



### การทำนายการลดทอนสัญญาณโดยวิธีที่เสนอ

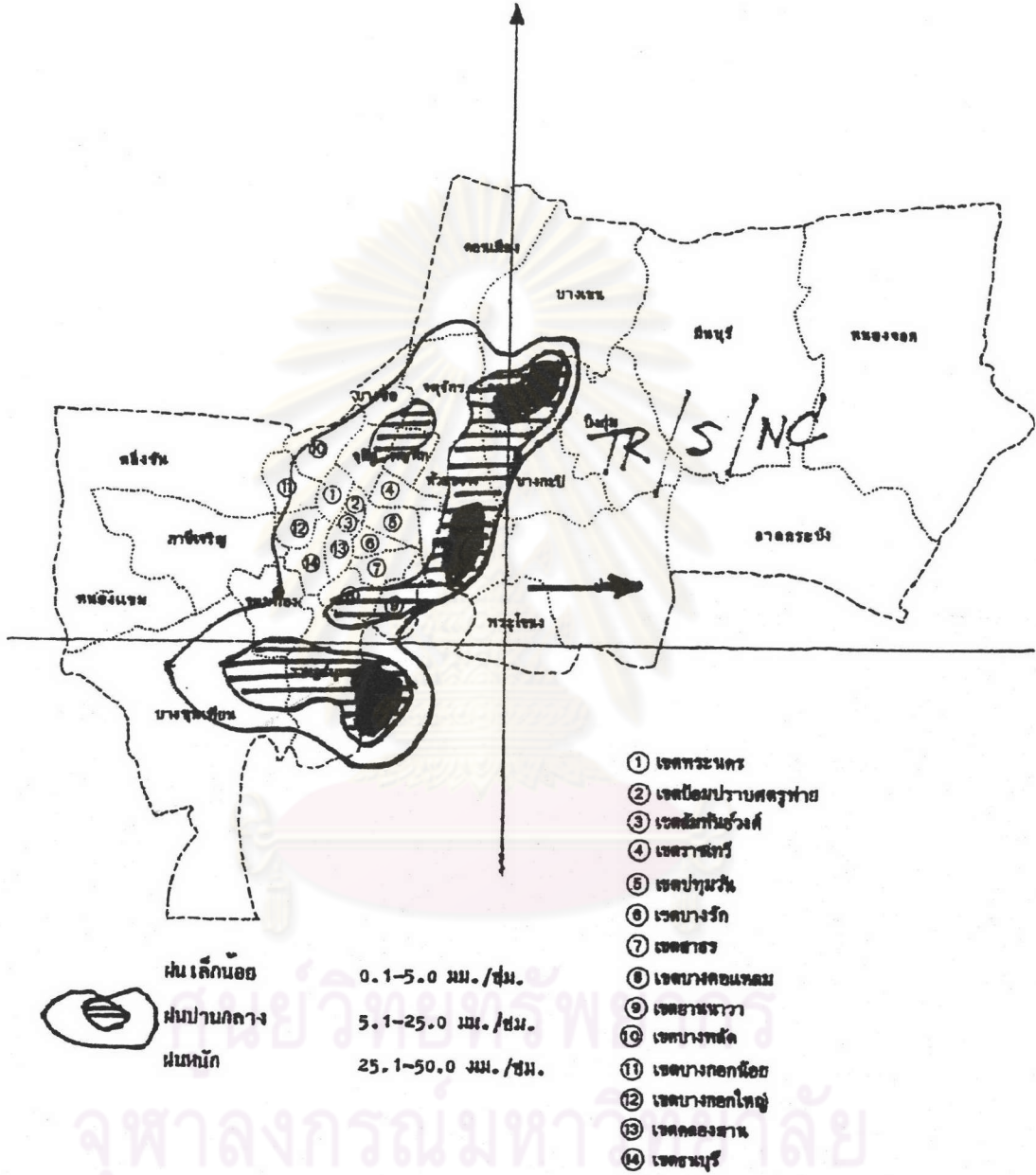
เนื่องจากข้อจำกัดของการทำงานในแต่ละวิธีที่กล่าวมาในบทที่ 4 และขาดวิธีการที่จะนำมาใช้งานสำหรับประเทศไทยโดยตรง จึงได้นำเสนอแนวทางใหม่ โดยวิธีทาง rain cell ซึ่งจะจำลองรูปแบบของเซลล์ฝนในลักษณะทรงกระบอกที่มีอัตราฝนตกภายในสม่ำเสมอและมีการวางตัวอย่างไม่แน่นอนสำหรับใช้ในการคำนวณและจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของเซลล์ฝน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเซลล์ฝน และความสูงเฉลี่ยของเซลล์ฝน ให้เหมาะสมสำหรับการทำงานในประเทศไทย และวิธีการนี้ยังสอดคล้องกับความต้องการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 อีกด้วย

#### ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน

เนื่องจากเซลล์ฝนที่ตกหนักมักจะฝังตัวในพื้นที่ของฝนที่มีขนาดใหญ่กว่า และฝนที่ตกหนักจะมีพื้นที่ที่แคบกว่าฝนที่ตกเบาว่า ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน จึงถูกกำหนดให้มีขนาดที่ขึ้นอยู่กับอัตราฝนตกภายในเซลล์ และในที่นี้จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน กับอัตราฝนตกที่สม่ำเสมอภายในเซลล์ ด้วยการใช้ข้อมูลที่ได้รับจาก CCIR (1978) และข้อมูลที่ได้รับจากการวัดโดยเรดาร์ตรวจอากาศในประเทศไทย

ข้อมูลจากการวัดโดยเรดาร์ตรวจอากาศในประเทศไทย ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกองตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลจากการตรวจฝนด้วยเรดาร์ย่านความถี่ X-band ( 3 cm หรือ 10 GHz ) ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา โดยทำการตรวจฝนในแนวราบขนานกับพื้นโลก และมีรัศมีการครอบคลุมเท่ากับ 24 ไมล์(38.64 กิโลเมตร) ดังภาพตัวอย่างในรูปที่ 5.1, 5.2 ในการตรวจฝนนี้ ได้แบ่งระดับฝนเป็น 3 ระดับ คือ (1) ฝนเล็กน้อย(weak) 0.1-5.0 mm/h , (2) ฝนปานกลาง(moderate) 5.1-25.0 mm/h และ (3) ฝนหนัก(strong) 25.1-50.0 mm/h ข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่เก็บได้ขณะที่เกิดฝนในช่วงตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2535 ถึง เดือนตุลาคม 2536 โดยในระหว่างวันที่ 4-13 ตุลาคม 2536 เรดาร์ได้เกิดขัดข้อง ทำให้ข้อมูลในช่วงดังกล่าวขาดหายไป ข้อมูลทั้งหมดของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนในแต่ละระดับฝน แสดงไว้

การตรวจฝนด้วยเรดาร์ในเขตกรุงเทพมหานคร  
 เมื่อวันที่ 13 เดือน ก.ย พ.ศ. 56 เวลา 19.30 น.



ผู้ตรวจ... *วินบัต* .....

รูปที่ 5.1 ภาพตัวอย่างการตรวจฝนด้วยเรดาร์ในเขตกรุงเทพมหานคร

เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2536 เวลา 19.30 น.

ที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา (กองตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)



ในภาคผนวก ก ในการวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์สถิติของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลฝนในแต่ละระดับฝน เพื่อที่จะได้รับค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของขนาดเซลฝนในแต่ละระดับฝน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลฝนในแต่ละระดับฝน แสดงไว้ในตารางที่ 5.1, 5.2 ส่วนการแจกแจงความถี่ของข้อมูล แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 โดยจะพบว่า ค่าความเบ้(skewness) ของฝนแต่ละระดับมากกว่า 0 และค่ากึ่งกลางของค่าควอนไทล์ในตารางที่ 5.2 เพิ่มขึ้นจากบนลงล่างของตารางนั้น แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงที่เบ้ไปทางขวา(หรืออาจสังเกตจากการแจกแจงความถี่ของข้อมูลในตารางที่ 5.3) และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน(coefficient of variation)ของฝนแต่ละระดับ มีค่ามากกว่า 0 และน้อยกว่า 1 แสดงว่าการแจกแจงที่เข้าช่วยการแจกแจงข้อมูลเหล่านี้คือ การแจกแจงแบบ Gamma, Weibull และ Lognormal ด้วยเหตุนี้ จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแต่ละแบบ เพื่อให้มีการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับการแจกแจงของข้อมูลมากที่สุด ในที่นี้จะใช้ MLE(maximum likelihood estimator) ในการปรับค่า ค่า MLE ของการแจกแจงแต่ละแบบสำหรับฝนแต่ละระดับ แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบการแจกแจงแต่ละแบบที่ถูกปรับแล้ว กับการแจกแจงของข้อมูล(ที่ได้รับจากตารางที่ 5.3) แสดงไว้ในรูปที่ 5.3-5.5 และการเปรียบเทียบค่าควอนไทล์ แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 ซึ่งจะพบว่า สำหรับอัตราฝนตกหนัก การแจกแจงแบบ Gamma จะให้ผลใกล้เคียงมากที่สุด ส่วนระดับฝนเล็กน้อยและปานกลาง การแจกแจงแบบ Lognormal จะให้ผลใกล้เคียงมากที่สุด ดังนั้นค่าที่เหมาะสมของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลฝนในแต่ละระดับฝน คือ ค่ามัธยฐานของการแจกแจงที่ให้ผลใกล้เคียงมากที่สุด

ตารางที่ 5.1 ค่าทางสถิติของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลฝน(km)ในแต่ละระดับฝน

ค่าทางสถิติ	ฝนหนัก	ฝนปานกลาง	ฝนเล็กน้อย
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	323	3261	1878
ค่าต่ำสุด	1.170	0.960	0.960
ค่าสูงสุด	6.350	13.540	19.490
ค่าเฉลี่ย	3.232	3.664	4.093
ค่ามัธยฐาน	3.180	3.250	3.280

ตารางที่ 5.1 ค่าทางสถิติของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน(km)ในแต่ละระดับฝน (ต่อ)

ค่าทางสถิติ	ฝนหนัก	ฝนปานกลาง	ฝนเล็กน้อย
ค่าความแปรปรวน	1.074	3.486	6.988
สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน	0.321	0.510	0.646
ความเบ้	0.644	1.508	2.010

ตารางที่ 5.2 ค่าควอนไทล์ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน(km)ในแต่ละระดับฝน

ค่าควอนไทล์	ความลึก	ค่าของตัวอย่างข้อมูล			ค่ากึ่งกลาง
ฝนหนัก					
ค่ามัธยฐาน	162		3.18		3.18
ค่าควอไทล์	81.5	2.35		3.83	3.09
ค่าฮ็อคไทล์	41	2.14		4.5	3.32
ค่าปลายสุด	1	1.17		6.35	3.76
ฝนปานกลาง					
ค่ามัธยฐาน	1631		3.25		3.25
ค่าควอไทล์	816	2.35		4.49	3.42
ค่าฮ็อคไทล์	408.5	1.91		5.74	3.825
ค่าปลายสุด	1	0.96		13.54	7.25
ฝนเล็กน้อย					
ค่ามัธยฐาน	939.5		3.28		3.28
ค่าควอไทล์	470	2.35		4.88	3.615
ค่าฮ็อคไทล์	235.5	1.91		6.87	4.39
ค่าปลายสุด	1	0.96		19.49	10.225

ตารางที่ 5.3 การแจกแจงความถี่ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ (km) ในแต่ละระดับฝน

$D_i < D_{cell} \leq D_{i+1}$	ฝนหนัก	ฝนปานกลาง	ฝนเล็กน้อย
0 - 0.5	0	0	0
0.5 - 1.0	0	7	3
1.0 - 1.5	3	126	57
1.5 - 2.0	29	388	210
2.0 - 2.5	54	409	252
2.5 - 3.0	53	490	279
3.0 - 3.5	76	418	240
3.5 - 4.0	36	345	180
4.0 - 4.5	32	290	128
4.5 - 5.0	20	181	86
5.0 - 5.5	12	152	94
5.5 - 6.0	2	108	46
6.0 - 6.5	6	80	35
6.5 - 7.0	0	64	38
7.0 - 7.5	0	56	45
7.5 - 8.0	0	35	23
8.0 - 8.5	0	30	26
8.5 - 9.0	0	16	20
9.0 - 9.5	0	14	12
9.0 - 10.0	0	16	14
10.0 - 10.5	0	11	10
10.5 - 11.0	0	7	17
11.0 - 11.5	0	6	8
11.5 - 12.0	0	2	9

ตารางที่ 5.3 การแจกแจงความถี่ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน(km)ในแต่ละระดับฝน (ต่อ)

$D_i < D_{cell} \leq D_{i+1}$	ฝนหนัก	ฝนปานกลาง	ฝนเล็กน้อย
12.0 - 12.5	0	3	8
12.5 - 13.0	0	4	6
13.0 - 13.5	0	2	6
13.5 - 14.0	0	1	6
14.0 - 14.5	0	0	7
14.5 - 15.0	0	0	3
15.0 - 15.5	0	0	0
15.5 - 16.0	0	0	5
16.0 - 16.5	0	0	0
16.5 - 17.0	0	0	3
17.0 - 17.5	0	0	0
17.5 - 18.0	0	0	1
18.0 - 18.5	0	0	0
18.5 - 19.0	0	0	0
19.0 - 19.5	0	0	1

