



บทที่ 4

การทำนายการลดทอนสัญญาณโดยวิธีต่างๆ

วิธีการทำนายการลดทอนสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนโดยวิธีต่างๆ ที่จะกล่าวถึงนี้ คือ CCIR (1992b), Global model (Crane, 1980) และ SAM (Stutzman และ Dishman, 1982)

การทำนายการลดทอนสัญญาณโดย CCIR

ขั้นตอนการคำนวณของ CCIR ที่นำมาแสดงนี้ได้จาก CCIR (1992b) ซึ่งได้ปรับปรุงเพิ่มเติมจากที่เคยเสนอไว้ใน CCIR (1990b) การทำนายนี้เป็นการประมาณสถิติระยะยาวของการลดทอนสัญญาณดาวเทียมจากฝน ณ จุดที่ต้องการ จนถึงความถี่ 30 GHz และใช้ค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

$R_{0.01}$ = อัตราฝนตกที่จุดวัดสัญญาณสำหรับ 0.01 % ของเวลาเฉลี่ย 1 ปี(mm/h)

h_S = ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ยของสถานีที่ตั้ง(km)

θ = มุมเงยของจันสายอากาศ(deg)

ϕ = ค่าสัมบูรณ์ของละติจูดของสถานีที่ตั้ง(deg)

f = ความถี่(GHz)

โดยอาศัยภาพทางเรขาคณิตของรูปที่ 4.1 ประกอบ

ขั้นที่ 1 คำนวณความสูงยังผล, h_R , ของฝน สำหรับค่าละติจูดของสถานี ϕ จาก

$$h_R = 3.0 + 0.028 \phi \quad \text{km}, \quad 0 \leq \phi < 36^\circ \quad (4.1ก)$$

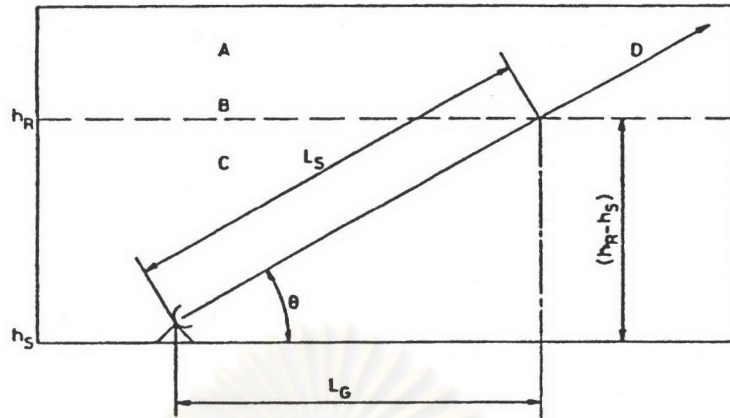
$$h_R = 4.0 - 0.075 (\phi - 36) \quad \text{km}, \quad \phi \geq 36^\circ \quad (4.1ข)$$

ขั้นที่ 2 ถ้า $\theta \geq 5^\circ$, คำนวณความยาวของเส้นทาง, L_S , ที่ต่ำกว่าความสูงของฝนจาก

$$L_S = (h_R - h_S) / \sin \theta \quad \text{km} \quad (4.2ก)$$

ถ้า $\theta < 5^\circ$, ให้คำนวณจาก

$$L_S = 2 (h_R - h_S) / ((\sin^2 \theta + 2 (h_R - h_S) / R_e)^{1/2} + \sin \theta) \quad \text{km} \quad (4.2ข)$$



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงเส้นทางการแพร่ของสัญญาณดาวเทียม และ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนโดย CCIR (CCIR, 1992b)

A : Frozen precipitation

B : Rain height

C : Liquid precipitation

D : Earth-space path

ขั้นที่ 3 คำนวณระยะทางในแนวราบ, L_G , ของความยาวเส้นทางจาก

$$L_G = L_s \cos \theta \quad \text{km} \quad (4.3)$$

ขั้นที่ 4 หาค่าอัตราฝนตก, $R_{0.01}$, ที่ถูกเกิน 0.01 % ของเวลาเฉลี่ย 1 ปี (ที่มีเวลาเฉลี่ยของเกจวัดเท่ากับ 1 นาที) ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลของบริเวณที่ตั้ง ค่าประมาณสามารถได้รับจากแผนที่ในรูปที่ 2.7 หรือ 2.8 (ที่ใช้ค่าในตารางที่ 2.3)

ขั้นที่ 5 คำนวณ reduction factor, $r_{0.01}$, สำหรับ 0.01 %

ถ้า $R_{0.01} \leq 100 \text{ mm/h}$

$$r_{0.01} = 1 / (1 + L_G / L_0) \quad (4.4)$$

โดยที่ $L_0 = 35 \exp(-0.015 R_{0.01})$

ถ้า $R_{0.01} > 100 \text{ mm/h}$ ให้ใช้ $R_{0.01}$ เท่ากับ 100 mm/h

ขั้นที่ 6 หาค่าการลดทอนเฉพาะ, γ_R , จากการใช้ค่า k และ α ที่ความถี่ที่ถูกต้องการ(โดยอาศัยสมการ (2.2) - (2.5) และตารางที่ 2.1) และค่าอัตราฝนตก, $R_{0.01}$, ที่ได้จากขั้นที่ 4 โดยการใช้

$$\gamma_R = k (R_{0.01})^\alpha \quad \text{dB/km} \quad (4.5)$$

ขั้นที่ 7 ค่าการลดทอนที่ถูกเกิน 0.01 % ของเวลาเฉลี่ย 1 ปี ได้รับจาก

$$A_{0.01} = \gamma_R L_S r_{0.01} \quad \text{dB} \quad (4.6)$$

ขั้นที่ 8 ค่าประมาณการลดทอนที่ถูกเกินสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์อื่นของเวลาเฉลี่ย 1 ปี ในช่วงจาก 0.001% ถึง 1.0% คำนวณจากค่าการลดทอนที่ถูกเกิน 0.01% ของเวลาเฉลี่ย 1 ปี โดยการใช้

$$A_p / A_{0.01} = 0.12 P^{-(0.546 + 0.043 \log P)} \quad (4.7)$$

สูตรการอินเทอร์โพลชันนี้ จะให้แฟคเตอร์ 0.12, 0.38, 1 และ 2.14 ที่ 1%, 0.1%, 0.01%, และ 0.001% ตามลำดับ

ขั้นที่ 9 ถ้าต้องการคำนวณค่า P จากค่า A_p อาจคำนวณได้โดยการจัดสมการ (4.7) ใหม่

$$P_R = 10^{11.628 (-0.546 + (0.298 + 0.172 \log (0.12 A_{0.01} / A_p))^{1/2})} \quad (4.8)$$

กับข้อบังคับที่ว่า $A_{0.01} / A_p \geq 0.15$

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณของแต่ละสถานี แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณได้ถูกเปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากการวัด ดังรูปที่ 4.2 - 4.9 และตารางที่ 6.1 - 6.8 ซึ่งจะพบว่า ที่ระดับสูงกว่าประมาณ 1% CCIR จะประมาณค่าการลดทอนมากขึ้นไป และที่ระดับต่ำกว่า จะประมาณค่าน้อยกว่า โดยของกรุงเทพฯ และศรีราชาจะน้อยกว่าในช่วงหนึ่ง และจะเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ระดับต่ำกว่าประมาณ 0.1%

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนสัญญาณ 12 GHz โดยวิธี CCIR

ค่าพารามิเตอร์	กรุงเทพฯ	ศรีราชา	สิงคโปร์	บันดุง
k	0.0188	0.0188	0.0184	0.0187
α	1.217	1.217	1.214	1.216
ϕ°	13.73°N	13.1°N	1.3°N	6.9°S
h_R (km)	3.38	3.37	3.04	3.19
h_S (km)	0.030	0.054	0.020	0.870
θ°	7.4	7.9	39.4	15.0

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนสัญญาณ 12 GHz โดยวิธี CCIR (ต่อ)

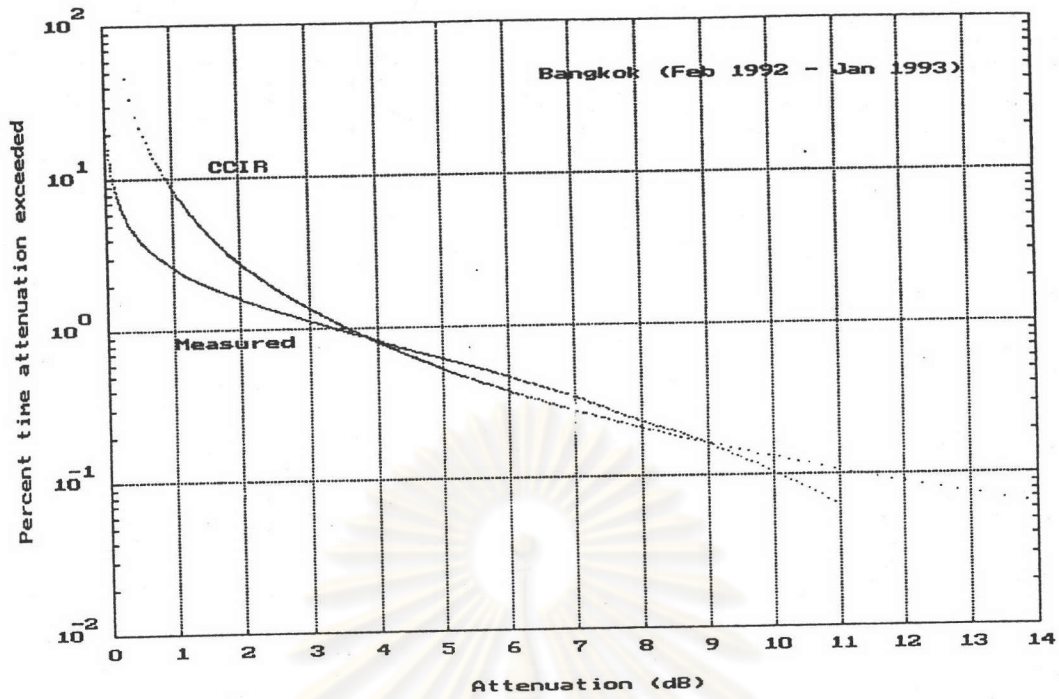
ค่าพารามิเตอร์	กรุงเทพฯ	ศรีราชา	สิงคโปร์	บันดุง
L_S (km)	26.1	24.1	4.2	9.0
$R_{0.01}$ (mm/h)	84.46 (ก.พ. 35 - ม.ค. 36)	87.94 (ก.พ. 35 - ม.ค. 36)	117.5	110.5
	88.11 (ก.พ. 36 - ม.ค. 37)	89.26 (ก.พ. 36 - ม.ค. 37)		
	86.52 (ก.พ. 35 - ม.ค. 37)	88.66 (ก.พ. 35 - ม.ค. 37)		

1. ข้อดีของวิธีการของ CCIR

- การใช้รูปแบบของเซลล์ฝนที่อัตราฝนตกสม่ำเสมอภายในเซลล์จนถึงระดับความสูงของฝน เพื่อใช้ในการหาความยาวเฉลี่ยของเส้นทางที่อยู่ภายในเซลล์ เป็นวิธีการที่สะดวก
- ค่าสถิติอัตราฝนตกที่ใช้ในการคำนวณ ใช้ค่าที่ 0.01% เท่านั้น ทำให้สะดวกและง่ายต่อการคำนวณ

