

การวิเคราะห์ระบบสายดินเพื่อความปลอดภัยในโรงงานผลิตและบรรจุก๊าซ ANALYSIS OF GROUNDING SYSTEM FOR SAFETY IN GAS PRODUCTION AND GAS FILLING PLANT

มนีนุช ชาวหลวง^{1*} พีระยศ แสนโกชณีย์² วีรวุฒิ กนกบรรณกร²
Maneenuch Chaoluang^{1*}, Peerayot Sanposh², Weerawoot Kanokbannakorn²

¹ภาควิชาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
¹Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.

*Corresponding author, E-mail: Maneenuchch@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบสายดินของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตและบรรจุก๊าซ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบสายดินให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมความปลอดภัยในอุตสาหกรรมผลิตและบรรจุก๊าซจะออกแบบและติดตั้งระบบสายดินให้เป็นไปตามมาตรฐาน BS Std 7671-2008 (BS 7671:2008) และมาตรฐาน IEEE Std 142-2007 (IEEE 142:2007) ซึ่งมีความแตกต่างจากข้อกำหนดของมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 (วสท. 2001-56) จากการสำรวจขนาดสายดินและการวัดค่าความต้านทานดิน จำนวน 24 จุด พบว่า (1) การวิเคราะห์ค่าความต้านทานดิน โดยเทียบกับข้อกำหนดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา (กำหนดไม่เกิน 3 โอห์ม), วสท. 2001-56 (กำหนดไม่เกิน 5 โอห์ม), IEEE 142-2007 (กำหนด 1-5 โอห์ม) มีจุดที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็น 3 จุด, 0 จุด และ 0 จุดตามลำดับ จึงเสนอแนะให้ทำการปักหลักดินเป็นแท่งเหล็กหุ้มทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.88 มิลลิเมตร และยาว 3.00 เมตรเพิ่มจำนวน 1 หลักโดยปักขนานกับหลักเดิมจะทำให้ค่าความต้านทานดินลดลงจาก 4.90 โอห์มเป็น 2.84 โอห์ม (2) การวิเคราะห์ขนาดสายดินของบริษัทที่ไฟฟ้า โดยเทียบกับ BS 7671:2008 และ วสท. 2001-56 พบว่ามีจุดไม่ผ่านมาตรฐาน BS 7671:2008 และ วสท. 2001-56 ทั้งหมด 8 จุดจึงเสนอแนะให้เพิ่มขนาดสายดินของบริษัทให้มีขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยต้องคำนึงถึงค่า Earth Fault Loop Impedance ต้องไม่เกินค่าสูงสุดตามที่มาตรฐานกำหนด จึงจะถือว่าขนาดสายดินนั้นมีความเหมาะสม ซึ่งเมื่อตรวจสอบแล้ว โดยเลือกขนาดสายดินตามมาตรฐาน BS 7671:2008 มี 1 จุดที่ต้องเพิ่มขนาดสายดิน จาก 95 ตร.มม. เป็น 120 ตร.มม. ในขณะที่เลือกขนาดสายดินตามมาตรฐาน วสท. 2001-56 มี 3 จุด ที่ต้องเพิ่มขนาดสายดินจาก 25, 25, และ 25 ตร.มม. เป็น 50, 95, และ 120 ตร.มม. ตามลำดับ (3) การวิเคราะห์ขนาดสายต่อหลักดิน พบว่าทุกจุดผ่านมาตรฐาน BS 7671:2008 และ วสท. 2001-56 จึงไม่ต้องเสนอแนะข้อปรับปรุง (4) การวิเคราะห์การต่อฝาก พบว่ามีบางตำแหน่งที่การต่อฝากที่บริษัทประชาชนสมบูรณ์ สอดคล้องกับมาตรฐานแต่การต่อฝากของบริษัทที่ไฟฟ้ายังมีบางตำแหน่งไม่สอดคล้องกับมาตรฐาน

คำสำคัญ: ระบบสายดิน โรงงานผลิตและบรรจุก๊าซ

Abstract

The objective of this research is study and analysis of grounding system for safety in gas production and gas filling plant for improving on safety engineering principles. In gas production and gas filling business were design and installation of grounding system according to BS Std 7671-2008 (BS 7671:2008) and IEEE Std 142-2007 (IEEE 142:2007). There are different from the requirements of Thai Electrical Code 2013 (EIT 2001-56). From the survey and grounding resistance measurement sampling total 24 points. The result was shown : (1) analysis of grounding resistance giving compliance with area study' requirements (not exceed 3 ohms), EIT 2001-56 (not exceed 5 ohms), IEEE 142:2007 (1-5 ohms) found that not compliance with the standard was 3 points, 0 point and 0 point. respectively. The suggestion is adding a second ground rod which is copper-clad steel in 3.00 m long by 15.88 mm diameter rod. By the second ground rod is connected to the single ground rod in parallel yield. There are multiple rod is provided to low grounding resistance from 4.90 ohms to 2.84 ohms. (2) analysis of equipment grounding conductor sizing compared between BS 7671:2008 and EIT 2001-56. The result was found that not compliance with both standard were 8 points. The suggestion is consider to increase a size of equipment grounding conductor shall be calculated to ensure values of grounding fault loop impedance not greater than maximum values of grounding fault loop impedance that can be used. By follow BS7671:2008 the result was shown 1 point to changed a size of equipment grounding conductor from 95 sq.mm to 120 sq.mm. Meanwhile, by follow EIT 2001-56 the result were shown 3 points to change a size of equipment grounding conductor from 25, 25 sq.mm to 50, 95, 120 sq.mm, respectively. (3) analysis of grounding electrode conductor sizing found that were accepted as BS7671:2008 and EIT 2001-56 Std. so this chapter is not a recommendation to improve. (4) analysis of bonding jumper found that the main bonding jumper are bonds as being completely but some positions of equipment bonding jumper are not compliance with standard.

