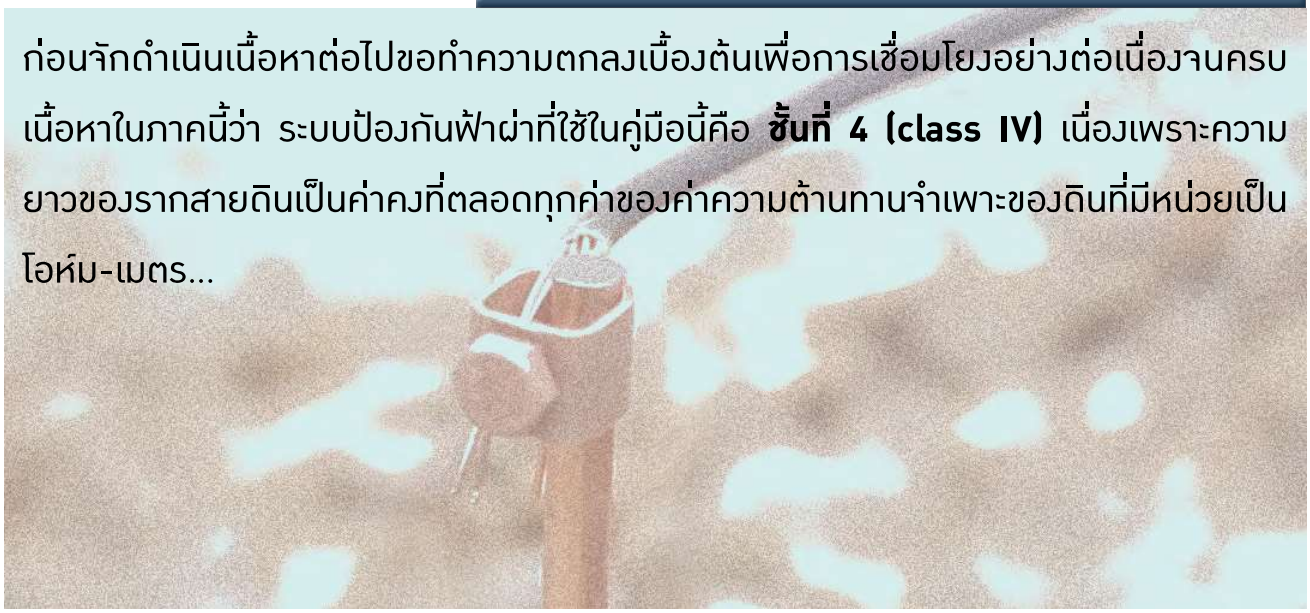
คุณสุวิทย์ ศรีสุข

ขอเล่าเท่าที่รู้...

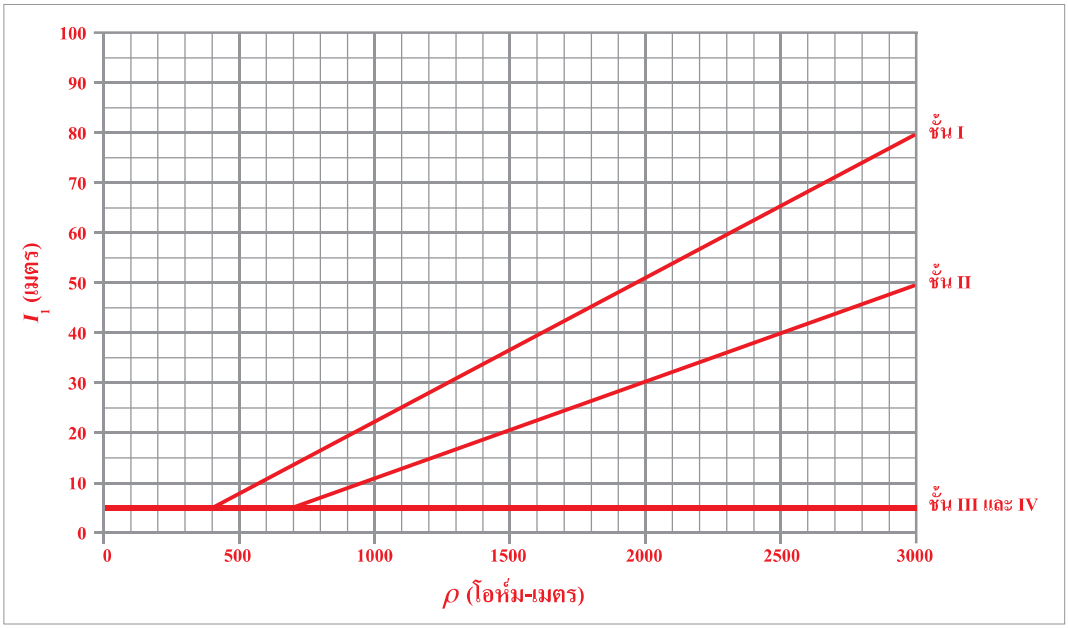
แนวคิดตามทฤษฎีของเวนเนอร์ ด้วยวิธีแคล้มป์...

