บทที่ 3

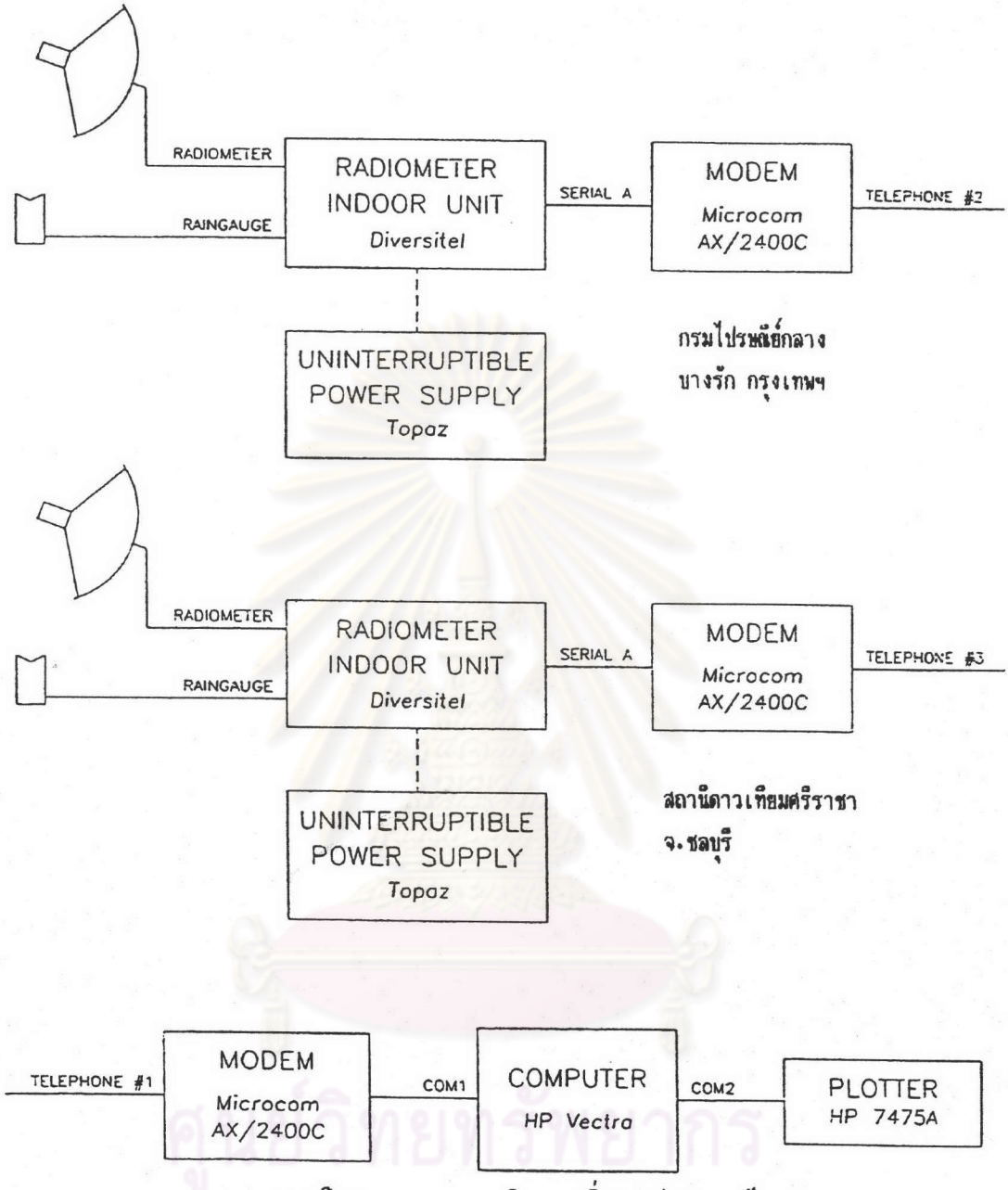
การทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากมีการใช้งานดาวเทียมย่านความถี่ C-band ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อย่างคับคั่ง จึงได้เริ่มหันมาใช้ความถี่ในย่าน Ku-band กันมากขึ้น และเนื่องจากขาดข้อมูลที่ถูกต้องการสำหรับการออกแบบระบบสื่อสารดาวเทียมในย่านความถี่นี้ โครงการความร่วมมือระหว่างรัฐบาลของประเทศแคนาดาและรัฐบาลของบางประเทศในกลุ่มประเทศอาเซียน(ไทย, อินโดนีเซีย และ สิงค์โปร์)จึงได้เริ่มขึ้น โดยใช้ชื่อโครงการว่า "CANADA-ASIAN COOPERATION IN THE KU-BAND PROPAGATION MEASUREMENT PROGRAMME ON EARTH SPACE PATHS" โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลกระทบของการลดทอนสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku-band เนื่องจากฝน ที่มุมเงยต่ำของสถานีภาคพื้นดิน และ ช่วยเหลือในการปรับปรุงระบบสื่อสารดาวเทียมในย่านความถี่นี้