ตารางที่ 5.4 ค่า MLE ของการแจกแจงที่ถูกปรับแล้ว

	พารามิเตอร์	ฝนหนัก	ฝนปานกลาง	ฝนเล็กน้อย
Weibull	$\alpha$	3.310	2.091	1.714
	$\beta$	3.602	4.156	4.633
Gamma	$\alpha$	10.012	4.565	3.327
	$\beta$	0.323	0.803	1.230
Lognormal	$\mu$	1.122	1.185	1.251
	$\sigma$	0.321	0.471	0.538

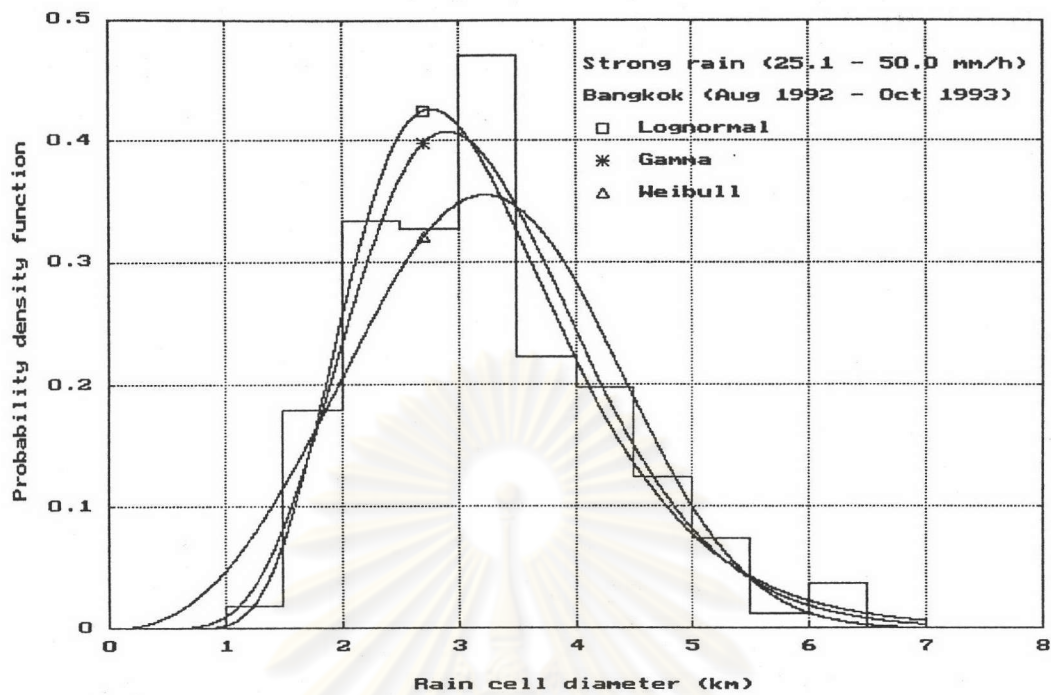
## หมายเหตุ

- 1) Weibull probability density function คือ  $f(x) = \alpha\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha}$  ;  $x > 0$
- 2) Gamma probability density function คือ  $f(x) = (\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)}) / \Gamma(\alpha)$  ;  $x > 0$
- 3) Lognormal probability density function คือ  $f(x) = \exp(-(\ln x - \mu)^2 / (2\sigma^2)) / (x(2\pi\sigma^2)^{1/2})$  ;  $x > 0$

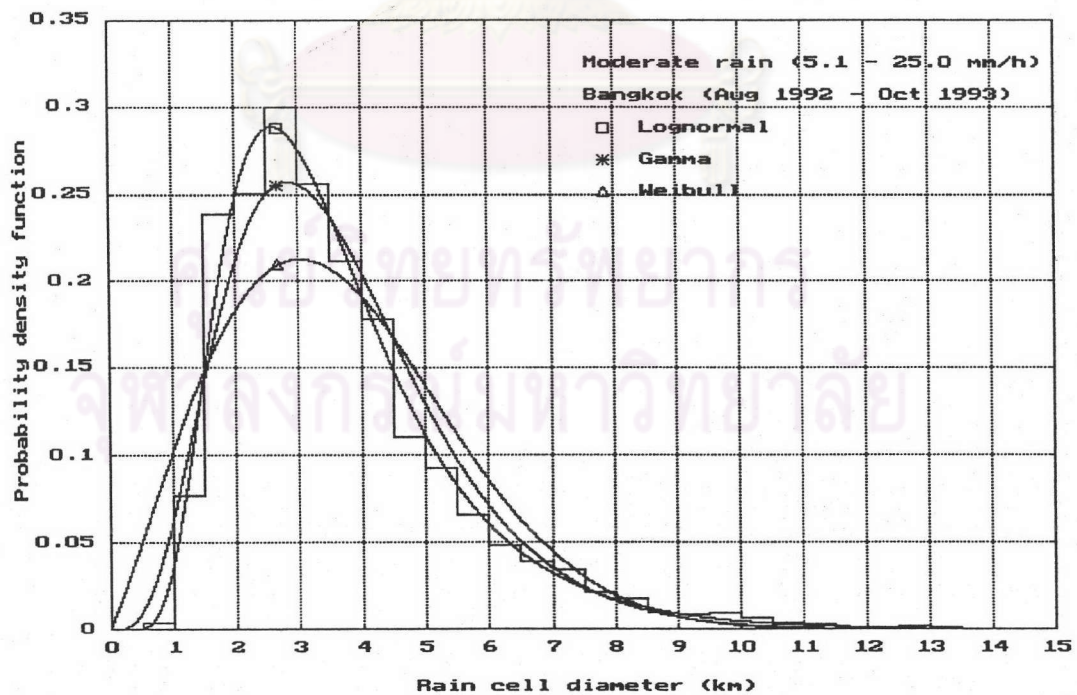
ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าควอนไทล์ของการแจกแจงที่ถูกปรับแล้วสำหรับฝนแต่ละระดับ

	1/(2n)	0.125	0.25	0.5	0.75	0.875	1 - 1/(2n)
ฝนหนัก (n = 323)							
Sample	1.170	2.140	2.350	3.180	3.830	4.500	6.350
Gamma	1.016	2.111	2.499	3.127	3.854	4.430	7.101
Weibull	0.510	1.961	2.472	3.224	3.976	4.494	6.332
Lognormal	1.188	2.123	2.473	3.071	3.813	4.443	7.938
ฝนปานกลาง (n = 3261)							
Sample	0.960	1.910	2.350	3.250	4.490	5.740	13.540
Gamma	0.299	1.842	2.408	3.401	4.637	5.666	13.223
Weibull	0.062	1.587	2.290	3.488	4.859	5.898	11.748
Lognormal	0.598	1.903	2.381	3.271	4.494	5.623	17.881
ฝนเล็กน้อย (n = 1878)							
Sample	0.960	1.910	2.350	3.280	4.880	6.870	19.490
Gamma	0.190	1.746	2.430	3.687	5.316	6.710	16.615
Weibull	0.038	1.431	2.240	3.741	5.606	7.102	15.848
Lognormal	0.542	1.882	2.431	3.494	5.022	6.488	22.522

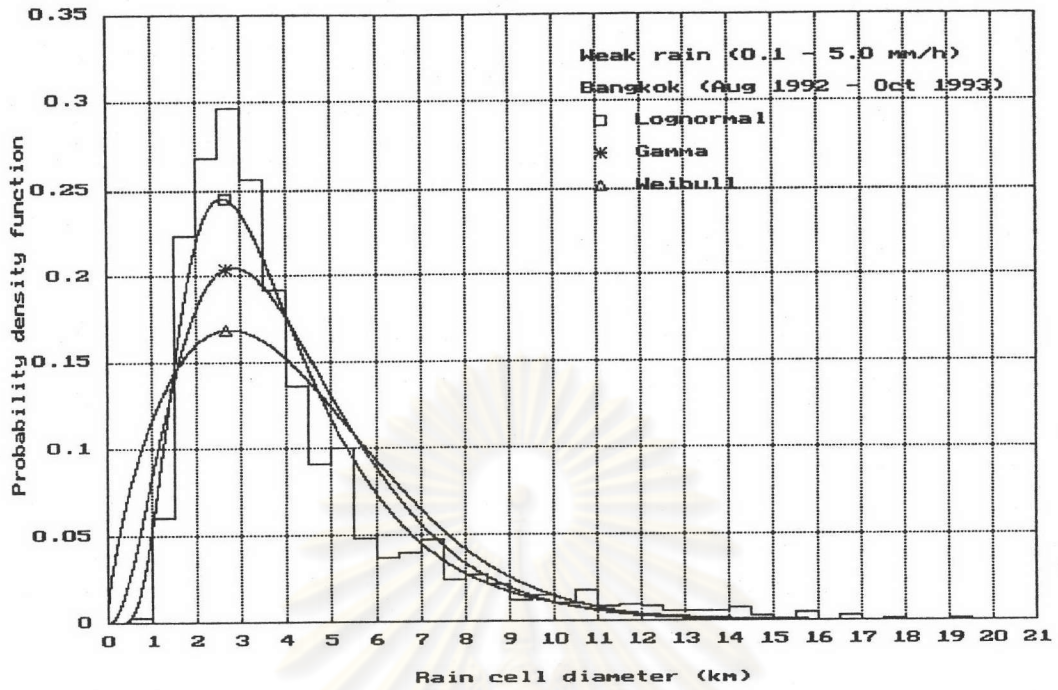




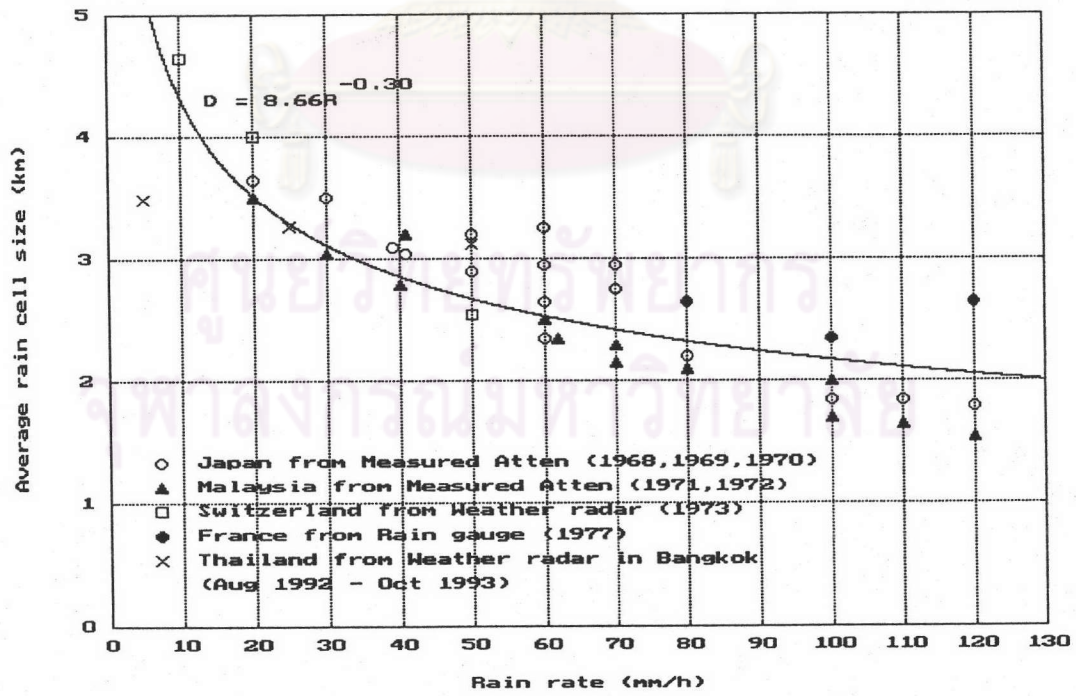
รูปที่ 5.3 เปรียบเทียบการแจกแจงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ฝน  
สำหรับฝนหนัก ที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบการแจกแจงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ฝน  
สำหรับฝนปานกลาง ที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบการแจกแจงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ฝน  
สำหรับฝนเล็กน้อย ที่กรุงเทพฯ



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนกับอัตราฝนตก

เนื่องจากพิสัยของค่าอัตราฝนตกสำหรับฝนแต่ละระดับ ถูกกำหนดเป็นช่วงที่กว้าง ดังนั้นในการกำหนดค่าอัตราฝนตกค่าหนึ่งเป็นค่าสำหรับฝนแต่ละระดับ จะเลือกใช้ค่าสูงสุดของพิสัยที่กำหนดไว้ เพราะจะทำให้ความสัมพันธ์ที่ได้รับระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนกับอัตราฝนตกเป็นกรณีเลวร้ายที่สุด ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนและอัตราฝนตกที่สัมพันธ์กัน สำหรับการวัด เป็นดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนและอัตราฝนตก ในประเทศไทย