งานเขียนทดลอง... ระบบรากสายดิน



ก่อนจักดำเนินเนื้อหาต่อไปขอทำความตกลงเบื้องต้นเพื่อการเชื่อมโยงอย่างต่อเนื่องจนครบเนื้อหาในภาคนี้ว่า ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้ในคู่มือนี้คือ **ชั้นที่ 4 (class IV)** เนื่องเพราะความยาวของรากสายดินเป็นค่าคงที่ตลอดทุกค่าของค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร...

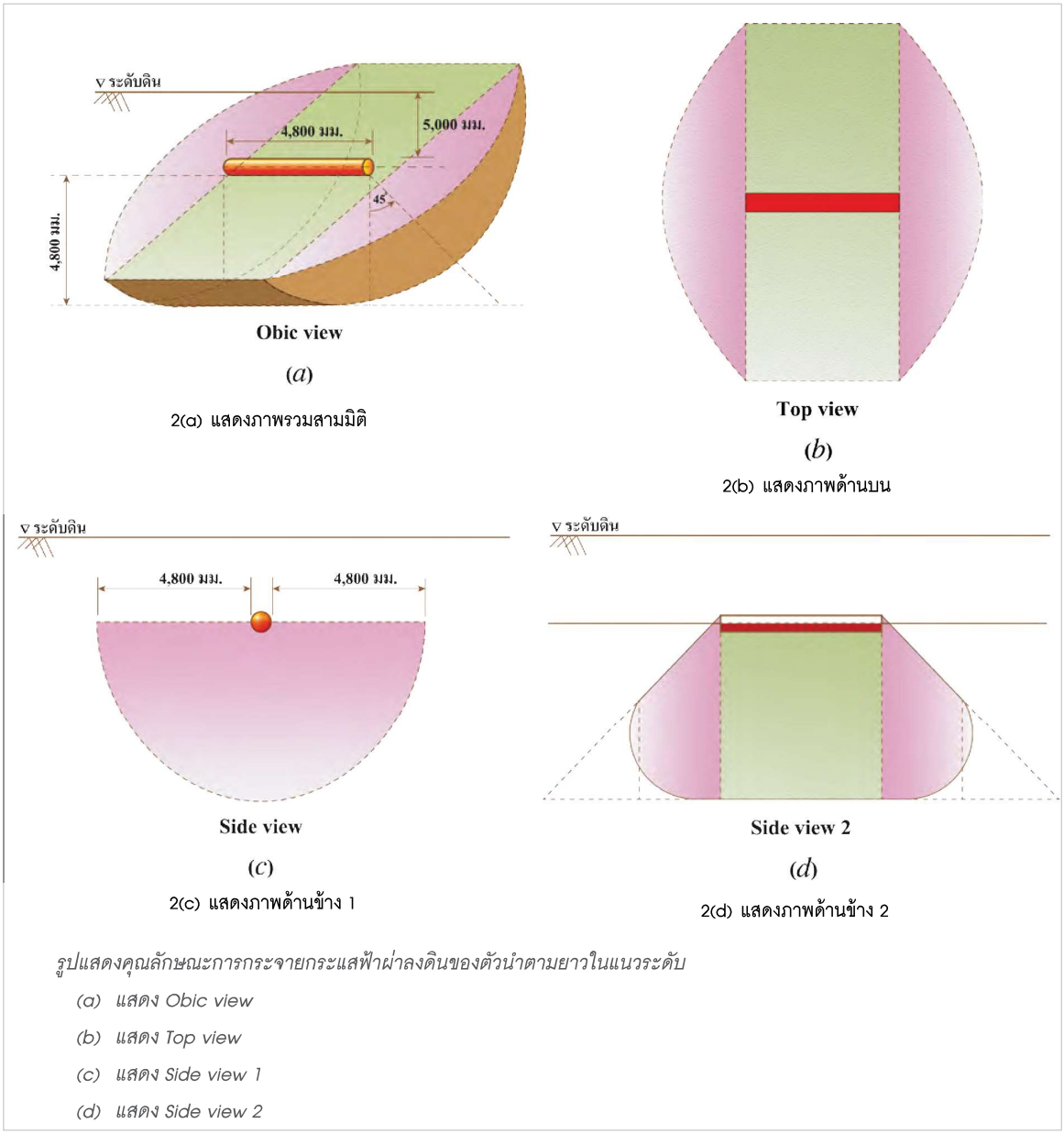
ระบบรากสายดินสำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องการขนาดค่าความต้านทานดินไม่มากกว่า 10 โอห์ม แนวทางในการติดตั้งเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานดินค่าดังกล่าวแนวทางหนึ่งคือ ระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำแบบแนวนอน ข้อกำหนดที่มีผลต่อค่าความต้านทานดินที่ต้องการนั้นคือ ขนาดความยาวของแท่งตัวนำแบบแนวนอน ตามมาตรฐาน IEC ใช้สัญลักษณ์ 'L' สามารถตรวจสอบได้จากกราฟที่แสดงไว้ในมาตรฐาน IEC 62561: 2012 ซึ่งต่อไปนี้เรียกว่า "IEC" ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกราฟที่ใช้เลือกขนาดของระบบรากสายดินแบบแนวนอน