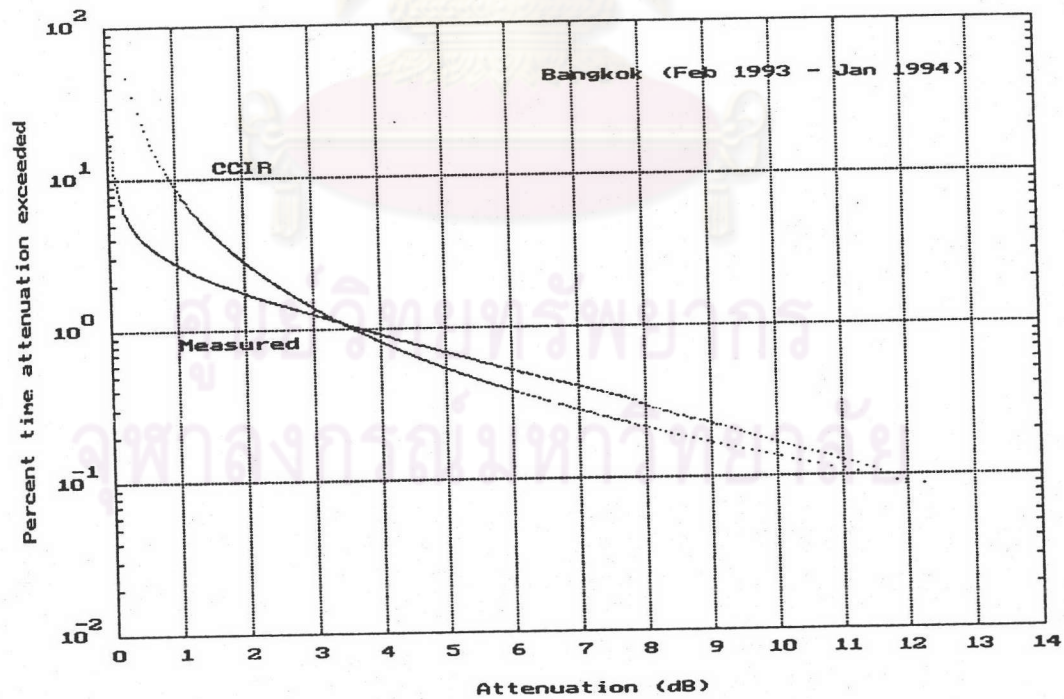
2. ข้อเสียของวิธีการของ CCIR

- ความสูงของฝน(h_R)ที่ใช้ในการคำนวณ เป็นความสูงของส่วนที่เป็นเม็ดฝนที่อยู่ใต้ก้อนเมฆลงมา แต่ในความเป็นจริง การคิดระดับความสูงควรใช้ความสูง 0°C isotherm เพราะเป็นระดับที่เริ่มมีการควบแน่นเป็นเม็ดฝนที่มีผลต่อการลดทอนสัญญาณด้วย
- ความยาวคุณลักษณะสมบัติ(characteristic length(L_0))ของเซลล์ฝน สำหรับอัตราฝนตก 0.01% ได้ถูกกำหนดให้ใช้รูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ($L_0 = a \exp(-b R_{0.01})$) ; a, b เป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่ และเท่ากับ 35, 0.015 ตามลำดับ) และค่าพารามิเตอร์ a, b ที่ใช้นั้น ได้จากฐานข้อมูลที่ได้จากการวัดในย่านภูมิอากาศแบบ Temperate เป็นส่วนใหญ่ (120 links) และบางส่วนในย่านภูมิอากาศแบบ Tropical (3 links ในตอนเหนือของออสเตรเลีย และ 1 link ในสิงคโปร์) ดังนั้นการใช้ค่า a, b ดังกล่าวสำหรับประเทศไทยอาจผิดพลาดได้
- อัตราส่วนของค่าการลดทอนสัญญาณที่ P% ต่อค่าที่ 0.01% ที่กำหนดไว้ นั้น จะใช้ได้ในทุกกรณีทั่วไป แต่ในบางสถานที่อาจไม่สามารถใช้ได้



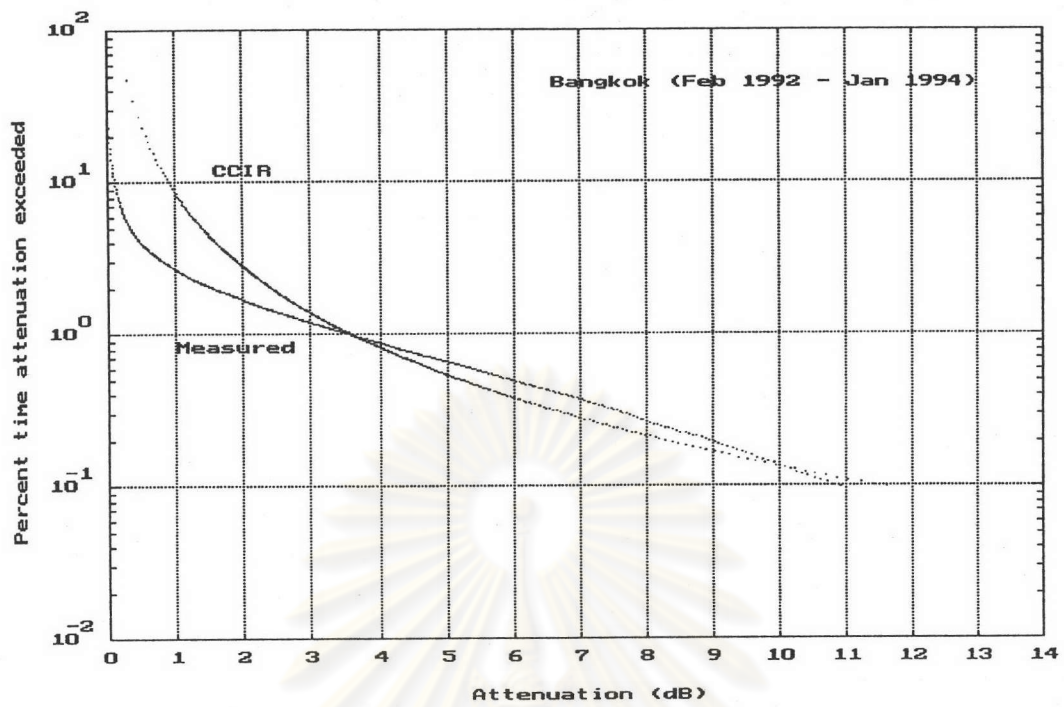
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

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



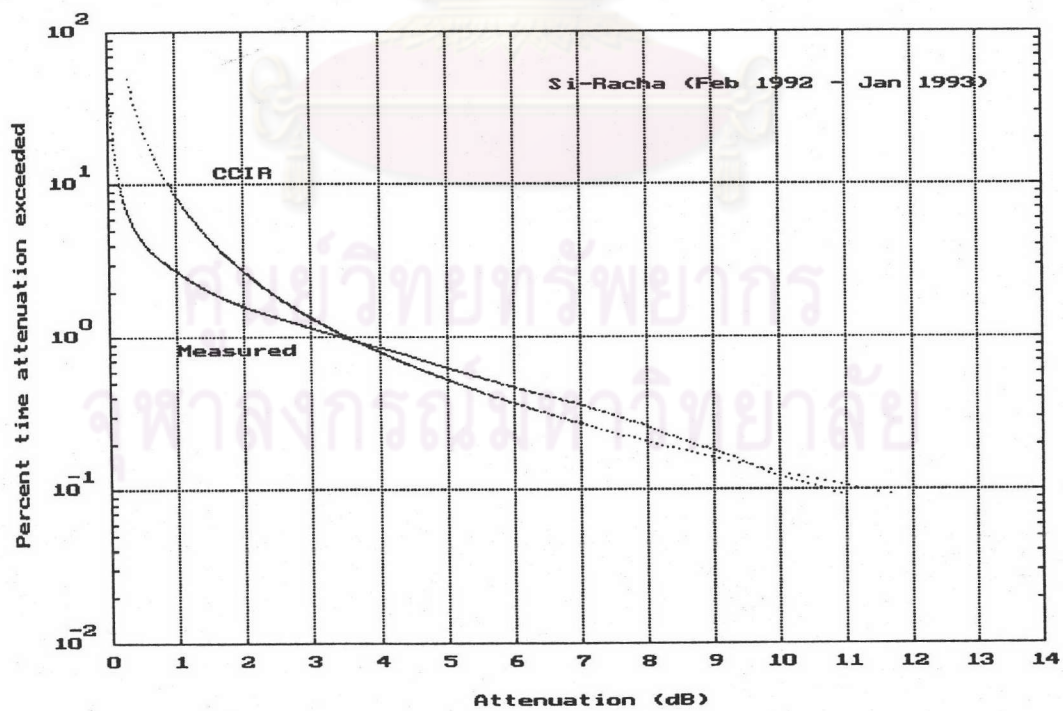
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

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



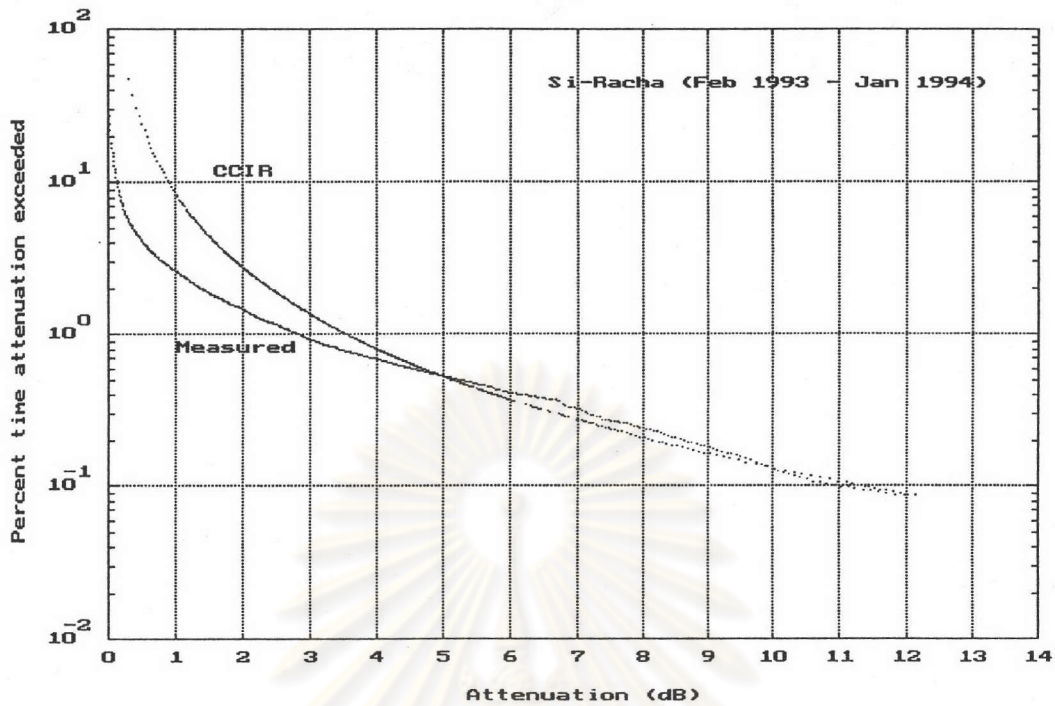
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537)



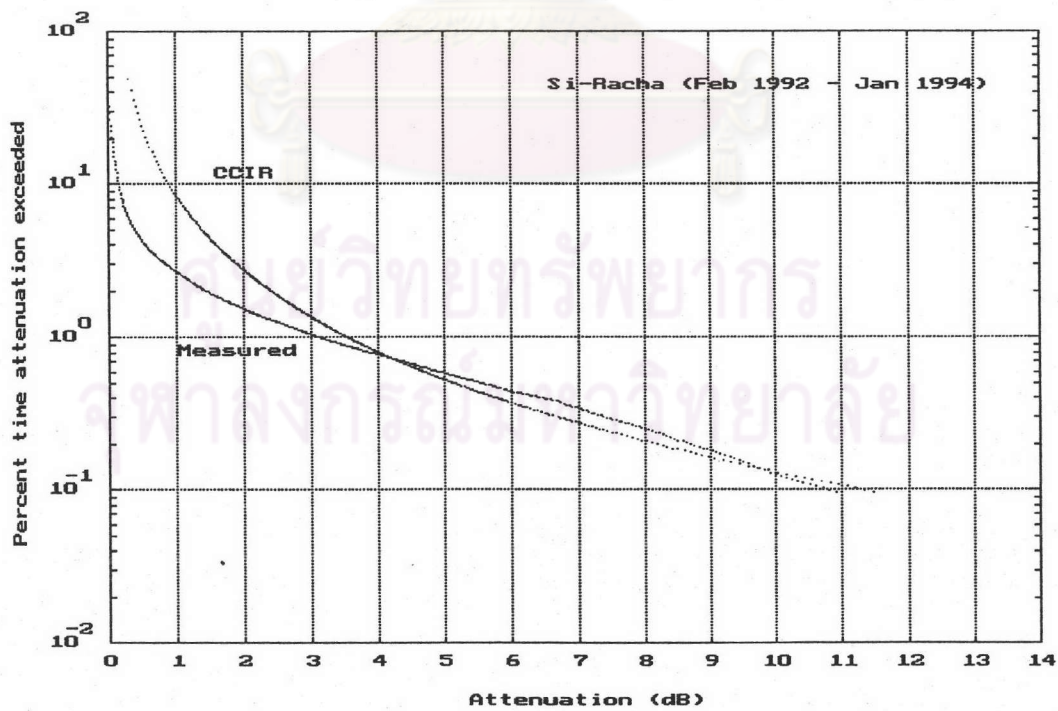
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)



