

## 근거리 단파통신에 대한 제고찰



## 목 차

1 . 서 언 .....	225
2 . 전파의 전파방식 .....	226
3 . 전리층과 전파전파 .....	230
4 . 전 송 손 실 .....	243
5 . 잡 음 .....	253
6 . 공 중 선 .....	262
7 . 무 선 회 선 의 선정 .....	275
8 . 결 론 .....	281

전 종기 사 보

육 재 림

## 1. 서 언

Marconi 에 의해서 시작된 무선통신은 Kennelly 와 Heaviside 에 의해 대서양횡단의 원거리통신확인과 전리층의 존재에 대한 발견을 행하여 전리층에 대한 세계각지에서의 관측연구가 활발하게 진행되고 전리층을 이용하는 무선통신의 회선수가 증가하였다.

경제적으로 통신장비 및 유지보수가 저렴하고 어느지점에서나 이용할수가 있는 단파대의 무선통신회선은 위성통신과 해저 Cable 및 Micro Wave 중계방식등에 의해서 국제 또는 국내의 고정업무 회선량이 많이 감소되었으나 계속하여 고정 및 이동업무의 정보량증가에 따라서 현대문명의 발달과 함께 회선량이 폭주하고 있다.

이러한 회선량 증가에 대한 국내의 수요 지명과의 고정업무 및 이동업무를 행하기 위한 근거리 (대한민국 남한의 도상거리 0 ~ 600 km) 단파통신회선에 대한 전송과 전송에 따른 제반문제점 및 고려하여야 할 사항을 고찰하기로 한다.

## 2. 전파 전파 방식

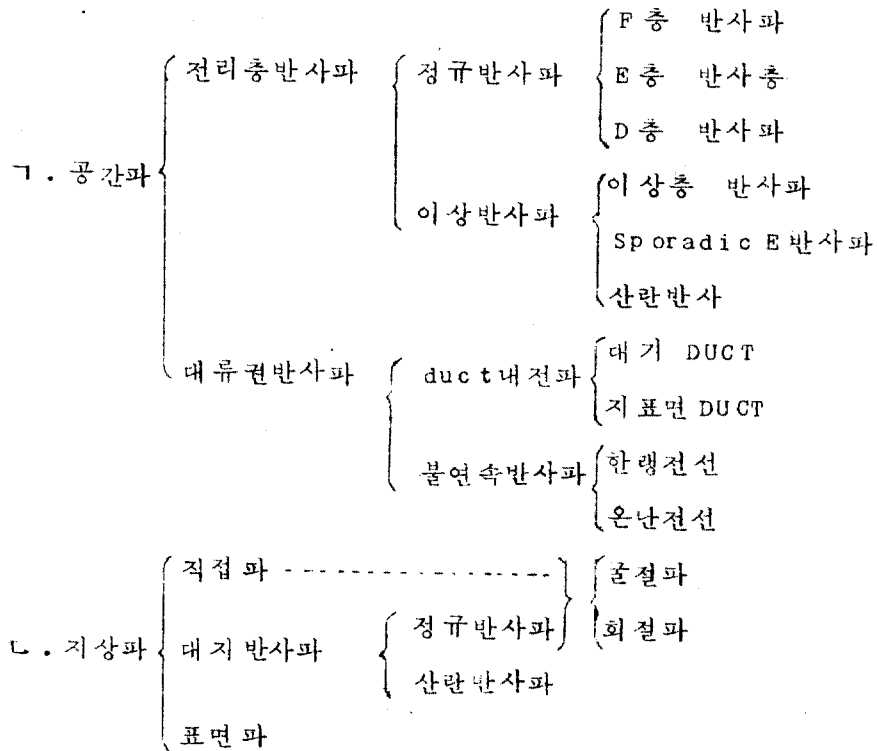
### 가. 통로에 의한 분류

전파의 전파 방식은 대개 광학적으로 송신공중선에서 방사되어 직접방사된 직접파, 대지경계면에 반사되어 전파되는 반사파, 경계면에서 굴절하는 굴절파, 기하광학적으로 장애물의 후면에 도달되는 회절파, 공중선의 높이가 파장에 비하여 낮은 경우에는 대지표면을 통하여 전파하는 지표파, 그리고 대지의 경계면에 의하여 산란되는 산란파 및 전리층을 반사하여 전파되는 전리층반사파로 구분을 할 수가 있다.

이때, 대지상의 직접파, 대지반사파, 지표파 그리고 대지산란파등의 합성에 의한 전파방식을 지상파 ( Ground Wave ), 대류권에 의한 반사파, 굴절파, 그리고 산란파를 대류권파 ( Tropospheric Wave ), 전리층에 의한 반사파, 굴절파, 그리고 산란파를 전리층반사파 ( Ionospheric Wave ) 라고 부른다.

또한, 전리층파와 대류권전파를 통상으로 공간파 ( Sky Wave ) 라고도 한다.

### (1) 통로에 의한 전파전파 방식



### (2) 불연속면에 의한 분류

불연속면에 의한 분류는 입사파, 침입파, 반사파 (정규반사파) 산란반사파), 굴절파로서 구분할 수 있다.

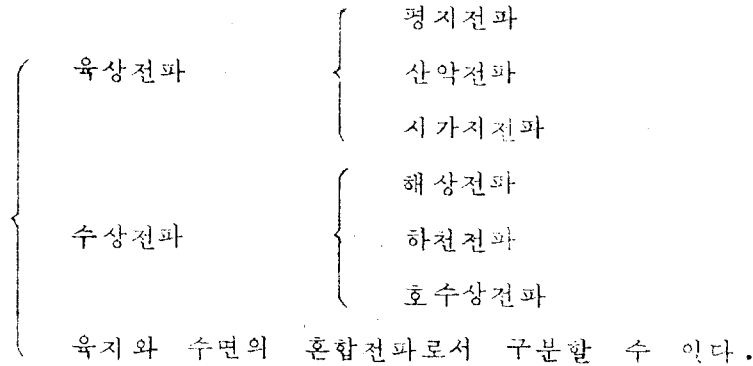
### (3) 불연속면의 전파 진행방향에 의한 분류

경계면에 도래되는 입사파, 경계면에서의 매질에 침입되어 흘러서 도래되는 침입파, 그리고 경계면에서 반사되는 반사파 (정규반사파, 산란반사파), 그리고 경계면에서 굴절되는 굴절파로 구분할 수 있다.

이때, 직접파는 보통 입사파, 공간파는 반사파와 장·중파대에서의 대잠수함 통신에서는 굴절파로서 이용하고 있다.

나. 지상파의 대지상태와 성질에 의한 분류

(1) 전파통로에 의한 분류



(2) 도전율에 의한 분류

완전도체(금속)전파, 불완전도체파, 유전체전파로 구분된다.

지상파는 전파통로상에서 주파수가 증가할수록 감쇠가 심하고 유전율과 도전율에 의해서 감쇠계수가 달라진다.

그러나 단파대에서는 0~100 km 이내에서만 지상파가 이용되고, 100 km 이상의 거리에서는 공간파를 주로 이용한다.

다. 공간파

단파에서 이용되는 전파 Mode는 보통 공간파를 이용하며, 공간파에서도 전리층 반사에 의한 전리층파가 많이 이용된다.

이 전리층파는 전리층을 매개로 반사하기 때문에 이 전리층 변화에 의해서 항상 일정한 Level을 정확하게 유지하기가 난이하다. 전리층은 시간, 일, 월 및 연간 지리적 위치 등에 의해서 변동하



기 때문에, 단파통신에서 제일 고려할점은 수신 최저소요 전계강도의 선정이다. 이 값은 각종 잡음과 전리층의 반사시 생기는 전파선평의 현상이며, 수신지점의 지리적 여건과 시간 및 전리층반사지점에서 의 전리층상태를 고려하여야 한다.

또한 최저소요 전계강도는 통신방식과 업무의 중별, 사용전파의 형식 그리고 신호대 잡음 또는 각종 보호비를 고려하여야 한다.

### 3. 전리층과 전파전파

#### 가. 전리층 ( Ionospheric Layer )

전리층은 지상 70 ~ 400 km의 대기상공에서 존재하는 각종 대기성분의 전자와 태양에서 방사된 자외선의 하전입자에 의하여 전리 ( Ionization )가 되어서 전리된 층 ( layer )을 형성하고 있다.

이 전리층은 대략 70 ~ 85 km에서 C층을 형성하고, E층은 85 ~ 150 km 사이에 형성 그리고, 지상 150 ~ 400 km에서 F층을 형성하고 있다. 이때 지상 105 km부터는 X-ray가 흡수되기 시작하여 전자밀도 ( Electron density )가 급격히 증가하며 형성된다.. F층은 극 자외선에 의하여 형성이되며, 지상 200 ~ 400 km에서는 전자밀도가 최대로 된다.

이러한 전리층은 자외선 하전입자, X-ray에 의해 형성되면서 태양의 활동도와 지자기 ( Geomagnetics )의 변화등에 영향을 받고 있다.

#### 나. 거리별 최고사용 가능주파수의 산출 ( Maximum Useable Frequency : MUF )

전리층은 전파를 반사시키는 성질이 있으나, 어느 주파수 이상이면 전리층을 투과해 버린다. 따라서, 전리층 반사파를 이용해서 통신을 행하려면, 전리층에서 최고의 반사주파수 이하로 하지 않으면 안된다. 이 주파수를 임계주파수 ( Critical frequency )라 한다. 이때의, 이 임계주파수는 전파를 수직 상방향으로 방사된 전파가 전리층의 최대 전자밀도에서 반사하는 주파수이고,

이 주파수 보다도 높은 주파수에서는 전리층을 투과한다.

그러나 어느 임의의 두지점간에 통신을 행하고자 하는 경우에는 전파가 경사된 각도를 갖으며 전리층에 입사하기 때문에 동일한 전자밀도라도 임계주파수 보다 상당히 높은 주파수 까지도 반사하여 하강된다.

지금, 임의의 주파수  $f$  를 어느각도  $i_0$  로서 전리층에 입사시킨 경우, 굴절을  $n_p$  는 일반적으로

$$n_p = \sqrt{1 - \frac{q^2}{\pi m} \cdot \frac{N}{f^2}} \dots\dots (3-1)$$

가 된다.

이  $f$  가 최대 전자밀도에서의 굴절율은  $N = N_{max}$  로 해서 나타낼수가 있다.  $N_{max}$  은 수직방사된 임계주파수  $f_0$  와

$N = \frac{\pi m}{q^2} \cdot f_0^2$  의 관계가 있고,  $N_{max}$  대신에  $\frac{\pi \cdot m}{q^2} \cdot f_0^2$  를 대입하면

$$\begin{aligned} n_p &= \sqrt{1 - \frac{q^2}{\pi m} \cdot \frac{N_{max}}{f^2}} \\ &= \sqrt{1 - \frac{q^2}{\pi m} \cdot \frac{\pi m}{q^2} \cdot \frac{f_0^2}{f^2}} \\ &= \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}} \dots\dots (3-2) \end{aligned}$$

$f_0$  : 수직으로 방사된 임계주파수

$f$  : 경사각도로 입사된 주파수

또, 입사각  $i_0$  의 전파가 반사하는 조건은  $n_p = \sin i_0$  이므로,  
식 3 - 2 와 조합하면

$$\sin i_0 = \sqrt{1 - \frac{f_0^2}{f^2}}$$

양변을 제곱하면

$$\sin^2 i_0 = 1 - \frac{f_0^2}{f^2}$$

$$\frac{f_0^2}{f^2} = 1 - \sin^2 i_0$$

$$= \cos^2 i_0$$

$$\therefore \sin^2 i_0 + \cos^2 i_0 = 1$$

$$\therefore f_0 = f \cdot \cos i_0$$

$$f = \frac{f_0}{\cos i_0} = f_0 \sec i_0 \dots\dots (3-3)$$

가 된다.

