

## ผลของฟ้าผ่าลงบริเวณจุ่มเครื่องบินส่วนหน้า \*

กิตติพงษ์ ตันมิตร<sup>1)</sup> อาคม แก้วระวัง<sup>3)</sup> อำนาจ สุขศรี<sup>2)</sup> และวันชัย ธนาเศรษฐ์อังกูล<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>2)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>3)</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ 0-4320-2353 โทรสาร 0-4320-2836

Email: kitton@kku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของฟ้าผ่าลงบริเวณจุ่มเครื่องบินส่วนหน้าและทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนของความยาวของ แอล ดี เอส (Lightning Diverter Strip) ต่อความยาวของสายอากาศที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดฟ้าผ่าในบริเวณจุ่มโดมเครื่องบินจำลองที่ใช้สเกล 1:40 จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนความยาวของ แอล ดี เอส ต่อความยาวของสายอากาศที่เหมาะสมนั้น จะต้องมีความมากกว่า 1 ขึ้นไป จึงจะสามารถป้องกันการเกิดฟ้าผ่าในบริเวณดังกล่าวได้ และมุมที่ป้องกันฟ้าผ่าได้จะมีค่าตั้งแต่มุม 15-165 องศา ตามแนวแกนนอนด้านหน้าของจุ่มเครื่องบิน

**คำสำคัญ :** แอล ดี เอส, สายอากาศ, จุ่มโดมเครื่องบิน

---

\* รับผิดชอบเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2549

# The Lightning Effects to the Aircraft Front Nose Radome Region \*

K. Tonmitr<sup>1)</sup> A. Kaewrawang<sup>3)</sup> A. Suksri<sup>2)</sup> and W. Thanasate-Angkool<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

<sup>2)</sup> Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

<sup>3)</sup> Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

High Voltage Engineering Research Laboratory, Department of Electrical Engineering, Khon Kaen University,

123 Mitrapap Road, Amphur Meung, Khon Kaen, Thailand. Tel.0-4320-2353, Fax. 0-4320-2836

Email: kitton@kku.ac.th

## ABSTRACT

This research is to study the lightning effects on the aircraft nose radome region and determine a suitable ratio of lightning diverter strips (LDS) versus antenna length for the protection of the aircraft front nose radome. An experiment is conducted using reduced scale of an aircraft model with the ratio of 1:40 based on results obtained from experiments, suitable LDS length per antennas with value of greater than 1 will have a capability to protect the nose radome from lightning with appropriate angle of 15-165 degree configuration.

**Keywords :** Lightning Diverter Strip, Antenna, Nose Radome

---

\*

Original manuscript submitted: February 5, 2006 and Final manuscript received: September 15, 2006

## บทนำ

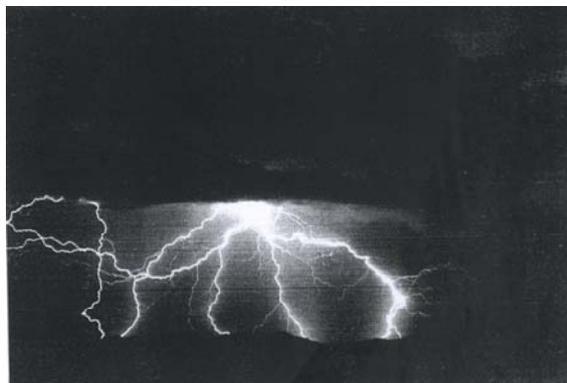
ปกติอุปกรณ์สื่อสารในอากาศยานเครื่องบิน เช่น สายอากาศ เรดาร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปจะติดตั้งอยู่บริเวณโดมส่วนหน้าและส่วนท้ายของเครื่องบิน บริเวณที่จะติดตั้งนั้นในโดมส่วนหัวและส่วนท้ายของเครื่องบินนั้นจะใช้วัสดุอื่น เช่น แก้ว ไฟเบอร์หรือวัสดุอื่นที่ไม่ใช่โลหะ จึงทำให้เกิดความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่าได้ถ้าไม่มีการป้องกัน จากสถิติการวิจัยของ NASA พบว่า การบินเข้าไปยังบริเวณที่มีพายุฝนฟ้าคะนองมีโอกาสถูกฟ้าผ่าได้มากกว่า 50% การถูกฟ้าผ่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูง เมื่อเครื่องบินอยู่ที่ระดับความสูง 28,000 ฟุต เหนือระดับน้ำทะเลจะมีโอกาสถูกฟ้าผ่าสูงที่สุด และมักจะเกิดขึ้นในเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคมของทุกๆ ปี เมื่อเกิดฟ้าผ่าจะเกิดผลดังนี้