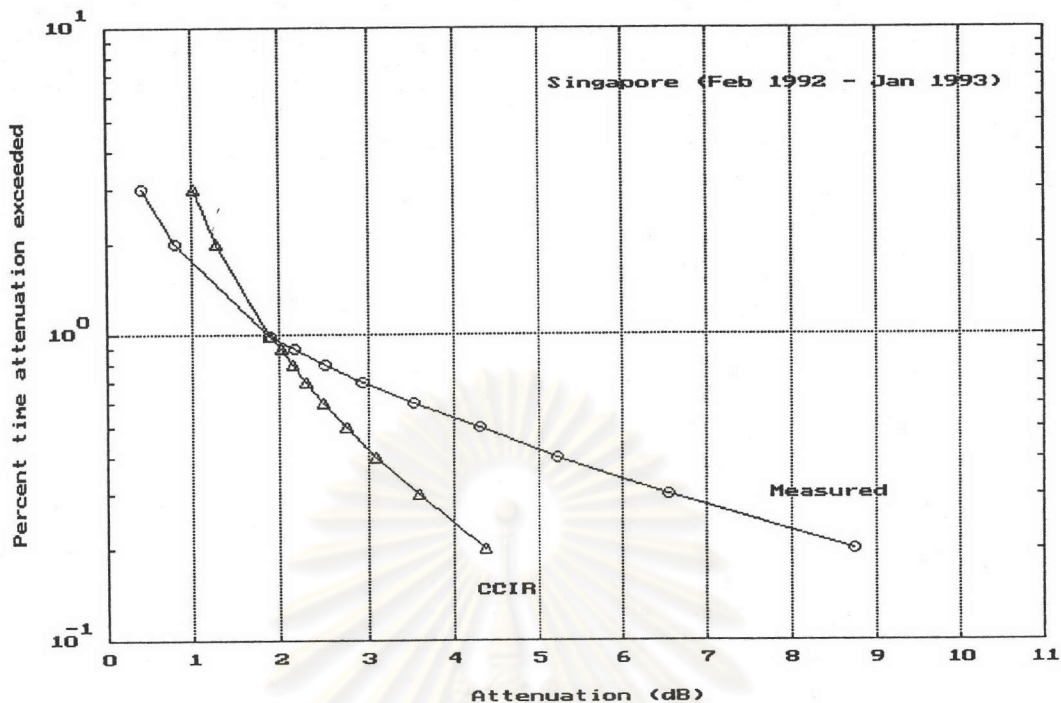
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537)

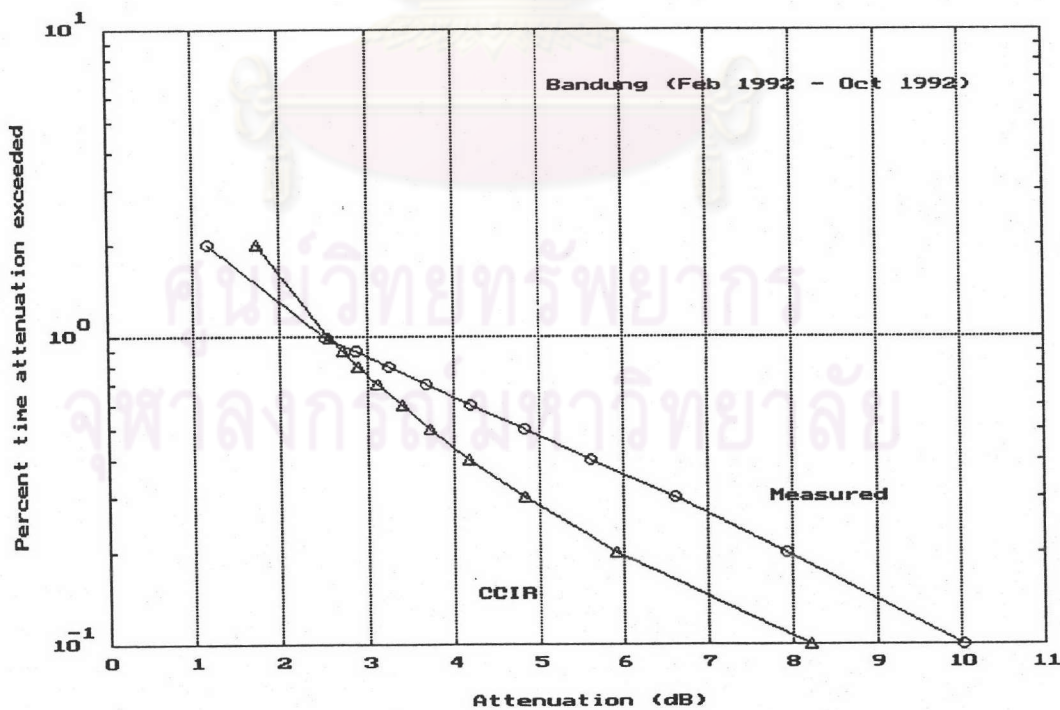


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR

กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537)



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR กับที่ได้จากการวัด สำหรับสิงคโปร์ (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)

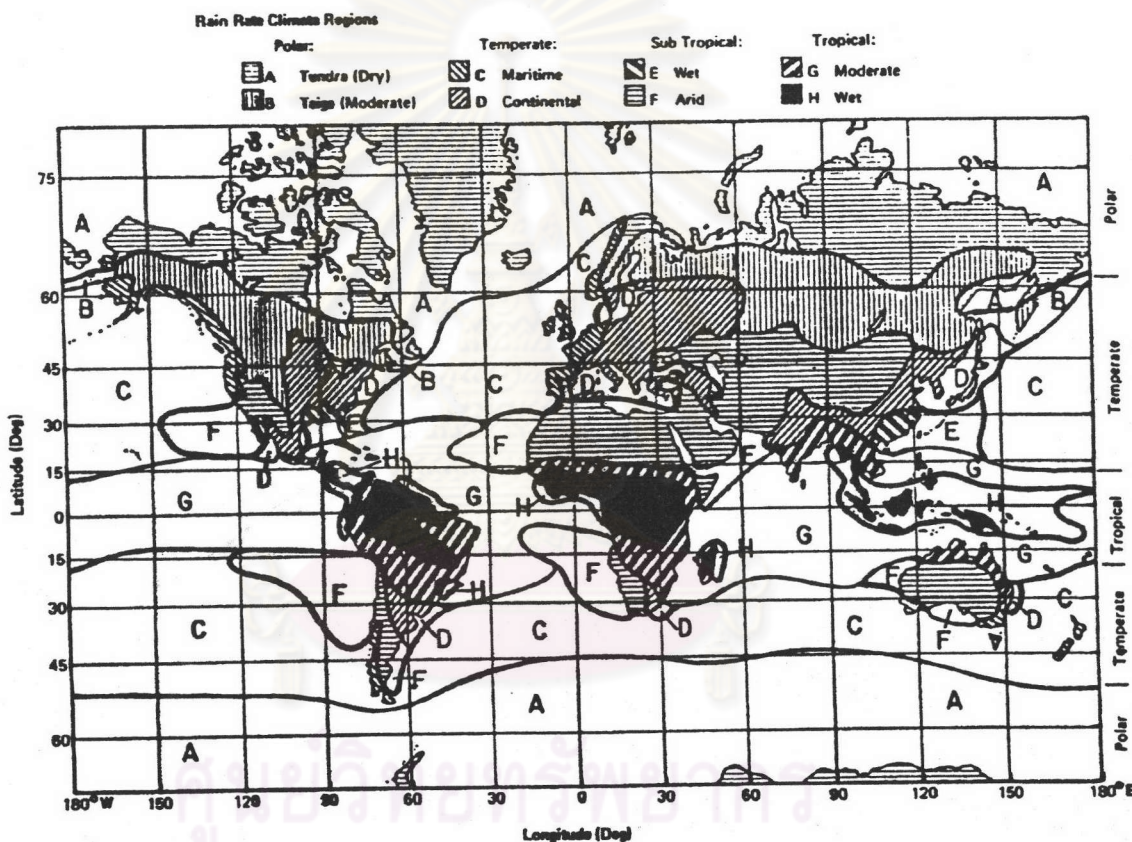


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี CCIR กับที่ได้จากการวัด สำหรับบันดุง (ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535)

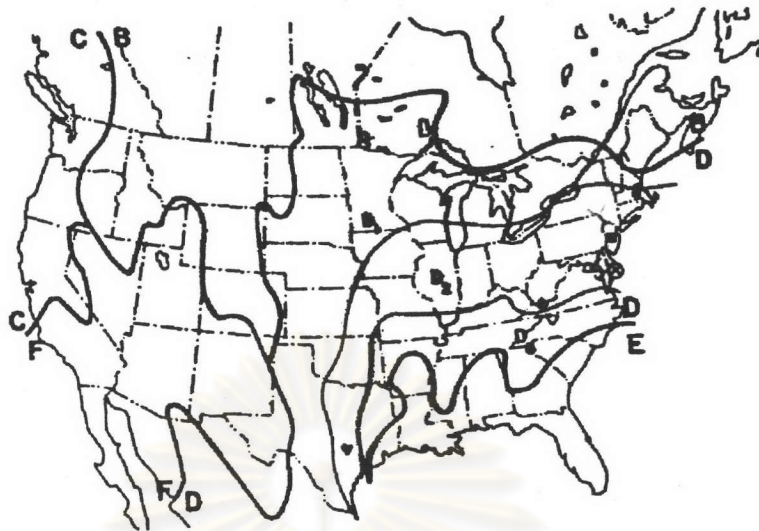
การทำนายการลดทอนสัญญาณโดย Global model

Crane (1980) ได้เสนอขั้นตอนการคำนวณของ Global model ไว้ดังนี้

ขั้นที่ 1 หาค่าการแจกแจงอัตราฝนตก(Rp)ของสถานีที่ตั้ง ด้วยการห่าย่านภูมิอากาศของสถานี จากรูปที่ 4.10, 4.11 และใช้ค่าการแจกแจงจากตารางที่ 4.2 หรือใช้ค่าการแจกแจงที่ได้จากการวัดโดยตรง



รูปที่ 4.10 แผนที่แสดงย่านภูมิอากาศของฝน (Crane, 1980)



LOCATIONS USED FOR SLANT PATH MEASUREMENTS

- WALTHAM, MASS.
- HOLMDEL, N.J.
- ▲ GREENBELT, MD.
- △ CLARKSBURG, MD.
- ◆ BLACKSBURG, VA.
- ▽ ROSMAM, N.C.
- ⊙ WALLOPS ISLAND, VA.
- ▼ AUSTIN, TEX.