이것은 임계주파수와 경사각도의 입사주파수의 관계를 나타내는 것으로서 전리층에 수직으로 입사할때  $i_0 = 0$  이고,  $\sec 0^\circ = 1$  로되어,  $i_0$  가 크게 됨으로서  $\sec 30^\circ = 1.14$ ,  $\sec 45^\circ = 1.414$ ,  $\sec 60^\circ = 2$ ,  $\sec 90^\circ = \infty$  로 되어 1보다 큰 값을 갖어, 경사각도로 입사된 주파수는 수직상방향으로 방사되는 임계주파보다 높게된다. 이것은 식 3 - 3 과 같이 전리층에 수직으로 주파수

$f_0$ 의 전파가 입사되어 어느 가상높이  $h$ 에서 반사한다고 하면, 입사각  $i_0$ 를 가지고 입사된 전파  $f$ 는  $f_0 \sec i_0$ 일때, 동일한 높이에서 반사하는 것을 나타낸다. 즉, 수직방사 주파수와 입사각  $i_0$ 의 경사입사주파수가 동일한 높이에서 반사하는 주파수는 경사로 입사된 주파수가 높아진다.

그림제 1과 같이 주파수  $f$ 의 전파가 입사각  $i_0$ 로서 방사된경우 전리층에서 반사되어 전파통로거리  $D$ 에 도래된다. 이때, 전리층과 대지가 평면일때의 전리층의 가상반사높이 ( $h'$ )에 대한 입사각  $i_0$ 는

$$i_0 = \tan^{-1} \frac{D \text{ (km)}}{2h \text{ (km)}} \dots\dots\dots (3-4)$$

식 3-4를 식 3-3에 대입하면

$$f = f_0 \sec i_0 = f_0 \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2h'}\right)^2} \dots\dots(5) \quad (3-5)$$

가 된다.

이때, 대지가 구면, 전리층이 평면 (그림 제 2) 일때의 입사각  $i_0$ 는

$$\tan i_0 = \frac{\sin \cdot \frac{D}{2R}}{\frac{h'}{R} + 1 - \cos \cdot \frac{D}{2R}} \dots\dots\dots (3-6)$$

$$= \frac{\sin \cdot \frac{1}{2} \cdot \theta}{1 + \frac{h}{R} - \cos \frac{1}{2} \theta} \dots\dots\dots (3-7)$$

단 :  $R$  = 지구의 반경 6370 km

가 되어

$$f = \frac{\sqrt{2 R (R + h') \cdot \left(1 + \cos \frac{D}{2R}\right) + h'^2}}{h' + R \left(1 - \cos \frac{D}{2R}\right)} \dots\dots (3-8)$$

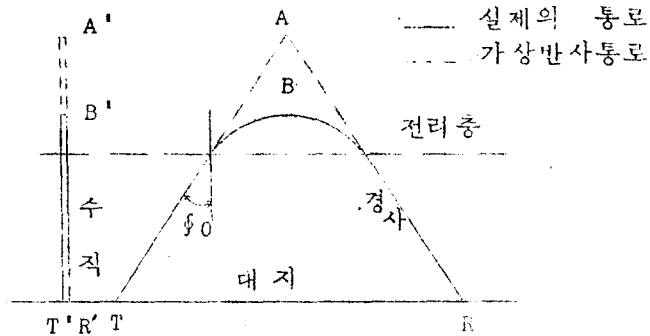
가 되어서

Snell의 법칙에 의한 식 3-5에 대입하면 MUF는 다음과 같이된다.

$$f = f_0 \cdot k \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2h}\right)^2} \dots\dots\dots (3-9)$$

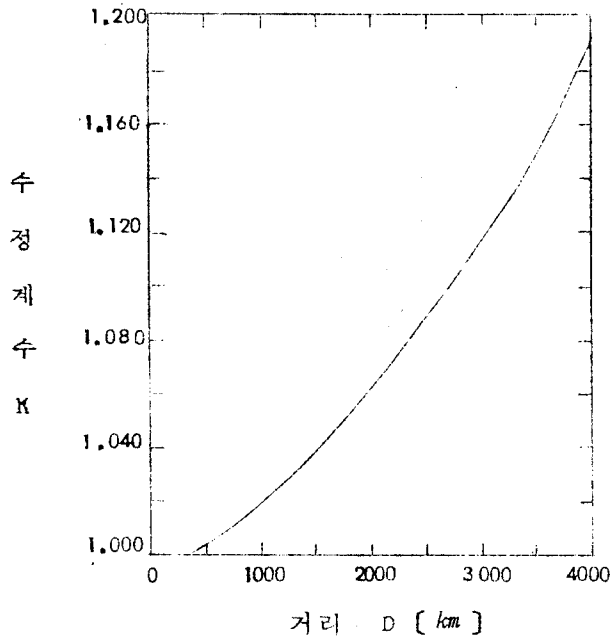
가 된다.

여기에서 k는 수정계수이다. 참조:그림 제3 수정계수도표



제 1 도 평면 대지와 평면전리층에 대한 등가법





제 3 도 거리에 대한 수정 계수의 변화

그러나 0 ~ 1000 km 의 거리에 대한 수정계수  $K \approx 1.00$  이 되어  
근거리에서는 식 3 - 5 를 이용하여도 된다 .

이와같이 식 3 - 5 에서 경사각  $\theta_0$  의 각도로 압사된 전파는 이  
각도가 (  $\theta_0$  ) 클수록 최고로 사용할수 있는 주파수  $f$  는 높아지게  
된다 . 이때 거리  $D$  와 전리층높이  $h$  의 제원에 의한 최고 사용  
이 가능한 주파수를 최고 사용가능주파수 ( MUF ) 라고 한다 . 즉,  
MUF 이하의 주파수에서만 전리층반사를 이용하여 수신이 가능하게  
된다 .



그러나, MUF 이하의 주파수에서는 전리층에서 전파할때 전리층내에서 충돌하여 energy 손실이 생겨서 어느 주파수 이하에서는 전리층에 흡수가 많이되어 수신 전계강도가 미약하게 된다.

이 주파수를 LUF ( Lowest Useable Frequency ) 라고 하며 이 LUF와 MUF 사이의 주파수를 전리층 반사에 이용하고, 이 MUF의 85 % 되는 주파수를 최적운용주파수 ( frequency of optimum Traffic : FOT 또는 Optimum Working frequency : OWF ) 라고 한다.

그러나 LUF이하 또는 MUF이상의 주파수에서도 전리층의 산란 현상, ES 층의 반사 및 제이상현상 등에 의하여 전파되어서 수신지점에 도래 되는 경우가 있다.

다. 전리층 감쇠

(1) 전리층을 통과하는 전파의 전계는 전리층내에서의 전리된 전자들과 충돌하면서 열로서 energy의 손실이 생긴다. 이러한 energy 손실은 전리층에서 흡수 ( absorption ) 당하고, 그 세력이 감쇠된다. 이렇게 흡수되는 energy는 기압이 높은 전리층의 하부에서 흡수가 많아진다. 또한, 진동전자의 평균속도는 주파수가 높을수록 감소하므로, 주파수에 반비례하여 흡수가 많아진다. 또 지구자계가 존재하여 진동전자의 전계는 지구자장의 영향도 받아 흡수량이 달라진다. 이때 주파수가 낮을수록 문제가 되나 gyro frequency ( 우리나라에서는 약 1.3 MHz ) 에 가까운 곳에서는 전계의 방향 반전 작용과 지구자계에 의한 선회작용이 서로 가하여져 감쇠가 최대로 된다.

이러한 감쇠의 문제는 전리층을 통과할때 주파수의 상승에 비례

하고, 수직입사에 가까울수록 감쇠는 적어진다.

이때, 전파가 전리층에서 받는 감쇠는 통로가 직선적이라도 흡수를 받는데 이러한 흡수를 무편이 흡수 ( Non deviative absorption ) 이라하고, 이 흡수에 의한 감쇠를 제 1종 감쇠 :  $\Gamma_1$  ( attenuation of the first kind ) 라 하고, 전파가 전리층내에서 반사할때 받는 감쇠를 제 2종 감쇠 :  $\Gamma_2$  ( attenuation of the second kind ) 라고 하며 이때의 energy 흡수를 편이흡수 ( deviative absorption ) 라고 한다.

이 전리층에서의 감쇠는 제 1종 감쇠 :  $\Gamma_1$ , 제 2종 감쇠 :  $\Gamma_2$  및 여러 전파mode 에 의한 대지반사시의 반사파에 대한 반사감쇠 :  $\Gamma_E$  또는 대지산란감쇠 :  $\Gamma_{ES}$  라고 하면 총 감쇠는

$$\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2 \quad \text{로서 구할 수}$$

있다.

그러나 근거리 단파통신회선의 전파mode 는 E - 1 hop 또는  $F_2 - 1$  hop 와 이상전파현상에 의한 전리층 반사에 의하여  $\Gamma_{ES} \approx 0$  가 되어  $\Gamma = \Gamma_1 + \Gamma_2$  ( dB ) 가 된다.

## (2) 제 1 종 감쇠 : $\Gamma_1$

제 1 종 감쇠는  $F_2$  층에서 반사할때, E 층 또는 D 층에서 통과할때 받는 감쇠이며, E 층 전파반사시에는 D 층통과에 의한 감쇠가 주요 감쇠로 된다. 이때, D 층에서의 감쇠가 심한데 D 층의 공기 밀도가 가장크기 때문이다. 전리층에서 받는 감쇠는 주파수에 반비례 하고, 주간이 야간보다, 겨울이 여름보다 많은 감쇠를 받는다. 또한 태양의 흑점수가 많아지고, 기압이 높을수록 커진다. 전파통로가 길거나, 입사각이 클수록 감쇠가 심하며 태양의 천정각에도

관제가 있어 정오경이 감쇠가 심하다.

D 층과 E 층은 Chapman 의 이론에 의하면  $\Gamma_1$  은 태양천정각의 계수: K, 태양활동계수: Q, 거리계수: D 및 기본감쇠량:  $\bar{\Gamma}_{10}$  에 의해서

$$\Gamma_1 = \bar{\Gamma}_{10} \cdot K \cdot Q \cdot D \text{ 로써 나타낼수자 있다.}$$

㉠ K : 태양천정계수

$$= 0.142 + 0.858 \cos X \quad (\text{단: } X = \text{태양천정각})$$

㉡ Q : 상대흑점수

$$= 1 + 0.0042 R \quad (R = \text{태양흑점수})$$

로서 약 11.5 년의 주기를 갖는다.

㉢  $\bar{\Gamma}_{10}$  : 기본감쇠량

수직 입사시  $\Gamma_1$  을  $\bar{\Gamma}_{10}$  으로하고  $K = Q = 1$  일대의 감쇠량을  $\bar{\Gamma}_{10}$  으로하면, 이것은 주파수특성을 표시하는 감쇠량으로서  $f^2$  에 비례한다는 것을 알수 있다.

$$\bar{\Gamma}_{10}(E) = 22. (5/f^2 (\text{MHz})) \text{ [dB]} \quad (f > 3 \text{ MHz})$$

$$\bar{\Gamma}_{10}(D) = 10. (5/f^2 (\text{MHz})) \text{ [dB]} \quad (f > 3 \text{ MHz})$$

$\bar{\Gamma}_{10}(E)$  와  $\bar{\Gamma}_{10}(D)$  는 gyro frequency (103MHz) 에서 최대의 값을갖고 그 이하의 주파수에서도 감쇠량이 저하 한다.

참고: 그림 4, 그림 5 ( $\bar{\Gamma}_{10}(D)$  및  $\bar{\Gamma}_{10}(E)$  의 주파수 특성.)

㉣ D : 거리계수

$\Gamma_1$  과 수직입사시 감쇠량  $\bar{\Gamma}_1$  과의비  $\Gamma_1/\bar{\Gamma}_{10}$  은 지방시 (Local time) 에 대하여 관제가 없고 거리특성 D 는 다음과 같이 실험으로 구한다.