- นักบินชะงักและตาพร่ามัวในช่วงขณะ
- เครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงาน
- ระบบสื่อสารเกิดคลื่นรบกวน
- ถังน้ำมันเกิดความร้อนขึ้นขณะฟ้าผ่าเกิดไฟไหม้และระเบิด
- เครื่องยนต์ไหม้และไฟฟ้าสำรองขัดข้อง
- โครงสร้างของเครื่องบินผิดรูปทรงและเกิดรอยไหม้
- เกิดเสียงดังเกินขนาดและเกิดแรงจากสแนมแม่เหล็ก
- ฟ้าที่ไม่ใช่โลหะเกิดความเสียหายและผิดรูปทรง

## ทฤษฎี

### รูปคลื่นฟ้าผ่า

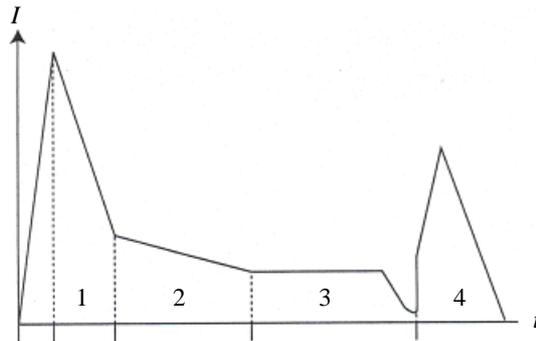
รูปคลื่นที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นรูปคลื่นที่แสดงฟ้าผ่า ซึ่งเป็นรูปคลื่นจริงที่ได้จากการสังเกตฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งเครื่องบินและอากาศยานต่างๆ ไป จะต้องออกแบบให้ทนต่อการเกิดฟ้าผ่าได้ ให้พิจารณารูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ภาพถ่ายจากฟ้าผ่าจริงเกิดขึ้นที่ New Mexico [ 1 ]

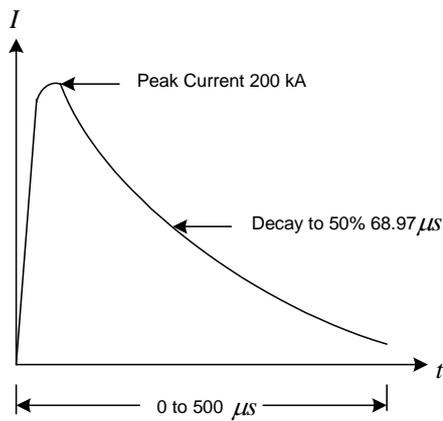
กระแสที่เกิดขึ้นขณะฟ้าผ่าแบ่งออกได้เป็นสี่ส่วน คือ

- กระแสส่วนที่ 1 จะเป็นกระแสส่วนที่เริ่มผ่าเกิดขึ้นระยะแรกจะมีกระแสสูงถึง 200,000 A หรือมากกว่า และมีช่วงเวลาประมาณ 0-500 ไมโครวินาที

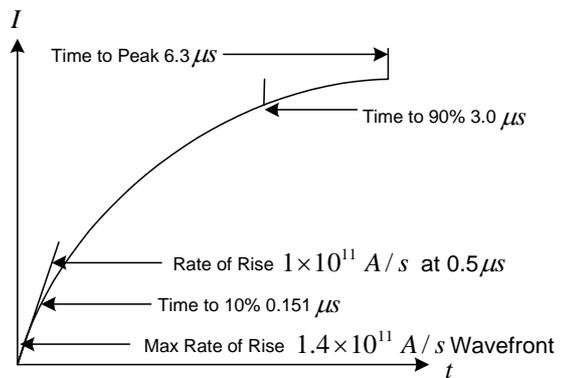


รูปที่ 2 รูปลักษณ์ของฟ้าผ่าแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ สี่ส่วน [1]

