

# 衛 星 通 信 基 礎 研 究

## ( 衛 星 回 線 上 降 水 影 響 )

### 目 次

I . 서 論	.....	3
II . 본 論	.....	4
1 . 降 水 發 生	.....	4
2 . 降 雨 減 衰	.....	8
3 . 降 雪 減 衰	.....	14
4 . M/W 傳 播 實 驗	.....	25
5 . 降 雨 觀 測 上 分 析	.....	29
6 . 降 雨 減 衰 量 推 定	.....	32
III . 結 論	.....	34
參 考 文 獻	.....	36

電	波	係	
	徐	甲	錫
	達	在	林
	斐	後	鎬
	元	永	權

## I . 序 論

科學技術의 發達은 國民의 生活水準을 向上시켜 情報社會가 됨에 따라 無線通信 및 放送 內容의 多樣化로 인하여 無線周波數 需要의 增加가 되었다.

따라서 限定된 資源인 無線周波數 Spectrum의 不足現象을 招來하여 이를 解消하기 위하여 높은 周波數帶의 開發과 새로운 無線通信方式인 衛星通信을 利用하게 되었다.

이러한 世界的 추세와 함께 우리나라는 1977年에 開催된 世界 無線通信主管廳會議(WARC-BS)에서 12GHz帶의 衛星放送用으로 6개 채널을 確保하였다.<sup>①</sup>

한편, 當研究所에서는 電波資源의 効率的인 利用과 衛星通信 및 衛星放送 實用化에 對備하는 研究를 1978年度에 시작하여 7.8 GHz 및 14.7GHz를 위한 M/W 電波傳播實驗과 自記降雨計에 의한 降雨觀測등을 實施하여 왔다.

이에 1982年度에는 12GHz帶를 利用하는 衛星放送等이 장차 實用化되었을 경우 大氣圈內的 電波通路에서 降雨 및 降雪등과 같은 降水粒子等에 의한 散亂 및 吸收에 따른 減衰와 電波의 偏波率鈍化 및 受信雜音溫度特性鈍化等の 問題가 惹起되므로 回線設計의 基本 要素인 降雨減衰量을 分析하고 또한 CCI와 諸外國 資料를 比較 考察하였으며, 冬季에 發生되는 降雪에 의한 異常電波減衰特性을 考察하였다.

## II . 本 論

### 1. 降水 發生

電波傳播時 散亂, 吸收, 偏波鈍化, 雜音溫度的 增加등을 일으키는  
降水粒子 ( Precipitation Particles ) 의 發生原因을 考察하면, 地  
表面의 過熱된 空氣가 上乘하여 上層의 찬공기와 혼합함으로써,  
공기의 팽창과 冷却으로 물 방울粒자를 갖는 구름을 형성시킨다.

이러한 구름의 高度는 地理상의 位置와 구름형태에 따라 다르  
나 일반적으로 赤道帶에서 대략 최고 高度 18 km, 兩極地域에서는  
최대 8 km의 高度에서 형성된다.<sup>12)</sup>

표 1 . 代表的 溫帶地方의 雲形과 高度

雲 形	記 號	高 度
권운 : Cirrus	Ci	5 ~ 13 km : 上部
권층운 : Cirrostratus	Cs	
권적운 : Cirrocumulus	Cc	
고층운 : Altostratus	As	2 ~ 7 km : 中間
고적운 : Altocumulus	Ac	
층운 : Stratus	St	2 km 이하 : 낮음
층적운 : Stratocumulus	Sc	
난층운 : Nimbostratus	Ns	
적운 : Cumulus	Cu	
난적운 : Cumulonimbus	Cb	

이러한 구름에서 부터 降水粒子가 發生되는 過程은 대체로 1-100  $\mu$ 의 크기를 갖는 水蒸氣(물방울)粒子的 純度가 높아 0℃ 이하에서도 잘 얼지 않다가 -40℃ 정도에서 過冷却되어 水晶 (Ice Crystal)이 된다.

이 水晶은 물에 대한 포화증기압이 낮기 때문에 주위의 水分을 吸收하여 粒子가 凝結되고 크기가 커짐에 따라 구름 下部로 降下하면서 계속 주위의 水分吸收로 粒子가 增大된다. 이 粒子가 一般的인 降雪의 형태로 되면서 0℃ 이상의 氣溫이 되면 0℃ 되는 高度(0℃ 等溫線; Isothem layer or Bright band)에서 부터 粒子가 녹아 진눈깨비 또는 차거운비(Cold rain)로서 내리는 現象을 發生시킨다.

또 하나의 降水 過程은 氣溫이 높은 경우로서 水分과 親和力이 큰 0.1~5  $\mu$ 의 정도의 海鹽(Salt) 또는 工業化등에 의해 增加되고 있는 大氣汚染成分인 黃酸과 아질 산을 包含하는 燃燒의 生成物 粒子들을 核(Kernel)으로 하여 水分을 吸收한 凝結核(Condensation Nuclei)이 되며, 이러한 反複過程으로 粒子가 커져서 따뜻한비(Warm rain)가 되고 특수한 경우에 氣溫이 차가와져 降水粒子가 急冷되어 싸라기눈(Hail)으로서 落下한다.(그림 1 참조)

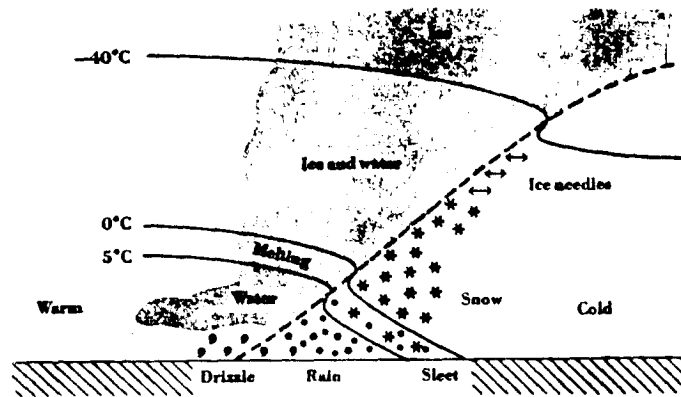


그림 1. 응결과 강수과정

이러한 降水粒子들은 落下중 다른 물방울과 충돌하면서 적은 물방울들을 吸收하여 體積이 큰 粒子로 變形되며, 重力으로 인한 낙하속도가 加速化되어 粒子의 體積에 따라 주위 공기와 大氣壓力에 의한 마찰저항이 發生되어 일정한 終末速度 ( Terminal Velocity )로 地表面에 낙하한다.

또한 粒子의 體積이 增加하면 内部와 空氣의 壓力 ( 外部 )으로 인한 粒子의 垂直軸 주위에 힘이 對稱되어  $170\mu$  이하의 직경을 갖는 粒子의 형에는 球型이 되지만 그 이상의 크기를 가질수록 형태가 變形되어 下部가 점차 粒子 中心軸으로 들어가는 타원형으로 變形된다.( 참조 그림 2 )<sup>(9)</sup>

표 2 . 靜止된 空氣內에서의 빗방울 및 구름粒子的 終末速度

지름 ( $\mu$ )	낙 하 율		물 방울 의 모 양
	ft/min	m/sec	
5,000	1,750	8.9	큰 빗방울
1,000	790	4.0	작은 빗방울
500	555	2.8	가랑비 또는 큰 이슬비
200	300	1.5	이슬비
100	59	0.3	큰 구름 입자
50	15	0.076	보통구름 입자
10	0.6	0.003	작은 구름 입자
2	0.023	0.00012	초기물방울과 큰 핵
1	0.007	0.00004	초기물방울과 큰 핵

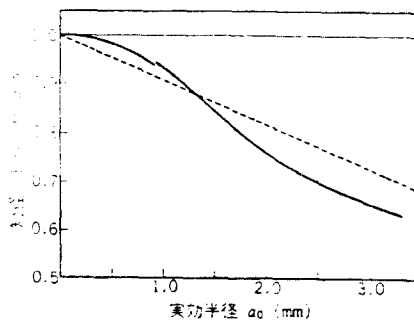
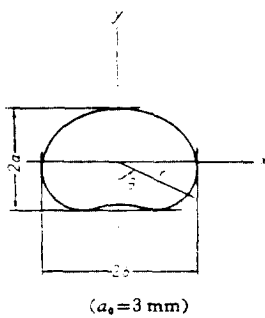