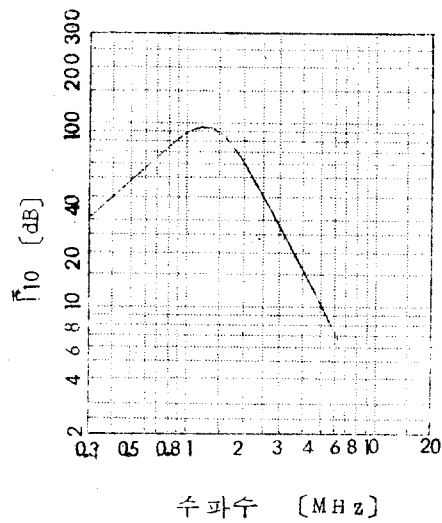


그림 제 4 도 제 1 종 감쇠의 주파수 특성

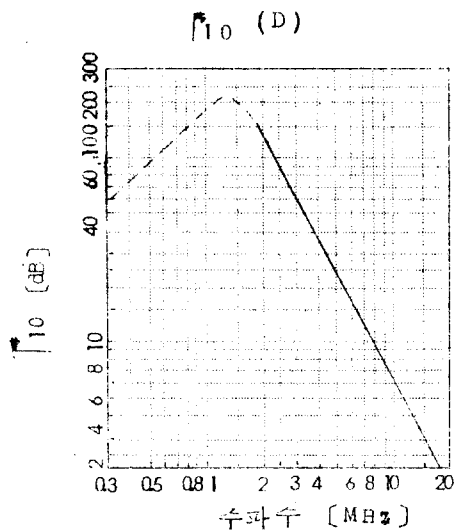


그림 제 5 도 제 1 종 감쇠의 주파수

특성  $|f_{10}|$  (r)

$$D_E = n \cdot \exp \left( \frac{d}{c \cdot n} \right)$$

단 :  $n$  = 반사회수

$c$  = 거리계수

$d$  = 거리 (km)

로서 거리계수  $C$ 의 주파수특성에대한  $D$ 층의 경우 실험식은

$$D_n = n \left\{ C_1 + C_2 \left( \frac{d}{n} \right) \right\} \text{이다.}$$

$$\text{여기에서 } C_1 = 1.0, C_2 = 4.0 \times 10^{-3} \quad (d < 500 \text{ Km})$$

$$C_1 = 0.3, C_2 = 5.4 \times 10^{-3} \quad (d < 500 \text{ Km})$$

(2) 제2종감쇠 :  $\Gamma_2$

이 감쇠는 전리층반사시 받는 감쇠이며, 전파가 전리층속으로 깊게 침입할 수록 커져서 MUF 부근에서 최대가된다.

제2종감쇠는 사방주파수  $f$ 와 MUF의 비(ratio) 즉,  $f/MUF$  [MHz]에 의해서 감쇠가 커진다. 이때, 사방주파수가 MUF 보다 커지면 감쇠는 무한대로 커지고, 사방주파수가 MUF보다 낮을 수록 감쇠가 적어진다. 그러나 일반적으로 이 감쇠는 평균충돌회수가 적기때문에 실제에는 MUF와의 관계를 제외하고는 그렇게 문제가 되지 않는다.

송신지점에서 수신지점까지의 전파통로에 있어서의 감쇠량은 전자밀도의 분포상태, 평균충돌회수, 전파통로의 길이, 주파수등에 의해서 변화하지만 이들의 하나하나를 실측하기 난이하므로 감쇠량은 계산에 의해서 산출하기 곤란하고 실용적으로 전파통로 전체의 감쇠계수를 실험에 의해 실측하는것이 용이하다.

실측의 방법으로는 무감쇠 전계강도에서 실측치의 전계강도를 빼  
 년, 전송 도중의 감쇠량이 얻어진다.

무감쇠 전계강도는 계산이나 야간의 실측치를 이용하여도 된다.

감쇠계수 즉, 전리층에서의 흡수계수는 전자밀도와 밀접한 관계  
 를 갖고 있어 전자밀도의 일일변화, 시간변화, 그리고 계절변화  
 및 년변화에 관련하여 변화한다. 실험에 의한 제 2 종 감쇠계수는  
 $f / MUF = 0.7$  이하에서는 무시할 수 있으나  $f / MUF \geq 0.7$  에  
 서는 제 2 종 감쇠량은 대단히 커진다.

참고 제 6 도 제 2 종 감쇠 도표

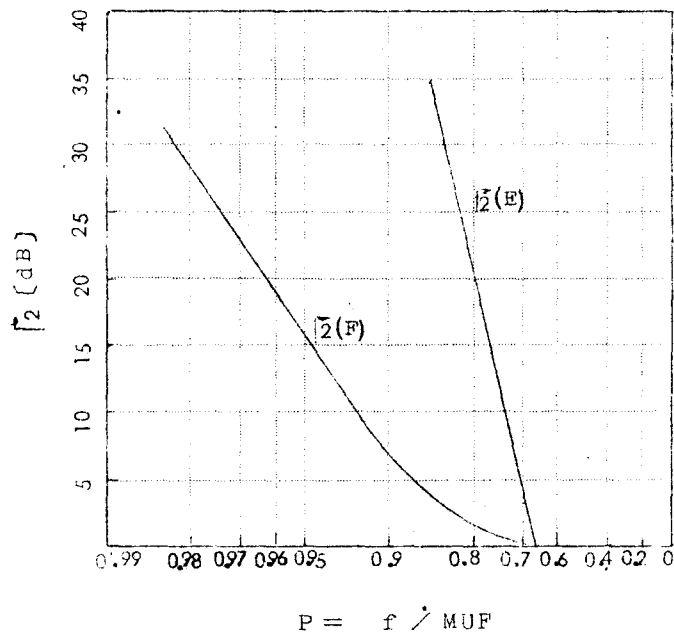


그림 제 6 도 제 2 종 감쇠  $[2]$  와 MUF 계수와의 관계  
 (근거리)

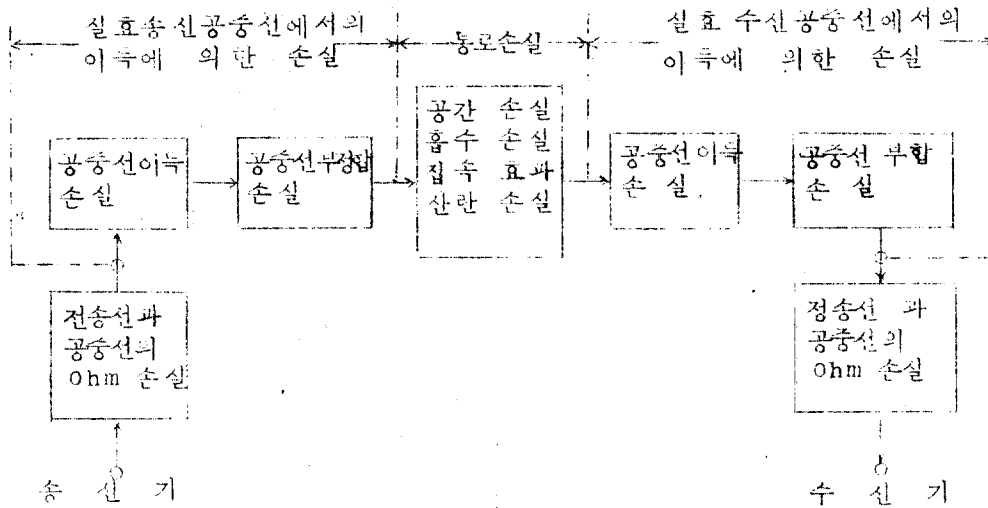
#### 4. 전송손실 (Transmission Loss)

##### 가. 전송손실

전송손실이란 무선송신기의 출력 단자에서 무선수신기의 입력 단자 사이의 공간과 전리층 및 회선계의 사이에서 발생하는 모든 손실 (loss) 을 칭한다.

일반적으로 전송손실은 다음과 같은 주 요인에 의하여 발생된다.

참고 그림 7 도 : 전송 회선계의 손실구성도



제 7 도 송·수신기 단자사이의 전송손실구성도

(1) 첫째의 주 energy 손실은 송신기에서 방사되어, 확산되며 자유공간을 전파할때 받는 열손실이며, 이것은 전리층을 무시하고 지구반곡효과에 의한 자유공간의 기본전송손실:  $L_{bf}$  (basic free-space Transmission loss) 다 한다.

이 기본전송손실은 거리의 사승에 반비례 한다.

(2) 두번째의 주 energy 손실은 전리층에 의한 전파가 반사할 때 받는 손실로서 전리층에서의 흡수에 의한 손실이 된다:  $L_i$  (Ionospheric absorption Loss)

(3) 3 번째의 주손실은 다수의 반사로서 지상표면의 반사에 의한 반사손실로 지표면에서의 대지반사손실:  $L_g$  (Ground refletion loss) 라고한다. 대지반사손실은 공중선의 이득에도 관계가 된다.

(4) 4 번째의 주손실은 송수신기의 피로망에서의 부정합 (Mismatching) 에 의한것과 공중선의 효율 및 방사시 방사저항에 의한 omnic 손실로서 기타 특정인수를 포함하여 피선계손실:  $L_s$  (System loss) 라고 한다.

(5) 기타 전리층반사파의 이용시 제설과 위치등에 의한 부가회선손실:  $\gamma_p$  (Excess System Loss) 등이 있으며, 경험적인 실험에 의해서 구해진다.

나. 자유공간에서의 기본전송손실:  $L_{bf}$

자유공간에서의 기본전송손실은 송신공중선에서 방사되어, 기하학적으로 확산되는 고주파세력의 전송손실이다.

그림에서 (그림제 8 도) 전파 Beam 은 송신기에서 방사되어 전리층에서 반사된 것이다. 전리층에서의 Beam 횡단면을 증가시키면, 수신기와 전리층과는 물리적인 특성이 전리층과는 기하학적인 전송



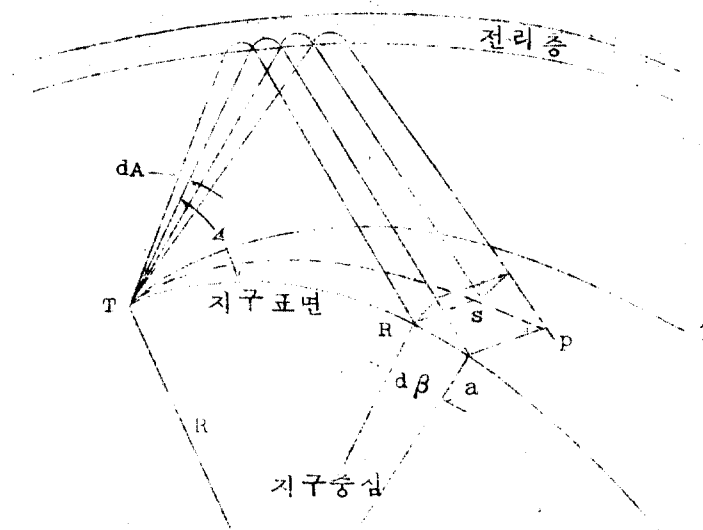


그림 제 8 도 구형지구에 대한 전파통로와 Beam

통로가 형성된다. 간단한 Model 의 공간과 전파는 지표면과 전리층의 양쪽이 평면이라고 가정하여, 거울에서 반사되는 빛의 Beam 과 같다고 가정하면, 이때의 전송손실은 전송통로의 길이에 대한 역자승에 비례하여 energy 의 세력이 감소한다.

이때, 이상적인 등방성 공중선 (Identical Isotropic Antenna) 에서의 방사되는 전력이  $P_r (w)$  일때에, 자유공간에서 유출되는 세기 (전력밀도) 는 거리 D에서의 전력밀도가

$$P_d = \frac{P_r (w)}{4\pi D [km]} \quad (4-1)$$

이고, 등방성 공중선의 실효면적은

$\lambda^2/4\pi$  가 되어서 수신전력은

$$P_R = \frac{P_0}{4\pi D^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$= \frac{P_0 \cdot \lambda^2}{(4\pi D)^2} \quad [w] \quad (4-2)$$

단  $\lambda$ : 사방수파수의 파장

가 된다.