Keywords: Grounding System, Gas Production and Gas Filling Plant

บทนำ

การต่อลงดิน (Grounding หรือ Earthing) คือ การต่อส่วนของระบบไฟฟ้าหรือส่วนของโลหะเข้ากับดินเพื่อให้ส่วนต่อนั้นมีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับดิน จุดประสงค์ของการต่อลงดินนั้นก็หลากหลาย แต่ไม่ว่าการต่อลงดินจะทำเพื่อจุดประสงค์ใดก็ตามจะต้องเพื่อให้เกิดความปลอดภัยเป็นพื้นฐานสำคัญเสมอ [1-2] ถึงแม้ว่าจะมีข้อกำหนดเกี่ยวกับ

การติดตั้งระบบสายดินตั้งแต่การก่อสร้างหรือติดตั้งบริษัทเครื่องจักรต่างๆ [3] แต่ก็ยังพบว่า มีสถิติการประสบนันตรายอันตรายจากไฟฟ้าช็อตอยู่ [4] ซึ่งหลักการการต่อลงดินให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องทำให้ค่าความต้านทานดินได้ตามมาตรฐาน คือ มาตรฐาน IEEE 142-2007 (กำหนดค่า 1-5 โอห์ม) [5] วสท. 2001-56 (ไม่เกิน 5โอห์ม) [6] ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทผลิตและบรรจุก๊าซส่วนใหญ่จะกำหนดค่าความต้านทานดินไม่เกิน 3 โอห์ม เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมและสามารถปฏิบัติได้จริง ถ้าหากจะกล่าวถึงปัญหาของการต่อลงดินให้ได้มาตรฐานนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จะกล่าวถึงเพียง 4 หัวข้อคือ 1) ค่าความต้านทานดิน 2) การเลือกขนาดสายดินของบริภัณฑ์ 3) การเลือกขนาดสายต่อหลักดิน 4) การวิเคราะห์การต่อฝากทั้งส่วนของบริภัณฑ์ประธานและบริภัณฑ์ไฟฟ้า

แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้นทำการผลิตก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และบรรจุก๊าซออกซิเจน (O_2) ตามมาตรฐาน NEC 505 แล้วจะมีวิธีการประเมินระดับพื้นที่อันตราย (Hazard Area Classification) เพื่อนำไปสู่การพิจารณาความจำเป็นในการออกแบบและการติดตั้งที่มีข้อกำหนดพิเศษเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าและระบบรอกสายดินโดยเฉพาะ แต่เมื่อศึกษาคูณสมบัติของ

ก๊าซที่มีอยู่ในพื้นที่ที่ศึกษาแล้ว พบว่าก๊าซทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติเป็นออกซิไดซิงค์ (Oxidizing Gas) คือ เป็นก๊าซสนับสนุนให้เกิดการลุกติดไฟ แต่ก๊าซเหล่านี้จะไม่สามารถลุกติดไฟด้วยตัวเองได้ จึงไม่ถูกจัดให้เป็นพื้นที่อันตรายที่ต้องมีการออกแบบระบบไฟฟ้าหรือต้องนำบริภัณฑ์ไฟฟ้าชนิดพิเศษเข้ามาใช้ในพื้นที่

1. การเลือกขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้านั้นมาตรฐาน วสท. 2001-56 ได้กำหนดขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าโดยกำหนดตามขนาดพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินรายละเอียดตามตารางที่ 1 ซึ่งมีความแตกต่างจากมาตรฐาน BS 7671:2008 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่พื้นที่ที่ทำการศึกษาใช้อ้างอิงในการออกแบบระบบสายดิน ซึ่งกำหนดขนาดสายดินตามขนาดสายประธาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน วสท. 2001-56 [6]

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน (แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
20	2.5 *
40	4 *
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2556). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ตารางที่ 2 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากขนาดสายเส้นไฟ [7]

Cross-sectional area of line conductor (mm ²)	Minimum cross-sectional area of the corresponding protective conductor	
	If the protective conductor is of the same material as the line conductor (mm ²)	If the protective conductor is not of the same material as the line conductor (mm ²)
$s \leq 16$	S	$(k_1/k_2) \times S$
$16 < s \leq 35$	16	$(k_1/k_2) \times 16$
$s > 35$	S/2	$(k_1/k_2) \times (S/2)$

เมื่อ k_1 = K Factor ของสายประธาน
 k_2 = K Factor ของสายดิน

ที่มา: BS Std 7671-2008. (2008). *BS Requirements for Electrical Installations*. London: The Institution of Engineering and Technology.