그림 2 . 變形雨滴形態

따라서 일반적인 降水發生 Mechanism은 0℃의 等溫線 高度에서 부터 氣溫에 따맞 降雨 또는 降雪이 되고, 高空 氣象觀測, 統計 實驗에 의한 地表面 溫도와 0℃ 等溫線 高度와는 다음과 같은 實驗式으로 된다.<sup>⑤</sup>

$$hc = 0.26 Ts - 0.0026 Ts^2 (km) \dots \dots \dots (1)$$

hc ; 0℃ 等溫線 高度(km)

Ts ; 地表面 溫度(℃)

## 2. 降雨 減衰

雨滴에 의한 電波의 散亂과 吸收問題를 해석하기 위해서는 降雨強度, 雨滴크기, 雨滴溫度, 合成複素誘電率, 낙하속도, 空間分布密度 및 粒子的 形象과 함께 使用電波의 波長, 偏波, 入射角度등의 特성이 요구된다.

그러나 降雨減衰에 대한 實時間 ( real time )의 降雨 model 을 分析하기 위해 諸 Parameter 등을 精確하게 測定하여 利用한다는 것은 容易한 일이 아니기 때문에 理論적으로 Model 選定과 解析 및 Sampling 추출 分析으로 實驗에 依한 分析을 하는 方法이 많이 利用된다.<sup>⑥⑦</sup>

降雨 Model 에 대한 諸 Parameter 를 測定하기 위해서는 다음과 같은 方法이 利用된다.

- 1) LASER, RADAR, 초음파에 의한 觀測; 降雨強度, 空間

數密度測定, 落下速度

2) 降雨強度計; 降雨強度

3) Water blue 법; 空間數密度, 雨滴크기, 含水量

그러나 實驗的으로 空間數密度, 크기 및 含水量과 落下速度 및 降雨強度등을 定量的으로 同時に 實時間 測定을 한다는것은 不可能하여 一般的으로 water blue 법을 많이 利用한다.

water blue 法이란 water blue 試料를 혼탁한 gasolin 과 혼합시킨 용액속에 吸收가 빠른 두꺼운 종이를 넣어서 적신후 건조시킴으로서, 이 water blue paper 에 물방울이 닿으면 물방울의 密度, 크기 및 形象대로 흔적이 靑色으로 發色되어 나타난다.

이때 water blue paper 의 두께가  $b$  이고 雨滴粒子半徑을  $a_r$  라 하면 water blue paper 에 發色되는 섬유體積은  $\pi b a_r^2$  이 됨을 利用하는 것이다.

따라에 water blue 法을 特定한 單位 Sampling 時間 동안 降雨 狀態를 채취시켜 雨적크기, 形象, 含水率과 空間數密度, 落下速度 및 強度等の 換算이 可能하다. ③⑦⑧⑨

또한 water blue 에 依한 降雨 model 의 諸特性을 分析하면 雨滴 粒子 半徑  $a_r$  에 依한 water blue paper 흔적크기는

$$a_w = a_r^2 \nu_r N_r (cm) \dots \dots \dots (2)$$

$\nu_r$  : 낙하속도 (  $m/s$  )

$N_r$  : 空間密度 ( 개 /  $ml$  )

흔적  $a_r$  에 의한 실제 雨滴半徑  $a_r$  은



$$a_r = (3/4 a_w^2 b)^{3/2} \quad (cm) \dots \dots \dots (3)$$

b ; water blue paper 두께(cm)

와 같이 구해지고 落下速度를 超音波 및 光學的 實測値와 wa-  
ter blue 法에 依한 實驗的 相關式은 降雨形態, 風向, 風速 및 地  
形地物 影響으로 發生되는 氣流 影響에 따라 正確한 값을 갖지  
는 못하나 一般的으로 다음과 같은 實驗式이 많이 利用된다.

$$\nu_r = 8.8 ( (\rho_r - \rho_o) 2 a_r )^{1/2} \quad (m/s) \dots \dots \dots (4)$$

$\rho_o$  : 空氣의 密度 [ gm /  $cm^3$  ]

$\rho_r$  : 雨滴의 密度 [ gm /  $cm^3$  ]

또한 雨滴이 1  $m^3$ 의 單位空間에 대해 分布되어 있을 空間密度  
數  $N_r$ 은 降雨强度와 粒子크기 및 降雨形態에 따라 다르나 Law  
& Parson 의 理論的 算出資料에 依하면

$$N_r = n_o \quad \hat{e}^D \quad [ 개 / m^3 ] \dots \dots \dots (5)$$

$n_o$  :  $8 \times 10^{-3}$  [ mm /  $m^3$  ]

$\Lambda$  :  $4.1 \times R^{-0.21}$  [ mm ]

에 의해서 降雨强度 R은

$$R = 15.08 \sum_{a_r} a_r^3 \nu_r N_r \quad [ mm / h ] \dots \dots \dots (6)$$

에 依해 求할수 있다.

따라서 求하고자 하는 降雨減衰는 雨滴에 依한 散亂과 吸收에  
依한 合이 되므로 全 減衰斷面積 ( total cross section )을 Mie  
식으로 구하면

$$Q_t = -(\lambda^2/2\pi) \operatorname{Re} \sum_{n2} (2n+1) (a_n + b_n) \dots\dots\dots(7)$$

$$a_n = \frac{J_n(\rho) (m\rho J_n(m\rho))^{\dagger} - J_n(m\rho) (\rho J_n(\rho))^{\dagger}}{H_n^{(2)}(\rho) (m\rho J_n(m\rho))^{\dagger} - J_n(m\rho) (\rho H_n^{(2)}(\rho))^{\dagger}}$$

$$b_n = \frac{-J_n(\rho) (m\rho J_n(m\rho))^{\dagger} - m^2 \bar{J}_n(m\rho) \rho J_n(\rho)^{\dagger}}{H_n^{(2)}(\rho) (m\rho \bar{J}_n(m\rho))^{\dagger} - m^2 \bar{J}_n(m\rho) \rho (H_n^{(2)}(\rho))^{\dagger}}$$

여기에서 Prime argument 는 미분한것이고  $J_n(\rho)$  와  $H_n^{(2)}(\rho)$ 는 球에 대한 제 1 종 Bessel 函數와 第二種 Hankel 函數로서 다음과 같다.

$$J_n(\rho) = \sqrt{\pi/2\rho} J_{n+1/2}(\rho)$$

$$H_n^{(2)}(\rho) = \sqrt{\pi/2\rho} H_{n+1/2}(\rho)$$

$$\rho = 2\pi a_r / \lambda$$

$$m^2 = \epsilon = \epsilon_1 - j\epsilon_2$$

m : 複素屈折率

$\epsilon$  : 複素合成誘電率

$\epsilon_1, \epsilon_2$  : 誘電率의 實數 및 虛數部

$a_r$  : 雨滴粒子的 半徑

$\lambda$  : 使用周波數의 波長

以上과 같은 降雨 model 解析에 依한 電波減衰量을 求하면 單位區間當의 特性減衰量  $\Gamma(r)$ 은

$$\Gamma(r) = 0.4343 \sum Q_t \cdot N_r \text{ [dB / km]} \dots\dots\dots(8)$$

이 되며 實時間에서의 降雨強度에 따라 空間數密度와 減衰斷面積의 算出을 求해야 하기 때문에 降雨強度에 따른 周波數別 特性減衰量을 指數函數로 求하면,

표 3. 주파수별 감쇄계수

Regression coefficients for estimating attenuation coefficients in equation (1)\*

Frequency (GHz)	$K_H$	$K_V$	$a_H$	$a_V$
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.12	1.07
6	0.00175	0.00155	1.31	1.27
8	0.00454	0.00395	1.33	1.31
10	0.0101	0.00887	1.28	1.26
12	0.0188	0.0168	1.22	1.20
15	0.0367	0.0347	1.15	1.13
20	0.0751	0.0691	1.10	1.07
25	0.124	0.113	1.06	1.03
30	0.187	0.167	1.02	1.00
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.931	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

\* Raindrop size distribution [ Laws and Parsons, 1943 ]

Terminal velocity of raindrops [ Gunn and Kinzer, 1949 ]

Index of refraction of water at 20 °C [ Ray, 1972 ]

Values of  $K_H$ ,  $K_V$ ,  $a_H$  and  $a_V$  for spheroidal drops [ Fedi, 1979, Maggiori, 1979 ]

based on regression for the range 1 - 150 mm/h.

$$\Gamma(f) = \alpha(f) R(f) \quad [dB/km] \dots\dots\dots (9)$$

의 特性減衰式을 周波數別로 變形 利用할수 있고 각 周波數別

減衰係數인  $\alpha(f)$ 와  $\beta(f)$ 를 Nowland 식에 의해 算出하면, ③

$$\alpha(f) = [K_H + K_V + (K_H - K_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \dots\dots\dots (10)$$

$$\beta(f) = [K_H \alpha_H + K_V \alpha_V + (K_V \alpha_H - K_H \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \alpha(f) \dots\dots\dots (11)$$

이 되며 여기에서

$K_H, K_V, \alpha_H, \alpha_V$  : 周波數別減衰係數 ( 표 3 參照 )

$\theta$  : 衛星電波到來仰角 ( 雨滴 落下方向과 電波의 入射角度差 )

$\tau$  : 使用電波의 垂直軸과 水平軸과의 傾斜角 ( 圓偏波時 :  $45^\circ$  )

12GHz 의 衛星放送波에 대해 각각 換算하면  $\alpha_H : 1.22, \alpha_V : 1.20, K_H : 0.0188, K_V : 0.0168$  이 되며 우리나라의 서울 - 포항 구간에 해당하는 衛星放送波 到來仰角인  $43^\circ$  에서의 特性 減衰를 算出하기 위한 減衰係數가 各各

$\alpha(12) = 0.0178, \beta(12) = 1.21056$  이 되어 12GHz 衛星放送波의 降雨에 대한 特性減衰量은

$$\Gamma(12) = 0.0178 R^{1.21053} [dB/km] \dots\dots\dots (12)$$

와 같이 된다.

따라서 降雨減衰區間 ( slant path )에서의 總減衰量  $L(r)$ 은

$$L(r) = \Gamma(12) r, \quad [dB] \dots\dots\dots (13)$$

가 되므로 식(1)에 의한  $0^\circ C$  等溫線高度와 衛星電波 受信仰角 ( $43^\circ$ )에 의해 실제 減衰區間  $r_s$ 는

$$r_s = (h_c - h_0) \operatorname{cosec} \theta [km] \dots\dots\dots (14)$$

로 求할수 있다.

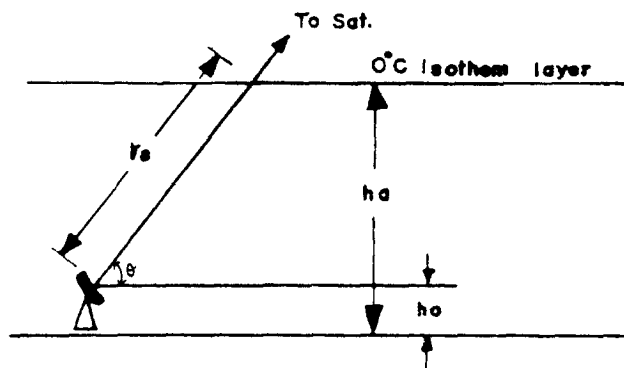


그림 3 . 강수감쇄 model

### 3 . 降雪 減衰

#### (가) 電波減衰影響

降雪에 의한 電波減衰 算出을 위한 model 解析 方法은 降雨時와 같으나 다만 物理的인 減衰特性變化 要因이 降雪時의 雪質 特性에 따라 크기, 形象, 體積, 含水率 및 密度와 合成複素誘電率 등의 變化 및 影響이 크다.

雪質 分類 方法은 氣象學者들의 形象에 따른 國際分類法에 의해 F1 ~ FO까지의 10개 種類로서 그림(4)와 같이 區分 利用하고 있으나, 電波減衰 影響을 많이 미치는 含水率을 基準으로 分類를 하면 乾雪(dry snow), 濕雪(moist snow), 濡雪(wet snow) 및 水雪(waterly snow)로 區分 利用하는 것이 가장 合理性이 있어 4種類로 분류한다.<sup>15)</sup>





















符号	記号	形	態	Name
F1	○			Plates
F2	✱			Stellar Crystals
F3	□			Columns
F4	↑			Needles
F5	⊙			Spatial dendrites
F6	H			Capped columns
F7	○			Irregular particles
F8	✱			Graupel = soft hail
F9	△			Ice pellets (sleet)
F0	▲			Hail

그림 4. 국제적 雪質分類圖

#### (4) 雪質分類

雪片의 種類別 water blue paper 에 의한 痕跡 形態는 다음 그림 5 와 같다.

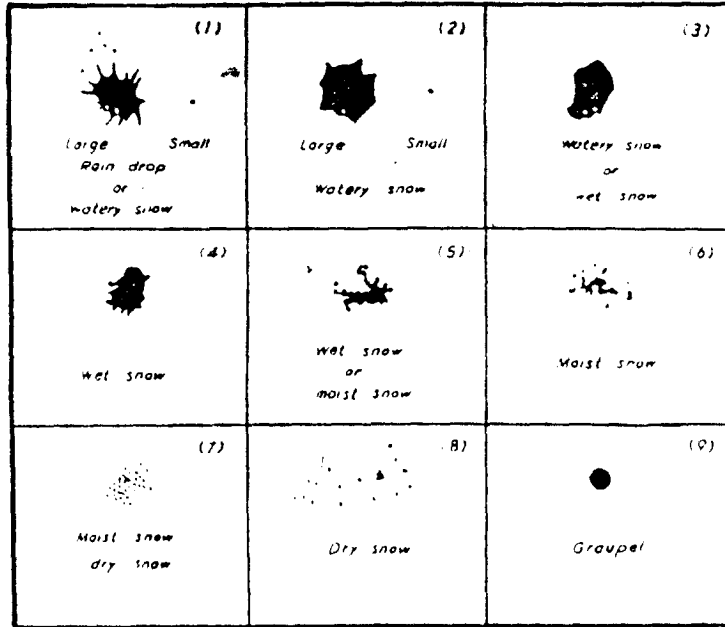


그림 5. Water blue 痕跡分析

①, ② ; 실제 換算 水滴보다도 雪片 半徑이 큰 水雪의 경우 10 ~ 4 m/sec 의 終末速度보다 빨라 痕跡 주위에 적은 물방울등이 튀어있는 痕跡을 알수 있고, 비와 水雪이 아닌것은 水雪내에 含有된 氷晶이 녹은 痕跡이 나타난다. 그러나 落下速度가 낮고 半徑이 적은 粒子는 大氣중에서 녹는 시간이 많아 그 形象의 判別이 어렵다.

③ 濡雪과 水雪의 中間상태로서 水雪보다도 含水率이 적어 落下速度가 느리지만 雪片의 核에는 含水量이 많음을 알수있다.

④ 濡雪로서 含水量이 낮고 雪片의 痕跡이 빠르게 保存된 상

태를 알수 있다.

⑤ 霏雪과 濕雪의 中間으로서 形象이 뚜렷하게 保存되지만 含水率 判定을 할수 있는 境界 狀態에 달한다.

⑥ 濕雪, 霏雪보다 含水率이 낮으며 雪片의 粒子 含水率이 乾雪보다 높음을 알수 있다.

⑦ 濕雪과 乾雪의 中間狀態이나 乾雪에 의한 各 粒子들이 별도로 分離되어 結晶의 痕跡이 나타나지 않은 상태이다.