이때, 자유공간의 기본전송손실은 방사전력과 수신전력과의 비 (ratio) 에 의하여 다음과 같이 주어진다.

$$L_{bf} = 10 \log_{10} \cdot \frac{P}{\lambda^2 \cdot P / (4\pi D)^2} \quad [dB/w] \quad (4-3)$$

$$= 20 \log_{10} \cdot \left[ \frac{4\pi D}{\lambda} \right] \quad [dB/\mu V] \quad (4-4)$$

식 4-4는 다음과같이 다시놓을수가 있다.

$$L_{bf} = 32.44 + 20 \log_{10} f [MHz] + 20 \log_{10} D [Km]$$

$$[dB/w] \quad (4-5)$$

다. 전리층손실:  $L_i$

단파가 전리층을 통과할때 전리층에서의 흡수를 받는데, E 층과 D 층에서의 통과시받는 제 1 종감쇠와 제 2 종감쇠를 포함한다.

D 층전리층의 흡성자밀도는 정이온 (Positive Ion) 의 밀도크기에 고려되고, 고주파 energy 손실은 전자와 분자 (미립자) 와의 사이에

의한 충돌에 의하여 결정되는 것 같다. 또한 D 층에서는 주파수가 고려 되는데 전리층에서의 굴절율은 자유공간에서의 굴절율과 단위가 비슷하다. 이 의미는 전파가 전파통로에서 이탈하거나 굴절하지 않는다는 뜻이다.

energy 손실의 영향은 E 층과 다른 F 층에서는 고도 (height) 에 의하여, 낮은 중성자의 밀도에 영향을 줌으로서 흡수에 대한 중요한 역할을 한다.

F 층에서의 주파수충돌효과는 고도가 낮은 곳에서의 전자와 중성자의 충돌보다, 고도가 높은 곳에서의 전자와 ION 과의 충돌효과가 더욱 복잡한 관계를 갖는다.

실험에 의하면, 전리층에 의한 중성자의 전계강도의 측정 결과는 전리층의 gyro frequency 와 사광주파수의 관계에 의해서 식을 도입하여 계산한다면 다음과 같다.

$$L_i = \frac{677.2(\sec \phi)}{(f + f_H) 1.98 + 10.2} \cdot \sum_{j=1}^n I_j \quad (4-6)$$

(단:  $f > 3 \text{ MHz}$ )

여기에서  $n$  = hop 수

$\phi$  = 100 Km 에서의 입사각

$f$  = 사광주파수 (MHz)

$f_H$  = 100 Km 에서의 gyro 주파수 (1.3 MHz)

$I$  =  $[1 + 0.0037 R_{12}]$

$[ \cos \times 0.881 \cdot \phi_j ]^{1.3}$

$R_{12} =$  12개월간의 평균태양 특점수

$\phi_s =$  전리층 반사지역에서의 전파가 통과 하는

지역에 대한 태양천정각.

야간전계상도 관측에 의한 분석에 의하면, 야간에 전리층의 흡수가 끊임없이 일어나고 있다.

그러나 흡수계수의 I에 대한 Level이 Off 되는 경향과 함께 흡수계수는  $1/10$  정도의 치로 접근되어 간다.

식 4-6에서 흡수율은 약 0.1 정도로 제한되고 있는것을 알 수 있고, 이러한 흡수에 대한 측정의 결과는, 겨울에 흡수가 높아지는 것은 태양천정각의 변화에 기인되는 것으로 생각된다.

또한, 제2종 감쇠에 의한 측면에서 생각하면 감쇠는 MUF 부근에 대한 주파수가 증가 할수록 상해지고,  $f = MUF \cdot 0.7$  이하에서는 거의 영향을 무시 할 수 있다.

라. 대지 반사 손실:  $L_g$

전리층에서 반사한 전파는 보통 타원편파의 성분을 유지하며 전송되어, 이 전파가 대지에서 반사할때에는, 그 편파의 성분은 수직,수평의 양방향에 분극 (Separative) 되어 대단히 복잡한 mode의 불규칙한 편파성분을 갖는다.

수평,수직 양편파에서의 일정한 편파가 각각 고주파의 energy

분포가 일정하다고 가정하였을 때의 대지에 대한 입사의 반사손실은

다음과 같다.

$$L_g = 10 \cdot \log_{10} \cdot \left| \frac{(R_V)^2 + (R_H)^2}{2} \right| \text{ (dB) } (4-7)$$

여기에서 :  $R_V$  = 수직 편파의 반사율

$R_H$  = 수평 편파의 반사율

일반적으로 반사계수는 복함수를 갖고 있으며, 지구표면에 의한 복함된 양을 갖고 있다.

이 두  $R_V$  와  $R_H$  는 Fresnel 식에 의하여 결정된다.

$$R_V = \frac{n^2 \sin \beta - (n^2 - \cos^2 \beta)^{\frac{1}{2}}}{n^2 \sin \beta + (n^2 - \cos^2 \beta)^{\frac{1}{2}}}$$

$$R_H = \frac{\sin \beta - (n^2 - \cos^2 \beta)^{\frac{1}{2}}}{\sin \beta + (n^2 - \cos^2 \beta)^{\frac{1}{2}}}$$

여기에서 :  $\beta$  = 지구에 대한 반사각의 양각.

$n$  = 반사계수.

이때  $n$  은 복함된 반사계수를 갖는다.

앞의 가정에 의하여 시간변화를 전계강도에 대입  $\exp. (j \omega t)$

시키면

$$n = \epsilon_r - j \ 1800. \ 5/f.$$

$\epsilon_r$  = 지표면의 유전율

$\epsilon$  = 지표면의 도전율

$f$  = 사용주파수 (MHz)

각 지역에서의 지표면 반사는 일정치 않고, 각 지역에서의 육지와 해상이라면 다음과, 같이  $\epsilon_r$  과  $\epsilon$  를 사용한다.

해상 :  $\sigma = 5.0 \text{ mhos} / \text{m}$

$\epsilon_r = 80,$

$\epsilon = 0.001 \text{ mhos/m}$

$\epsilon_r = 4.0 \text{ mhos/m}$

마. 부가회선손실 :  $\gamma_p$

전송손실의 실측치는 구면전리층에 의한 집속효과와 다중통로 (Multiple path) 에 의해 간섭을 받아 일정하지가 않다.

이것은 지자기상의 위도와 계절, 지방시 그리고 전송통로의 길이 등에 의하여 변화한다.

또한 실제의 공중선 이득에 대한 지향특성의 주방향과 부방향의 각 방향에 의해서도 각각 차가 생긴다.

이 부가회선손실은 중위도 지역에서는 약 9dB 정도가 된다.

바. 회선손실 :  $L_s$

무선회선의 회선손실은 송신공중선의 terminal 에서의 유효송신전력과 수신공중선의 terminal 에서의 유효수신전력과의 비에 의해서 결정된다.

송·수신 공중선에서의 전송선로 손실을 제외한 손실은 쉽게 추정할 수가 있고, 이러한 손실은 송·수신 공중선에서의 Ohmic 손실을 포함한다.

여기에서 회선손실은 송신공중선에서의 방사와 수신공중선에서의 유효수신과 대지에서의 지상고에 의한 영향, 유전손실, 공중선 loading coil 의 손실 및 접촉저항손실 등의 공중선효율이 주된 고려사항이 된다.

이 회선손실은

$$L_s = L_{bf} + L_i + L_g + Y_g - (G_t - G_r) \text{ dB} \dots\dots\dots (4-10)$$

여기에서  $G_t$ ,  $G_r$  은 전송통로에 대한 지향특성의 송·수신공중선의 이득이다. 이때  $G_t$  와  $G_r$  은 수직·수평의 모든 방향에서 값이 같아야 한다.

공간과 전계강도는 회선손실 :  $L_s$  와 자유공간에서의 기본전송손실 :  $L_{bf}$  가 구해지면

$$L_s = 10 \log_{10} (p_t/p_r) = P_t - P_r \text{ [dB/w]} \dots\dots (4-11)$$

로서, 유효전력 :  $P_r$  에 의한 전계강도는 다음과 같이 주어진다.

$$E = 10 \log_{10} \left\{ 4 \pi \cdot \eta \cdot P_r \cdot \frac{r^2}{r_f} \cdot \frac{10^{12}}{\lambda} \right\} \text{ [dB/}\mu\text{V]} \dots\dots (4-12)$$

여기에서  $\eta_0$  는 자유공간상의 특성 Impedance (  $120 \pi$  ) 이다.

$r_f$  와  $r'$  는 수신공중선의 자유공간상에서의 이상적 방사저항과, 수신공중선의 설치장소에 의한 영향에 대한 방사저항이다. 수신공중선이 자유공간 ( 대기중 ) 에 있는 경우에는 (  $r'/r_f$  ) 는 1.0 이 되어 무시하여도 된다.

식 4-12 에서 치환을 하여 전개하면 전계강도는

$$E = P_r + 20 \log_{10} f(\text{MHz}) + 107.2 (\text{dB}/\mu\text{V}) \quad \dots\dots (4-13)$$

여기에서  $P_r$  은 수신공중선의 유효전력. 따라서 회선손실 :  $L_s$  가 결정되어지고 송·수신 공중선이 이상적인 등방성공중선 ( Isotropic Antenna ) 라고 가정 하면, 송·수신 공중선에 의한 자유공간상의 전송손실 :  $L_{bf}$  에 의한 전계강도  $E$  는

$$E = 107.2 + 20 \log_{10} f(\text{MHz}) + G_t + P_t - L_{bf} \quad \dots\dots (4-14)$$

$$L_{bf} = P_t - P_r$$

여기에서  $E$  = 실효치 전계강도 [ dB ] [  $\mu\text{V}/m$  ].

$G_t = L_s$  에서의 송신공중선의 이득 [ dB ]. 참조 : 등방성 공중선에 대한 참조이득을 1 dB 로 한다.

$P_t$  = 송신공중선에 인가한 송신전력 [ dB/W ].



## 5. 잡 음

### 가. 잡음과 종류

#### (1) 잡음의 정의

우리는 무선수신기에서 목적으로 하는 정보의 전파 이외의 전파가 혼입되어 들어오는 것을 알 수가 있다. 이와같이 목적으로 하지 않는 세력의 전파를 전파잡음이라 칭하며, 온신파와의 분리 및 구분은 용이하지가 않다.

전파잡음은 거의가 무선통신을 행하는데 있어 방해물 주며, 만족한 통신을 행하기 위해서는 이 잡음의 Level 보다 목적신호의 Level 이 높아야 한다.

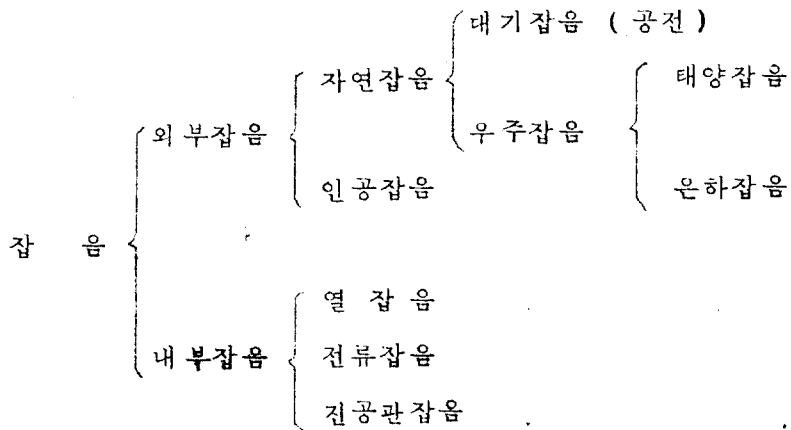
이때 이 잡음의 level 과 신호 level 과의 비 즉  $S/N$ 의 비는 잡음의 종류와 성질 및 신호세력에 대한 통신업무, 전파형식, 통신방식 및 그 밖의 제 요인에 의하여 결정되어 진다.

이에 대한 신호원 과 잡음원의 고찰 및  $S/N$ 비에 의한 목적통신을 행하기 위하여는 수신입력단에서의 최저소요전계 강도를 알아야 한다. 단, 신호대잡음과 온신파대 신호파의 비에 대한 최저소요전계강도는 구별시켜야 한다.

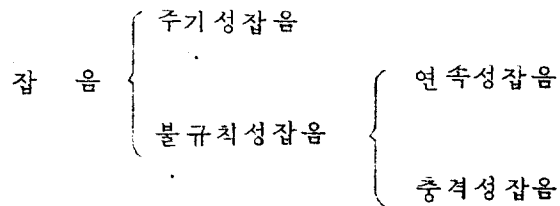
#### (2) 잡음의 분류

##### (가) 발생원에 의한 분류

잡음을 발생원에 의한 분류를 하면, 수신기 내부에서 발생하는 내부잡음 (Internal Noise) 과 수신공중선에 의해 외부에서 혼입되어 들어오는 외부잡음 (External Noise) 으로 분류된다.



(나) 성질에 의한 분류



① 주 기 성 잡 음 ( Periodic Noise ) : 인 공 잡 음에 이 러 한 Spectrum 의 분 포 를 갖 는 잡 음 이 많 으며 , 특 정 주 파 수 에 서 진 폭 이 크 며 , 측 대 파 또 는 고 주 파 의 많 은 Harmonics 를 포 함 한 다 .

발 생 기 구 에 서 도 자 연 히 예 상 되 는 발 생 원 에 의 해 서 특 유 한 주 기 성 을 갖 는 다 .

예 를 들 면 HUM , 간 열 적 인 진 동 잡 음 , 기 계 적 진 동 에 포 함 되 는 잡 음 , 전 기 적 으 로 발 생 되 는 기 구 의 진 동 회 로 를 포 함 하 는 것 등 이 있 다 .

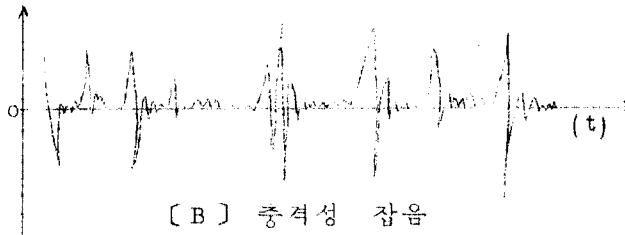
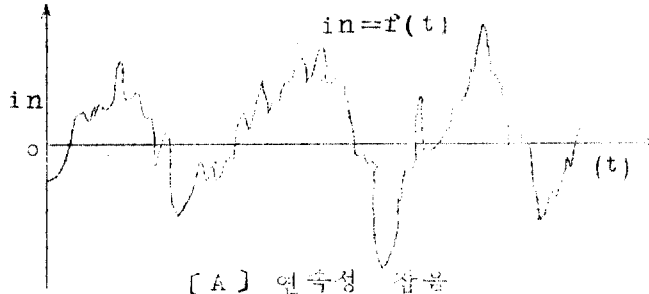
자연잡음에도 고유의 주파수를 갖는 주기성 잡음이 관측될 때가 있다.

(2) 불규칙 잡음 ( Random Noise ) : 직류성분도 주기성분도 포함하지 않는 잡음을 총칭한다.

이것은 연속성잡음 ( Continuous Noise ) 과 충격성잡음 ( Impulsive Noise ) 으로 나눌 수가 있다. 이 두잡음은 정도에 의하여 나눌 수가 있고 그림 9 도에 그 파형을 제시한다. 그리고 그 실제의 전파잡음은 두가지의 혼합에 의한 복합파형이라 볼 수가 있다.

#### ㉞ 연속성 잡음

연속성 잡음은 진공관의 Schol y 잡음이나, 저항체의 열교란잡음과 같은 성질의 잡음이 있다.



제 9 도 잡음의 파형에 의한 분류

#### ㉞ 충격성잡음

방전파나 Spark 와 같은 잡음으로서 전기적 충격에 의한 Impulse 파의 Mode 로서 생긴다.

연속성잡음 중에는 특히 백색잡음( White Noise )이 있어 전주파수에 걸쳐서 광범위하고 거의 균일한 밀도의 Spectrum 을 갖는 것이 특색이며, 빛의 경우 휘선 Spectrum 과 같은 분포를 갖는다. 이 잡음은 저항체등의 열교란잡음( Thermal Agitation Noise )가 그 전형적인 예이다.

#### 나. 외부잡음

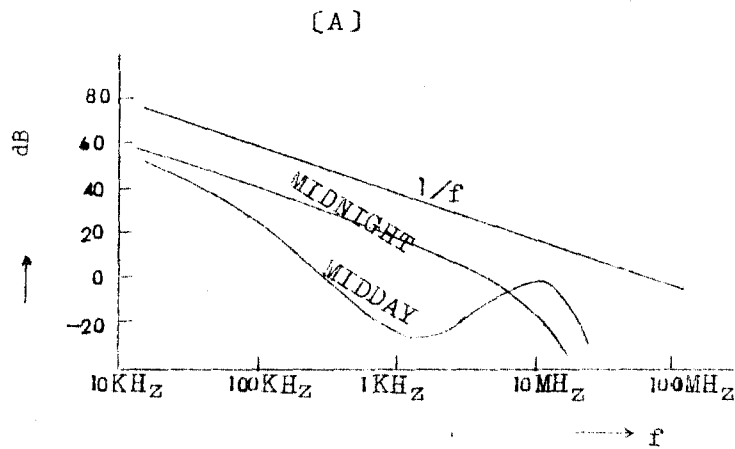
##### (1) 자연잡음

##### (가) 공 전

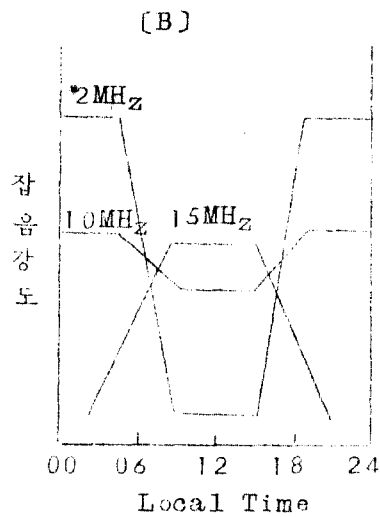
공전은 협의의 의미로는 외방전( Statics )에 따라서 발생하는 잡음을 공전이라 부르고 있으나, 일반적으로 장우, 눈보라, 모래바람, 등기 따온 방전에 의한 잡음까지 포함하여 통칭이라고 한다. 공전은 다음과 같이 분류할 수가 있다.

(1) CLICK 성잡음 : 수신방해는 되지 않으나 충격성잡음으로서 비교적 근거리에서 심하지 않은 외방전에 의하여 발생하는 경우가 많다.

(2) GRINDER 성잡음 : 이 잡음은 연속잡음이 혼입되며 수신에 방해를 준다. 원거리의 심한 외방전이 원인이 되고, 전리층과 지표면과의 사이에 의해 반사하여 전파도래하는 echo 의 중복이라 생각되어 진다.



제 10 도 [A] 공전강도의 주파수분포



제 10 도 [B] 공전잡음과 시간분포

(3) HEISSING성 잡음 : 수신기의 수신에 연속잡음이 혼입되는 것을 말하며 눈보라, 모래바람이 심할 때 발생된다.

공전은 주파수 범위가 넓으나 보통, 장·중파에서 영향이 심하고 단파대에서는 영향이 적어지나, 주파수가 낮을수록 공전강도의 수신 세력은 커진다.

또한 공전의 강도는 저위도지방이 고위도지방보다 발생과 강도가 강하여진다. 1 MHz 이하의 주파수는 야간  $1/f$ , 주간  $1/f^2$ 로 비례하여 강도가 감소한다. (참고: 그림 제 10 도)

## (2) 우주잡음

우주잡음 (Cosmic Noise) 은 지구 이외의 천체에서 복사되어 도래되는 잡음을 총칭하며, 은하잡음과 태양잡음으로 구분된다.

(1) 은하잡음 (Galactic Noise) : 우주잡음은 태양이외의 항성등에 의하여 발생, 도래되는 잡음이나 은하전체에서 도래되지 않고 특정 방향에서의 은하계에 집중되어\* 분포되는 것을 알 수가 있다. 이 은하잡음의 발생원인은 태양에서 일어나는 폭발과 같은 현상이, 은하의 항성들에서도 일어나고 있다 생각되나, 한편 항성들간의 전자의 자유이동에 의하여 일어나고 있다고도 한다. 그러나 이 원인들의 정설은 없다.

은하잡음은 20 ~ 120 MHz 대에서 수신강도가 강하며, 단파대에서는 영향이 거의 없다.

(2) 태양잡음 (Solar Noise) : 태양잡음은 태양에서 방사되어 도래되는 잡음으로서, 보통 수신기의 내부잡음 보다는 적어 검출

하기가 난이하지만 태양의 폭발등에 의한 활동의 변화시에는 평상시의 수백~수천 배의 강한 세력으로 수신됨을 알 수가 있다.

태양잡음은 주로 Corona 와 같은 고온부에서의 열교란에 의한 것이라 생각되어지나 은하잡음과 같이 잡음발생에 대하여는 불명한 점이 많다.

태양잡음은 넓은 주파수대를 가지고 VHF대 및 UHF대에 분포하고 있으며 단파대에는 영향이 적다. 그러나 태양잡음의 관측이나 연구는 활발하여지고 있는데, 이유는 직접적인 영향보다는 기상상태에 무관계하게 태양에 대한 관측을 행할 수 있으며, 태양에 대한 물리적인 연구와 태양잡음의 변화에 의한 태양의 활동상황 및 이에 따른 단파대의 통신에 유용한 전리층의 이상현상과 이에 대한 제 고찰을 하기 위함이다.

### (3) 인공잡음

인공잡음 ( Man-made Noise ) 은 도회지내에서의 여러가지 전기기구에서 발생하는 잡음의 총칭이며, 고주파 이용설비에서 누설되는 혼신성분의 잡음과 전기회로의 단속에 의하여 생기는 충격성 잡음이 대부분이다.

발생원은 자동차등의 내연기관에서의 점화 ( Ignition ) , 전기기구에서의 Spark, Neon sign 또는 방전관에서의 glow 방전, 기타 각종 점멸기구의 단속 ( on-off ), 그리고 접촉저항 변화에 의한 접촉잡음등이 널리 분포되어 있다. 또한 송전선에서의 Corona 방전 전기철도의 Spark 나 Arc 와 같이 기계통에 의하여 발생, 분포되는 수많은 고조파에 의한 복잡한 mode 파형을 지니고 있으며 이에 대한 영향은 주파수가 낮을수록 수신소에서의 위치 선정시

공전과 함께 문제가 되어진다.

#### 다. 방해잡음의 개선법

무선통신회선의 양부는 수신점에서의 신호전계강도와 잡음세력의 강도비에 의한 결정이 되어진다.

장중파대의 영역에서는 은하잡음과 태양잡음은 문제가 되지 않으며, 원거리발생의 공전이 주요방해잡음으로 되고, 주파수, 계절, 시간에 따라서 공전의 강도가 변화한다. SHF대 이상의 Micro 파 영역에서는 외부잡음이 적고, 수신기 내부잡음에 의하여 지배된다.

인공잡음은 주파수에 관계없이 방해를 주지만 이론적 계산은 추정할 수가 없고 실제 전계강도측정에 의한 추정을 할 수 밖에 없다.

이에 따른 방해잡음의 개선을 위한 대책으로는 다음과 같은 방법이 있다.

##### (1) 수신신호세력의 증대

송신전력의 증가 또는 고이득의 지향성광중선을 이용하여 수신신호세력을 증가시킨다.

##### (2) 내부잡음 전력의 억제

수신기의 수신방식이 Super-heterodyne 방식일 경우의 내부잡음은 주파수 변환부에서 많이 생기고, 다극관은 잡음이 많으므로



로 3극관을 사용한다. 또한 각 회로소자 특히 저항등의 노후소자를 교체하여 저항체의 열잡음을 경감시키는 방식이 이용된다.

#### (3) 수신 실패대역폭에 의한 저감

열잡음 전력은 수신기의 통과대역폭에 의하여 비례함으로서 수신기의 실패 대역폭을 좁게 하여 잡음을 경감하고 온신을 경감시킬 수가 있다.

#### (4) 인공잡음의 경감

인공잡음의 발생원에 대한 잡음원 제거 또는 발생원에 대한 특정 Filter 를 삽입하며, 잡음원에서의 원거리 지역에 수신공중중선을 설치함으로써 지향성공중선 이용과 함께 인공잡음을 경감시킨다.

#### (5) 통신방식의 선택

적당한 통신방식을 이용함으로써  $S/N$ 비의 개선 및 잡음의 경감, 명료도의 개선 및 Fading 의 방지와 온신을 경감시킨다.

예 : AM 방식의 SSB 방식이용과 FM에서의 FSK 방식 이용등

#### (6) 기 타

기타 잡음의 경감을 위한 급전선과 장비의 Shielding 및 전원 Filter 의 삽입 또한 수신소 위치의 적정 선택에 의한 방해잡음원을 저감시킨다.

## 6. 공 중 선

### 가. 개 요

공중선은 무선통신회선의 고주파 energy 를 송·수신기와 자유공간과의 결합을 위한 매개장치이며, 통신회선의 이용에서 중요한 역할을 한다.

무선통신회선의 회선계 손실을 줄이기 위한 최대한의 효과적 이용방안에 대한 제 고찰을 한다.

고찰과정은 우리들이 통상적으로 알고 또한 단파대의 통신회선에 많이 사용되는 doublet 공중선의 이용에 있어서의 제특성의 응용과 지상에 가까이 (수파장 이내의 높이에 설치) 설치된 공중선과 근거리 통신회선에의 이용된 공중선에 대하여 살펴 본다.

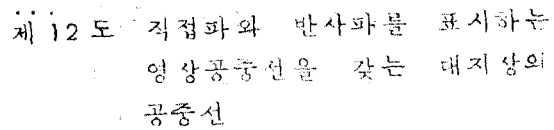
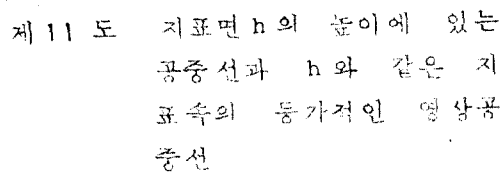
### 나. 공중선의 대지에 대한 영향

#### (1) 대지면상의 수평 반파장 doublet 공중선

우리는 제공중선에 대한 제반 특성과 사용을 많이 하고 있으나 통상 사용되는 공중선의 이용을 자유공간상의 가장 이상적인 상태하에서의 대지면에서 무한히 높은 중간에 설치되어 있다고 가정된 것이다. 그러나 실제의 공중선은 단파대 주파수의 1 파장 이내에 공중선이 설치되어 문제는 달라진다.

그림제 11 도에서 무한한 대지면표면상의 높이  $h$  에 놓여진 수평 반파장 doublet 공중선에 대한 고찰을 하면 임의의 거리  $P$  점에서의 전계강도는 직접파와 제 12 도에 표시된 것과 같은 반사파와의 합이 되어진다.

대지가 완전 도체상태라 하면, 전계강도의 점선부분은 대지면상



에서 없어진다. 그 경계조건을 만족하려면 반사파와 반사점에서의 위상이  $180^\circ$  반전되어야 한다. 이때 임의의 지점 P에서의 전계강도를 구하려면 이 문제를 「전기적 영상법」 ( Image method ) 에 의해서 생각을 하면 된다.

이 방법에 의한 대지는 지표면의 거리  $h'$  에 있는 영상공중선 ( Image antenna ) 을 이용한다.

영상에 의한 전류는, 공중선의 전류와 그 크기가 같고 위상이 반대가 되어 전계의 점선 방향의 영 ( Zero ) 이 되는 조건은 공중선과 영상공중선에서 같은 거리에 있는 변에 가까워진 점에서 만족되어진다. 이에 의한 무한히 광범한 완전 도체상의 수평공중선은 2 개의 공중선 소개의 문제와 같아지나, 이득에 대한 식에 있어서 전력  $W$  가 공중선에 공급 되어졌다 하면 동일전력이 영상에도 공급 되어졌다 가정하는 것이다. 그러므로 전 전력  $2W$  가 공중선에도 영상공중선과 같이 평행한 2 개의 공중선에 공급되어 진다.

## (2) 특성 Impedance

대지면상의 공중선은 지표면에서 반사된 반사파의 영향에 의해 공중선의 여진점에 대한 급전점의 특성 Impedance 는 자유공간상의 급전점의 특성 Impedance 와 다르다.

이에 대한 급전점의 전압은 다음의 식과 같이 구할 수가 있다.

$$V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_m \dots\dots\dots (6-1)$$

여기에서  $I_1$  = 공중선의 전류

$I_2$  = 영상공중선의 전류

$Z_{11}$  = 공중선의 자기 Impedance

$Z_m$  = 거리  $2h$  에서의 공중선과 영상공중선의

## 상호 Impedance

여기에서

$$Z_1 = V_1/I_1 = Z_{11} - Z_m \dots\dots\dots (6-2)$$

식 6-2에서 실수부에 대한 급전점의 방사저항은

$$R_1 = R_{11} - R_m \dots\dots\dots (6-3)$$

여기에서  $R_1$  = 대지면 상의 공중선의 방사저항

$R_{11}$  = 공중선의 자기저항

$R_m$  = 거리 2 h에서의 공중선과 영상공중선의 상호 방사저항.

수평 반파장 doublet 공중선의 중심에 의한 방사저항의 변화는 대지 상의 높이 h에 대한 함수와 같아 그림제 13 도에 표시되어 있다.

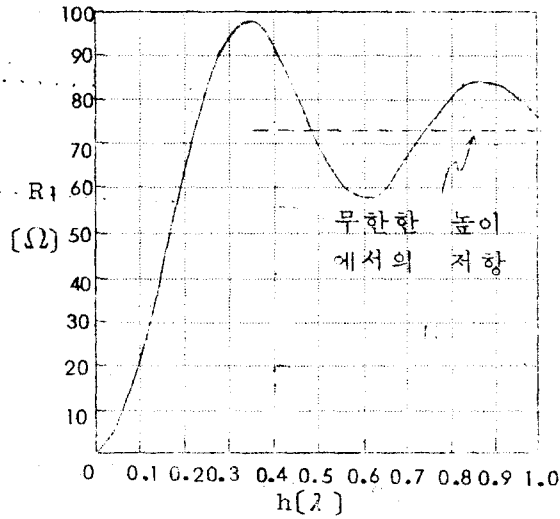
공중선의 높이가 대지에서 무한하게 높아지면 방사저항에 대한 영상공중선의 영향은 감소하여 자유공간에 의한 값과 근사해진다.

### (3) 이득

대지면 상의 공중선은 공중선과 영상공중선과의 전류의 크기가 같고 위상이 반대가 되어 이득이 자유공간 상의 공중선과 같아지지 않고 높이 h에 의한 함수관계가 주어진다.

공중선의 수평면에 대한 양각  $\alpha$ 가 zero의 방향에서 방사는 zero가 된다. 그림 제9도 참조.

또 높이 h가  $1/4$  파장에서는 그 이득이 되어서 최대방사는 항상 수직방향 ( $\alpha = 90^\circ$ ) 이 된다. 또 높이 h가 높아지면 최대방사는 보통  $0^\circ$ 와  $90^\circ$  사이의 양각이 된다.



제 13 도 수평반파장 doublet 공중선의 지상고와 방사저항의 관계

대지 상의 높이  $h$  의 수평 반파장공중선은, 같은 입력전력의 자유 공간상의 반파장공중선과 비교하기가 편리하다.

이제 원거리에서 「자유공간상의 반파장공중선」 ( H.W.F.S ) 에 대한 「대지면상의 반파장공중선」 ( H.W.A.G ) 의 전계강도 이득은

$$G_f(\alpha) = \left( \frac{H.W.A.G.}{H.W.F.S} \right)$$

$$= \sqrt{\frac{R_{11} + R_{1L}}{R_{11} + R_{1L} - R_m}} \times |2 \sin(hr \cdot \sin \alpha)|$$

.....( 6 - 4 )

여기에서

$$h r = (2\pi/\lambda) \cdot h$$

$R_{II}$  = 반파장공중선의 자기저항

$R_{IL}$  = 반파장공중선의 손실저항

$R_m$  = 반파장공중선과  $2h$ 의 거리에서 영상공중선

과의 상호방사저항

식 6-4는 공중선에 직각인 수직면내의 이득을  $\alpha$ 의 함수로서 구한 것이다.

#### (4) 지향성

반파장 doublet 공중선의 지향 Pattern은 자유공간상의 무한히 높은 곳에서의 특성이 쌍향성을 유지하나, 지상고  $h=0.1, 0.25, 0.5$  그리고  $1.0$  파장의 경우에 대한 수직면 지향 Pattern을 예시한 것이다.

참조 그림제 14 도

그림에서  $h=0.1$ 의 신행 Pattern은 같은 입력전력을 갖는 자유공간에서 반파장공중선에 대한 것이다.

이 때 손실저항은 없다고 가정한다.

일정한 양각  $\alpha$ 에 대한 방위각  $\phi$ 의 함수에서의 전계강도 Pattern을 구하려면 그림 제 12도와 같은 좌표계에 의한 원추에 의해서 임의의 P점에 대한 전계강도 Pattern은 그림 제 13도와 같이 나타낼 수가 있다.

자유공간상의 수평 공중선의 전계강도 Pattern을 생각하면 그림의  $x-y$ 면은 수평면이다.  $\alpha, \phi$ 방향에서의 원거리에 떨어진

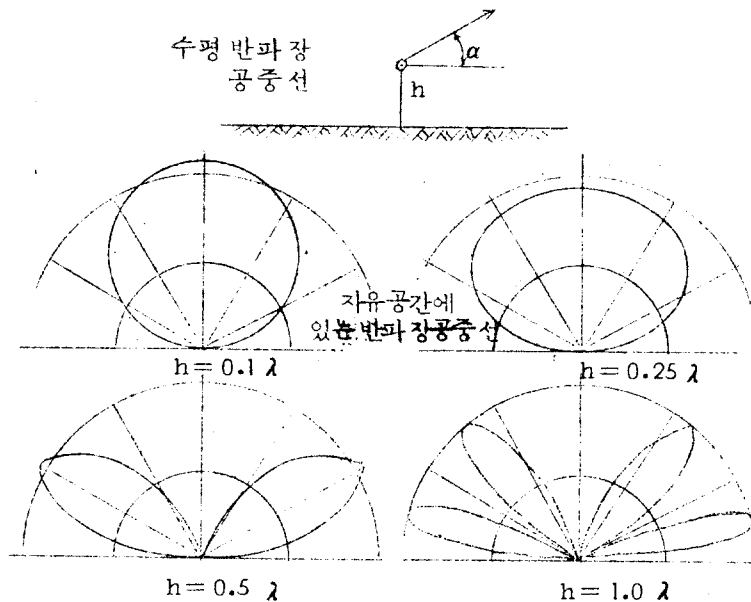


그림 제 14 도 반파장공중선의 대지영향에 의한 수직면내의 지향특성도

전계 강도는 원점과 양각  $\alpha$ 의 원추와, 그림 제 16 도에 표시된 공중선의 입체적 doughnut 형 전계강도 Pattern 의 표면과의 교차점간에 대한 길이 OA 를 넣을 수가 있다. 이 OA 의 길이는 공중선 축에서의 방위각  $\phi'$  을  $\alpha$  그리고  $\phi$  에 표시가 되어, 자유공간에서 공중선의 전계강도 pattern 의 식에서 얻을 수가 있다. 그림 제 16 도에 의한 구면의 직각삼각형에 대해서는

