

## การประยุกต์ใช้มาตรฐาน IEEE เพื่อกำหนดขนาด Sheath voltage limiter (SVL) ที่เหมาะสม ตามระยะทางของการต่อเปลือกโลหะสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว (Single point bonding)

นายณฐวร สินสุภา<sup>1</sup>, นายนครินทร์ ลำสัน<sup>2</sup>, น.ส.ฐาปณีย์ หมั่นศรีภูมิ<sup>3</sup>,

นายธรรมจักร โลหะรัตน์<sup>4</sup>, นายก่อพงศ์ สวนขาวสกุล<sup>5</sup>, นายดนตรี บุนนาค<sup>6</sup>

<sup>1</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค nataworn.sin@pea.co.th

<sup>2</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค nakarin.lam@pea.co.th

<sup>3</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค thapani.mue@pea.co.th

<sup>4</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค thammajak.loh@pea.co.th

<sup>5</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค korphong.sua@pea.co.th

<sup>6</sup>กองวิศวกรรมระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค don.bun@pea.co.th

### บทคัดย่อ

การต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว (Single point bonding) เป็นรูปแบบการต่อลงดินที่นิยมใช้ในสายส่งเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV ของ PEA เนื่องจากไม่ทำให้เกิดกระแสไหลวนในเปลือกโลหะของสายเคเบิลใต้ดิน ทำให้สายเคเบิลใต้ดินมีความสามารถในการจ่ายกระแสสูงกว่าการต่อลงดินแบบสองปลาย (Both-ends bonding)

ตามมาตรฐาน IEEE 575-2014 [1] แนะนำให้การต่อลงดินแบบจุดเดียว มีการติดตั้งสายดินขนาน (Parallel ground continuity conductor หรือ PGCC) เพื่อทำหน้าที่เป็นเส้นทางไหลกลับของกระแสลัดวงจรลงดินในระบบไฟฟ้า และต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลใต้ดินกับ Sheath voltage limiter (SVL) ที่ปลายสายด้านที่ปล่อยลอย (Open point) เพื่อป้องกันเปลือกหุ้มสายเคเบิลชำรุดเนื่องจากแรงดันเกิน (Transient Overvoltage) ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐานของ PEA ที่ไม่ได้กำหนดให้มีการติดตั้ง PGCC และ SVL

บทความนี้เป็นงานนำหลักการ สมการและวิธีการในการคำนวณระยะทางในการติดตั้ง SVL สำหรับการต่อลงดินแบบจุดเดียวตามมาตรฐาน IEEE กำหนดเป็นตารางสำเร็จรูปสำหรับผู้ออกแบบเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV นำไปประยุกต์ใช้กำหนดขนาด SVL ในการออกแบบได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาดในการคำนวณ และยกระดับ

มาตรฐานการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ 115 kV ของ PEA ให้สอดคล้องตามมาตรฐานสากล

**คำสำคัญ :** Sheath voltage limiter, SVL Sizing, Single point bonding, ระบบเคเบิลใต้ดิน, แรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะ

### 1. บทนำ

PEA มีการใช้งานระบบสายส่งแบบเคเบิลใต้ดิน 115 kV เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะวงจร Incoming และ Outgoing ของสถานีไฟฟ้า สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือการต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดิน เนื่องจากการจ่ายไฟในระบบ 115 kV มีค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำในปริมาณมาก จึงเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันบนเปลือกโลหะของสายเคเบิลสูงตามไปด้วย หากมีการต่อลงดินที่ปลายทั้งสองด้านของเปลือกโลหะ จะทำให้เกิดเป็นกระแสไหลวนและเกิดเป็นกำลังสูญเสียในรูปของความร้อน ส่งผลให้ความสามารถในการนำกระแสของสายเคเบิลลดลง หรือบางครั้งอาจทำให้ฉนวนของสายเคเบิลเสื่อมสภาพจนนำไปสู่การเกิดความผิดปกติในระบบได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการต่อลงดินที่ปลายทั้งสองด้าน จึงใช้การต่อลงดินแบบพิเศษ (Special bonding) ในการต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดิน ซึ่งหนึ่งในการต่อลงดินแบบพิเศษที่ได้รับความนิยมก็คือการต่อลงดินแบบจุดเดียว

ซึ่งเป็นการต่อเปลือกโลหะลงดินเพียงจุดเดียวตลอดความยาวของสายเคเบิลและต่อลงดินผ่าน SVL ที่ปลายของสายเคเบิลด้านที่ปล่อยลอย

ปัจจุบัน PEA มีข้อกำหนดสำหรับการต่อเปลือกโลหะสายเคเบิลลงดินตามแบบมาตรฐานเลขที่ SA1-015/46005 เรื่องการต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดินระบบ 22 kV, 33 kV และ 115 kV [2] ซึ่งกำหนดให้มีการต่อลงดินแบบจุดเดียวสำหรับระบบส่ง 115 kV อยู่ 2 รูปแบบคือการต่อลงดินที่ปลายข้างเดียว (End point bonding) และการต่อลงดินแบบกึ่งกลาง (Middle point bonding) แต่ทั้ง 2 รูปแบบนั้นไม่มีการกำหนดให้มีการติดตั้ง SVL ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับป้องกันการเกิด Flashover หรือ Punctures ของเปลือกหุ้มสายเคเบิล (Jacket) จากแรงดันเกินชั่วขณะ ประเภท Lightning หรือ Switching

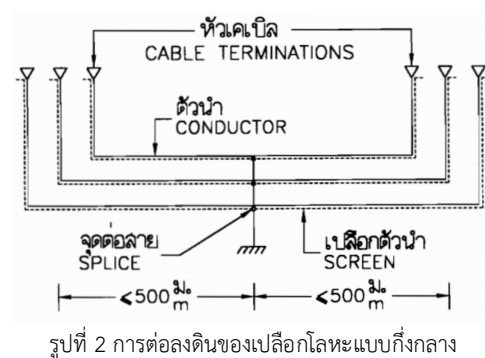
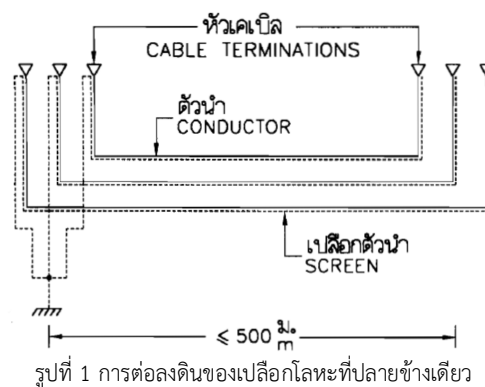
ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเปลือกหุ้มสายเคเบิล PEA จึงกำหนดให้มีการติดตั้ง SVL สำหรับการต่อลงดินแบบจุดเดียวของระบบส่งเคเบิลใต้ดิน 115 kV ในอนาคต โดยกำหนดขนาด SVL ตามข้อกำหนดทางเทคนิคของ PEA และใช้ผลการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนเปลือกโลหะขณะเกิดการลัดวงจร ในการกำหนดระยะทางของการต่อเปลือกโลหะสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว

## 2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 รูปแบบการต่อเปลือกโลหะลงดิน

การต่อลงดินของเปลือกโลหะของสายเคเบิลใต้ดินมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สนามไฟฟ้าจากตัวนำกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ลดความเครียดที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้า และป้องกันการเสียหายฉนวน (Breakdown) ของฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน [3] โดยตามมาตรฐานของ PEA ได้กำหนดให้ระบบส่ง 115 kV ที่มีระยะทางไม่เกิน 500 เมตร ให้ทำการต่อลงดินเปลือกโลหะที่ปลายข้างเดียว ซึ่งเป็นการนำเปลือกโลหะของสายเคเบิลต่อร่วมกันลงดินที่ปลายสายด้านใดด้านหนึ่งแสดงดังรูปที่ 1

สำหรับกรณีที่สายส่งมีระยะทางเกินกว่า 500 เมตร แต่ไม่เกิน 1,000 เมตร ให้ทำการทำการต่อลงดินแบบกึ่งกลางโดยการนำเปลือกโลหะของสายเคเบิลมาต่อร่วมกันลงดินที่จุดกึ่งกลางของความยาวสายเคเบิล แสดงดังรูปที่ 2

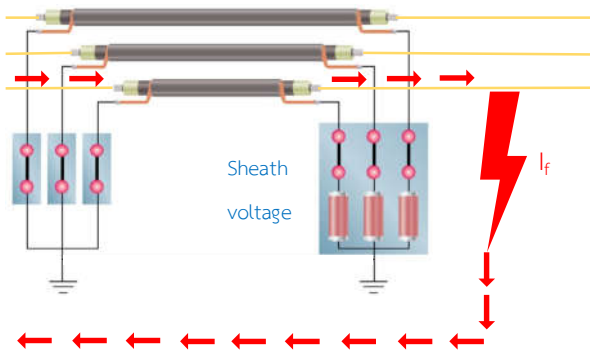


### 2.2 Sheath Voltage Limiters (SVL)

IEEE Standard 575-2014 “IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV” ได้กล่าวถึง SVL และการติดตั้งไว้ดังนี้

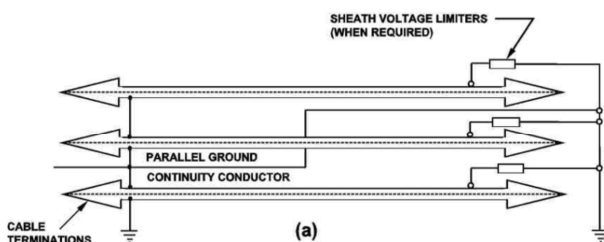
SVL เป็น Surge arrester ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดโอกาสเกิดการชำรุดของเปลือกหุ้มสายเคเบิลจากการเกิด Flashover หรือ Punctures ซึ่งมีผลมาจากแรงดันเกินชั่วขณะที่บริเวณปลายเปิดของเปลือกโลหะ ในกรณีที่มีการต่อลงดินแบบจุดเดียวหรือบริเวณจุดไขว้ของเปลือกโลหะกรณีต่อลงดินแบบไขว้สลับ (Cross bonding) โดย SVL ที่แนะนำให้ใช้งานเป็นชนิด Metal oxide varistors (MOVs) เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อแรงดันเกินชั่วขณะและสามารถคืนสภาพหลังเกิด Discharge ได้อย่างรวดเร็ว แต่ SVL ชนิด MOVs ก็มีข้อจำกัดในด้านความสามารถของการรับพลังงาน เนื่องจากไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ Discharge ด้วยแรงดันเกินไหลผ่านที่มีความถี่ 50/60 Hz ดังนั้นในการเลือกพิคัดแรงดันของ SVL ต้องเลือกให้สามารถทนแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรได้ นั่นคือ SVL ต้องไม่ทำงานขณะเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

เนื่องจากการต่อลงดินแบบจุดเดียวนั้น ในขณะที่เกิดการลัดวงจรลงดิน กระแสลำดับศูนย์ที่ไหลผ่านตัวนำของสายเคเบิลจะไม่สามารถไหลกลับแหล่งจ่ายผ่านทางเปลือกโลหะของสายเคเบิลได้ ดังรูปที่ 3 แต่จะไหลกลับแหล่งจ่ายผ่านทางดินในระดับความลึกที่แปรผันกับค่าความต้านทานดิน กล่าวคือยิ่งค่าความต้านทานดินสูงกระแสลัดวงจรจะไหลกลับแหล่งจ่ายผ่านดินในระดับความลึกมาก และเมื่อทางไหลกลับของกระแสลัดวงจรมีระดับความลึกมากแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนเปลือกโลหะของสายเคเบิลด้านที่ไม่ได้ต่อลงดินจะมีค่าสูงมากตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้เปลือกหุ้มของสายเคเบิลเกิดการชำรุดเสียหายได้

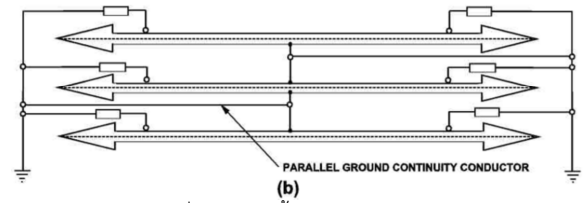


รูปที่ 3 การไหลของกระแสลัดวงจรลงดินผ่านทางดิน ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะของสายเคเบิลได้ดินสูง

ดังนั้นในการดำเนินการต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว จึงแนะนำให้มีการติดตั้งสายดินขนาน (Parallel ground continuity conductor หรือ PGCC) ซึ่งเป็นตัวนำที่วางขนานตลอดความยาวของสายเคเบิลและมีการต่อลงดินที่ปลายทั้งสองด้าน ใช้สำหรับเป็นทางไหลกลับของกระแสลัดวงจร ทำให้แรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะของสายเคเบิลด้านที่ไม่ได้ต่อลงดินขณะเกิดลัดวงจรมีค่าต่ำลง โดยการติดตั้ง SVL และ PGCC ที่ใช้กับการต่อลงดินแบบจุดเดียว แสดงดังรูปที่ 4 และ 5



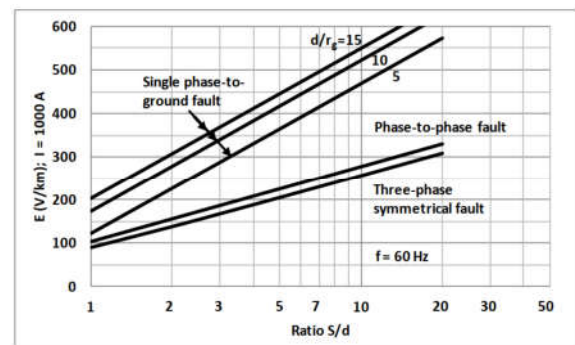
รูปที่ 4 การติดตั้ง SVL และ PGCC ในการต่อลงดินของเปลือกโลหะที่ปลายข้างเดียว



รูปที่ 5 การติดตั้ง SVL และ PGCC ในการต่อลงดินของเปลือกโลหะแบบกึ่งกลาง

## 2.3 การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะขณะเกิดการลัดวงจร

จาก IEEE Std. 575-2014 การต่อลงดินแบบจุดเดียว แรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะของสายเคเบิลจะมีค่าสูงที่สุดขณะเกิดการลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส (Single line to ground fault) โดยเทียบกับแรงดันเหนี่ยวนำในเปลือกโลหะขณะเกิดการลัดวงจรแบบเฟสถึงเฟส (Phase to phase fault) และการลัดวงจรแบบ 3 เฟส (Three-phase fault) แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะเปรียบเทียบระหว่างการเกิดลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส กับการเกิดลัดวงจรแบบ 3 เฟส

ซึ่งการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะขณะเกิดการลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส สามารถคำนวณได้ตามสมการและตัวแปรที่ปรากฏใน Annex E แสดงดังสมการที่ 1

$$E_a = I_{ag} \left[ R_g + j\omega(2 \times 10^{-7}) \log_e \left( \frac{2S_{ag}^2}{dr_g} \right) \right] \quad (1)$$

โดยที่  $E_a$  = แรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะ (V/m)

$I_{ag}$  = ขนาดของกระแสลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส (A)

$R_g$  = ค่าความต้านทานของสายดิน (Ground conductor) (ohm/km)

$S_{ag}$  = ระยะห่างระหว่างสายเฟสกับสายดิน (m)

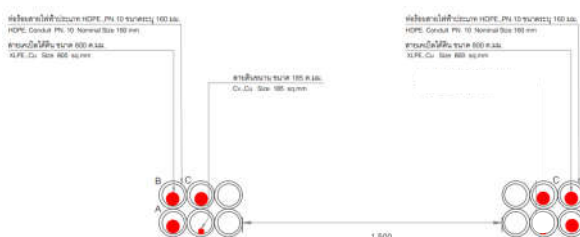
$d$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเปลือกโลหะ (m)

$r_g$  = รัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิต (geometric mean radius) ของสายดิน (m)

### 3. ผลการศึกษา

บทความนี้ได้ทำการศึกษาระงับแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนเปลือกโลหะของการต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว ในระบบสายส่งแบบเคเบิลใต้ดิน 115 kV ตามข้อกำหนดทางเทคนิคของ PEA [4] ทั้งรูปแบบตัวนำเดี่ยว (Single conductor) และตัวนำคู่ (Double conductors) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกขนาด SVL ตามระยะทางการต่อเปลือกโลหะลงดิน สำหรับระบบสายส่ง 115 kV ที่มีระดับกระแสลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ( $I_{ag}$ ) อยู่ที่ 25 kA 31.5 kA และ 40 kA โดยกำหนดให้ติดตั้งสาย PGCC เป็นสายเคเบิลใต้ดินแรงต่ำ 0.6/1 kV ขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ตามข้อกำหนดทางเทคนิคของ PEA [5] ซึ่งสามารถรองรับพิกัดกระแสลัดวงจร 40 kA เป็นระยะเวลา 0.6 วินาที และมีระยะห่างระหว่างสาย PGCC กับตัวนำเฟสใดๆ ( $S_{ag}$ ) ของวงจรประมาณ 1.5 เมตร (เป็นระยะห่างสูงสุดทั่วไปในการก่อสร้างตามรูปที่ 7) ซึ่งจะได้ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

ตัวนำเดี่ยว	ตัวนำคู่
$I_{ag} = 25,000 \text{ A}$	$I_{ag} = 12,500 \text{ A}$
$= 31,500 \text{ A}$	$= 15,750 \text{ A}$
$= 40,000 \text{ A}$	$= 20,000 \text{ A}$
$R_g = 0.0991$	ohm/km
$S_{ag} = 1.50$	m
$d = 0.07332$	m
$r_g = 0.00602$	m



รูปที่ 7 ตัวอย่างการติดตั้งสาย PGCC ที่มีระยะห่างจากสายตัวนำใดๆ ของวงจรประมาณ 1.5 เมตร

ผลการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะขณะเกิดการลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ในระบบส่งใต้ดิน 115 kV ที่มีการต่อเปลือกโลหะลงดินแบบจุดเดียว โดยมีระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน 200-500 เมตร สำหรับวงจรตัวนำเดี่ยวและระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน 400-1,000 เมตร สำหรับวงจรตัวนำคู่ แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะ (V) ที่ระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน 200-500 เมตร สำหรับวงจรตัวนำเดี่ยว

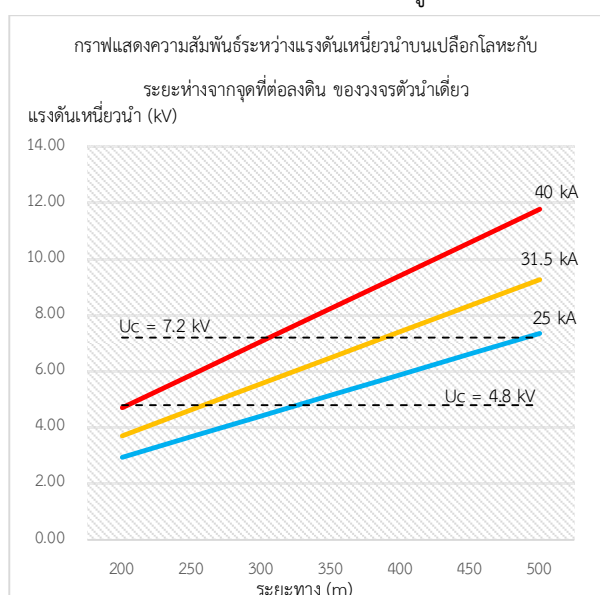
ระยะทาง (เมตร)	กระแสลัดวงจร		
	25 kA	31.5 kA	40 kA
200	2,941.68	3,706.52	4,706.69
250	3,677.10	4,633.15	5,883.36
300	4,412.52	5,559.78	7,060.04
350	5,147.94	6,486.41	8,236.71
400	5,883.36	7,413.04	9,413.38
450	6,618.79	8,339.67	10,590.06
500	7,354.21	9,266.30	11,766.73

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะ (V) ที่ระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน 400-1,000 เมตร สำหรับวงจรตัวนำคู่

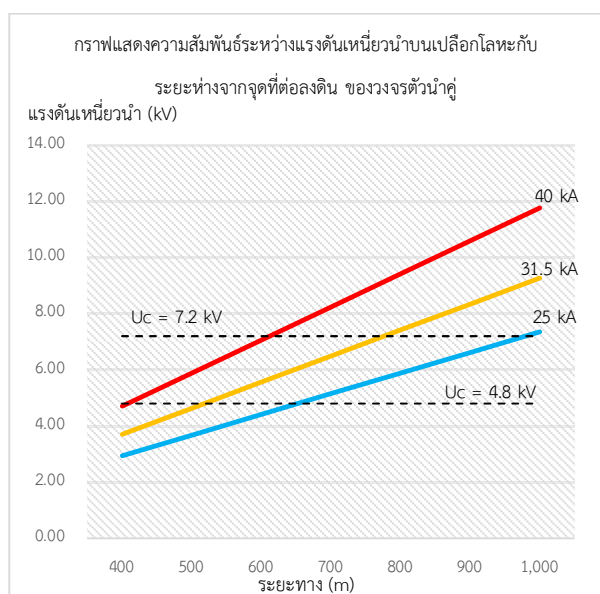
ระยะทาง (เมตร)	กระแสลัดวงจร		
	25 kA	31.5 kA	40 kA
400	2,941.68	3,706.52	4,706.69
450	3,309.39	4,169.83	5,295.03
500	3,677.10	4,633.15	5,883.36
550	4,044.81	5,096.46	6,471.70
600	4,412.52	5,559.78	7,060.04
650	4,780.23	6,023.09	7,648.37
700	5,147.94	6,486.41	8,236.71
750	5,515.65	6,949.72	8,825.05
800	5,883.36	7,413.04	9,413.38
850	6,251.07	7,876.35	10,001.72
900	6,618.79	8,339.67	10,590.06
950	6,986.50	8,802.98	11,178.39
1,000	7,354.21	9,266.30	11,766.73

#### 4. วิเคราะห์ผลการศึกษา

จากตารางที่ 1 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะกับระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดินของระบบส่งใต้ดิน 115 kV สำหรับวงจรตัวนำเดี่ยว ขณะเกิดการลัดวงจร โดยมีกระแสลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ที่ 25 kA 31.5 kA และ 40 kA แสดงได้ดังรูปที่ 8 และจากตารางที่ 2 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะกับระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดินของระบบส่งใต้ดิน 115 kV สำหรับวงจรตัวนำคู่ ขณะเกิดการลัดวงจร โดยมีกระแสลัดวงจรลงดินแบบ 1 เฟส ที่ 25 kA 31.5 kA และ 40 kA แสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะกับระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน ของวงจรตัวนำเดี่ยว



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะกับระยะห่างจากจุดที่ต่อลงดิน ของวงจรตัวนำคู่

เมื่อพิจารณา SVL ที่ PEA ใช้งานพบว่า PEA มีการใช้งาน SVL ระบบ 115 kV จำนวน 2 พิกัดแรงดัน (Rated voltage : Ur) ประกอบด้วยพิกัดแรงดัน 6-7.5 kV และพิกัดแรงดัน 9-10 kV ตามข้อกำหนดทางเทคนิคของ PEA [6] ซึ่งมีค่า Continuous operating voltage (Uc) ต่ำสุดประมาณ 4.8 และ 7.2 kV ตามลำดับ

เนื่องจาก SVL ที่ใช้งานเป็นชนิด MOVs ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านความสามารถของการรับพลังงาน SVL ที่ติดตั้งต้องไม่เกิดการ Discharge ขณะเกิดการลัดวงจรลงดินในระบบไฟฟ้า ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ขนาดพิกัด SVL ให้เหมาะสมตามระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อลงดินกับจุดที่ทำการติดตั้ง SVL โดยพิจารณาจากแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะที่เกิดขึ้นขณะเกิดการลัดวงจรต้องมีค่าไม่เกิน Uc ของ SVL

จากรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะควบคู่กับพิกัด Uc ของ SVL สามารถกำหนดพิกัดแรงดันของ SVL ตามระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อลงดินกับจุดที่ทำการติดตั้ง SVL ของวงจรตัวนำเดี่ยวได้ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดพิกัดของ SVL ตามระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อลงดินกับจุดที่ทำการติดตั้ง SVL สำหรับวงจรตัวนำเดี่ยว

พิกัดของ SVL	พิกัดกระแสลัดวงจร	ระยะทางสูงสุด
6-7.5 kV	25 kA	300 เมตร
	31.5 kA	250 เมตร
	40 kA	200 เมตร
9-10 kV	25 kA	450 เมตร
	31.5 kA	350 เมตร
	40 kA	300 เมตร

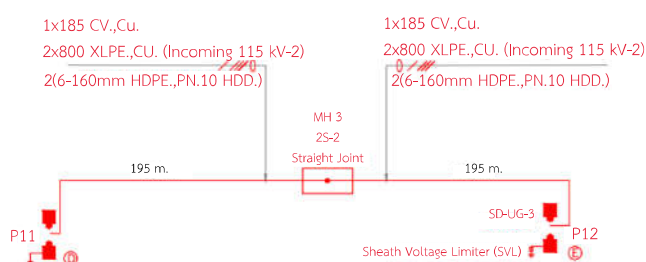
จากรูปที่ 9 เมื่อพิจารณาแรงดันเหนี่ยวนำบนเปลือกโลหะควบคู่กับพิกัด Uc ของ SVL สามารถกำหนดพิกัดแรงดันของ SVL ตามระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อลงดินกับจุดที่ทำการติดตั้ง SVL ของวงจรตัวนำคู่ได้ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การกำหนดพิกัดของ SVL ตามระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อลงดินกับจุดที่ทำการติดตั้ง SVL สำหรับวงจรตัวนำคู่

พิกัดของ SVL	พิกัดกระแสลัดวงจร	ระยะทางสูงสุด
6-7.5 kV	25 kA	650 เมตร
	31.5 kA	500 เมตร
	40 kA	400 เมตร
9-10 kV	25 kA	950 เมตร
	31.5 kA	750 เมตร
	40 kA	600 เมตร

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 เราสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบเคเบิลใต้ดิน 115 kV ตามตัวอย่างได้ดังนี้

**ตัวอย่าง** การก่อสร้างและปรับปรุงสายส่งระบบ 115 kV Incoming Line บริเวณภายในพื้นที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงภูเก็ต 3 (กฟผ.) – บริเวณทางหลวงหมายเลข 402 จ.ภูเก็ต ตามแผนผังการก่อสร้าง [7] ซึ่งมีการต่อลงดินเปลือกโลหะของเคเบิลใต้ดินแบบจุดเดียว ในวงจรตัวนำคู่ ระยะทาง 390 ม. แสดงดังรูปที่ 10 โดยมีระดับกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดินอยู่ที่ 8.19 kA ตามรายงานกระแสลัดวงจรปี 2563 [8] สามารถเลือกใช้ SVL พิกัด 6-7.5 kV ได้



รูปที่ 10 การต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดินแบบจุดเดียว  
ในสายส่งระบบ 115 kV Incoming Line บริเวณภายในพื้นที่สถานี  
ไฟฟ้าแรงสูงภูเก็ต 3 (กฟผ.)

ทั้งนี้ การกำหนดระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลลงดิน กับจุดที่ต่อเปลือกโลหะของสายเคเบิลกับ SVL นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ตำแหน่งของบ่อพักสาย ตำแหน่งของการติดตั้งจุดต่อสาย เป็นต้น โดยต้องพิจารณาถึงแรงดันเหนี่ยวนำในเปลือกโลหะขณะที่มีการจ่ายโหลดตามปกติ ไม่ให้มีค่าเกินกว่าขนาดแรงดันที่ปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษาควบคู่กันไปด้วย

## 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นการยกระดับเพิ่มความมั่นคง ความเชื่อถือได้ของระบบสายส่งเคเบิลใต้ดิน 115 kV ของ PEA ให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ป้องกันการเกิด Flashover หรือ Punctures ของเปลือกหุ้มสายเคเบิลจากแรงดันเกินชั่วขณะและยืดอายุการใช้งานของสายเคเบิลใต้ดิน จึงควรมีการติดตั้ง SVL และ PGCC ให้สอดคล้องตาม IEEE 575-2014 โดยผู้ออกแบบงานเคเบิลใต้ดินระบบ 115 kV ของ PEA สามารถนำขนาดสาย PGCC ขนาดพิกัดของ SVL และค่าระยะห่างในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบได้อย่างรวดเร็ว

ลดระยะเวลาคำนวณ ป้องกันความผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการขยายเขตรบบ 115 kV ให้ทันท่วงทีกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard 575-2014 “IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV”
- [2] แบบมาตรฐานเลขที่ SA1-015/46005, (2546), “การต่อลงดินสำหรับสายเคเบิลใต้ดินระบบ 22 kV, 33 kV และ 115 kV,” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [3] กองมาตรฐานระบบไฟฟ้า, (2548), “ระบบเคเบิลใต้ดิน Underground Cable System,” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [4] Specification No. : RCBL-015/2552 : “Underground Power Cable of Rated Voltage 115 kV,” Provincial Electricity Authority.
- [5] Specification No. : RCBL-043/2554 : “Underground Power Cable of Rated Voltage 0.6/1 kV,” Provincial Electricity Authority.
- [6] Specification No. : RPRO-053/2564 : “Sheath Voltage Limiter (SVL),” Provincial Electricity Authority.
- [7] Dwg.No. : HB3-A1/623010 : “แผนผังการก่อสร้างและปรับปรุงสายส่งระบบ 115 kV Incoming Line จำนวน 2 วงจร บริเวณภายในพื้นที่สถานีไฟฟ้าแรงสูงภูเก็ต 3 (กฟผ.) - บริเวณทางหลวงหมายเลข 402 จ.ภูเก็ต,” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
- [8] กองวิเคราะห์และวางแผนระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า : “ค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟผ. ประจำปี 2563,” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค