

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแฉก  
LIGHTNING ROD PERFORMAMANCE COMPARISON  
BETWEEN BLUNT AIR TERMINAL AND MULTI AIR TERMINATOR

สาธิต มาเฮง

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: satit.mae@spumail.net

สำเร็จ อินท่าไม้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: samroeng.hi@spu.ac.th

นิमित บุญภิรมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: nimit.bo@spu.ac.th

กษิเดช ทิพอมรวิวัฒน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: kasidej.ti@gmail.com

### บทคัดย่อ

ในบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแฉก โดยพิจารณาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด,  $U_c$  ด้วยการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงชั่วลบ และค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์,  $U_{50\%}$  ด้วยการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วลบและชั่วบวก ที่เวลาหน้าคลื่นเท่ากับ  $1.2/50 \mu\text{S}$  ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง โดยการจำลองก้อนเมฆด้วยแผ่นโลหะขนาด  $6 \times 6$  เมตร ห่างจากปลายตัวนำล่อฟ้า 2 เมตร จากผลการทดลองเมื่อทำการจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงชั่วลบเข้าไปที่แผ่นโลหะด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้น พบว่าค่า แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ ส่วนในกรณีทำการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าชั่วลบและชั่วบวกให้กับแผ่นโลหะ พบว่า แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกจะมีค่าต่ำกว่าปลายทู่ และแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ชั่วลบหรือตัวนำล่อฟ้าชั่วบวกจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ชั่วบวกหรือตัวนำล่อฟ้าชั่วลบ ดังนั้นจากผลการทดลองจะสอดคล้องกับภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และช่วยให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ตัวนำล่อฟ้า ประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า แรงดัน โคโรน่าเริ่มเกิด แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์

## ABSTRACT

This paper presents the lightning rod performance comparison between blunt air terminal and multi air terminal by focus on the initial corona voltage value,  $U_1$  using high voltage direct current test for negative polarity and the breakdown impulse voltage value,  $U_{50\%}$  using lightning impulse test for the negative and positive polarity of 1.2/50  $\mu$ S standard wave simulating inside the high voltage laboratory. A metal screen, 6x6 m simulating cloud was placed above the device at 2 m air gap. When supplying the high voltage direct current for negative polarity to the metal screen and adjusting voltage increase, found that the initial corona voltage value of the multi air terminal is lower than the blunt air terminal. In the case of lightning impulse test both negative and positive polarity energize to the metal sheet found the breakdown impulse voltage value of the multi air terminal is lower than the blunt air terminal. Moreover, the lightning impulse test results found the breakdown impulse voltage in the case of the metal screen was energized with the negative lightning impulse lower than the positive lightning impulse. Finally, the test results provide a better understanding of the lightning protection device's electrical performance.