การทดลอง

การวัดการลดทอนสัญญาณจากฝนในการทดลองนี้ จะใช้เรดิโอมิเตอร์แบบดิคกี้ที่ความถี่ 12 GHz ในการวัดอุณหภูมิสัญญาณรบกวนจากฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลาอย่างน้อยที่สุด 2 ปี โดยเรดิโอมิเตอร์ได้ถูกติดตั้ง 2 แห่งในประเทศไทย(กรุงเทพฯ และ ศรีราชา), 1 แห่งในสิงค์โปร์ และ 2 แห่งในอินโดนีเซีย(จาการ์ตา และ บันดุง) เรดิโอมิเตอร์ในประเทศไทยและอินโดนีเซีย จะถูกหันทิศทางไปยังดาวเทียม INTELSAT VA F10 174°E POR ส่วนเรดิโอมิเตอร์ที่สิงค์โปร์ จะหันทิศทางไปยังดาวเทียม INTELSAT VI F2 60 °E IOR

ระบบการวัดการแพร่ของคลื่นโดยเรดิโอมิเตอร์ (Diversitel Communications, 1991) จะทำการวัดอุณหภูมิของจานสายอากาศอย่างต่อเนื่อง และวิเคราะห์ข้อมูลหาสถิติการลดทอนสัญญาณสำหรับบริเวณที่ตั้งและทิศทางที่ต้องการ ระบบนี้จะประกอบด้วย 5 ส่วน ดังรูปที่ 3.1 คือ



รูปที่ 3.1 การจัดรูปลักษณ์ของระบบการวัดในประเทศไทย

(Diversitel Communications, 1991)

- **เรดิโอมิเตอร์แบบ Dual-slope** จะประกอบด้วยจานสายอากาศพาราโบลาแบบ prime focus ขนาด 1.2 m, อุปกรณ์ภายนอก(outdoor unit) และอุปกรณ์ภายใน(indoor unit) จะทำการวัดกำลังสัญญาณอย่างต่อเนื่องในแถบความถี่ 200 MHz ที่มีศูนย์กลางที่ความถี่ 12 GHz และจะถูกส่งในรูปแบบดิจิตอลไปยังอุปกรณ์ภายในเพื่อเปลี่ยนเป็นอุณหภูมิของจานสายอากาศและเก็บไว้ใน non-volatile static RAM ทุกๆ 2 วินาที ข้อมูลเรดิโอมิเตอร์จะถูกเก็บเป็น 1 บล็อค(block)ต่อ 1 ชั่วโมง และแต่ละบล็อคจะถูกกำกับด้วยวันที่และเวลา อุณหภูมิของจานสายอากาศทั้งหมดจะถูกเก็บด้วยความละเอียด(resolution) 0.5 K อุณหภูมิเริ่มต้นในแต่ละชั่วโมงจะถูกเก็บเป็นเวิร์ด(word)ขนาด 2 ไบท์ อุณหภูมิถัดไปที่ถูกเก็บทุกๆ 2 วินาที จะถูกเก็บเป็นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิปัจจุบันและอุณหภูมิครั้งก่อนด้วยความละเอียด 0.5 K ความแตกต่างนี้จะถูกเก็บเป็น 1 ไบท์ ทำให้ขนาดขั้นสูงสุด(maximum step size)ของอุณหภูมิของจานสายอากาศเท่ากับ +/- 63.5 K อย่างไรก็ตามความผิดพลาดเนื่องจาก slope overload จะไม่ขยายมากขึ้นในบล็อคข้อมูล เรดิโอมิเตอร์สามารถถูกใช้งานที่หน้าเครื่องของอุปกรณ์ภายในหรือทางคอมพิวเตอร์จากระยะไกล อุปกรณ์ภายในจะมีเฟิร์มแวร์เพื่อใช้ในการปรับแต่งเรดิโอมิเตอร์, จัดรูปแบบข้อมูลของเรดิโอมิเตอร์และเกจวัดฝน, ส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์, ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งาน และอื่นๆ
- **เกจวัดฝนแบบ tipping bucket** มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว และจะบันทึกเวลา tip ของ buckets ทุกๆ ปริมาณน้ำฝน 0.2 mm ข้อมูลของเกจวัดจะถูกเก็บเป็น 1 บล็อคต่อ 1 วัน และแต่ละบล็อคจะถูกกำกับด้วยวันที่ แต่ละเวลา tip จะถูกเก็บเป็น 3 ไบท์ ที่มีความละเอียดเท่ากับ 0.01 วินาที
- **ระบบเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล** จะประกอบด้วยคอมพิวเตอร์, พล็อตเตอร์ และ ซอฟท์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล ATTEN โดยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างอัตโนมัติจากเรดิโอมิเตอร์ทั้งหมด ข้อมูลจะถูกวิเคราะห์เพื่อแสดงอัตราฝนตกและอุณหภูมิของจานสายอากาศ(หรือการลดทอนที่คำนวณได้)เป็นฟังก์ชั่นของเวลาบนจอคอมพิวเตอร์หรือพล็อตเตอร์ การแจกแจงสะสม(cumulative distribution)ของอุณหภูมิจานสายอากาศหรืออัตราฝนตก สามารถถูกคำนวณและถูกแสดงบนจอคอมพิวเตอร์และพล็อตเตอร์เช่นกัน ข้อมูลนี้สามารถที่จะถูกแก้ไขเพื่อกำจัดข้อมูลที่ผิดปกติ เช่น ที่เกิดจากการพาดผ่านของดวงอาทิตย์ และอื่นๆ
- **โมเด็ม** ที่มีอัตราส่งข้อมูล 2400 baud
- **แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง** ที่สำรองไฟได้อย่างน้อยที่สุด 1 ชั่วโมง

