

## บทที่ 4

### การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดสอบเครื่องนับฟ้าผ่าอัตโนมัติได้ออกแบบและประกอบสร้างตามรายละเอียดในบทที่ 3 โดยการทดสอบจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การทดสอบการนับในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบการนับฟ้าผ่าจริง ในส่วนท้ายของบทเป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งจะนำไปสู่การสรุปและข้อเสนอแนะที่จะได้กล่าวในบทต่อไป

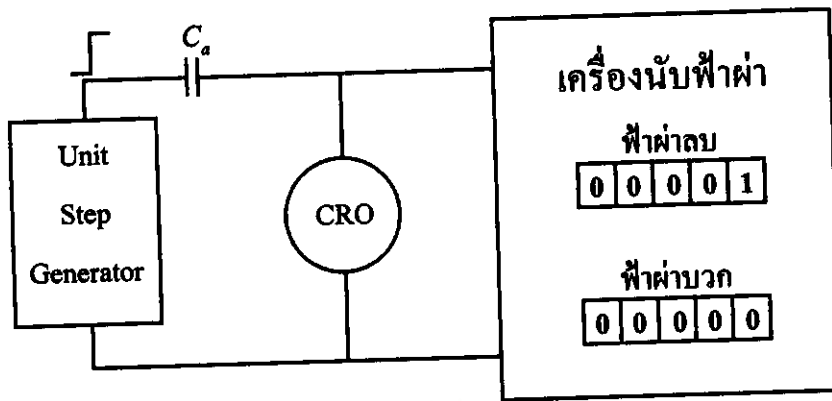
#### 4.1 การทดสอบการนับของเครื่องนับฟ้าผ่าอัตโนมัติได้ออกแบบสร้างในห้องปฏิบัติการ

เครื่องนับฟ้าผ่าอัตโนมัติได้ออกแบบและทำการปรับเทียบการนับสำหรับสายอากาศแต่ละแบบแล้ว จะนำมาทดสอบการนับของเครื่องนับฟ้าผ่าในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดสอบการนับในห้องปฏิบัติการออกเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบโดยการใช้ Unit Step Generator ป้อนสัญญาณแรงดันรูปขั้น (Unit Step) เข้าเครื่องนับฟ้าผ่า และ การทดสอบโดยการใช้ Recurrent Generator ป้อนสัญญาณอิมพัลส์เข้าเครื่องนับฟ้าผ่าโดยจำลองสัญญาณมาจากสัญญาณแรงดันเหนี่ยวนำของฟ้าผ่าพื้นโลกที่สายอากาศแบบจานกลมผ่านสายเคเบิล เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ทดสอบการนับทั้ง 2 วิธี สามารถจำลองสัญญาณฟ้าผ่าเข้าเพื่อทดสอบการนับจำนวนฟ้าผ่าที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ รายละเอียดของการทดสอบทั้ง 2 วิธี มีดังนี้

##### 4.1.1 การทดสอบการนับโดยการใช้ Unit Step Generator ป้อนสัญญาณแรงดันรูปขั้นเข้าเครื่องนับฟ้าผ่า

###### การทดสอบ

การทดสอบการนับด้วย Unit Step Generator ทำโดยป้อนสัญญาณแรงดันรูปขั้นจาก Unit Step Generator ผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิงซึ่งมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ ในที่นี้คือค่าความจุไฟฟ้า ( $C_a$ ) ของสายอากาศแบบแท่ง และสายอากาศแบบจานกลม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6 pF และ 56 pF ตามลำดับ สัญญาณแรงดันรูปขั้น 1 ลูก หมายถึง 1 Stroke ของฟ้าผ่า ถ้าป้อนสัญญาณแรงดันรูปขั้น 2 ลูก ใน 1 วินาที จะหมายถึงสัญญาณจากฟ้าผ่า 1 Flash ที่มี 2 Strokes (มีฟ้าผ่า 2 ครั้ง) ส่วนหัวของสัญญาณแรงดันรูปขั้นที่ป้อนเข้า จะเป็นตัวบ่งบอกหัวของฟ้าผ่า โดยแรงดันรูปขั้นหัวบวก จะหมายถึงแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศเมื่อเกิดฟ้าผ่าลบ และแรงดันรูปขั้นหัวลบ หมายถึงแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศเมื่อเกิดฟ้าผ่าบวก จำนวนสัญญาณแรงดันรูปขั้นที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ จะนำมาตรวจสอบกับจำนวนสัญญาณแรงดันรูปขั้นป้อนเข้าที่ปรากฏที่ออสซิลโลสโคป การทดสอบการนับด้วย Unit Step Generator แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบการนับด้วย Unit Step Generator

#### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการนับด้วย Unit Step Generator ซึ่งป้อนสัญญาณแรงดันรูปขั้นเข้าเครื่องนับพื้ค่าพบว่า เครื่องนับพื้ค่าที่ได้ออกแบบและประกอบสร้างทำการนับได้อย่างถูกต้องทั้งสัญญาณแรงดันรูปขั้นที่จำลองเป็นสัญญาณพื้ค่าเดี่ยวและพื้ค่าซ้ำ การใช้ Unit Step Generator ทดสอบการนับของเครื่องนับพื้ค่าทำให้มั่นใจได้ว่า เครื่องนับพื้ค่าสามารถนับจำนวนครั้งของสัญญาณอิมพัลส์ป้อนเข้าได้อย่างถูกต้อง และสามารถแยกแยะพื้ค่าซ้ำที่อยู่ติดกันได้ เพราะสัญญาณจากพื้ค่าซ้ำจะถูกรับเข้าสู่ศูนย์ภายในเวลาประมาณ 1.5 มิลลิวินาที (รูปที่ 3.16) ในขณะที่ระยะเวลาระหว่างพื้ค่าซ้ำมีค่าประมาณ 30 มิลลิวินาที (ตารางที่ 2.1)

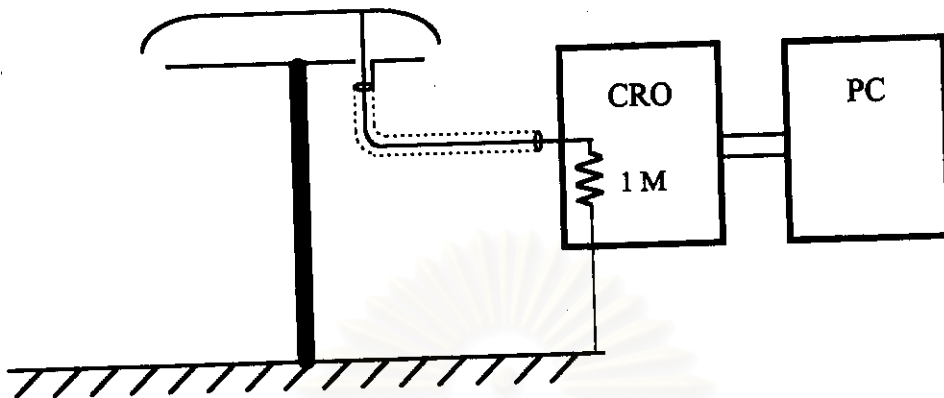
อย่างไรก็ตาม สัญญาณแรงดันรูปขั้นที่ป้อนเข้าเครื่องนับพื้ค่ายังไม่ใช่สัญญาณจริงที่สายอากาศเนื่องจากพื้ค่าพื้นโลก แต่เป็นสัญญาณอิมพัลส์จำลองที่มีช่วงเวลาดำเนิน (Rise Time) น้อยมาก ดังนั้น จึงควรทดสอบการนับด้วยสัญญาณอิมพัลส์ที่มีลักษณะคล้ายกับสัญญาณจริงที่เกิดสายอากาศมากที่สุด ซึ่งการทดสอบด้วยสัญญาณอิมพัลส์ดังกล่าวข้างต้น สามารถทำได้โดยการใช้ Recurrent Generator ซึ่งสามารถปรับรูปคลื่นสัญญาณอิมพัลส์ป้อนเข้าเครื่องนับพื้ค่าซ้ำให้มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณจริงที่ได้จากสายอากาศ