นอกจากนี้การกำหนดขนาดสายดิน
 ยังต้องพิจารณาถึงขนาดค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้น
 เมื่อลัดวงจร หรือเกิดลัดวงจรบนโครงโลหะของ
 บริภัณฑ์ไฟฟ้า โดยพิจารณาจากค่า Grounding
 fault loop impedance (Z_g) ของระบบนี้ ต้องมี

ค่าต่ำกว่าค่า Maximum grounding fault loop
 impedance (Z_s) โดยค่า Z_s นี้มีค่าขึ้นอยู่กับ
 ขนาดฟักัด หรือ ค่าปรับตั้งของบริภัณฑ์ป้องกัน
 กระแสเกิน และชนิดของเครื่องป้องกันกระแสเกิน
 [8] ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$Z_s = U_o / I_a \tag{1}$$

โดยที่ Z_s คือ Maximum grounding fault impedance loop ของเซอร์กิตเบรกเกอร์
 U_o คือ แรงดันของวงจรที่หม้อแปลงจำหน่าย
 I_a คือ กระแสทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ภายในเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 3 แสดงวิธีคำนวณค่า Grounding fault loop impedance (Z_g)

รายละเอียด	ขนาดสาย (ตร.มม)	ค่าความต้านทาน กระแส สลับ (โอห์ม/ก.ม.)	ค่ารีแอกแตนซ์ (โอห์ม/ก.ม.)	ความยาว (ก.ม.)	ค่าอิมพีแดนซ์ (โอห์ม)
1. ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง					0.0138
2. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายประธาน (สายเฟสและสายนิวทรัล) CU- THW	240	0.0915	0.1308	0.0610	$((0.0915+j0.1308) \times$ $0.0610) \times 2 = 0.0034$
3. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายบ่อน (สายเฟสและสายนิวทรัล) CU-XLPE	185	0.1272	0.1394	0.0870	$((0.1272+j0.1394) \times$ $0.0870) \times 2 = 0.0464$
4. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายวงจรรย่อย CU-THW	150	0.1492	0.1317	0.0030	$(0.1492+j0.1317) \times$ $0.0030 = 0.0008$
5. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายดินของวงจรร ย่อย CU-THW	95	0.2314	0.1331	0.0030	$(0.2314+j0.1331) \times$ $0.0030 = 0.0011$
รวมค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรรย่อย					0.0882

จากตารางที่ 3 จะพบว่าการคำนวณค่า Z_o ประกอบด้วย คือ 1) คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ที่หม้อแปลง และ 2) คำนวณค่าอิมพีแดนซ์ของสายวงจร ตามตารางที่ 3 แล้วนำค่าที่คำนวณในสมการ (2) มารวมเข้าด้วยกัน ก็จะได้ค่าอิมพีแดนซ์รวม (Z_o) ของวงจรมานั้นๆ

2. ขนาดสายต่อหลักดิน มาตรฐาน วสท. 2001-2556 ได้กำหนดขนาดสายต่อหลักดินตามขนาดตัวนำของสายประธาน ตามตารางที่ 4 ส่วนการพิจารณาขนาดสายต่อหลักดินตามมาตรฐาน BS7671:2008 จะกำหนดขนาดสายต่อหลักดินตามขนาดตัวนำของสายนิวทรัลตามตารางที่ 5

$$Z_{Tr} = (\%Z_k \times V_L^2) / (S_{Tr} \times 100) \quad (2)$$

เมื่อ Z_{Tr} คือ อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

$\%Z_k$ คือ แรงดันอิมพีแดนซ์ (Impedance voltage) ของหม้อแปลง อ้างอิงข้อมูลจากผู้ผลิตในกรณีนี้ คือ 4%

V_L คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลง (โวลต์) ซึ่งพื้นที่ที่ศึกษาให้บริการไฟฟ้าจาก กฟน. เท่ากับ 416 โวลต์

S_{Tr} คือ พิกัดของหม้อแปลง (กรณีนี้ 500 kVA)

ตารางที่ 4 แสดงขนาดสายต่อหลักดิน ตาม วสท. 2001-56 [6]

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน (ตัวนำทองแดง) (ตร.มม.)
ไม่เกิน 35	10*
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 50 แต่ไม่เกิน 95	25
เกิน 95 แต่ไม่เกิน 185	35
เกิน 185 แต่ไม่เกิน 300	50

ที่มา: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2556). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

ตารางที่ 5 แสดงขนาดสายต่อหลักดินตาม BS 7671:2008 [7]

Copper equivalent cross-sectional area of the supply neutral conductor	Minimum copper equivalent cross-sectional area of the main protective bonding conductor
35 mm ² or less	10 mm ²
over 35 mm ² up to 50 mm ²	16 mm ²
over 50 mm ² up to 95 mm ²	25 mm ²
over 95 mm ² up to 150 mm ²	35 mm ²
over 150 mm ²	50 mm ²

ที่มา: BS Std 7671-2008. (2008). *BS Requirements for Electrical Installations*. London: The Institution of Engineering and Technology.

3. การต่อฝาก เป็นการต่อถึงกันอย่างถาวรของส่วนที่เป็นโลหะให้เกิดเป็นทางนำไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า และสามารถนำกระแสที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างปลอดภัย โดยวิธีการต่อฝากต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตามมาตรฐาน วสท. 2001-56 กำหนดให้สายต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้าทางดำนไฟเข้าของบริภัณฑ์ประธานต้องมีขนาดไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4 ขณะที่สายต่อฝากของบริภัณฑ์ไฟฟ้าดำนไฟออกของบริภัณฑ์ประธานต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 1 ส่วนมาตรฐาน BS 7671:2008 ได้กำหนดขนาดสายต่อฝากต้องค่าไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5 ซึ่งจะขึ้นกับขนาดสายนิวทรัล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ ระบบสายดินของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตและแบ่งบรรจุก๊าซให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องและทำการเสนอแนะแนวทาง ในการปรับปรุงระบบสายดินตามหลักทางวิศวกรรมความปลอดภัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมความปลอดภัยในหมวดการต่อลงดินโดยวิเคราะห์จากสำรวจบริภัณฑ์ ที่มีการติดตั้งจริงอยู่แล้วขั้นตอนมีดังนี้