สำหรับในประเทศไทยนั้น ได้ติดตั้งเรดิโอมิเตอร์ไว้ 2 ชุด โดยชุดหนึ่งได้ติดตั้งไว้ที่กรมไปรษณีย์กลาง บางรัก กรุงเทพฯ ส่วนอีกชุดได้ติดตั้งไว้ที่สถานีดาวเทียมศรีราชา จ. ชลบุรี ซึ่งห่างออกไปประมาณ 100 กิโลเมตร ระบบเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจะอยู่ที่กองโทรคมนาคมทางดาวเทียม การสื่อสารแห่งประเทศไทย ถ. แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ ค่าอุณหภูมิของจานสายอากาศในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งและค่าอุณหภูมิตัวกลางยังผล ได้ถูกตั้งค่าไว้เท่ากับ 30 และ 290 K ตามลำดับ รายละเอียดแต่ละสถานีได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของสถานีที่ตั้งของเรดิโอมิเตอร์

	กรุงเทพฯ	ศรีราชา	สิงค์โปร์	จาการ์ตา	บันดุง
ค่าลองกิจูด	100.5°E	100.8°E	103.9°E	106.8°E	107.6°E
ค่าละติจูด	13.7°N	13.1°N	1.3°N	6.2°S	6.9°S
ความสูง (m)	54	30	20	121	870
มุมเงย (deg)	7.4	7.9	39.4	14.2	15.0
มุมกวาด (deg)	94.0	93.9	268.3	87.4	87.0
ปริมาณฝน (mm/yr)	1460	1350	2285	1755	2164
ย่านฝนของ CCIR	N	N	P	P	P

ผลการทดลอง

สำหรับประเทศไทยนั้น ข้อมูลได้เริ่มถูกเก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2535 และข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัยนี้คือข้อมูลที่เก็บรวบรวมจนถึงเดือนมกราคม 2537 ข้อมูลในช่วงเวลาดังกล่าวได้ขาดหายไปบางส่วนเนื่องจาก

- ตั้งแต่ 13 ตุลาคม 2535 ถึง 11 พฤศจิกายน 2535 เรดิโอมิเตอร์ที่กรุงเทพฯ เกิดขัดข้อง
- ตั้งแต่ 16 เมษายน 2536 ถึง 4 พฤษภาคม 2536 คอมพิวเตอร์ของระบบเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเกิดขัดข้อง

อุณหภูมิของจานสายอากาศและอัตราฝนตกที่วัดได้ตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2535 ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 และ 3.3 สำหรับกรุงเทพฯ และศรีราชา ตามลำดับ การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตกและค่าการลดทอนสัญญาณที่ได้จากการวัดสำหรับกรุงเทพฯ และศรีราชา จะถูกแบ่งพิจารณาเป็น 3 ช่วงเวลา คือ (1) ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2535 ถึง เดือนมกราคม 2536 (2) ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2536 ถึง เดือนมกราคม 2537 และ (3)

ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2535 ถึง เดือนมกราคม 2537 ดังรูปที่ 3.4 - 3.7 และจะพบว่า การแจกแจงในช่วงเวลาทั้งหมด 2 ปี จะเป็นการแจกแจงเฉลี่ยของแต่ละปี

ข้อมูลสำหรับสิงค์โปร์ที่จะใช้ในการวิจัยนี้ เป็นข้อมูลของการแจกแจงสะสมของอัตราฝนตกและค่าการลดทอนสัญญาณที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2535 ถึง เดือนมกราคม 2536 ดังรูปที่ 3.8, 3.9 และตารางที่ 3.2, 3.3 สำหรับอินโดนีเซียนั้น เรดิโอมิเตอร์ที่จาการ์ตามีการขัดข้องตั้งแต่เริ่มแรกที่ติดตั้ง ทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้ ส่วนที่บันดุงนั้น จะใช้ข้อมูลของการแจกแจงสะสมของอัตราฝนตกและค่าการลดทอนสัญญาณที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2535 ถึง เดือนตุลาคม 2535 ดังรูปที่ 3.10, 3.11 และตารางที่ 3.2, 3.3

ตารางที่ 3.2 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่สิงค์โปร์(ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536) และบันดุง(ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535)

%	สิงค์โปร์	บันดุง
3.0	0.875	-
2.0	2.000	1.500
1.0	7.000	3.750
0.9	8.250	4.375
0.8	9.750	5.125
0.7	11.375	6.250
0.6	13.875	7.500
0.5	17.500	9.750
0.4	22.625	13.000
0.3	29.875	18.750
0.2	42.125	28.500
0.1	60.375	48.625
0.09	63.250	51.000

ตารางที่ 3.2 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่สิงค์โปร์(ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)

และบันดุง(ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535) (ต่อ)

%	สิงค์โปร์	บันดุง
0.08	66.375	54.500
0.07	70.000	58.875
0.06	73.750	63.500
0.05	78.250	68.625
0.04	84.250	74.625
0.03	91.375	82.250
0.02	100.000	93.375
0.01	117.500	110.500
0.009	119.750	113.125
0.008	122.625	115.625
0.007	125.500	118.250
0.006	129.500	122.750
0.005	134.000	126.000
0.004	139.000	129.625
0.003	145.125	135.250
0.002	-	143.750

ตารางที่ 3.3 การแจกแจงสะสมของการลดทอนสัญญาณ ที่สิงค์โปร์(ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)

และบันดุง(ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535)