ระดับฝน	การแจกแจง	เส้นผ่าศูนย์กลาง(km)	อัตราฝนตก(mm/h)
ฝนหนัก	Gamma	3.127	50
ฝนปานกลาง	Lognormal	3.271	25
ฝนเล็กน้อย	Lognormal	3.494	5

เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝนกับอัตราฝนตก จากการทดลองตามกฎการยกกำลัง(รูปแบบเดียวกับที่เสนอโดย CCIR (1978) ด้วยการใช้ข้อมูลที่ได้รับจาก CCIR (1978) และข้อมูลที่ได้รับจากการวัดในประเทศไทย ดังรูปที่ 5.6 จะได้ว่า

$$D_{\text{cell}} = 8.66 R^{-0.30} \quad \text{km} \quad (5.1)$$

โดยที่  $D_{\text{cell}}$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน(km)

และ  $R$  = อัตราฝนตกที่สม่ำเสมอภายในเซลล์ฝน(mm/h)

### ความสูงเฉลี่ยของเซลล์ฝน

โดยทั่วไปความสูงของฝนจะประมาณได้กับความสูง  $0^{\circ}\text{C}$  isotherm หรือความสูงระดับเยือกแข็ง ดังเช่นที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในที่นี้จะทำการวิเคราะห์สถิติของความสูงระดับเยือกแข็งของบางจังหวัดที่อยู่ตามภาคต่างๆ ในประเทศไทย เพื่อที่จะได้รับค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของความสูงระดับเยือกแข็งสำหรับใช้ในประเทศไทย

ข้อมูลของความสูงระดับเยือกแข็งนี้ ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลจากการตรวจอากาศชั้นบนด้วยวิธีเรวินซอนด์(rawinsonde) ที่ทำการตรวจวันละ 2 เวลา คือ เวลา 7.00 น. และ 19.00 น. ในการวิจัยนี้ จะใช้ข้อมูลที่รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี 2533 ถึง 2536 ของสถานีตรวจ

อากาศจังหวัดเชียงใหม่, อุบลราชธานี, กรุงเทพฯ, สงขลา และสนามบินภูเก็ต ข้อมูลทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ข และจะพบว่า มีบางเดือนของบางสถานที่ที่ข้อมูลได้ขาดหายไป เนื่องจากการจัดเก็บข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความสัมพันธ์ของระดับเยือกแข็งในแต่ละจังหวัด แสดงไว้ในตารางที่ 5.7, 5.8 ส่วนการแจกแจงความถี่ของข้อมูล แสดงไว้ในตารางที่ 5.9 เมื่อพิจารณาค่าความเบ้และค่ากึ่งกลางของค่าควอนไทล์ จะพบว่า ข้อมูลของเชียงใหม่, อุบลราชธานี และสงขลา มีการแจกแจงที่เบ้ไปทางซ้าย ข้อมูลของภูเก็ตมีการแจกแจงที่เบ้ไปทางขวา ส่วนข้อมูลของกรุงเทพฯ มีการแจกแจงที่ใกล้เคียงการแจกแจงแบบ Normal มากที่สุด(ค่าความเบ้ ประมาณ 0) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อมูลของกรุงเทพฯ มีความครบถ้วนมากที่สุด การแจกแจงข้อมูลของแต่ละจังหวัด แสดงไว้ในรูปที่ 5.7-5.11 (ได้รับจากตารางที่ 5.9) และค่าเฉลี่ยของค่ามัธยฐานของการแจกแจงข้อมูลในแต่ละจังหวัดเท่ากับ 4.885 km

ตารางที่ 5.7 ค่าทางสถิติของความสูงระดับเยือกแข็ง(km)ในแต่ละจังหวัด

ค่าทางสถิติ	เชียงใหม่	อุบลราชธานี	กรุงเทพฯ	สงขลา	ภูเก็ต
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	2447	2276	2895	2632	1291
ค่าต่ำสุด	1.630	2.830	3.820	3.990	4.160
ค่าสูงสุด	6.250	5.920	5.847	5.550	5.873
ค่าเฉลี่ย	4.783	4.914	4.843	4.848	4.947
ค่ามัธยฐาน	4.860	4.940	4.840	4.850	4.933
ค่าความแปรปรวน	0.240	0.102	0.069	0.045	0.042
สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน	0.102	0.065	0.054	0.044	0.041
ความเบ้	-1.077	-0.681	0.057	-0.209	0.430

ตารางที่ 5.8 ค่าควอนไทล์ของความสูงระดับเยือกแข็ง(km)ในแต่ละจังหวัด

ค่าควอนไทล์	ความลึก	ค่าของตัวอย่างข้อมูล		ค่ากึ่งกลาง
เชียงใหม่				
ค่ามัธยฐาน	1224		4.860	4.860
ค่าควอไทล์	612.5	4.520		5.090
ค่าฮ็อคไทล์	306.5	4.240		5.270
ค่าปลายสุด	1	1.630		6.250
อุบลราชธานี				
ค่ามัธยฐาน	1138.5		4.940	4.940
ค่าควอไทล์	569.5	4.730		5.120
ค่าฮ็อคไทล์	285	4.560		5.240
ค่าปลายสุด	1	2.830		5.920
กรุงเทพฯ				
ค่ามัธยฐาน	1448		4.840	4.840
ค่าควอไทล์	724.5	4.670		5.009
ค่าฮ็อคไทล์	362.5	4.540		5.132
ค่าปลายสุด	1	3.820		5.847
สงขลา				
ค่ามัธยฐาน	1316.5		4.850	4.850
ค่าควอไทล์	658.5	4.710		5.000
ค่าฮ็อคไทล์	329.5	4.610		5.090
ค่าปลายสุด	1	3.990		5.550

ตารางที่ 5.8 ค่าควอนไทล์ของความสูงระดับเยือกแข็ง(km)ในแต่ละจังหวัด (ต่อ)

ค่าควอนไทล์	ความลึก	ค่าของตัวอย่างข้อมูล			ค่ากึ่งกลาง
ภูเก็ต					
ค่ามัธยฐาน	646		4.933		4.933
ค่าควอไทล์	323.5	4.815		5.061	4.938
ค่าอ็อกไทล์	162	4.728		5.180	4.954
ค่าปลายสุด	1	4.160		5.873	5.017

ตารางที่ 5.9 การแจกแจงความถี่ของความสูงระดับเยือกแข็ง ในแต่ละจังหวัด

$H_i < H_e \leq H_{i+1}$	เชียงใหม่	อุบลราชธานี	กรุงเทพฯ	สงขลา	ภูเก็ต
1.6 - 1.7	1	0	0	0	0
1.7 - 1.8	0	0	0	0	0
1.8 - 1.9	0	0	0	0	0
1.9 - 2.0	1	0	0	0	0
2.0 - 2.1	1	0	0	0	0
2.1 - 2.2	0	0	0	0	0
2.2 - 2.3	2	0	0	0	0
2.3 - 2.4	1	0	0	0	0
2.4 - 2.5	1	0	0	0	0
2.5 - 2.6	2	0	0	0	0
2.6 - 2.7	2	0	0	0	0
2.7 - 2.8	0	0	0	0	0
2.8 - 2.9	2	1	0	0	0
2.9 - 3.0	1	0	0	0	0
3.0 - 3.1	6	1	0	0	0
3.1 - 3.2	1	0	0	0	0
3.2 - 3.3	8	0	0	0	0

ตารางที่ 5.9 การแจกแจงความถี่ของควมสูงระดับเยือกแข็ง ในแต่ละจังหวัด (ต่อ)

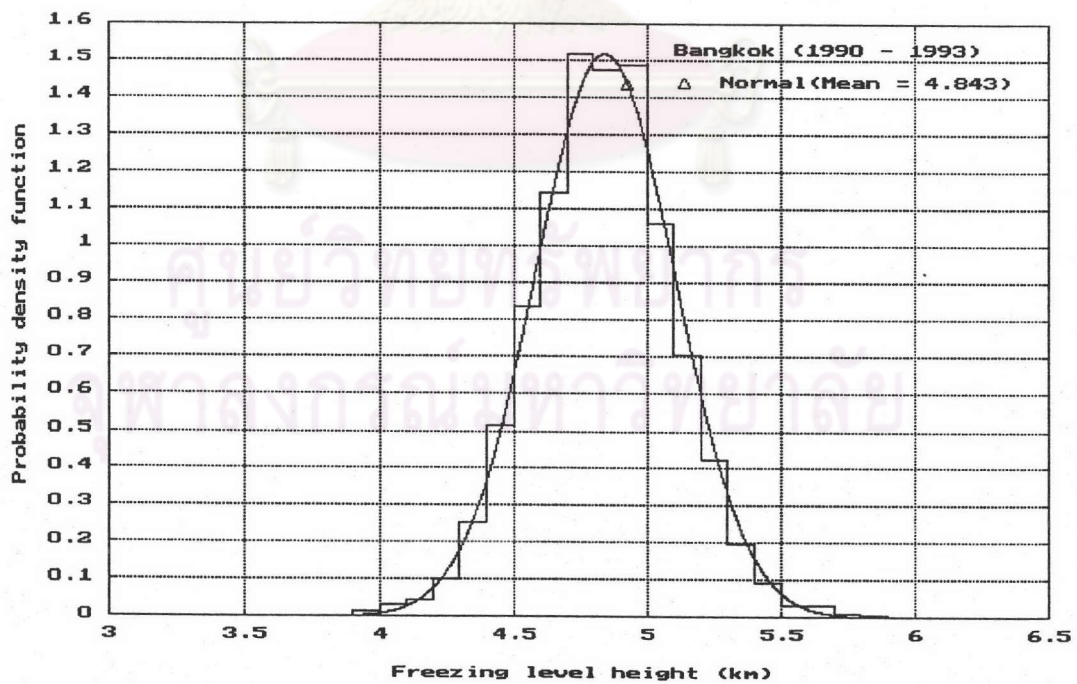
$H_i < H_e \leq H_{i+1}$	เชียงใหม่	อุบลราชธานี	กรุงเทพฯ	สงขลา	ภูเก็ต
3.3 - 3.4	6	1	0	0	0
3.4 - 3.5	4	2	0	0	0
3.5 - 3.6	9	2	0	0	0
3.6 - 3.7	13	2	0	0	0
3.7 - 3.8	18	5	0	0	0
3.8 - 3.9	33	4	1	0	0
3.9 - 4.0	42	7	4	1	0
4.0 - 4.1	56	5	9	2	0
4.1 - 4.2	74	21	13	7	1
4.2 - 4.3	77	26	29	17	1
4.3 - 4.4	96	36	74	33	4
4.4 - 4.5	135	90	149	87	7
4.5 - 4.6	143	132	242	166	28
4.6 - 4.7	159	186	332	319	84
4.7 - 4.8	207	232	440	480	162
4.8 - 4.9	253	297	427	487	271
4.9 - 5.0	272	289	431	432	268
5.0 - 5.1	248	312	308	313	197
5.1 - 5.2	183	254	204	178	132
5.2 - 5.3	141	192	123	90	74
5.3 - 5.4	109	84	57	17	39
5.4 - 5.5	49	41	27	2	10
5.5 - 5.6	44	23	10	1	6
5.6 - 5.7	16	16	10	0	2

ตารางที่ 5.9 การแจกแจงความถี่ของความสูงระดับเยือกแข็ง ในแต่ละจังหวัด (ต่อ)

$H_i < H_e \leq H_{i+1}$	เชียงใหม่	อุบลราชธานี	กรุงเทพฯ	สงขลา	ภูเก็ต
5.7 - 5.8	12	10	3	0	2
5.8 - 5.9	9	4	2	0	3
5.9 - 6.0	4	1	0	0	0
6.0 - 6.1	2	0	0	0	0
6.1 - 6.2	2	0	0	0	0
6.2 - 6.3	2	0	0	0	0

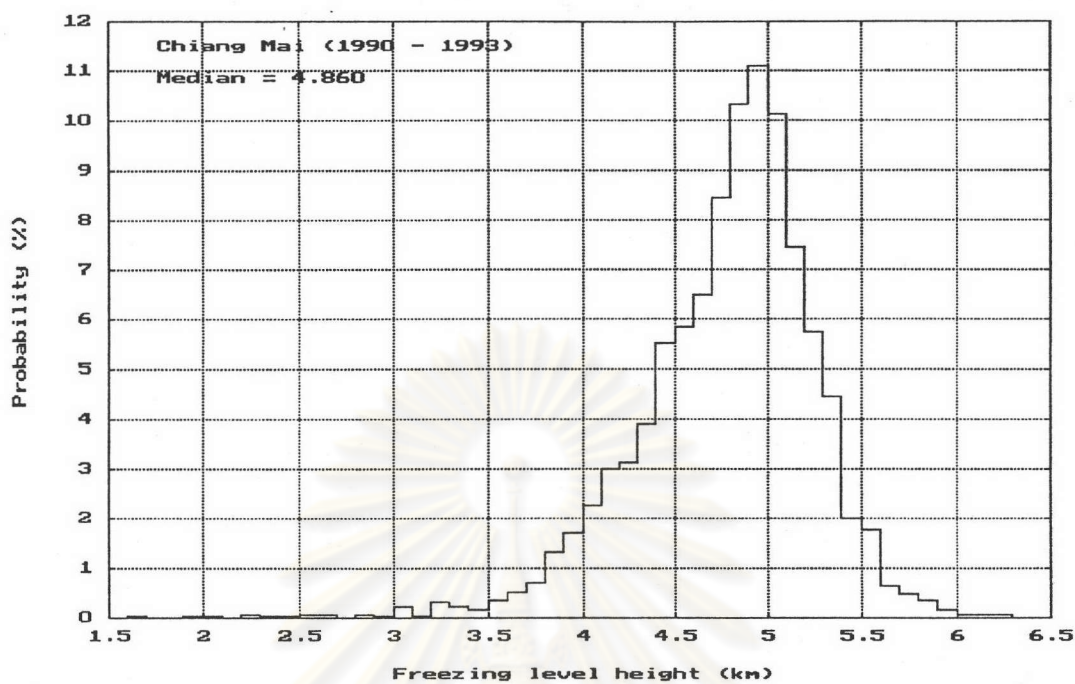
ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบค่าควอนไทล์ของการแจกแจงที่ถูกปรับแล้วสำหรับกรุงเทพฯ (n = 2895)