1. สรรวจข้อมูลขนาดสายดิน ขนาดสายประธาน ขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์และบันทึกลงในแบบฟอร์มที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้น ทั้งหมด 24 จุด
2. ค่าความต้านทานดิน โดยใช้เครื่องวัดความทานดิน (FLUKE รุ่น 1653) โดยการต่อสายของเครื่องวัดตามสัญลักษณ์การแสดงขั้ว คือ P กับ C ต่อกับหลักดินเสริม ส่วนขั้ว E ต่อกับกราวด์ที่ต้องการวัด และตอกหลักดินเสริมลึก 3/4 ของความยาวให้ระยะห่างระหว่างหลักกราวด์ที่ทำการวัดและหลักดินเสริมของแต่ละหลักประมาณ 5-10 เมตรตามที่เครื่องวัดกำหนดไว้ [9] ซึ่งค่าความต้านทานดินสามารถอ่านได้โดยตรงเป็นหน่วยโอห์มตามภาพที่ 2
3. นำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้องทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศ
4. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 1 ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานดิน

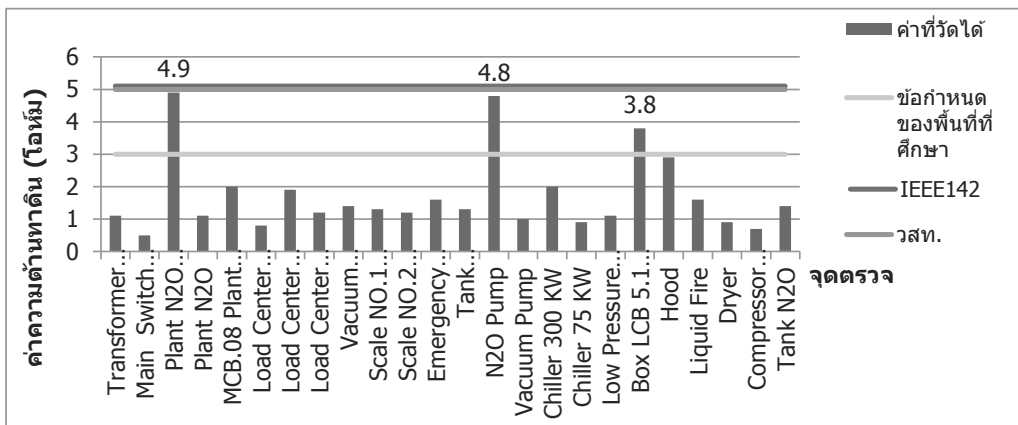


ภาพที่ 2 ภาพแสดงการตรวจวัดค่าความต้านทานดิน

ผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ค่าความต้านทานดิน โดยการวัดค่าความต้านทานดินของหม้อแปลง บริเวณพื้นที่ไฟฟ้าของพื้นที่ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 24 จุด ตามภาพที่ 3 โดยอ้างอิงข้อกำหนดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา (ไม่เกิน 3 โอห์ม) IEEE 142:2007 (1-5 โอห์ม), วสท. 2001-56 (ไม่เกิน 5 โอห์ม) พบว่า มีจุดที่ไม่ผ่านเกณฑ์

มาตรฐานเป็น 3 จุด 0 จุด และ 0 จุดตามลำดับ ทางผู้ศึกษาใช้วิธีการคำนวณค่าความต้านทานดินที่คาดว่าจะลดลงเมื่อทำการปักหลักดินเพิ่มจำนวน 1, 2 หลัก ใช้สูตรการคำนวณตาม IEEE 142:2007 หลังจากนั้นได้ทำการทดลองปักหลักดินเพิ่มตามสูตรที่ได้คำนวณ แล้วทำการวัดค่าความต้านทานดิน ของกลุ่มตัวอย่างอีกครั้ง



ภาพที่ 3 แสดงค่าตรวจความต้านทานดินที่วัดได้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEEE 142:2007, วสท. 2001-56, และข้อกำหนดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ก่อนทำการปักหลักดินเพิ่ม

สูตรการคำนวณค่าความต้านทานที่ลดได้เมื่อทำการ บักหลักดินเพิ่มจำนวน 1 หลัก และ 2 หลัก ดังนี้

$$R = (R_1 / N) \times F \text{ Factor} \quad (3)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานดินของแท่งหลักดินที่ขนานกัน (โอห์ม)

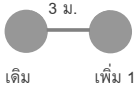
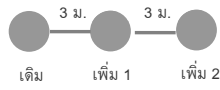
R_1 คือ ความต้านทานดินของแท่งหลักดินเดี่ยว (โอห์ม)

F Factor คือ ตัวคูณลดเมื่อจำนวน แท่ง หลักดินเพิ่ม อ้างอิงจากมาตรฐาน IEEE 142:2007 บักหลักดินเพิ่ม จำนวน 1 หลักในแนว ขนาน F Factor เท่ากับ 1.16 และบักเพิ่มจำนวน 2 หลัก เท่ากับ 1.29

N คือ จำนวนหลักดินที่ปักลงดิน

เนื่องจากดินที่บักมีลักษณะดินทรายปนดินร่วน หลักดินที่บักเพิ่ม ลักษณะการบัก มีรายละเอียดดังนี้



