

UHF 전 파 전 파 연 구

목 차

1. 서론	7
2. 우주통신용 전파	9
가. 라디오·원도우	9
나. 위성 사용주파수	12
다. 전송이론	15
3. 대기권 전파	17
가. 대기권 효과	17
나. 굴절의 영향	17
다. 산소와 수증기에 의한 흡수	21
라. 강수에 의한 감쇄	26
마. 강수에 의한 XPD	28
바. 구름과 안개에 의한 감쇄	28
사. 회선 조정	32
4. 전리층 전파	33
가. 전리층 효과	33
나. 쉐넬레이션	33
다. 파라데이 효과	38
라. 흡수	40
마. 전송 시간의 지연	40

바. 주파수 변환.....	41
사. 도래방향의 변동.....	42
5. 결 론.....	44
참고문헌	

통신기정 송찬극

통신기과 천무근

전송기사 육재택

전송기사보 배준호

1 . 서 론

산업 발전에 수반하여 정보 전달을 위한 통신 수요가 증대함에 따라 통신 방식의 다양화로 그외 매개체인 전파 자원의 부족 현상을 해결하기 위한 방안으로 1971년 세계무선통신주관회의 (WARC-ST)에서는 기존 주파수 상한인 40 GHz에서 275GHz로 대폭 높였고 대부분의 이들 주파수밴드를 위성 통신과 방송 및 전파천문과 우주 연구용으로 할당시켰다.

또한 무선통신 방식도 기존 단파통신 방식에서 다중 채널 통신이 가능한 해저 케이블과 지상 마이크로파 통신에서 1957년 10월 최초의 인공위성 (소련, 스푸트닉-1) 발사와 1958년 12월 통신 실험 위성 (미국, SCORE)의 실험 성공을 효시로 경쟁적인 각국의 우주개발에 의한 방송과 통신 및 기타 목적용 인공위성을 실용화 시켰고, 한국에서도 1970년 4월 부터 INTELSAT에 의한 우주통신의 서막을 올리게 되었다.

이러한 통신 수요의 증대와 새로운 통신방식의 변천 및 신기술에 의한 고감도 분해능을 갖는 Remote sensing 및 에너지 이용을 위한 전파의 이용도가 증가되고 이와 더불어 EHF대까지의 발전. 변조 및 검파와 증폭이 가능한 전자 device 부분에서의 획기적인 개발로 200GHz대까지의 이용이 가능하게 되었으나, 伝播특성면에서는 대기 분자에 의한 산란, 감쇄, 흡수 및 세 현상으로 인한 GHz대의 무선전송에 제한을 갖게 됨에 따라 이 특성

을 해결하는 것이 새로운 주파수와 자원 개발의 Key가 되고 있다.

따라서 당 연구소에서는 국제적인 추세에서는 상당히 늦었으나, 새로운 주파수의 이용과 개발에 의한 주파수 할당 및 앞으로 닥아설 우주통신 및 우주 전파 감시를 위한 UHF대 이상의 전파 전파 연구를 1978년 부터 착수하여, 일차적으로 연구를 위한 기초 이론 자료 조사를 하게 되었고 본문에서는 우주통신에 관련된 주파수 이용상의 문제점을 논할 것임.

2. 우주통신용 전파

가. 라디오 윈도우

우주통신용 전파를 이용할 때에는 원거리에서 송신되는 전파의 미약한 세력을 수신하기 때문에 우주 - 지구국 간에 있는 대기권에서의 대기 분자등과 전리층을 통과할 때 받는 전파의 감쇄 손실이 적을것이 요망된다.

보통의 경우, VHF대 이상의 주파수는 전리층을 통과할 때 받는 감쇄가 적어 우주통신에 적당하나 주파수대가 GHz대 이상이 되면 대기층에 의한 기체 분자와 수증기 등에 의한 흡수, 비 또는 안개 등에 의한 흡수 및 산란으로 인한 전파의 에너지가 감쇄를 받는다.

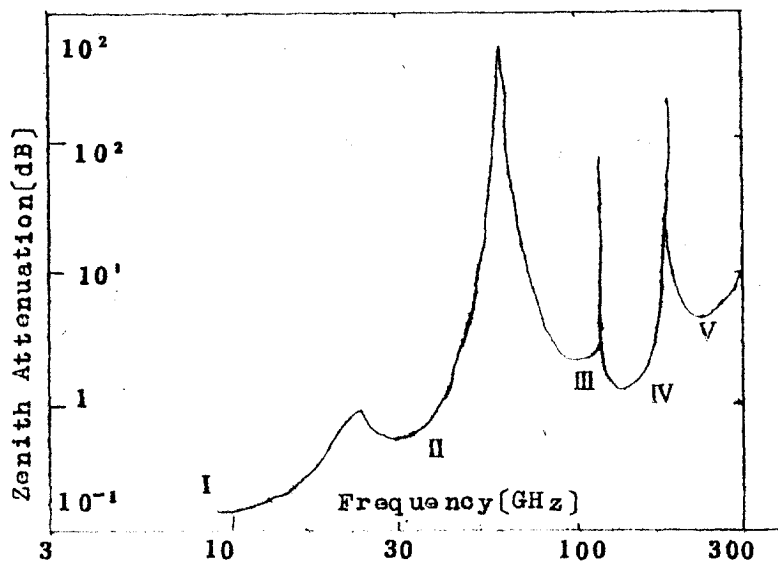
따라서 우주통신을 위한 전리층과 대기권에 의한 영향을 받지 않는 주파수의 이용이 요구되며, 이러한 경우는 마치 창문에 이용되는 커튼과 같은 역할을 함에 따라서 이러한 주파수의 범위를 電波窓 (Radio Window) 라 부른다.

라디오 윈도우를 결정하는 요인은 많으나 하한의 주파수는 전리층에 의한 흡수를 받는 주파수대와 상한의 경우에는 대기권에 의한 감쇄 요인으로서 결정되어 통상 20MHz ~ 10GHz 정도가 실용성이 있다고 하겠으나 위성통신에서는 1 ~ 10GHz대를 일반적으로 이용하고 있고 특정 지역에서는 전조 지역인 高地帶에서

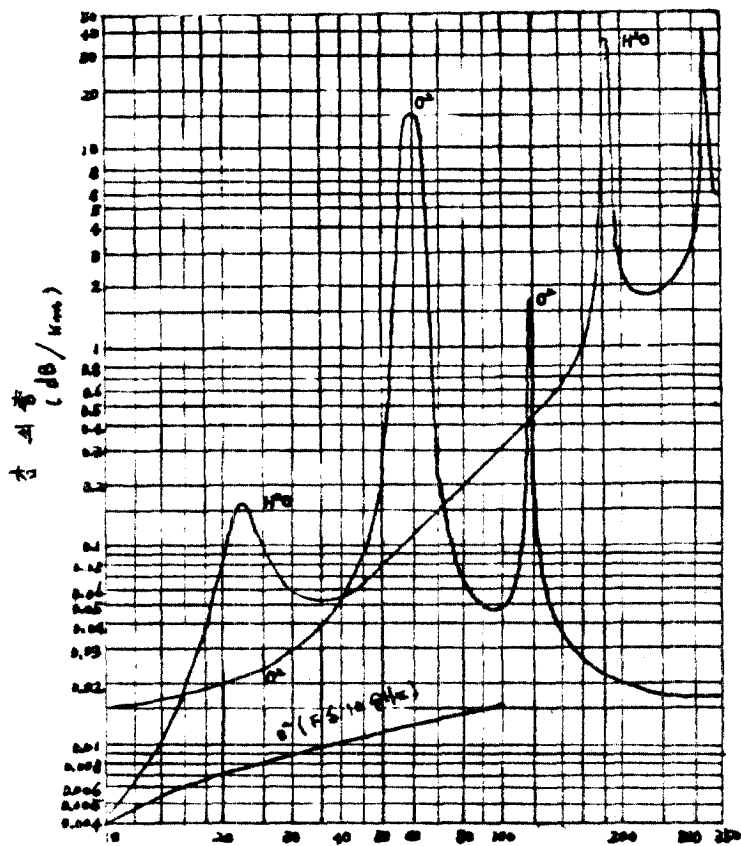
약 50 GHz 정도까지 이용 가능하며, 극 지방에서는 하한의 주파수를 2 MHz 까지 이용 가능하고 기타 잡음 Spectrum에 의해서도 한정되고 있다. (1)(2)(3)(4)(5)(23)(24)

표 1. 電波窓의 주파수에 대한 천정방향의 감쇄

WINDOW FREQUENCY		ZENITH ATTENUATION
I.	9.4 GHz	0.145 dB
II.	33.3 GHz	0.414 dB
III.	100.0 GHz	1.250 dB
IV.	130.0 GHz	0.906 dB
V.	231.0 GHz	2.110 dB



도 1. 천정방향의 대기에 의한 감쇄와 電波窓



주파수 (GHz)

도 2 . 대기 에 의한 감쇠 특성

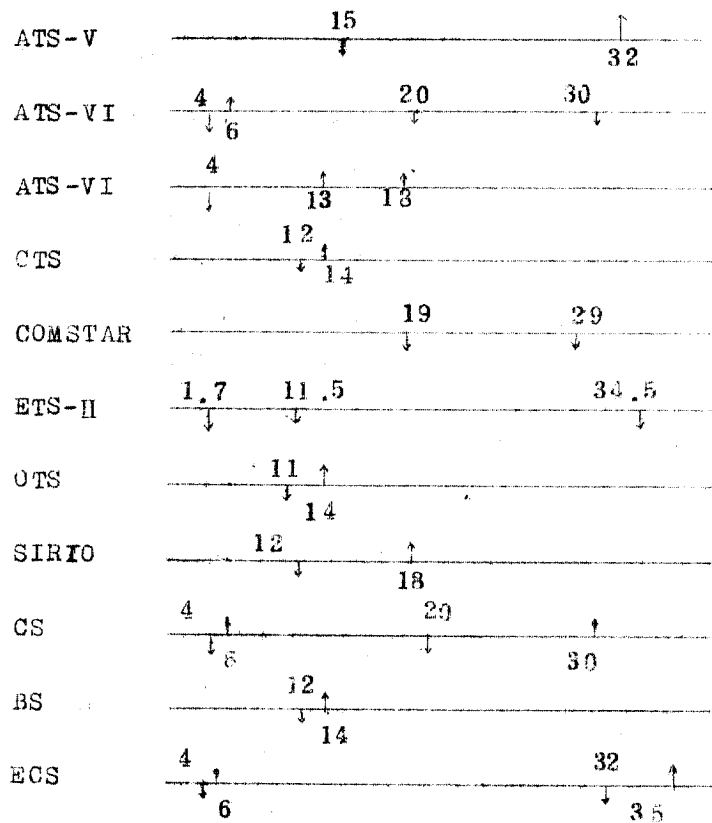
나. 위성 사용 주파수

위성 통신을 위한 주파수는 위성 운용 목적과 전파전파 특성에 따른 가장 효율적인 주파수의 선정 이용이 요망된다.

보통 미약한 신호세력의 최선 품질을 유지시키기 위한 margin level을 확보하기 위해서는 우리가 알고 있는 電波窓의 주파수를 이용함으로써 사용 전파의 감쇄가 적은 전파 이용이 가능하고 통상적으로 실용화된 주파수는 1~14GHz의 주파수와 정보전송 용량이 적어도되는 Telemetry와 Tracking 및 Commanding용으로는 130~750MHz대를 이용하고, 특수 목적용으로서 전리층 관측용을 위해서 10~40MHz도 사용하고 있다.

그러나 높은 주파수의 이용을 위해서 35GHz대까지 실험중이나 머지않아 실용이 가능할 것이다 (참조: 표 2)

참고로 1983년까지 85개의 지구 정지형 위성 (Geostationary Satellite)에 사용 또는 제회를 위해 IFRB에 등록된 주파수는 다음 표 3과 같다. (6)



↑ : UP LINK ↓ : DOWN LINK

표 2 : 주요실험 위성 사용 주파수

표 3. 정지형 위성통신 사용 주파수 (85 개)

(1965 ~ 1983)

위성업무	UP LINK	DOWN LINK
국내통신	6 , 8 , 14 , 30GHz	2.5 , 4 , 7 , 11 , 12 20GHz
국제통신	6 , 14GHz	2.5 , 4 , 11GHz
해상통신	300 — 312MHz 1.6 , 6 , 14GHz	248 — 260MHz 1.5 , 4 , 11GHz
이동통신	335 — 399MHz 1.6GHz	240 — 328MHz 1.5GHz
방송업무	6.2 , 14GHz	714MHz. UHF 11 , 14GHz
기상업무	148 , 149 , 402MHz 2.0 — 2.1GHz	136 — 137 , 468 — 469MHz 1.7GHz
군용	290 — 320MHz 1.8 , 7 , 8 , 30GHz	240 — 270MHz 2.3 , 7 , 8 , 20GHz
실험용	135 — 149MHz, UHF대 UHF대 2.0 — 2.1 , 6GHz 13 — 18GHz 34.8 , 36GHz	39 — 361MHz 860MHz UHF대 1.5 — 2.5GHz 4GHz 11 — 13GHz 31.7 — 34.5GHz

다. 전송이론

일반적으로 우주통신을 위한 전파의 사용에는 전리층과 대기권을 통과함에 따른 영향과 우주 - 지구국간의 통신 구간에 따른 자유 공간 전송상의 손실을 받는것은 잘 알고있다.

위성에서 송신된 전파를 $P_t [W]$ 라 하고 지구국의 수신 공중선에 수신된 전력을 $P_r [W]$ 라 하면

$$P_r = P_t - L_s [dB]$$

로 표시할수 있으며, 여기에서 L_s 는 우주 통신 회선의 全回線損失을 말하며

$$L_s = L_{bf} + L_i + L_a - (G_t + G_r) [dB]$$

로서 표시할 수가 있다. 이때의 L_{bf} 는 자유 공간상의 기본 전송 손실, L_i 는 전리층 통과시 받는 전리층 손실, L_a 는 대기권내에서 받는 대기 손실 및 G_t 와 G_r 은 Isotropic 공중선을 기준한 송, 수신 공중선의 이득으로 가정한다.

이때 자유 공간상 기본 전송 손실은 우리가 잘 알고 있는 바와 같이 Isotropic 공중선에 의한 방사 전력을 $P_t [W]$ 라 하고, 단위 구간에 의한 통신 구간을 $d [m]$ 라 하면, 단위 구간에서의 Poynting Vector에 의한 전력은 $P_t / 4\pi d^2$ 가 되어 수신 흡수 면적은 $\lambda^2 / 4\pi$ 가 되기 때문에 동일한 Isotropic 공중선에 수신되는 유효 수신전력

$P_r [W]$ 은

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad [W]$$

가 되므로, 자유 공간상의 기본 전송 손실을 L_{bf} 라 하면

$$\begin{aligned} L_{bf} &= 10 \log_{10} \left[P_t / \left(P_t \lambda^2 / (4\pi d)^2 \right) \right] \\ &= 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (dB) \end{aligned}$$

가 된다.

이때, L_{bf} 를 decibel로서 표시하면

$$L_{bf} = 92.442 + 20 \log_{10} f \text{ (GHz)} + 20 \log_{10} d \text{ (Km)} \quad (dB)$$

가 된다 (7)

따라서 위성통신 전파의 수신 전력 P_r [dB] 은

$$\begin{aligned} P_r &= P_t - (L_{bf} + L_a + L_i) + (G_t + G_r) \\ &\Rightarrow P_t + G_t + G_r - L_{bf} - L_a - L_i \\ &= P_t + G_t + G_r - (92.442 + 10 \log_{10} f + 20 \log_{10} d + L_a + L_i) \\ &\quad (dB) \end{aligned}$$

그러므로 35,757 km의 적도 상공에 있는 지구 정지형 위성의 경우에는 회선 손실중 자유 공간상의 기본 전송 손실이 가장 지배적이나, 한정된 통신기기의 설계와 device에 의한 mission 부의 특성상 100 W 이하의 송신전력을 방사할 경우에 기본 전송 손실이 크게됨에 따라서 회선 품질의 유지를 위한 margin level을 확보하는데 따른 대기권의 구성 성분과 전리층등의 영향에 의한 감쇄를 고려하여야 한다.

3. 대기권 전파

가. 대기권의 효과⁽³⁾

전술한 바와 같이 대기권을 통과하는 전파의 에너지는 산소, 수증기 등의 분자에 의한 흡수와 빛방출 및 다른 미립자에 의해 산란을 받는 감쇄가 있다.

특히 이러한 특성은 양각에 따라 통과하는 전파 통로 길이 변화와 감쇄치도 비례하며 흡수된 전파등과 같이 산소와 수증기에 의한 수신 공중선 Beam 내에서의 잡음원이 되기도하고 대기의 굴절효과에 따른 도래 방향 편향 효과를 유발시킨다.

나. 굴절의 영향

(1) 굴절 이론

굴절에 관한 이론은 잘 알고 있는 바와 같이 어느 지점의 전파 통로에 대한 굴절에 의한 곡률은⁽⁴⁾

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{n} \cos \phi \frac{dn}{dh}$$

로서 표시할 수가 있다. 이때의 n 은 굴절율이고 ϕ 는 그 지점에 대한 수평선과 전파 통로와의 각도 및 dn/dh 는 굴절율에 대한 수직 경사각이다.

이 때의 굴절율 n 은

$$n = 1 + N \cdot 10^{-6}$$

로서 표시할 수가 있다.

단

$$N = \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) : \text{굴절 계수}$$

P : 대기 압 (mb)

e : 수증기의 분압 (mb)

T : 절대 온도 (°K)

또한 고도 h에 대한 대기 굴절을 n(h)는 다음과 같이 표시할 수가 있다.

$$n(h) = 1 + a \cdot \exp(-b \cdot h)$$

단, a, b는 각 지역에 따른 기후에 의한 통계에 의해서 구한 평균치로서 해발고 h (Km)에 의한 n(h)는 다음과 같이 CCIR에서 권고하고 있다. (9)

$$n(h) = 1 + 289 \times 10^{-6} \exp(-0.136 h)$$

그러기 때문에 대기내의 전파 굴절율은 전파 통로의 고도(高度)와 기상 상태 및 경사각에 따라서 다를 수 있다.

저 양각에 대한 전파 굴절율은 정확하게 측정하기는 곤란하나 전파 통로의 반곡 부분은 지표면에서 제일 가까운곳의 밀도가 가장 크고, 대기의 변화가 많은 지점에서 발생한다.

(2) 효과

실제로 위성에 대한 側距 (RANGING)시 위성의 양각이 증가할수록 대기 굴절 효과로 10° 이하의 양각에서는 약 3°까지의 오차가 발생하고, 10° ~ 50°의 범위에서는 1 ~ 2°의 오차

가 발생하며, 50° 이상의 위 치에서는 오차를 무시할 수 있어 50° 이하에서는 보정이 필요하다 (主 1)

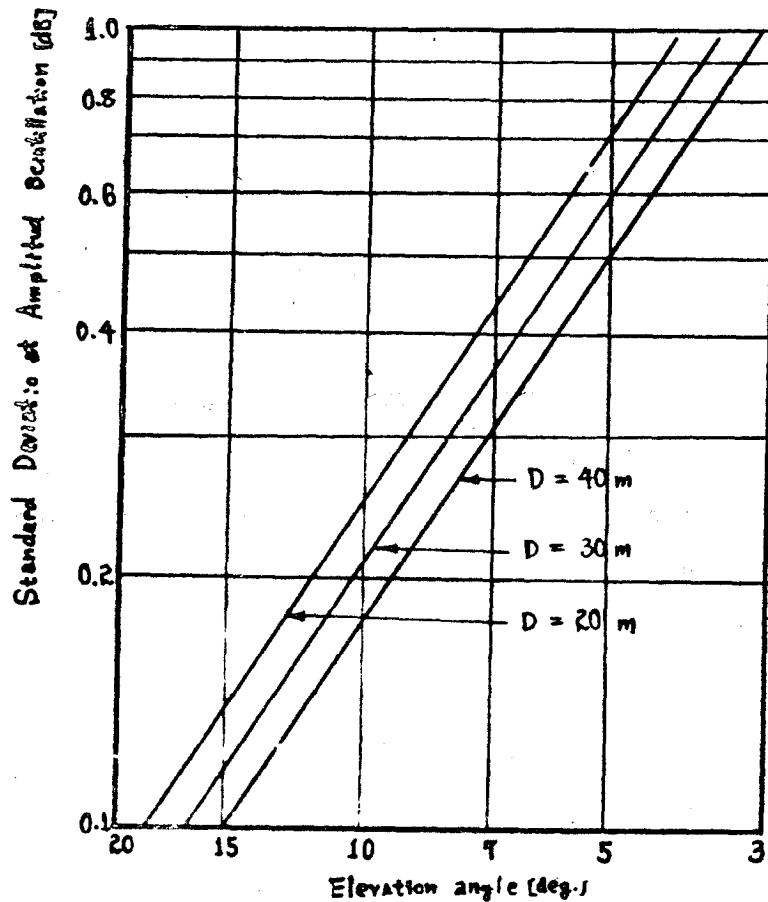
또한 대기의 굴절 효과에 의해서 대형 지향성 공중선을 지구 국에서 사용시 대기에 의한 양각과 굴절로 인한 초점 불일치 (Atmosphere defocusing) 현상으로 인한 신호 전송 손실이 추가로 발생되며 이것은 대기 굴절을 변화로 인한 공중선 Beam 이 확장 (dispersion) 됨에 따른 손실이고 약 5° 이상의 양각에서는 무시하여도 된다.

(3) 신틸레이션

전파 통로상의 대기내 수직 분포상에서의 대기의 Irregularities 한 성분에 의한 대기 변동에 의해서 전파의 진폭, 위상, 도래각등이 급속히 변화하는 현상을 Scintillation이라고 부른다. 이러한 현상은 전파 추적 방식 (Tracking) 의 확도 저하와 위상 불일치로 인한 전송 주파수의 안정성에 영향을 주고 대형 공중선 일수록 영향이 적으며 그림 3도는 진폭 신틸레이션에 대한 수신 공중선 크기별 표준 편차를 나타낸 것이다.

참조 도 3 : 진폭 신틸레이션의 표준 편차

主 1 : 예 : 일본의 실험 방공 위성 (BS : 동경 110°) 에 대한
전파연구소에서의 거리와 양각은 3 754.62 Km 와 43°
07' 36" 일



도 3. 공중선크기와 양각에 따른 진폭 선타레이션 표준편차

이러한 대규모의 현상 발생시에는 주파수가 높고 양각이 높아도 영향이 생기고 약 10° 의 양각에서 100GHz대와 35GHz대의 최대 fading량은 $\pm 12\text{dB}$ 와 $\pm 6\text{dB}$ 의 변동과, 45° 양각에서는 $\pm 4\text{dB}$ 와 $\pm 2\text{dB}$ 나 되고 있다.⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

이러한 현상도 지역적으로 다르며 비교적 저 양각에서의 중요한 요인이 되고 있다.

다. 산소와 수증기에 의한 흡수 (2)(3)

대기 가스와 수증기등의 물방울에 의한 감쇄는 보통 단위 길이당의 감쇄 손실 [dB/Km] 로 표시한다. 지상 통신의 경우에는 대기 특성은 거의가 전파로에 대해 일정하다고 보아야 할 것이나 우주통신시 양쪽에 따른 대기권 전파통로의 길이가 변화함으로써 양쪽에 따라 손실이 결정된다.

지금 우주통신 전파로의 길이 r [Km] 에 대한 대기내의 가스성분에 의한 감쇄를 $A(a)$ 라 하면

$$A(a) = \int_0^r r_o(r') + r_w(r') dr' \quad [dB]$$

가 되고 여기에서 r_o, r_w 는 산소와 수증기에 의한 흡수계수 [dB/Km] 이다.

따라서 상식에 의한 계수는

$$A(a) = r_{o0} \cdot r_{e0} + r_{w0} r_{ew}$$

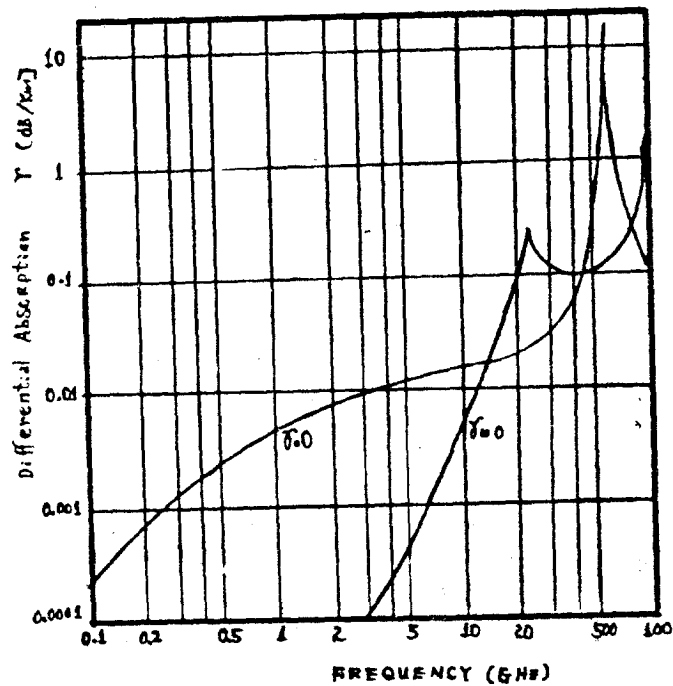
여기에서 r_{o0}, r_{w0} 는 지표면에서 결정하는 흡수계수이고, r_{e0} 와 r_{ew} 는 대기를 통하는 전파로의 유효 거리이다. 산소의 흡수에 대한 유효 거리 r_{e0} 는 높은 쪽에서는 희박하여 약 4 Km의 지상고까지의 넓은 일정한 밀도의 대기를 전파가 통하는 거리를 말한다. 한편, 수증기의 흡수에 대한 유효 거리 r_{ew} 는 약 2km의 일정한 두께의 대기를 통과하는 전파거리와 비슷하다.

따라서, 수증기에 의한 흡수는 22.235GHz 와 183.31GHz 및

산소에 의한 60GHz ± 10 GHz 내의 10개 흡수 주파수대와
118.7GHz의 흡수로 인한 감쇄가 급증한다.

그림 4 도는 1967년 NBS에서 공표한 지표의 절대온도 10
g/m³에 대한 산소의 흡수계수 γ_{o0} 와 수증기의 흡수계수 γ_{w0}
를 표시한 것이다.

참조 : 도 4 지표면의 γ_{o0} 와 γ_{w0} 의 흡수도



4 도 지표면의 γ_{o0} 와 γ_{w0} 의 흡수도

그림 제 5도는 주파수 $1 \sim 100\text{GHz}$ 에 대한 중간정도의 대기
(지표에서 7.5 g/m^2)를 통과하는 전파통로의 수직부와 수평 부
에서 구한 편도 감쇄 이론치를 표시한 것이다.

이 그림은 또한 같은 상태의 대기를 통과하는 수직 전파로에
대한 0%와 100%의 상대습도의 경우를 표시한 것이다.

참조 ; 그림 5 도 대기에 대한 수직 및 수평 통로의 감쇄도
(미국의 위도 45° 에 대한 7월의 대기 상태를 표준으로 계산)

또, 그림 제 6도는 같은 주파수에 중간 정도의 습도에 대한
일정 고도하에서의 수직 통로에 대한 한 방향의 감쇄를 표시한다.

참조 ; 그림 제 6도 일정 대기에 대한 수직 고도에 따른 대기
감쇄

또 유럽지구에서 ESRO (European Space Research Organiza-
tion)에 의해 11.5GHz 로서 2년간에 걸친 Radiometer법에
의한, 대기 가스에 의한 감쇄 측정자료는 다음표 4 과 같았고
다른 주파수 f 에 의한 감쇄치 계산 방법은 11.5GHz 측정치
를 기준으로 해서 (12)

$A(f) = A(11.5) [1 + 0.2(f - 11.5)]$ 에 의한 대기
감쇄를 구할 수가 있다.

단, f 는 GHz

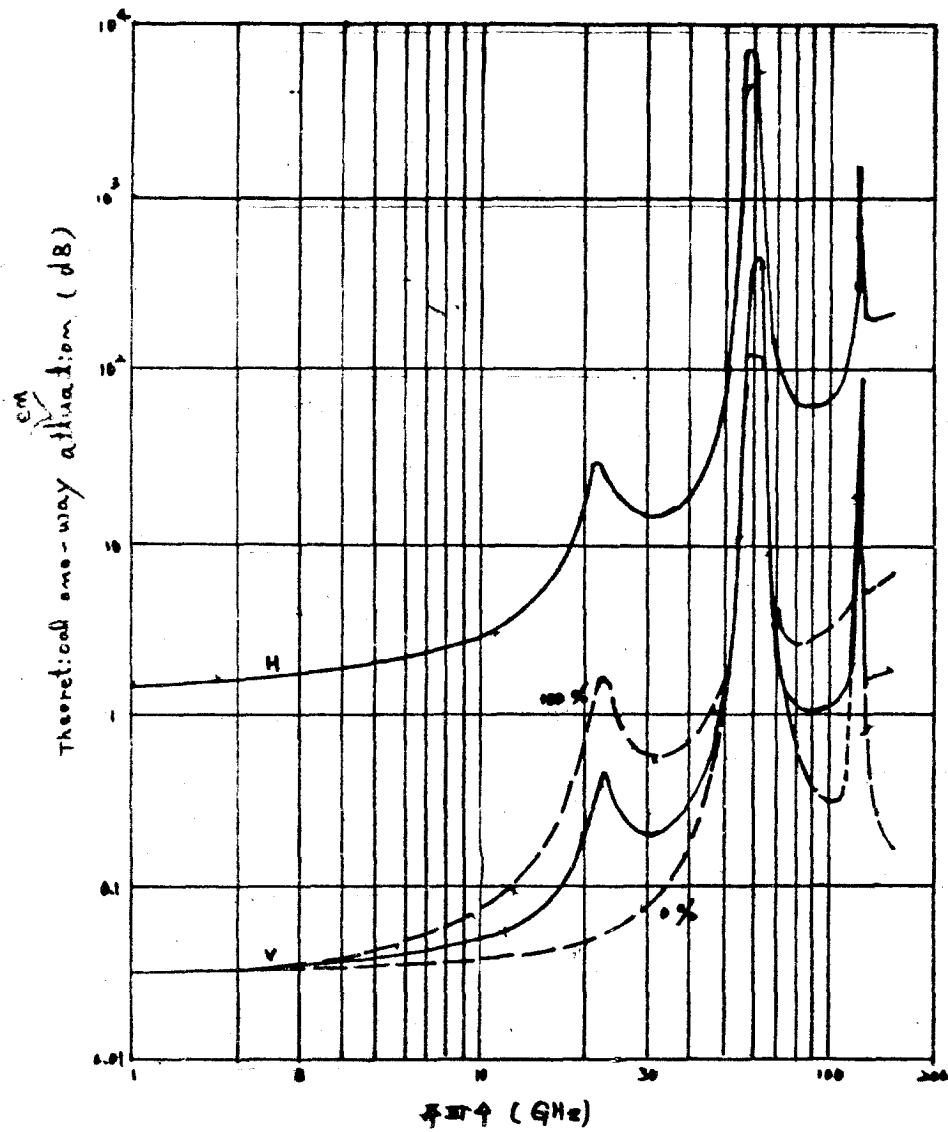


그림 제 5 도 대기 에 의한 수직 및 수평통로 감쇄도

나 지금 전파 통로장 r_0 에 대한 강우에 의한 감쇄 A_r 은 강우 흡수 계수 $\gamma_r(r)$ 을 적분시키면

$$A_r = \int_0^{r_0} \gamma_r(r) \, dr \quad (\text{dB/Km})$$

가 되고 여기에서 雨滴의 분포를 이용하여 주파수와 강우강도의 함수로 해서 강우에 의한 흡수를 구하면

$$\gamma_r = K \cdot R^\alpha \quad (\text{dB/Km})$$

가 된다.

이때, R 은 우량강도 (mm/hr), K 와 α 는 주파수에 의존하고 50GHz 이하에서 α 는 거의 1이 된다. 그림 제7도는 강우 감쇄를 구하기 위한 도표이다. 그러나 주파수 100GHz 이상의 경우에는 주파수에 비례하여 급격하게 발생하는 것은 아니다. 이러한 강우감쇄 측정등을 위해서는 항공기를 이용한 장소, 주파수, 양각 측정법이 있고, 태양 방사원에 의한 RADAR 기술을 이용한 RADIO-METER를 이용하며 이에 따른 천공잡음 측정과 병행한 비와 구름에 의한 감쇄추정과 최근에는 RAIN RADAR (CAPPI)에 의한 실험도 시행하고 있다.

따라서 지구 - 우주간 전파로의 감쇄를 결정하기 위해서는 강우의 공간적 불균일성과 양각 의존성이 가장 중요시되고 있다. 이러한 강우의 관계는 전파가 豪雨域을 관통하고 거리가 클 경우 급속한 감쇄가 수반된다. 이때의 전파통로는 빗방울의 확률이 최대 강우 고도보다 아래 쪽의 전파로에 의존하기때문에 양각

과 함수관계가 성립되며 통상적으로 통계적인 분포의 측정에 의하면 동시에 강우가 발생하는 지역은 최대 140 km 이내이고 30 km 이상의 거리에서는 Site diversity로 수신시 이 영향을 감소시킬 수가 있다.(13)

마. 강수에 의한 XPD

무선통신 수파수의 재 이용을 위해서 사용전파에 대한 교차편파 이용을 연구하고 있으나 전파의 주 편파 성분대 교차되는 전파의 특성비가 변화함에 따른 편파 특성을 분화시키고 있으며 이것을 XPD(Cross Polarization Discrimination)라고도 부른다.

이 XPD는 편파율 ϵ_p 의 강도에 의해서

$$XPD(dB) = \left| \frac{E_R}{E_L} \right|^2 = 20 \log \left(\frac{\epsilon_p + 1}{\epsilon_p - 1} \right)$$

로서 측정 계산이 되어지며, 이러한 XPD의 발생은 무선통신회선 설계(공중선계)의 자료로서 극히 중요한 요소가 되고 있다.

이러한 XPD는 강한 강우감쇄와 상당한 함수관계가 측정되었고(그림 8.9.10도 참조) XPD의 측정치는 약 6 dB까지 관측되었다고 한다.(10).(13).(14).(15).(16)

바. 구름과 안개에 의한 감쇄

일반적으로 水滴의 직경은 0.01 mm 이하이고 또는 氷粒(ICE CORE)로 구성된 구름과 안개에 대해서는 단위 체적당의 전수분에 의해서 감쇄를 표시하면

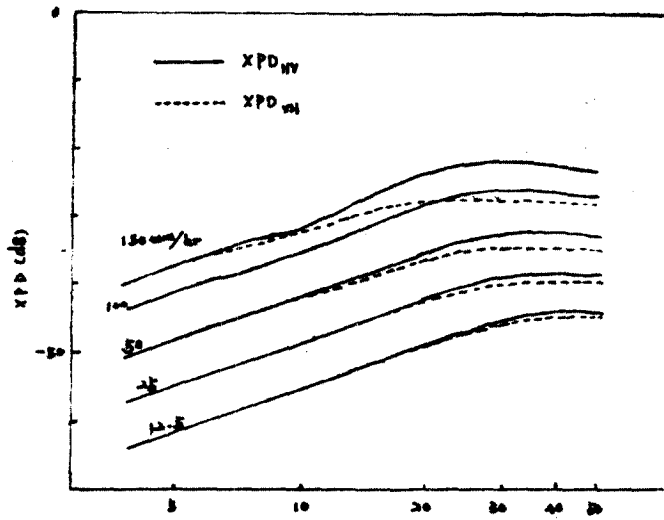


그림 8. 빗방울에 의한 교차편파 식별도의 결과

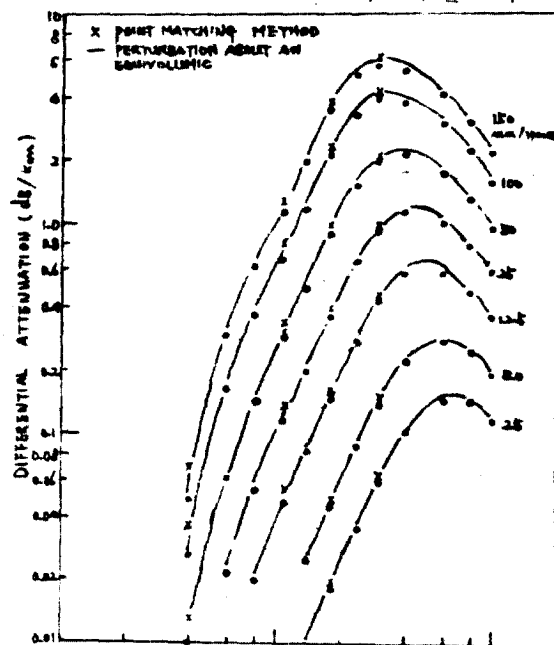


그림 9. 변형 빗방울에 의한 교차편파간의 감쇠차

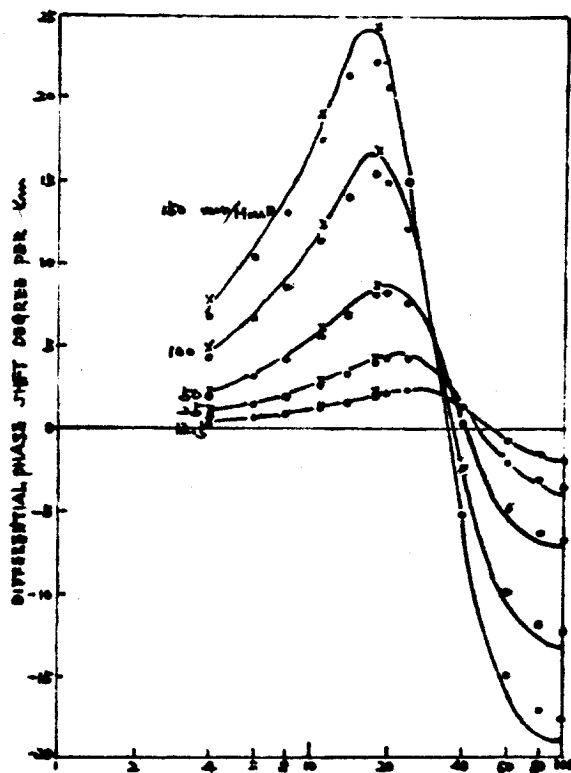


그림10. 변형 빗방울에 의한 교차편파간의 위상차

$A_c = K\ell M \text{ (dB/Km)}$ 가 된다.

여기에서 A_c 는 구름 내부의 흡수계수, $K\ell$ 은 감쇄계수 (dB/Km
 $(g/m^3)^{-1}$) M 은 구름의 액상 수분 (g/m^3) 이다.

$K\ell$ 의 값은 그림 11 도에서 $10 \sim 50\text{GHz}$ 의 주파수에 대해 -8°C
 $\sim 20^\circ\text{C}$ 의 상태시 계산된 것이며, 유전특성에 따라 다르기 때문에
 빙정운 (ICE Cloud) 은 동수분량의 수성운 (Water Cloud) 보다
 약 2 배 적은 감쇄를 받으나 고려하여야 한다.

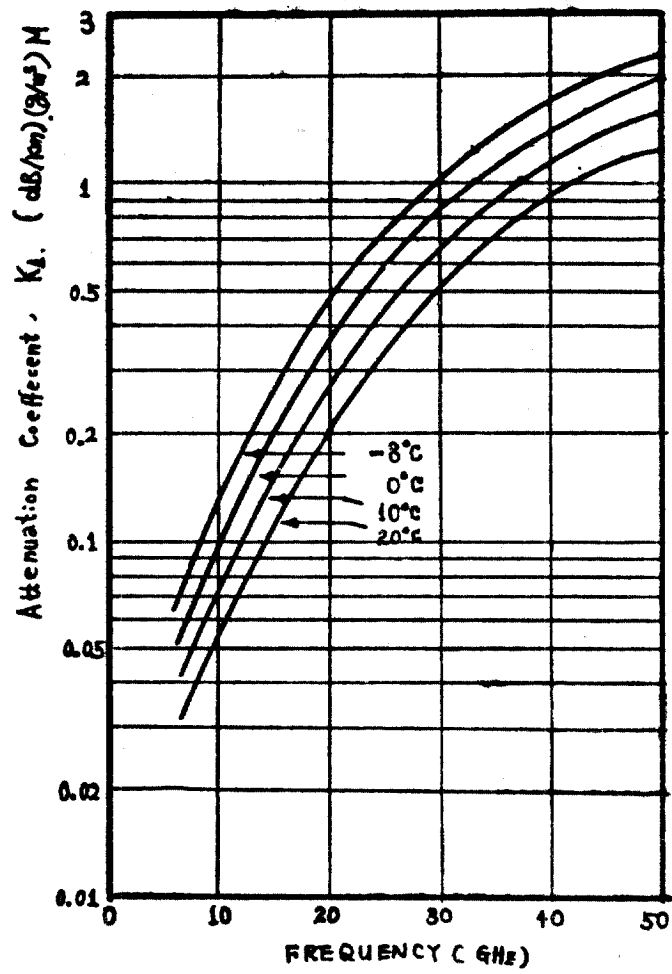


그림 11 도 온도변화에 의한 수분 성구름의 감쇄특성

사. 산란파의 간섭

강우에 의한 산란된 전파는 통상 우주 - 지구국과 지상 - 지상 및 지상 - 지구국간의 사용 공용 주파수대에서 산란파에 의한 간섭 또는 혼신의 영향을 받게되어 미약한 전파를 수신 이용하는 지구국에서의 수신 장애 현상이 발생되어, 주파수 할당 시 이에 따른 세밀한 계산과 조정에 의한 통신장애 현상을 배제하여야 한다. (17)

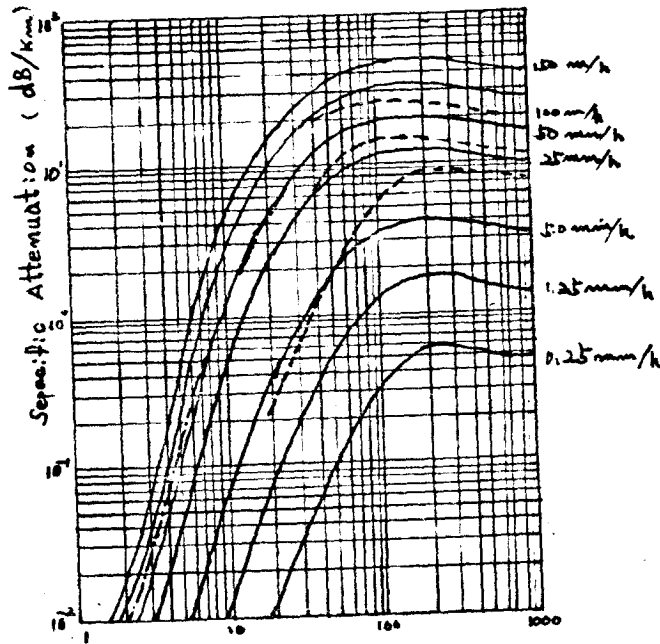


그림 7 도 강우감쇠의 주파수 특성

4 . 전 리 층 전 파

가. 전리층의 효과⁽³⁾

우주통신에서의 전리층은 Radio Window의 하한 주파수 결정 요인이 되며 임계주파수 부근에서는 전파의 불투명한 효과로

전파의 흡수를 하게되어 흡수손실을 가져오고 주파수 상승에 역비례함으로써 주파수 증가에 따른 영향은 급속하게 감소한다.

그러나, 높은 주파수에 대해서도 이온화된 자유전자 영역을 전파가 통과할 때에 전리층의 Irreguraties한 특성으로 인한 선틸레이션, 도래방향의 변동, 전송시간의 지연 및 주파수와 편파면의 변화가 발생되어 무시할 수가 없게 된다.

나. 선틸레이션

우주통신에서 전리층에 의한 영향이 가장 큰 Scintillation 현상은 Irreguratie한 전리층 매질을 통과할 때에 받는 전파의 진폭, 위상, 편파 및 도래방향이 변동하는 것으로 이러한 선틸레이션은 극심할 경우에는 수십 GH 데까지도 영향을 받는다.

$$S_4^2 = \frac{[(\langle A^2 \rangle - A^2)^2]}{\langle A^2 \rangle^2}$$

단, A : 수신전계강도

$\langle \rangle$: 평균치

이러한 S_4 는 Spectrum에 의해서 표시하면

$$S_4 \propto f^{-\left(\frac{n+4}{4}\right)}$$

단 f : 선틸레이션 주파수

n : 스펙트럼 지수

초기의 Scintillation은 1947년 부터 전파성 (radio star)에 의해서 수신 측정함으로써 발견되었으나 인공위성의 Beacon전파 수신에 의한 규명이 되었다.

이러한 선틸레이션의 발생 빈도와 크기는 전리층을 통과하는 전파로의 길이와 천정각이 클수록 크다. 또한 크기는 Irregularity한 영역에서 송신원 및 관측지점까지의 거리, 통과시간, 지자기위도, Solar Cycle 및 Magnetic Index에 의해서 변화하고 대부분은 F층에서 발생하나, E층에서도 발생할 때도 있다.

통상 선틸레이션은 Spread F (수직 전리층 관측치의 F층 echo에 의한 Spread 한 현상 관측) 지자기란 발생과의 큰 밀접한 관계가 있으며 Solar Activity와 세력이 분석에 보조 자료로 이용된다.

태양 활동도 극성기와 극소기의 시기에 지상 관측된 Spread F층의 발생 영역을 보면 주로 초야간에 발생되고 적도대와 Aurora 및 Polar대에서 발생된다. 한편 온대 지역에서는 태양

활동도가 낮은 시기에 발생된다.

그림 12은 선틸레이션 발생 사항이며 음영(야간) 지구의 부분에
서 1968년을 기준으로 작성한 그림이다. 그결과 원뿔파와 직선
파와의 상관 관계가 발생하였다.

다음은 각 지리상의 위도에 따른 선틸레이션 발생 관계이다.

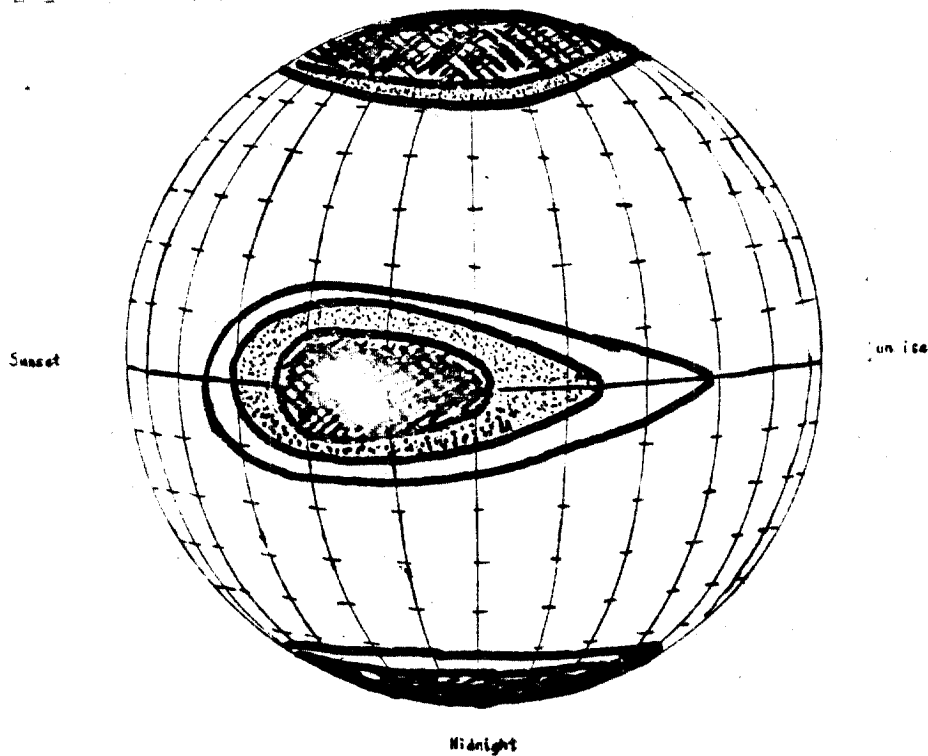


FIGURE 12
NIGHTTIME PICTURE OF SCINTILLATION OCCURRENCE. THE DENSITY
OF HATCHING IS PROPORTIONAL TO THE OCCURRENCE OF DEEP FADING

도 12. 선틸레이션 발생 지역도

(1) 적도대

적도대인 지자기상 $20 \sim 30^\circ$ 의 위도내에 위치한 지역은 격렬한 선틸레이션이 발생됨을 알수가 있고, 136 MHz대에서 Peak to peak치가 35dB 이상, S Band에서는 P - P치가 20dB를 넘고 VHF대에서 수분, S - Band대에서는 2 ~ 15 초 기간에 발생됨이 보고되었다. 발생 시간은 주로 야간이며, 계절적으로는 춘·추제절과 태양흑점수의 증가와 비례한다.

통상 VHF대와 L - Band에서는 S_1 가 $\sqrt{\lambda}$ 와 λ 에 비례한다.

또한 지추을 중심으로 남북에 걸쳐서쪽 → 동쪽 방향으로 이동한다.

(2) 중위도

중위도에서는 심야에 최대가 되고 정오가 최소치를 기록하고 주간 선틸레이션은 E층에서 발생하며 Sporadic E층 발생과 관련이 있다.

미국 Hamilton (ATS - 3 호 전파로와 f_oF_2 치의 최고 지점과의 교차 지점에 대한 분 변 위도인 53° 지역)에서 관측된 ATS- 3 호의 136 MHz 발생율은 다음 표와 같다.

Fading (P - P)	발 생 율
3.7 ~ 5.9 dB	7.4 %
6 ~ 9.4 dB	4.7 %
9.5 ~ 12.7 dB	1.6 %
> 12.7 dB	2.9 %

(3) 고위도

전파통로가 고위도 지역을 통과할때는 영향이 특히 심하며, Polarcap 주위에 Aurora가 발생시 가장 심한 특성이 나타난다.

다음은 ATS - 5에 의한 137 MHz 의 Beacon신호를 3년간 63° 위도에서 18°의 앙각으로 측정한 상태는 다음과 같다.

Fading (P - P)	발 생 율
3.7 ~ 5.9 dB	15 %
6 ~ 9.4 dB	17.9 %
9.5 ~ 12.7 dB	12.9 %
> 12.7 dB	29.5 %

일본에서는 78년 2월 13일부터 발생한 태양면 폭발(중요도 - 2) 관측후 남극에서 전리층 극관 흡수(PCA)가 관측되었고, 약 44시간후인 15일 06시경 지자기 램이 발생되었으며 동 15일 19시~21시 사이에 대규모의 선틸레이션현상이 발생됨을 관측했다. 이때에는 일본 GMS위성의 핵시밀리 화상 정보 수신에 불가능했고 ETS-II에 의한 136 MHz, 1.7 GHz, 11.5 GHz와 CS의 4 GHz에서 최대 웨이딩치가 20dB, 14dB, 0.8dB 및 7 dB 이상으로 측정되었으며, 전리층 상태는 동시간에 Spread F층이 발생되었다고 보고되었다.

이러한 상황에서는 Telemetry와 PSK신호 Bit의 오류가 심했고 위성통신을 위한 Margin level이 1.7 GHz에서 약 10 dB, 4 GHz에서 4 dB의 확보가 요구되었다. (18)(19)(20)

다. 파라데이 효과

위성에서 송신된 전파가 전리층을 통과시에 지구자장(地球磁場)의 영향에 의한 정상파와 이상파의 각각 다른 위상차를 갖는 전파로 분리되어 다른 속도로써 굴절(μ_0 , μ_x)하여서 전리층을 나올때에 재합성에 의한 위상차로서 회전하며 수신된다.

따라서 전파의 도래 방향이 변화될 가능성이 있고 또한 송·수신 공중선의 편파차를 가져와 손실이 발생하는바 이러한 현상을

Faraday Rotation 또는 효과라 부른다.

회전각 $\Delta\Omega$ 는

$$\Delta\Omega = \frac{2\pi f}{2C} f (\mu_0 - \mu_x) ds$$

$$\approx 1.68 \frac{B \cos \theta \sec x}{c^2} \cdot (f_0 F_1)^2 \tau$$

단 B : 지자기 강도

x : 위성의 양각

f : 측정 주파수 (HZ)

θ : 전파방향과 자력선의 각도

NT : 전자수 (m^3)

τ : 전리층의 등가 두께

따라서 파라데이 회전에 의한 송·수신 공중선의 편파차에 의한 손실은

$$L(f_s) = -20 \log_{10} \frac{\cos \Delta\Omega}{2} \text{ [dB]} \text{ 가 된다.}$$

이 효과는 셀틸레이션 발생과 상당한 관련이 있다. (20)

다. 흡 수

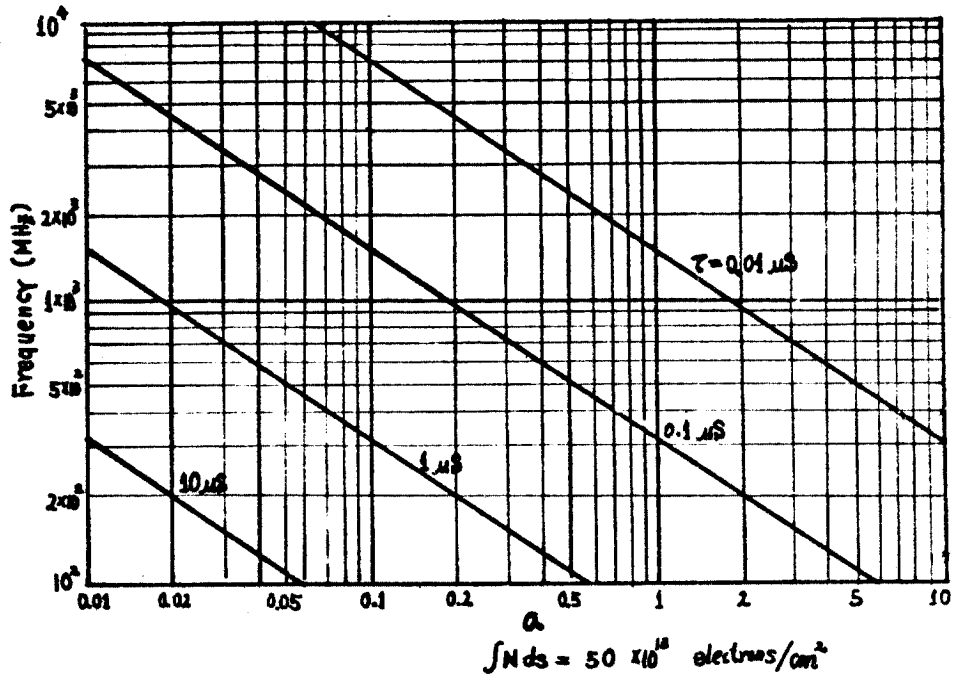
전파가 전리층 통과시 흡수를 받는바, 주파수가 증가할수록 영향은 감소되나 태양활동도와 계절에 따른 변화 및 특히 Polar Cap과 Auroral 지역을 통과하는 전파는 상당한 영향을 받아 회전 설계시 충분한 고려를 하여야 한다.

VHF대 127 MHz의 관측결과에 의하면 중위도에서 5 dB 이하 감쇄와 Polar cap에 의한 감쇄는 약 20dB로 관측되었으며 태양 흑점수와 관련이 있다. 또한 주파수와는 $1/f^2$ 의 관계가 있다. 따라서 고위도에 의한 위성통신의 VHF대 이용시에는 주파수를 요한다.

마. 전송시간의 지연

전리층을 통과하는 전파는 전자밀도의 증가에 따라서 전송시간이 지연을 받고 사용 주파수의 점유주파수대역이 넓을수록 주파수대역폭에 따른 differential Group delay가 발생된다. 통상 우주통신에는 원거리의 통신구간에 따라서 전송시간 지연은 문제가 생기고 불규칙한 지연은 Tone에 의한 RANGING 시에 위성 위치추정에 대한 오차가 발생된다.

예로서 전자수 5×10^{17} (개/ m^3)에 대한 대역폭 6MHz의 100MHz와 500 MHz의 반송파에 의한 지연시간은 각각 0.525 μs 와 0.005 μs 가 되어 반송주파수 자수에 역비례 함을 알수가 있다.



도 13 도 전력층에 의한 전파자연시간과 주파수특성

바. 주파수 변화

이 효과는 이동하는 위성 에 의한 2 차원 적인 효과로서, 관측 주파수가 변화되는 Doppler effect 에 의해 주파수가 통신 에서는 큰 영향은 없으나 위상 변조 효과가 발생 되고 도플러 주파수는

$$\Delta f = \pm f_0 \Delta V / C \quad [\text{Hz}]$$

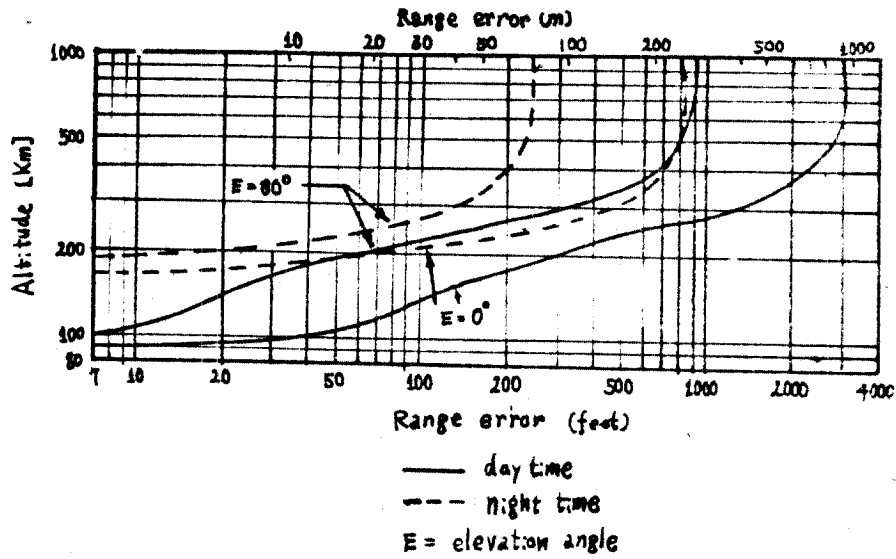
가 된다. 그러나 전력층에 의한 굴절로서 전력층 통과 시 위상속

도가 증가하여 통로상의 주파수는 감소된다. 따라서 測距와 위성 전파의 주파수 측정시에는 원궤도가 아닌 경우에는 보정이 요구되며 이 효과를 이용한 위성 위치와 위성의 수직점 통과시간 (Time of closest approach) 과 주파수를 $\pm 7 \times 10^{-8}$ 의 확도로 측정 가능하다. (21)

사. 도래 방향의 변동

전리층이 물연 교란시 (TIDS) 에는 대단히 광대한 지역에 걸쳐서 최대 수평으로 수천 km 의 범위까지 전리층이 교란되며 보통은 40 ~ 400 km 수평 범위에서 발생되고 이때 문에는 위성 전파의 도래 방향이 최고 490 MHz 이하에서 ARC 20 분의 오차로 편향되고 주파수에 비례하여 영향은 적으나, RANGIN 오차 요인이 되고 있다.

참조 : 그림 14 도 전리층에 의한 200 MHz 주파수에서의
RANGE 오차



도 14. 전리층에 의한 200MHZ 주파수에서의
Range 오차

따라서 제 전리층에 의한 우주통신 주파수가 증가할수록 영향은
감소하나 전파전파 특성면에서는 충분히 고려하지 않으면 안된다.

5 . 잡 음

우주통신 전파는 대단히 원거리에서 도래되어 상대적으로 미약한 전력을 수신 이용함에 따른 잡음의 영향은 회선의 C/N를 평가하는 요소가 되어진다.

일반적으로 지구국 수신 안테나에 유기되는 외부잡음은 대기 잡음 및 대지잡음으로 구분할수가 있다.

가. 우주 잡음

우주 잡음은 지구 외기권에서 도래되는 전파로서 태양에 의한 Solar Noise 와 특수한 잡음을 발생시키는 전파성인 Cassiopea - A, Cygnus - A, Taurus - A 등에서의 잡음 방사와 은하계와 같은 작은 광역 범위내에서 발생하는 은하계 잡음등이 있다.

각 잡음의 강도는 평온시에 태양은 4 GHz 대에서 $2.5 - 9 \times 10^4$ °K, Cassiopea A에서는 1800 °K 정도가 되며, 달에 의해서도 잡음이 관측되고 있다.

또한 은하계 잡음은 주파수 상승에 역비례하며 마이크로파대에서는 문제가 되지 않으나 VHF대에서는 잡음 온도가 높아 주파수 선정에 유의하여야 하며 전파성에 의한 잡음으로는 지구국 공중선의 지향특성 (Far field) 측정에 이용되기도 한다.