	1/(2n)	0.125	0.25	0.5	0.75	0.875	1 - 1/(2n)
Sample	3.820	4.540	4.670	4.840	5.009	5.132	5.847
Normal	3.905	4.542	4.666	4.843	5.020	5.144	5.781

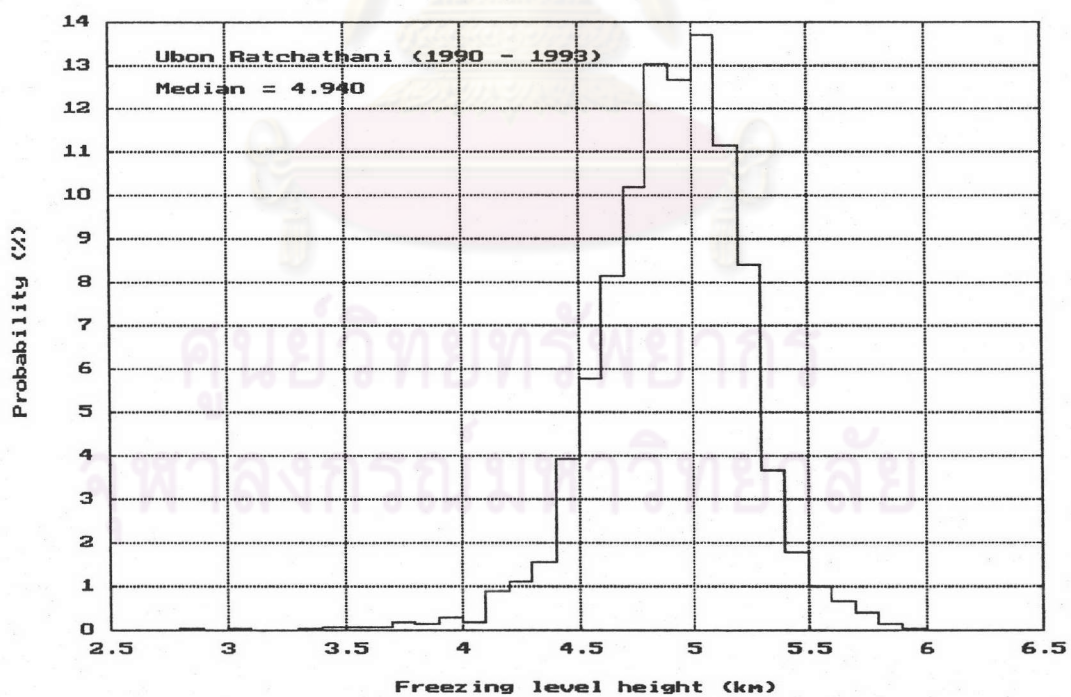


รูปที่ 5.7 การแจกแจงความสูงระดับเยือกแข็ง ที่กรุงเทพฯ

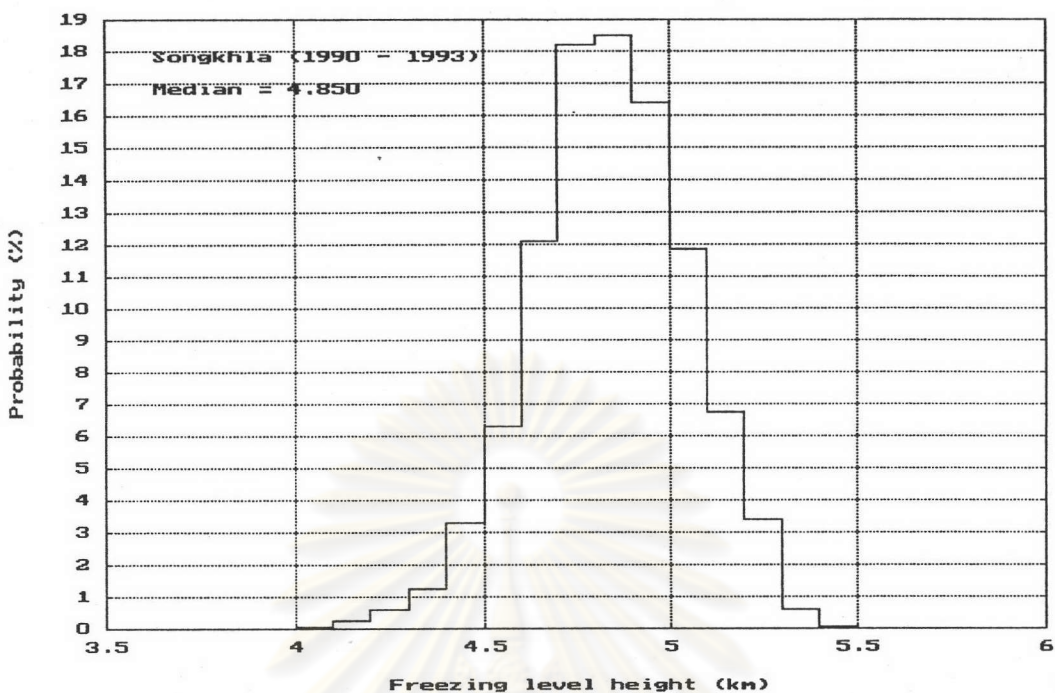




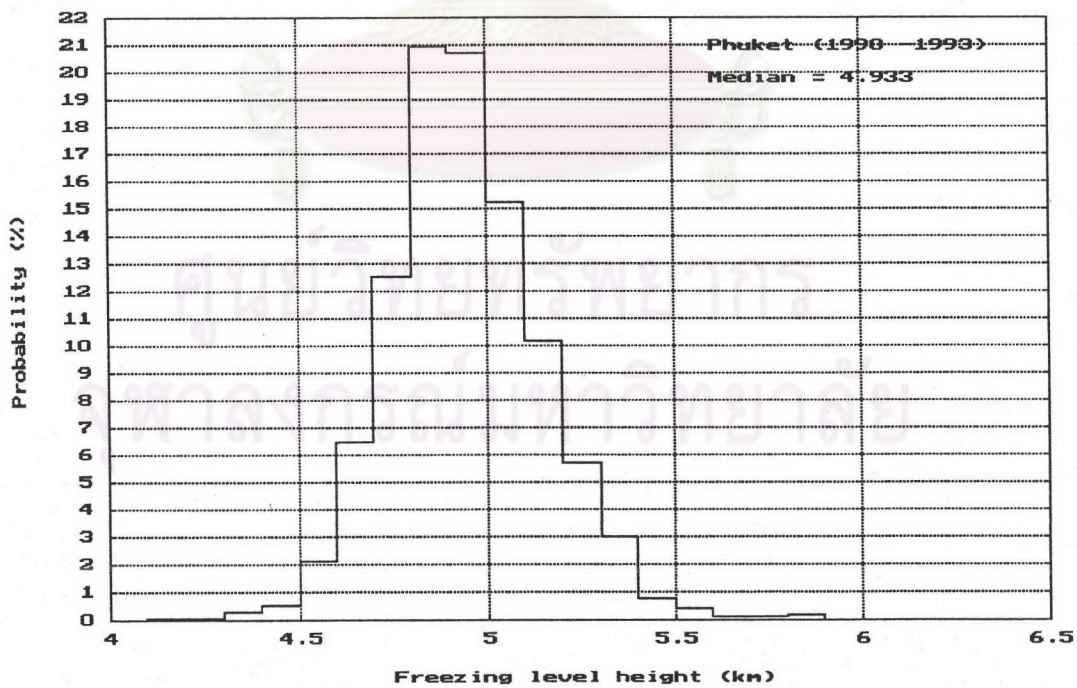
รูปที่ 5.8 การแจกแจงความสูงระดับเยือกแข็ง ที่เชียงใหม่



รูปที่ 5.9 การแจกแจงความสูงระดับเยือกแข็ง ที่อุบลราชธานี



รูปที่ 5.10 การแจกแจงความสูงระดับเยือกแข็ง ที่สงขลา



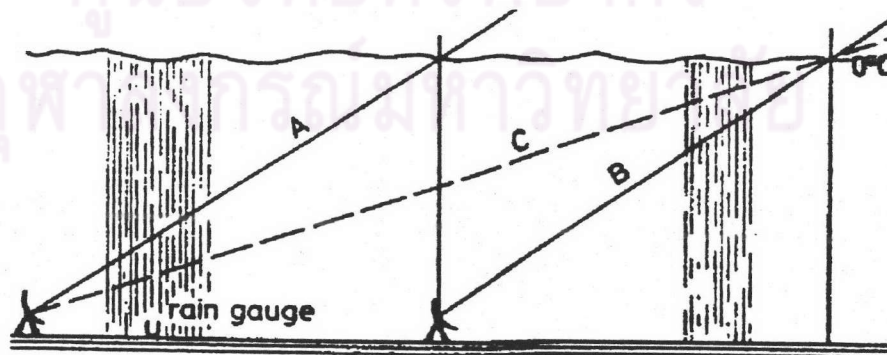
รูปที่ 5.11 การแจกแจงความสูงระดับเยือกแข็ง ที่ภูเก็ต

เนื่องจากการแจกแจงข้อมูลของกรุงเทพฯ มีลักษณะเป็น Normal มากที่สุด จึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบ Normal ให้มีการแจกแจงที่ใกล้เคียงการแจกแจงของข้อมูลมากที่สุด ค่า MLE ของการแจกแจงแบบ Normal ที่ถูกปรับแล้ว คือ  $\mu = 4.843$  และ  $\sigma = 0.262$  [ Normal probability density function คือ  $f(x) = \exp(-(x-\mu)^2/(2\sigma^2))/(2\pi\sigma^2)^{1/2}$  ] การเปรียบเทียบการแจกแจงแบบ Normal ที่ถูกปรับแล้ว กับการแจกแจงของข้อมูล แสดงในรูปที่ 5.7 และการเปรียบเทียบค่าควอนไทล์ แสดงไว้ในตารางที่ 5.10 ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงแบบ Normal ที่ถูกปรับแล้ว จะถูกเลือกให้เป็นความสูงเฉลี่ยของเซลฝน( $H_e$ ) สำหรับใช้งานในประเทศไทย

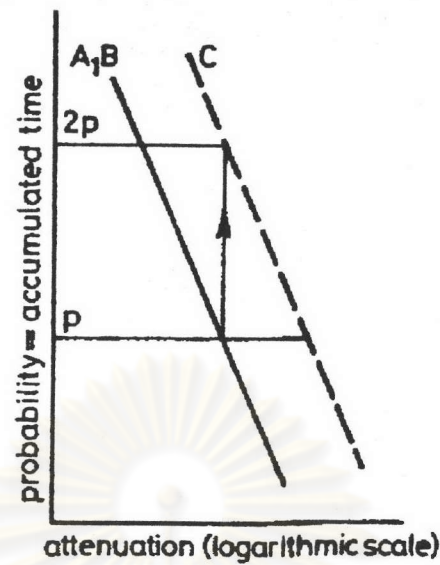
$$H_e = 4.843 \quad \text{km} \quad (5.2)$$

### แฟคเตอร์ของเวลาสะสม

ในรูปที่ 5.12 ได้แสดง 3 เส้นทางที่ได้รับผลกระทบจากการลดทอนสัญญาณจากฝน เมื่อพิจารณาในระยะยาว ถ้าเซลฝนเกิดด้วยโอกาสเท่าๆ กันที่แต่ละจุดในพื้นที่ เส้นทาง A และ B (ซึ่งมีมุมเงยเท่ากัน) จะมีสถิติการลดทอนสัญญาณในระยะยาวเช่นเดียวกัน และโดยการใช้เกจวัดฝนเดียวกันที่วางไว้ในพื้นที่นั้น ทั้ง 2 เส้นทางยังมีสถิติอัตราฝนตกเช่นเดียวกัน สำหรับเส้นทาง C จะพบว่าได้รับผลจากการลดทอนสัญญาณจากเซลฝนนานกว่าเส้นทาง A หรือ B โดยประมาณ 2 เท่า(เวลาสะสมสำหรับการลดทอนเป็น 2 เท่า) ทั้งนี้จะไม่พิจารณาการเกิดเซลฝนพร้อมกันในเส้นทาง A และ B รวมทั้งผลกระทบอื่นๆ ด้วยเหตุนี้สถิติการลดทอนสัญญาณสำหรับเส้นทาง C อาจได้รับจากสถิติของเส้นทาง A หรือ B โดยการเลื่อนเส้นกราฟการแจกแจงการลดทอนสัญญาณของเส้นทาง A หรือ B ขนานกับแกนระดับความเป็นไปได้ ไปที่ระดับความเป็นไปได้ที่เป็น 2 เท่า ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.12 แสดง 3 เส้นทาง(A,B,C) ที่ได้รับผลกระทบของการลดทอนจากฝน (Hansson, 1990)