ตารางที่ 6 แสดงรายละเอียดหลักดินและรูปแบบการบักหลักดินเพิ่มจำนวน 1, 2 หลัก

วิธีการ	รายละเอียดหลักดิน	การต่อสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน	วิธีการปักลงดิน	รูปแบบการบักหลักดินแบบขนาน
(1) บักหลักดินเพิ่มจำนวน 1 หลัก แทนค่าในสมการ (3)	เป็นหลักหุ้มทองแดง (Copper-clad steel) ทองแดงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.88 มม. และยาว 3 ม.	เชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic welding) ในการเชื่อมสายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน	หลักดินให้ตอกลงในบ่อพักหลักดิน (Ground pit) โดยให้ตอกให้ต่ำกว่าพื้นดิน 30 ซม. และให้ห่างจากหลักดินเดิม 3 ม.	
(2) บักหลักดินเพิ่มจำนวน 2 หลัก	เหมือน (1)	เหมือน (1)	เหมือน(1)	

และได้ทำการคำนวณค่าความต้านทานดินที่คาดว่าจะสามารถลดลงได้ โดยใช้สมการ (3) อีกทั้งได้ทำการทดลองบักหลักดินเพิ่มจำนวน 1 หลัก

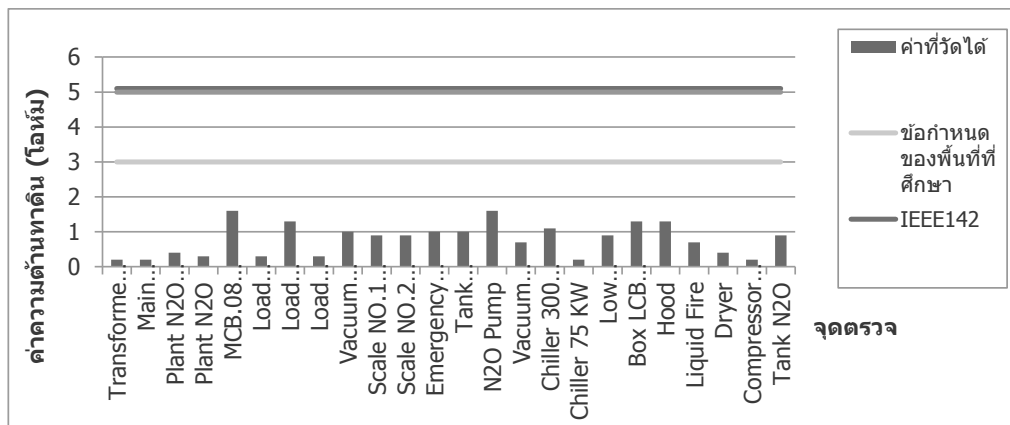
และ 2 หลักแล้วทำการวัดค่าความต้านทานดินอีกครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานดินที่ลดลงเมื่อใช้วิธีปักหลักดินเพิ่ม จำนวน 1 และ 2 หลัก

วิธีการ	ค่าความต้านทานดินที่วัดได้ก่อนทำการปักหลักดินเพิ่ม (โอห์ม)	ค่าความต้านทานดินที่คาดว่าจะลดลงได้โดยคำนวณใช้สมการ (3) (โอห์ม)	ค่าความต้านทานดินที่ลดได้จริงหลังทดลองปักหลักดินเพิ่ม (โอห์ม)	รูปผลการตรวจวัดหลังการทดลองปักหลักดิน
ปักหลักดินเพิ่มจำนวน 1 หลัก	4.9	$(4.9 + 2) \times 1.16$ เท่ากับ 2.84	1.6	
ปักหลักดินเพิ่มจำนวน 2 หลัก	4.9	$(4.9 + 3) \times 1.29$ เท่ากับ 2.10	0.4	

และพื้นที่ที่ทำการศึกษา ได้เลือกวิธีการปักหลักดินเพิ่ม จำนวน 2 หลักเป็นวิธีการแก้ไขที่แน่นอนทางผู้ศึกษา จึงได้ทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินของบริเวณที่ไฟฟ้ากลุ่มตัวอย่าง

ทั้ง 24 จุดอีกครั้ง พบว่า ทั้ง 24 จุด มีค่าความต้านทานดินลดลงจากการตรวจวัดก่อนทำการแก้ไขและค่าความต้านทานดินลดลงจนมีค่าน้อยกว่า 3 โอห์ม ทุกจุด มีรายละเอียดตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงค่าตรวจความต้านทานดินที่วัดได้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน IEEE 142:2007, วสท. 2001-56, และข้อกำหนดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา หลังทำการปักหลักดินเพิ่ม 2 หลัก

2. วิเคราะห์ขนาดสายดินของบริเวณที่ โดยตรวจสอบขนาดสายดินของบริเวณที่ไฟฟ้าของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ทั้งหมด 21 จุด พบว่า มีจุดที่มีขนาดสายดินของบริเวณที่ไฟฟ้า

ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน วสท. 2001-56 และ BS 7671:2007 ทั้งหมด 8 จุด ซึ่งมีจุดไม่มีสายดินทั้งหมด 6 จุด และอีก 2 จุดขนาดสายดินไม่ได้ตามค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดบริษัทที่ขนาดสายดินไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน BS 7671:2008 หรือมาตรฐานวสท. 2001-56

