• คุณสุรินทร์ ศรีสุข

เล่าเท่าที่รู้ : ขอเสนอแนวทางตรรกะใหม่ในการกำหนดระบบการต่อลงดิน

การที่จักกำหนดว่าระบบสายดินที่จักทำ เริ่มตั้งแต่ผู้ออกแบบที่เป็นจุดเริ่มต้นกำหนดลงไปในแบบ ตามมาด้วยผู้รับเหมาหรือผู้ติดตั้งทำตามแบบให้เหมือนแบบเปี๊ยะเปี๊ยะ ซ้ำผู้ควบคุมงานก็คว้าแบบมาตรวจตรงตามแบบชนิดที่ใช้รายการประกอบแบบพร้อมข้อสังเกตต่างๆ ที่แสดงไว้ในแบบ เช่น ในการทำระบบสายดินให้ตรวจวัดขนาดสายดินได้ค่าไม่เกิน 5 OHM ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย[1] หากไม่ได้ขอให้ผู้รับจ้างต้องติดตั้งรากสายดินเพิ่มจนได้ค่าความต้านทานดินตามที่กำหนดไว้ในแบบหรือรายการประกอบแบบโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม อ่านแล้วรู้สึกคุ้นซึ่งที่จริงน่าจักถูกต้องทั้งสิ้นแล้วไง ใครก็ทำกันอย่างนี้ไม่เห็นแปลก หากจักมีใครทำแตกต่างไปจากนี้ก็เห็นจักเป็นเรื่องแปลกไป ผมเริ่มคิดที่จักเขียนบทความนี้ด้วยความกังวลว่า มิตรสหายที่มีอยู่จำกัดเห็นจักลดหดหายไปอีกกะมัง คงไม่ใช่เป็นเพราะผมกำแหงไปตำหนิติเตียนผู้ใด แค่คำโปรยหัวก็มีคนรู้จักจำนวนหนึ่งอาจเปิดข้ามเรื่องนี้ไปแล้วกะมัง ผมขอแสดงความตั้งใจดีที่มิปรารถนากระทำการแคลนผู้ใด แต่ด้วยที่ได้รวบรวมความรู้จากที่ต่างๆ ทำให้ตั้งใจที่จักนำเสนอแนวตรรกะใหม่ในการกำหนดระบบการต่อลงดิน ตามหัวข้อข้างต้น ผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจักมีประโยชน์และยินดีรับคำวิภาควิจารณ์ แต่คงด้วยยังละกิเลสไม่ได้เลยขอบอกว่า เอาแต่ทางเทคนิคละกันครับที่พอจักรับได้ปรับปรุงตรรกะความคิดได้...