รูปที่ 5.13 สถิติการลดทอนสัญญาณของ 3 เส้นทางในรูปที่ 5.12 (Hansson, 1990)

ในลักษณะคล้ายกัน ค่าการลดทอนสัญญาณที่คำนวณจากค่าอัตราฝนตกที่ระดับความเป็นไปได้ค่าหนึ่ง จะเป็นค่าที่ระดับความเป็นไปได้ค่าเดียวกันก็ต่อเมื่อเซลล์ฝนจำนวนเดียวกันมีผลกระทบต่อการวัดระยะยาวของเกจวัดฝนและเส้นทางของสัญญาณด้วยระดับความเป็นไปได้เดียวกัน ซึ่งจะเป็นจริงเท่านั้นเมื่อเส้นทางของสัญญาณสั้นมาก ในความเป็นจริง เกจวัดฝนจะวัดได้เฉพาะจุดที่วางไว้เท่านั้นขณะที่เส้นทางของสัญญาณจะยาวมากกว่าขนาดของเซลล์ฝน ดังนั้นเส้นทางของสัญญาณที่ยาวกว่าจะเพิ่มอัตราส่วนระหว่างเวลาสะสมสำหรับการลดทอน ( $T_A$ ) และเวลาสะสมสำหรับอัตราฝนตก ( $T_R$ ) อัตราส่วนดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่า แฟคเตอร์ของเวลาสะสม (accumulation time factor, ACCF) (Hansson, 1990)

$$ACCF = T_A / T_R = P_A / P_R \quad (5.3)$$

โดยที่  $P_A$  = ระดับความเป็นไปได้ของการลดทอนสัญญาณ

$P_R$  = ระดับความเป็นไปได้ของอัตราฝนตก

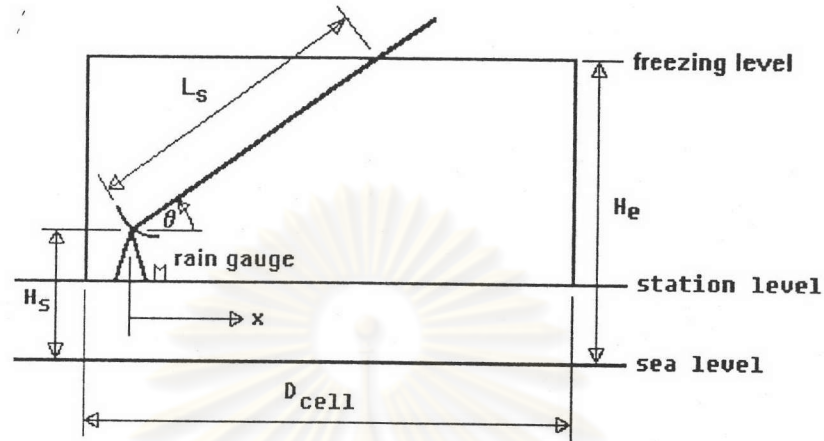
จากแบบจำลองของเซลล์ฝนในรูปที่ 5.14 เมื่อพิจารณาให้เซลล์ฝนเคลื่อนที่ในแนวราบจากซ้ายไปขวา ด้วยอัตราเร็ว  $v$  จะพบว่าเซลล์ฝนใช้เวลาในการผ่านเกจวัดฝนไปเท่ากับ  $D_{cell} / v$  (ซึ่งก็คือเวลาสะสมสำหรับอัตราฝนตก ( $T_R$ )) และใช้เวลาในการผ่านเส้นทางของสัญญาณไปเท่ากับ  $(L_s \cos \theta + D_{cell}) / v$  (ซึ่งก็คือเวลาสะสมสำหรับการลดทอนสัญญาณ ( $T_A$ )) ดังนั้น

$$ACCF = T_A / T_R = (L_s \cos \theta) / D_{cell} + 1 = P_A / P_R \quad (5.4)$$

โดยที่  $\theta$  = มุมเงยของจานสายอากาศ(deg)

$D_{cell}$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเซลล์ฝน(km) ตามสมการ (5.1)

$L_s$  = ความยาวเส้นทางที่อยู่ต่ำกว่าความสูงของฝน(km) และใช้ค่าตามสมการ (4.2ก), (4.2ข)



รูปที่ 5.14 ภาพแบบจำลองเซลล์ฝนที่นำเสนอ

### ความยาวเส้นทางยังผลที่ได้รับผลกระทบจากฝน

เนื่องจากเซลล์ฝนมีการวางตัวอย่างไม่แน่นอนในพื้นที่ ในที่นี้จึงทำการพิจารณากรณีเลวร้ายที่สุดเมื่อ ระบายของเส้นทางสัญญาณที่ตั้งฉากกับพื้นโลกผ่านจุดศูนย์กลางของเซลล์ฝน ดังรูปที่ 5.14 เซลล์ฝนมีความเป็นไปได้เท่ากันที่จะอยู่ ณ ตำแหน่ง  $x$  ต่างๆ (เมื่อ  $x = 0$  เป็นตำแหน่งของจานสายอากาศ) ดังนั้น probability density function [  $f(x)$  ] ของเซลล์ฝน จึงมีลักษณะ uniform ในช่วง  $-D_{cell} \leq x \leq L_s \cos \theta$  นั่นคือ

$$f(x) = 0 \quad ; \quad x < -D_{cell} \quad (5.5ก)$$

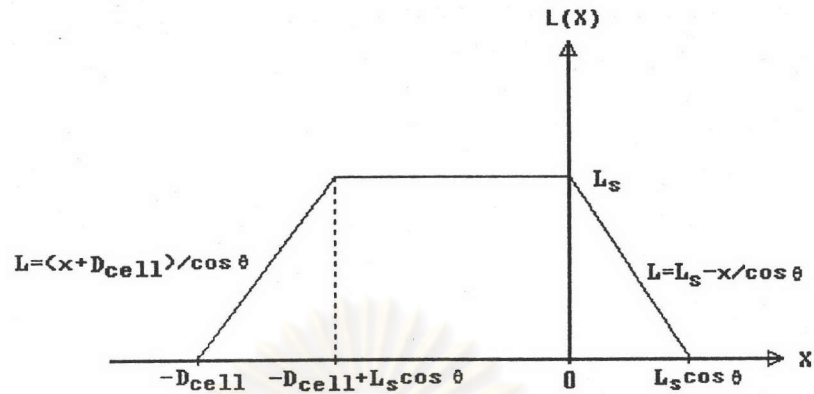
$$f(x) = 1 / (D_{cell} + L_s \cos \theta) \quad ; \quad -D_{cell} \leq x \leq L_s \cos \theta \quad (5.5ข)$$

$$f(x) = 0 \quad ; \quad x > L_s \cos \theta \quad (5.5ค)$$

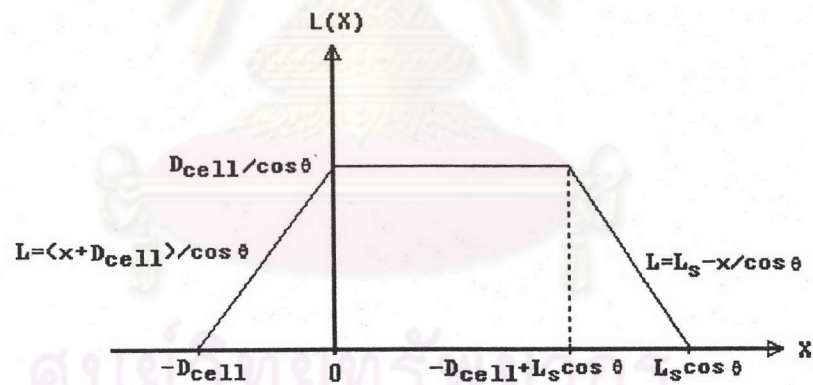
จากรูปที่ 5.14 ความยาวเส้นทางยังผลที่ได้รับผลกระทบจากฝน( $L_{eff}$ ) จะคำนวณจาก

$$\begin{aligned} L_{eff} &= -D_{cell} \int_{-D_{cell}}^{L_s \cos \theta} f(x) L(x) dx \\ &= (D_{cell} L_s) / (D_{cell} + L_s \cos \theta) \\ L_{eff} &= L_s / (1 + (L_s \cos \theta) / D_{cell}) \end{aligned} \quad (5.6)$$

โดยที่  $L(x)$  = ความยาวเส้นทางที่อยู่ภายในเซลล์ฝน เมื่อเซลล์ฝนอยู่ที่ตำแหน่ง  $x$  ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และ 5.16 เมื่อ  $L_s \cos \theta < D_{cell}$  และ  $L_s \cos \theta > D_{cell}$  ตามลำดับ



รูปที่ 5.15 กราฟของความยาวเส้นทางที่อยู่ภายในเซลล์  $L(x)$  เมื่อเซลล์  
อยู่ที่ตำแหน่ง  $x$  ต่างๆ สำหรับกรณีที่  $L_s \cos \theta < D_{\text{cell}}$   
(ในที่นี้ใช้ขอบซ้ายของเซลล์ในรูปที่ 5.14 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งเซลล์)



รูปที่ 5.16 กราฟของความยาวเส้นทางที่อยู่ภายในเซลล์  $L(x)$  เมื่อเซลล์  
อยู่ที่ตำแหน่ง  $x$  ต่างๆ สำหรับกรณีที่  $L_s \cos \theta > D_{\text{cell}}$   
(ในที่นี้ใช้ขอบซ้ายของเซลล์ในรูปที่ 5.14 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งเซลล์)

### ค่าการลดทอนสัญญาณจากฝน

ค่าประมาณของการลดทอนสัญญาณจากฝน(A) ที่คาดว่าจะถูกเกิน ที่ระดับความเป็นไปได้  $P_A$  จะคำนวณจาก

$$\begin{aligned} A(\text{dB}) &= k R^\alpha L_{\text{eff}} \\ &= k R^\alpha L_s / (1 + (L_s \cos \theta) / D_{\text{cell}}) \end{aligned} \quad (5.7)$$

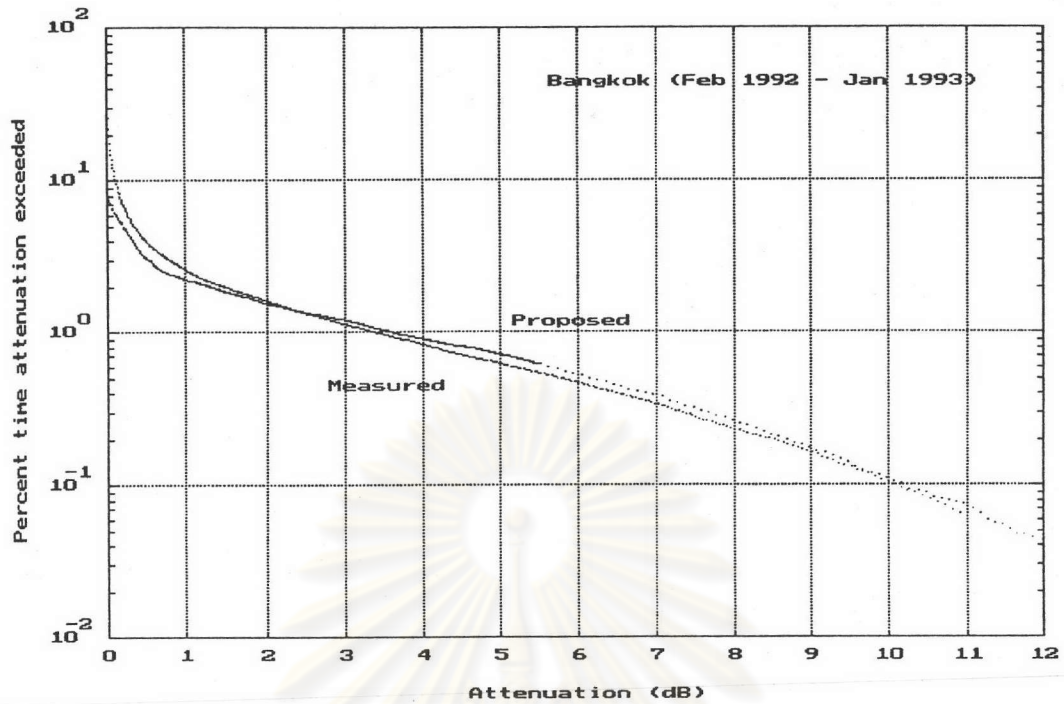
โดยที่  $k, \alpha$  = พารามิเตอร์ที่ขึ้นกับความถี่และโพลาริเซชันของสัญญาณ โดยใช้ค่าตามสมการ (2.2)-(2.5) และตารางที่ 2.1

$$R = \text{อัตราฝนตก(mm/h) ที่ระดับความเป็นไปได้ } P_R \text{ เมื่อ } P_R = P_A / \text{ACCF}$$