จากรูปที่ 1 จักเห็นได้ว่า ที่ชั้นระดับฟ้าผ่าชั้นที่ 4 (class IV) ที่ทุกๆ ขนาดของค่าความต้านทานจำเพาะของดินได้ขนาดของค่า L น้อยกว่าครึ่งเล็กน้อย ในที่นี้เลือกที่จักใช้ขนาด 4.8 เมตร เพื่อเชื่อมโยงไปยังการนำไปใช้งานต่างๆ ต่อไป (จนกว่าจักมีข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนว่า ไม่ใช่จึงจักปรับแก้ไขต่อไป) ที่ขณะนี้ยังอยู่ในแนวทางนี้ที่เป็นตัวนำตามยาว ติดตั้งตามแนวนอนที่ความยาว L ด้วยขนาด 4.8 เมตร การกระจายกระแสไฟฟ้าจากฟ้าผ่าลงดินจักกระจายลงด้านข้างแลด้านล่างด้วยระยะเท่ากับความยาวของตัวนำทางด้านข้างแลด้านครึ่งล่างเป็นปริมาตรดินด้านใต้ตัวนำเป็นครึ่งทรงกระบอกหงาย ส่วนด้านหัวด้านท้ายกระจายไปทางด้านครึ่งด้านล่างเริ่มที่มุม 45 องศากับแนวดิ่งจนกระทั่งถึงมุม 0 องศากับแนวดิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2

สำหรับแนวทางนี้เองก็ยังมีทางเลือกอีกอย่างคือ ระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำแบบแนวดิ่ง มาตรฐาน IEC ได้กำหนดขนาดของ 'L' ให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่ง การพิจารณาความสัมพันธ์ทั้งสองที่เรียกว่าใช้ความยาวเพียงครึ่งหนึ่งคือปริมาตรของดินที่ใช้ในการกระจายกระแสไฟฟ้าที่ไปทั้งในแนวระดับ แลแนวดิ่งลึกลงไปในดิน (จินตนาการว่า พุ่งลึกลงไปสู่ใจกลางของโลก บ้างเคยเห็นชื่อเรียกว่า ideal earth) การแสดงคุณลักษณะจักเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 3



รูปแสดงคุณลักษณะการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงดินของตัวนำตามยาวในแนวระดับ

