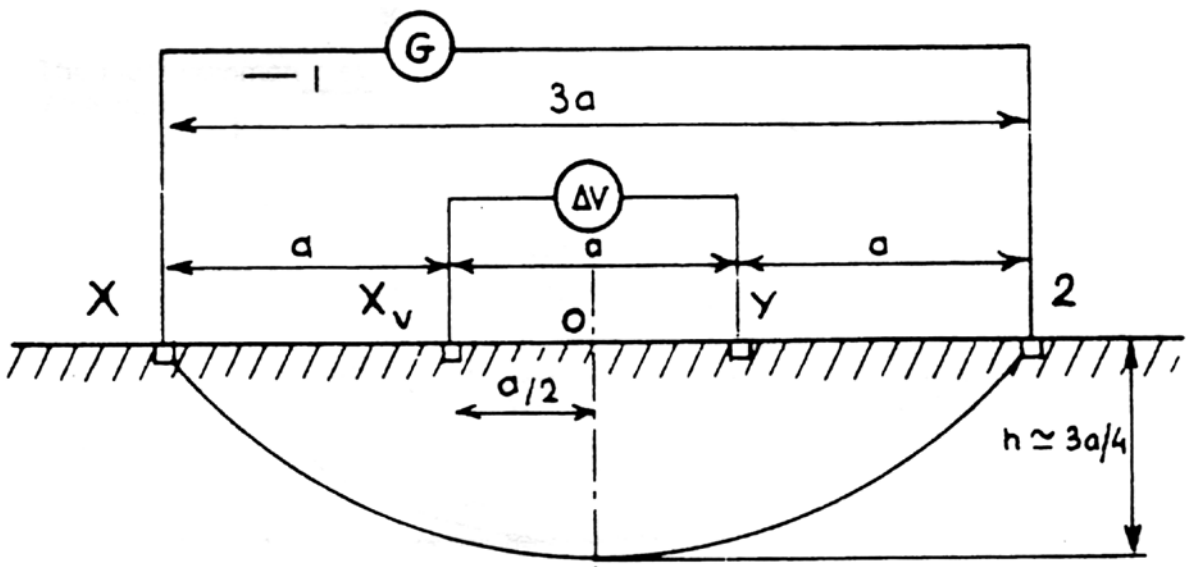
ในกรณีของดินซึ่งประกอบขึ้นด้วยส่วนที่เหมือนกันจะเป็นตัวบ่งชี้ค่าความถูกต้องของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

วิธีการของ Wenner

วิธีนี้เป็นวิธีที่คนส่วนมากนิยมใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานจำเพาะ แท่งกราวด์ 4 แท่งคือตำแหน่งที่เท่ากันของระยะทางตามแนวเส้นตรง

การทดสอบเครื่องสอบเครื่องมือวัดเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโอห์มมิเตอร์วัดกราวด์ กระแสที่ไหลผ่านโดยทางภายนอกของแท่งกราวด์และค่าความต่างศักย์ ΔV คือการวัดคร่อม 2 จุดภายในแท่งกราวด์ ดังรูปที่ 21

การวัดที่จุด O คือ ตำแหน่งที่ตั้งอยู่ตรงกลางของระบบที่สมมาตรระหว่างการวัดระดับแรงดันไฟฟ้าของแท่งกราวด์ ระยะ a ระหว่าง 2 จุดที่ชิดกับแท่งอิเล็กโทรด หมายถึง การวัดฐานราก ระยะระหว่าง 2 จุดภายนอกของแท่งอิเล็กโทรด หมายถึง เส้นของการแพร่(ซึ่งเท่ากับค่า 3a ของวิธีการแบบ Wenner)



รูปที่ 21

สูตรทั่วไปนี้ช่วยเพิ่มความชัดเจนของความต้านทานจำเพาะในตำแหน่งของชั้นดินที่อยู่ภายใต้จุด O และจะทำให้ง่ายขึ้นเมื่อใช้กับวิธีของ Wenner โดยมาจาก

$$\rho = 2\pi a R$$

ρ = ค่าความต้านทานจำเพาะของดินมีหน่วยเป็น Ωm

a = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดข้างเคียงที่อยู่ใต้ดิน

R = ค่าความต้านทานที่วัดได้มีหน่วยเป็น Ω



ASRAS CO.,LTD.
1694, 1694/1 Prachasongkhro Road,
Dindaeng, Dindaeng, Bangkok 10400
Tel. 02-692-3980, Fax 02-692-3978
E-mail: sales@asras.com
www.asras.com; www.asras.co.th