나. 대기 잡음

우주통신에 있어서의 대기의 영향은 전파의 흡수, 산란, 감쇄를 시킬때의 흡수시킨 에너지를 재 방사함으로서 수신공중선의 Beam 내에서 잡음 방사원이 되며, 그 강도는 주파수와 단위 방사면의 분포가 양각에 따라서 다름으로 천공잡음온도 T_s 는 다음 식을 표시한다.

$$T_s = \int_0^{\infty} T(r) \alpha(r) \exp \left\{ - \int_0^r \alpha(r') dr' \right\} dr$$

여기에서 $T(r)$ (K)와 $\alpha(r)$ (km^{-1})은 대기 매질의 온도와 흡수계수이다.

전파통로상의 위치 r^0 의 함수이다.

단, 온도 $T(r)$ 가 평균 방사 온도 T_m 으로 치환하려면 상식에서 간단하게 할 수가 있다.

$$T_s = T_m \left(1 - \frac{1}{L} \right)$$

여기에서 L 은 분수로서 표시하는 흡수 매질의 손실 계수이다.

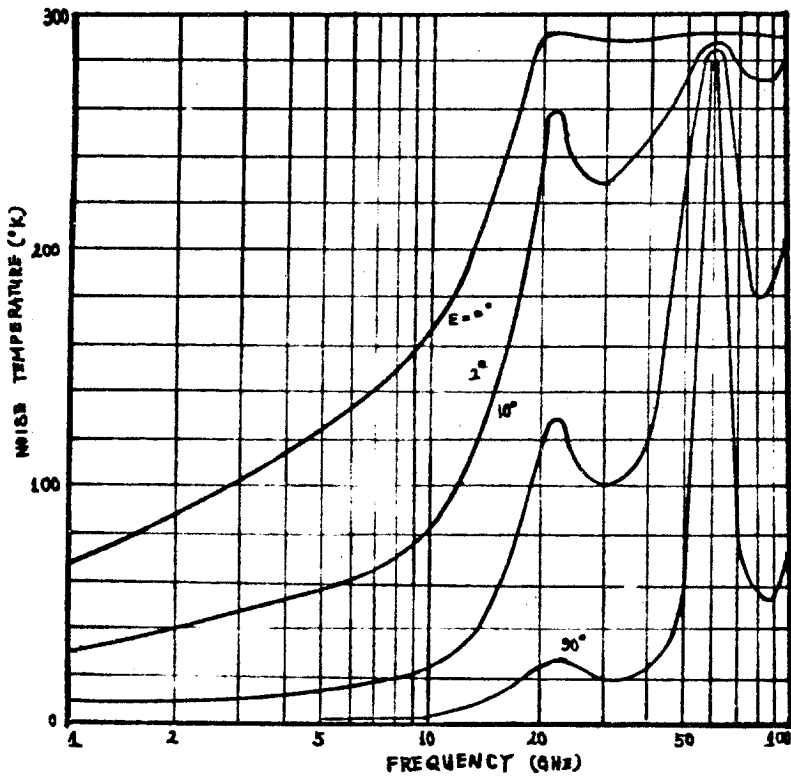
또한, 수평 성층대기의 경우에는 천정각 ϕ 에 의한 천공온도는 85° 이하의 천정각에 대해서는

$$T_s(\phi) = T_m \left(1 - \beta_0^{\sec \phi} \right)$$

여기에서 $\beta_0 = \frac{1}{L_0}$ 은 천정 방향의 대기의 전송 능력이다.

공중선의 온도 평가에는 공중선 패턴과 대지면의 복사등도 고려하여야 한다.

제 15 도에는 대기가스에 의한 전 천공잡음온도를 각 앙각에 의해서 1 ~ 100 GHz 에 대해 표시한 것이다. 1 ~ 10 GHz 의 주파수 범위에 대해서는 자연 발생 잡음으로 고려할 수 있다.



도 15. 천공잡음온도

또한, 비와 구름의 흡수에 의한 잡음도 온도와 감쇄율과 통로상의 변화가 알수 있으면 상식에서 산출할수 있다.

통상 양각 10° , 시간율 1%의 경우에 구름과 비에 의한 공중선 잡음 온도는 10GHz로 약 40°K , 20 GHz에서 약 140°K 가 되고 시간율 0.1%에서는 90°K 와 200°K 가 된다. (2)

다. 대지 잡음

우리가 위치하고 있는 대지는 하나의 좋은 잡음 방사원이기도 하나 지구국용 수신 공중선의 지향 특성에 의한 Side lobe가 대지에 향할 경우에는 Side lobe에 의해서 지구 대지의 표면 온도인 약 290°K 의 잡음이 수신됨으로서 공중선 특성과 설치장소의 선정시 유의를 하여야 하고, 특히 저 양각의 위성통신시에는 전파통로상의 대지 잡음 영향과 양각에 따른 제 영향으로 3° 이하의 양각에서의 운용을 금지시키고 있다 (INTELSAT)

따라서 C.C.I.R.에서는 대지 잡음과 기타 제 영향에 의한 대형 지구국의 공중선의 지향특성을 다음과 같이 보고하고 있다. (22)

$$G = 32 - 25 \log_{10} \phi \text{ (dB)}$$

여기에서 G 는 Isotropic 공중선에 대한 상대이득, ϕ 는 주 Beam 반치각 (도)

또한, 중형 지구국용 공중선 ($D/\lambda < 100$)에서는

$$G = 52 - 10 \log_{10} D / \lambda - 25 \log_{10} \phi \text{ [dB]} \text{ 를 권고하고}$$

있다.

6 . 결 론

우주통신을 위한 전파의 이용시 전파통로상의 기상상태와 태양 활동도 및 전리층 영역에서의 영향이 문제가 되고 있음을 알 수 있다.

또한, 통신수요의 증대에 수반한 무선 주파수의 분배 충족을 해결하기 위한 새로운 높은 주파수의 개척과 이를 위한 대기권내에서의 전파특성 파악 및 연구가 중요하다.

따라서 당 연구소에서 수행하는 전파전파연구도 각국의 전파연구와 우주개발사업과 같이 박차를 가하여, 장래 미리파대까지의 주파수 할당과 우주통신 및 우주 전파 추적 감시를 위한 기초 자료를 확보하기 위해 우주통신 연구용 실험시설과 장비 확보 및 연구 예산의 충족과 아울러 전문적인 연구원 보충이 요구된다.

REFERENCE

- (1) C.C.I.R. Rep. 233-3
- (2) C.C.I.R. Rep. 234-3
- (3) C.C.I.R. Rep 263-2
- (4) 無線工学 ハンドブック, オーム社
- (5) 電子通信 ハンドブック, 電子通信学会
- (6) W.L. MORGAL; "Geosynchronous Satellite log" VOL.8, NO.1
p219-237, Spring 1978. COMSAT Technical Review
- (7) C.C.I.R. Rep 566
- (8) C.C.I.R. Rec.453
- (9) C.C.I.R. Rec. 369-1
- (10) R.S. COLE. et al; "The effect of the Outer Scale of Turbulence and Wavelength on Scintillation Fading at Millimeter wavelengths" VOL.Ap-26. NO.5. Sep.1978, IEEE TRANSACTIONS
ON Ant & Prop.
- (11) H.Yokoi, M.Yamada, T.Sato; "Atmospheric Attenuation and Scintillation of Microwaves from outer space" VOL.22,
NO.4, p511-524, Astronomical Society of Japan.
- (12) C.C.I.R. DOC. 5/1044, 1974
- (13) Ra K.MORITA, M.YAMADA; "Radio Wave Propagation through precipitation" VOL.60. NO4. Apr. 1977. J.IECE, Japan

- (14) 栗原弘, 外 5 名 ; 降雨による交差偏波識別度の劣化

VOL 61-B. No 10. pp.858 ~ 865. Oct. 1978

電通学論誌

- (15) 川口則幸 : CS アンテナの 交差偏波 識別度と その劣化特性

A・p 78 ~ 54. pp 13 ~ 18. Oct. 1978 電通学会

- (16) 小口知 , 細失良雄 : 雨滴による電波の散乱 吸収 ,

VOL 60. No.4 , pp 368 ~ 375. Apr 1977 電通学論誌

- (17) C.C.I.R. Rep 382-4, 1974.

- (18) M.FUJITA,T.OGAWA; "1.7GHz Scintillation Measurements at
Midlatitude Using a Geostationary Satellite Beacon. VOL.40
pp 63- 68.1978 Journal of Atmospheric and Terrestrial physics,

- (19) 新野賢雨, 藤田正晴, 小川忠彦 : 1978 年 2 月 15 日の 電離層

じょう乱に 伴う 衛星電波 シンチレーションについて,

pp 97 ~ 112. 1978.10.25 電波研究所発表会 55 回

- (20) 新野賢雨, 宮夫, 川八千代 : 技術試験衛星 II 型による VHF

フアラデー回転と シンチレーションの研究

pp 77 ~ 83. 1977. 電波研究発表会

- (21) C.C.I.R. Rep. 276-2

- (22) C.C.I.R. Rep 391-1

- (23) C.C.I.R. Rep 205-2

- (24) C.C.I.R. DOC. 5/1043. 1974.