#### 4.1.2 การทดสอบการนับโดยการใช้ Recurrent Generator ป้อนสัญญาณเข้าเครื่องนับพื้ค่าซ้ำ

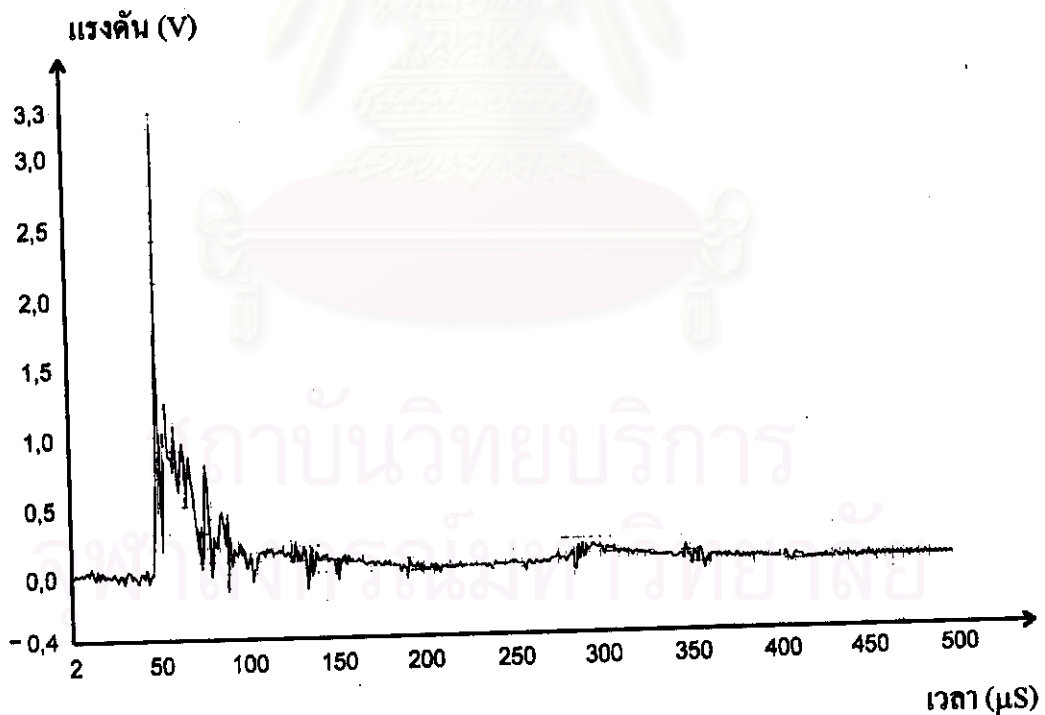
##### การทดสอบ

ทำการวัดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศแบบจานกลม เพื่อใช้รูปคลื่นแรงดันที่วัดได้เป็นรูปคลื่นอิมพัลส์ที่จะใช้ทดสอบการนับของเครื่องนับพื้ค่าในห้องปฏิบัติการ การวัดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศแบบจานกลมเนื่องจากพื้ค่าแสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนรูปคลื่นอิมพัลส์ที่วัดได้แสดงดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นสัญญาณจากพื้ค่าเดี่ยวและพื้ค่าซ้ำ ตามลำดับ รูปคลื่นอิมพัลส์ดังกล่าว

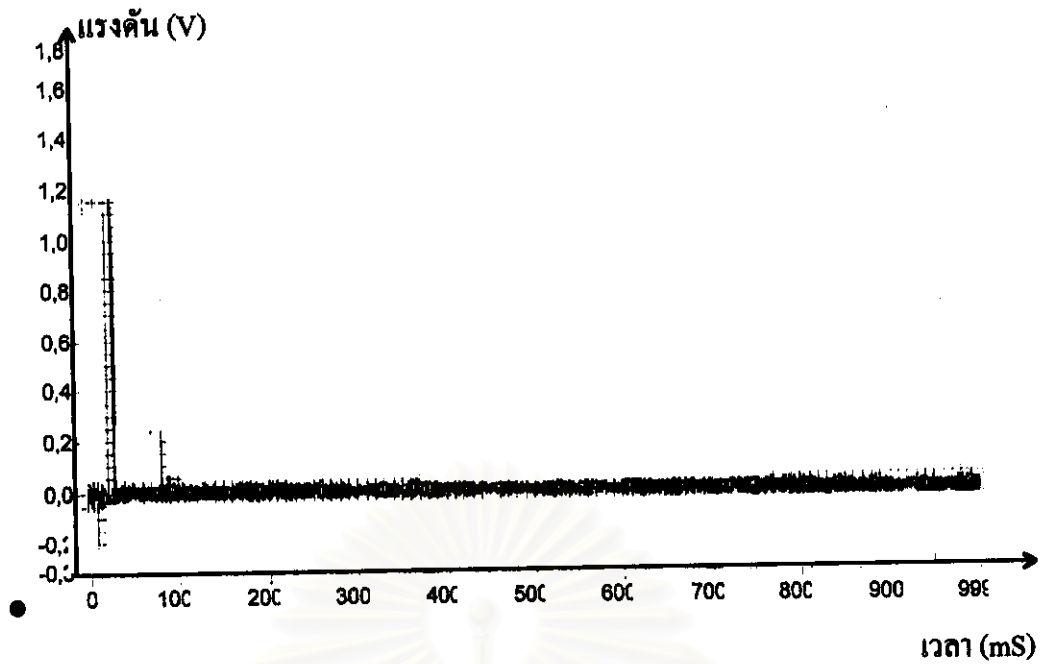
จะสร้างเลียนแบบโดย Recurrent Generator แทนการใช้ Unit Step Generator ในข้อ 4.1.1 การทดสอบการนับโดยใช้ Recurrent Generator แสดงดังรูปที่ 4.5



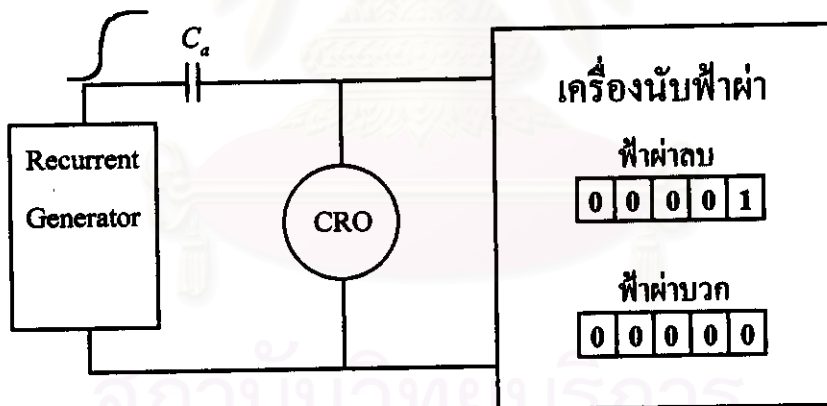
รูปที่ 4.2 การวัดแรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศแบบจานกลมเนื่องจากฟ้าผ่า