- กระแสในส่วนที่ 1 จะมีรูปลักษณ์เป็นอิมพัลส์ ดังรูปที่ 3 และมีรูปลักษณ์ส่วนหน้า ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 รูปลักษณ์กระแสในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นอิมพัลส์ระยะแรก



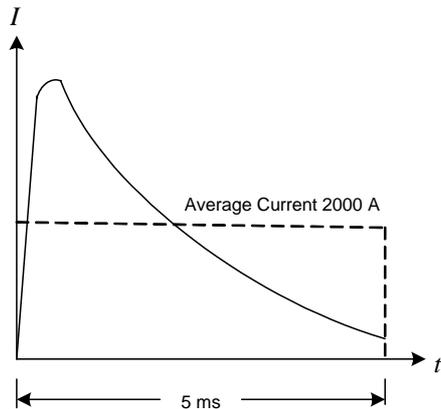
รูปที่ 4 รูปลักษณ์กระแสในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนหน้า

กระแสในส่วนที่ 1 นั้นสามารถคำนวณขนาดของกระแสและรูปร่างระยะแรกได้จากสมการ

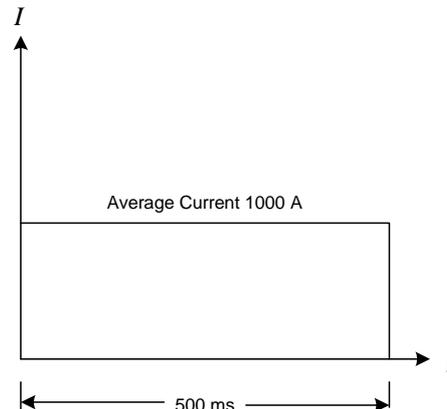
$$I(t) = I_0(e^{-at} - e^{-bt}) \tag{1}$$

เมื่อ  $I_0 = 218,810$  แอมแปร์,  $b = 6,000,000$  วินาที<sup>-1</sup>,  $a = 11,345$  วินาที<sup>-1</sup>,  $t = 0-500$  ไมโครวินาที แทนค่าในสมการ (1) จะได้ค่ากระแส  $I_{Peak} \approx 200,000$  แอมแปร์

กระแสส่วนที่ 2 จะเป็นกระแสที่อยู่ระหว่างกลางส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 ซึ่งมีกระแสสูงประมาณ 10,000 แอมแปร์ มีระยะเวลาอยู่ในช่วง 5 มิลลิวินาที และมีกระแสเฉลี่ยประมาณ 2,000 แอมแปร์ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1) เมื่อ  $I_0 = 11,300$  แอมแปร์,  $b = 2,000$  วินาที<sup>-1</sup>,  $a = 700$  วินาที<sup>-1</sup>,  $t = 0-500$  ไมโครวินาที



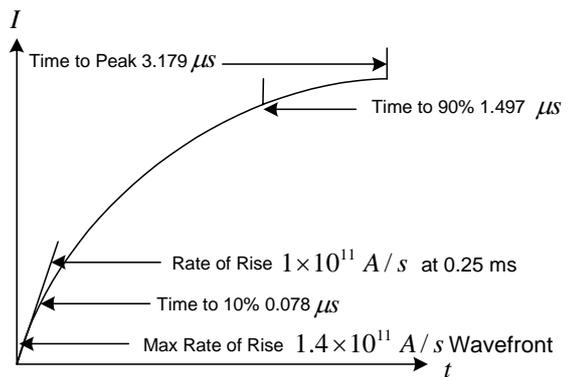
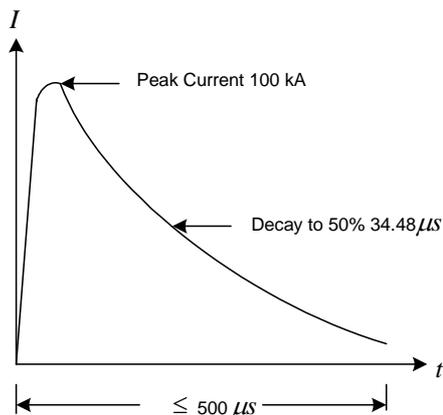
รูปที่ 5 รูปคลื่นของกระแสในช่วงที่ 2