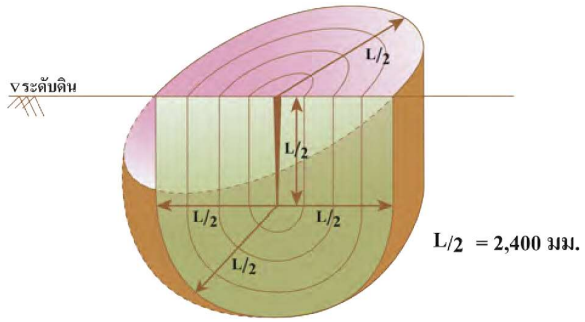
(a) แสดง Obic view

(b) แสดง Top view

(c) แสดง Side view 1

(d) แสดง Side view 2

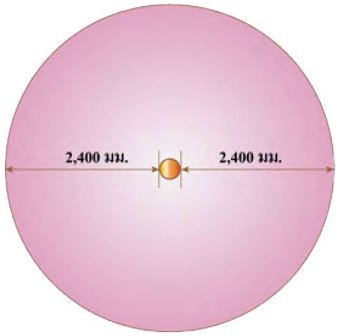
รูปที่ 2 แสดงคุณลักษณะการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงดิน สำหรับระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวนอน



Obic view

$(a)^1$

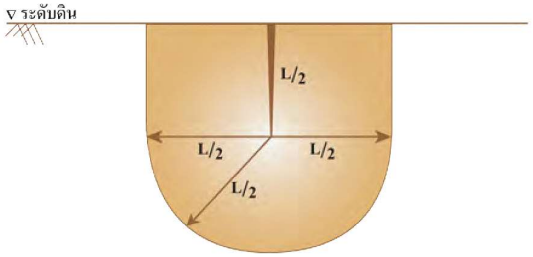
3(a) แสดงภาพรวมสามมิติ



Top view

$(b)^2$

3(b) แสดงภาพด้านบน



Side view

$(c)^2$

3(c) แสดงภาพด้านข้าง 1

รูปแสดงคุณลักษณะการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงดินของตัวนำตามยาวในแนวดิ่ง

(a) แสดง Obic view

(b) แสดง Top view

(c) แสดง Side view

รูปที่ 3 แสดงคุณลักษณะการกระจายกระแสฟ้าผ่าลงดิน สำหรับระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวดิ่ง

จากรูปที่ 3 จักสังเกตได้ว่า ปริมาตรดินที่เกิดจากระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวดิ่งจักมีปริมาตรดินที่ใช้ในการซึมซับกระแสฟ้าผ่าเป็นสี่เท่าของปริมาตรดินที่เกิดจากระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวระดับที่ความยาว 'L' เท่ากัน แต่โดยที่ IEC กำหนดให้ใช้ค่าความยาวของแท่งตัวนำที่ติดตั้งในแนวดิ่งให้ใช้เพียงครึ่งเดียว ฤๅ ในที่นี้คือ ยาว 2.4 เมตร นั่นหมายความว่า เป็นความยาวทางกายภาพเท่านั้นในดิน โดยตัดส่วนที่ปริมาตรของดินทะลุลงไปในดินเกินแท่งหลักดินทางกายภาพ แต่ในปริมาตรดินดังกล่าวในการกำหนดระยะของทฤษฎีของเวนเนอร์ต้องเอามาใช้ ไม่เช่นนั้นผลการทดสอบก็จักผิดพลาดไม่เป็นไปตามทฤษฎี เรื่องนี้นี้เมื่อถึงเวลาทดจักได้นำไปพิสูจน์กัน

ในการตรวจสอบปริมาตรดินที่ใช้ในการซึมซับกระแสฟ้าผ่า โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

V = 5 x Pi x L ^ 3 / 3 (David R. Stockin., 2016 (p.19))

มี 2 กรณีที่จักพิจารณาดังนี้

กรณีที่ 1 ระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวนอน มีค่า L เท่ากับ 4.8 เมตร มีปริมาตรดินเฉพาะที่เป็นด้านล่างให้ตัวนำเป็นครึ่งทรงกระบอก แทนค่าในสูตรจักได้

V = (5 X Pi x 4.8 ^ 3 / 3) / 2 = 289.529 cu.m.

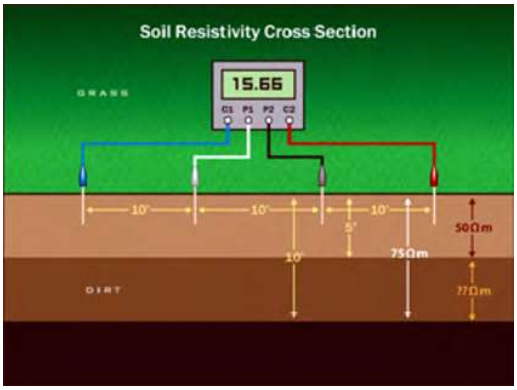
กรณีที่ 2 ระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวดิ่ง มีค่า L เท่ากับ 2.4 เมตร มีปริมาตรดินโดยรอบตัวนำเป็นเต็มทรงกระบอก พร้อมกับการฟุ่งทะลุลงไปในดิน ด้วยปริมาตรที่เทียบเท่ากับระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำ แบบแนวนอน ทำให้ต้องใช้ปริมาตรดินในแนวดิ่งถึง 4 เท่า แทนค่าในสูตรจักได้

V = (5 X Pi x 2.4 ^ 3 / 3) x 4 = 289.529 cu.m.