**Keywords:** Air Terminal Device, Air Terminal Device Effectiveness, Initial Corona Voltage, Breakdown Impulse Voltage.

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อนชื้นที่มีอัตราการเกิดฝนฟ้าคะนองค่อนข้างสูง ฟ้าผ่าจึงเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอนและมีความซับซ้อน ปัจจุบันอาคารสำนักงานและสิ่งปลูกสร้างมีความสูงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งนี้อันตรายจากฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นจาก 3 สาเหตุด้วยกันคือ ความร้อน แรงกลหรือแรงระเบิด และผลทางไฟฟ้า ซึ่งความร้อนจะเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ แรงระเบิดเป็นผลทำให้สิ่งที่ถูกผ่าพังทลายได้และผลทางไฟฟ้าอาจเป็นอันตรายแก่ทั้งชีวิตคนและสัตว์ ระบบป้องกันฟ้าผ่าจึงมีไว้เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสฟ้าผ่าลงสู่พื้นดิน แต่ไม่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากการฟ้าผ่าได้ทั้งหมด การเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการเลือกใช้ตัวนำล่อฟ้า ซึ่งในปัจจุบันตัวนำล่อฟ้ามีรูปทรงอยู่หลากหลาย เช่น ปลายแหลม ปลายทู่และปลายแฉก และที่ผ่านมา C.B.Moore และคณะ(2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าทางกายภาพของตัวนำล่อฟ้ารูปทรงต่างๆ ผลจากการวัดและการคำนวณชี้ให้เห็นว่า ตัวนำล่อฟ้าแบบแฟลตคลินชนิดปลายทู่ นั้นดีกว่ารูปทรงอื่นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้ G. Berger (1993) เป็นผลการทดลองในห้องปฏิบัติการนี้ และสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยประจุจากอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า นอกจากนี้ S. Grzybowski และคณะ(2005, 2007 และ 2008) ได้นำเสนอการทดลองการปล่อยกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ผลกระทบของประจุค้างต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ล่อฟ้าจะมีสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับอีกหลายปัจจัยด้วยกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นรวมถึงรูปทรงของอุปกรณ์ล่อฟ้า ภูมิประเทศ ขั้วของประจุในก้อนเมฆ อุณหภูมิ ความดัน และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรอบๆ ประจุค้างที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์ ล่อฟ้า จะมีผลโดยตรงกับการกระจายสนามไฟฟ้าและระยะโจมตีของล่อกระแสฟ้าผ่า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแหลก โดยทำการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดและค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะ(แทนก้อนเมฆ)กับตัวนำล่อฟ้าภายใต้สภาวะการจำลองการเกิดฟ้าผ่าภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในการหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงชั่วเวลาสั้นๆที่แผ่นโลหะ แล้วทำการบันทึกด้วยกล้องตรวจวัด โคโรนาดิซชาร์จ ส่วนการทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ จะทำการทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่าทั้งรูปคลื่นชั่วเวลาและชั่วบวก ที่เวลาหน้าคลื่นเท่ากับ  $1.2/50 \mu\text{s}$  แล้วทำการวัดค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ด้วยคิวิตอลออสซิลโลสโคปโดยผ่าน โวลเตจดีไวเดอร์(Voltage Divider)

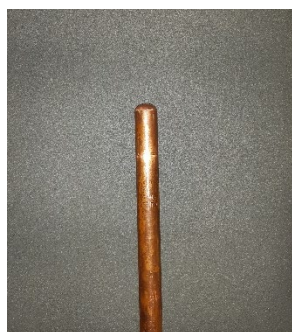
## 2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแหลก
- 2.2 เพื่อศึกษาเวลาล่าช้าของการเบรกดาวน์(Time Lag Breakdown), ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแหลก
- 2.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแหลก

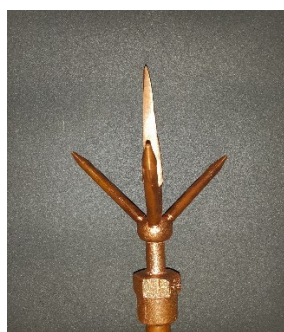
## 3. การออกแบบการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำฟ้าผ่า

### 3.1 ทดสอบตัวนำล่อฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบตัวนำล่อฟ้าที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และชนิดปลายแหลก ซึ่งตัวนำล่อฟ้าทั้ง 2 ชนิดมีขนาด 5/8” ดังแสดงตามในรูปที่ 1 และการออกแบบขั้นตอนการทดสอบตามในรูปที่ 2