รูปที่ 4.11 แผนที่แสดงย่านภูมิอากาศของฝนในสหรัฐอเมริกา (Crane, 1980)

ตารางที่ 4.2 ค่าการแจกแจงอัตราฝนตก(mm/h) (Crane, 1980)

เปอร์เซ็นต์ ของปี	ย่านภูมิอากาศของฝน									
	A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	129	251
0.002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220
0.005	19	26	41	50	64	81	117	34	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0.05	8.0	9.5	11	16	22	31	52	8.0	33	77
0.1	5.5	6.8	7.2	11	15	22	35	5.5	22	51
0.2	4.0	4.8	4.8	7.5	9.5	14	21	3.2	14	31
0.5	2.5	2.7	2.8	4.0	5.2	7.0	8.5	1.2	7.0	13
1.0	1.7	1.8	1.9	2.2	3.0	4.0	4.0	0.8	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.8	2.5	2.0	0.4	1.6	2.8

ขั้นที่ 2 หาความยาวเส้นทางที่ถูกฉายลงบนผิวโลก(D) จาก

$$D = (H(P) - H_0) / \tan \theta \quad ; \quad \theta \geq 10^\circ \quad (4.9ก)$$

$$D = E \psi \quad ; \quad \theta < 10^\circ \quad (4.9ข)$$

โดยที่ $\psi = \sin^{-1}[(\cos \theta) \{((H_0+E)^2 \sin^2 \theta + 2E(H-H_0) + H^2 - H_0^2)^{1/2} - (H_0+E) \sin \theta\} / (H+E)]$ rad

θ = มุมเงยของงานสายอากาศ(deg)

H_0 = ความสูงของสถานีจากระดับน้ำทะเล(km)

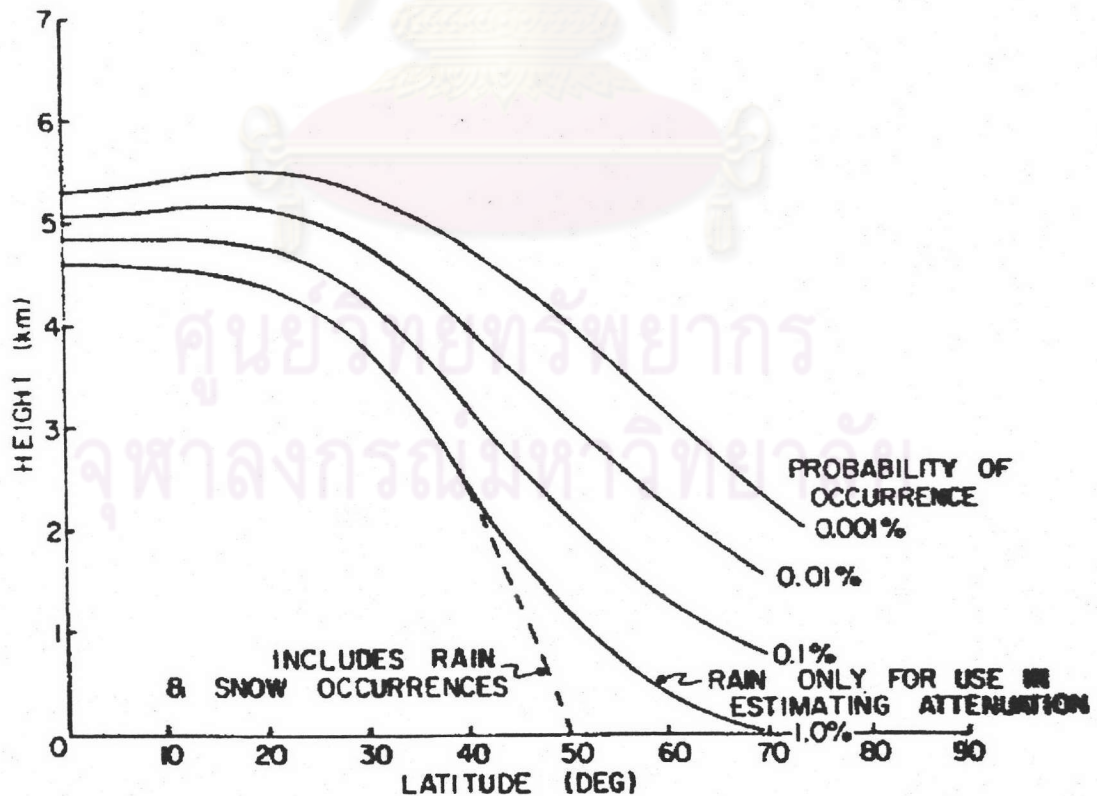
$H(P)$ = ความสูงของฝน(km)ที่ได้จากการอินเทอร์โพลเท จากรูปที่ 4.12 โดยใช้ความสัมพันธ์

$H(P) = a + b \log P$ เมื่อ P คือระดับเปอร์เซ็นต์ของความชื้นเป็นไปได้อันคงที่

E = รัศมีของโลก = 8500 km

ถ้า $D > 22.5$ km ให้ใช้ค่า $D_0 = 22.5$ km และใช้ค่าอัตราฝนตกค่าใหม่($R_{P'}$) ที่ระดับความชื้นเป็นไปได้อันคงที่ใหม่(P') สำหรับการคำนวณในขั้นถัดไป

$$P' = P(D_0 / D) \quad (4.10)$$



รูปที่ 4.12 ความสูง 0°C isotherm (Crane, 1980)

ขั้นที่ 3 หาค่า k และ α ที่ความถี่ที่ต้องการ จากสมการ (2.2) - (2.5) และตารางที่ 2.1

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าการลดทอนที่ถูกขยายลงบนผิวโลก(A) จากค่า R_p และ D (หรือ R_p' และ D_0) เมื่อ R_p เป็นค่าอัตราฝนตกที่ได้รับจากการแจกแจงอัตราฝนตกสำหรับระดับความเป็นไปได้(P)ที่กำลังสนใจ

$$A(R_p, D) = kR_p^\alpha \left[\frac{(\exp(u\alpha d) - 1)}{u\alpha} - (b\alpha \exp(c\alpha d) / (c\alpha)) + (b\alpha \exp(c\alpha D) / (c\alpha)) \right] \quad ; \quad d \leq D \leq D_0 \quad (4.11)$$

$$A(R_p, D) = kR_p^\alpha \left[\frac{(\exp(u\alpha D) - 1)}{u\alpha} \right] \quad ; \quad D < d \quad (4.12)$$

$$A(R_p, D) = (H(P) - H_0)kR_p^\alpha \quad ; \quad D = 0 \quad (\theta = 90^\circ) \quad (4.13)$$

$$\text{โดยที่} \quad u = \ln[b \exp(cd)] / d$$

$$b = 2.3 R_p^{-0.17}$$

$$c = 0.026 - 0.03 \ln R_p$$

$$\text{และ} \quad d = 3.8 - 0.6 \ln R_p$$

ขั้นที่ 5 ปรับค่าการลดทอนที่ถูกขยายลงบนผิวโลก(A) เป็นค่าการลดทอนตามเส้นทางของสัญญาณดาวเทียม(A_S)

โดยการสมมติว่า ค่าการลดทอนเฉพาะที่ระดับต่ำกว่าความสูง H จะคงที่สม่ำเสมอ

$$A_S = L A(R_p, D) / D \quad (4.14)$$

$$\text{โดยที่} \quad L = D / \cos \theta \quad ; \quad \theta \geq 10^\circ$$

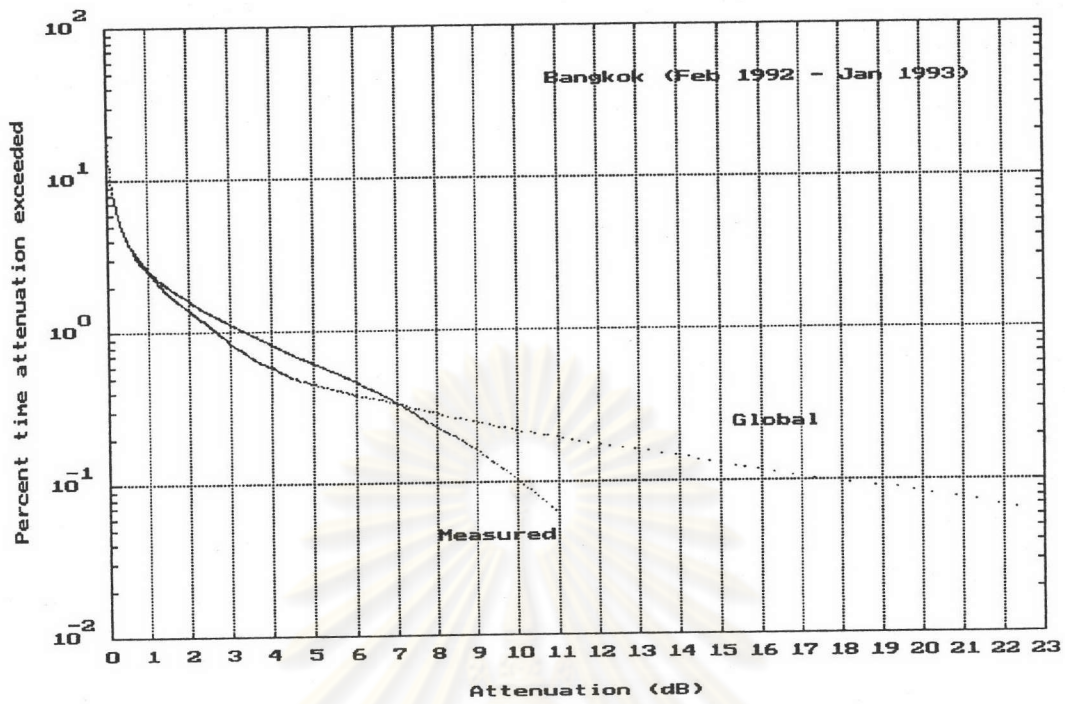
$$L = \left[\frac{(E+H_0)^2 + (E+H)^2 - 2(E+H_0)(E+H)\cos \psi}{2} \right]^{1/2} \quad ; \quad \theta < 10^\circ$$

ค่า P และ $H(P)$ ในขั้นที่ 2 ที่ได้จากรูปที่ 4.12 รวมทั้งค่าคงที่ a , b สำหรับแต่ละสถานี ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และเนื่องจากกรุงเทพฯ และศรีราชา มีค่าละติจูดใกล้เคียงกัน จึงใช้ค่า $H(P)$, P , a , b เป็นค่าเดียวกัน ผลการคำนวณได้ถูกเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติที่ได้จากการวัด ดังรูปที่ 4.13 - 4.20 และ ตารางที่ 6.1 - 6.8 ซึ่งจะพบว่า สำหรับกรุงเทพฯ และศรีราชานั้น ที่ระดับสูงกว่าประมาณ 0.3 - 0.4 % จะประมาณค่าการลดทอนน้อยกว่า แต่ที่ระดับที่ต่ำกว่า จะประมาณค่าการลดทอนมากเกินไปอย่างชัดเจน ส่วนที่สิงคโปร์และบันดุง จะประมาณค่าได้ใกล้เคียงในระดับที่สูงกว่าประมาณ 0.5 % ขณะที่ระดับที่ต่ำกว่าจะประมาณค่ามากเกินไป

ตารางที่ 4.3 ค่า P, H(P) และ ค่าคงที่ a, b สำหรับแต่ละสถานี

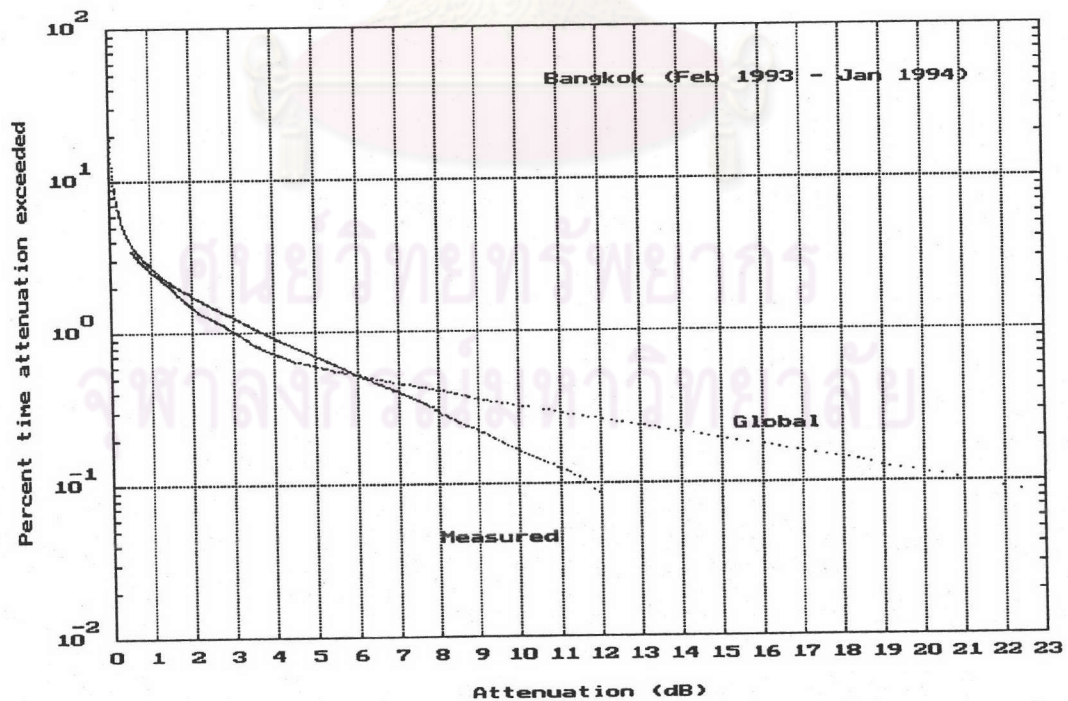
P ,%	H(P) ,km		
	กรุงเทพฯ, ศรีราชา	สิงคโปร์	บันดุง
1	4.53	4.59	4.56
0.1	4.82	4.82	4.82
0.01	5.12	5.06	5.09
0.001	5.41	5.29	5.35
a	4.529	4.589	4.559
b	-0.294	-0.234	-0.264

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



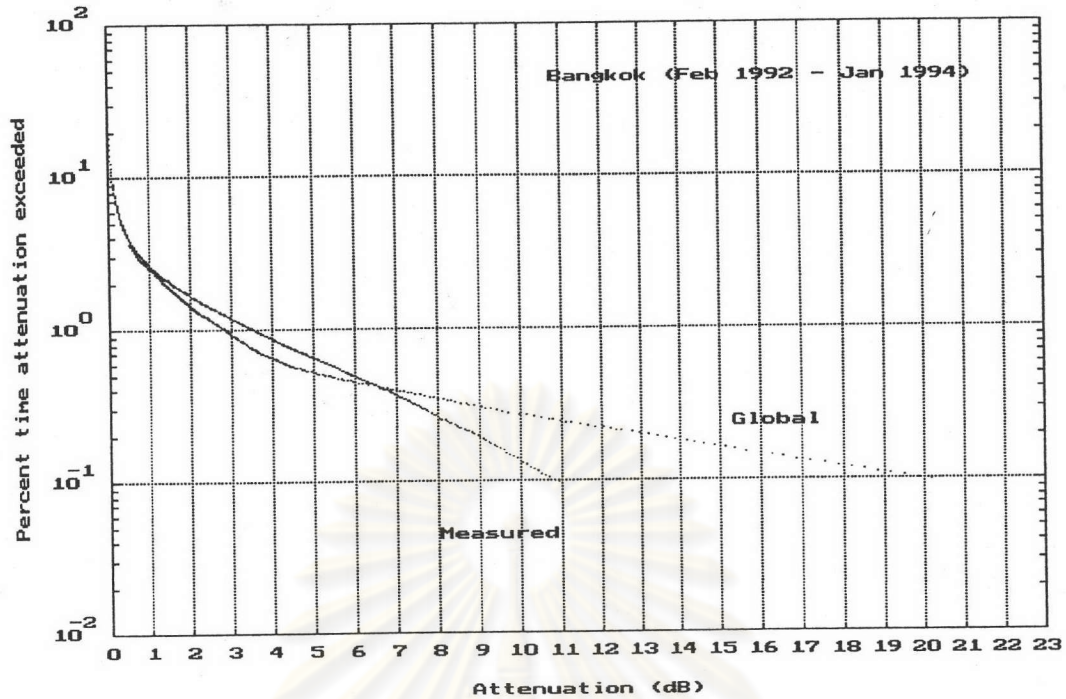
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model

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

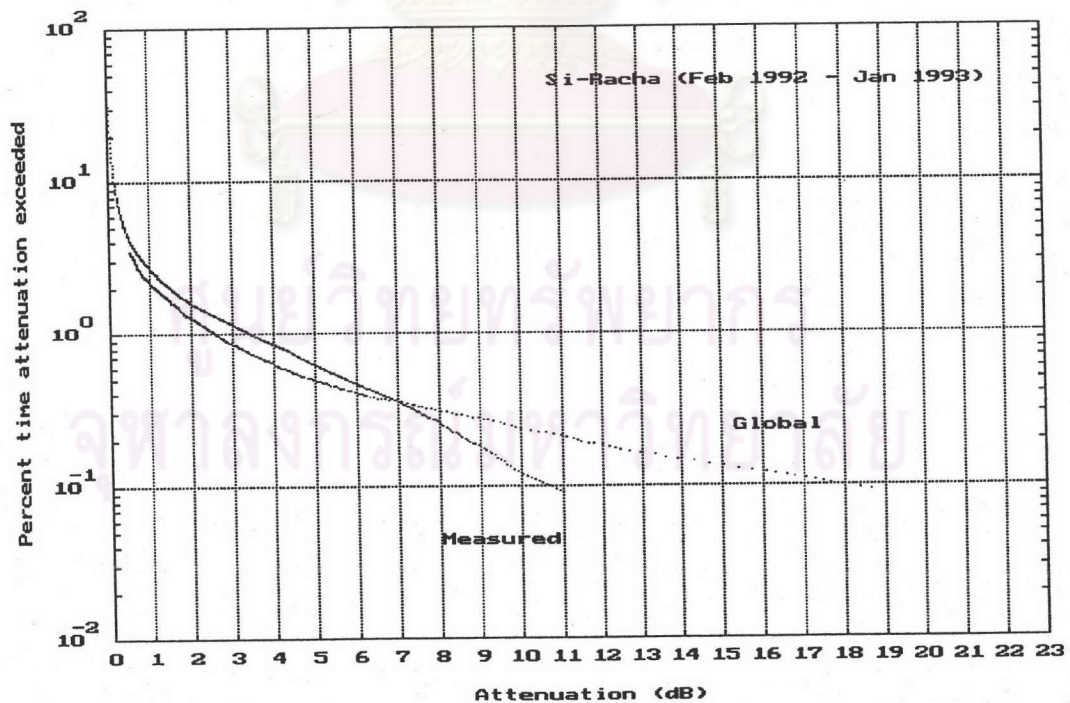


รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model

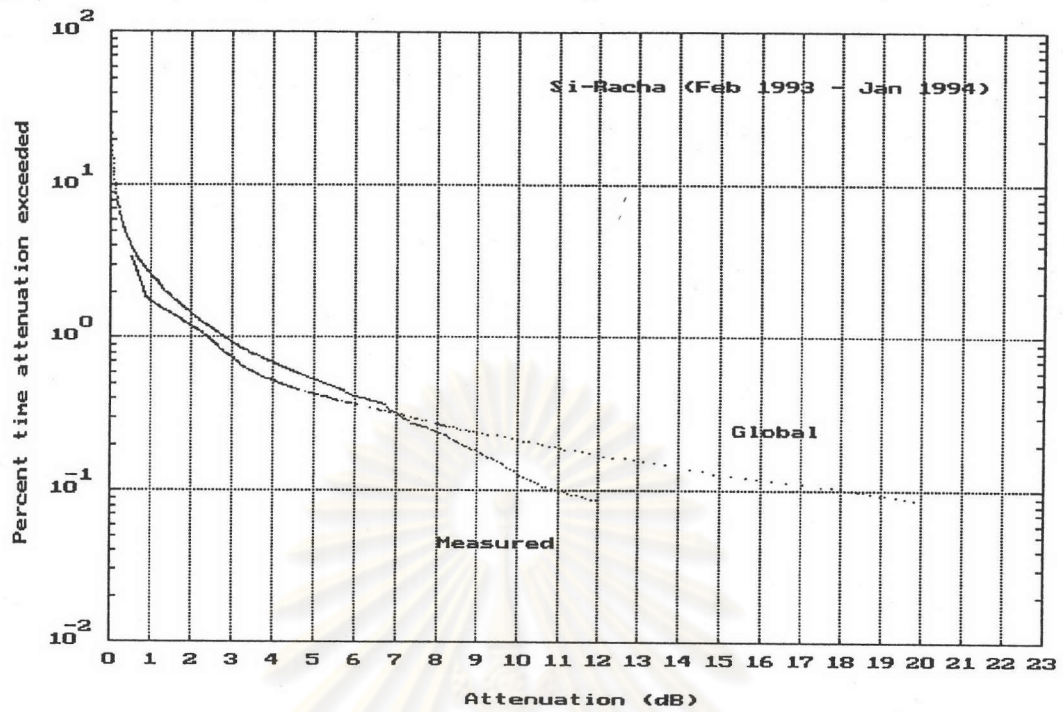
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537)



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537)

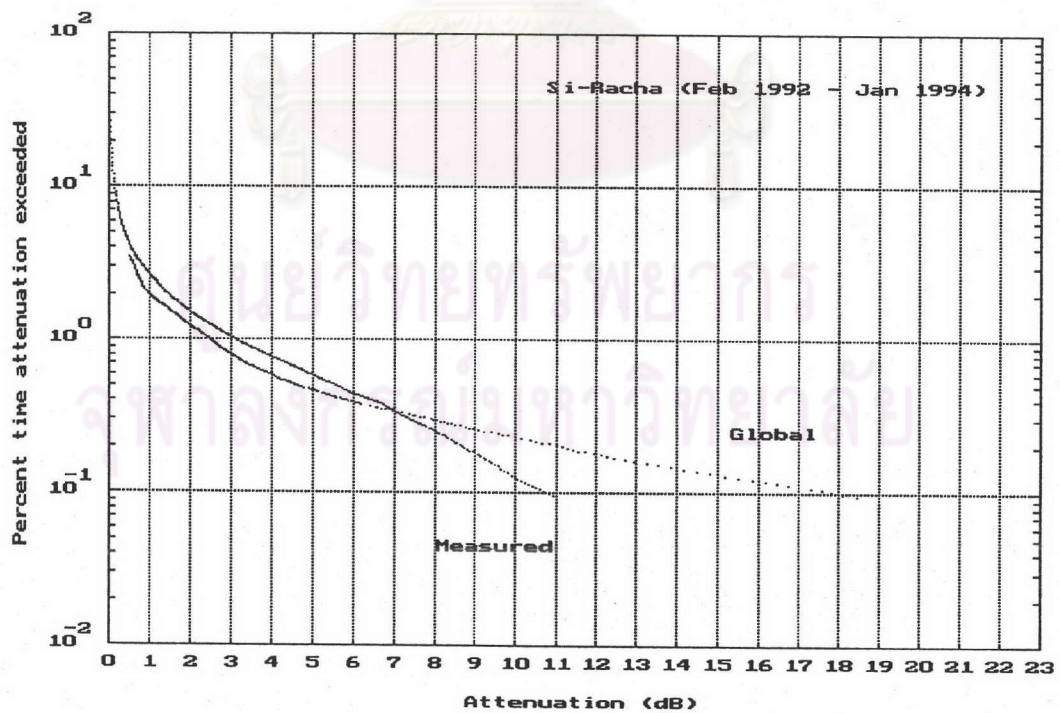


รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)