บทคัดย่อ

เป็นเวลานานมากแล้วตามที่ได้ปฏิบัติกันมาโดยทั่วไปในการออกแบบระบบสายดินสำหรับระบบล่อฟ้าจักออกแบบโดยใช้หลักดิน 3 อันและเมื่อใดจักออกแบบระบบสายดินสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าจนกระทั่งถึงตู้เมนไฟฟ้าหลักของอาคารไม่ว่าจักใหญ่โตเพียงใดก็จักออกแบบใช้หลักดินเพียง 1 ต้นแล้วอาจมีการเขียนลงในแบบหรือกำหนดไว้เป็นข้อกำหนดในรายการประกอบแบบว่า หากในการดำเนินการระบบสายดินดังที่แสดงในแบบแล้ววัดค่าความต้านทานดินได้ไม่น้อยกว่า 5 โอห์ม ให้จัดหาแลติดตั้งหลักดินเพิ่มจนกว่าจักได้ค่าที่กำหนดไว้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ข้อความนี้ใช้หลักวิศวกรรมอะไรมากำหนด ฤๅว่าผู้ออกแบบได้สำรวจจนมั่นใจแล้วว่า ทำตามนี้เถอะนะได้ผลแน่นอน ผิดพลาดอย่างไรก็ไม่มีค่าใช้จ่ายมากมายนัก แต่ในวงในที่เห็นปฏิบัติกันจริงไม่เคยมีการสำรวจค่าใดๆ เลย แล้วซ้ำขนาดของค่าความต้านทานดินที่กำหนดก็เขียนตามที่เขียนๆ กันมาไม่เคยมีการคำนวณใดๆ ทั้งสิ้น เมื่อเกิดปัญหาก็ไม่สามารถเริ่มต้นทบทวนรายการคำนวณใดๆได้เลยนอกจากเดินทางไปที่โครงการที่มีปัญหาแล้วเปลี่ยนวิธีการติดตั้งเช่นเปลี่ยนชนิดของหลักดิน ที่สุดแก้ปัญหาไม่ได้ก็เสนอให้ปรับคุณภาพดิน ทำไมไม่เริ่มต้นด้วยหาข้อมูลเกี่ยวกับดินก่อนคำนวณตั้งแต่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินไปจนกระทั่งเลือกชนิดของหลักดิน คำนวณหาค่าความต้านทานดินซะก่อนกำหนดลงไปในแบบ หากต้องปักหลักดินเป็น 1 2 3 หรือ 4 ต้นหรือ 5 ต้นก็กำหนดลงไปเลยหาก 5 โอห์มที่คำนวณได้ก็สามรถเปลี่ยนชนิดของหลักดินเป็นแผ่นโลหะกลมหรือสี่เหลี่ยมก็กำหนดใช้ซะในขั้นตอนนี้เลย การกำหนดลงไปในแบบก็ให้ดำเนินการหาข้อมูลยืนยันในตำแหน่งที่จักติดตั้งอีกครั้งเช่นให้คำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน แล้วนำหลักดินมาคำนวณยืนยันอีกครั้งทราบค่าความต้านทานดินก่อนจักตอกหลักดินซะด้วยซ้ำ วิธีนี้จักเป็นแนววิธีการที่จักได้นำเสนอในบทความในแง่มุมเหลี่ยมคมที่พอที่จักสามารถนำไปใช้ปฏิบัติงานได้อย่างเข้าใจ แต่จักไม่ครอบคลุมทุกเทคนิคที่มีในการเรียนการสอนฤๅมาจากหนังสือตำราใดๆ จนครบถ้วน หากมีเหลี่ยมมุมใดที่นำเสนอไว้ได้ไม่ชัดเจนขอได้สอบถามให้ความเห็นเพื่อประโยชน์การนำไปใช้งานของวิศวกรแลช่างไทยที่ต้องทำงานเพื่อตระหนักถึงความ

ปลอดภัยในการใช้งานของประชาชนทั่วไป แลสำหรับเพื่อนช่างทุกท่านให้ได้รับความปลอดภัยด้วยเช่นกัน

หัวข้อการนำเสนอ

1. การคำนวณหาขนาดของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

1.1 ด้วยวิธีการของ Wenner (กำหนดระยะของการวัดสม่ำเสมอ) ทั้งแบบใช้ค่า a แล b แลแบบใช้เฉพาะค่า a เท่านั้นเป็นวิธีการที่เสนอให้ใช้ทำงาน

1.2 ด้วยวิธีการของ Schlumbuger-Palmer (กำหนดระยะของการวัดไม่สม่ำเสมอ) วิธีนี้จักเสนอให้เห็นว่าเป็นอีกวิธีหนึ่งเท่านั้น

2. การคำนวณหาขนาดของค่าความต้านทานดิน จักนำเสนอ 2 แบบเพื่อเปรียบเทียบการนำไปใช้งานดังนี้

2.1 หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 1 แท่ง

2.2 หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 2 แท่ง ระยะห่างมากกว่าความยาวของแท่งหลักดิน

2.3 หลักดินชนิดแผ่นเหล็กชุบทองแดงขนาดกว้าง 0.6 m ยาว 0.6 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแผ่นกลมฝังแนวราบ