C.A 6521, C.A 6523 & C.A 6525 Digital Insulation Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานฉนวนแบบพกพา

- แรงดันทดสอบสูงสุด 1,000 V DC
- ค่าทดสอบสูงสุด 2 GΩ
- ตั้ง Alarm เพื่อแจ้งเตือนค่าความต้านทานต่ำได้
- หน้าจอขนาดใหญ่แสดงค่า 2 บรรทัด
- น้ำหนักเบา พกพาง่าย



C.A 6505 Electrical Insulation Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานฉนวนราคาประหยัด

- วัดค่าความต้านทานได้ช่วงกว้าง ตั้งแต่ 10 kΩ - 10 TΩ
- จอแสดงผลขนาดใหญ่ พร้อม Bargraph แสดงค่าความต้านทานที่วัดได้
- แรงดันทดสอบ ตั้งแต่ 40 V จนถึง 5,000 V มีทั้ง Fix Range และปรับตั้งแรงดันทดสอบได้เอง
- ค่าวนค่า DAR/PI อัตโนมัติ
- แบตเตอรี่ใช้งานได้นานกว่า 30 วัน
- มีฟังก์ชัน Smooth ช่วยให้การอ่านค่าวัด ทำได้ง่ายขึ้น



C.A 6545, C.A 6547 Digital Insulation Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานฉนวน

Full Function

- วัดค่าความต้านทานสูงสุดได้ถึง 10 TΩ (10^{12} Ω)
- ค่าวนและแสดงค่า DAR, PI, DD อัตโนมัติ
- แรงดันทดสอบสูงสุด 5,000 V
- ตั้งเวลาทดสอบอัตโนมัติได้
- สามารถวัด Leakage Current ได้ต่ำสุดถึงระดับ nA
- สามารถโปรแกรมแรงดันทดสอบเองได้อิสระ
- สามารถบันทึกค่าวัดและนำไปพล็อตกราฟในโปรแกรม DataView™ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานได้



C.A 6549 Digital Insulation Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานฉนวนพร้อม

Graphic Display

- แรงดันไฟฟ้าทดสอบ 500, 1,000, 2,500 และสูงสุด 5,000 โวลต์
- วัดค่าความต้านทานตั้งแต่ 30 kΩ ถึง 10 TΩ
- ค่าวนและวัดค่าทดสอบต่างๆ อัตโนมัติ เช่น DAR, PI, Dielectric Discharge, Leakage Current
- ระบบความปลอดภัยสูงสุด ปิดแรงดันอัตโนมัติหากมีการ Short Circuit
- ตรวจสอบแรงดันค้าง ณ จุดวัดก่อนเริ่มการวัดและ Discharge กระแสอัตโนมัติหลังทดสอบเสร็จ
- สามารถวัด Leakage Current ได้ต่ำสุดถึงระดับ nA
- หน้าจอกราฟิกแสดงผลการทดสอบและพล็อตกราฟบนหน้าจอ และมีฟังก์ชัน Step Voltage
- สามารถบันทึกค่าวัดและนำไปพล็อตกราฟใน โปรแกรม DataView™ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานได้



C.A 6421, C.A 6423 Ground Resistance Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานดินขนาดพกพา

- เครื่องมือวัดความต้านทานดินแบบพกพา 3 หลัก วัดค่าตั้งแต่ 0 - 2,000 Ω
- ใช้งานง่าย กดปุ่มเดียวเพื่ออ่านค่าความต้านทานดินที่วัดได้
- มีไฟ LED ตรวจสอบสถานะ Fault ต่างๆ ของการวัด
- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก ราคาประหยัด



C.A 6460, C.A 6462 Earth and Resistivity Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานดิน 3 ฟังก์ชัน