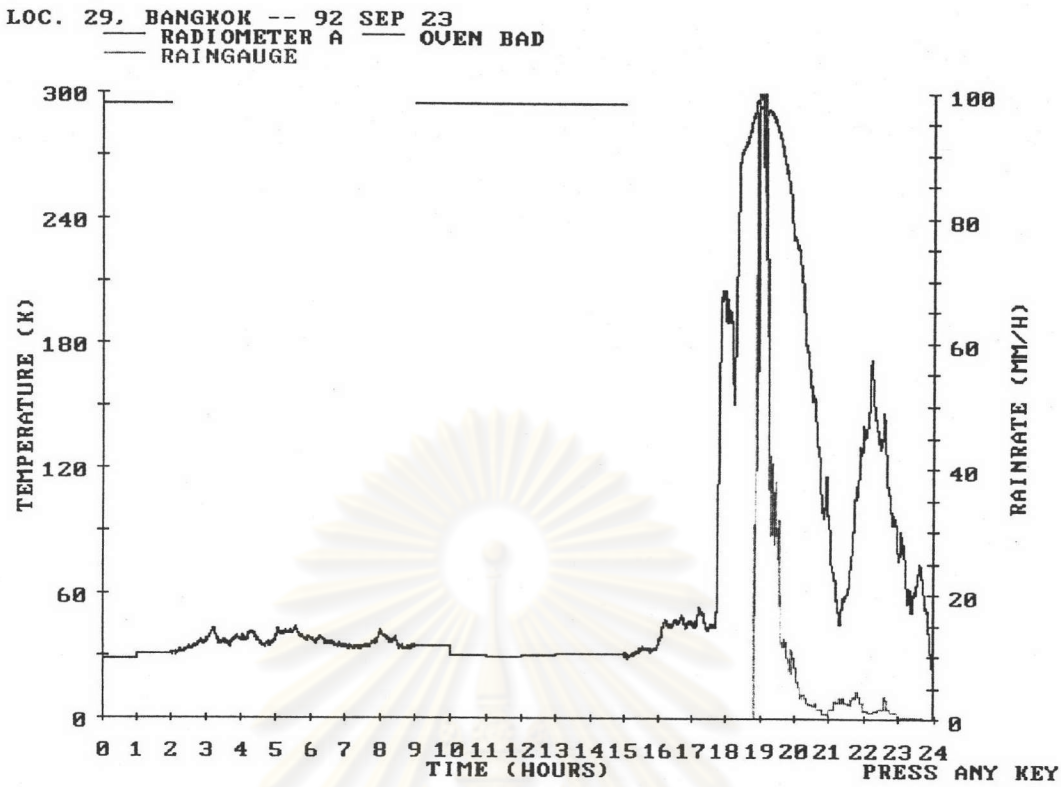
%	สิงค์โปร์	บันดุง
3.0	0.425	-
2.0	0.825	1.179
1.0	1.900	2.538
0.9	2.175	2.872

ตารางที่ 3.3 การแจกแจงสะสมของการลดทอนสัญญาณ ที่สิงค์โปร์(ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)

และบันดุง(ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535) (ต่อ)

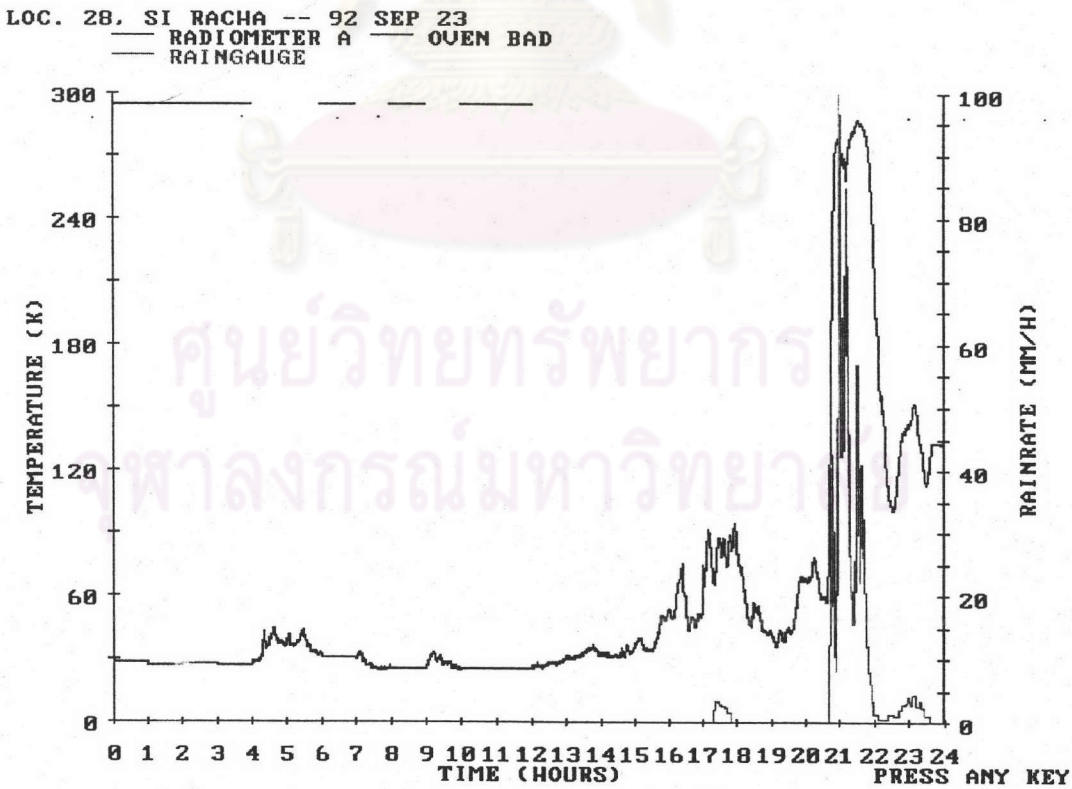
%	สิงค์โปร์	บันดุง
0.8	2.525	3.256
0.7	2.950	3.692
0.6	3.525	4.205
0.5	4.325	4.846
0.4	5.225	5.615
0.3	6.550	6.615
0.2	8.750	7.949
0.1	-	10.026