3. การปักหลักดินมากกว่า 2 แท่งสามารถลดค่าความต้านทานดินได้ดังนี้

3.1 มีตัวคูณลดเท่าใดบ้าง

3.2 NEcode (NFPA 70) 2014 หัวข้อ 250.53(3) กำหนดไว้อย่างไร

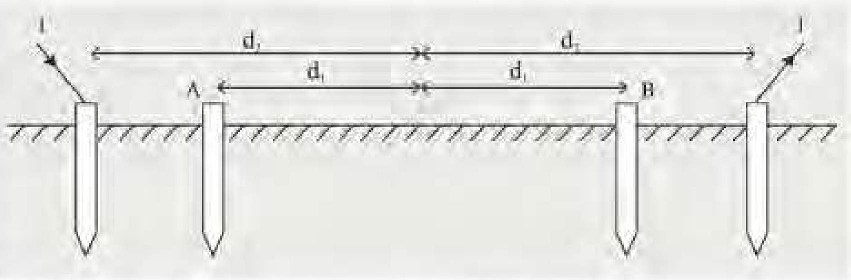
4. เราสามารถใช้พื้นคอนกรีตชั้นใต้ดินเป็นดินแล้วใช้เหล็กโครงล้างเป็นหลักดิน มีวิธีคำนวณอย่างไรบ้าง

ดังนั้นในกระบวนการออกแบบฤาแม้กระทั่งการรับเหมาติดตั้งก็ควรใช้กระบวนวิธีการคำนวณระบบสายดินนี้เพื่อการทำงานที่สามารถประเมินผลลัพธ์ได้ให้สมกับการทำงานของวิศวกรไทยทำงาน

รายละเอียดการนำเสนอ

1. การคำนวณหาขนาดของค่าความต้านทานจำเพาะของดิน

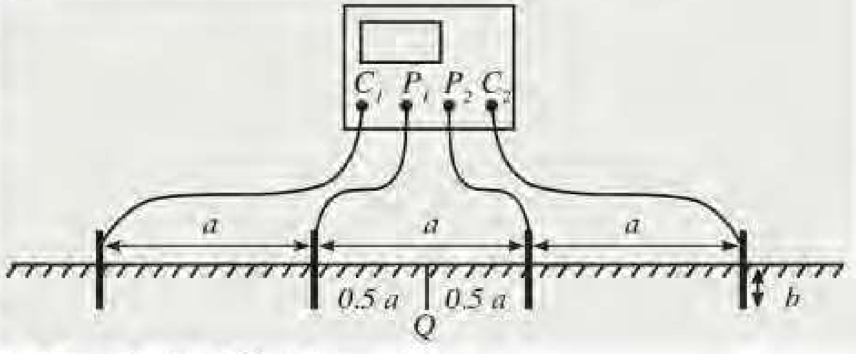
การวัดความต้านทานจำเพาะของดินสามารถวัดได้ 2 วิธี(1) ได้แก่ 1) วิธีของ Wenner ที่ระยะของโพรบทั้งสี่แท่งห่างเท่ากันหมด ใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานดินชนิด 4 ขั้วและ 2) วิธีของ Schlumburger-Palmer ที่ระยะของโพรบทั้งสี่แท่งห่างไม่เท่ากันหมด แต่ยังคงใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานดินชนิด 4 ขั้วเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงวิธีการจัดวางอิเล็กโทรดไม่สม่ำเสมอของ Schlumburger-Palmer

การวัดความต้านทานจำเพาะของดินด้วยวิธีการของ Wenner(2) เป็นการวัดความต้านทานจำเพาะของดินโดยมีโพรบ 4 ชุดปักลงไปในดินระยะห่างเท่ากันด้วยระยะ a เมตร (ระยะ a เลือกระยะห่างเท่ากับ 3 เมตร) ลึกลงไปในดิน b เมตร (ระยะ b เลือกปักลงไปในดินลึกเท่ากับ 0.3 เมตร) ต่อสายโพรบทั้งสี่มายังยังเครื่องวัดค่าความต้านทานดินดังแสดงในรูปที่ 2