ระบบรากสายดินชนิดแท่งตัวนำได้เปรียบเทียบจนมาถึงความรู้ที่ว่าแบบแนวระดับใช้ปริมาตรดินได้เพียงครึ่งทรงกระบอกลึกลงไปในดิน ในการทำ Wenner เมื่อหากจักให้การซึมลงไปในดินเพียงด้านเดียวจักได้ปริมาตรดินเพียงหนึ่งในสี่เท่านั้น ทำให้การกำหนดระยะต้องใช้ถึง 2 x L. ระดับ (เท่ากับ 2 x 4.8 = 9.6 เมตร) ในขณะที่แบบแนวดิ่งต้องใช้ปริมาตรดินในแนวดิ่งถึงสี่เท่าของค่าความยาว L ทำให้การกำหนดระยะต้องใช้ถึง 4 x L.ดิ่ง (เท่ากับ 4 x 2.4 = 9.6 เมตร) นี้คือค่า a ใน wenner theorem เมื่อถึงเรื่อง wenner ก็จักอธิบายซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

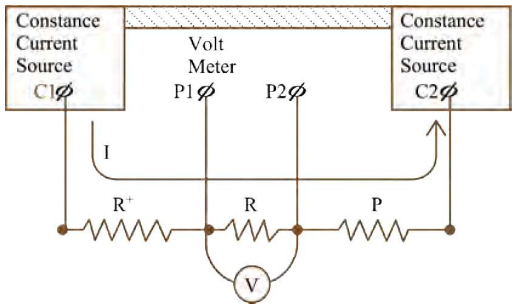
ต่อไปจักเป็นการประยุกต์ความรู้ข้างต้นมาใช้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับ แนวคิดทฤษฎีของเวนเนอร์ (Wenner Theorem)

ทฤษฎีเวนเนอร์เป็นทฤษฎีที่ใช้หาขนาดของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน มีหน่วยเป็น โอห์ม-เมตร ที่มีสัญลักษณ์เป็น ρ (อ่านว่า rho ฤๅ โรว์) ในการใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินเป็นชนิด 4 ขั้ว มีการจัดเครื่องมือดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการเดินสายเพื่อการใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินเป็นชนิด 4 ขั้ว

จากรูปที่ 4 สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังแสดงในรูปที่ 5



(a) วงจรสมมูลแสดงการทำงานของกระแสไฟฟ้าทางไฟฟ้า

(b) วงจรสมมูลแสดงการทำงานของการซึมตามชั้นดินของกระแสไฟฟ้าทางกายภาพ

รูปที่ 5 แสดงวงจรสมมูลเพื่อการใช้เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดินเป็นชนิด 4 ขั้ว