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 อุณหภูมิของจานสายอากาศและอัตราฝนตก ที่วัดได้ตลอด 24 ชั่วโมง

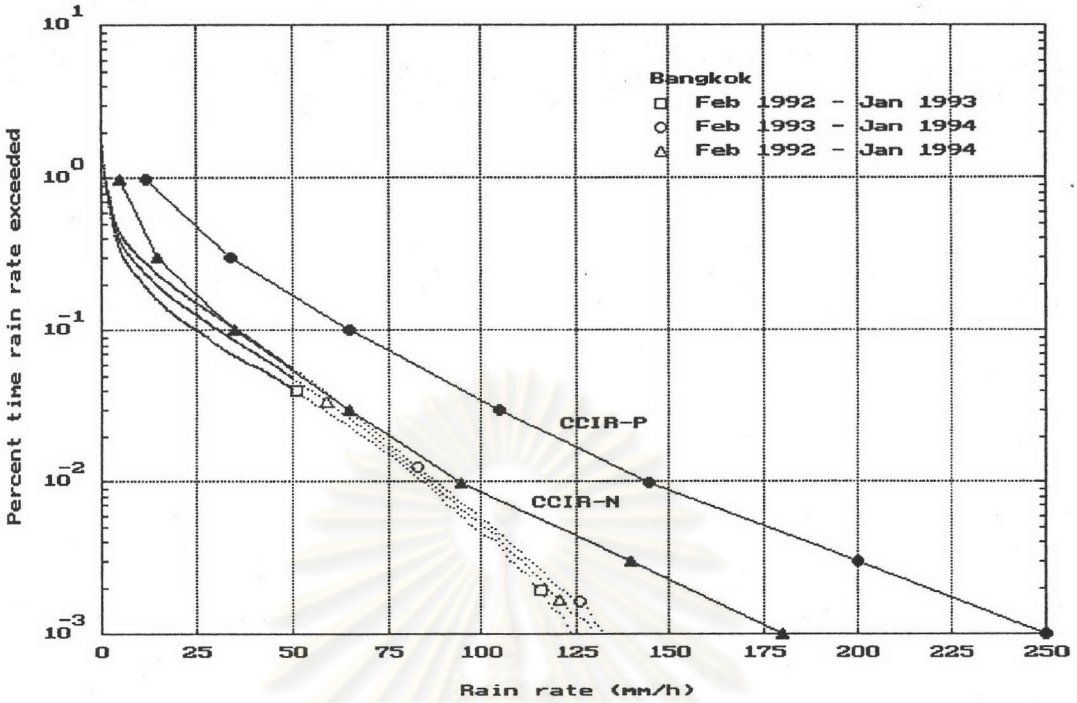
เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2535 ที่กรุงเทพฯ



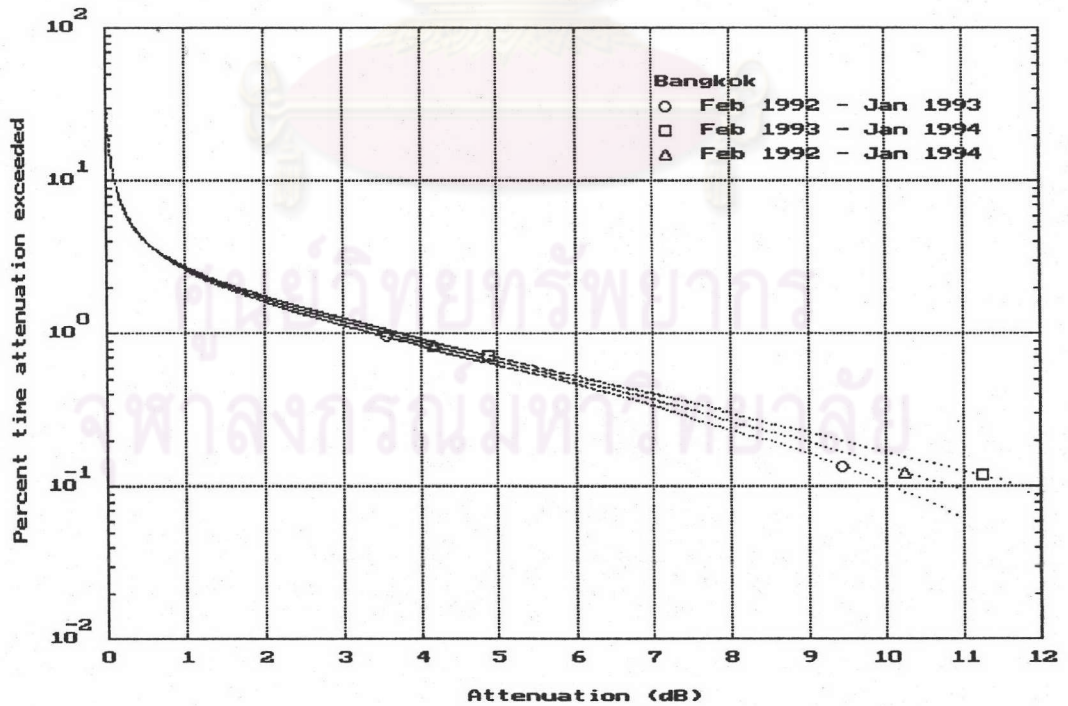
รูปที่ 3.3 อุณหภูมิของจานสายอากาศและอัตราฝนตก ที่วัดได้ตลอด 24 ชั่วโมง

เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2535 ที่ศรีราชา

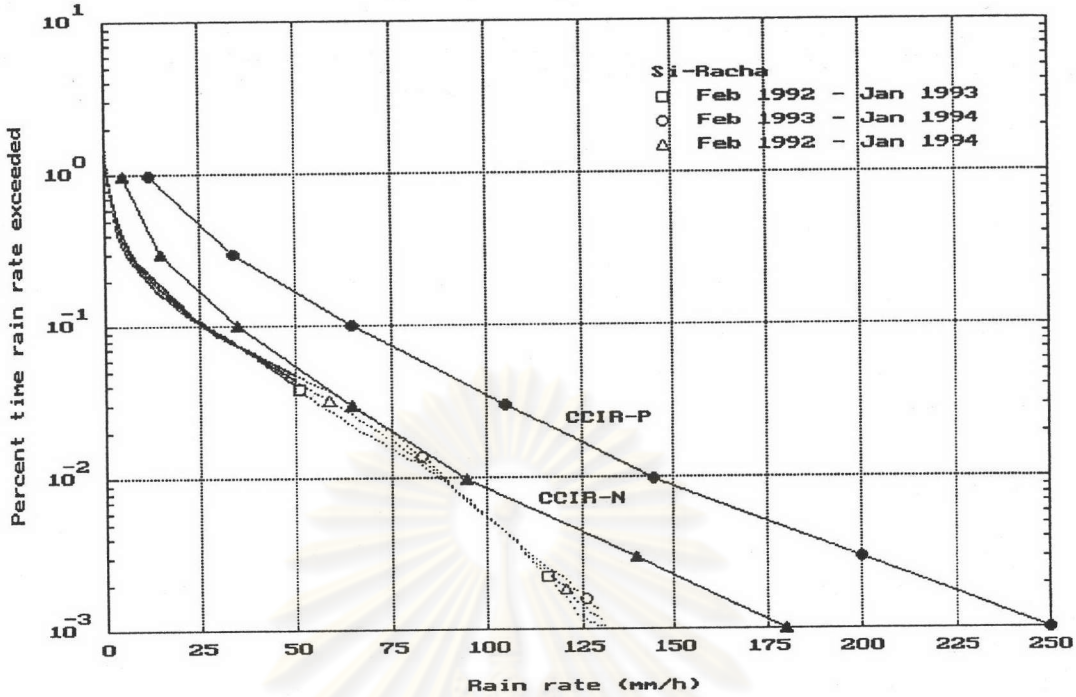
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



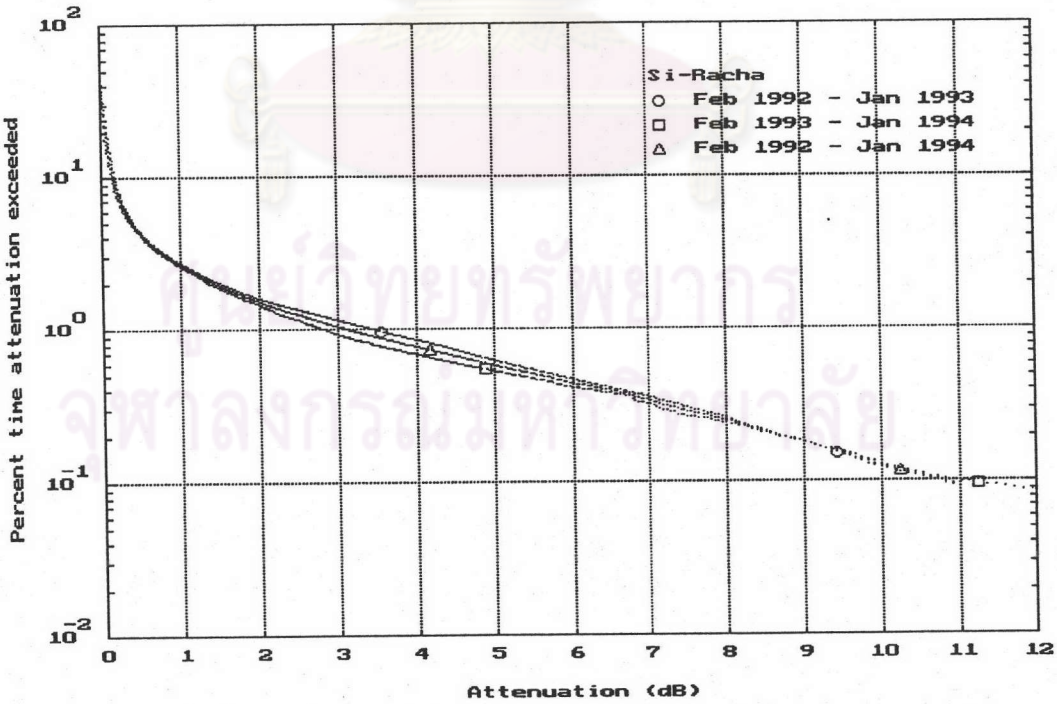
รูปที่ 3.4 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่กรุงเทพฯ