⑧ 代表的 乾雪의 類形인데 結晶의 痕跡이 나타난다.

⑨ 싸라기눈 ( hail )으로서 含水率과 落下速度가 雨滴보다 낮고 Water Blue 法으로서는 싸라기가 튀기 때문에 捕捉하기는 어렵다.

(다) 雪片의 物理的 特性

(1) 密度와 體積 含水率 雪片의 物理的 定量 測定 方法은 實時間 測定을 할수가 없어 精度가 낮지만 Water Blue 또는 遠心分離法을 利用하여 分析한다.

雪片의 密度와 體積을  $\rho_s$ ,  $V_s$  라 하면 雪片을 구성하고 있는 空氣, 얼음 물에 대한 體積과 密度를 각각  $V_a$ ,  $V_i$ ,  $V_w$  및  $\rho_a$ ,  $\rho_i$ ,  $\rho_w$  로 하여

$$\rho_s V_s = \rho_a V_a + \rho_i V_i + \rho_w V_w \dots\dots\dots (15)$$

가 되고, 각각의 體積比를  $P_a$ ,  $P_i$ ,  $P_w$  라 하면

$$P_a + P_i + P_w = 1 \dots\dots\dots (16)$$

이 되어, Water Blue 分析에 의한 實驗的 雪片 密度는



$$\rho_s = 0.92 P_i + P_w \dots\dots\dots (17)$$

가 되므로, 含水率은

$$P_w = \rho_s^2 \dots\dots\dots (18)$$

의 近似的 實驗式을 求할수 있다.

## (2) 換算水量

雪片의 水分 含量을 測定하기 위한 換算 水量은 降雨時 雨滴 半徑 測定分析 過程과 같아 실제 雪片 半徑을  $R_s$  라 하면 Water Blue Paper 의 纖維體積  $\pi b \gamma_s^2$  만큼 發色되므로 換算 水滴 半徑을 다음과 같이 구할수 있다.

$$\gamma_{ws} = R_s / (\rho_s)^{\frac{1}{2}} \quad [cm] \dots\dots\dots (19)$$

$$R_s = \gamma_{ws} (\rho_s)^{\frac{1}{2}} \quad [cm] \dots\dots\dots (20)$$

$R_s$  : 換算 水滴 半徑 (cm)

$\gamma_{ws}$  ; Water Blue Paper 에 닿는 雪片 痕跡 半徑 (cm)

$\rho_s$  : 雪片의 密度 ( gm /  $cm^3$  )

## (3) 落下速度

雪片의 落下速度는 光學的 또는 超高波에 의한 落下速度 測定 資料에 의한 實驗的 分析으로 雪片의 크기와 密度등에 의한 實驗的 關係式이 다음과 같이 도출 이용된다.

$$v_s = 8.80 [(\rho_s - \rho_a) 2 \cdot R_s]^{\frac{1}{2}} \quad (m/sec) \dots\dots\dots (21)$$

$R_s$  : 雪片의 半徑(cm)

$\rho_s, \rho_a$  : 雪片과 空氣의 密度 ( gm /  $cm^3$  )

雪質의 特性 :

〈 표 4 〉

States	Seasons & Weather	Constructor	Shape ( $r_s$ )	Density ( $\rho$ )	Water Content ( $P_w$ )	Dielectric Properties ( $\epsilon$ )	Velocity ( $\nu_s$ )
Slightly Moist Snow	Beginning & end of Winter ( $0^\circ\text{C} \sim -6^\circ\text{C}$ )	Lump of Minutes Crystal	Spherical ( $2 \sim 5\text{mm}$ )	$0.06 \sim 0.16$	0.0005	1.224 $-j 0.036$	0.8 ( $\text{m/s}$ )
	most snow fall grows up to snow flakes ( $-14^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}$ )	Crystal Minutes Lump of Particles	Amorphous ( $2 \sim 10\text{mm}$ )	$0.01 \sim 0.03$	0.001		
	Snow storm ( $-5 \sim -6^\circ\text{C}$ )	2 or More Crystal Irregular Particles	Amorphous $1 \sim 2\text{mm}$	0.07	0.01		
	Great rate Precipitation (near $0^\circ\text{C}$ )	Lump of gray snow	Amorphous over $10\text{mm}$	$0.09$ (0.11)	0.05		

States	Seasons & Weather	Constructor	Shape (r <sub>s</sub> )	Density (ρ)	Water Content (P <sub>w</sub> )	Dielectric Properties (ε')	Velocity (ν <sub>s</sub> )
Moist snow	Beginning & End Winters	Mixed ice & Waterly	Armouphous scatted	0.09 ~ 0.126	0.075	1.363-j0081	1.2 (m/s)
	State of Melting snow			(0.09 ~ 0.16)			
Wet snow	Half - Mel ted Statues	More Waterly Content	Armouphaus size	0.257 (0.16 ~ 0.36)	0.07	2.145 -j0.489	2.5 (m/s)
	Change into rain	Ice can be seen in - rain water	Below several mm	> 0.257 (> 0.36)	0.25 (0.9)	2.860 -j0.965 (36.0 - j 39.7)	4.5(m/s) 1 > 4.6 (m/s)
Rain	Warm (> 0°C)	Water	Spherical	1.0	1.0	36.0-j39.7	9.8 (m/s)

(라) 減衰量

降雪時 雪片에 의한 電波減衰量은 降雨減衰와 같이 空間密度數의 算出式 (6)과 全減衰斷面積 算出式 (7)에 의해 總減衰量을 算出하면 降雪時의 特性 減衰量은 다음 표 5와 같이 된다.

표 5. 降雪減衰特性

Status	snow	6 GHz			12 GHz			15 GHz		
		$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$
Dry	Needle	0.0027	0.029	0.192	0.0054	0.137	0.883	0.0067	0.207	1.27
	Cotton	0.0028	0.0108	0.791	0.0056	0.512	3.750	0.0070	0.837	5.11
	Powder	0.0033	0.029	0.210	0.0060	0.137	1.150	0.0083	0.231	1.72
	Hail	0.0013	0.641	1.86	0.0026	3.75	4.93	0.0032	5.27	5.98
Wet	Peony	0.28	0.468	1.62	0.56	1.270	5.04	0.65	1.79	6.16
Moist	Cake	0.38	0.57	2.70	0.78	1.55	5.70	0.90	2.18	6.60
Waterly	Dampness	0.55	0.77	4.05	1.29	2.30	6.81	1.52	3.20	7.60
	Rainy	0.06	0.85	3.02	1.295	2.56	6.95	0.37	5.10	6.20

※ 1.  $1 m^3$  空間에 含有된 總質量이 1.67 g 시의 減衰量 (dB/km)

2.  $\Gamma_1$  : 雪片에 發生할수있는 最少 크기 減衰 (그림 6 參照)

3.  $\Gamma_2$  : 雪片의 크기가 보통 정도의 경우 (그림 7 參照)

4.  $\Gamma_3$  : 雪片의 크기가 最大인 경우 (그림 8 參照)

따라서 12GHz 帶 電波 利用時 單位區間當 降雪에 의한 特性 減衰量은 표 6과 같이 되어, 이는 降雨減衰에 比較하여 5 ~ 10 여배의 높은 減衰를 갖게 되고 특히 水分含量에 많은 水雪시 가