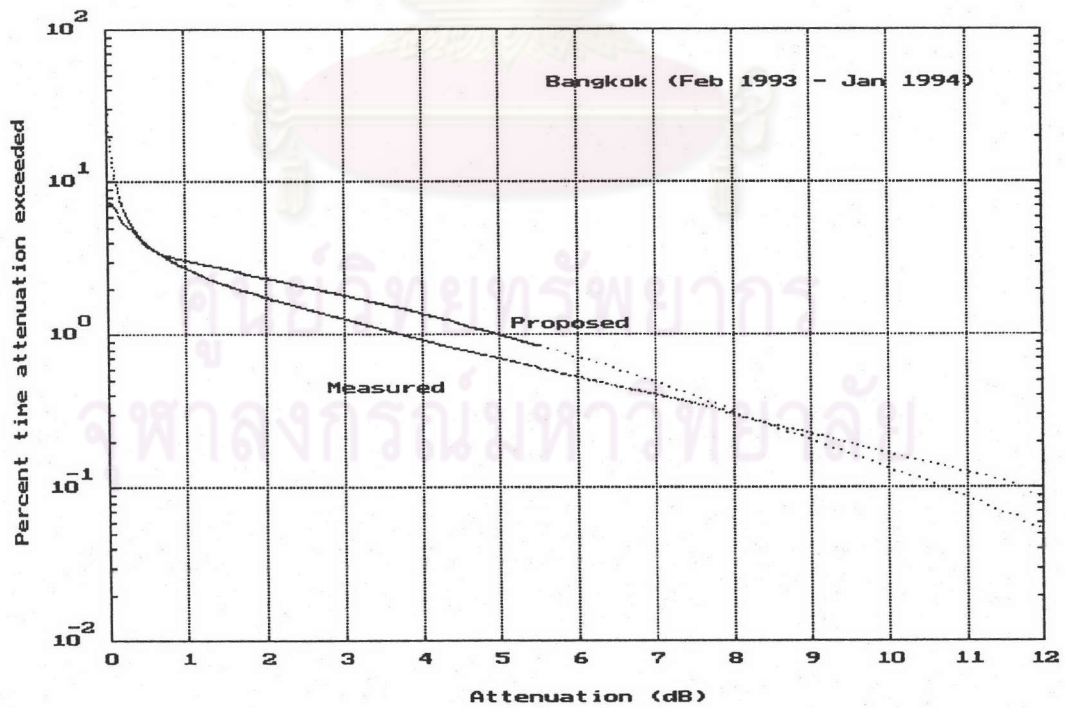
### ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณสถิติการลดทอนสัญญาณ จากสถิติอัตราฝนตกที่วัดได้ในช่วงเวลาเดียวกัน สำหรับ กรุงเทพฯ, ศรีราชา, สิงคโปร์ และบันดุง แสดงในรูปที่ 5.17-5.24 และตารางที่ 6.1-6.8

เนื่องจากโดยปกติสถิติอัตราฝนตกไม่สามารถหาได้ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีภาคพื้นดิน จึงจำเป็นต้องใช้สถิติอัตราฝนตกที่เสนอไว้โดย CCIR (1990a) ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการคำนวณสถิติการลดทอนสัญญาณจากสถิติอัตราฝนตกที่เสนอโดย CCIR (ใช้ค่าจากตารางที่ 2.3) และเปรียบเทียบกับสถิติที่ได้จากการวัด ดังในรูปที่ 5.25-5.32 ซึ่งจะพบว่า สำหรับในประเทศไทย จะประมาณค่าการลดทอนได้มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสถิติอัตราฝนตกของ CCIR ย่าน N จะมีค่าอัตราฝนตกมากกว่าสถิติที่ได้จากการวัด ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ของเวลาเดียวกัน ดังพิจารณาได้จากรูปที่ 3.4, 3.6 แต่อย่างไรก็ตาม แนวโน้มและความใกล้เคียงสามารถยอมรับได้ สำหรับในสิงคโปร์ จะให้ผลที่ค่อนข้างใกล้เคียง ส่วนที่บันดุง จะประมาณค่าการลดทอนมากเกินไป เนื่องจากสถิติอัตราฝนตกของ CCIR ย่าน P จะมีค่าอัตราฝนตกมากกว่าสถิติที่ได้จากการวัด ที่ระดับเปอร์เซ็นต์ของเวลาเดียวกัน อย่างเห็นได้ชัด ในรูปที่ 3.10 แต่แนวโน้มจะไปด้วยกัน

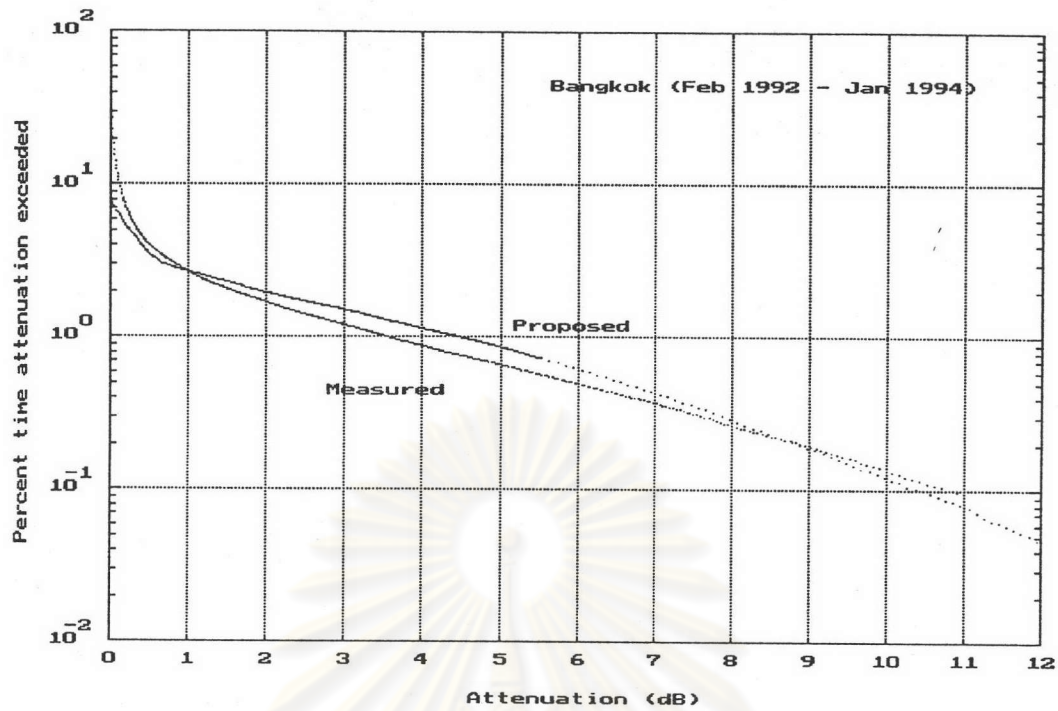


รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )

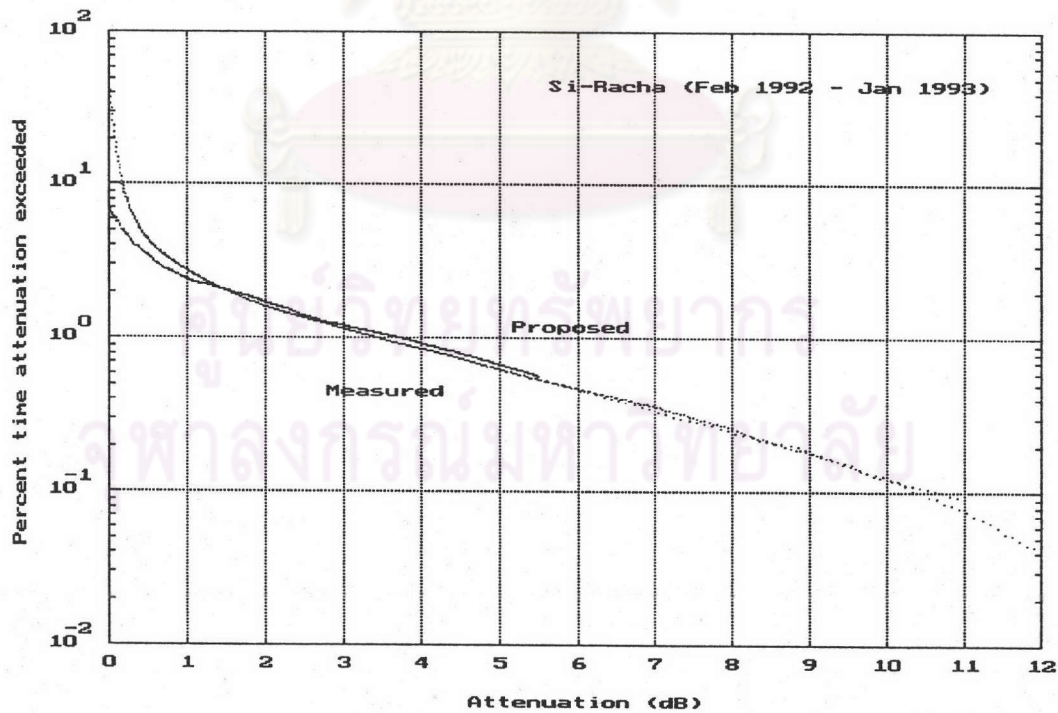


รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537 )

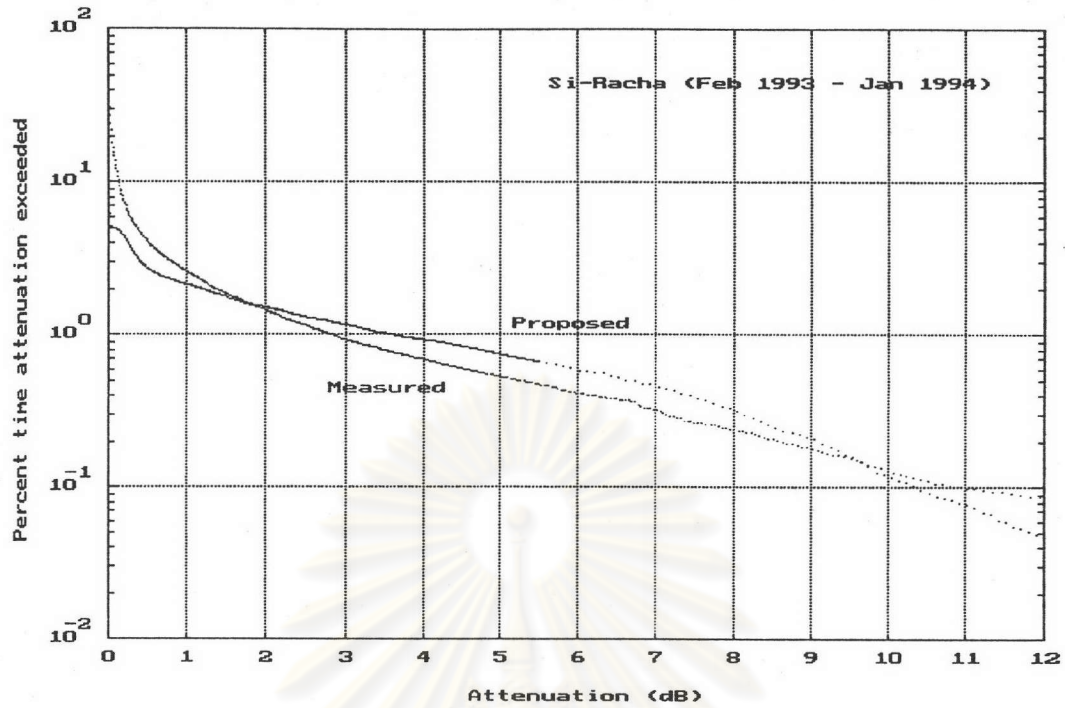




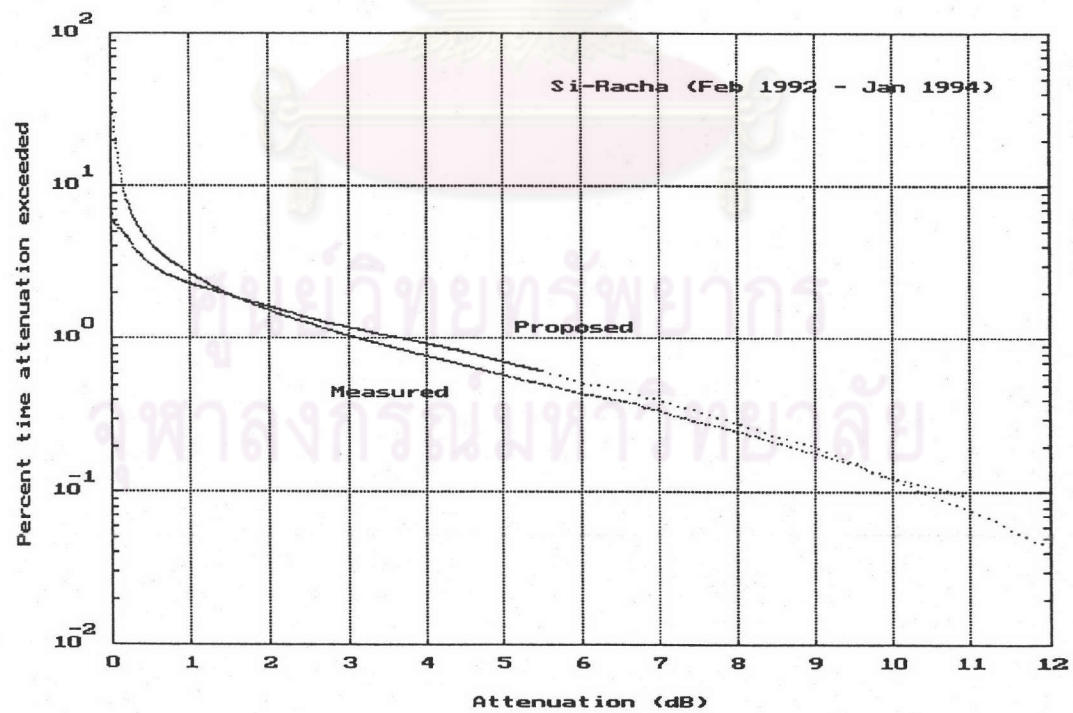
รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537 )



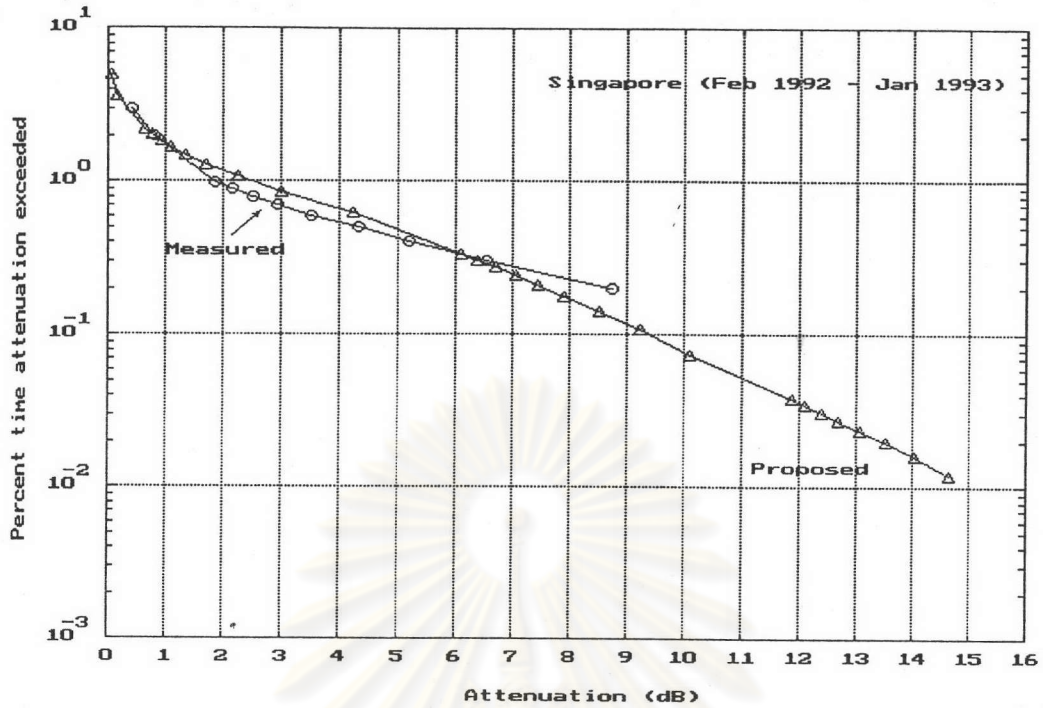
รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )



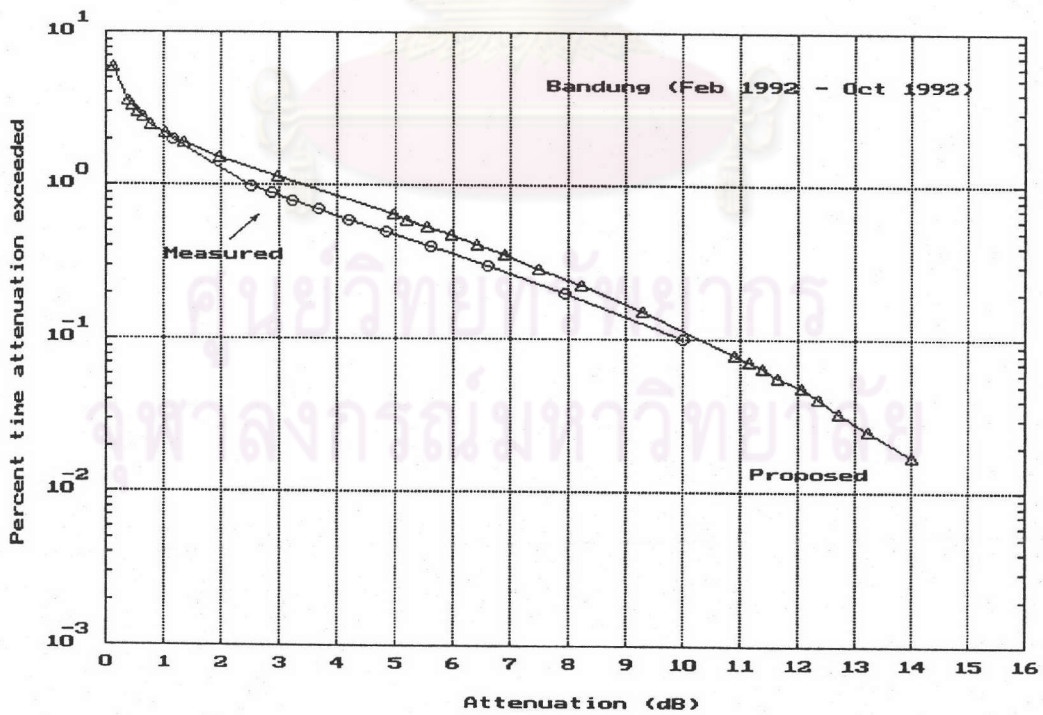
รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537 )



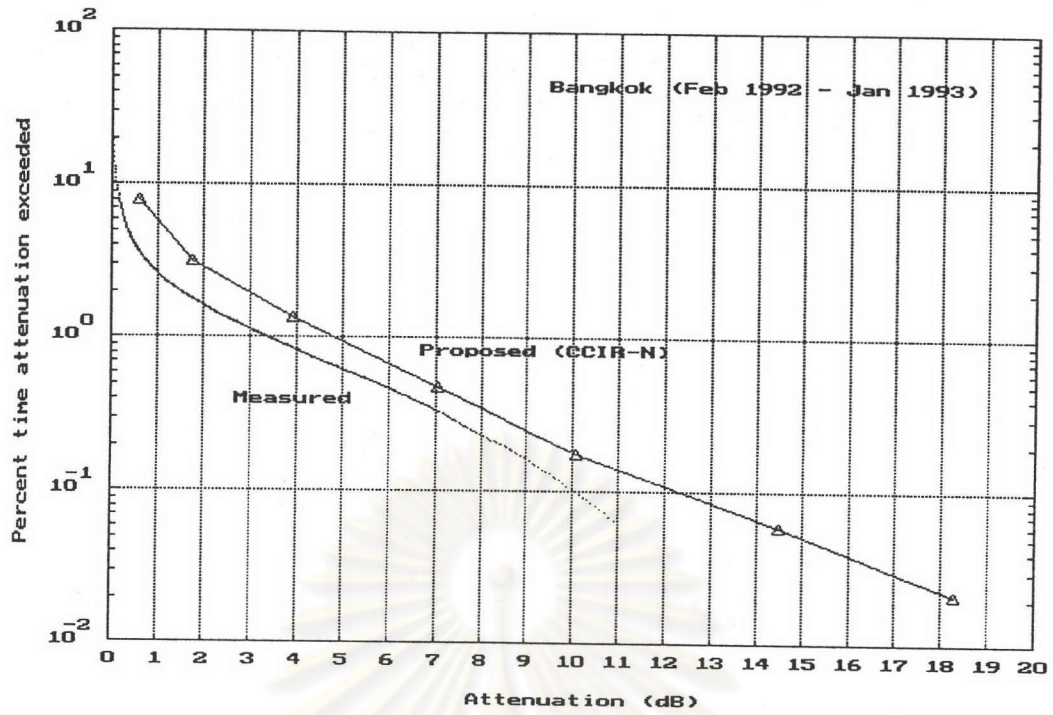
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537 )



รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับสิงคโปร์ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )



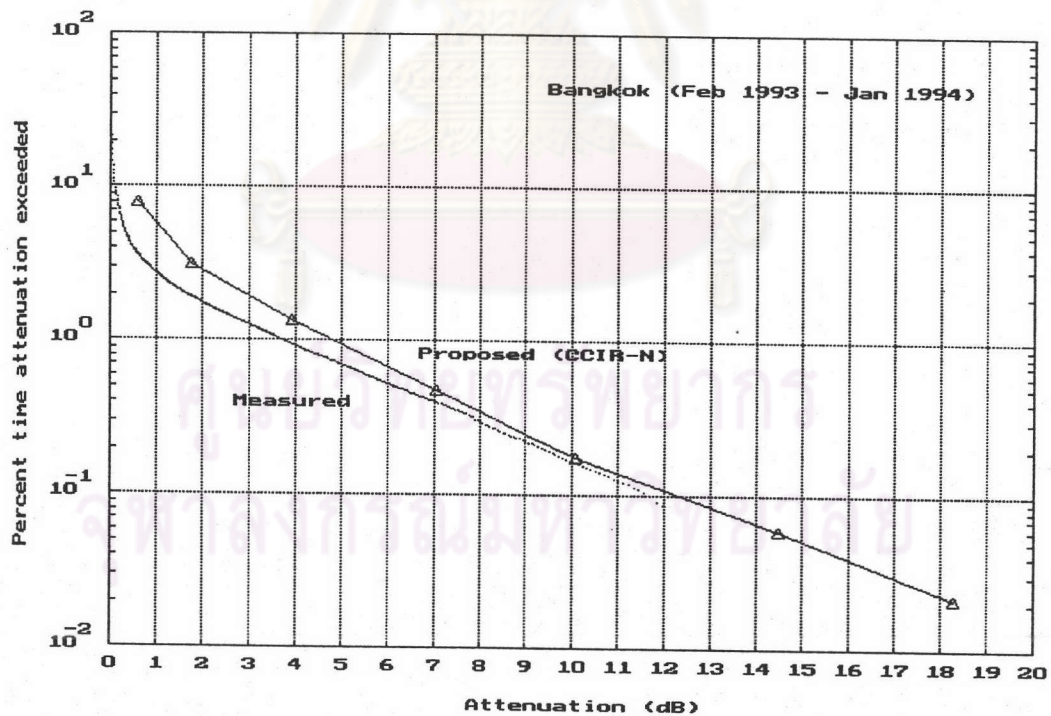
รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
กับที่ได้จากการวัด สำหรับบันดุง ( ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535 )



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ

( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด

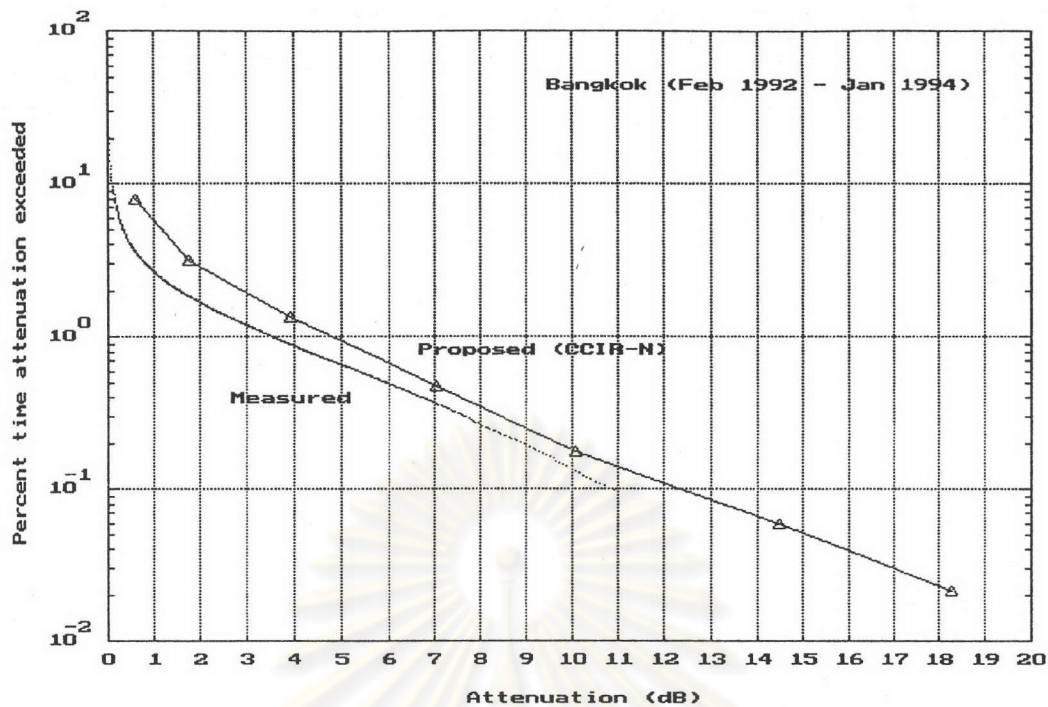
สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )



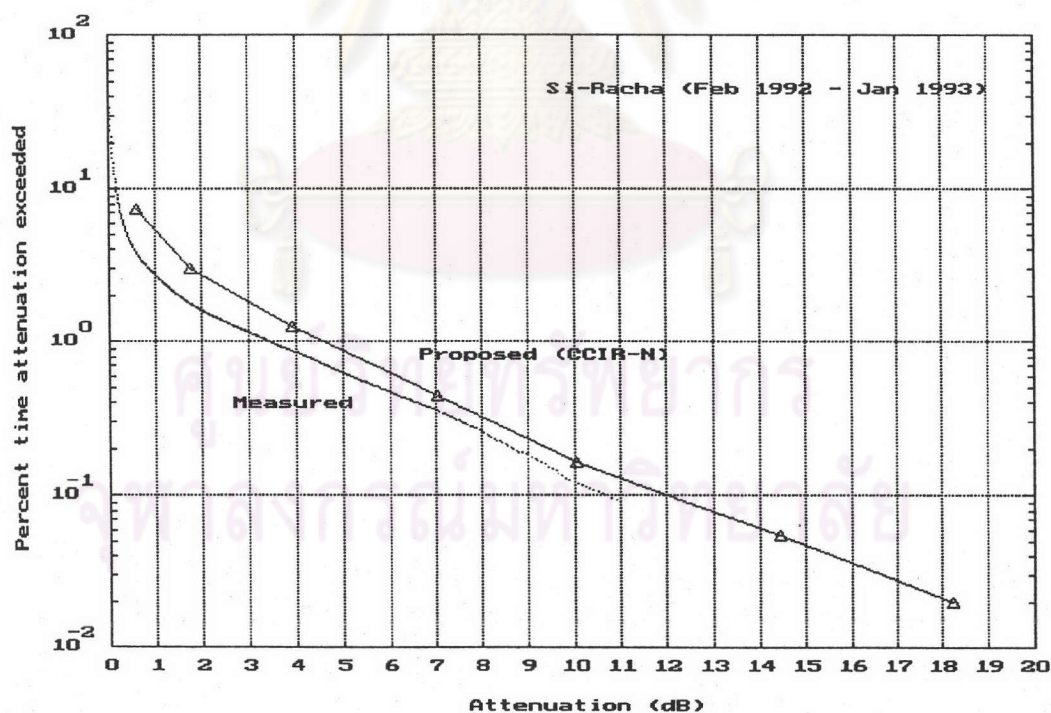
รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ

( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด

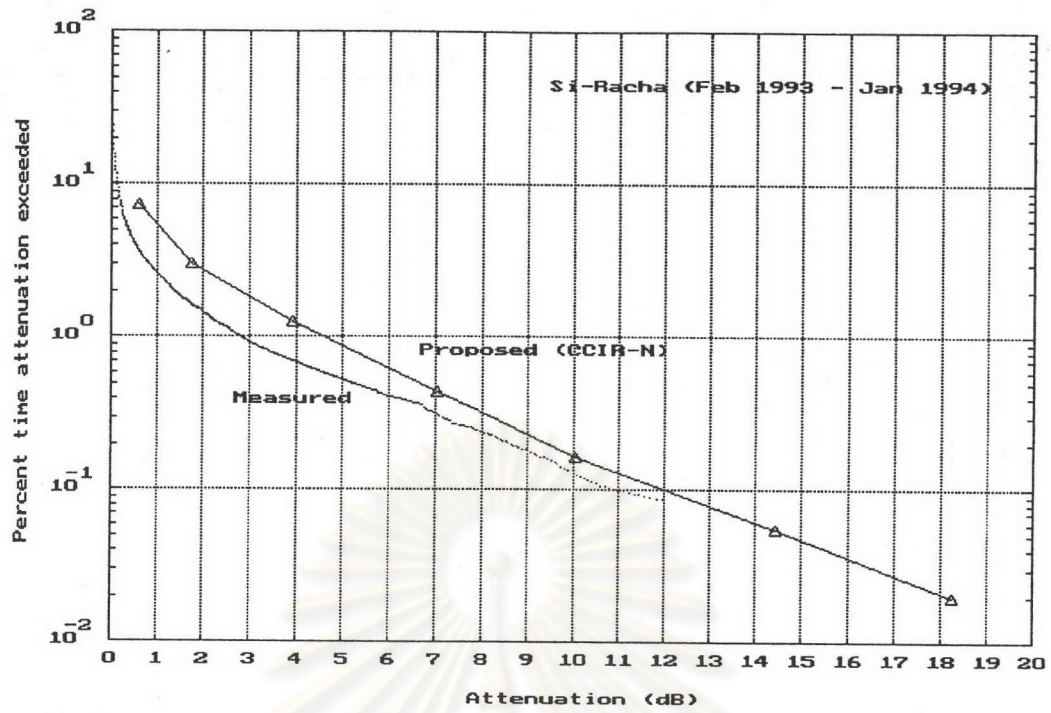
สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537 )



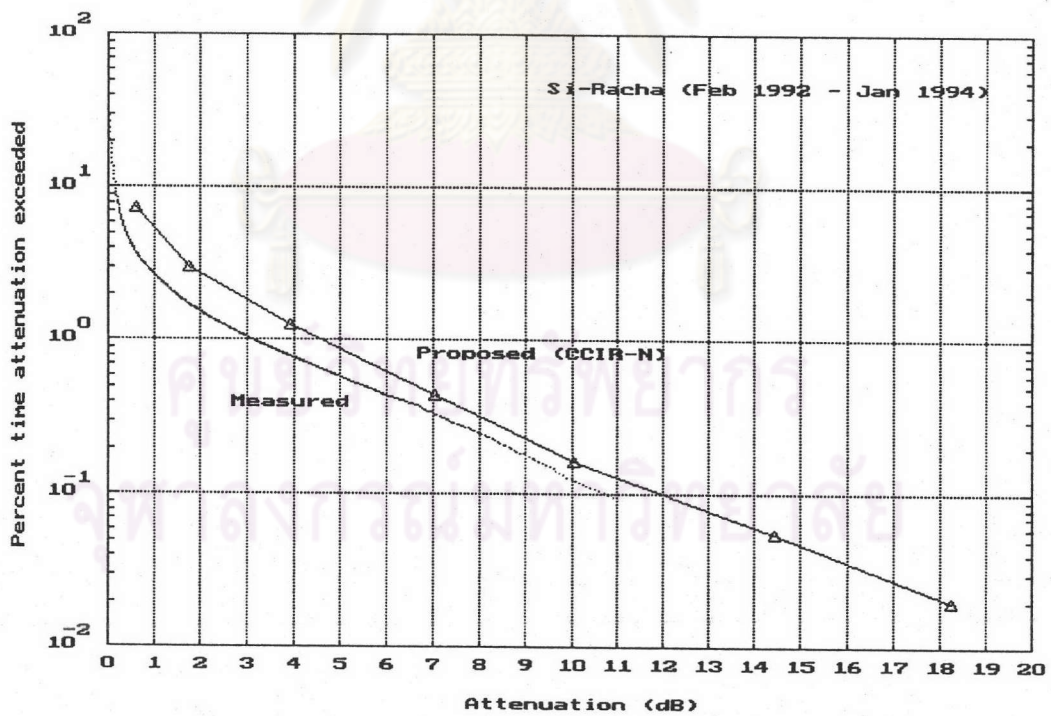
รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับกรุงเทพฯ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537 )



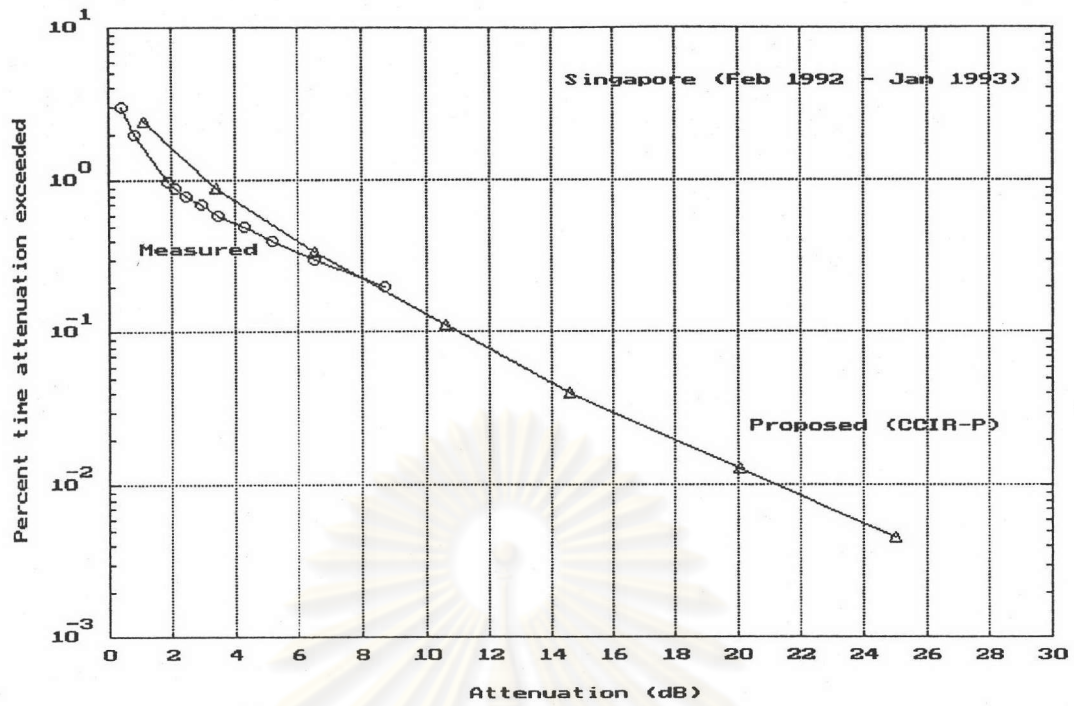
รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )



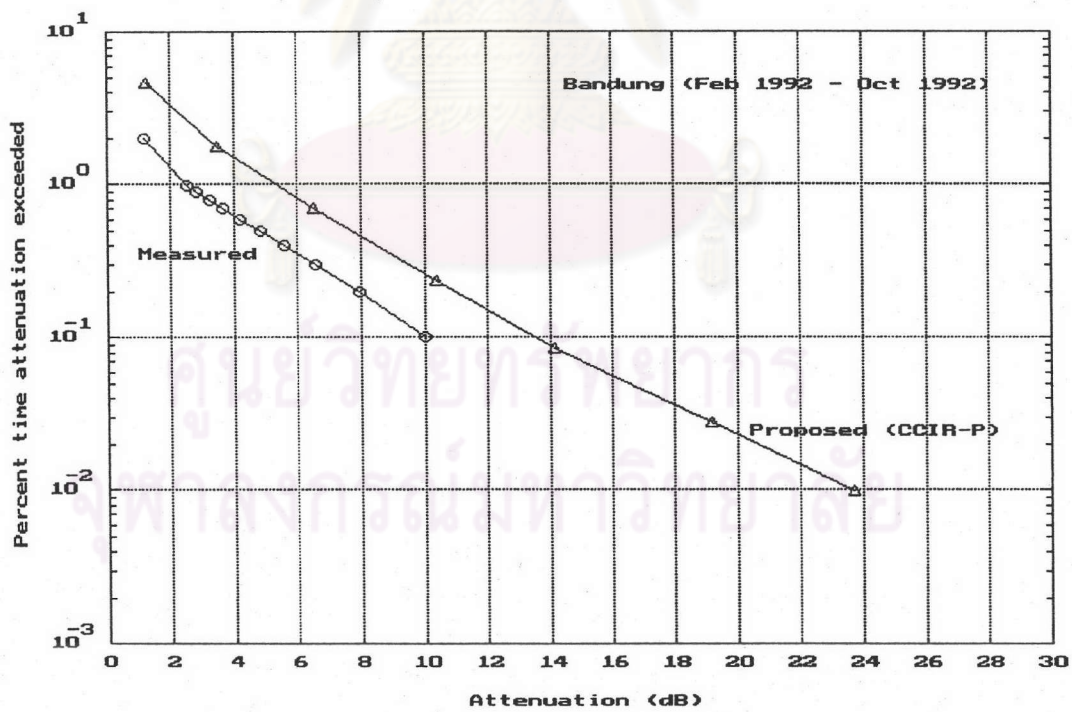
รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537 )



รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-N ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับศรีราชา ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537 )



รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-P ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับสิงคโปร์ ( ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536 )



รูปที่ 5.32 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธีที่เสนอ  
( ใช้การแจกแจงอัตราฝนตกของ CCIR-P ) กับที่ได้จากการวัด  
สำหรับบันดุง ( ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535 )