

4. 등가대지도전율조사

目 次

1 . 序 論	125
2 . 電界強度의 算出	126
3 . 等価大地導電率 調査	132
4 . 理論値와 実測値와의 比較	137
5 . 調査結果 및 考察	143
6 . 結 論	145

책	임	연구관	통신기정	송	찬	부
담	당	연구관	통신기과	유	두	종
담	당	연구원	전송기사	구	병	룡
"	"	"	전송기사보	조	인	섭
"	"	"	"	김	중	문

1. 序 論

標準放送波帶 (535 ~ 1605 KHz) 의 電波傳播는 地表波가 主를 이루기 때문에 이의 傳播상황을 알기 위해서는 地表波에 關한 傳播理論의 이해와 傳播通路로서 지리적 상황에 關한 충분한 資料가 필요하였다.

우리나라에서는 과거 數年間에 걸쳐 방송파대 電波傳播 상황을 조사하였고 이에 따른 等値大地導電率을 산출하여 全國적인 等値大地導電率 分布圖을 作成한 바 있었다. 그러나 等値大地導電率은 항상 고정되어 있는것이 아니고 국토개발이나 文化向上, 人口의 이동등 客觀적인 條件의 變化에 수반하여 變化하게 됨으로 過去에 조사한 分布圖을 수정할 必要性을 느끼게 되어 다시 等値大地導電率調査를 하게된 것이다.

이번 調査는 過去 數年間에 걸쳐 조사한 資料를 전반적으로 재검토함과 아울러 이들 資料중 미흡한 점을 보완하는데 重點을 두었다.

大地導電率 測定方法에는 여러가지 方法이 있으나 其中 地表波 減衰 測定法을 택하였다.

2. 電界強度의 算出

가. Norton의 地表波 理論

中波를 地表波로서 利用할때 空中線利得 G, 輻射電力 P (KW) 인 發生源에서 d (km) 만큼 떨어진 지점의 電界強度 E (mv/m)

$$E = \frac{300 \sqrt{GP}}{d} \cdot A \quad (\text{mv/m})$$

로 주어진다.

위 식은 送信空中線의 高이가 극히낮아 doublet와 같게 볼 수 있는 경우이며 高이가 $\frac{\lambda}{4}$ 인 수직공중선에서는 위 식의 300을 313으로, 또 高이가 $\frac{\lambda}{2}$ 일 경우에는 약 380이 된다.

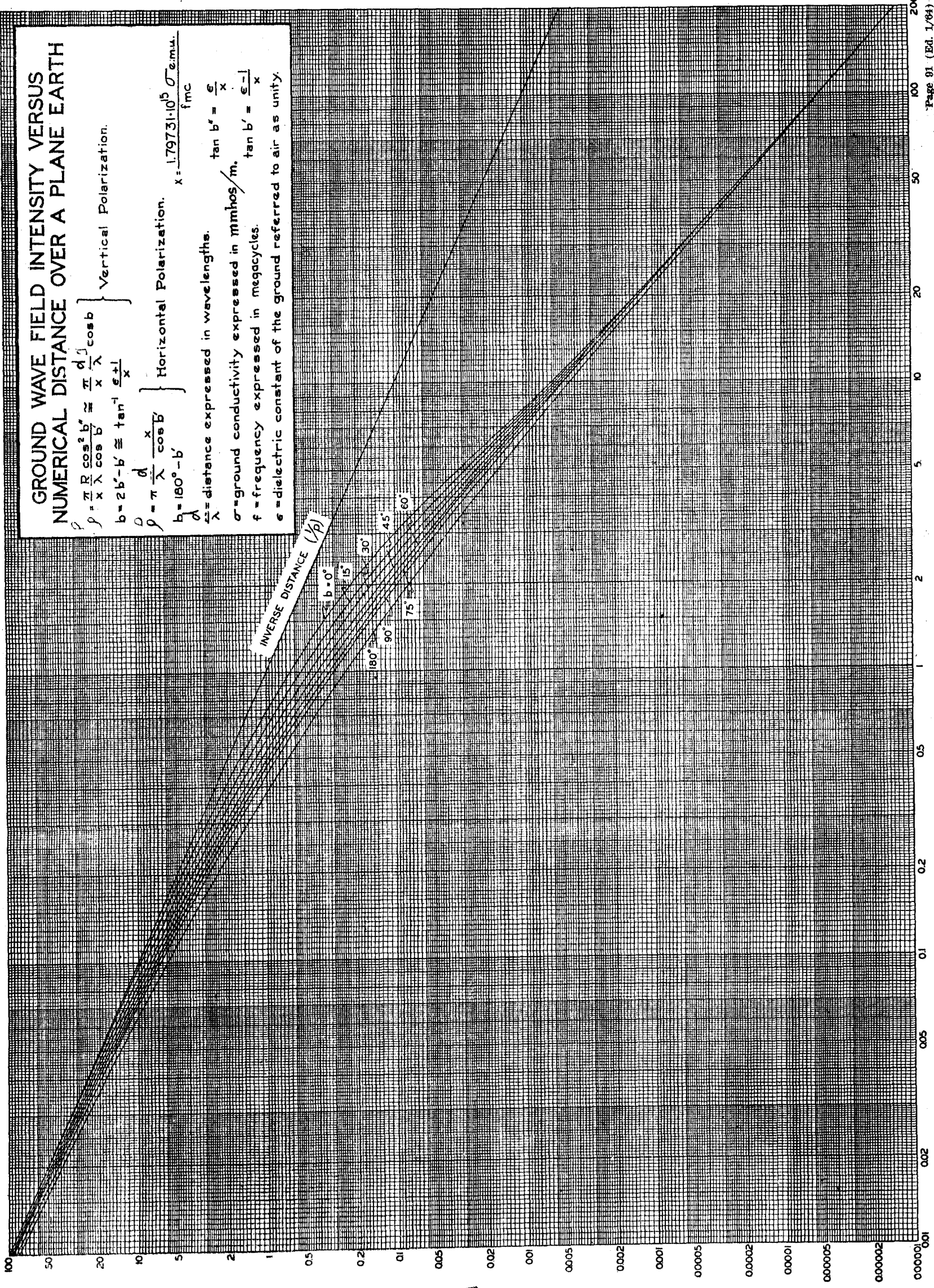
또한 여기서 A는 大地가 完全導體가 아니므로 인한 減衰係數는 다음 式으로 표시된다.