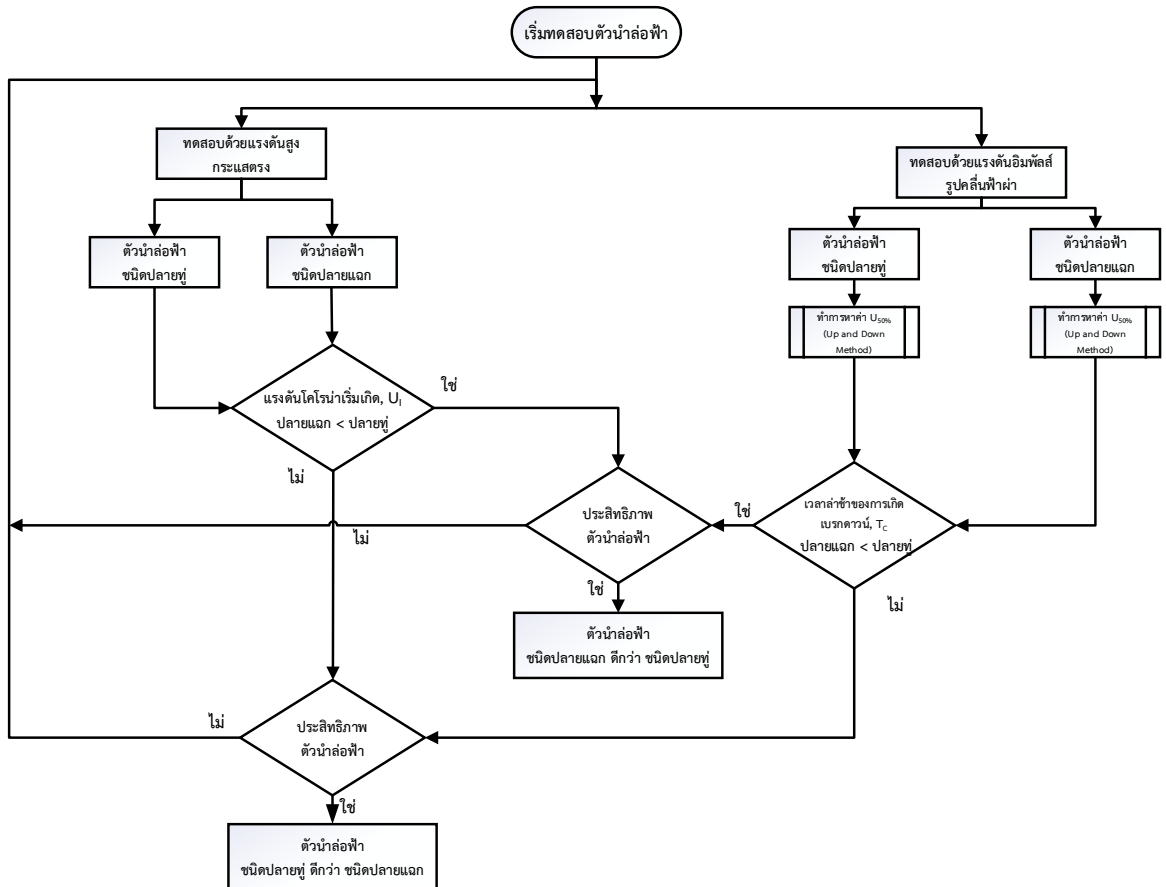


ก) ปลายทู่



ข) ปลายแหลก

รูปที่ 1 ตัวนำล่อฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 2 การออกแบบขั้นตอนการทดสอบตัวนำล่อฟ้า

### 3.2 การทดสอบประสิทธิภาพตัวนำล่อฟ้าในห้องปฏิบัติการ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า จะใช้แผ่นโลหะขนาด 6x6 เมตร จำลองแทนก้อนเมฆ ติดตั้งสูงจากปลายล่อฟ้า 2 เมตร และทำการทดสอบหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดและแรงดันอิมพัลส์เบรกควาน์ของตัวนำล่อฟ้า ดังนี้

#### 3.2.1 แรงดันโคโรนาเริ่มเกิด (Initial Corona Voltage)

ในการทดสอบหาค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยแรงดันสูง กระแสตรงชั่วลบเข้าไปที่แผ่นโลหะ ด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากแรงดัน 100, 150, 200, 250 และ 300 kV ดังแสดงในรูปที่ 3



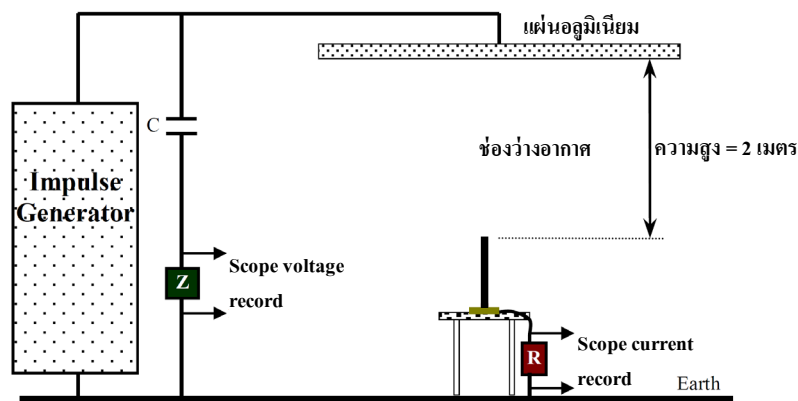
รูปที่ 3 การทดสอบแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้า  
ด้วยเครื่องกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงชั่วลบ

### 3.2.2 แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์(Breakdown Impulse voltage)

ในทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ระหว่างแผ่นโลหะกับตัวนำล่อฟ้า จะทำการทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า โดยทดสอบทั้งรูปคลื่นฟ้าผ่าชั่วลบและชั่วบวก ด้วยเวลาหน้าคลื่นเท่ากับ  $1.2/50 \mu\text{s}$  แล้วทำการวัดค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ด้วยดิจิตอลออสซิลโลสโคปโดยผ่านโวลเทจดีไวเดอร์(Voltage Divider) ดังแสดงในรูปที่ 4



ก) ทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ไฟฟ้า



ข) วงจรทดสอบด้วยเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ไฟฟ้า  
รูปที่ 4 การทดสอบแรงดันอิมพัลส์ของตัวนำล่อฟ้า

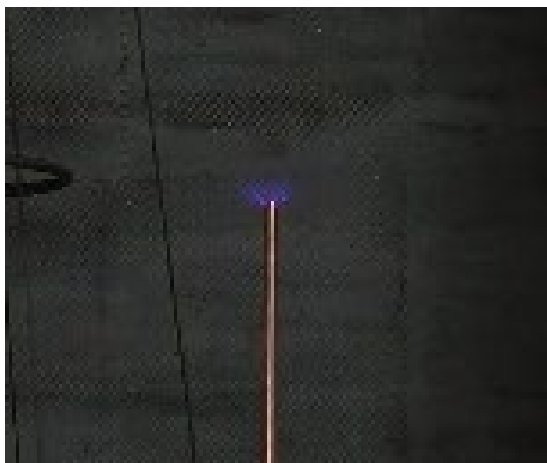
#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 4.1 แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด (Initial Corona Voltage)

ในการหาค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด โดยทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงชั่วขณะ ด้วยการปรับแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นจากแรงดัน 100, 150, 200, 250 และ 300 kV แล้วทำการบันทึกค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด และบันทึกภาพโคโรน่าด้วยกล้องถ่ายภาพโคโรน่าดิสชาร์จ ดังแสดงตามในตารางที่ 1 และในรูปที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด กรณีทดสอบด้วยแรงดันสูงกระแสตรงชั่วขณะ

ตัวนำล่อฟ้า	แรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด, $U_i$ (kV)
ปลายทู่	132
ปลายแหลม	48



ก) ปลายทู่

ข) ปลายแฉก

รูปที่ 5 แรงดันโคโรนาเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน โดยตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกและปลายทู่ จะเริ่มเกิดโคโรนาที่แรงดันประมาณ 48 และ 132 kV ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแฉกมีแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ เนื่องจากตัวนำล่อฟ้าชนิดนี้จะมีความสามารถในการสร้างสตริมเมอร์ที่ปลายตัวนำล่อฟ้าได้เร็วกว่า และนำไปสู่การเหนี่ยวนำหัวนำร่องฟ้าผ่ามาลงยังจุดนี้ได้เร็วกว่า

#### 4.2 แรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์(Breakdown Impulse Voltage)

ในที่นี้ได้ทำการทดสอบหาค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า โดยใช้แผ่นโลหะแทนก้อนเมฆวางไว้ที่ความสูง 2 เมตรจากตัวนำล่อฟ้า แล้วจ่ายแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าทั้งขั้วลบและขั้วบวกเข้าไปที่แผ่นโลหะ โดยมีหน้าคลื่นเท่ากับ 1.2/50  $\mu$ S แล้วทำการปรับแรงดันเพิ่มขึ้นและลดลง, Up and down เพื่อหาค่าแรงดันเบรกดาวน์ที่ 50%,  $U_{50\%}$  แล้วบันทึกผลของค่าแรงดันเบรกดาวน์ดังแสดงในตารางที่ 2 อิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าดังในรูปที่ 6 และกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ กรณีหน้าคลื่น 1.2/50  $\mu$ S

ตัวนำล่อฟ้า	ขั้วลบ (Negative Polarity)		ขั้วบวก (Positive Polarity)	
	แรงดัน (kV)	$T_c$ ( $\mu$ S)	แรงดัน (kV)	$T_c$ ( $\mu$ S)
ปลายทู่	-1216	10.67	1708	7.818
ปลายแฉก	-1184	12.7	1710	8.649





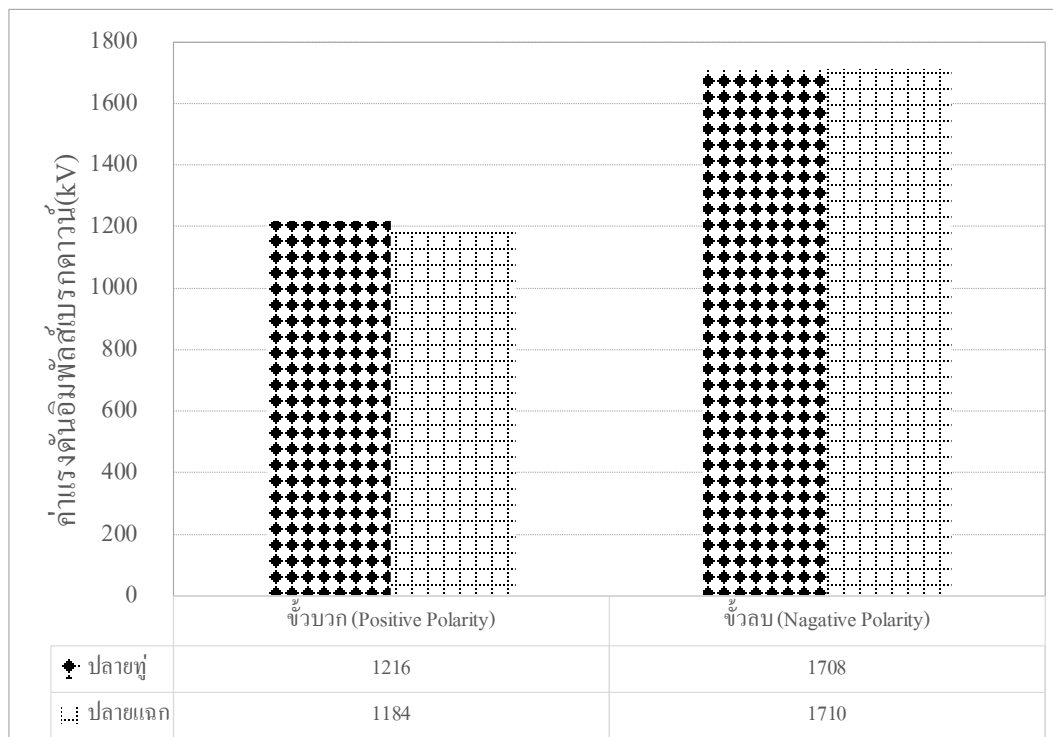
ก) ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่



ข) ตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลก

รูปที่ 6 การเกิดเบรกดาวน์อิมพัลส์ของตัวนำล่อฟ้า เมื่อทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ากรณีหน้าคลื่น 1.2/50  $\mu$ S