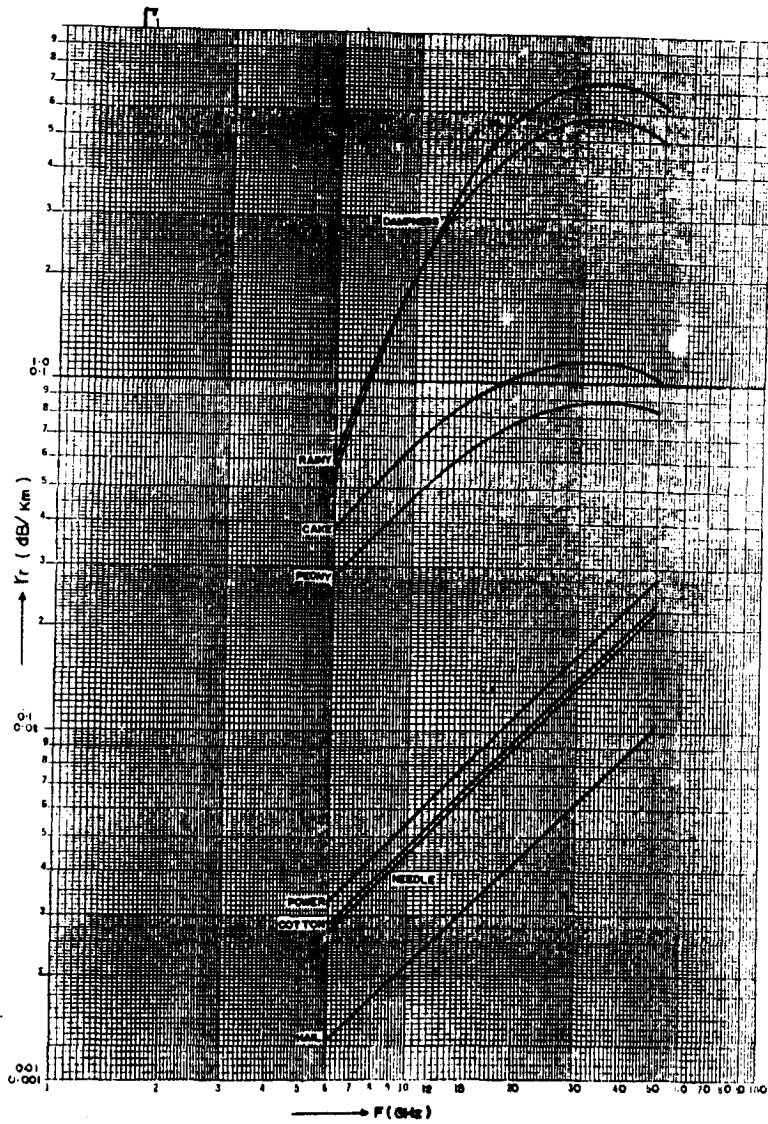


그림 6. 降雪減衰性圖 ; Ⅱ

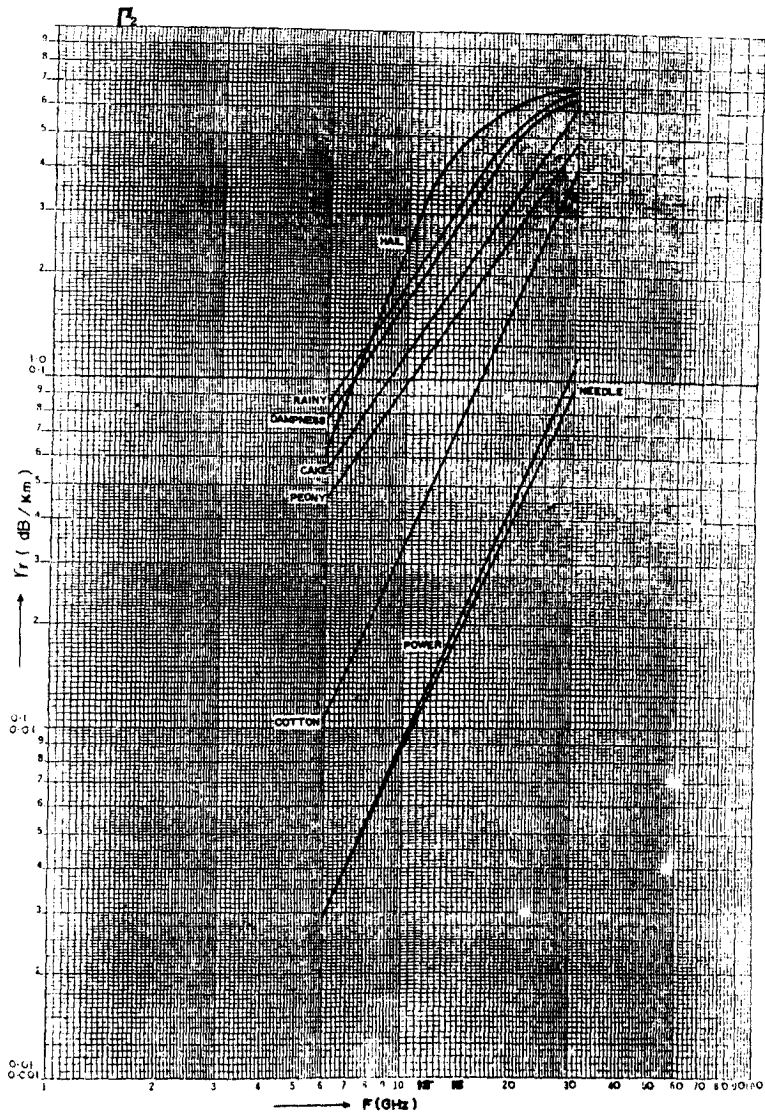


그림 7. 降雨減衰特性圖況

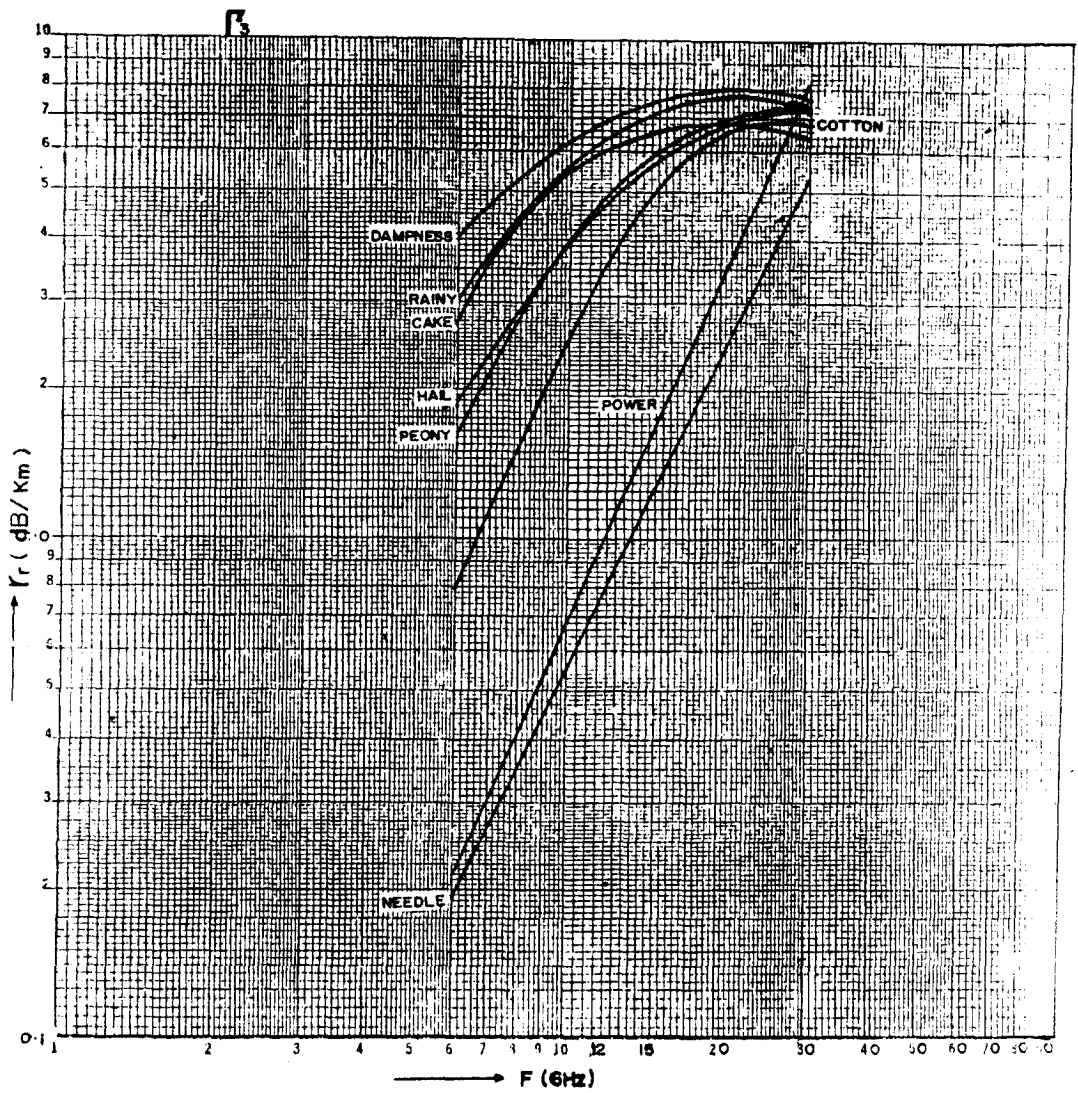


그림 8. 降雪減衰特性圖 ; f3

표 6 . 12GHz 대의 特性減衰量

雪 質	減 衰 量	單 位
乾 雪	0.0054 ~ 3.75	dB / km
濕 雪	0.56 ~ 5.04	dB / km
濡 雪	0.78 ~ 5.70	dB / km
水 雪	1.29 ~ 6.81	dB / km
우 박	0.0026 ~ 4.93	dB / km
진눈깨비	1.295 ~ 6.95	dB / km

장 높은 減衰特性을 나타냄을 알수가 있다.

#### 4. M/W 傳播實驗

##### 가. 概 要

當所에서는 衛星通信 및 衛星放送의 實用化에 對備하여 降雨 및 降雪에 의한 電波減衰特性을 調査하기 위하여 79, 12, 12 ~ 81 3, 1 까지의 7.8 GHz 周波數와 81, 7, 9 ~ 81, 9 26 까지의 14.7 GHz 주파수를 이용한 1.93 km 구간에서의 降雨영향을 관측하였다.

이때 使用된 주요 傳播實驗 諸元과 實驗 實施 構成圖는 다음과 같다.(參照 그림 9 )<sup>10)</sup>

##### (1) 主要回線諸元



- ① 送受信 場所：電波研究所 - 定養郵便局
- ② 實驗區間：1.93 km
- ③ 使用周波數：7.8 & 14.7GHz
- ④ 偏波：V - Polarization
- ⑤ 使用空中線：4FT Parabola
- ⑥ 送信出力：28.09 dBm

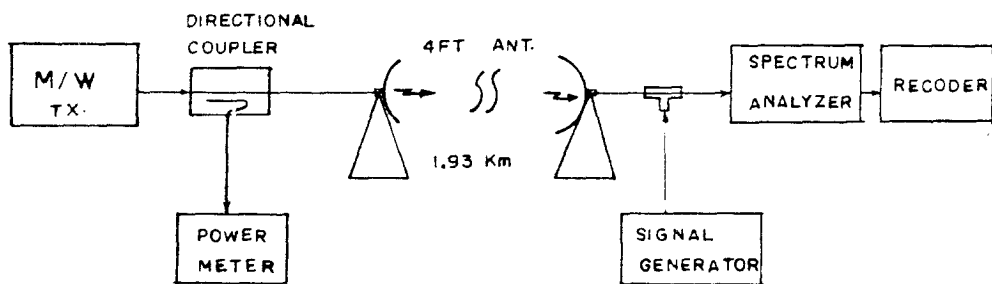


그림 9 . M / W 傳播實驗構成圖

主要 裝置 諸元

- ① 送信裝置 : TCM-604DT(TERRACOM)
- ② Spectrum Analyzer : Hp 141 T & 8555 A
- ③ Signal Generator : Hp 618 C
- ④ Recorder : Hp 680 M
- ⑤ RF Power Meter : Hp 463 A & 848 H
- ⑥ Directional Coupler : 779 D (20 dB)

나. 實驗結果

地上波 實驗期間중 主要 降雨 및 降雪時 발생된 減衰值 觀測  
量은 다음 표 6 과 같다.

표 6 . 降水 減衰 實驗結果

周波數 (GHz)	日 時	減衰量 (dB/km)	日降水量 (mm)	氣 溫 (℃)	狀 態	等價減衰 12GHz (dB/km)
7.8	79.12.26 14:00	4.15	-	-	비	10.37
	80.12.2 08:24	0.26	4.3	4.5	비	0.65
	80.12.22 22:27	2.02	3.9	-1.0	비 눈	5.05