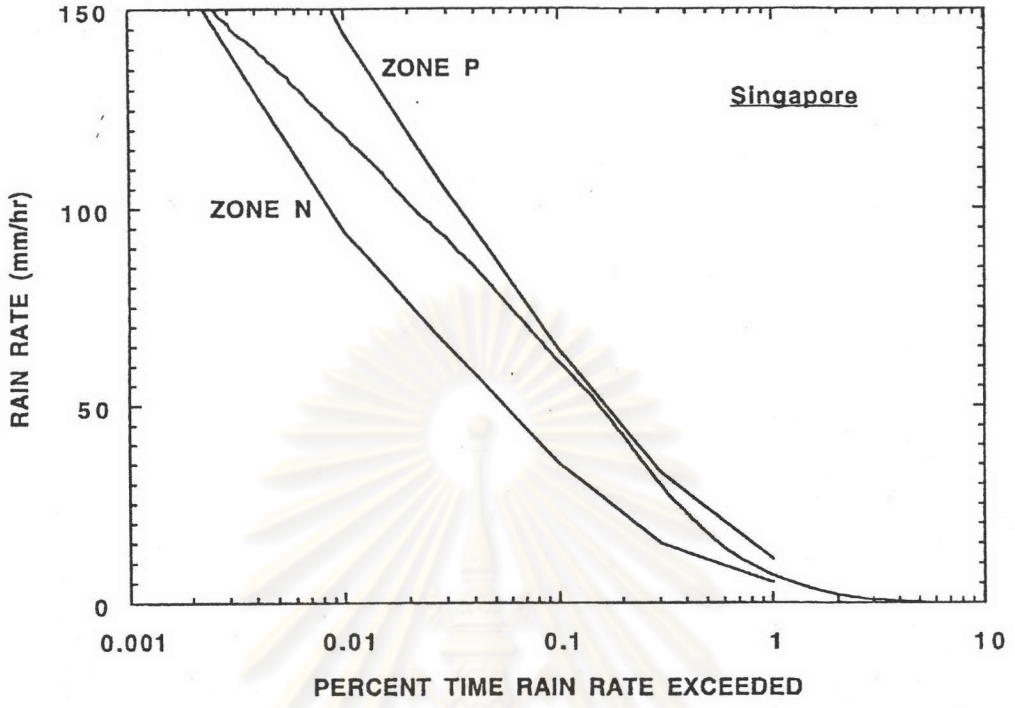
รูปที่ 3.5 การแจกแจงสะสมของค่าการลดทอนสัญญาณ ที่กรุงเทพฯ



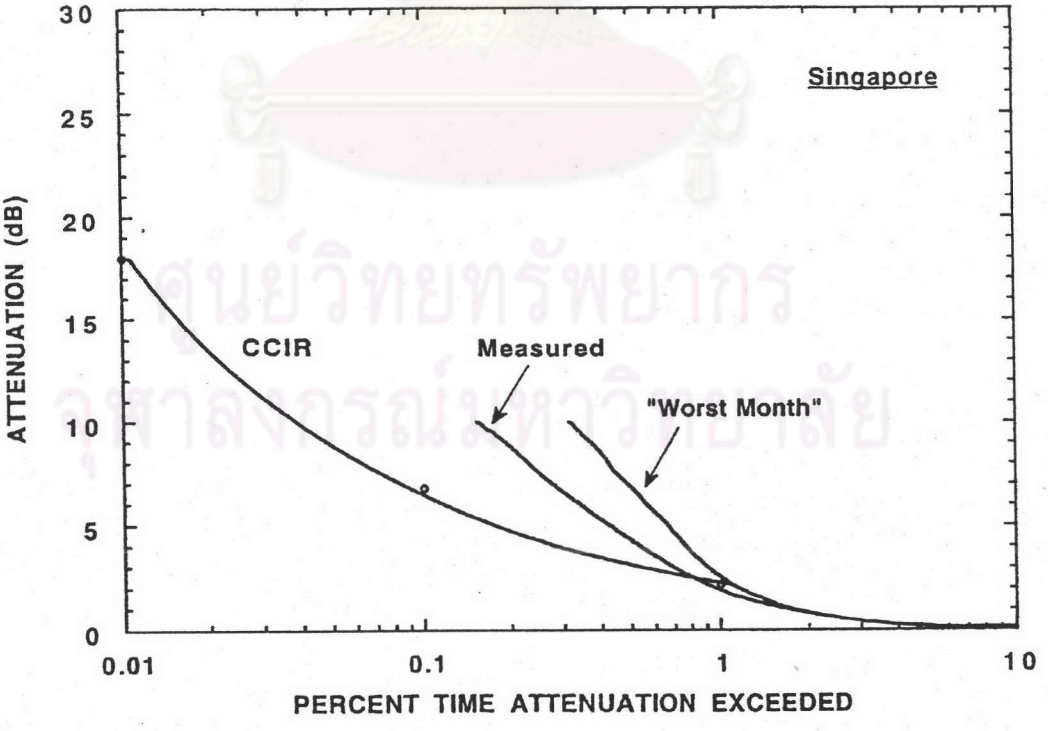
รูปที่ 3.6 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่ศรีราชา