รูปที่ 6 รูปคลื่นของกระแสในส่วนที่ 3

กระแสส่วนที่ 3 จะเป็นส่วนที่กระแสไหลอย่างต่อเนื่องซึ่งมีกระแสสูงประมาณ 1,000 แอมแปร์ ซึ่งอยู่ในช่วงเวลา 500 มิลลิวินาที

กระแสส่วนที่ 4 จะเป็นส่วนที่เกิดฟ้าผ่าซ้ำ ซึ่งมีค่ากระแสสูงสุดอีกครั้งถึง 100,000 แอมแปร์ และมีช่วงระยะเวลาน้อยกว่า 500 ไมโครวินาที



รูปที่ 7 รูปคลื่นของกระแสในส่วนที่ 4 ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดฟ้าผ่าซ้ำ

จากส่วนของรูปคลื่นทั้งหมดจะเห็นว่า ส่วนของรูปคลื่นที่จะทำให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องบินเสียหายนั้น จะเกิดจากส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 โดยจะทำให้เกิดความเสียหาย ดังในรูปส่วนที่ 4 ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดฟ้าผ่าซ้ำ และจะส่งผลทำให้เกิดระเบิดขึ้นได้

### วิธีป้องกันฟ้าผ่าเครื่องบิน [2]

จากการศึกษาพบว่าสามารถป้องกันได้โดย

1. หลีกเลี่ยงการบินที่จะบินเข้าไปบริเวณที่มีการเกิดฟ้าผ่าให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ตรวจสอบสภาพภูมิอากาศว่ามีความพร้อมที่จะบินได้ในเวลาเหล่านั้นหรือไม่
3. ตัวเครื่องบินควรทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ เช่น โลหะอลูมิเนียม
4. ฟ้าผ่าจะทำให้เกิดสเตตริกซาร์จที่เครื่องบินซึ่งจะต้องทำการกำจัดซาร์จเหล่านั้นให้ลดน้อยลงโดยใช้ static wicks
5. ในกรณีที่เครื่องบินจะต้องใช้ระบบสื่อสารนั้นตัวเครื่องบิน จะมีบางส่วนที่ทำด้วยวัสดุที่ไม่ใช่โลหะเพื่อป้องกันฟ้าผ่าบริเวณดังกล่าว จะใช้ แอล ดี เอส เป็นตัวป้องกัน

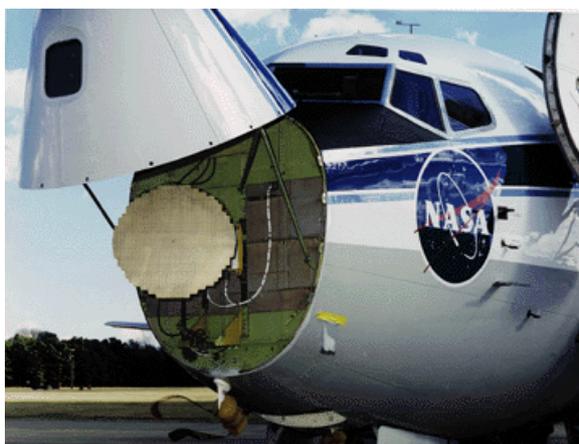
### แอล ดี เอส (LDS)