การคำนวณระยะต่างๆ เริ่มต้นที่ขนาดของ b มีค่าน้อยกว่า a 20 เท่า ฤๅถือว่าน้อยกว่ามากๆ จนคิดว่า ขนาดของ b ไม่นำมาคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ต่อไปเป็นการหาขนาดของ a ให้คำนวณอ้างอิงจากระดับดินที่ลึกถึงระดับที่ต้องการ ด้วยแท่งหลักดินซึ่งปักลึกลงไปในดินที่ปลายลึก 2.4 เมตรในแนวดิ่ง ให้ย้อนกลับไปดูรูปแสดงการซึมของกระแสไฟฟ้า ในรูปที่ 5 (a) จักเห็นว่า การซึมลงไปในดินได้ลึกถึง 4.8 เมตร คราวนี้กลับมาพิจารณาว่า แล้วขนาดของค่า a มาจากไหน ก็มาจากการแปลง ฤๅความต้องการให้กระแสซึมลึกลงไปในดินได้ลึก 4.8 เมตร แลมีปริมาตรของดินเป็นเต็มทรงกระบอก โดยกระบวนคิด ค่าของ a ที่ใช้ ให้เทียบได้กับแท่งหลักดินที่ติดตั้งในแนวนอน เป็นวงจร ฤๅรูปแบบสมมูลเทียบเท่า ดังนั้นเมื่อจักพิจารณาค่าของ a จึงต้องพิจารณาเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. การที่ต้องการให้ขนาดความลึกของการซึมลึกลงไปในชั้นดิน 4.8 เมตร ตามที่แท่งหลักดินแนวดิ่งทำได้ ทำให้ค่า a อาจมีค่าเท่ากับ 4.8 เมตร แต่เนื่องจากการทำงานของแท่งหลักดินแนวนอน ทำงานเป็นครึ่งทรงกระบอกตามที่แสดงในรูปที่ 2 ดังนั้น แม้นความลึกจักได้ตามแท่งหลักดินแนวดิ่งที่ยาว 2.4 เมตร ซึมลง 4.8 เมตร แต่เป็นเพียงครึ่งทรงกระบอก ดังนั้นจึงต้องพิจารณาในข้อ 2 ต่อไป

2. เพิ่มความยาวของระยะ a ในข้อที่ 1) อีกเท่าตัวเพื่อให้ได้เต็มทรงกระบอกเทียบเท่าแท่งหลักดินในแนวดิ่ง ดังนั้นระยะ a จึงมีค่าเท่ากับ 4 เท่าของแท่งหลักดินในแนวดิ่ง (2.4 เมตร) ได้เท่ากับ 4 x 2.4 = 9.6 เมตร

ดังนั้น เมื่อค่า a = 9.6 เมตร มีขนาดมากกว่า ค่า b มากกว่า 20 เท่าโดยที่ค่าความยาว b เป็นความยาวในแนวดิ่งจึงต้องแปลงค่า a เป็นแนวดิ่งก่อน ได้ขนาดของ a ในแนวดิ่งเท่ากับ 4.8 เมตร เมื่อต้องการหาค่า b มีขนาดน้อยกว่า 20 เท่าของค่า a เป็นขนาดน้อยกว่า 4.8 / 20 เท่ากับ 0.24 เมตร ฤๅ 24 เซนติเมตรสามารถเขียนเป็นภาพรวมสำหรับการทดสอบค่าความต้านทานจำเพาะของดินดังนี้

A = 9.6 เมตร แลค่า b = 0.24 เมตร

เมื่อทดสอบตามทฤษฎีของเวนเนอร์ได้ขนาดของค่าความต้านทานดิน ในที่นี้ใช้สัญลักษณ์เป็น R นำไปใช้คำนวณหาค่า rho ตามสูตรคำนวณดังแสดงในรูปที่ 6

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1+\frac{2a}{\sqrt{a^2+b^2}}-\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}}$$

$$\rho = 2\pi aR\ (\Omega \cdot m)$$

รูปที่ 6 แสดงสูตรคำนวณที่ใช้หาค่า rho

เมื่อได้ค่า Rho ของดินแล้วสามารถนำเข้ามาคำนวณหาค่าความต้านทานดินได้ (ในที่นี้อ้างอิงแท่งหลักดินแนวดิ่ง) ตามสูตรคำนวณดังรูปที่ 7

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{8L}{d}\right)-1\right]$$

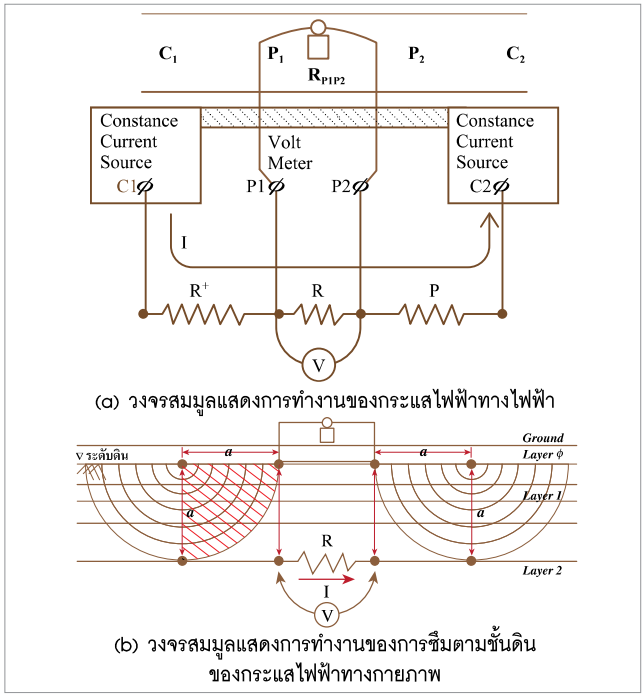
โดยที่

L คือ ความยาวแท่งหลักดิน (m)
d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางแท่งหลักดิน (m)
p คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (Ω • m)