จุดตรวจ	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายดิน (ตร.มม.)	ขนาดเบรกเกอร์ (Ampere)	ค่าแนะนำของขนาดสายดินตาม BS7671(ตร.มม.)	ค่าแนะนำของขนาดสายดินตาม วสท. (ตร.มม.)
1	150	ไม่มี	200	75	16
2	2.5	ไม่มี	19	2.5	2.5
3	2.5	ไม่มี	10	2.5	2.5
4	4	ไม่มี	20	4	2.5
5	2.5	ไม่มี	40	2.5	4
6	4	1.5	20	2.5	2.5
7	2.5	ไม่มี	16	2.5	2.5
8	2.5	1.5	20	2.5	2.5

ข้อเสนอแนะ คือ จัดให้มีหรือเพิ่มขนาดสายดินของบริษัทไฟฟ้า และต้องมีค่าตามที่มาตรฐานกำหนด แต่ต้องทำการคำนวณค่า Grounding Fault Loop Impedance (Z_g) โดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งต้องไม่สูงกว่าค่า Maximum Grounding Fault Loop Impedance (Z_g) ซึ่งการคำนวณค่า Z_g นั้นใช้วิธีการคำนวณตามรายละเอียดในตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วพบว่า มีจุดที่ไม่ผ่านค่ามาตรฐาน คือ กรณีที่เลือกขนาดสายดินตาม BS 7671:2007 มีจำนวน

1 จุด ที่ต้องเพิ่มขนาดสายดิน จาก 95 ตร.มม. เป็น 120 ตร.มม. ส่วนกรณีที่เลือกขนาดสายดินตามมาตรฐาน วสท. 2001-56 มี 3 จุด ที่ต้องเพิ่มขนาดสายดินจาก 25, 25, 25 ตร.มม. เป็น 120, 95, 50 ตร.มม. ตามลำดับ จึงจะทำให้ค่า Z_g มีค่าน้อยกว่าค่า Z_g ทำให้อาจตีความได้ว่าการเลือกขนาดสายดินของบริษัทไฟฟ้าตามมาตรฐาน BS 7671:2007 จะให้ค่าขนาดสายดินที่เหมาะสมมากกว่า มาตรฐาน วสท. 2001-56 แสดงรายละเอียดตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการคำนวณและเปรียบเทียบค่า Z_g กับ Z_g ตามมาตรฐาน BS7671 และ วสท. 2001-56 โดยใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ประเภท C ตาม BS EN 60947-2

จุด	พิกัด CB (แอมแปร์)	Z_g (โอห์ม)		เลือกสายดินครั้งที่ 1 (ตร.มม)		Z_g ครั้งที่ 1 (โอห์ม)		เลือกสายดินครั้งที่ 2 (ตร.มม)		Z_g ครั้งที่ 2 (โอห์ม)	
		BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.
1	200	0.1150	0.1150	95	16	0.0882	0.0917	-	-	-	-
2	250	0.0920	0.0920	95	25	0.0969	0.0917	-	-	-	-
3	32	0.7188	0.7188	10	4	0.1003	0.1588	120	120	0.0905	0.0905
4	250	0.0920	0.0920	50	25	0.0534	0.1103	-	-	-	-
5	80	0.2875	0.2875	16	6	0.0677	0.0590	-	-	-	-
6	16	1.4375	1.4375	2.5	2.5	0.2308	0.0932	-	-	-	-
7	10	2.3000	2.3000	2.5	2.5	0.2218	0.2308	-	-	-	-
8	10	2.3000	2.3000	2.5	2.5	0.1947	0.2218	-	-	-	-
9	20	1.1500	1.1500	4	2.5	0.1488	0.1947	-	-	-	-

ตารางที่ 9 (ต่อ)

จุด	พิกัด CB (แอมแปร์)	Z_0 (โอห์ม)		เลือกสายดินครั้งที่ 1 (ตร.มม.)		Z_0 ครั้งที่ 1 (โอห์ม)		เลือกสายดินครั้งที่ 2 (ตร.มม.)		Z_0 ครั้งที่ 2 (โอห์ม)	
		BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.	BS	วสท.
10	40	0.5750	0.5750	2.5	4	0.1766	0.1672	-	-	-	-
11	20	1.1500	1.1500	4	2.5	0.1374	0.1598	-	-	-	-
12	16	1.4375	1.4375	2.5	2.5	0.4656	0.1525	-	-	-	-
13	320	0.0719	0.0719	95	25	0.0715	0.4656	-	-	-	-
14	200	0.1150	0.1150	50	25	0.1133	0.1027	-	95	-	0.0715
15	20	1.1500	1.1500	2.5	2.5	0.4385	0.1245	-	50	-	0.1133
16	20	1.1500	1.1500	2.5	2.5	0.4475	0.4385	-	-	-	-
17	16	1.4375	1.4375	2.5	2.5	0.4204	0.4475	-	-	-	-
18	16	1.4375	1.4375	2.5	2.5	0.5197	0.4204	-	-	-	-
19	40	0.5750	0.5750	10	4	0.1284	0.5197	-	-	-	-
20	25	0.9200	0.9200	10	4	0.1751	0.1584	-	-	-	-
21	40	0.5750	0.5750	6	4	0.2352	0.2386	-	-	-	-

3. การวิเคราะห์ขนาดสายต่อหลักดินพบว่าในตัวอย่างของบริษัทไฟฟ้าที่นำมาศึกษาทั้งหมด 24 จุด มีจุดต่อหลักดินทั้งสิ้น 2 จุดเมื่อทำการตรวจสอบพบว่าทั้ง 2 จุด นั้นมีขนาดของ