แอล ดี เอส LDS (Lightning Diverter Strip) เป็นวัสดุที่ใช้ในการป้องกันฟ้าผ่าเครื่องบิน เพื่อเป็นการป้องกันอุปกรณ์สื่อสาร เรดาร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ปกติแล้วอุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้จะติดตั้งในบริเวณที่ไม่ใช่โลหะเช่น ส่วนหัวของจุกโดมด้านหน้า และส่วนท้ายของเครื่องบินถ้าไม่มีการป้องกันบริเวณเหล่านี้อาจเกิดความเสียหายจากฟ้าผ่าได้ แอล ดี เอส มีผลผลิตและจำหน่ายโดยบริษัทที่ผลิตส่วนประกอบเครื่องบิน เมื่อต้องการติดตั้งกับเครื่องบินชนิดต่างๆ นั้นจะต้องทำการศึกษาและทดสอบจริงก่อนนำไปใช้งาน

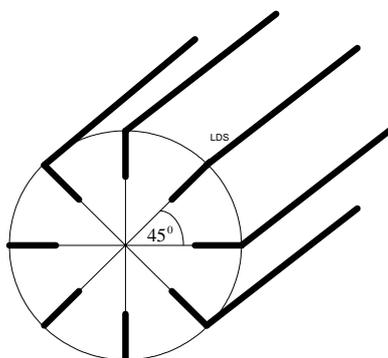
### วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบนี้เป็นการหาอัตราส่วนของ LDS กับส่วนที่เป็นเสาอากาศอยู่ภายในจุกโดมส่วนหน้าที่เหมาะสม
2. การทดสอบจะใช้เครื่องบินเล็กจำลองที่ใช้อัตราส่วน 1:40 และติดตั้ง แอล ดี เอส ดังรูปที่ 9
3. ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด  $1/50 \mu s$  โดยทำการทดสอบดังนี้
  - 3.1 ทดสอบก่อนใส่ แอล ดี เอส โดยต่อวงจรการทดสอบดังรูปที่ 10 ที่ระยะห่าง  $z = 20$  cm ทำการปรับมุมต่าง ๆ ตั้งแต่  $0-180^\circ$  จากนั้นทำการเพิ่มแรงดันขึ้นทีละ 10 kV (โดยใช้วิธี Up and down) จนกระทั่งเกิดเบรกดาวน
  - 3.2 ทดสอบโดยใส่ แอล ดี เอส ที่มีขนาดอัตราส่วนของ แอล ดี เอส ต่อความยาวของสายอากาศตั้งแต่ 1/3, 2/3, 1.0, 4/3 ที่ระยะห่าง 20 เซนติเมตร ทำการปรับมุมตั้งแต่ 0-

180<sup>0</sup> ตามแนวแกนนอน จากนั้นทำการเพิ่มแรงดันของเครื่องกำเนิดอิมพัลส์ขึ้นทีละ 10 kV (โดยใช้วิธี Up and down) จนกระทั่งเกิดเบรกดาวน



รูปที่ 8 การติดตั้ง แอล ดี เอส ที่บริเวณจมูกโดมด้านหน้าของเครื่องบิน [4]



รูปที่ 9 การติดตั้ง แอล ดี เอส จริงที่ใช้ในการทดสอบบริเวณจมูกโดมด้านหน้า โดยแอล ดี เอส แต่ละชิ้นทำมุมกัน 45 องศา

คำอธิบายหมายเลขต่าง ๆ ในรูปภาพที่ 10

หมายเลข 1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 4 Stages Stage ละ 125 kV