จากผลการทดลองตามตารางที่ 2 และกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าทั้งสองชนิดตามในรูปที่ 7 พบว่าค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า กรณีจ่ายแรงดันขั้วบวกเข้าไปที่แผ่นโลหะ (ก้อนเมฆ) จะมีค่าสูงกว่ากรณีจ่ายแรงดันขั้วลบเข้าไป ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากการจ่ายแรงดันอิมพัลส์ขั้วบวกให้กับแผ่นโลหะ จะเกิดขั้วลบขึ้นที่ตัวนำล่อฟ้า อิเล็กตรอนที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะเคลื่อนที่ไปหาอะโนด (Anode) หรือแผ่นโลหะ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าค่า อิเล็กตรอนอาจเกาะตัวบนโมเลกุลได้ และรวมตัวเป็นกลางที่อะโนด (Anode) ส่วนประจุไอออนบวกเคลื่อนที่ได้เข้าหาหาคะโถด (Cathode) ก็คือปลายตัวนำล่อฟ้า จะค้างอยู่บริเวณปลายตัวนำล่อฟ้า ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างหมอกประจุค้างกับอะโนด (Anode) จะกลับสม่าเสมอดีขึ้นเนื่องจากประจุค้าง จึงทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ยากขึ้น ฉะนั้นจึงทำให้แรงดันเบรกดาวน์มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าแต่ละชนิด เมื่อทำการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า กรณีหน้าคลื่น 1.2/50  $\mu$ S



เมื่อพิจารณาผลของแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้า พบว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลมจะเกิดเบรกดาวน์  $-1184 \text{ kV}$ ,  $T_c=12.7 \text{ } \mu\text{S}$  และตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่จะเกิดเบรกดาวน์  $-1216 \text{ kV}$ ,  $T_c=10.67 \text{ } \mu\text{S}$  ตามลำดับ การสร้างอิมพัลส์กระแสภายใต้สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เพื่อ ก่ออะวาลานซ์ให้ได้ค่าวิกฤตินั้น จะต้องใช้เวลา ถ้าช่วงเวลาแรงดันคงตัวมีอยู่น้อย จำเป็นต้องใช้ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อให้สตรีมเมอร์เกิดขึ้นได้ตามเงื่อนไขในเวลารวดเร็ว นั่นคือค่าแรงดันเบรกดาวน์จะสูงขึ้น ถ้าหากช่วงเวลาคงตัวของแรงดันสั้นลง ซึ่งในที่นี้ก็หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์กับเวลากลับคืน,  $T_c$  นั่นเอง

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่และปลายแหลม ด้วยแรงดันสูง กระแสตรงและแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่าภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดของตัวนำล่อฟ้าจะมีค่าแตกต่างกัน พบว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลมจะมีค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิดต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่
2. ค่าแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลม จะเกิดเบรกดาวน์ได้ง่ายกว่าชนิดปลายทู่
3. จากผลการทดสอบพบว่าค่าแรงดันโคโรน่าเริ่มเกิด,  $U_i$  และแรงดันอิมพัลส์เบรกดาวน์,  $U_{50\%}$  ของตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลมจะมีค่าต่ำกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายแหลม จะสามารถดึงดูดกระแสฟ้าผ่าได้ดีกว่าตัวนำล่อฟ้าชนิดปลายทู่
4. ดังนั้นประสิทธิภาพของตัวนำล่อฟ้า จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดของแรงดันโคโรน่าดิสชาร์จ หากเกิดได้เร็วและขยายตัวออกไปด้วยความเร็ว ก็มีโอกาสนั้นไปพบกับหัวนำร่องได้เร็วขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท คริติคอล แฟซิลิตี้(ประเทศไทย) จำกัด และกองทดสอบไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- G. Berger. 1993. "Determination of the Inception Electric Field of the Lightning Upward Leader.", **Proceeding of International Symposium on High Voltage Engineering**, 3: 225-228.
- C. B. Moore, W. Rison, J. Mathis, G. Aulich. 2000. "Lightning Rod Improvement Studies.", **Journal of Applied Meteorology**, 39: 593-609.
- S. Grzybowski, C. D. Taylor, B. Rodriguez-Medina, C. Bean, D. Haygood. 2005. "Emission Current from Static Dissipator Devices at Switching Impulses.", **Proceeding of International Symposium on Lightning Protection**: 201-206.
- S. Grzybowski, C. D. Taylor, C. Bean, H. Gupta, J. Grasty. 2007. "Experimental Study of Emission Current from Lightning Protection Devices under Rain and Wind Conditions." **Proceeding of International Symposium on Lightning Protection**: 244-249.
- S. Grzybowski, T. Disyadej, S. Mallick. 2008. "Effectiveness of Lightning Protection Devices." **Proceeding of International Conference on High Voltage Engineering and Application**: 9-13.