- ย่านการวัดตั้งแต่ 0.01 Ω ถึง 2 kΩ ปรับช่วงอัตโนมัติ
- ทดสอบ 3 อย่างในเครื่องเดียว ทั้งความต้านทานดิน, ความต้านทานแท่งกราวด์ และ ความต้านทานระหว่างแท่งกราวด์ 2 แท่ง
- หน้าจอแสดงผลขนาดใหญ่ มีไฟ Backlight
- มีฟังก์ชันตรวจสอบสัญญาณรบกวนและความผิดพลาดต่างๆ ก่อนเริ่มการวัด
- เหมาะกับงานในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น มีแรงดันไฟฟ้ารบกวน กระแสไฟฟ้ารบกวนจากคลื่นแม่เหล็ก หรือการวัดในพื้นที่จำกัด
- การป้องกันระดับ IP53 ตัวเครื่องทนทาน พกพาสะดวก



C.A 6470, C.A 6471 Earth and Resistivity Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานดินแบบ Multi-Tester 5 in 1

- วัดกราวด์แบบดอคมุดได้ทั้งแบบ 3 แท่ง และ 4 แท่ง
- วัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (Resistivity)
- วัดค่าความต้านทานแบบใช้แคลมป์ โดยไม่ต้องปลดหลัก
- ช่วยการวัดง่ายและได้ค่าวัดที่ละเอียดแม่นยำ
- วัดความต้านทานดินได้แม้ในพื้นที่ที่มีกระแสรบกวนสูง
- มีโปรแกรม PC พื้นฐาน สำหรับบันทึกและเก็บค่าวัดที่ได้อัปโหลดบน PC
- สามารถเปลี่ยนความถี่ของกระแสที่ใช้วัด ได้เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน
- วัดค่าความต้านทานดินได้ง่ายกว่าเดิม เมื่อใช้งานร่วมกับแคลมป์ จึงสามารถทำการวัดได้โดยไม่ต้องปลดหลัก เพื่อความปลอดภัย
- เครื่องสามารถตรวจสอบเช็คความผิดปกติก่อนเริ่มการวัดได้ ทำให้ตรวจสอบและแก้ไขได้ง่าย
- หน้าจอ LCD ขนาดใหญ่ แสดงผลได้พร้อมๆ กัน 3 บรรทัด



C.A 6472, C.A 6474 Earth and Resistivity Tester

เครื่องมือวัดความต้านทานดิน Full Function

เครื่องมือวัดความต้านทานดินสำหรับมืออาชีพ ฟังก์ชันการวัดสมบูรณ์แบบ

- สามารถวัดได้ทั้งความต้านทานดิน ความต้านทานจำเพาะของดิน และแรงดันตกคร่อมในดิน
- วัดความต้านทานดินโดยใช้แคลมป์ทั้งแบบ Selective Earth (1 แคลมป์) และแบบ 2 แคลมป์โดยไม่ต้องปลดหลัก
- สามารถวัดความต้านทานเฉพาะแท่งกราวด์ที่ต่อเพิ่มได้
- มีหน่วยความจำสามารถบันทึกค่าวัดได้
- มีฟังก์ชันเช็คค่าความต้านทานที่ตกคร่อมในสายวัด เพื่อการวัดที่แม่นยำยิ่งขึ้น
- สามารถเปลี่ยนความถี่ของกระแสที่ใช้วัด ได้เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน
- สามารถเชื่อมต่อกับ C.A 6474 Pylon Box เพื่อนำไปวัดเสาสูงไฟฟ้าแรงสูงได้ (วัดโดยใช้แคลมป์ AmpFLEX)



บริษัท แอสราส จำกัด
ASRAS CO.,LTD.

1694, 1694/1 ถนนประชาสงเคราะห์ แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400

โทร. 0-2277-9969, 0-2692-3980 โทรสาร. 0-2277-0995, 0-2692-3978

http://www.asras.com

E-mail : sales@asras.com

Expertise for Earths

Ground, earth electrode and coupling measurement using traditional rod methods

C.A 6460
C.A 6462

Earth and Resistivity
Testers



- **3 testers in one:** resistivity, earth, coupling
- **Validation of measurement through automatic check:**
3 lights indicate the presence of faults liable to impair measurement results
- **Heavy-duty on-site case** with cover for use on difficult grounds
- **Large LCD display with backlighting**



**CHAUVIN
ARNOUX**

Robust and watertight, the C.A 6460 and C.A 6462 are easy-to-use instruments designed specially for use in the field. Wherever you need to install an electric ground connection or certify an existing one, the C.A 6460 and C.A 6462 help you perform accurate, reliable and quick diagnosis while providing the friendliest and safest test environment.