หมายเลข 2 Impulse Resistive voltage divider มีอัตราส่วน 1:1000

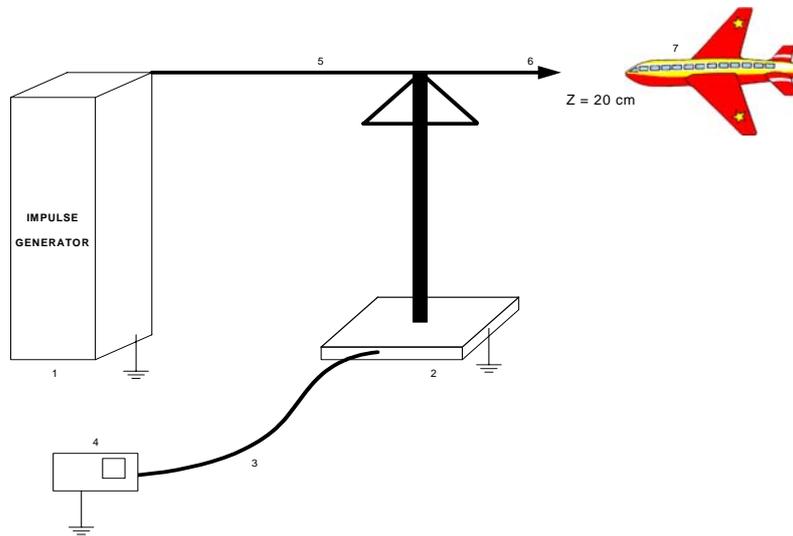
หมายเลข 3 สาย RG11U

หมายเลข 4 Oscilloscope

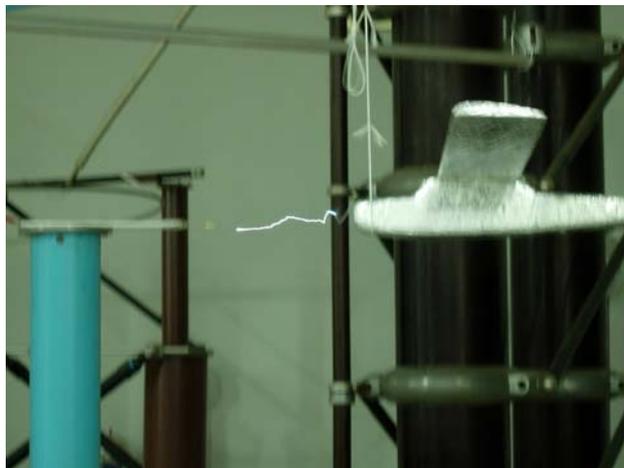
หมายเลข 5 ท่ออลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว

หมายเลข 6 ท่ออลูมิเนียมปลายแหลม

หมายเลข 7 เครื่องบินจำลองขนาด 1: 40 ที่ใช้ในการทดสอบ

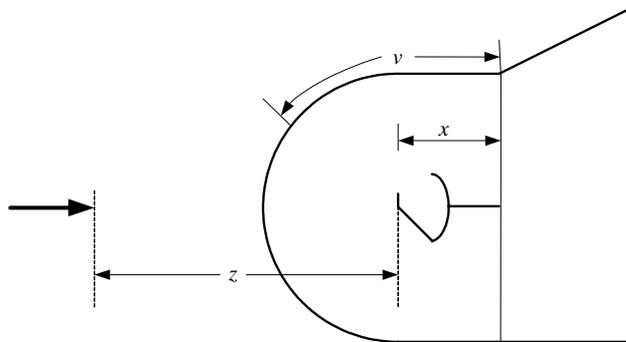


(ก) รูปการต่ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ



(ข) รูปการทดลองจริง

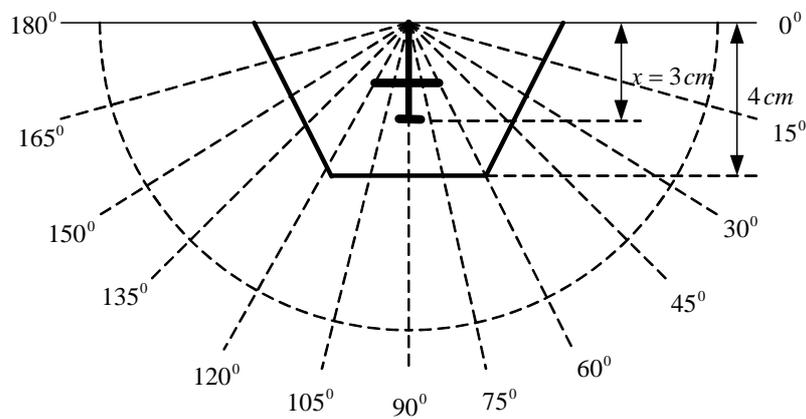
รูปที่ 10 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจริง



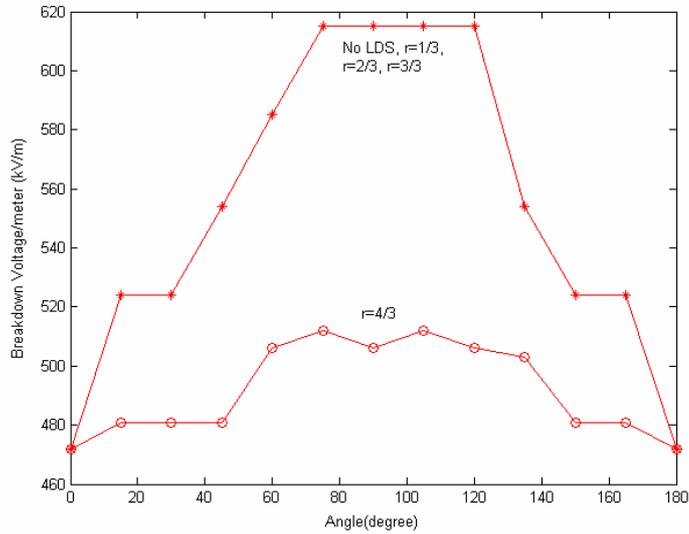
รูปที่ 11 รูปขยายด้านข้างแบบของจุมกโดมเครื่องบินส่วนหน้า [5]

จากรูปที่ 11 ทำการขยายแบบของจุมกโดมเครื่องบินส่วนหน้าพร้อมสายอากาศของระบบสื่อสาร

เมื่อ  $v$  เป็นความยาวของ แอล ดี เอส (cm),  $x$  เป็นความยาวของสายอากาศ เท่ากับ 3 cm อัตราส่วน  $r = v/x$  และ  $z$  เป็นระยะห่างจากปลายแหลมถึงสายอากาศ มีค่าเท่ากับ 20 cm ทำการเขียนมุมที่ป้องกัน



รูปที่ 12 ระยะห่างของแก๊ปและมุมที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 13 มุมที่ทดสอบ เมื่อใส่ แอล ดี เอส ที่มีอัตราส่วน 1/3 ถึง 4/3



รูปที่ 14 ภาพการทดสอบจริงของฟ้าผ่าลงที่ แอล ดี เอส เมื่อทำการป้องกันแล้ว

### สรุป

จากการทดสอบแรงดันเบรกดาวน์ที่เกิดขึ้นกับจุ่มกโดมเครื่องบินนั้น ถ้าใส่ แอล ดี เอส ที่มีค่า  $r$  คือความยาวของ แอล ดี เอส ต่อความยาวของสายอากาศ ให้มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง จะไม่สามารถป้องกันฟ้าผ่าที่สายอากาศได้ โดยผลจากการทดสอบ พบว่า ถ้าค่า  $r$  มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง แรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ไม่ได้ใส่ แอล ดี เอส เข้าไปยังจุ่มกเครื่องบิน ดังนั้นเราต้องใส่ แอล ดี

เอส ให้ค่า  $r$  มากกว่าหนึ่งจะทำให้แรงดันฟ้าผ่าลดลง ตั้งแต่มุม 15 ถึง 165 องศา จึงจะสามารถป้องกันฟ้าผ่าที่สายอากาศได้

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท วุฒิชัยลัมเบอร์ จำกัด บางนา กรุงเทพมหานคร ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยบางส่วนเพื่อทำการวิจัยนี้ และ ห้องปฏิบัติการวิจัย วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

- Air Data Research. 2001. "National Transportation Safety Board-aircraft Accident/Incident Database." **NTSB**, Texas 78023.
- C.C.Goodloe. 1999. "Lightning Protection Guidelines for Aerospace Vehicles." **Marshall Space Flight Center Alabama**.
- Lightning Master Corporation. 2002, 2003, 204. "Structural Lightning Protection." **U.F.O. Digital Studies Copy right**.
- Lightning Technologies Inc (LT). 2005. "Lightning Diversion Systems." **NASA at Longley Research Center**.
- Reinaldo Sileria. 2004. "Operational use of Lightning Detection methods." **Bragillion Lightning Detection Network Saba**.