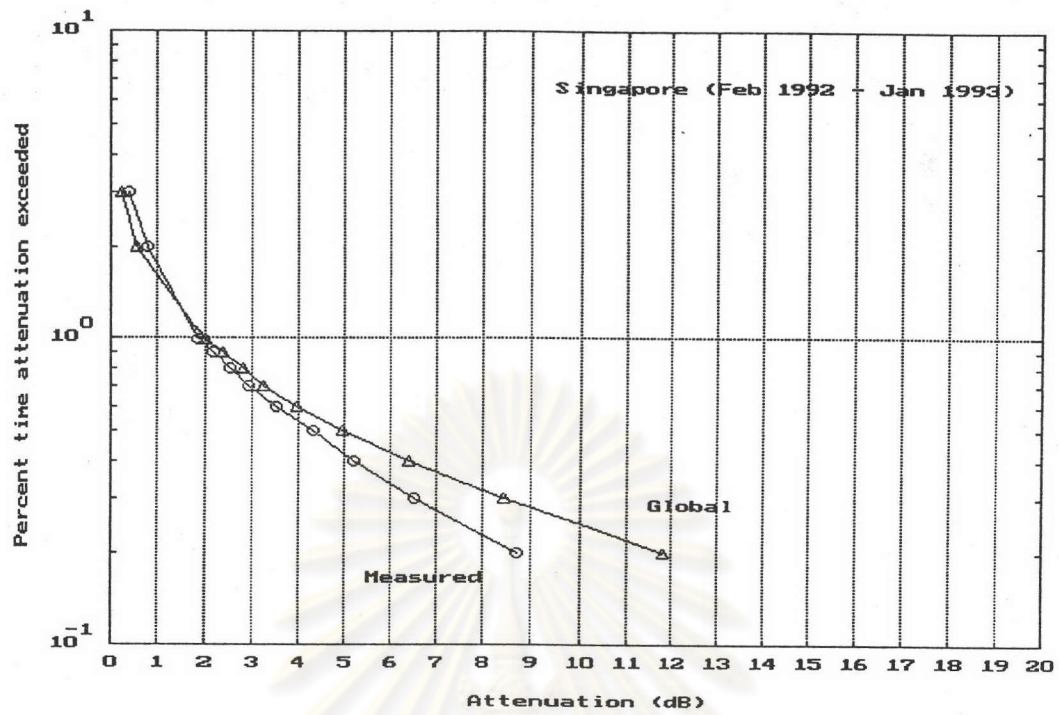
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model

กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2536 - ม.ค. 2537)

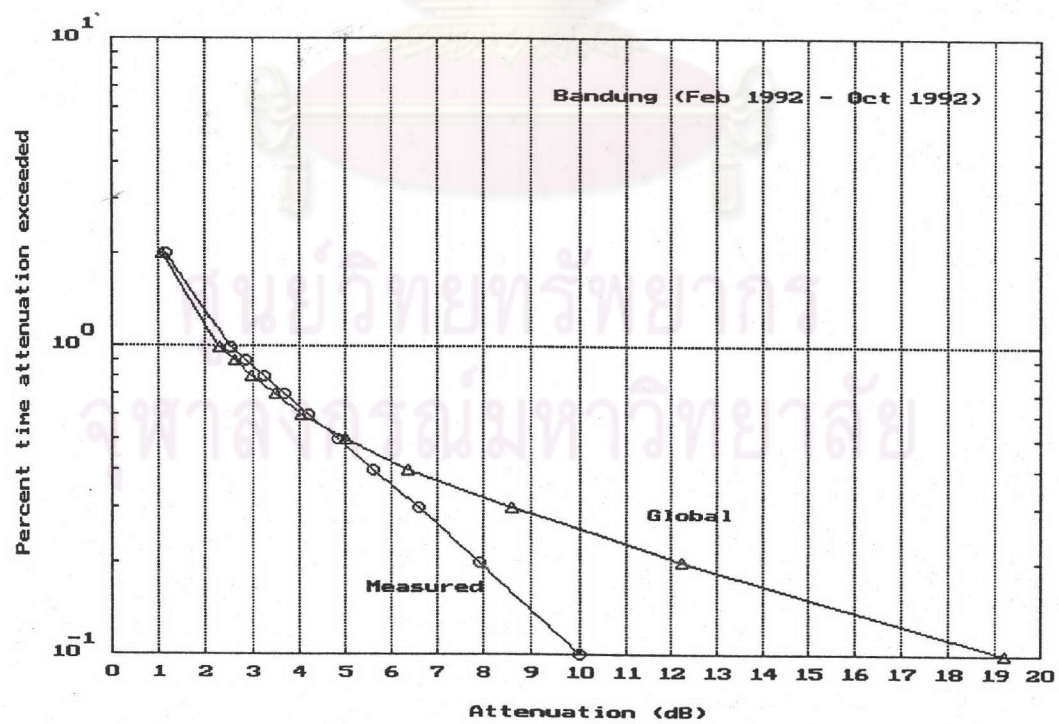


รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model

กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2537)



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model กับที่ได้จากการวัด สำหรับสิงคโปร์ (ก.พ. 2535 - ม.ค. 2536)



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี Global model กับที่ได้จากการวัด สำหรับบันดุง (ก.พ. 2535 - ต.ค. 2535)

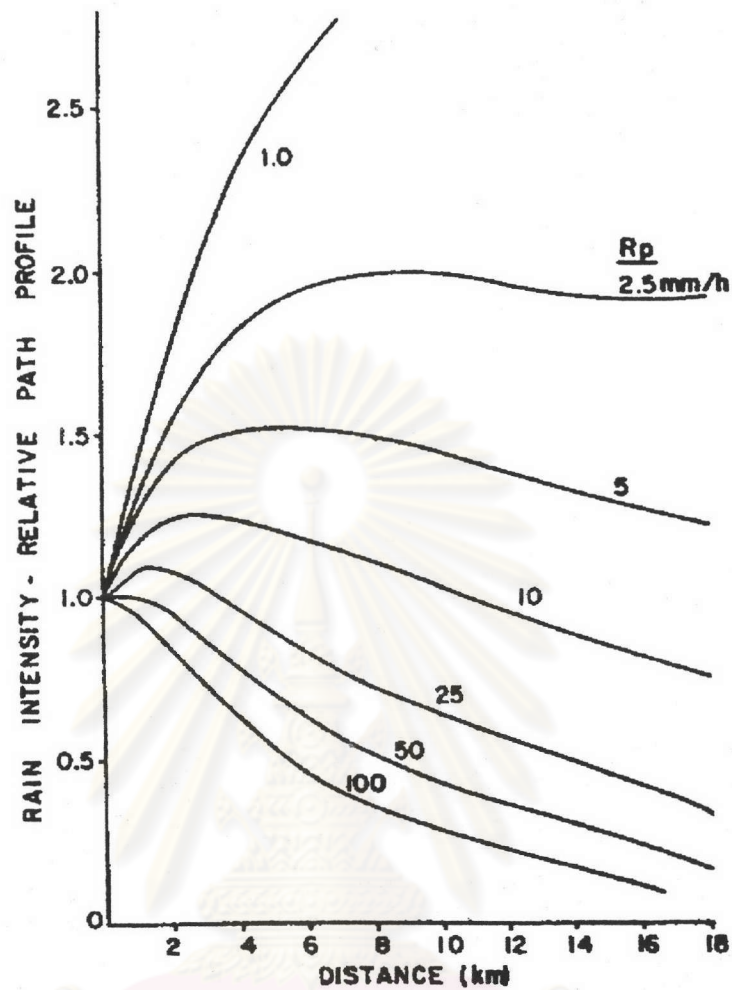
1. ข้อดีของ Global model

- การใช้ข้อมูลจากเกจวัดที่วางเป็นแนวตามเส้นทางในแนวราบ สำหรับใช้ในการหาการกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทางแนวราบ เป็นวิธีการที่ดี
- การใช้ความสัมพันธ์ตามกฎการยกกำลังระหว่างแฟคเตอร์เฉลี่ยตามเส้นทางแนวราบ(r) และอัตราฝนตกที่จุดทำการวัด(R_p) [$r = \gamma(D) R_p^{\delta(D)}$; $\gamma(D)$, $\delta(D)$ เป็นพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับระยะทางในแนวราบ(D)] ทำให้สามารถเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการใช้อัตราฝนตกเฉลี่ยตามเส้นทางแนวราบ(R_{avg}) ในความสัมพันธ์ของการลดทอนเฉพาะ เนื่องจากผลของตัวยกกำลัง α

2. ข้อเสียของ Global model

- เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราฝนตกที่จุดทำการวัด(R_p) และอัตราฝนตกเฉลี่ยตามเส้นทางแนวราบ(R_{avg}) [$R_{avg} = rR_p$] ได้จากการหาความสัมพันธ์ตามกฎการยกกำลังระหว่างแฟคเตอร์เฉลี่ยตามเส้นทางแนวราบ(r) และอัตราฝนตกที่จุดทำการวัด(R_p) โดยวิธี empirical และข้อมูลที่ใช้หาความสัมพันธ์ตามกฎการยกกำลังนี้ เป็นข้อมูลจากเกจวัดที่วางไว้ในรัฐฟลอริดาและนิวเจอร์ซีย์ของสหรัฐฯ, เยอรมันตะวันตก และ อังกฤษ เท่านั้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง R_p และ R_{avg} อาจไม่สามารถใช้ได้กับย่านภูมิอากาศในประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียงได้(ย่าน H, G)
- จากความสัมพันธ์ระหว่าง R_p และ R_{avg} ที่ได้รับนั้น ทำให้ต้องใช้รูปแบบการกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทางแนวราบที่เป็น piecewise exponential ดังรูปที่ 4.21 และทำให้การคำนวณยุ่งยากเกินความจำเป็น
- การใช้ระดับความเป็นไปได้ เป็นตัวแปรในการกำหนดความสูง 0°C isotherm เป็นการไม่เหมาะสม สำหรับการนำมาใช้ในประเทศไทย ดังเช่นที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 การกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทางแนวราบ (Crane, 1980)

การทำนายการลดทอนสัญญาณโดย SAM

Stutzman และ Dishman (1982) ได้เสนอขั้นตอนการคำนวณไว้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ความสูงยังผลของฝน(H_e) ถูกกำหนดโดย

$$H_e = H_i \quad \text{km} \quad ; \quad R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (4.15ก)$$

$$H_e = H_i + \log (R / 10) \quad \text{km} \quad ; \quad R > 10 \text{ mm/h} \quad (4.15ข)$$

เมื่อ R เป็นอัตราฝนตก ณ จุดทำการวัด(mm/h)

และ H_i เป็นความสูง 0°C isotherm ที่ถูกให้โดย (Crane, 1978)

$$H_i = 4.8 \quad \text{km} \quad ; \quad |\Lambda| \leq 30^\circ \quad (4.16น)$$

$$H_i = 7.8 - 0.1 |\Lambda| \quad \text{km} \quad ; \quad |\Lambda| > 30^\circ \quad (4.16\text{ข})$$

เมื่อ Λ เป็นค่าละติจูด(deg)

ขั้นที่ 2 การกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทาง ถูกกำหนดโดย

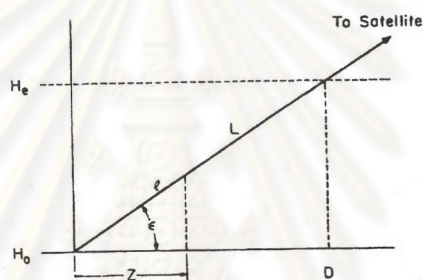
$$R(l) = R \quad \text{mm/h} \quad ; \quad R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (4.17\text{ก})$$

$$R(l) = R \exp[-\gamma \ln(R/10) |\cos \epsilon|] \quad \text{mm/h} \quad ; \quad R > 10 \text{ mm/h} \quad (4.17\text{ข})$$

เมื่อ l = ระยะทางตามเส้นทาง(km) ดังรูปที่ 4.22

ϵ = มุมเงยของจานสายอากาศ(deg)

γ = ค่าพารามิเตอร์ มีค่าระหว่าง 1/10 และ 1/30 โดยให้ใช้ค่า 1/22 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.22 ภาพแสดงเส้นทางการแพร่ในแนวตั้ง H_e เป็นความสูงยังผลของฝน สถานีภาคพื้นดินตั้งอยู่ที่จุด $z = 0$ และสูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ H_0 (Stutzman และ Dishman, 1982)

ขั้นที่ 3 ถ้า $\epsilon \geq 10^\circ$, คำนวณความยาวของเส้นทางจาก(L) จาก

$$L = (H_e - H_0) / \sin \epsilon \quad (4.18\text{ก})$$

ถ้า $\epsilon < 10^\circ$, ให้คำนวณจาก

$$L = 2(H_e - H_0) / ((\sin^2 \epsilon + 2(H_e - H_0) / R_e)^{1/2} + \sin \epsilon) \quad (4.18\text{ข})$$

เมื่อ H_0 = ความสูงของสถานีจากระดับน้ำทะเล(km)

และ R_e = รัศมีของโลก = 8500 km

ขั้นที่ 4 หาค่า k และ α ที่ความถี่ที่ต้องการจากสมการ (2.2) - (2.5) และตารางที่ 2.1

ขั้นที่ 5 คำนวณการลดทอนสัญญาณ(A) จาก

$$A = \int_0^L k [R(l)]^\alpha dl$$

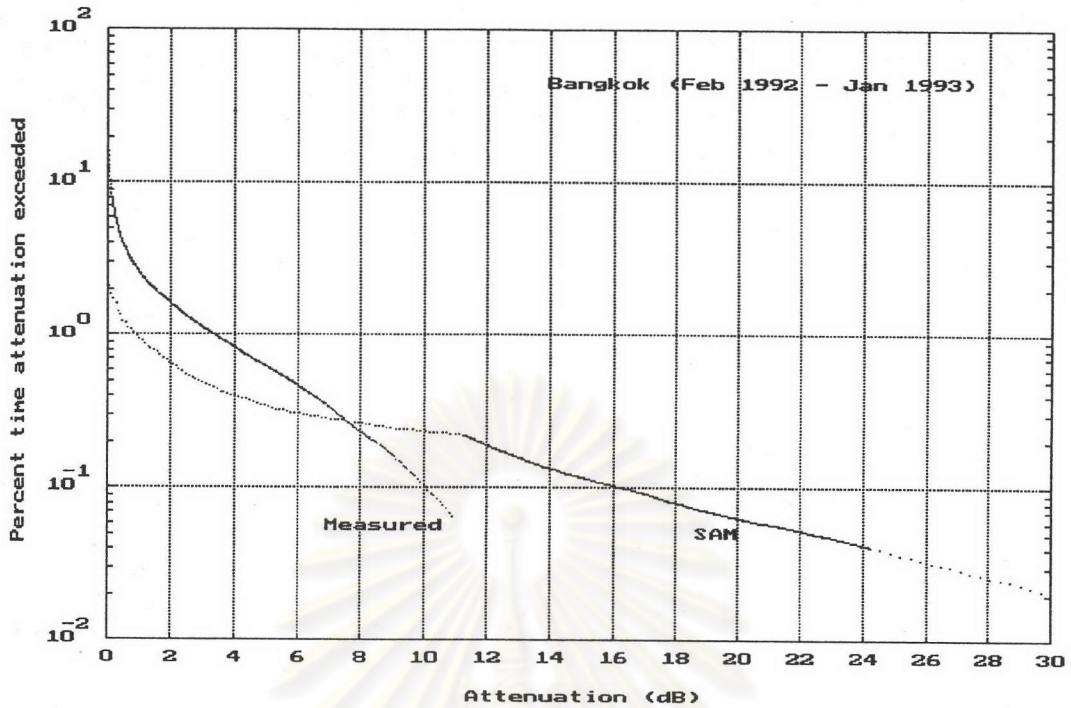
$$A = k R^\alpha L \quad ; R \leq 10 \text{ mm/h} \quad (4.19ก)$$

$$= k R^\alpha (1 - \exp[-\gamma \alpha \ln(R/10) L \cos \epsilon]) / (\gamma \alpha \ln(R/10) \cos \epsilon) \quad ; R > 10 \text{ mm/h} \quad (4.19ข)$$

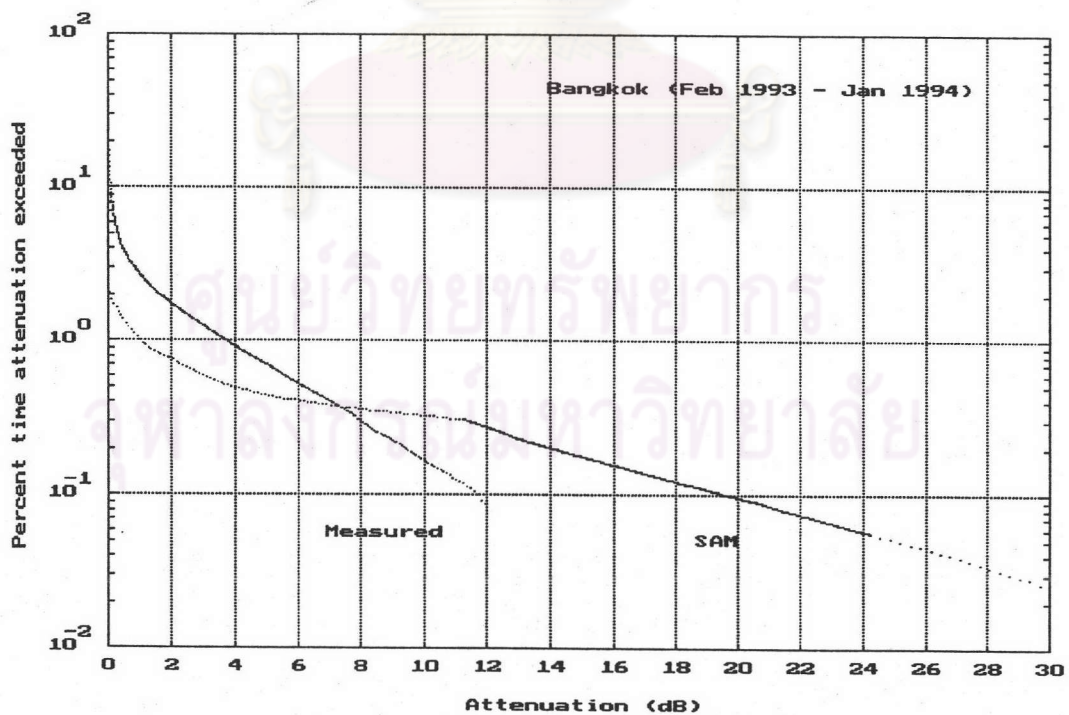
ผลการคำนวณได้ถูกเปรียบเทียบกับค่าทางสถิติที่ได้จากการวัด ดังรูปที่ 4.23 - 4.30 และตารางที่ 6.1 - 6.8 ซึ่งจะพบว่า สำหรับกรุงเทพฯ และศรีราชา ที่ระดับสูงกว่าประมาณ 0.3 % จะประมาณค่าการลดทอนน้อยเกินไป แต่ที่ระดับต่ำกว่า จะประมาณค่ามากเกินไป และยังพบว่ามีจุดหักแสดง عدمต่อเนื่องของผลการคำนวณ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทางจากสมการ (4.17ก) ไปเป็นสมการ (4.17ข) ส่วนที่สิงคโปร์และบันดุง ที่ระดับสูงกว่าประมาณ 0.4 - 0.5 % จะประมาณค่าการลดทอนน้อยกว่า แต่ที่ระดับต่ำกว่า จะประมาณค่ามากเกินไป



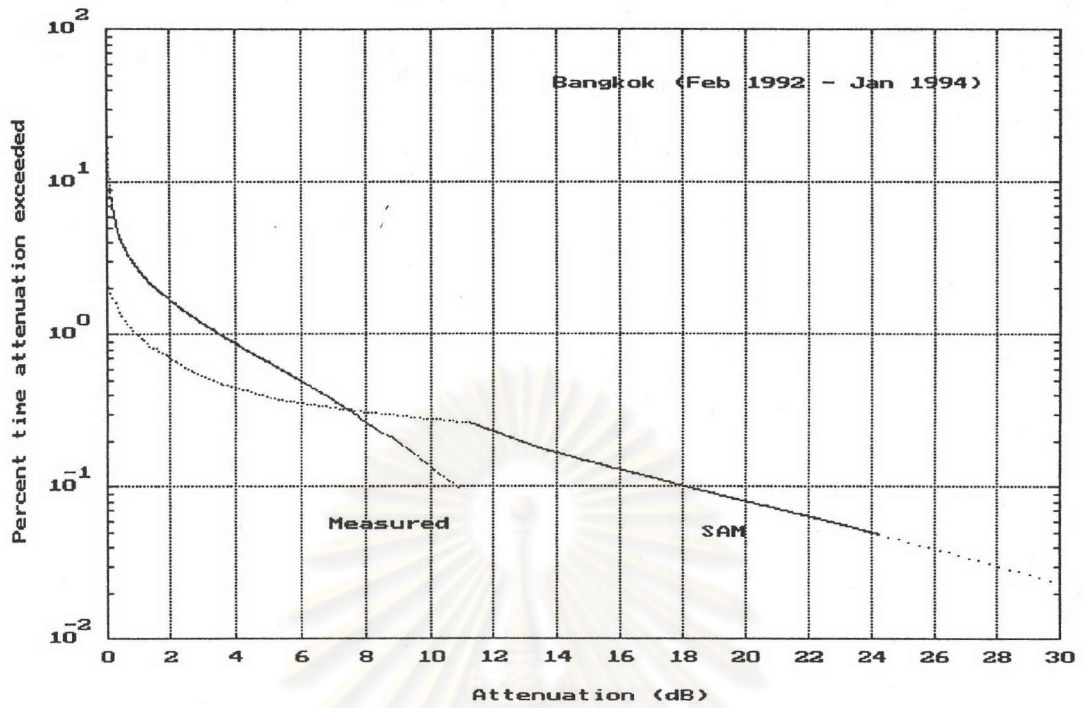
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณได้โดยวิธี SAM
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2535 - ม.ค.2536)

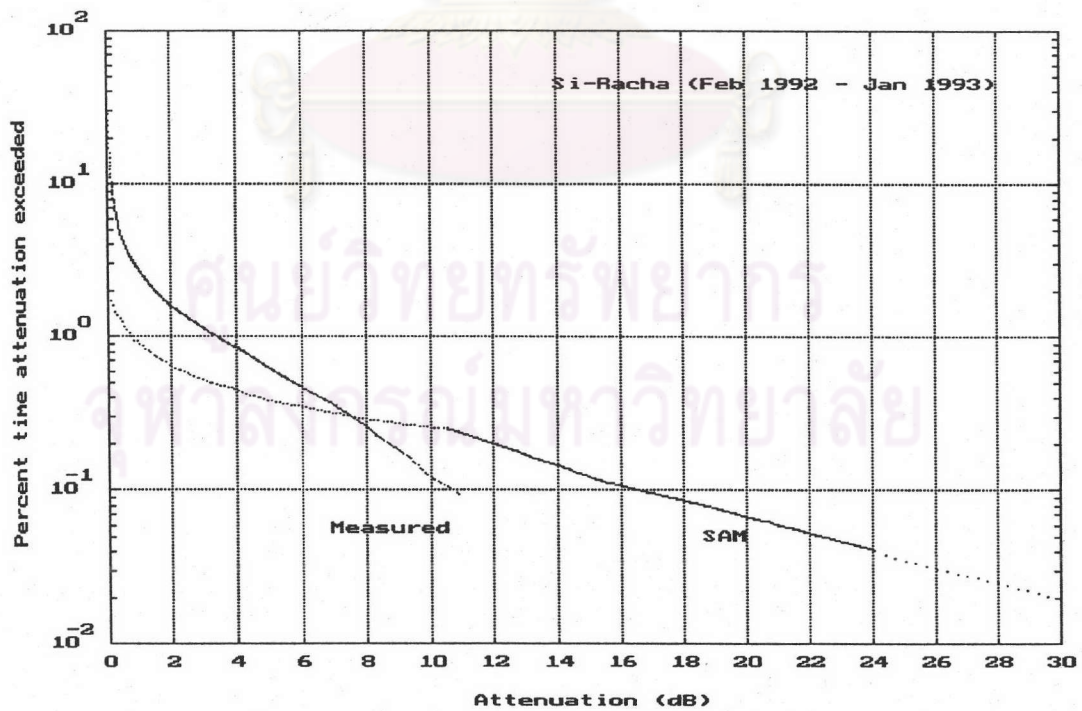


รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี SAM
กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2536- ม.ค. 2537)



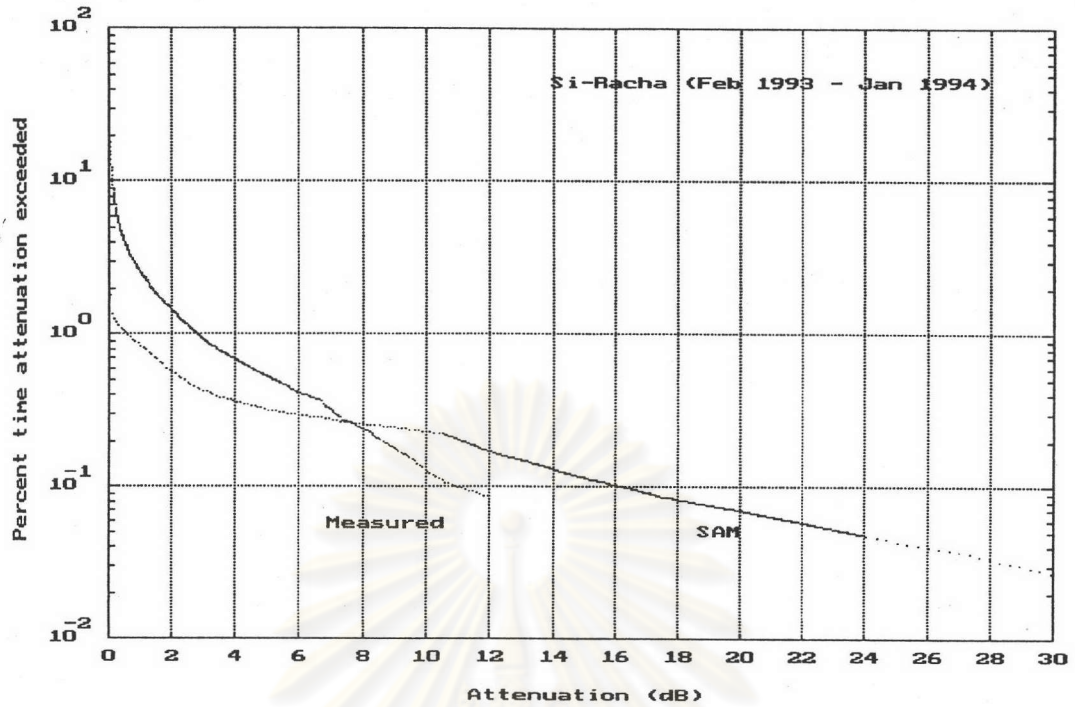
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณได้โดยวิธี SAM

กับที่ได้จากการวัด สำหรับกรุงเทพฯ (ก.พ. 2535 - ม.ค.2537)

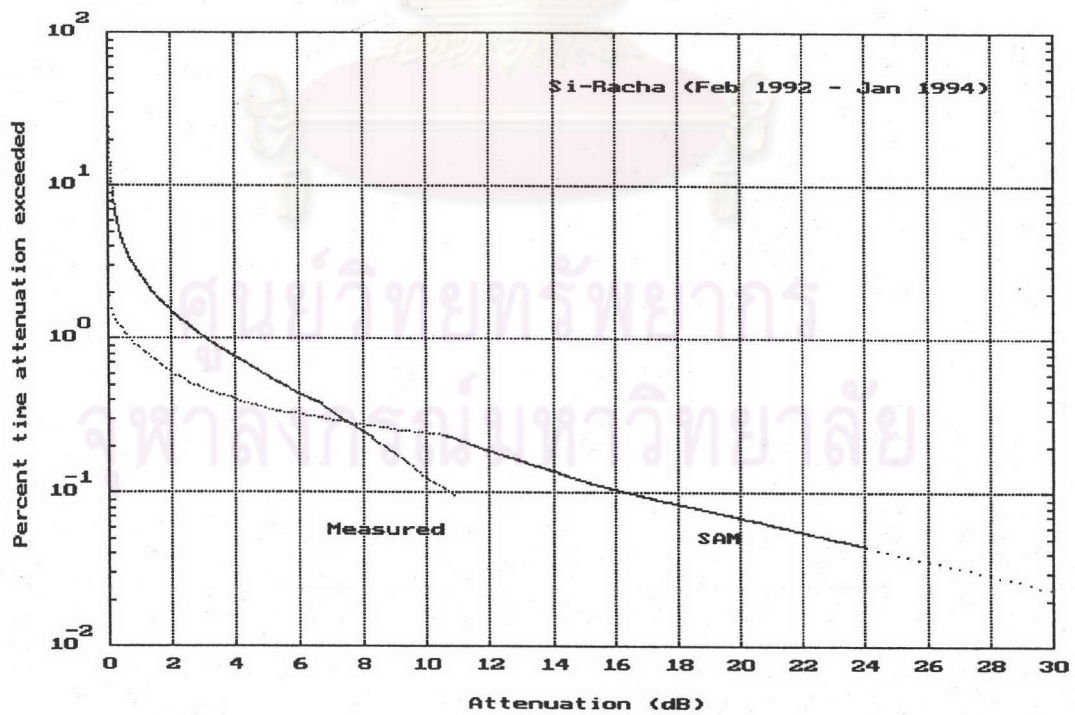


รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี SAM

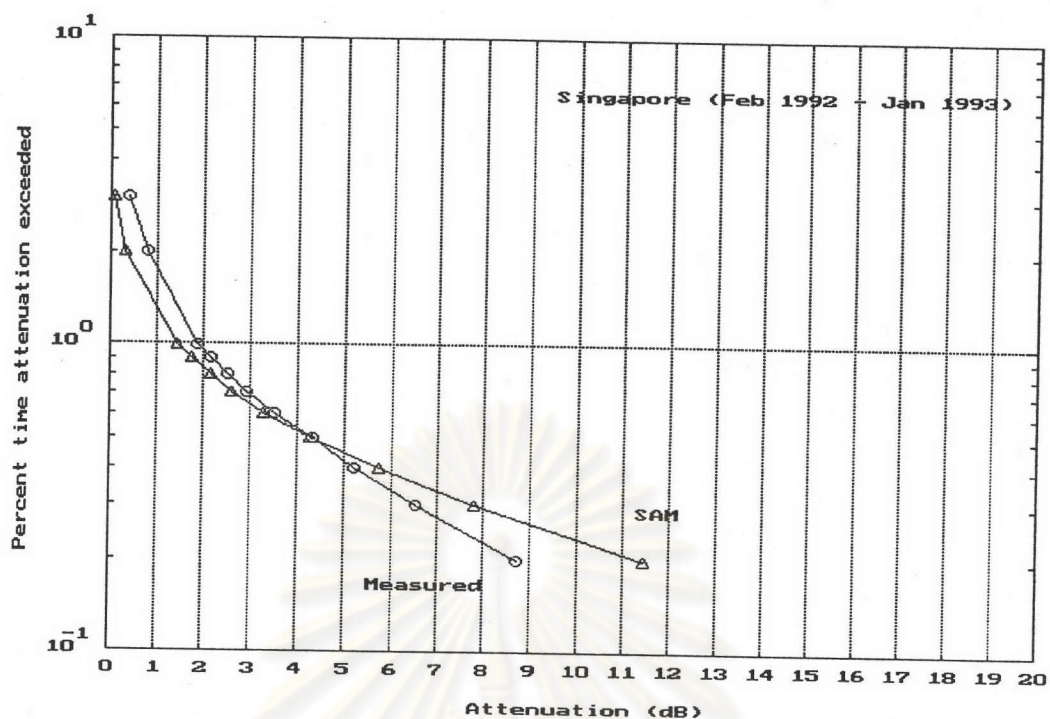
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535- ม.ค. 2536)



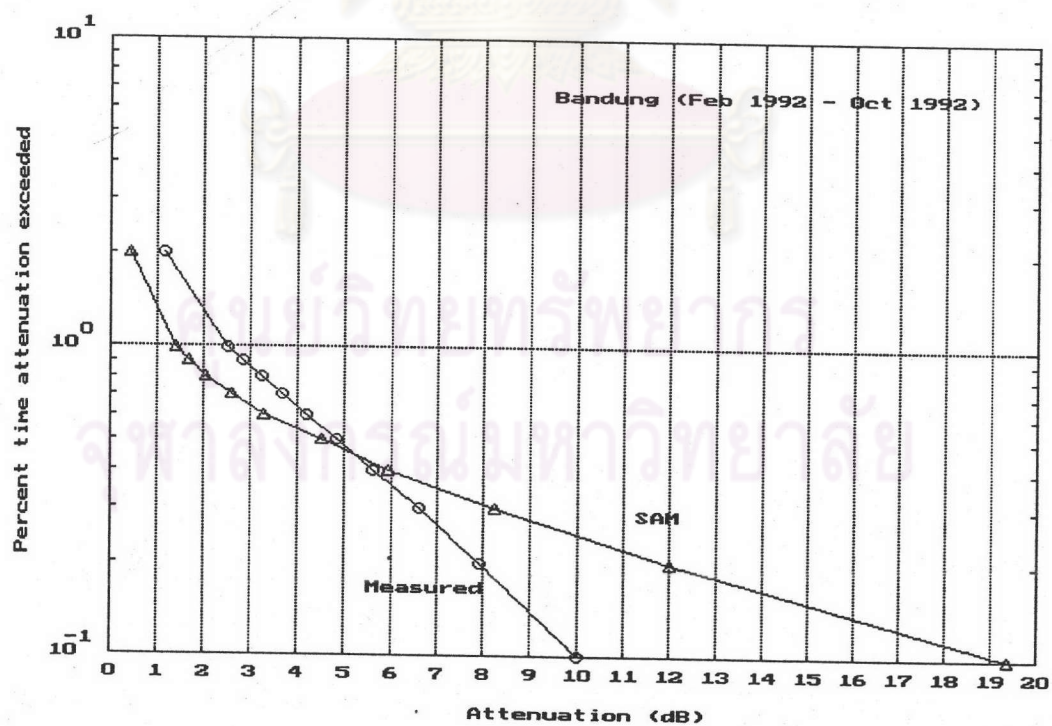
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณได้โดยวิธี SAM
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2536 - ม.ค.2537)



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี SAM
กับที่ได้จากการวัด สำหรับศรีราชา (ก.พ. 2535- ม.ค. 2537)



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณได้โดยวิธี SAM กับที่ได้จากการวัด สำหรับสิงคโปร์ (ก.พ. 2535 - ม.ค.2536)



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการแจกแจงสะสมของการลดทอน ที่คำนวณโดยวิธี SAM กับที่ได้จากการวัด สำหรับบันดุง (ก.พ. 2535- ต.ค. 2535)

1. ข้อดีของ SAM

- รูปแบบของการกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทาง เป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการนำมาใช้คำนวณหาค่าการลดทอน
- ในการพิจารณาความสูงยังผลของฝน ได้ใช้ความสูง 0°C isotherm ที่เฉลี่ยตามฤดูกาล และขึ้นกับค่าละติจูด รวมทั้งได้คำนึงถึงความสูงที่เพิ่มขึ้นจากการยกตัวของเมฆฝน เพราะกระแสอากาศไหลขึ้นในช่วงที่เกิดฝนจากการพาความร้อน

2. ข้อเสียของ SAM

- การใช้ค่าอัตราฝนตก 10 mm/h เป็นตัวแบ่งลักษณะฝน(ฝนแบบกระจายกว้าง หรือ ฝนจากการพาความร้อน) จะไม่สามารถใช้ได้ทั่วไปในทุกพื้นที่
- การใช้ค่าอัตราฝนตก เป็นตัวแปรในการกำหนดความสูงของฝนที่เพิ่มขึ้น เป็นการไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในประเทศไทย ดังเช่นที่กล่าวไว้ในบทที่ 2
- ค่าพารามิเตอร์ γ ที่ใช้ในการกำหนดการลดลงของอัตราฝนตกตามเส้นทาง ได้เสนอให้มีค่าอยู่ระหว่าง $1/10$ และ $1/30$ และให้ใช้ค่า $1/22$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับฐานข้อมูลที่มีอยู่ในตอนนั้น โดยข้อมูลทั้งหมดได้จากการวัดในอเมริกาเหนือ, ยุโรป และ ญี่ปุ่น ซึ่งเป็นย่านภูมิอากาศแบบ Temperate ทำให้การนำวิธีการนี้มาใช้ในย่านภูมิอากาศแบบ Tropical มีความผิดพลาดได้จากการเลือกใช้พารามิเตอร์ดังกล่าว
- การใช้รูปแบบการกระจายอัตราฝนตกตามเส้นทางในลักษณะดังกล่าว สามารถทำให้เกิดจุดหักแสดง عدمต่อเนื่องของผลการคำนวณ ดังเช่นที่กล่าวมา