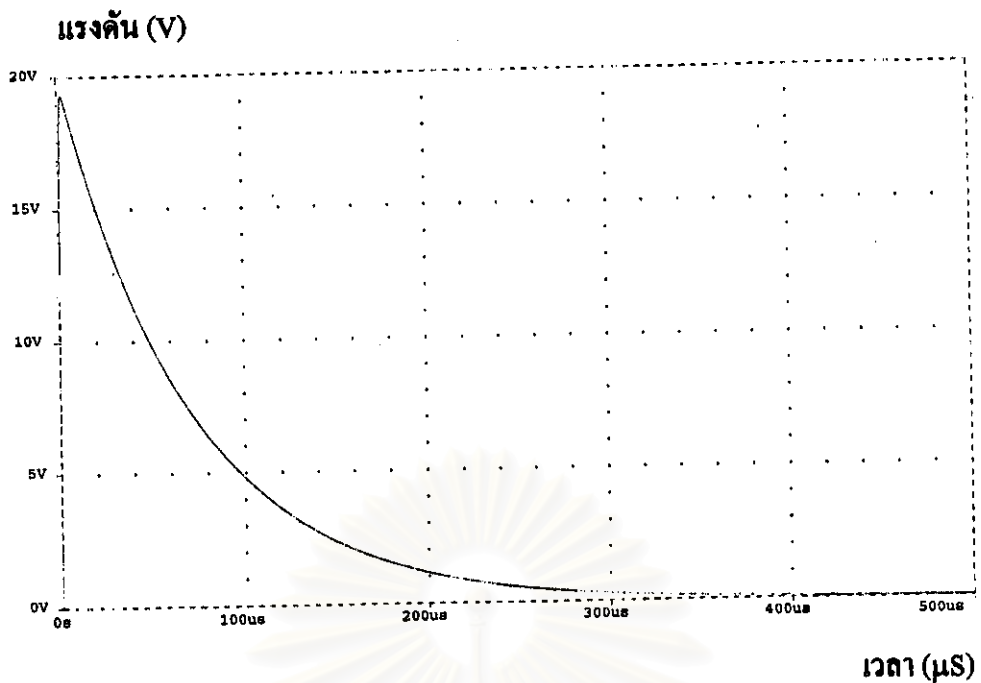
รูปที่ 4.3 รูปคลื่นอิมพัลส์ที่วัดได้ที่สายอากาศในรูปที่ 4.2 กรณีที่เป็นสัญญาณจากฟ้าผ่าเดี่ยว



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นอิมพัลส์ที่วัดได้ที่สายอากาศในรูปที่ 4.2  
กรณีที่เป็นสัญญาณจากฟ้าผ่าจริง



รูปที่ 4.5 การทดสอบการนับด้วย Recurrent Generator



รูปที่ 4.6 รูปคลื่นอิมพัลส์ที่สร้างจาก Recurrent Generator

#### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการนับด้วย Recurrent Generator โดยป้อนสัญญาณอิมพัลส์ตามรูปที่ 4.6 เข้าเครื่องนับฟ้าม่าช้า พบว่าเครื่องนับฟ้าม่าช้าสามารถนับจำนวนครั้งของสัญญาณอิมพัลส์ที่ป้อนเข้าได้อย่างถูกต้อง ทั้งสัญญาณจากฟ้าม่าเคียวและฟ้าม่าช้า ดังนั้นเครื่องนับฟ้าม่าช้าที่ออกแบบจึงน่าที่จะนับฟ้าม่าจริงในธรรมชาติได้อย่างถูกต้อง เพราะได้ทดสอบกับสัญญาณอิมพัลส์จริงแล้ว

อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการทดสอบการนับจริงเพื่อตรวจสอบผลการนับจำนวนฟ้าม่า เพราะการทดสอบจริงจะต้องติดตั้งเครื่องนับฟ้าม่าไว้ในที่โล่งแจ้ง จึงมีโอกาสนับฟ้าม่าจะได้รับสัญญาณรบกวนที่เข้ามาที่สายอากาศ เช่นสัญญาณรบกวนจากระบบไฟฟ้ากำลังความถี่ 50 Hz หรือสัญญาณรบกวนจากรถจักรยานยนต์ ซึ่งอาจจะทำให้เครื่องนับฟ้าม่านับผิดพลาดจากความเป็นจริง เพราะสัญญาณรบกวนเหล่านั้นอาจทำให้สัญญาณออกจากวงจรกรองผ่านแถบผิดเพี้ยนไป ถ้าออกแบบวงจรกรองผ่านแถบไม่ดีพอ

#### 4.2 การทดสอบเครื่องนับฟ้าม่าช้าที่ออกแบบสร้างโดยการนับฟ้าม่าจริง

เมื่อทำการทดสอบการนับของเครื่องนับฟ้าม่าช้าในห้องปฏิบัติการตามข้อ 4.1 แล้ว ได้ทำการทดสอบการนับฟ้าม่าจริงกับเครื่องนับฟ้าม่าทั้งสองแบบ คือ เครื่องนับฟ้าม่าช้าที่ใช้สายอากาศแบบแท่งในรูปที่ 3.27 กับเครื่องนับฟ้าม่าช้าที่ใช้สายอากาศแบบจานกลมในรูปที่ 3.28 โดยทำการติดตั้งเครื่องนับฟ้าม่าทั้งสองแบบบนตาดฟ้าอาคาร 22 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ระหว่างวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 ผลการนับของเครื่องนับฟ้าม่าทั้งสองแบบจะนำไปเปรียบ

เทียบกับจำนวนครั้งของฟ้าผ่าที่ใช้วิธีบันทึกจากการฟังเสียงฟ้าผ่าพื้นโลก , เปรียบเทียบกับผลการนับฟ้าผ่าจากเครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศและจำนวนครั้งของฟ้าผ่าที่ตรวจจับได้โดยใช้หอสังเกต โลกโคจรตรวจจับสัญญาณจากสายอากาศแบบจานกลม ซึ่งวิธีสุดท้ายจะสามารถใช้ตรวจสอบจำนวนฟ้าผ่าซ้ำในฟ้าผ่าพื้นโลกแต่ละครั้งที่เครื่องนับฟ้าผ่านับและบันทึกได้

#### ผลการทดสอบ

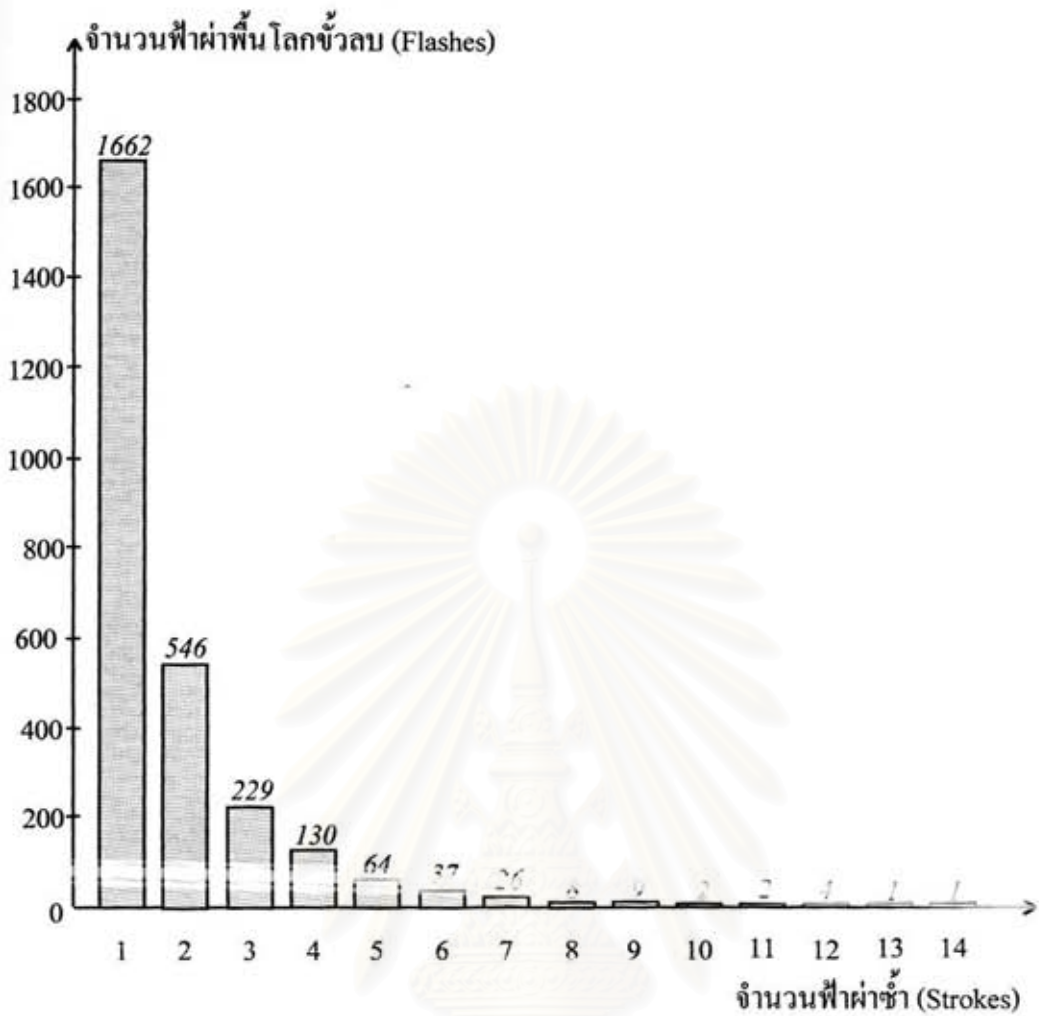
##### (1) เครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ใช้สายอากาศแบบแท่ง