รูปที่ 7 แสดงสูตรคำนวณหาค่าความต้านทานดิน

ต่อไปนี้คือ เป้าหมายของงานเขียนนี้ ขอนำเสนอ แนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีของเวนเนอร์ ด้วยวิธี clamp เพื่อใช้ในการท้าทายการเข้าถึงกระบวนการสร้างสรรค์ความรู้ด้วยการนำเสนอนี้ต่อไป

แนวคิดแบบจำลองที่ทดสอบหาค่า rho ตามทฤษฎีของ wenner เป็นงานทดลองโดยที่ให้ดำเนินการหาค่า rho โดยใช้มิเตอร์วัดค่าความต้านทานดินชนิด 4 ขั้วดังแสดงในรูปที่ 6 ค่าความต้านทานที่อ่านได้เกิดจากการจ่ายกระแสคงที่ จากขั้ว C1 ไปยังขั้ว C2 (ซ้ายสุดมาหาขวาสุด) แล้วอ่านค่าแรงดันระหว่างขั้ว P1 แล P2 ดังภาพวงจรสมมูลในรูปที่ 7 งานทดลองนี้ หลังจากอ่านค่าความต้านทานดินข้างต้นแล้ว ปลดมิเตอร์ 4 ขั้วออก แล้วเชื่อมโยงขั้ว O1 แล P2 (เดิมที่เคยต่อเข้ามิเตอร์ 4 ขั้ว) แล้วใช้แคลมป์ อ่านค่าความต้านทานดิน ดังแสดงในรูปที่ 8



(a) วงจรสมมูลแสดงการทำงานของกระแสไฟฟ้าทางไฟฟ้า

(b) วงจรสมมูลแสดงการทำงานของการซึมตามชั้นดิน ของกระแสไฟฟ้าทางกายภาพ

รูปที่ 8 แสดงการเชื่อมแท่งโพรบ P1 แล P2 แล้ววัดค่าความต้านทานดินด้วยแคล้มป์

จากรูปที่ 8 อ่านค่าได้เท่าใด ให้พิจารณาด้วยสองสมมติฐานดังนี้

(1) ค่าความต้านทานดินที่อ่านได้จากแคลมป์ มีค่าเท่ากับค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 4 ขั้ว ทำให้สามารถนำค่าไปใช้คำนวณหาค่า rho ตามทฤษฎีของ wenner ต่อไป

(2) ค่าความต้านทานดินที่อ่านได้จากแคล้มป์มีค่าเป็นเพียง หนึ่งในสาม ของค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ 4 ขั้ว นั่นหมายความว่า มิเตอร์ 4 ขั้ว มีการชดเชยค่ากระแสที่ไหลผ่านค่าความต้านทานที่อนุกรมกันสามชุดด้วยขนาดที่เท่ากัน (ตามระยะที่เท่ากัน) ดังนั้นด้วยวิธีนี้ แลผลมาเป็นดังข้อ (2) นี้ ให้นำค่าที่อ่านได้มาคูณด้วยสาม แล้วนำไปใช้คำนวณหาค่า rho ตามทฤษฎีของ wenner ต่อไป

คงจักมีคำถามกับผู้เขียนว่า ทำไมได้ทดสอบทดลองให้ได้ผล แล้วนำมาเขียนให้ประจักษ์เลย ทำไมต้องมาอธิบาย เพื่อหวังจักให้ได้ทดสอบทดลองกันเองเล่า ผู้เขียนขอชี้แจงว่า เราเป็นวิศวกร เป็นช่างระดับสูง ควรมีโอกาสได้ลงมือปฏิบัติให้ประจักษ์เพื่อทักษะในการใช้เครื่องมือ แลการทำงานร่วมกับผู้อื่น แลหวังจักให้ได้แนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยที่ห่างหายกันไปหลังจากเรียนสำเร็จ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ทุกท่านจักได้มีโอกาสรวมตัวกับคณะอาจจักเล็กๆ สัก 2-3 คน เพื่อร่วมทดลองทดสอบ แลสรุปมาเป็นรายงานพร้อมอาจส่งมาให้ผู้เขียนได้ชื่นชมบ้างก็จักเป็นกำลังใจ เป็นกำลังสำคัญของชาติในการพัฒนาชาติไทยต่อไป