	80.12.23 02:33	4.35	4.3	-1.0	비 눈	10.87
14.7	81.7.9 01:36	5.18	56.3	20.5	비	3.45
	81.8.25 19:35	6.47	35.6	16.8	비	4.31
	81.8.31 22:20	4.66	68.1	14.3	비	3.11
	81.9.24 18:45	5.54	85.1	-	비	3.69

※ 이 實驗을 實施할 당시에는 降雨强度 觀測施設이 없었기에  
중앙기상대에 문의한 서울지역 降水量이며 정성적으로만 확인했다.

## 다. 분     析

表 6 과 같은 M/W帶에서의 降水에 의한 減衰量은 7.8 GHz 帶의 경우 진눈깨비 成分에 의한 降雪時 最大 4.35〔dB/km〕와 降雨時 ( cold rain ) 의 最大 4.15〔dB/km〕이었고, 15GHz 帶의 경우 降雨期에만 實驗觀測에 의해 最大 6.47〔dB/km〕를 觀測되었다. 그러나 이資料는 短期間の 測定結果이며, 이에 대한 定量的 觀測資料가 없는 실정이므로 상관관계를 求할수가 없지만 降雨時의 각 실험주파수와 12GHz 대와의 상관관계를 분석하면,

$$(1) \text{ 降雨시 : } 7.8\text{GHz} : 12\text{GHz} = 1.0 : 2.5 \text{ 배 } [ \text{ dB } ]$$

$$15\text{GHz} : 12\text{GHz} = 1.0 : 0.66 \text{ 배 } [ \text{ dB } ]$$

(2) 降雪시 :  $\Gamma_3$  도표 ( 그림 8 참조 ) 에 의한 水雪시 7.8 GHz : 12GHz = 4.8〔dB/km〕 : 6.6〔dB/km〕 = 1.0 : 1.375〔dB/km〕의 관계를 求할수가 있어 降雪에 의한 7.8GHz 주파수대에서의  $\Gamma_3$  인 5.2〔dB/km〕보다 적은 減衰量으로 觀測되었고 12GHz의 주파수를 이용하였다면 최대 6.6〔dB/km〕의 減衰가 될것으로 예상되며, 降水減衰로만 생각하면 降雪시 최대 10.87〔dB/km〕의 減衰와 降雨시 최대 10.37〔dB/km〕의 減衰로 예상되어, 降雨시의 減衰보다 降雨시의 減衰영향을 중요시 하여야 할것으로 사료된다.

## 5. 降雨 觀測과 分析

M/W대에서의 傳播特性에 영향을 미치는 降水現象에 대한 實驗分析을 하기 위해서 당소에 自記降雨強度記錄計를 설치하여 81, 11, 1부터 82.8.31까지 短期間 측정자료를 분석하여 年平均 및 最惡月인 82.8월에 對한 降雨強度分析和 중앙기상대의 전국 각 지역 측후소에서 관측한 기상 자료를 비교하였고, 특히 CCIR<sup>⑬⑭</sup>에서 이용되고 있는 전세계 降雨기후도(그림 10 참조)와 이에 따른 時間率帶 降雨強度와의 相關特性圖表(그림 11 참조)에 의한 우리나라의 時間率別 降雨強度를 다음 표 6 과 같이 測定 分析, 考察하였다. ①⑥⑩

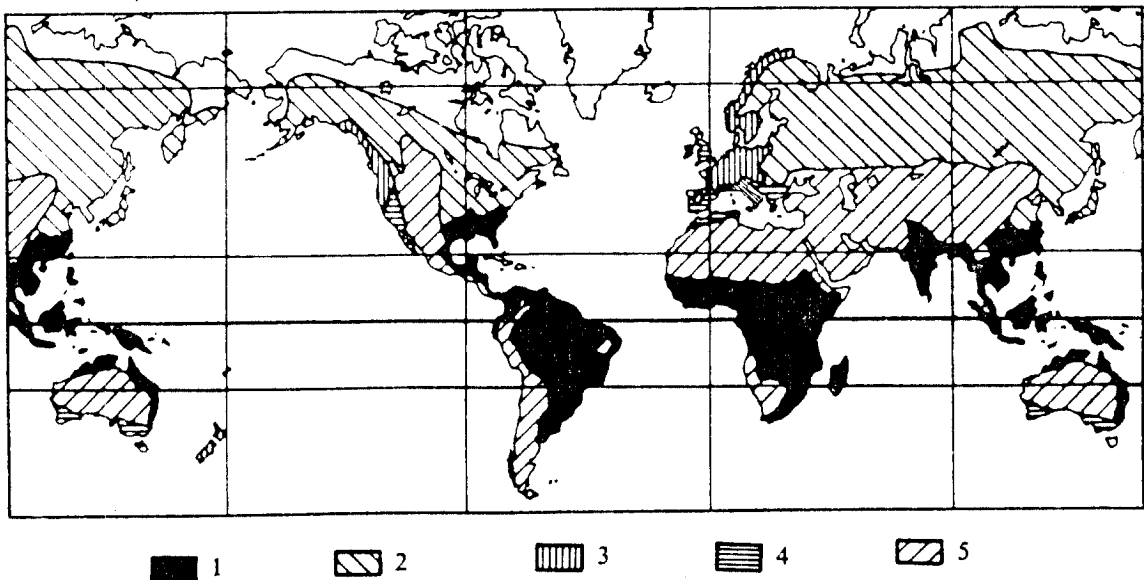


그림 10. 全世界降雨氣候圖

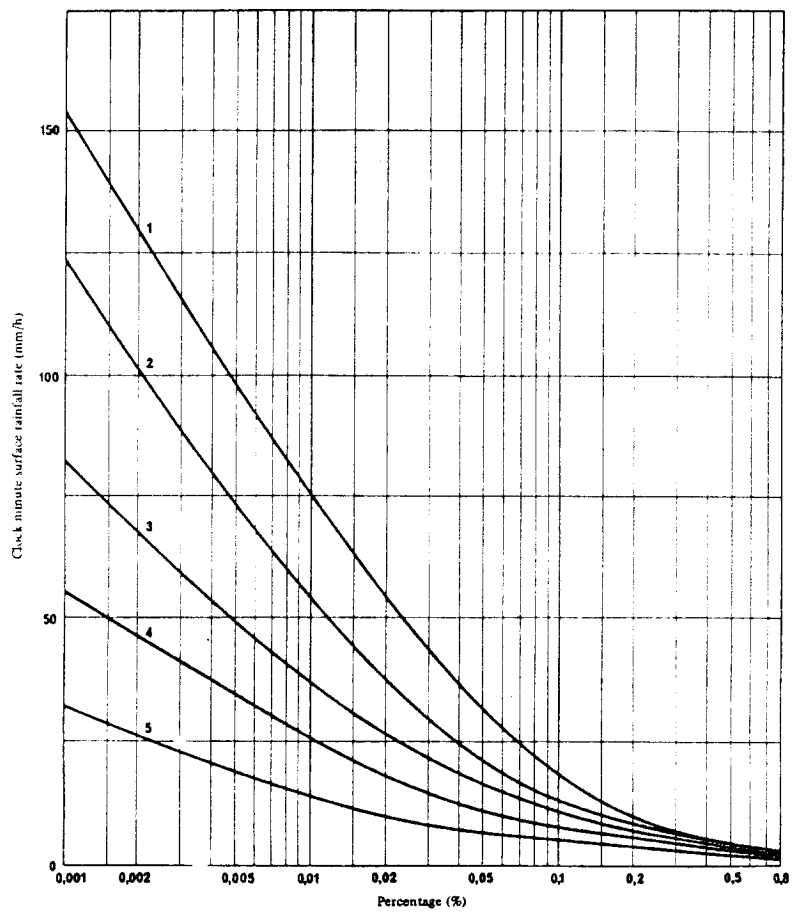


그림 11. 降雨氣候圖에 따른 時間率帶 降雨強度

표 6 . 韓國의 時間率別 降雨強度

( mm / h )

時間率 (%)	CCIR 年 平 均	電 波 研 究 所		중앙기상대
		年 平 均	最 惡 月	
1.0	3	5	10	예년 7 月 평균 : 253 (mm)  80 . 7 月 ; 292(mm)  81. 7 月 ; 279(mm)
0.3	7	12	17	
0.1	13	16	31	
0.03	30	29	55	
0.01	54	50	100	
0.003	88	82	-	
0.001	124	123	-	

※ 別圖 1 . 韓國의 時間率別 降雨強度圖 ( p.35 )

衛星放送回線 設計時 WARC-BS에서 권고하고 있는 降雨 Margin 은 해당지역의 최악월 1 %時間率에 해당하는 降雨強度에서의 降雨減衰量을 적용하도록 권고되고 있어 본 報告書에서는 1 % 時間率에 해당되는 降雨減衰영향을 고려하여 일반 기상관측자료중, 電波氣象學的 統計分析에 의한 月降水量과 1 % 時間率에 상당하는 降雨強度와의 관계는 다음 實驗式과 같이 ④

$$R ( 1 \% ) = 0.0032 M \dots\dots\dots (22)$$

을 구하고 이 實驗 相關式을 중앙기상대에서 측정한 例年 7月 平均 降水量인 253(mm)에 적용하면 8.1 ( mm / h )의 降雨強度를 求할수 있고, CCIR의 降雨 기후도와 時間率 相關圖 ( 그림 11 )에서의 時間率 1 %의 降雨強度는 3 ( mm / h )이며, 당 研究所에서

관측한 降水量의 분석에 의하면 年平均  $5 \text{ (mm/h)}$ 와 最惡月인 1982. 8月の 경우  $10 \text{ (mm/h)}$ 가 觀測되었다.

그러나 중앙기상대의 예년 7月 平均  $253 \text{ [mm]}$ 의 降水量에 비교하여 80. 7月과, 81. 7月の 경우  $293 \text{ [mm]}$ 와  $279 \text{ [mm]}$ 로서 예년 7月の 평균치보다 많은 降水量을 나타내고, 당소에서 觀測하였지만 82. 8月에는  $10.0 \text{ (mm/h)}$ 의 더 많은 降雨를 알 수가 있다. 따라서 한국의 降雨強度는 중앙기상대 관측자료인 예년 7月 평균의 강우량  $253 \text{ (mm)}$ 에 대해 1% 時間率에 相當하는  $8.1 \text{ (mm/h)}$ 이상의 降雨強度値를 이용하면 좋을 것으로 생각된다.

## 6. 降雨減衰量 推定

12GHz 帶 衛星放送 回線設計를 위한 最惡月の 1%時間率에 대한 降雨減衰量 推定을 위해서 81. 7月の 全國 平均 最低 氣溫인  $22.4^\circ\text{C}$ 를 이용한  $0^\circ\text{C}$  等溫線高度 는 식(14)에 의해  $h_c = 5.694 \text{ (km)}$ 와 최저 衛星放送波 受信仰角  $43^\circ$ 를 적용한  $\gamma_s = 8.349 \text{ (km)}$ , 그리고 降雨強度에 따른 減衰量은 식(12)에 의해 總回線 減衰量을 산출하면 다음과 같다.(표 7 참조)

그러므로 한국에서의 降雨減衰量은 표 7과 같이 最惡月の 時間率 1%시 CCIR 및 WARC-BS에서 보고 및 권고하고 있는 1.3 dB보다 실제 降雨量 觀測에 의한 최근의 減衰値는 1.87 ~ 2.413 dB가 되며, 日本의 경우 기존 1.3 dB 정도의 降雨 M - argin에서 최근 실험한 BSE의 실험결과에 따라 2.4 dB로 할

표 7. 韓國에서의 衛星放送回線 減衰量

區 分	예년 7 월	80. 7	81. 7	82. 8	WARC	일 본
月 降 水 量 (mm)	253	292	279	325	-	-
降 雨 强 度 (mm/h)	8.1	9.3	8.9	10.0	3.0	-
特 性 減 衰 量 (dB/km)	0.224	0.265	0.282	0.289	0.155	-
回 線 減 衰 量 (dB)	1.870	2.212	2.350	2.413	1.3	2.4
(주)	1	2	3	4	5	6

(주) 1, 2, 3 ; 중앙기상대 관측<sup>⑬⑭</sup>

4 ; 전파연구소 관측<sup>⑮</sup>

5 ; WARC - BS ( & CCIR ) ①⑥

6 ; 참고문헌 ④

것을 CCIR會議의 議案으로 제출한바 있다.

따라서 우리나라의 경우 衛星放送回線에 대한 WARC - BS권고치인 1.3 dB에서 최소한 예년 7月 平均 降雨資料에 따른 1.87 dB (약 1.9 dB) 이상의 강우 margin을 적용함이 좋을 것으로 생각되며, 이 降雨 margin은 夏季의 降雨期에만 적용한 것이지 冬季의 진눈깨비등 受雪시 降雪에 의한 減衰量이 최대 10 여배 이상의 減衰가 發生함을 고려한다면 계속적인 降雨 및 降雪의 强度 觀測과 降雨등의 降雪減衰 研究調査가 실시되어 降雨 및 降雪時의 研究資料와 回線 信賴性등의 總合的인 最適 回線設計資料를 定立시키기 위하여 계속적으로 研究되어야 할것으로 생각된다.

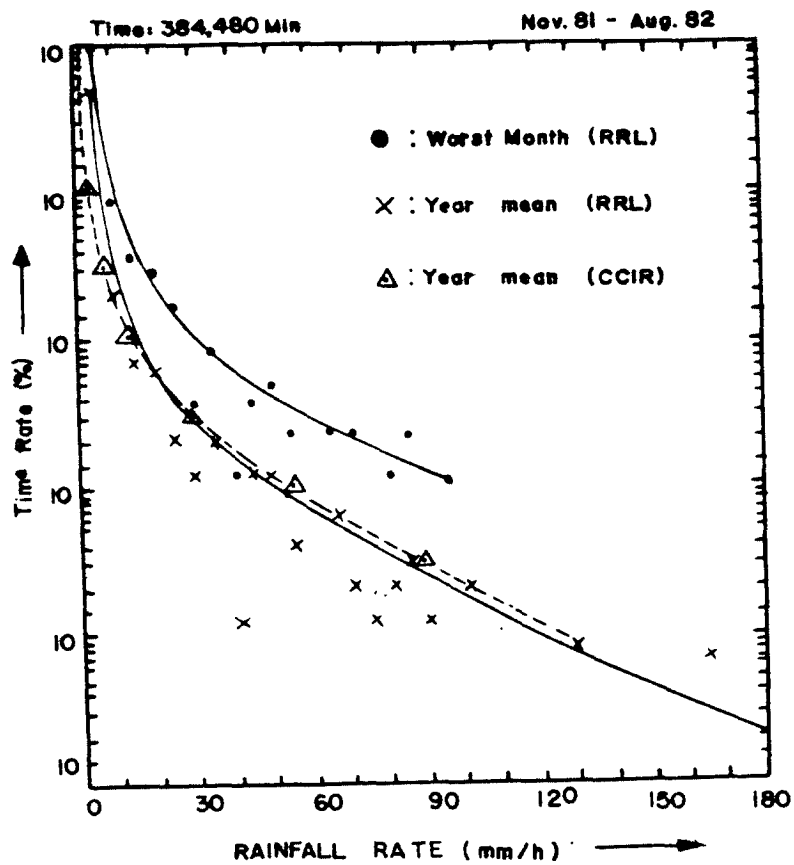


## Ⅲ . 結 論

1.  $M/W$  이상의 周波數를 利用하는 無線通信回線에서의 降雨 및 降雪時의 電波減衰特性은 當研究所에서의 短期間 實驗에 의한 資料로서 降雨期인 7, 8 月의 경우 7.8GHz 周波數에서 4.15 ~ 4.35 [dB/km]의 觀測資料에 依해 12 GH 帶에서 等價減衰量은 最大 3.69 ~ 10.87 [dB/km]의 減衰가 예측되고 특히 진눈깨비의 경우 減衰 영향은 降雨時보다 더 커짐을 알수 있다.

2. 衛星放送 回線設計時 最惡月 1% 時間率에 대한 降雨減衰는 CCIR 및 WARC-BS 보고와 권고에 의한 1.3dB 보다는 한국에서의 降雨觀測資料에 다른 예년 평균 7 月의 예상 減衰量은 1.87 dB 이고 최근의 降水量 觀測資料에 依하면 1.9dB (예년 7 月 평균) 이상을 적용함이 바람직하다고 사료된다.

3. WARC-BS에서는 降雨減衰만 적용하여 衛星放送回線の M-margin을 적용하도록 하였으나 우리나라의 경우 降雨時보다 5 ~ 10 배 정도의 減衰特性을 갖는 水雪時 특히 진눈깨비에 의한 영향이 더 큼으로 回線設計時 이 점을 유의하여야 할것으로 생각되며 계속적인 降雪減衰영향을 調査하여 技術資料를 整립, 利用하여야 할것으로 사료된다.



別圖 1 ; 韓國의 時間率別 降雨強度圖

## 参 考 文 献

1. ITU, "Final Acts of the W.A.R.C. for the Planning of the Broadcasting Satellite Service in Frequency Bands 11.7 - 12.2 GHz", Geneva, 1977.
2. CCIR, "Report of Interim Working Party PLEN. 3-Broadcasting Satellite System", Doc. PLEN. / 9-E, 1 December 1981.
3. CCIR, "Attenuation by precipitation and other Atmospheric Particles", Doc. 5/187-E, 30 June 1980.
4. CCIR, "Propagation data for Broadcasting from Satellites at Frequencies above 10GHz", Doc. 5/14-E, 2 June 1980.
5. CCIR, "A prediction methode of 1% value in montly cummulative time distribution of rain rate and rain Attenuation", Doc. 9/257-E, 26 June, 1978.
6. CCIR, "Radio Meteorological Data", Report 563-1, Vol. V, XIVth Plenary Assembly, Kyoto, 1978.

7. A. Nishitsuji, "On the Propagation Loss of Centimeter and Millimeter Waves in Rain-fall". Trans. IECE, Vol. 54-B, No. 8, pp. 482-489, Aug. 1971.
8. E. Asari, "A calculus of Attenuation of Microwave in Precipitation by Random Scattered ray model", Trans. IECE, Vol. 80, No. 211. A.P. 80-93, pp. 1-6, 19 Dec, 1980.
9. T. Oguchi & Y. Hosoya, "Scattering and Absorption of an Electromagnetic wave by Rain-drops", Trans. IECE, Vol. 60, No. 4, pp.368-375, Aprill 1977.
10. 육재림, 배준호, 정점균, "UHF 전파전파연구", 전파연구소연구보고서, 제 34 호, pp.63-71, 1980.
11. B.R. Bean and E.J., Dutton, "Radio Meteorology", U.S. Department of Commerce, NBS Monograph 92, pp. 269-309, 4 March 1966.
12. 한국기상학회번역위원회, "일반기상학", 광림사, pp.102-190, 1971.12.5.
13. 중앙관상대, "기상년보 1980", 광덕문화사, 1981. 10.31.
14. 중앙관상대, "기상월보 1980.1-1981.7", 동진문화사
15. 岩出貞夫, "氣象の事典", 東光堂出版, 1969.4.20.

- 16 . 서갑석, 육재림, 배준호, 원영권, “ 위성방송에서의 강수감쇄영  
향 ”, 82 년도 통신, 교환, M/w 파 및 전파전파연구회 합동  
학술발표회 논문집, 대한전자공학회, 1982. 9. 23.