จากการตรวจสอบผลการนับฟ้าผ่า พบว่า เครื่องนับฟ้าผ่ามีการนับเกือบตลอดเวลา แม้จะไม่มีฟ้าผ่าเกิดขึ้นก็ตาม ซึ่งจากผลการนับที่ผิดพลาดนี้ แสดงว่าเครื่องนับฟ้าผ่าได้นับสัญญาณรบกวนที่คืบคลานเข้ามาทางสายอากาศ เพราะการวางสายอากาศวางอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ถ้ามีสัญญาณรบกวนวิ่งขนานกับพื้นโลก สัญญาณรบกวนนั้นจะกระทบกับสายอากาศโดยตรง และเนื่องจากสายอากาศที่ออกแบบมีความสูงประสิทธิผลต่ำ (ประมาณ 0.06 เมตร) แรงดันออกจากสายอากาศจึงต่ำ ทำให้ต้องปรับแรงดันเริ่มต้นที่เครื่องนับฟ้าผ่าจะต้องนับให้มีค่าต่ำตามแรงดันออกจากสายอากาศด้วย ดังนั้น ในการนับของเครื่องนับฟ้าผ่าจะนับรวมสัญญาณรบกวนที่คืบคลานเข้ามาทางสายอากาศด้วย เนื่องจากขนาดของสัญญาณรบกวนมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันเริ่มต้นของเครื่องนับฟ้าผ่า วิธีการแก้ปัญหาอาจทำได้ โดยเพิ่มความยาวของสายอากาศให้ยาวขึ้น เพื่อเพิ่มความสูงประสิทธิผลของสายอากาศ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความสูงของสายอากาศ ก็จะต้องจัดให้มีเนื้อที่พื้นกรวดที่เหมาะสมกับความยาวของสายอากาศและความสูงระหว่างสายอากาศกับพื้นดิน ซึ่งจะต้องใช้พื้นที่มากในการติดตั้งสายอากาศ ดังนั้น ผลการนับที่จะนำเสนอต่อไปนี้จะได้จากการใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ใช้สายอากาศแบบจานกลมเท่านั้น

##### (2) เครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ใช้สายอากาศแบบจานกลม

จากการตรวจสอบผลการนับฟ้าผ่า ในเบื้องต้นพบว่า การใช้สายอากาศแบบจานกลมจะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนที่คืบคลานเข้ามาทางสายอากาศ เนื่องจากแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองแผ่นที่ใช้เป็นสายอากาศวางขนานกับพื้นดิน ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่วิ่งเข้ามากระทบสายอากาศจะไม่ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่แผ่นอิเล็กทรอนิกส์แต่ละแผ่น และแม้สัญญาณรบกวนจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำระหว่างแผ่นอิเล็กทรอนิกส์บนและแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ล่าง ก็เป็นแรงดันที่มีค่าน้อยมากจนละเลยได้

ผลการนับฟ้าผ่าของเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ใช้สายอากาศแบบจานกลม แสดงดังรูปที่ 4.7 , รูปที่ 4.8 , ตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3

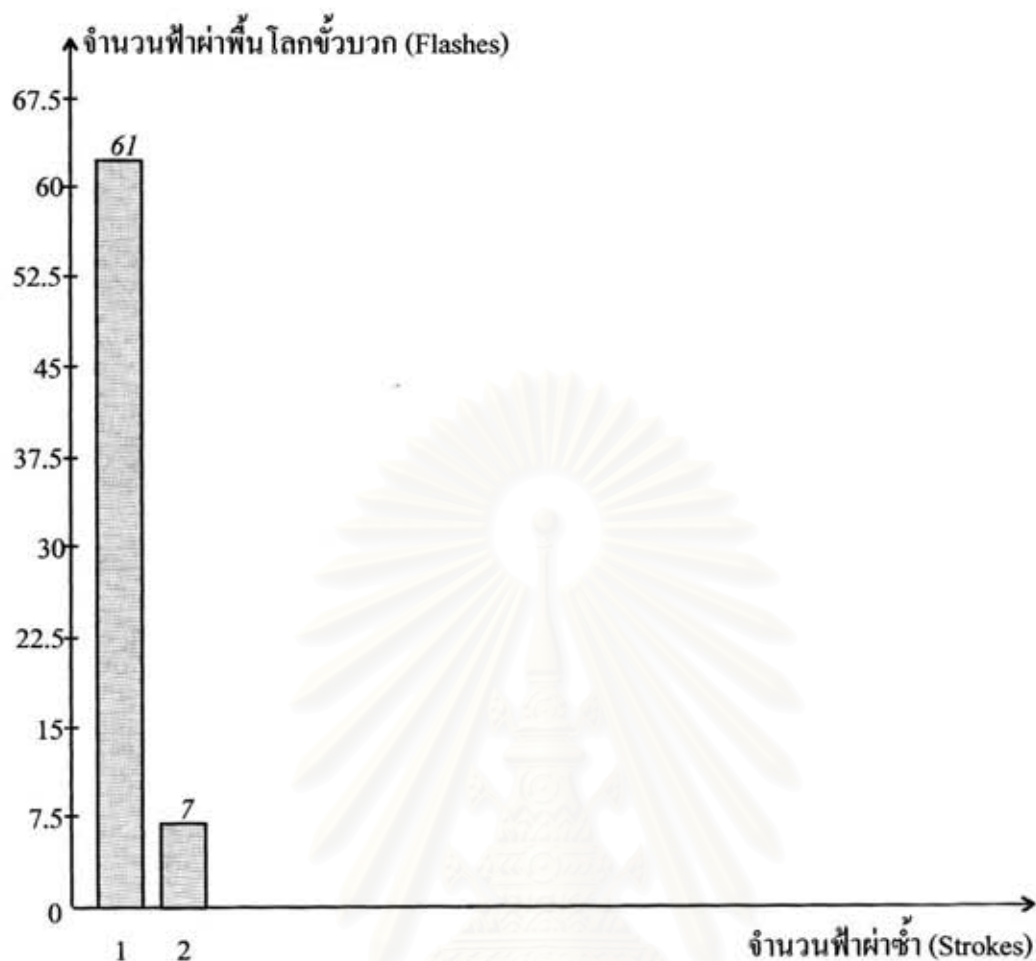


รูปที่ 4.7 ฮิสโตแกรมจำนวนฟ้าผ่าซ้ำของฟ้าผ่าพื้นโลกชั่วพล จำนวน 2,721 ครั้ง  
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 (39 วัน)

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซนต์การเกิดฟ้าผ่าซ้ำจากฟ้าผ่าพื้นโลกชั่วพลในรูปที่ 4.7

จำนวนฟ้าผ่าซ้ำ (ครั้ง)							
1	2	3	4	5	6	7	8-14
61.08%	20.06%	8.42%	4.78%	2.35%	1.36%	0.95%	1%

(หมายเหตุ) 100% = 2,721 ครั้ง



รูปที่ 4.8 ฮิสโตแกรมจำนวนฟ้าม้าซ้ำของฟ้าม้าพื้นโลกชั่ววอก จำนวน 68 ครั้ง  
เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 (39 วัน)

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์การเกิดฟ้าม้าซ้ำจากฟ้าม้าพื้นโลกชั่ววอกในรูปที่ 4.8

จำนวนฟ้าม้าซ้ำ (ครั้ง)	
1	2
89.71%	10.29%

(หมายเหตุ) 100% = 68 ครั้ง



ตารางที่ 4.3 จำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกชั่วคราวและฟ้าผ่าพื้นโลกชั่วคราว เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 (39 วัน)