รูปที่ 3.7 การแจกแจงสะสมของค่าการลดทอนสัญญาณ ที่ศรีราชา

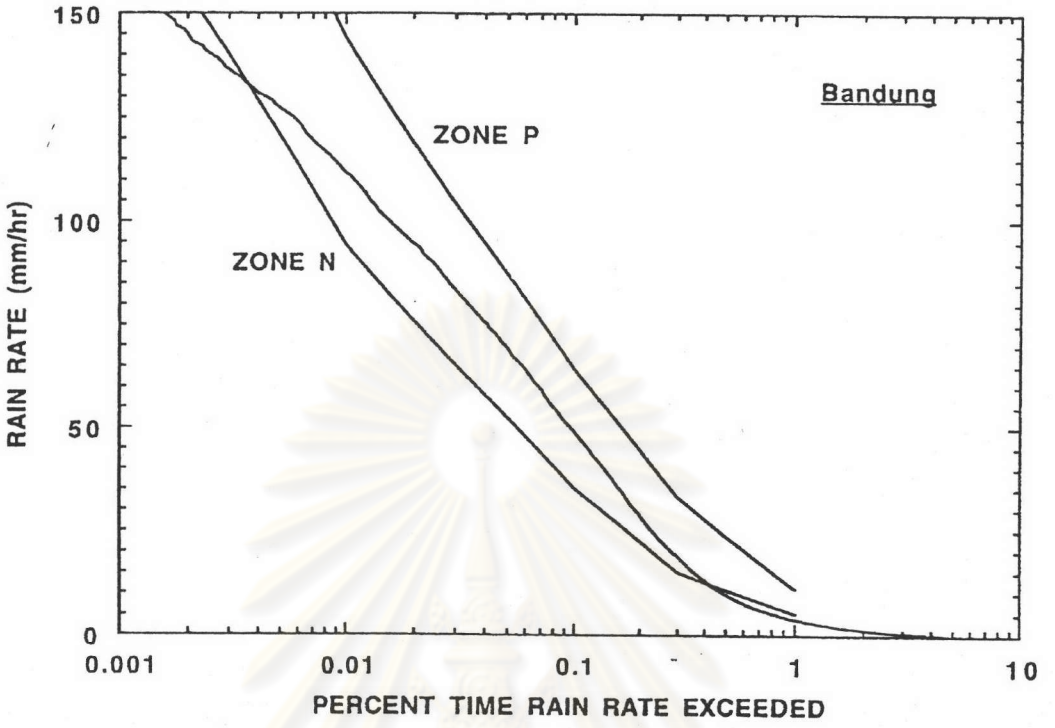


รูปที่ 3.8 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่สิงค์โปร์

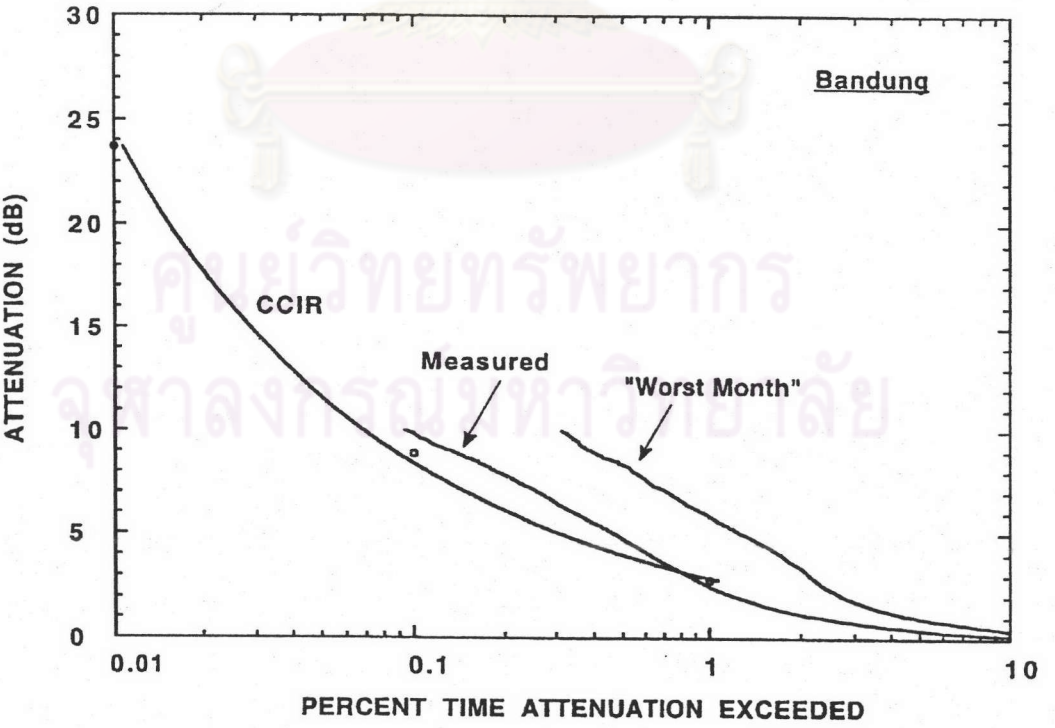


รูปที่ 3.9 การแจกแจงสะสมของค่าการลดทอนสัญญาณ ที่สิงค์โปร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 การแจกแจงสะสมของอัตราฝนตก ที่บันดุง



รูปที่ 3.11 การแจกแจงสะสมของค่าการลดทอนสัญญาณ ที่บันดุง