สายหลักดินผ่านมาตรฐาน BS 7671: 2008 และ วสท. 2001-56 ทั้ง 2 จุดมีรายละเอียดตามตารางที่ 10 จึงทำให้ในหัวข้อนี้ไม่ต้องเสนอแนะข้อปรับปรุง

ตารางที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบขนาดสายต่อหลักดินระหว่างมาตรฐาน BS 7671:2008 กับมาตรฐาน วสท. 2001-56

ลำดับที่	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดสายต่อหลักดิน (ตร.มม.)	ค่าแนะนำสำหรับขนาดสายต่อหลักดิน (ตร.มม.)		ผลการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน	
			BS 7671	วสท.	BS 7671	วสท.
	240	50	50	50	ผ่าน	ผ่าน
	185	50	50	35	ผ่าน	ผ่าน

4. การวิเคราะห์การต่อฝาก โดยการสำรวจขนาด ลักษณะของการต่อฝากทั้งในส่วนของบริษัทประชาชนและบริษัทไฟฟ้า พบว่า

สอดคล้องกับมาตรฐาน อีกทั้งยังพบว่ามี การต่อเชื่อมระหว่าง นิวทรัล บาร์ และกราวด์ บาร์ (N-G Bonding)

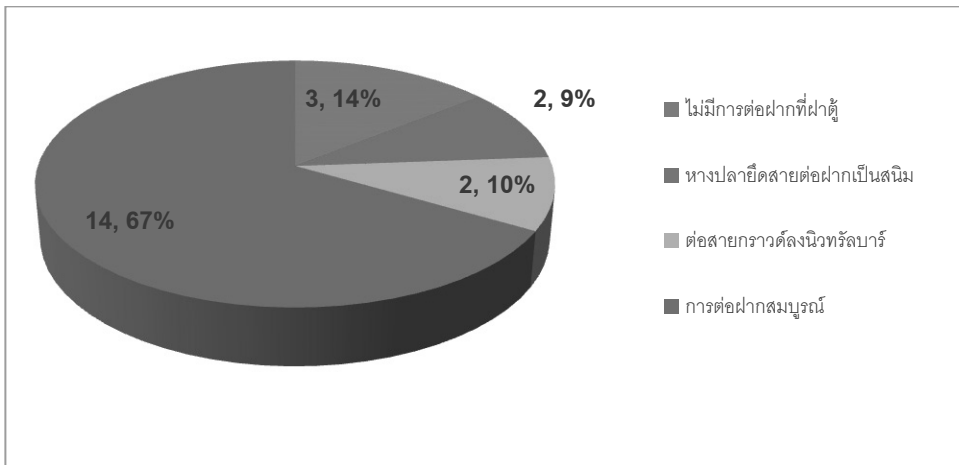
4.1 การต่อฝากที่บริษัทประชาชน ทางด้านไฟเข้าและออก มีขนาดสายต่อฝาก

ตารางที่ 11 แสดงผลการตรวจสอบขนาดสายต่อฝากที่บริเวณที่ประธาน

รายละเอียด	ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาด เบรกเกอร์ (Ampere)	ขนาดสายต่อฝาก (ตร.มม.)	ขนาดสายต่อ ฝากตาม BS 7671 (ตร.มม.)	คำแนะนำของขนาด สายต่อฝากตาม วสท. (ตร.มม.)
ทางด้านไฟเข้า	240	-	50	50	50
ทางด้านไฟออก	-	800	-	50	50

4.2 การต่อฝากที่บริเวณที่ไฟฟ้า ซึ่งสำรวจทั้งหมด 21 จุดพบว่า ทั้ง 21 จุด มีขนาดสายต่อฝากที่สอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด แต่พบว่ามีบางจุดที่ไม่มีการต่อฝากที่ฝ้าตู้และบางจุดมีกาต่อฝากที่ นิวทรัลบาร์ ซึ่งควร

ที่จะดำเนินการรีบแก้ไข เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานมากขึ้น ซึ่งสามารถสรุปปัญหาของการต่อฝากที่ไม่สมบูรณ์ตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงจำนวนจุดและเปอร์เซ็นต์ของลักษณะปัญหาที่ทำให้การต่อฝากในบริเวณที่ไฟฟ้าไม่สมบูรณ์

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ระบบสายดินเพื่อความปลอดภัยในโรงงานผลิตและบรรจุภัณฑ์ ในส่วนของค่าความต้านทานดิน พบว่าพื้นที่ที่ทำการศึกษาได้มีการกำหนดค่าความต้านทานดินไม่เกิน 3 โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานของ วสท. 2001-56 และ IEEE 142:2007 ส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมที่ลักษณะประเภทธุรกิจที่เหมือนกับพื้นที่ที่ทำการศึกษาก็ได้กำหนดค่าความต้านทานดินเอาไว้ที่ไม่เกิน 3 โอห์ม การกำหนดค่าความต้านทานดินที่ต่ำ นั้นก็ยัง

จะทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานกับไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งเมื่อผู้ศึกษาได้ทำการวัดค่าความต้านทานดิน พบว่ายังมีบางจุดที่มีค่ามากกว่าข้อกำหนดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ทำการทดลองแก้ไขเพื่อลดค่าความต้านทานดินโดยใช้วิธีปักหลักดินเพิ่ม 1, 2 หลักโดยปักในแนวขนานกับหลักดินเดิม ซึ่งเมื่อทดลองแล้วทั้ง 2 วิธี สามารถทำให้ค่าความต้านทานดินลดลงจนอยู่ในค่าที่ต่ำกว่า 3 โอห์ม ซึ่งกรณีพื้นที่อื่นที่มีค่าความต้านทานดินสูงกว่ามาตรฐานก็สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้อ้างอิงในการออกแบบ