จำนวนฟ้าผ่าพื้นโลก 2,789 ครั้ง	
ฟ้าผ่าลบ 2,721 ครั้ง (97.56%)	ฟ้าผ่าบวก 68 ครั้ง (2.44%)

ข้อมูลที่ได้จากเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างข้างต้น ได้นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลฟ้าผ่าจากที่แหล่งข้อมูลอื่นเพื่อยืนยันผลการนับ ดังนี้

(1) เปรียบเทียบเวลาที่เกิดฟ้าผ่าโดยอาศัยการฟังเสียงฟ้าผ่าพื้นโลก กับเวลาที่เครื่องนับฟ้าผ่าบันทึกเมื่อเกิดฟ้าผ่า พบว่าเวลาที่บันทึกจากการฟังเสียงฟ้าผ่าพื้นโลกตรงกันกับเวลาที่เครื่องนับฟ้าผ่าบันทึกได้ทุกครั้ง (จากการบันทึก 60 ครั้ง)

(2) เปรียบเทียบกับผลการนับกับข้อมูลฟ้าผ่าของ Dr. Serghei Fedosseve (นักวิจัยด้านปรากฏการณ์ฟ้าผ่า สาขา Electromagnetic Compatibility สังกัดศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาฯ) ซึ่งเก็บข้อมูลฟ้าผ่าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ ในระยะเวลาเดียวกัน โดยใช้วิธีบันทึกสัญญาณฟ้าผ่าจากสายอากาศแบบจานกลมตามรูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบพบว่า ฟ้าผ่าลบที่มีจำนวนฟ้าผ่าซ้ำตั้งแต่ 1-7 ครั้ง ผลการนับฟ้าผ่าซ้ำจากเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ออกแบบสร้าง กับข้อมูลฟ้าผ่าซ้ำของ Dr. Serghei Fedosseve ให้ผลตรงกันเกือบทั้งหมด แต่สำหรับจำนวนฟ้าผ่าซ้ำที่มีค่าตั้งแต่ 8 ครั้งขึ้นไป มีค่าที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่แตกต่างกันอาจมีสาเหตุมาจากการเกิดฟ้าผ่าหลายครั้งในบริเวณใกล้เคียงกันที่เวลาเดียวกัน ทำให้การตรวจจับฟ้าผ่าโดยใช้สายอากาศเพียงตัวเดียวไม่สามารถแยกแยะฟ้าผ่าซ้ำที่ตรวจจับได้ว่าเป็นฟ้าผ่าซ้ำของฟ้าผ่าพื้นโลกครั้งไหน อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลจำนวนฟ้าผ่าซ้ำที่ได้จากเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง และข้อมูลจำนวนฟ้าผ่าซ้ำของ Dr. Serghei Fedosseve ให้ผลตรงกันว่าฟ้าผ่าที่มีจำนวนฟ้าผ่าซ้ำตั้งแต่ 7 ครั้งขึ้นไป มีจำนวนไม่เกิน 1 % ของฟ้าผ่าพื้นโลกทั้งหมด ดังนั้น ผลการนับที่แตกต่างกันในกรณีนี้จึงไม่น่ามีความสำคัญมากนัก

สำหรับกรณีของฟ้าผ่าบวก ผลการนับจากเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำที่ออกแบบสร้าง กับข้อมูลฟ้าผ่าของ Dr. Serghei Fedosseve ให้ผลตรงกันเกือบทั้งหมด โดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์การเกิดฟ้าผ่าบวกเมื่อเทียบกับฟ้าผ่าพื้นโลกทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันมาก (ประมาณ 2-2.5%)

(3) เปรียบเทียบผลการนับกับเครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศ รุ่น V-210 (Pisler ,(nd.)) โดยติดตั้งไว้ ณ สถานที่เดียวกันกับเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง บันทึกข้อมูลฟ้าผ่าตั้งแต่วันที่ 14 ตุลาคม 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 (14 วัน) ผลการนับฟ้าผ่าเป็นดังนี้

- เครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง นับได้	1,173 ครั้ง
- เครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศ รุ่น V-210 นับได้	1,323 ครั้ง

จากผลการนับฟ้าผ่าข้างต้น เครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างนับได้น้อยกว่าเครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศ 150 ครั้ง หรือคิดเป็น 11.34% ผลการนับที่แตกต่างกันนี้ก็สอดคล้องกับผลการนับที่คาดว่าจะได้รับ เนื่องได้ออกแบบให้มีวงจรถออิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องนับฟ้าผ่าซึ่งทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนภายนอกที่ไม่มีสาเหตุมาจากสัญญาณสนามไฟฟ้าจากฟ้าผ่า จึงทำให้ Effective Bandwidth ของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ได้ออกแบบสร้างมีค่าน้อยกว่า Effective Bandwidth ของเครื่องนับฟ้าผ่าจากต่างประเทศอยู่ประมาณ 3% ซึ่งผลของการนับจะต่างกันประมาณ 10%

#### 4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการนับฟ้าผ่าจากการทดสอบเครื่องนับฟ้าผ่าโดยการนับฟ้าผ่าจริง

##### (1) สัดส่วนของจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกต่อจำนวนฟ้าผ่าทั้งหมดที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้

การเปรียบเทียบผลการนับกับเครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศ สามารถใช้รัศมีขั้วผล (Effective Radius) ของเครื่องนับฟ้าผ่าโดยประมาณได้ เพราะเครื่องนับฟ้าผ่าทั้งสองเครื่องติดตั้งอยู่ที่บริเวณเดียวกัน และตั้งความไวโดยใช้ข้อกำหนดของ CIGRE เหมือนกัน ซึ่งผลการนับจำนวนครั้งของฟ้าผ่าให้ผลที่ใกล้เคียงกัน (เครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างจะนับได้น้อยกว่าประมาณ 10% ด้วยเหตุผลจาก Effective Bandwidth น้อยกว่า 3%) ดังนั้น แสดงว่า รัศมีขั้วผลของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างมีค่าใกล้เคียงกับรัศมีขั้วผลของเครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศ รุ่น V-210 เครื่องนับฟ้าผ่าของต่างประเทศมีค่ารัศมีขั้วผลดังนี้ (Pisler, (nd.); Anderson et al., 1979)

- รัศมีขั้วผลของฟ้าผ่าพื้นโลก ( $R_g$ ) 20 กิโลเมตร

- รัศมีขั้วผลของฟ้าผ่าก้อนเมฆ ( $R_c$ ) 3.7 กิโลเมตร

ในที่นี้ สามารถประมาณได้ว่า รัศมีขั้วผลของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างมีค่าเท่ากับรัศมีขั้วผลของเครื่องนับฟ้าผ่าต่างประเทศรุ่น V-210 แสดงว่า ฟ้าผ่าก้อนเมฆภายในรัศมี 3.7 กิโลเมตร จากจุดติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่า จะทำให้เครื่องนับฟ้าผ่านับถ้านแรงดันเหนืยวนาทีสายอากาศมีค่าเกินค่าแรงดันที่ตั้งไว้ที่วงจรปรับความไว ดังนั้น เครื่องนับฟ้าผ่าจะนับรวมทั้งฟ้าผ่าพื้นโลกและฟ้าผ่าก้อนเมฆ อย่างไรก็ตาม เราสามารถวิเคราะห์ผลการนับฟ้าผ่าของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างเพื่อหาจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกได้ดังนี้ (Pisler, (nd.))