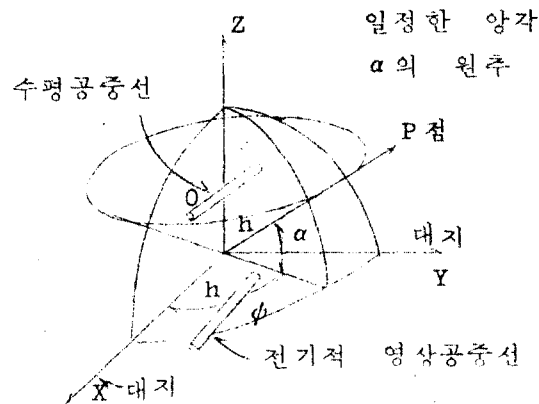
$$\cos \phi' = \cos \phi \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (6-5)$$

또는

$$\sin \phi' = \sqrt{1 - \cos^2 \phi \cdot \cos^2 \alpha} \dots\dots\dots (6-6)$$

가 되고, 이 관계에 대해 지향 pattern 의 식에 넣어서  $\alpha$ ,  $\phi$  방향의 전계강도들 구한다. 예로서 식 6-5 와 6-6 을 식 6-7 에 대한 반파장공중선의 지향 pattern 계수인





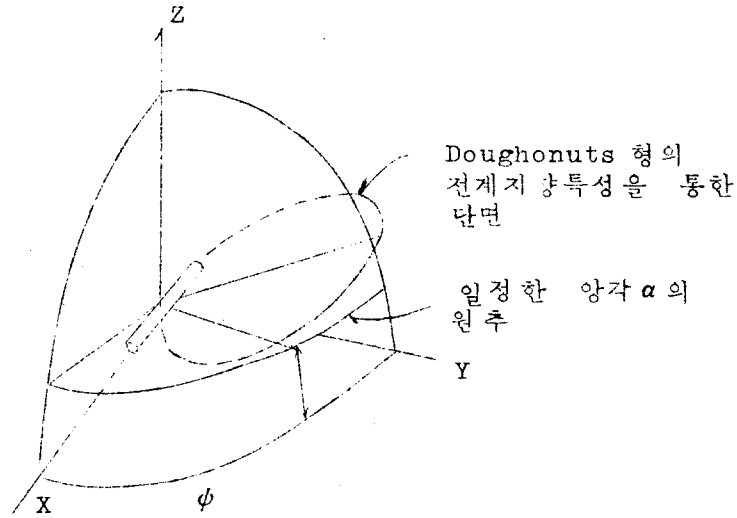
제 15 도 대지상 ( x - y 면 ) h 의 높이에 있는 수평공중선  
에서 임의의점 P에 대한 방위각과 양각 α

$$E = \frac{\cos \cdot \left( \frac{\pi}{2} \cos \theta \right)}{\sin \cdot \theta} \dots \dots \dots ( 6-7 )$$

에 대입시키면, 식 6-5와 식 6-6의  $\phi'$ 가 식 6-7 가운데  
 $\theta$ 에 같게 나타나므로, 수평 반파장공중선의 전계강도는 다음과 같이  
구할 수가 있다.

$$E(\alpha \cdot \phi) = \frac{\cos [ (\pi/2) \cos \phi \cdot \cos \alpha ]}{\sqrt{1 - \cos^2 \phi \cdot \cos^2 \alpha}} \dots \dots \dots ( 6-8 )$$

가 되어, 자유공간에서의 반파장공중선의 상대 전계지향성 ( pattern )  
은 일정한 양각  $\alpha_0$ 에  $\phi$ 의 함수와 같이 다음의 식을 구할 수가  
있다.



제 16 도 일정한 양각에 의한 전계강도의 기하학적 구도

$$E(\phi) = \frac{\cos[(\pi/2) \cos\phi \cdot \cos\phi_0]}{\sqrt{1 - \cos^2\phi \cos^2\phi_0}} \dots\dots\dots (6-9)$$

완전한 도체 상의 대지면 높이  $h$ 에 있는 공중선의 pattern을 구하면 진폭이 같고 위상이 반대인 2개의 등방성 점파원 pattern을 전술한 카유공간의 관계식에 넣어서 구할 수가 있다.

이 점파원은  $Z$  축에 가까운 거리  $2h$ 에 가까워진다.

동일진폭, 반대위상의 2개의 등방성점파원의 식에의한 식 6-10에서

$$E = 23E_0 \sin \frac{\phi}{2} = 23 E_0 \sin\left(\frac{dr}{2} \cdot \cos\phi\right) \dots\dots(6-10)$$

가 되어, 식 6-10에서 2개의 등방성점파원의 지향 pattern은, 다음과 같이 된다.

$$E_{iso} = \sin(hr \sin\alpha) \dots\dots\dots (6-11)$$

여기에서  $hr$ 을 radian으로 표시모 대지면상의 높이에서

$$hr = \frac{2 \pi h}{\lambda} \dots\dots\dots (6-12)$$

가 된다.

이 pattern 은 빔위각  $\phi$ 에 무관계하다. 임의의 수평공중선의 자유공간 전계강도에 식 6-11 을 넣으면 완전한 도체인 대지면 상의 공중선에 대한 지향 pattern 을 얻을 수가 있다.

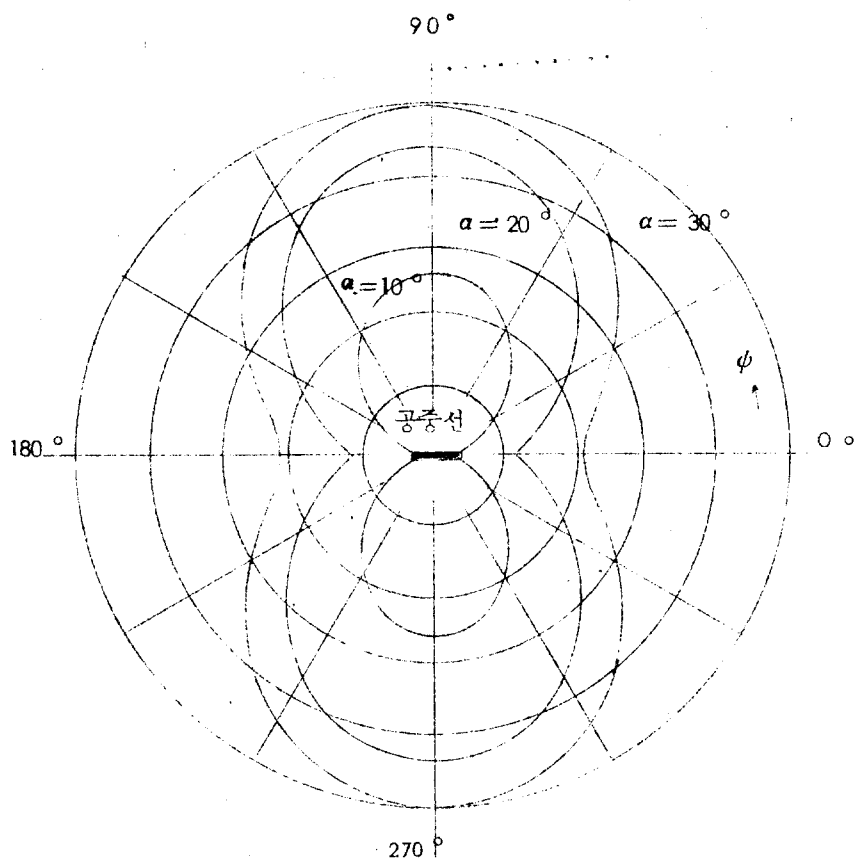
그러므로 완전한 도체인 대지면 상의 반파장공중선에 대해서  $\alpha$  와  $\phi$ 와의 양자에 대한 함수에 의해서 입체적인 전계강도 pattern 은 식 5-8 과 식 6-11 을 곱하면 다음과 같이 얻어진다.

$$E = \frac{\cos[(\pi/2) \cdot \cos\phi \cdot \cos\alpha]}{\sqrt{1 - \cos^2\phi \cos^2\alpha}} \cdot \sin(hr \sin\alpha) \dots (6-13)$$

에서  $hr$  = 대지상에 대한 radian 으로 표시된 공중선의 높이. 일례로 빔위각  $\phi$ 의 함수에서 양각  $\alpha = 10^\circ, 20^\circ$  그리고  $30^\circ$ 에 대한 pattern 이 완전한 도체상의 무한히 넓은 대지상에  $h = 1/2 \cdot \lambda$  ( $hr = \pi$ )에 있는 반파장공중선에 대한 식 6-13 에서 계산된 것이 그림 제 17 도와 같이 표시되어진다.

$\phi = 90^\circ$ 에서는  $270^\circ$ 에 대한 pattern 이 상대적으로 커진다.

그림 제 11 도에서  $h = 0.5\lambda$ 에 대해 표시된 수직면내의 pattern 에서  $\alpha = 10^\circ, 20^\circ$  그리고  $30^\circ$ 에 대한 전계강도로 나타낸 것이다. 이 전계강도는  $\phi = 90^\circ$ 에서  $270^\circ$ 의 수평방향에 편파되어지고 또  $\phi = 0^\circ$ 와  $180^\circ$ 에서는 수직방향에 편파되어지는 것을 주의하여야 한다. 그 중간의 빔위각에서는 전계강도가 어느 한개의 경사각을 갖는 직선적인 편파가 되어진다.



제 17 도    양각  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  에 서의  
 대 지 상 높 이  $h = 1/2 \lambda$  에 대 한  
 수 평 반 파 장   공 중 선 의   전 계 지 향  
 pattern

## 나. 공중선의 효율

무선통신 회선의 회선계 손실을 경감시키기 위해서 사용되는 장비와 함께 공중선을 최대한으로 이용하여야 할 것이다.

이에 대한 공중선의 효율 ( effective ) 을 증진시키기 위한 대책으로는 다음과 같다.

(1) 급전점의 Impedance Matching 을 행하여 반사파의 영향을 최대한으로 이용한다.

(2) 공중선의 지향성 ( pattern ) 을 최대한으로 이용한다.

(3) 공중선의 손실저항을 최대한으로 감소시킨다.

공중선의 손실저항은 접지를 이용한 공중선에서는 접지저항에 의한 손실이 대부분을 차지하고 있다.

이에 의한 접지저항의 감소에 노력을 하여야 할 것이다.

(4) 기타 공중선의 손실에 의한 절연불량에 의한 누설을 방지하여야 할 것이다.

## 다. 전리층과 방사각

근거리 단파통신회선은 전리층 반사를 이용하여야 하며 각 통신구간의 거리에 의한 방사각 ( Radiation pattern ) 의 이용을 최대한으로 이용하여야 할 것이다.

각 거리에 따른 전리층에서의 입사각과 반사각에 의한 공중선의 수직면내의 방사각 변화를 그림 제 18 도에 표시한다.

이 방사각의 변화는 단파통신회선의 구간 거리  $d = 100 \text{ km} \sim 600 \text{ km}$  의 F<sub>2</sub> 층 --- 1 hop 의 반사에 의하면 약  $45^\circ \sim 80^\circ$  의 각도와, E 층 --- 1 hop 의 반사각  $20^\circ \sim 60^\circ$  의 방사각을 갖고 있음을 알 수가 있다.