C_1 = ขั้วกระแส 1
C_2 = ขั้วกระแส 2
P_1 = ขั้วแรงดัน 1
P_2 = ขั้วแรงดัน 2
a = ระยะห่าง
Q = จุดที่วัดความต้านทาน
b = ความลึก



รูปที่ 2 แสดงวิธีการจัดวางอิเล็กโทรดสม่ำเสมอของ Wenner

เมื่ออ่านค่าความต้านทานจากเครื่องวัดแล้ว ให้นำมาคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะจากลมการดังแสดงในรูปที่ 3

$$\rho_a = \frac{4\pi aR}{\left[1+\left(\frac{(2a)}{(\sqrt{a^2+4b^2})}\right)-\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}\right)\right]} \quad \text{(โอห์ม - เมตร)} \qquad (2.1.1)$$

เมื่อ a = ระยะห่างระหว่างปลายแหลม (เมตร)

b = ความลึกของแท่งปลายแหลมฝังที่ดิน (เมตร)

R = ความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด (โอห์ม)

รูปที่ 3 แสดงสูตรที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner

ในการใช้งานจริงภาคสนามอาจการความรวดเร็วในการคำนวณสามารถตัดตัวแปรบางตัวออกได้ โดยการเพิ่มระยะของ a ให้มากกว่า 20 เท่าของความลึกของระยะ b เช่น ปักโพรบทั้ง 4 แท่งให้ห่างกันเท่ากับ 6 เมตรเป็นเป็นขนาดของค่า a และปักโพรบลึก 0.25 เมตรเป็นขนาดของค่า b เมื่อนำค่า a มาเปรียบเทียบกับค่า b จักได้ขนาดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 6/0.25 = 24 เมื่อขนาดของ a ต่อ b มากกว่า 20 เท่าเราจักสามารถค่าของ b ออกได้ดังนั้นจักได้สูตรที่ใช้คำนวณใหม่เป็นสูตรใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4

$$\rho = 2\pi aR \quad \text{(โอห์ม - เมตร)} \qquad (2.1.2)$$

รูปที่ 4 แสดงสูตรที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดินของ Wenner โดยตัดตัวแปร b ออก

ตัวอย่างผลการทดสอบภาคสนาม <อธิบายการทดสอบ> ดังแสดงในรูปที่ 5

2. การคำนวณหาขนาดของค่าความต้านทานดิน

จากการคำนวณในข้อ 1 เราจักได้ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน จากค่าดังกล่าวเราจักนำไปคำนวณหาความต้านทานดินเมื่อเราปักหลักดินลงไปลึกไม่เกิน 3 เมตรในที่นี้เราจักลองพิจารณาแท่งหลักดินขนาด 5/8" ยาว 2.4 เมตรหากเราปักลงไปในดินลึกลงไปจากผิวดิน 0.5 เมตรที่โคนของแท่งหลักดิน อีกด้านหนึ่งจักลึกจากผิวดิน 2.9 เมตรซึ่งไม่เกินค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่เราเตรียมค่าไว้ (ลึก 3 เมตร) ในการเสนอวิธีคำนวณเราจักนำเสนอ 2 แบบเพื่อเปรียบเทียบการนำไปใช้งานเป็น 2.1) หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 1 แท่ง 2.2) หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 2 แท่งระยะห่างมากกว่าความยาวของแท่งหลักดินและ 2.3) หลักดินชนิดแผ่นเหล็กชุบทองแดงขนาดกว้าง 1.0 m ยาว 1.0 m ฝังในแนวนอนลึกลงไปจากผิวดิน 0.5 เมตร โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแผ่นกลมฝังแนวราบ กรณีนี้ต้องหาค่าความต้านทานดินใหม่อีกครั้งหนึ่งที่ a = 0.5 เมตร และใช้ค่า b = 0.2 เมตร ในกรณีนี้ยังไม่มีโอกาสได้ทดลองจึงยังไม่มีผลมานำเสนอ หากมีโอกาสจักได้นำมาเสนอต่อไป ในการคำนวณเราจักอ้างอิงตารางที่ใช้คำนวณดังแสดงในรูปที่ 6