การกระจายของขนาดของสนามไฟฟ้าในบรรยากาศที่ระยะห่าง  $r$  จากจุดที่เกิดฟ้าผ่าจะเป็นการกระจายแบบ log-normal ดังนั้น ถ้า  $f_g$  เป็นสัดส่วนของฟ้าผ่าพื้นโลกที่มีขนาดสนามไฟฟ้ามากกว่า  $E$ , จะสามารถเขียน  $f_g$  ได้เป็น

$$f_g = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_E^{\infty} e^{-\frac{E-E_m}{2\sigma^2}} dE \quad (4.1)$$

โดย  $E_m$  = Median Amplitude ของสนามไฟฟ้า  $E$

$\sigma$  = Standard Deviation ของสนามไฟฟ้า  $E$

และหน่วยของสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็นเดซิเบล

จากสมการ (4.1) แสดงว่า เครื่องนับฟ้าผ่าจะนับเฉพาะฟ้าผ่าพื้นโลกที่สัดส่วน  $f_g$  ที่  $E$  มากกว่า  $E_c$  ที่ตั้งไว้ที่เครื่องนับฟ้าผ่าเท่านั้น ซึ่งในที่นี้ ยังไม่คิดว่าเครื่องนับฟ้าผ่าได้นับฟ้าผ่าก้อนเมฆด้วย

เมื่อพิจารณาฟ้าผ่าพื้นโลกและฟ้าผ่าก้อนเมฆ โดยให้

$N_g$  = จำนวนของฟ้าผ่าพื้นโลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยหาจากค่าเฉลี่ยเมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ยาวนาน

$N_c$  = จำนวนของฟ้าผ่าก้อนเมฆต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยหาจากค่าเฉลี่ยเมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ยาวนาน

$K_g$  = จำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ยาวนาน

$K_c$  = จำนวนฟ้าผ่าก้อนเมฆที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ยาวนาน

$f_g$  และ  $f_c$  คือ สัดส่วนของฟ้าผ่าพื้นโลกและฟ้าผ่าก้อนเมฆที่บันทึกโดยเครื่องนับฟ้าผ่าที่ระยะ  $r$  จากจุดที่เกิดฟ้าผ่า

จะได้

$$K_g = 2\pi N_g \int_0^{\infty} (r f_g) dr \quad (4.2)$$

$$K_c = 2\pi N_c \int_0^{\infty} (r f_c) dr \quad (4.3)$$

เมื่อคิดรัศมีขั้วผล (Effective Radius) ของเครื่องนับฟ้าผ่า ทั้งกรณีฟ้าผ่าพื้นโลกและฟ้าผ่าก้อนเมฆ จะสามารถหา  $N_g$  และ  $N_c$  ได้ดังนี้

$$N_g = \frac{K_g}{\pi R_g^2} \quad (4.4)$$

$$N_c = \frac{K_c}{\pi R_c^2} \quad (4.5)$$

โดย

$$R_g^2 = 2 \int_0^{\infty} (r f_g) dr \quad (4.6)$$

$$R_c^2 = 2 \int_0^{\infty} (r f_c) dr \quad (4.7)$$

จำนวนฟ้าผ่าทั้งหมดที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ (ทั้งฟ้าผ่าพื้นโลกและฟ้าผ่าก้อนเมฆ) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ( $K$ ) จะเป็น

$$K = \pi R_g^2 N_g + \pi R_c^2 N_c \quad (4.8)$$

และ

$$N_g = \frac{K}{\pi(R_g^2 + \frac{N_c}{N_g} R_c^2)} = \frac{KY}{\pi R_g^2} \quad (4.9)$$

โดย

$$Y = \frac{1}{1 + \frac{N_c}{N_g} \cdot \left(\frac{R_c}{R_g}\right)^2} \quad (4.10)$$

จากสมการ (4.9) และสมการ (4.10) ถ้ารู้  $(N_c/N_g)$  และ  $(R_c/R_g)$  จะสามารถหาค่า  $N_g$  ซึ่งเป็นจำนวนของฟ้าผ่าพื้นโลกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อแทนค่า  $(R_c/R_g) = 3.7/20$  และค่า  $(N_c/N_g)$  หาได้โดยประมาณดังนี้

$$\frac{N_c}{N_g} = \frac{1}{0.1 + 0.25 \sin L} - 1 \quad (4.11)$$

โดย  $L$  เป็นองศาของเส้นรุ้ง (Latitude)

เมื่อแทนค่าองศาของเส้นรุ้งที่กรุงเทพฯ เท่ากับ 13 องศา 46 ลิปดา จะได้ ค่า  $(N_c/N_g)$  เท่ากับ 5.27 อย่างไรก็ตาม จากการเก็บข้อมูลของ Dr. Serghei Fedosseeve พบว่าค่า  $(N_c/N_g)$  ที่บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ เท่ากับ 6.14 ดังนั้น จึงใช้ค่า  $(N_c/N_g)$  เท่ากับ 6.14 ในการคำนวณ ซึ่งจะได้  $Y$  เท่ากับ 0.8263

ดังนั้น ถ้ากำหนดนิยามของรัศมียังผลใหม่ ( $R'_{eff}$ ) ซึ่งเป็นรัศมียังผลของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ใช้คำนวณฟ้าผ่าพื้นโลก โดย

$$R'_{eff} = \frac{R_g}{\sqrt{Y}} \quad (4.12)$$

จะได้

$$N_g = \frac{K}{\pi R_{eff}^2} \quad (4.13)$$

$R'_{eff}$  ที่นิยามนี้ คือรัศมีของพื้นที่วงกลมรอบเครื่องนับฟ้าผ่า ในพื้นที่นี้เครื่องนับฟ้าผ่าจะนับจำนวนครั้งของฟ้าผ่าพื้นโลกเมื่อเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่ยาวนาน ได้เท่ากับจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกที่เกิดขึ้นจริง เมื่อเก็บข้อมูลในระยะเวลาที่ยาวนานเช่นกัน

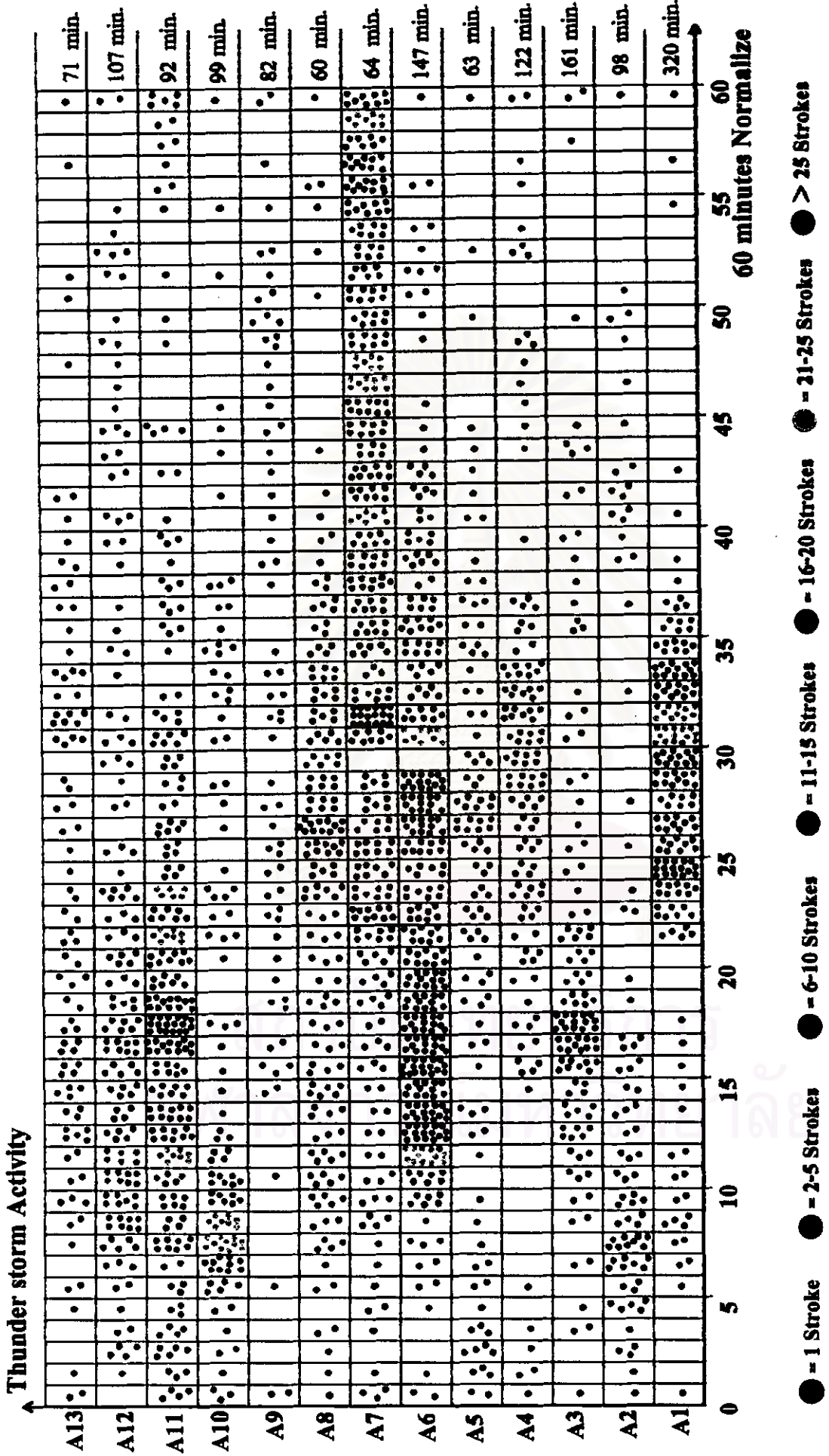
จากสมการ (4.12) ค่าของ  $R'_{eff}$  ของเครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้างได้เท่ากับ 22 กิโลเมตร ดังนั้น จำนวนฟ้าผ่าที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ 1,173 ครั้ง จะมีจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกต่อพื้นที่ ( $N_g$ ) เท่ากับ 0.7714 ครั้งต่อตารางกิโลเมตร นำค่า  $N_g$  แทนในสมการ (4.4) จะได้จำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้ ( $K_g$ ) เท่ากับ 969.37 ครั้ง (ประมาณ 969 ครั้ง) หรือคิดเป็น 82.61% ของจำนวนฟ้าผ่าที่เครื่องนับฟ้าผ่าบันทึกได้ ดังนั้น จำนวนครั้งที่เกิดฟ้าผ่าที่เครื่องนับฟ้าผ่านับได้จึงควรคูณด้วยแฟคเตอร์ 0.8621 จึงจะเป็นจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกที่เกิดขึ้นจริง เพราะได้หักผลการนับส่วนที่เป็นฟ้าผ่าก่อนเมฆออกไปแล้ว