งานเขียนนี้ได้ครบเนื้อหาที่ตั้งใจแล้ว หากแต่เมื่อวาน (วันจันทร์ที่ 13 พฤษภาคม 2562 ช่วงบ่ายๆ) ได้นำเสนอต่อคณะบรรณาธิการวารสาร TEMCA magazine ท่านมีความเห็นที่สมควรฟังอย่างยิ่งว่า แม้นเนื้อหาที่เสนอมาจักครบถ้วนดีแล้ว จากประสบการณ์ตรงของท่านๆ อธิบายว่าเป็นเรื่องยากที่จักเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานดินที่ได้จากเครื่องวัดชนิด 4 ขั้วกับค่าความต้านทานดินที่ได้จากเครื่องวัดชนิด 3 ขั้วเป็นอย่างไรซึ่งสมควรจักได้เชื่อมโยงค่าความต้านทานดินจากเครื่องวัดชนิด 4 ขั้วที่แสดงในงานเขียนให้ชัดเจนว่า เหมือนฤๅต่างอะไรกันกับค่าความต้านทานดินที่วัดจากเครื่องวัดชนิด 3 ขั้วที่มีการวัดกันโดยทั่วไป เมื่อครั้งต้องปฏิบัติส่งงานภายหลังติดตั้งเสร็จของผู้รับเหมา ดังนี้แล้วผู้เขียนขอลำดับที่มาที่ไปฤๅความเกี่ยวข้องกันดังนี้ เมื่อต้องการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ฤๅที่เรียกว่า โรห์ (rho) มีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร ด้วยวิธีหนึ่งที่เรียกว่า วิธีตามทฤษฎีของเวนเนอร์ นั้นจักใช้เครื่องวัดชนิด 4 ขั้วดังแสดงในงานเขียนข้างต้น เพื่ออ่านค่าออกมาเป็นค่าความต้านทานดินมรหน่วยเป็น โอห์ม ต่อไปนี้ขอเรียกว่า ค่า R.4poles โดยค่า R.4poles นี้ไม่ใช่ค่าความต้านทานดินที่ใช้ส่งงาน ภายหลังที่ได้ค่า R.4poles จึงจักมาคำนวณด้วยสูตรไม่ว่าจักสั้น ฤๅยาว (ผู้เขียนแนะนำให้ใช้สูตรอย่างสั้นก็เพียงพอ) เพื่อหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (โรห์) ภายหลังที่ได้ค่าโรห์มาแล้วจึงนำค่านี้ไปคำนวณหาค่าความต้านทานดินของระบบรากสายดินของตัวนำรากสายดินที่ได้ออกแบบฤๅกำหนดไว้ ทำให้ทราบค่าความต้านทานดินที่คาดว่า เมื่อภายหลังการติดตั้งตัวนำรากสายดินนี้แล้วจักได้ค่าดังกล่าว ค่าความต้านทานดินนี้แหละที่หากวัดค่าได้ไปส่งมอบงาน ในที่นี้ขอเรียกว่า ค่า R.3poles (เสนอชื่อไว้เพื่อการสื่อสารส่งต่อในอนาคต) เมื่อกล่าวโดยสรุปได้ว่า การตรวจสอบหาค่าความต้านทานดินที่เป็น R.4poles หามาเพื่อใช้คำนวณหาค่าโรห์ แล้วนำค่าโรห์มาคำนวณหาค่าความต้านทานดินที่เป็นค่า R.3poles ทั้งสิ้นนี้ผู้เขียนขอชี้แจงเพิ่มเติมโดยรวมเป็นใหญ่ด้วยประการฉะนี้ ขอทุกท่านที่เข้าถึงแลเข้าใจนำไปใช้งานให้สง่างามสมกับการเป็น *"วิศวกรแห่งแผ่นดินสยาม"* นี้ด้วยเทอญ...

ส่วนตัวผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข *วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ*

การศึกษา
- ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

ประสบการณ์ • ทำงานกว่า 31 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง