

การศึกษาผลของค่าความต้านทานดินต่อประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้า

Study on Earth Resistance to Air-termination Efficiency

ธนากร น้ำหอมจันทร์¹ อติกร เสรีพัฒนานนท์² และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาผลของค่าความต้านทานดินต่อประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้า โดยใช้ตัวนำล่อฟ้า 5 รูปลักษณะ ในการทดสอบ ในช่วงค่าความต้านทานดิน 0 - 5 โอห์ม ทำการทดสอบและวัดด้วยแรงดันสูงกระแสตรงชั่วลบ ตามมาตรฐาน IEC 60060-1, IEC 60060-2 และ IEEE 4-1995 ผลการทดสอบพบว่า เมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม ประสิทธิภาพการล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้าแบบ (a), (b), (c), (d) และ (e) มีประสิทธิภาพต่ำลง 0.11-0.27, 0.10-1.10, 0.29-1.30, 1.08-5.36 และ 0.33-1.56 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเนื่องมาจากรูป ลักษณะตัวนำล่อฟ้าแบบ (b), (c), (d) และ (e) มีประสิทธิภาพต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าแบบ (a) 6.74, 0.27, 4.84 และ 22.20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำสำคัญ : ตัวนำล่อฟ้า, ค่าความต้านทานดิน, สตรีมเมอร์, ประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้า

Abstract

This research is present the study on earth resistance to air-termination efficiency. The air-terminations used in the experiments have 5 configurations and earth resistance in range 0-5 ohms. The experiments and measurement use negative polarity DC high voltage test according to IEC 60060-1, IEC 60060-2 and IEEE 4-1995 standards. The test result is show the earth resistances are increase 1 ohm the efficiency of (a), (b), (c), (d) and (e) air-termination configuration are decrease in 0.11-0.27, 0.10-1.10, 0.29-1.30, 1.08-5.36 and 0.33-1.56 percent respectively. The efficiency of (b), (c), (d) and (e) air-termination configuration are lower than (a) air-termination configuration are 6.74, 0.27, 4.84 and 22.20 percent respectively.

Keywords : air-termination, earth resistance, streamer, air-termination efficiency

^{1, 2, 3} อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ความนำ

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดความเสียหายและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งปลูกสร้าง โดย Benjamin Franklin ได้พิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจน ที่เมืองฟิลาเดเฟีย สหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ.1752 ด้วยการชักว่าวที่ผูกกุญแจโลหะเพื่อพิสูจน์ว่า ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าหรือเป็นการสปาร์คทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากการเกิดดีสชาร์จของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ นับเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นต้นมา (สำรวย สังข์สะอาด, 2549)

การวิจัยเกี่ยวกับระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกในปัจจุบัน มุ่งหาประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่าจากรูปลักษณะของตัวนำล่อฟ้า ขนาดของตัวนำล่อฟ้า รวมไปถึงความหนาของทองแดงที่หุ้มตัวนำล่อฟ้า (นรเศรษฐ พัฒนเดช, ภูจิต ถึงสุข และ ศรัณย์ ชิวทวีทรัพย์, 2552, หน้า 323-326 ; นรเศรษฐ พัฒนเดช, ภูจิต ถึงสุข และ ศรัณย์ ชิวทวีทรัพย์, 2552, หน้า 327-330 ; ศรัณย์ ชิวทวีทรัพย์, นรเศรษฐ พัฒนเดช และ ภพ จันทรเจริญสุข, 2551, หน้า 251-254 ; ศรัณย์ ชิวทวีทรัพย์, นรเศรษฐ พัฒนเดช และ ภพ จันทรเจริญสุข, 2552, หน้า 199-206.) แต่ประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่ามิได้ขึ้นกับรูปลักษณะของตัวนำล่อฟ้าเพียงอย่างเดียว หากแต่รวมไปถึงค่าความต้านทานของดินรอบระบบรากสายดินด้วย (สำรวย สังข์สะอาด, 2549 ; ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, 2546) กล่าวคือ ในทางปฏิบัติ การติดตั้งรากสายดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า ค่าความต้านทานดินที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 0 - 5 โอห์ม

จึงมีแนวคิดที่จะทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้าที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป 5 รูปลักษณะ ในช่วงค่าความต้านทานดิน 0 ถึง 5 โอห์ม เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเนื่องมาจากผลของค่าความต้านทานดิน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเกิดจากการดึงดูดระหว่างประจุบวกและประจุลบ โดยทั่วไปประจุไฟฟ้าที่มีศักย์ต่างกันจะไม่เกิดการเคลื่อนที่เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล แต่จะเคลื่อนที่หรือดึงดูดกันก็ต่อเมื่อประจุทั้งสองต้องการกลับคืนสู่สภาวะสมดุล (Srinivasan, & Gu, 2006; ธนากร น้ำหอมจันทร์, 2552) โดยปรากฏการณ์ฟ้าผ่าจะเป็นการถ่ายโอนประจุระหว่างก้อนเมฆสู่พื้นดิน ซึ่งจะต้องมีปริมาณประจุไฟฟ้ามากพอ จึงจะทำให้ประจุไฟฟ้ากระโดดข้ามจากก้อนเมฆลงสู่พื้นดินได้

การสะสมประจุในก้อนเมฆมีปริมาณมาก ทำให้ก้อนเมฆมีศักย์ไฟฟ้าสูง ตั้งแต่ 10 เมกะโวลต์ ถึง 100 เมกะโวลต์ และเกิดดีสชาร์จระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกเป็นวาบฟ้าผ่า (ground flash) หรือระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆ หรือภายในก้อนเมฆเดียวกันเป็น ฟ้าแลบ (air discharge) ฟ้าผ่าและฟ้าแลบมีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังแสดงในภาพ 1 ตามธรรมชาติปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่จะเป็นฟ้าแลบ การศึกษาวิจัยของมนุษย์ส่วนมากจะให้ความสนใจเกี่ยวกับฟ้าผ่ามากกว่า



ภาพ 1 ฟ้าแลบกับฟ้าผ่ารวมกัน

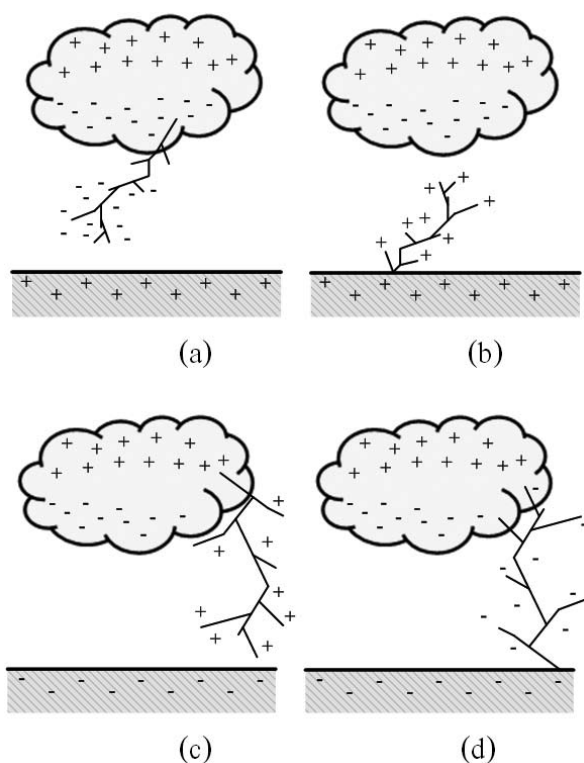
Note. from “Amazing Wall Cloud-Lightning strike!-Storm coming!..” Retrieved 19 กรกฎาคม 2553 from <http://www.strangedangers.com/content/item/135439.htht>.

2. ประเภทของฟ้าผ่า

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ฟ้าผ่าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า หรืออาจจะเรียกได้ว่าเป็น การดิสชาร์จทางไฟฟ้า การดิสชาร์จที่เกิดขึ้นจากก้อนเมฆสามารถจำแนกได้ 4 ประเภท ดังนี้

1. ดิสชาร์จภายในก้อนเมฆ (IC)
2. ดิสชาร์จจากก้อนเมฆลงดิน (CG)
3. ดิสชาร์จระหว่างก้อนเมฆ (CC)
4. ดิสชาร์จจากก้อนเมฆสู่อากาศ (CA)

ดิสชาร์จส่วนใหญ่เป็นการดิสชาร์จภายในก้อนเมฆ (IC) สำหรับดิสชาร์จจากก้อนเมฆลงดิน (CG) หรือฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์ดิสชาร์จที่มีการศึกษาวิจัยมากที่สุด เนื่องจากก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายแก่สิ่งมีชีวิตและสิ่งปลูกสร้างมากที่สุด โดยที่ IC, CC และ CA เรียกรวมนกันว่า ฟ้าแลบ



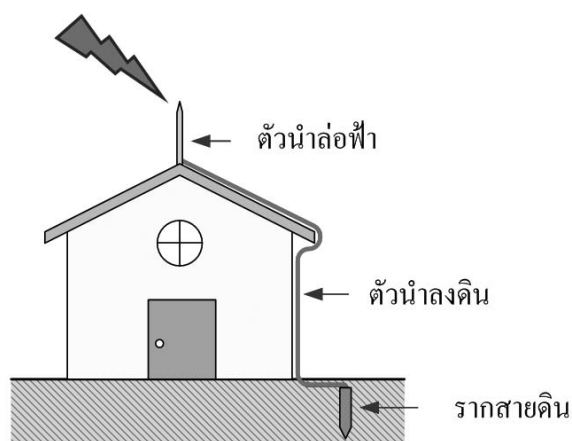
ภาพ 2 ชนิดของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท ตามลักษณะการเกิดและการเคลื่อนตัวของประจุ ดังภาพ 2 โดยฟ้าผ่าแบบฟ้าผ่าลงชั่วคราวเกิดขึ้นประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟ้าผ่าทั่วโลก ดังภาพ 2 (a) ขณะที่ฟ้าผ่าลงชั่วคราว

ดังภาพ 2 (c) เกิดขึ้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีฟ้าผ่าขึ้นส่วนมากจะเกิดบริเวณยอดภูเขาสูงหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมาก ๆ (ธนากร น้ำหอมจันทร์ และกาญจนา ภักดีบุญญานุกุล, 2553, หน้า 60-66)

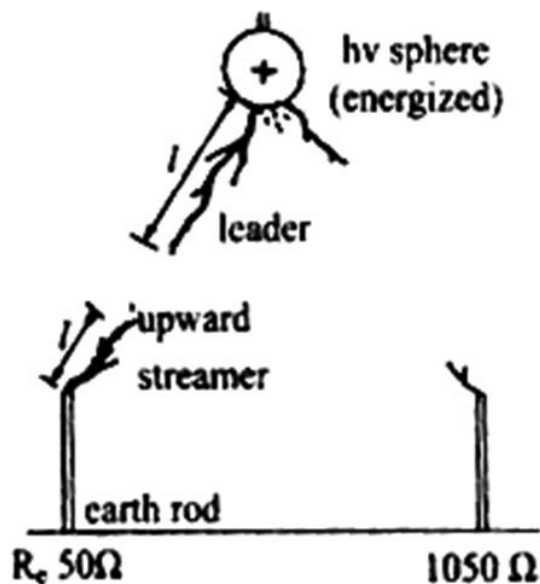
3. ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection System : LPS) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ตัวนำล่อฟ้า ตัวนำลงดิน และรากสายดิน รวมถึงอุปกรณ์จับยึดสายตัวนำลงดิน (สำรวย สังข์สะอาด, 2549 ; ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, 2546 ; มาตรฐาน ว.ส.ท. 2003-43, 2546; IEC std. 61024-1-2, 1998) แสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ประสิทธิภาพของระบบล่อฟ้าขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดและความยาวของสตรีมเมอร์จากปลายตัวนำล่อฟ้า ถ้าสตรีมเมอร์เกิดขึ้นและขยายตัวออกไปได้เร็ว สตรีมเมอร์จะมีโอกาสขึ้นไปพบกับฟ้าผ่ามาเป็นขั้น (stepped leader) ได้เร็วขึ้น ประสิทธิภาพของระบบล่อฟ้าก็จะมากขึ้น การขยายตัวและความยาวของสตรีมเมอร์ขึ้นอยู่กับความต้านทานดินของระบบป้องกันฟ้าผ่า ค่าความต้านทานดินยิ่งต่ำสตรีมเมอร์ก็ยิ่งเกิดขึ้นและขยายตัวได้เร็วขึ้น ผลของความต้านทานดินต่อประสิทธิภาพการล่อฟ้า แสดงดังภาพ 4 (สำรวย สังข์สะอาด, 2549 ; ธนากร น้ำหอมจันทร์ และกาญจนา ภักดีบุญญานุกุล, 2553, หน้า 48-58.)

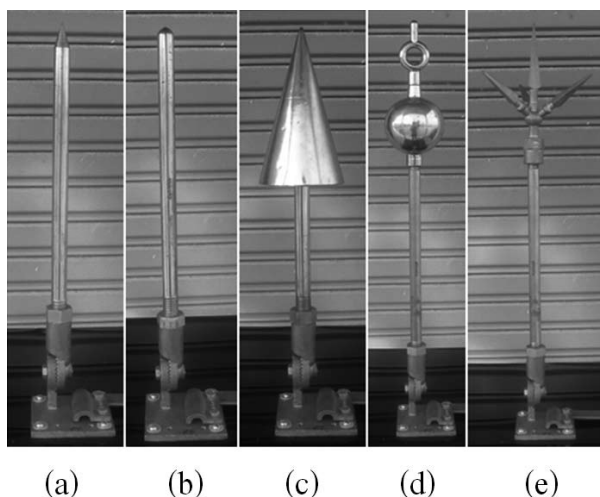


ภาพ 4 ผลของความต้านทานดินต่อประสิทธิภาพของเสาต่อฟ้า

ที่มา. จาก “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง” โดย สำรวย สังข์สะอาด, (2549). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุปกรณ์และวงจรการทดสอบ

ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นตัวนำล่อฟ้าที่มีใช้ตามสถานที่ต่าง ๆ หรือสามารถพบเห็นได้ทั่วไป 5 รูปลักษณะ ดังภาพ 5



ภาพ 5 รูปลักษณะของตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

ภาพ 5 (a) คือ ตัวนำล่อฟ้าปลายแหลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ปลายยอดมีมุม 36 องศา

ภาพ 5 (b) คือ ตัวนำล่อฟ้าปลายมน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ปลายยอดมีรัศมี 0.75 เซนติเมตร

ภาพ 5 (c) คือ ตัวนำล่อฟ้าปลายกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร กรวยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐาน 8 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ปลายยอดมีมุม 30 องศา

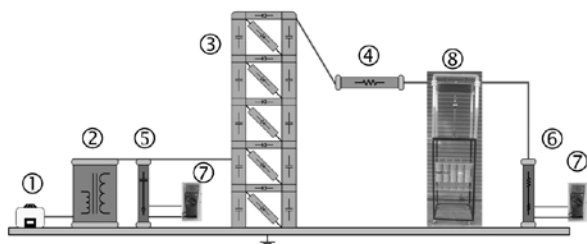
ภาพ 5 (d) คือ ตัวนำล่อฟ้าทรงกลมปลายมน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ปลายยอดมีรัศมี 0.4 เซนติเมตร

ภาพ 5 (e) คือ ตัวนำล่อฟ้าปลายแหลม 3 แฉก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ปลายยอดมีมุม 11 องศา

ตัวนำล่อฟ้าทั้ง 5 แบบทำจากทองแดง โดยในการกล่าวถึงรูปลักษณะของตัวนำล่อฟ้าในเนื้อหาส่วนถัดไป จะกำหนดให้เป็นตัวนำล่อฟ้าแบบ (a), (b), (c), (d) และ (e) ตามลำดับ

งานวิจัยนี้จะทำการทดสอบโดยใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงชั่วพล เนื่องจากฟ้าผ่าแบบฟ้าผ่าลงชั่วพลเกิดขึ้นประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟ้าผ่าทั่วโลก โดยที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง ชั่วพลที่ใช้ในการทดสอบมีศักย์แรงดัน 100 กิโลโวลต์ ซึ่งในภาคปฏิบัติฉนวนอากาศจะเบรกดาวนที่ระดับความเครียดสนามไฟฟ้าประมาณ 25 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (สำรวย สังข์สะอาด, 2549 ; ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล, 2546 ; Kuffel, Zaengl, & Kuffel, 2000 ; Naidu, & Kamaraju, 1996) เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นอัตราการเกิดและความยาวของสตรีมเมอร์ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ใช้พิจารณาประสิทธิภาพของการล่อฟ้าขณะทำการทดสอบ จึงจะทำการทดสอบที่ระยะแฉกประหว่างอิเล็กโตรดแรงสูงและตัวนำล่อฟ้าแต่ละรูปลักษณะที่ 8 เซนติเมตร ระบบสร้างแรงดันสูงและระบบวัดแรงดันสูงที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน IEC std. 60060-1, IEC std. 60060-2 และ IEEE Std. 4 - 1995 กำหนด (IEC std. 60060-1, 1989 ; IEC

std. 60060-2, 1994 ; IEEE Std. 4 - 1995, 1995)
 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังภาพ 6



ภาพ 6 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

โดยที่ 1 คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปรับ
 ค่าได้ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล พิกัด
 0-250 V, 50 Hz, 1 kVA (ธนากร น้ำหอมจันทร์, อติกร
 เสรีพัฒนานนท์ และ พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2550, หน้า
 32 - 37.)

2 คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง พิกัด 220 V /
 20 kV, 50 Hz, 5 kVA

3 คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง
 แบบจันบันได 5 ชั้น พิกัด ± 100 kV, 3 mA

4 คือ ความต้านทานจำกัดกระแส 100 kV, 3
 mA, 33.33 M Ω

5 คือ โวลเตจดีไวเดอร์ แบบตัวเก็บประจุ พิกัด
 150 kV, 50 Hz ratio 1111:1 (อติกร เสรีพัฒนานนท์,
 ธนากร น้ำหอมจันทร์, พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ และสุพิศ บุญรัตน์,
 2551, หน้า 19-25)

6 คือ โวลเตจดีไวเดอร์แบบตัวต้านทาน พิกัด
 100 kV ratio 1000:1

7 คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fluke 177

8 คือ ชุดทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
 การล่อฟ้าจากรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้าและค่าความต้านทาน
 ดิน (ธนากร น้ำหอมจันทร์, อติกร เสรีพัฒนานนท์,
 พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, 2553) แสดงดังภาพ 7



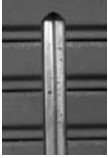
ภาพ 7 ชุดทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้า
 จากรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้าและค่าความต้านทานดิน

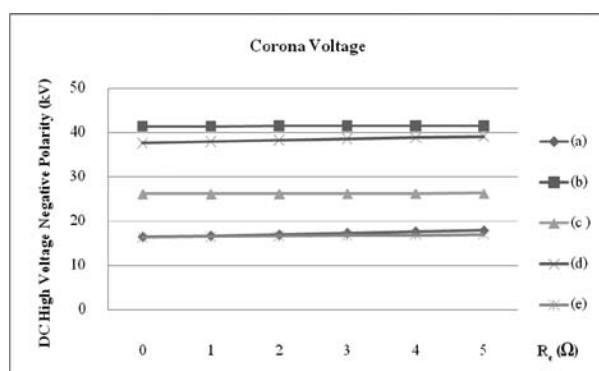
การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพการล่อฟ้าของ
 แต่ละรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้าที่แต่ละค่าความต้านทานดิน
 จะทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย เพื่อ
 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเป็นผลจากรูป
 ลักษณะตัวนำล่อฟ้าและค่าความต้านทานดิน ค่าเฉลี่ย
 ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 1

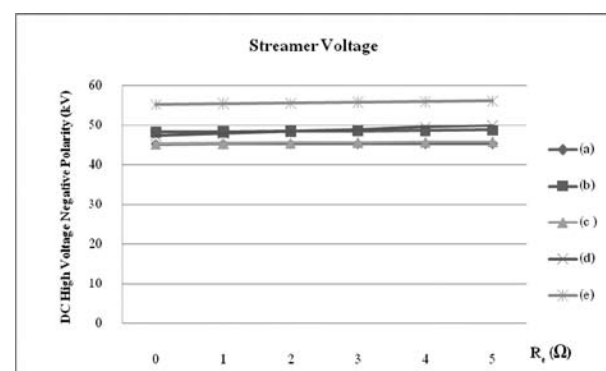
ตาราง 1

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการล่อฟ้าที่ค่าความต้านทานดินในช่วง 0-5 โอห์ม

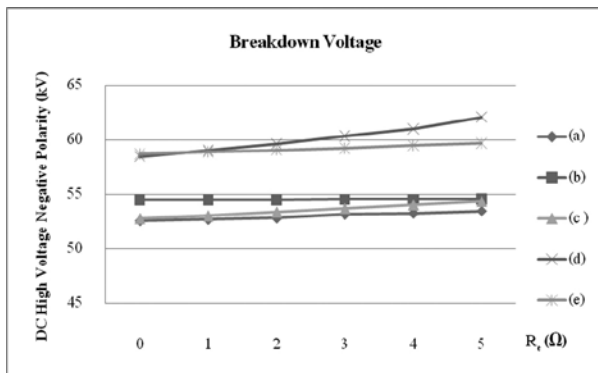
Air-termination Configuration	Phenomena	DC High Voltage Negative Polarity (kV)					
		R_e 0 Ω	R_e 1 Ω	R_e 2 Ω	R_e 3 Ω	R_e 4 Ω	R_e 5 Ω
 (a)	Corona	16.44	16.68	16.92	17.34	17.61	17.89
	Streamer	45.23	45.28	45.30	45.31	45.33	45.35
	Breakdown	52.55	52.67	52.80	53.14	53.25	53.45
 (b)	Corona	41.43	41.45	41.49	41.51	41.53	41.55
	Streamer	48.28	48.33	48.50	48.62	48.70	48.81
	Breakdown	54.47	54.48	54.49	54.51	54.52	54.53
 (c)	Corona	26.11	26.14	26.17	26.21	26.25	26.30
	Streamer	45.35	45.48	45.61	45.73	45.83	45.94
	Breakdown	52.77	53.01	53.34	53.68	54.01	54.34
 (d)	Corona	37.65	37.97	38.28	38.59	38.89	39.17
	Streamer	47.42	47.93	48.46	48.97	49.55	49.96
	Breakdown	58.45	59.00	59.62	60.34	61.00	62.07
 (e)	Corona	16.28	16.44	16.60	16.75	16.88	17.05
	Streamer	55.27	55.45	55.62	55.81	55.97	56.13
	Breakdown	58.70	58.88	59.04	59.23	59.46	59.69



ภาพ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าจากระดับแรงดันโคโรนาเริ่มเกิด



ภาพ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าจากระดับแรงดันที่สร้างสตรีมเมอร์



ภาพ 10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าจากระดับแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์

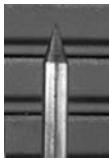
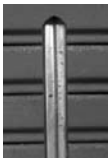
จากตาราง 1 จะพบว่า เมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดโคโรนาดีสชาร์จ การสร้าง

สตรีมเมอร์ รวมทั้งการเบรกดาวน์ต้องใช้ระดับแรงดันสูงขึ้น ดังภาพที่ 8-10

จากหัวข้อที่ 2.3 กล่าวว่า ประสิทธิภาพของระบบล่อฟ้าขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดและความยาวของสตรีมเมอร์จากปลายตัวนำล่อฟ้า เมื่อพิจารณาจากตาราง 1 โดยกำหนดให้ระดับแรงดันที่สร้างสตรีมเมอร์ที่ค่าความต้านทานดิน 0 โอห์มเป็นระดับแรงดันอ้างอิง เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการล่อฟ้าเมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการล่อฟ้าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้าเมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม แสดงดังตาราง 2

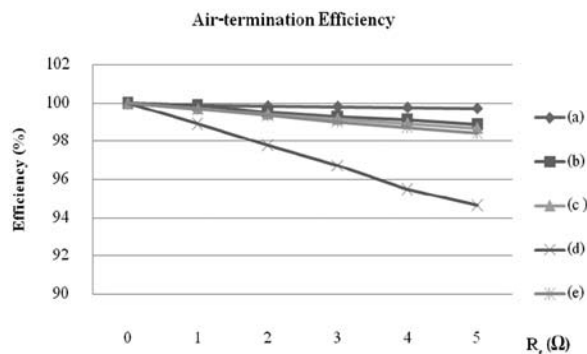
ตาราง 2

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้าเมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม

Air-termination Configuration	Phenomena	Air-termination Efficiency (%)					
		$R_t 0 \Omega$	$R_t 1 \Omega$	$R_t 2 \Omega$	$R_t 3 \Omega$	$R_t 4 \Omega$	$R_t 5 \Omega$
 (a)	Streamer	100.00	99.89	99.85	99.82	99.78	99.73
 (b)	Streamer	100.00	99.90	99.54	99.30	99.13	98.90
 (c)	Streamer	100.00	99.71	99.43	99.16	98.94	98.70
 (d)	Streamer	100.00	98.92	97.81	96.73	95.51	94.64
 (e)	Streamer	100.00	99.67	99.37	99.02	98.73	98.44

สรุปและอภิปรายผล

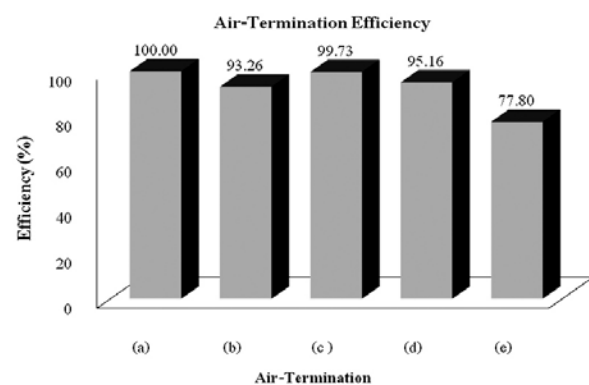
จากการทดสอบหาประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเป็นผลจากค่าความต้านทานดินในช่วง 0 - 5 โอห์ม โดยอ้างอิงประสิทธิภาพการล่อฟ้าที่ค่าความต้านทานดิน 0 โอห์ม พบว่าเมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม ประสิทธิภาพการ ล่อฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง ดังภาพ 11



ภาพ 11 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้าจากค่าความต้านทานดิน

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเป็นผลจากรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้า 5 รูปลักษณะ โดยอ้างอิงประสิทธิภาพการล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้าแบบ (a) ที่ค่าความต้านทานดิน 0 โอห์ม พบว่าประสิทธิภาพการล่อฟ้าอันเนื่องจากรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้ามีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ดังภาพ 12

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพการล่อฟ้าจากค่าความต้านทานดิน โดยทดสอบเปรียบเทียบระหว่างตัวนำล่อฟ้า 5 รูปลักษณะ ที่ระยะแกน 8 เซนติเมตร จะพบว่าที่ระยะแกนเท่ากันเมื่อค่าความต้านทานดินเพิ่มขึ้น 1 โอห์ม ในช่วงค่าความต้านทาน 0 - 5 โอห์ม เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการล่อฟ้าที่ค่าความต้านทานดิน 0 โอห์ม ประสิทธิภาพการล่อฟ้าของตัวนำล่อฟ้าแบบ (a), (b), (c), (d) และ (e) มีประสิทธิภาพต่ำลง 0.11-0.27, 0.10-1.10, 0.29-1.30, 1.08-5.36 และ 0.33-1.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพ 12 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการล่อฟ้าจากรูปลักษณะตัวนำล่อฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- ธนากร น้ำหอมจันทร์. (2552). *เอกสารคำสอนวิชาทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1*. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย.
- ธนากร น้ำหอมจันทร์ และกาญจนา ภักดีบุญญานุกุล. (2553). ไฟฟ้า (Lightning). *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ มสธ*, 3(9), หน้า 60-66.
- ธนากร น้ำหอมจันทร์ และ กาญจนา ภักดีบุญญานุกุล. (2553). ไฟฟ้า (Lightning) (2). *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ มสธ*, 3(11), หน้า 48-58.
- ธนากร น้ำหอมจันทร์, อติกร เสรีพัฒนานนท์ และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ. (2550). แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้ควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล. *วารสารRSU JET มหาวิทยาลัยรังสิต*, 10(1), หน้า 32-37.

- ธนากร น้ำหอมจันทร์, อติกร เสรีพัฒนานนท์, พงสวัสดิ์ คชภูมิ. (2553). *การศึกษาผลของค่าความต้านทานดินต่อประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้า*. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ประจำปีการศึกษา 2552. ลำดับที่ 05-2553.
- นรเศรษฐ พัฒนเดช, ภูจิต ถึงสุข และศรัณย์ ชิวทวิทรัพย์. (2552). การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้าตอนที่ 1. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32*. หน้า 323-326.
- นรเศรษฐ พัฒนเดช, ภูจิต ถึงสุข และ ศรัณย์ ชิวทวิทรัพย์. (2552). การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของตัวนำล่อฟ้าตอนที่ 2. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32*. หน้า 327-330.
- ศรัณย์ ชิวทวิทรัพย์, นรเศรษฐ พัฒนเดช และภพ จันท์เจริญสุข. (2551). คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเสาต่อฟ้าชนิดต่างๆ. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31*. หน้า 251-254.
- ศรัณย์ ชิวทวิทรัพย์, นรเศรษฐ พัฒนเดช และ ภพ จันท์เจริญสุข. (2552). การศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำเสาต่อฟ้า. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47*. หน้า 199-206.
- ศิริวัฒน์ โพธิ์เวทกุล. (2546). *เอกสารประกอบการสอนวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงขั้นสูง*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2546). *มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). มาตรฐาน ว.ส.ท. 2003-43.
- สำรวย สังข์สะอาด. (2549). *วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อติกร เสรีพัฒนานนท์, ธนากร น้ำหอมจันทร์, พงสวัสดิ์ คชภูมิ และสุพิศ บุญรัตน์. (2551). การออกแบบและสร้างโวลเตจดีไวเซอร์แบบตัวเก็บประจุขนาด 150 กิโลโวลต์สำหรับใช้วัดแรงดันสูงกระแสลับ, *วารสาร EAU Heritage Journal*, 2(1), หน้า 19-25.
- Amazing Wall Cloud -Lightning strike! - Storm coming!*. จาก <http://www.strangedangers.com/content/item/135439.htht>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1995). *IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing*. IEEE Std. 4 -1995.
- International Electro technical Commission. (1989). *High - voltage test techniques Part 1: General definitions and test requirements*. IEC std. 60060-1, Second edition, 1989 - 11.
- International Electro technical Commission. (1994). *High - voltage test techniques Part 2: Measuring System*. IEC std. 60060-2, Second edition, 1994-11.
- International Electro technical Commission. (1998). *Protection of structures against lightning Part 1-2*. IEC std. 61024-1-2.
- Kuffel, E., Zaengl, W. S. and Kuffel, J. (2000). *High Voltage Engineering :Fundamentals*. (2 nd. ed.). Great Britain: Newnes.
- Naidu, M. S. and Kamaraju, V. (1996). *High Voltage Engineering*, (2 nd. ed.). New York: McGraw-Hill.
- Srinivasan, K., & Gu, J. (2006). Lightning as atmospheric electricity. *Proceedings of IEEE CCECE/CCGEL, Ottawa Canada*, pp. 2258-2261.