(2) แนวโน้มของฟ้าผ่าและฟ้าผ่าซ้ำในแต่ละเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง จากการนำเครื่องนับฟ้าผ่าไปใช้งานจริง โดยเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 19 กันยายน 2540 ถึง 27 ตุลาคม 2540 พบว่า มีเหตุการณ์ที่เกิดฝนฟ้าคะนอง (Thunder Storm Activity) ติดต่อกันเป็น เวลายาวนานเกิน 60 นาที จำนวน 13 เหตุการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

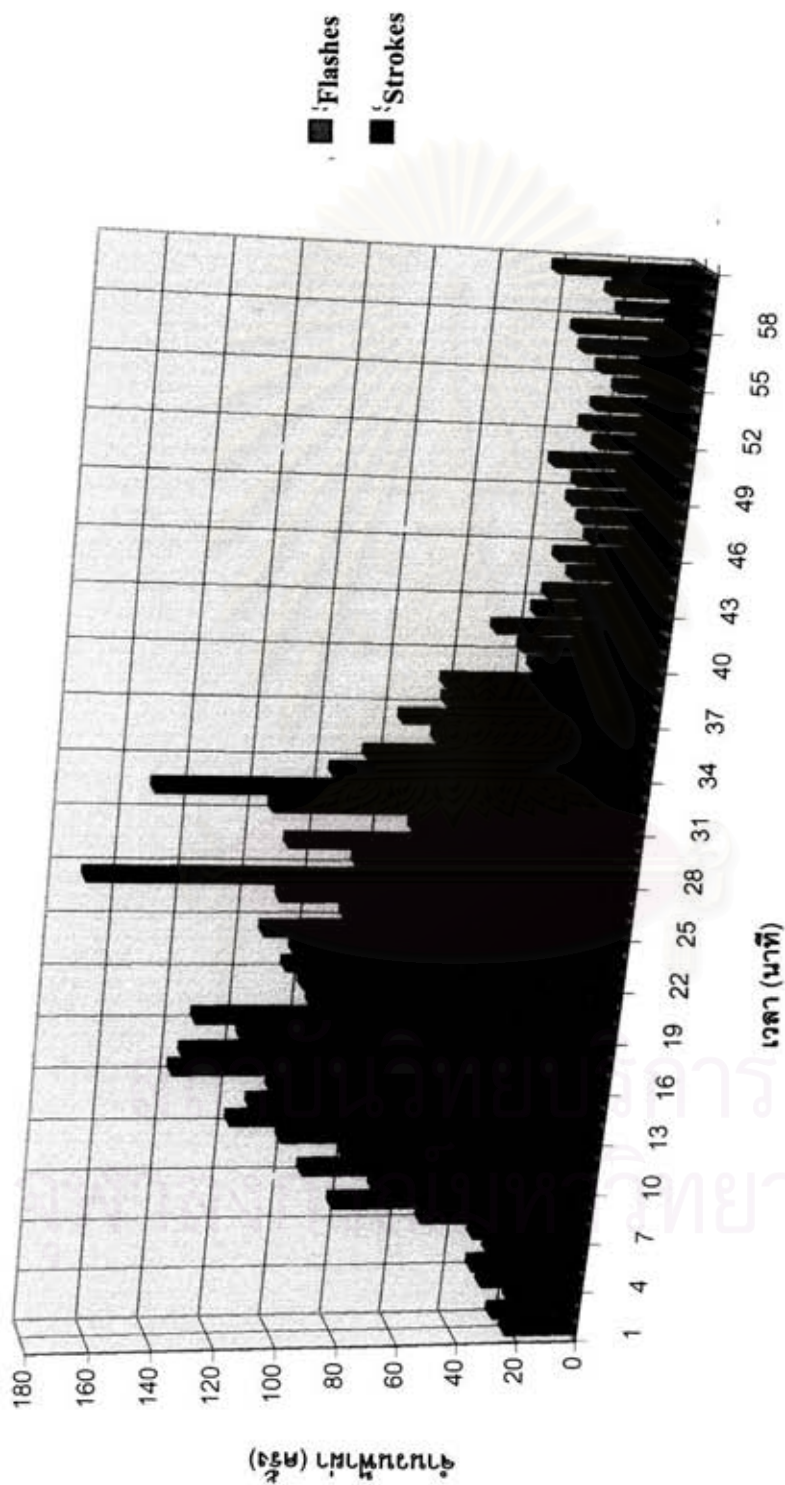
ตารางที่ 4.4 เหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

เหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง	ช่วงเวลาที่เกิด	รวมเวลาของเหตุการณ์ (นาที)
A1	19 ก.ย. 40 , 21:57:56 ถึง 20 ก.ย. 40 , 03:17:38	320
A2	20 ก.ย. 40 , 15:50:40 ถึง 20 ก.ย. 40 , 17:29:00	98
A3	2 ต.ค. 40 , 00:12:37 ถึง 2 ต.ค. 40 , 02:10:41	161
A4	4 ต.ค. 40 , 12:35:07 ถึง 4 ต.ค. 40 , 02:53:23	122
A5	8 ต.ค. 40 , 17:00:27 ถึง 8 ต.ค. 40 , 18:03:41	63
A6	10 ต.ค. 40 , 00:00:48 ถึง 10 ต.ค. 40 , 02:27:57	147
A7	11 ต.ค. 40 , 17:04:15 ถึง 11 ต.ค. 40 , 18:05:07	64
A8	16 ต.ค. 40 , 14:07:14 ถึง 16 ต.ค. 40 , 15:06:39	60
A9	21 ต.ค. 40 , 03:34:35 ถึง 21 ต.ค. 40 , 04:56:25	82
A10	22 ต.ค. 40 , 01:45:41 ถึง 22 ต.ค. 40 , 03:24:14	99
A11	22 ต.ค. 40 , 12:51:45 ถึง 22 ต.ค. 40 , 14:23:40	92
A12	24 ต.ค. 40 , 21:15:17 ถึง 24 ต.ค. 40 , 23:02:45	107
A13	25 ต.ค. 40 , 00:10:18 ถึง 25 ต.ค. 40 , 01:21:47	71

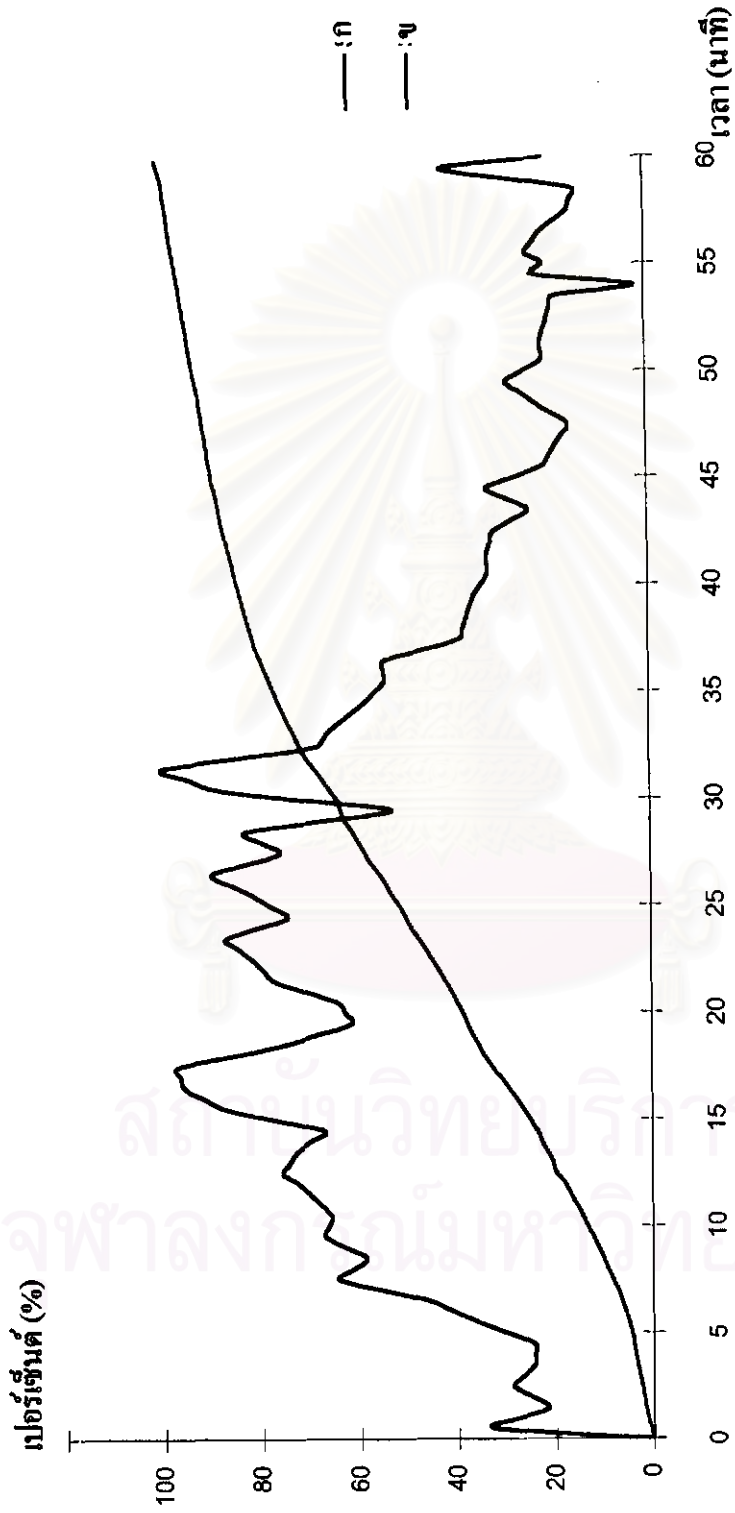
แนวโน้มของจำนวนครั้งของฟ้าผ่าพื้นโลก (Flashes) และจำนวนฟ้าผ่าซ้ำ (Strokes) ของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองทั้ง 13 เหตุการณ์ดังกล่าวข้างต้น ได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.9 , 4.10 และ 4.11 โดยได้ Normalize ช่วงเวลาของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองแต่ละเหตุการณ์ให้อยู่ใน 60 นาที (เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองใกล้เคียงกับ 60 นาที) ในรูปที่ 4.9 จุด 1 จุดในแต่ละนาทีหมายถึงฟ้าผ่าพื้นโลก 1 ครั้ง ส่วนสีของจุดบ่งบอกถึงจำนวนฟ้าผ่าซ้ำทั้งหมด (Strokes) ในนาทีนั้น (หรืออาจเรียกว่าจำนวนครั้งที่ก้อนเมฆคายประจุลงสู่พื้นโลก) ยกตัวอย่างเช่น ในนาทีที่ 23 ของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองที่ 1 (A1) แสดงด้วยจุดสีฟ้า 7 จุด ซึ่งหมายถึง ในนาทีที่ 23 มีฟ้าผ่าพื้นโลก 7 ครั้ง และจำนวนฟ้าผ่าซ้ำทั้งหมดในนาทีที่ 23 อยู่ในช่วง 11-15 ครั้ง



รูปที่ 4.9 แนวโน้มของจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลก (Flashes) และจำนวนฟ้าผ่าฟ้า (Strokes) ในเหตุการณ์ฟ้าคะนอง 13 เหตุการณ์ เมื่อ Normalize เวลาในเหตุการณ์เป็น 60 นาที



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกและจำนวนฟ้าผ่าเข้าทั้งหมดในเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง 13 เหตุการณ์  
เมื่อ Normalize เวลาในเหตุการณ์เป็น 60 นาที



รูปที่ 4.11 (ก) อัตราการเกิดฟ้าย่านโลก (ครั้ง/นาที) จากเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 13 เหตุการณ์ (100% = 70 ครั้ง/นาที)  
 (ข) แนวโน้มการเกิดฟ้าย่านในเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาด 13 เหตุการณ์ (100% = 2,116 ครั้ง)



จากกราฟรูปที่ 4.9 , 4.10 และ 4.11 สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

(1) ในแต่ละเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง จะเกิดฟ้าผ่าซ้ำทุกเหตุการณ์ และจำนวนฟ้าผ่าพื้นโลกจะเริ่มหนาแน่นประมาณนาทิตี่ 5 จนถึงนาทิตี่ 50 ของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง เมื่อทำการ Normalize เหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองให้อยู่ในช่วงเวลา 60 นาที

(2) จำนวนฟ้าผ่าซ้ำ (Strokes) ในแต่ละนาที จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่จะเป็นไปในลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากนาทิตี่ต่างๆของเหตุการณ์ และหนาแน่นในช่วงกลางเหตุการณ์ และค่อยๆลดลงในช่วงท้ายเหตุการณ์ และอัตราการเกิดฟ้าผ่าพื้นโลก (กราฟรูปที่ 4.11 (ก)) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากเวลาช่วงแรกของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง จนกระทั่งถึงเวลาครึ่งหนึ่งของเหตุการณ์ อัตราการเกิดฟ้าผ่าพื้นโลกจะสูงมาก ต่อมาจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง

(3) จุดสีส่วนใหญ่ในรูปที่ 4.9 จะเป็นสีน้ำเงิน และสีเขียว แสดงว่า ส่วนใหญ่จำนวนฟ้าผ่าซ้ำ (หรือจำนวนครั้งที่ก้อนเมฆคายประจุลงสู่พื้นโลก) ไม่เกิน 10 ครั้งใน 1 นาที

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.9 , 4.10 และ 4.11 เป็นข้อมูลของเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนองเพียง 13 เหตุการณ์ การวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นจึงยังไม่ใช่ข้อสรุปสำหรับแนวโน้มของฟ้าผ่าและฟ้าผ่าซ้ำในเหตุการณ์ฝนฟ้าคะนอง ดังนั้น จึงควรเก็บข้อมูลต่อไปเพื่อให้ได้ตัวอย่างเหตุการณ์ที่มากพอที่จะวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้อง