COMPLETE AND WELL-DESIGNED TOOLS

Using the conventional rod-based method, the C.A 6460 and C.A 6462 measure resistivity ("4-wire" connections), ground resistances ("3-wire" connections) and coupling between electrically independent earth electrodes ("4-wire" connections).

They are equipped with 4 color-coded terminals for easy connection and a captive bar for changing from a 4-wire to a 3-wire measurement very quickly and easily.

Plus, the C.A 6462 is fitted with a rechargeable battery with an internal charger.

MEASUREMENT AND ERROR DIAGNOSIS

Once the rods have been installed and connected (named E, ES, S and H), begin measurement by simply pressing the push-button. For maximum accuracy, the range and current selection is carried out automatically.

The measurement result and its unity are read directly on the large, backlit digital screen.

Three lights indicate any defect or interference liable to impair measurement results:

- red flashing FAULT LED (E-H): indicates a fault in the current circuit (voltage at terminals ≥ 30 V peak)
- red flashing HIGH RESISTANCE LED (ES-S): voltage circuit resistance too high ($R \geq 50k\Omega$)
- red flashing HIGH NOISE LED (ES-S): voltage circuit noise ≥ 13 V peak

VERY SAFE TO USE

When it comes to safety, the C.A 6460 and C.A 6462 meet the strictest of standards.

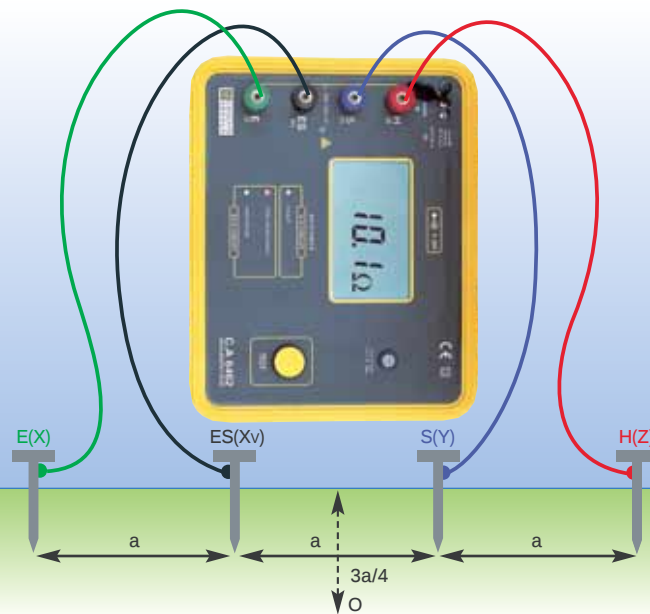
These instruments are very suitable to severe environments: parasitic voltages, high telluric currents, highly resistive auxiliary connections, etc.



USE / APPLICATIONS:

■ Ground resistivity measurement with the "Wenner method" (4-rod method)

Depending on the soil's properties, this measurement defines the best positions, depth and geometry necessary for installing electric ground connections.

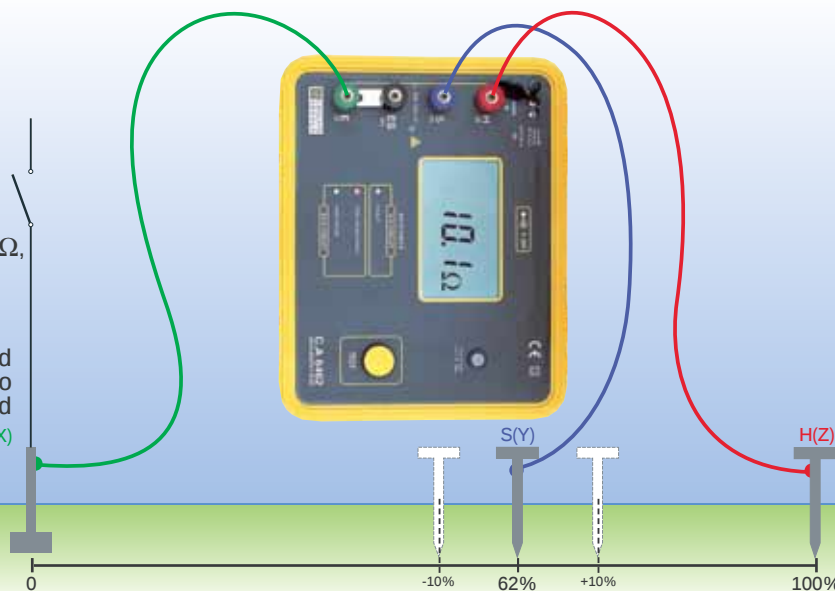


■ Ground connection resistance measurement with the "TAGC method" (62% method)

This method, using 2 auxiliary rods, measures up to 2000 Ω , even in worst-case conditions.