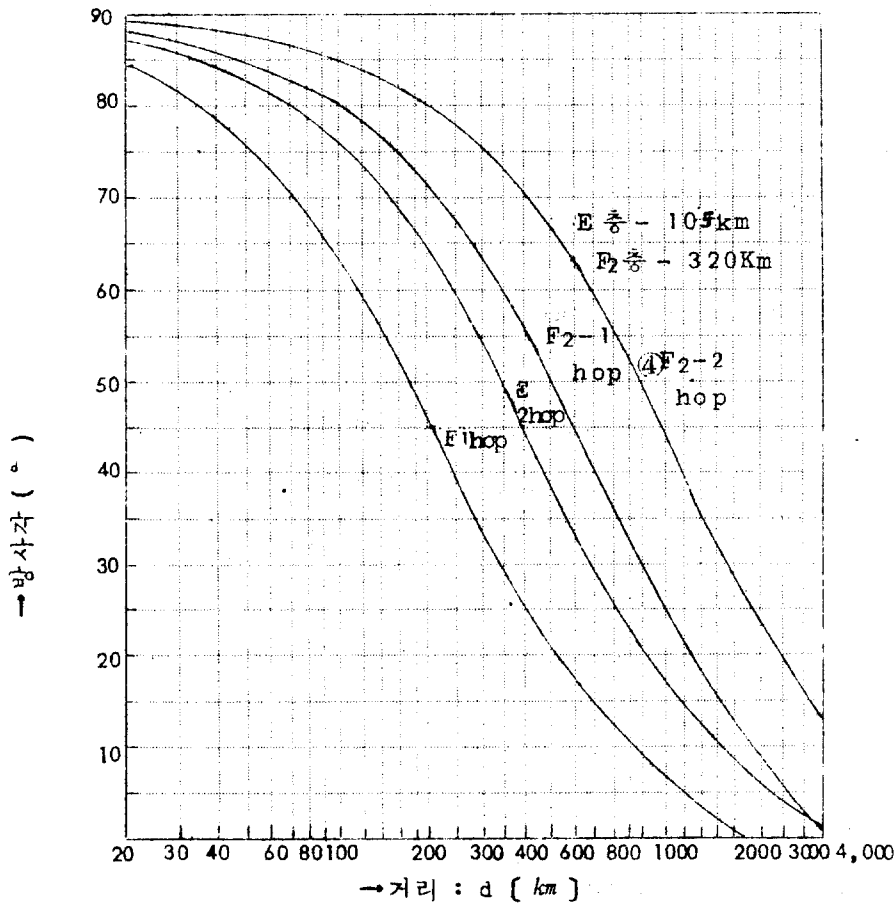


그림 제 18 도 송신방사각과 전리층반사에 의한 통신구간의 관계

이에 대한 대한민국 영역내에서의 거리 100 km ~ 600 km 의 거리에 대한 송·수신 공중선의 수직면내 방사각은  $20^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 의 방사각을 갖는 것이 바람직 할 것이다.

그러나 방사각의 특성은 지상고 1.2 이내의 높이에 설치된 공중선은 방사각이 변화함에 따라 이에 유의 하여야 할 것이다.

## 7. 무선회선의 선정

### 가. 회선설계와 운용시 고려사항

- (1) 통신의 업무종별 파악
- (2) 사용주파수의 선정
- (3) 수신지역의 잡음강도 파악
- (4) 수신 최저소요전계강도와 각종 보호비의 판정
- (5) 전파통로와 전파 자료의 수집과 선정
- (6) 송·수신 공중선에 의한 회선설계
- (7) 통신방식과 통신장비에 의한 송신 공중선전력의 산출
- (8) 송·수신소의 위치선정

### 나. 잡음과 보호비

단파통신회선의 설계와 운용시 잡음과 혼신의 level 에 대한 신호 level 은 어느 정도 이상의 차를 확보하여야 한다.

이에 대한 각 통신방식별 최저소요 전계강도의 산출시 회선의 설계에 잡음과 각종 보호비는 충분히 고려하여야 할 것이다.

#### (1) 잡음등급

무선통신회선의 설계 및 운용시 전파잡음은 분제가 되어

지고 있다.

통신목적에 대한 통신방식과 최적주파수 및 송신공중선전력의 결정시, 수신지점에서의 잡음에 대한 특성과 강도를 알아야 한다. 특히 단파대의 무선회선은 외부잡음 즉, 공전과 인공잡음이 문제가 되고 있으며 통신주파수, 계절, 시간에 대한 공전강도와 공중선의 이득 및 지향특성을 결정하여 각 통신방식별 최저소요 전계강도를 구하여야 한다.

이에 대한 외부잡음의 강도는 지역, 계절, 시간 및 주파수에 의해 변화하나, 각국에서의 잡음 level 을 측정하여 평균 통계가 발표되었다.

이 통계에 의한 자연잡음의 평균치에 대한 세계적 분포도를 5등급으로 분류하고 이 분류된 잡음등급은 표 제 7-1 과 같다.

우리나라에서의 여름 : 3, 겨울 : 2 의 등급에 의한 A<sub>1</sub> 전신에 대한 최저소요 수신전계강도는 표 제 7-2, 7-3 과 같이 산출되어진다.

표 7-1                      계 절 별 잡 음 등 급 분 포

지 역 월 별	한 국 일 본	미 국 중부·북부	미 국 남 부	중 부 유 럽	홍 콩 말 레이
12 ~ 2	2	2	2·1/2	2	3
3 ~ 5	2·1/2	2·1/2	3	2·1/2	3 1/2 ~ 4
6 ~ 8	3	3 ~ 2·1/2	3·1/2 ~ 4	3	4 ~ 4·1/2
9 ~ 11	2·1/2	2·1/2	3	2 ~ 2·1/2	3·1/2



표 7 - 2

한국에서의 A<sub>1</sub> 최저소요전제강도

여름 ( 등급 3 )    단위 : [ dB/μV ]

K.S.T. 주파수(MHZ)	0 0	0 4	0 8	1 2	1 6	2 0
1	56	40	18	13	22	47
2	50	33	9	3	14	39
3	43	30	15	10	19	36
6	39	29	21	17	25	37
8	36	27	24	21	29	37
10	33	24	25	24	31	36
20	11	11	14	17	20	22
30	15	15	15	15	15	15

표 7 - 3

겨 울 ( 등급 : 2 )

K.S.T. 주파수(MHZ)	0 0	0 4	0 8	1 2	1 6	2 0
1	49	44	4	- 4	12	51
2	43	38	- 1	-11	8	45
4	35	32	7	- 1	13	37
6	31	27	13	7	19	33
8	27	23	18	13	22	29
10	23	18	19	16	23	26
20	11	11	12	13	14	11
30	15	15	15	15	15	15

## (2) 보 호 비

보호비는 각종잡음과 혼신파 또는 주파수의 간격과 시간의 안전을 등을 고려하여 목적하는 정보를 최대한으로 이용하기 위한 무선통신회선의 척도가 된다.

이 보호비는 목적회선의 유지와 통신회선의 설계시 필요한 Parameter가 되며 이에 의한 소요 통신방식에 따른 최저소요 전제강도가 주어진다.

이 보호비는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

① 안전율 - 전파전파로상의 fading 등에 의한 fading 안전율을 고려

② 주파수간격 - 각 통신방식에 대한 근접통신회선간의 간격을 고려

③ 시간안전율 - 시간과 계절 등의 전리층변동에 의한 전제강도의 변화를 고려

이에 의한 항시 잡음 level과 혼신파의 level을 충분히 숙지하여 그 영향의 감소를 위하여 노력하여야 할 것이다.

각종 전송형식에 대한 보호비와 최저소요 전제강도의 비는 표 제 7 - 4 와 같다.

표 7 - 4

각종 전송형식에 대한 보호비와 A1에 대한

최저소요 전제강도의 비

단위 : [dB]

전 송 형 식	일정레벨을 유 지하기 위한 신호대 백-그 라운드의 비 (1)	보 호 비		자동전신에 필요한 최 저소요 전제강도와 다른 전송형식과의 비 (4)
		S/N (2)	S/I (3)	
수 동 A1 (24 Baud)	0	23	27	- 10 [F1에도 적용]
수 동 A2 (24 Baud)	0	30	27	- 3
자 동 A1 (120 Baud이상)	6	30	40	0
자 동 A2 (180Hz 120Baud 이상)	6	40	40	8
자 동 F1 (120 Baud이상)	6	30	36	0
변조파 송신 특수전신	6	40	36	10
A4 facsimile	6	40	36	10
DSB 상용전화	26	36	33	6
SSB 상용전화	26	30	33	0
DSB 전 화 (고충실도)	30	46	40	16
A3 방 송	30	46	40	16

주 : ① 연속사용하는 경우, 즉 수신기 출력단자에서의 잡음 또는

혼신 level 보다 어느정도 높은지의 최소비를 표시하는 것이다. 단, 전화의 경우 유선망에 접속하는 것으로 한다.

- ② 송신기의 복사첨두전력에 대한 값이다. 송신에는 변조파 (  $A_2, A_3, A_4$  ) 를 사용하는데 만일 복사전력은 비변조파 전력으로 표시하는 경우에는 6 dB 를 감한다.
- ③ 첨두전력 ( 즉 소요신호나 혼신신호가 완전 변조시 ) 에 대한 것이다.

다. 단파통신회선의 문제점

- (1) 전리층의 상태가 항상 변동하여 약 50 % 정도로 효율을 나타낸다. ( 회선효율 )
- (2) 태양활동에 대한 실험과 타당성을 검토하여야 한다.
- (3) 전리층에 의한 전파통로와 전계강도의 정량적인 해명이 난 이 하다.
- (4) 잡음에 대한 자료의 신뢰가 문제된다
- (5) 각종 보호비의 확인과 실제의 운용에 대한 정량적 해석이 불명하다.

## 8. 결 언

근거리 단파통신의 효율적인 운용을 위해서는 통신회선의 전파로인 전리층의 상태와 수신지점의 잡음특성 및 강도 그리고 제 전파전파상태를 충분히 파악하고 이에 따른 공중선의 효율적인 이용방법을 특성에 따라 회선의 설계와 운용시 고려하여야 할 것이다.

이 보고서는 이를 위한 제반사항을 참조하여 문제점과 주요 요인을 고찰 하였고 자료의 실험적 확인을 충분히 하지 못했음을 유감으로 생각 됨.

## 참 고 문 헌

1. CCIR Report 252-2 : CCIR interim method for estimating sky-wave field strength transmission Loss at frequency between the approximate limits of 2 and 30MHz. 1970, NEW DELHI.
2. CCIR Rec.341 : The concept of transmission loss in studies of radio systems. 1966. OSLO.
3. DAVIES KENNELY : Ionospheric radio propagation : 1965. NBS Monograph 80.
4. 一え瀬 優, 山岡 誠, 短波通信回線設計用 各種パラメータの コソピュータによる計算法. 電波研究所季報 Vol.19 No.102 pp 213 - 230. May 1973. 日本.
5. 一え瀬 優, 山岡 誠: 電子計算機による MUF, LUF および 短波空間波 電界強度の計算法. 電波研究所季報 Vol. 17. No. 93. pp 480 - 498. Nov. 1971.
6. 宮 憲一, 短波の新しい 電界強度計算法. 電通学誌 33, 1. pp 3. 昭和 25. 日本.
7. 一え瀬 優, 山岡 誠: 短波回線の設計方法と電波伝搬の予報(上). 電波時報. pp 53. Mar. 1973
8. CCIR Report 112 : Transmission loss in studies of Radio systems. 1970, New Delhi.
9. 虫明 東人, アンテナ 電波伝搬: コロナ社. 昭和 36 年
10. 上田弘之, 河野哲夫. 電波伝播: オーム社. 昭和 27 年.

11. J.D. KRAUS, ANTENNAS : McGraw-Hill Book Co., 1950.

12. 甘利 省吾, 電波工学 : 産業図書株式会社 . 昭和 32 年

13. 関口利南, 榎本 肇 . 電波工学 : オーム社 . 昭和 39 年.