Sheet1

Test No.	Wenner a(m)	Wenner b(m)	Wenner R(ohm)	Rho (ohm-m)	Radius-a(m)	Depth-L(m)	R-Rod (3m)	Depth-L(m)	R-Rod (2.5)
Setup-01	3	0.25	1	19.08	0.0071	6	3.61	3	6.51
Pre-01	3	0.25	0.342	6.52	0.0071	3	2.23	2.5	2.60
Pre-02	1.5	0.25	1.038	10.24	0.0071	1.5	6.24	1	8.69
Pre-03	0.5	0.25	5.22	21.58	0.0071	0.5	31.88	0.5	31.88
Train-01	3	0.25	5	95.38	0.0071	3	32.55	2.5	37.95
Train-02	3	0.25	5	95.38	0.0071	3	32.55	2.5	37.95
Train-03	3	0.25	5	95.38	0.0071	3	32.55	2.5	37.95

รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบภาคสนาม

	ครึ่งทรงกลม รัศมี a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	แท่งหลักดิน ยาว L, รัศมี a	$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}-1\right)$
$s > L$	แท่งหลักดิน 2 แท่ง ยาว L, ระยะห่าง s	$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{4L}{a}-1\right)+\frac{\rho}{4\pi s}\left(1-\frac{L^2}{3s^2}+\frac{2L^4}{5s^4}\right)$
	แผ่นกลมฝังแนวราบ รัศมี a, ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a}+\frac{\rho}{4\pi s}\left(1-\frac{7}{12}\frac{a^2}{s^2}+\frac{33}{40}\frac{a^4}{s^4}\right)$
	แผ่นกลมฝังแนวดิ่ง รัศมี a, ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a}+\frac{\rho}{4\pi s}\left(1-\frac{7}{24}\frac{a^2}{s^2}+\frac{99}{320}\frac{a^4}{s^4}\right)$

รูปที่ 6 ตารางแสดงสูตรสำหรับการคำนวณค่าความต้านทานดิน

สำหรับสองวิธีแรกเราสามารถคำนวณได้ดังนี้

2.1 หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 1 แท่งซึ่งแสดงไว้ในแถวที่ 2 ของตารางตามรูปที่ 6 ข้อมูลที่ได้มามีดังนี้

- ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน = ??? โอห์ม-เมตร
- ค่า a เป็นค่ารัศมีของหลักดิน = 0.016/2 = 0.008 เมตร
- ค่า L เป็นค่าความยาวของหลักดิน = 2.4 เมตร
- ใช้สูตร R = ((Rlo)/(2*PI*L))*(ln(4*L/a)-1))
- เมื่อแทนค่าในสูตร R = ((Rlo)/(2*3.14*2.4))*(ln(4*2.4/0.008) -1))
- ได้ค่าความต้านทานดินเท่ากับ 2.23 โอห์ม

2.2 หลักดินชนิดแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8" หรือ 16 mm ยาว 2.4 m โดยการอ้างอิงจากการคำนวณของแท่งหลักดิน 2 แท่งระยะห่างมากกว่าความยาวของแท่งหลักดิน ซึ่งแสดงไว้ในแถวที่ 3 ของตารางตามรูปที่ 6 ข้อมูลที่ได้มามีดังนี้

- ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน = 6.52 โอห์ม-เมตร
- ค่า a เป็นค่ารัศมีของหลักดิน = 0.016/2 = 0.008 เมตร
- ค่า L เป็นค่าความยาวของหลักดิน = 2.4 เมตร
- ค่า S เป็นค่าระยะห่างระหว่างหลักดิน = 3.0 เมตร
- ใช้สูตร R = ((Rlo)/(4*PI*L))*(ln(4*L/a)-1)) + ((Rlo)/(4*PI*S))*(1-L^2/(3*S^2)+2*L^4/(5*S^4))
- เมื่อแทนค่าในสูตร R = ((Rlo)/(4*PI*L))*(ln(4*L/a)-1)) + ((Rlo)/(4*PI*S))*(1-L^2/(3*S^2)+2*L^4/(5*S^4))
- ได้ค่าความต้านทานดินเท่ากับ 1.34 โอห์ม

3. การปักหลักดินมากกว่า 2 แท่งสามารถลดค่าความต้านทานดินได้ดังนี้

3.1 ในกรณีนี้จักมีตัวคูณลดที่ใช้เป็นไปตามตารางดังแสดงในรูปที่ 7

จำนวนอิเล็กโทรดขนานกัน	ค่าตัวคูณ (k)
2	0.60
3	0.40
5	0.25
10	0.13

รูปที่ 7 ตารางแสดงค่าตัวคูณความต้านทานอิเล็กโทรดชุดเดียว

3.2 ในการติดตั้งหลักดินมากกว่า 1 ต้นมาตรฐาน NEcode (NFPA 70) 2014 หัวข้อ 250.53(3) ได้มีการกำหนดไว้ให้ห่างกันไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความยาวของแท่งหลังดิน

คราวนี้มาถึงบรรทัดสุดท้ายที่จักบอกเล่าเท่าที่รู้ว่าต่อไปว่า ต่อไปหากจักต้องออกแบบกำหนดขนาด-ชนิด-ปริมาณรากสายดินที่ต้องดำเนินการจำเป็นต้องมีการสำรวจคุณสมบัติของดิน เพื่อคำนวณค่าความต้านทานดินจำเพาะ ต่อลำดับมาคำนวณค่าความต้านทานดินตามขนาด-ชนิดของรากสายดินที่ใช้ ภายหลังการคำนวณจึงนำมากำหนดในแบบฤาสั่งการให้ชำนาญงานได้ดำเนินการระบบรากสายดินต่อไป ผู้เขียนหวังยิ่ง แม้นงานเขียนนี้ไม่ได้ดำเนินเรื่องเป็นชนิด how-to อย่างหมดจด แต่น่าจักเป็นจุดเริ่มต้นของประกายการทำระบบรากสายดินอย่างที่วิศวกรไทยควรจักได้ทำ ฤาว่านี้จักต้องเป็นฝันอีกเรื่องที่มีวิธีการใด ฤาแนวทางที่ดีกว่า การวาดฝันว่าเขียนแบบแบบเดิม ๆจักได้ผลลัพธ์เมื่อลงมือทำระบบรากสายดินที่สถานที่ก่อสร้าง ทำได้ตามต้องการ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงใด ๆ อย่างไรก็ตามก็ขอรับฟังท่านผู้ร่วมอาชีพร่วมสร้างสรรสิ่งใดที่จักเพิ่มความปลอดภัยให้ประชาชนไทยอย่างจริงจังครับ

หนังสืออ้างอิง

1. พงศ์พันธ์ ปริยวงศ์, "หลักการระบบสายดินและการประยุกต์ใช้งาน", สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2556.
2. รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทพกัญญา ขติแสง, "การต่อลงดิน", โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2549

ข้อมูลผู้เขียน

นายสุวิทย์ ศรีสุข

วิศวกรไฟฟ้า-ที่ปรึกษาอิสระ

การศึกษา ปริญญาตรี-วิศวกรรมศาสตร์ ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาโท-วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน

ประสบการณ์ ทำงานกว่า 29 ปี งานด้านไฟฟ้ากำลัง