เพื่อลดค่าความต้านทานดินได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ก็บางพื้นที่อาจจะมีปัญหาในการแก้ไขค่าความต้านทานดินบ้าง เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้ทำการวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน ในจุดที่มีการปักหลักดิน

ในส่วนของคุณภาพสายดินของบริษัท ถึงแม้ว่าพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้น ได้มีการอ้างอิงมาตรฐาน BS 7671:2008 ในการออกแบบ และติดตั้งระบบสายดินก็ตาม แต่ก็พบว่ามีการนำไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั้นหมายถึงว่าการนำมาตรฐานมาใช้ของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องยังไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจจะมาจากหลายสาเหตุ ผู้ที่จะทำการศึกษาต่อไป สามารถที่จะทำการศึกษาประเด็นนี้เพิ่มเติม เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงสาเหตุของการไม่นำมาตรฐานมาประยุกต์ใช้ในงาน ส่วนรายละเอียดการปรับปรุงนั้นคือ จัดให้มีสายดินของบริษัทโดยต้องพิจารณาค่า Earth Fault Loop Impedance ซึ่งในจุดนี้เอง ที่ต้องมีการคำนวณ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ในปัจจุบันมีเครื่องมือหลายๆ ยี่ห้อที่สามารถวัดค่า Earth Fault Loop Impedance ได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำควรที่จะใช้เครื่องมือวัดค่า Earth Fault Loop Impedance แทนการคำนวณ โดยเมื่อทำการตรวจสอบค่า Earth Fault Loop Impedance พบว่า มีจำนวน 1 จุด เมื่อเลือกใช้ขนาดสายดินตามมาตรฐาน BS 7671:2008 โดยมีจำนวนเปอร์เซ็นต์สูงกว่าค่า Z_s เพียงแค่ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดจากการคำนวณหรือการแทนค่าความยาวของสายไฟในระบบผิดพลาดก็ได้ และมีจำนวน 3 จุดเมื่อเลือกใช้ขนาดสายดินตามมาตรฐาน วสท. 2001-56 ที่ขนาดสายดินยังไม่เหมาะสม ต้องพิจารณาเปลี่ยนขนาดสายดินให้ใหญ่ขึ้น เมื่อผู้ออกแบบจะออกแบบการติดตั้งขนาดสายดินของบริษัทนั้นนั้นก็ควรที่จะพิจารณาใช้มาตรฐาน BS 7671:2008

ส่วนของการต่อฝากซึ่งผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาเพียงการต่อฝากภายในบริษัทไฟฟ้าเท่านั้นโดยไม่ได้ทำการศึกษาในส่วนของการต่อฝากที่รางเคเบิล หรือท่อสายโลหะ ซึ่งในส่วนนี้ ก็มีความสำคัญซึ่งจะต้องนำมาเข้ามาศึกษาและหาแนวทางการแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ซึ่งในหัวข้อนี้มีบางสภาพปัญหาที่ต้องเร่งดำเนินการแก้ไข เช่น การต่อสายกราวด์ลงนิวทรัลบาร์ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายเมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วที่บริษัทนั้น จึงควรที่จะเร่งดำเนินการแก้ไข และเพื่อให้เกิดความถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐาน ผู้ที่จะทำการออกแบบระบบการติดตั้งสายดินก็ควรที่จะทำโดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญหรือประสบการณ์ด้านนี้เฉพาะ อีกทั้งควรที่จะมีการจัดทำแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันเพื่อให้สภาพของอุปกรณ์สามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ก็เพื่อลดความผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้ที่ต้องปฏิบัติงานกับไฟฟ้ามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชำนาญ ห่อเกียรติ; และ เทพกัญญา ขัติแสง. (2549). *การต่อลงดิน*. กรุงเทพฯ: จรัล สนิทวงศ์ การพิมพ์.
- [2] สุนทร ชนะชู. (2552). *การวิเคราะห์ระบบรากสายดินเพื่อความปลอดภัยการวิเคราะห์ระบบรากสายดินเพื่อความปลอดภัย*. ปรินญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] สาริต นฤภัย. (2557, มกราคม-กุมภาพันธ์). *สภาพปัญหาและประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของระบบสายดินที่ใช้กับระบบไฟฟ้าในโรงพยาบาลชุมชนขนาดไม่เกิน 60 เตียง พื้นที่จังหวัดเชียงราย*. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*. 23(1): 130-136.
- [4] สำนักงานกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน. (2556). *รายงานประจำปี 2556 กองทุนเงินทดแทน*. ครั้งที่ 1. นนทบุรี: สำนักงานประกันสังคม.
- [5] IEEE Std 142-2007. (2007). *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System*. New York: The Institute of Electronics Engineering.
- [6] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2556). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [7] BS Std 7671-2008. (2008). *BS Requirements for Electrical Installations*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- [8] D. Locke. (2008). *Guide to the Wiring Regulations 17th Edition IEE Wiring Regulations (BS 7671: 2008)*. England: John Wiley & Son.
- [9] Fluke corporation. (2011). *1652C/1653B/1654B Electrical installation tester*. Netherland: Fluke Eroppe B.V..