Ground connection to be measured

E(X)



■ Coupling measurement between two earths

4-wire measurements are considered better than 2-wire because they free you from cord resistance, which is often too high.



TECHNICAL SPECIFICATIONS:

MEASUREMENT CHARACTERISTICS

- Measurement from 0 to 2000 Ω within three automatic ranges

Measurement range	Resolution	Test current	Accuracy
0.00...19.99 Ω	0.01 Ω	10 mA	$\pm 2\%$ ± 1 pt
20.00...199.9 Ω	0.1 Ω	1 mA	$\pm 2\%$ ± 1 pt
200.0...1999 Ω	1 Ω	0.1 mA	$\pm 2\%$ ± 3 pt

- Measurement frequency: 128 Hz
- Open circuit voltage ≤ 42 V peak

- Conditions for use: -10...55 $^{\circ}\text{C}$ / 20...90% RH
- Response time: between 4 and 8 seconds depending on measurement conditions

OTHER FEATURES

- Power supply

C.A 6460	C.A 6462
8 alkaline 1.5 V LR14 batteries or same-size rechargeable NiMH or NiCd storage batteries	Rechargeable NiMH battery (life: 6 h for a load at 80%)

- Average charge life under permanent control

C.A 6460	C.A 6462
4,500 measurements of 15 s	1,180 measurements of 15 s

- Watertight IP 53 case
- Dimensions: 273 x 247 x 127 mm

- Weight: about 2.8 kg (C.A 6460) and about 3.3 kg (C.A 6462)

COMPLIANCE TO STANDARDS

- Electric safety: double insulation device, according to NF EN 61010 / IEC 61557

- EMC: EN 61 000-3, EN 61 000-4

TO ORDER

C.A 6460	C.A 6462
delivered with batteries and user's manual in 5 languages	delivered with 2 m European-type mains supply lead and user's manual in 5 languages
P01.1265.01	P01.1265.02

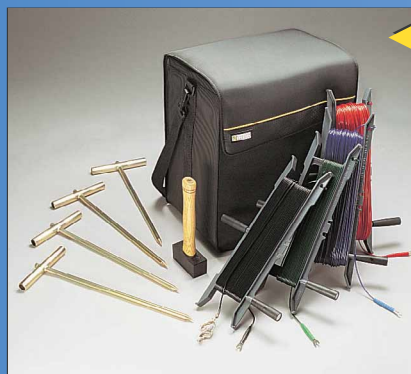
ACCESSORIES:



Standard Earth / Resistivity Kit

P01.1018.23

Shoulder bag with 4 straight rods, 2 extractors, 2 reels (30 m of red cord, 30 m of blue cord), 3 m of green cord, 3 m of black cord and 1 hammer.



Prestige Earth / Resistivity Kit

P01.1018.25

Compartmentalized rigid bag with space for the tester, including 4 T-rods, 4 reels (100 m of red cord, 60 m of blue cord, 10 m of green cord and 20 m of black cord) and a hammer.

REPLACEMENT PARTS:

- 1.5V alkaline LR14 battery (pack of 2)
- 9.6V – 3.5 AH NIMH storage battery
- European mains lead
- HPC 0.1A fuse (pack of 10)

P01.2960.27
P01.2960.21
P01.2961.74
P01.2970.12



ASRAS Co.,LTD

**1694, 1694/1 Prachasongkhro Road.
Dindaeng, Dindaeng, Bangkok 10400
Tel. 02-692-3980, Fax. 02-692-3978**

E-mail : sales@asras.com

Website : www.asras.com ; www.asras.co.th



ASRAS CO.,LTD.
1694, 1694/1 Prachasongkhro Road,
Dindaeng, Dindaeng, Bangkok 10400
Tel. 02-692-3980, Fax. 02-692-3978
E-mail: sales@asras.com
www.asras.com; www.asras.co.th



**CHAUVIN
ARNOUX**