$$A \approx \frac{2 + 0.3 \frac{\rho}{\rho^2}}{2 + \rho + 0.6 \frac{\rho}{\rho^2}} - \frac{\sqrt{\rho}}{2} e^{-\frac{5.0}{\rho}} \sin b$$

여기서 ρ 는 수치거리이며 제1도에서는 b를 Parameter로 하여 A와 ρ 의 관계를 나타낸 것이며 實用上 이 函表를 利用한다.

여기서 ρ 는 垂直偏波인 경우

$$\rho = \frac{\pi}{\chi} \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{\cos^2 b''}{\cos b'} \approx \frac{\pi}{\chi} \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \cos b$$



GROUND WAVE FIELD INTENSITY VERSUS NUMERICAL DISTANCE OVER A PLANE EARTH

$$\rho = \frac{\pi R}{\lambda} \frac{\cos^2 b'}{\cos b} \approx \frac{\pi d}{\lambda} \cos b \quad \left. \begin{array}{l} \text{Vertical Polarization.} \\ b = 2b' - b' \approx \tan^{-1} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \end{array} \right\}$$

$$\rho = \pi \frac{d}{\lambda} \frac{x}{\cos b'} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Horizontal Polarization.} \\ b = 180^\circ - b' \end{array} \right\} \quad x = \frac{1.79731 \cdot 10^5 \sigma_{\text{e.m.u.}}}{f \text{ mc}}$$

$$\lambda = \text{distance expressed in wavelengths.} \quad \tan b' = \frac{\epsilon}{x}$$

$$\sigma = \text{ground conductivity expressed in mmhos/m.} \quad \tan b' = \frac{\epsilon - 1}{x}$$

$$f = \text{frequency expressed in megacycles.}$$

$$\epsilon = \text{dielectric constant of the ground referred to air as unity.}$$

INVERSE DISTANCE $(1/\rho)$

$b = 0^\circ$
 $b = 15^\circ$
 $b = 30^\circ$
 $b = 45^\circ$
 $b = 60^\circ$
 $b = 75^\circ$
 $b = 90^\circ$
 $b = 180^\circ$

A

이며 b 는

$$b = 2b'' - b' \frac{\epsilon + 1}{\chi}$$

$$\chi = \frac{1.7931 \cdot 10^{15} \cdot \sigma}{f}$$

$$(\text{참고: } \tan b'' = \frac{\epsilon}{\chi} \quad \tan b' = \frac{\epsilon - 1}{\chi})$$

에 의해서 구할 수 있다.

또 여기서 大地의 導電率이 대단히 크든지 또는 波長이 길어서 大地의 誘電率이 電波傳播에 거의 영향을 주지 않을 경우 電波減衰는 大地의 導電率에 지배된다.

따라서 減衰項 A 는 다음 式과 같이 간단히 할수가 있다.

$$A = \frac{2 + 0.3 \rho}{2 + \rho + 0.6 \rho^2}$$

여기서 ρ 는

$$\rho = 5.236 \times 10^{-16} \times \frac{d (ka)}{4 (e \cdot m \cdot u) \cdot \lambda^2 (ka)}$$

d : 송수신점간의 거리 (ka)

λ : 파 장 (ka)

σ : 大地導電率 (e · m · u)

f : 周波數 (MHz)

ϵ : 大地誘電率 (c · s · u)

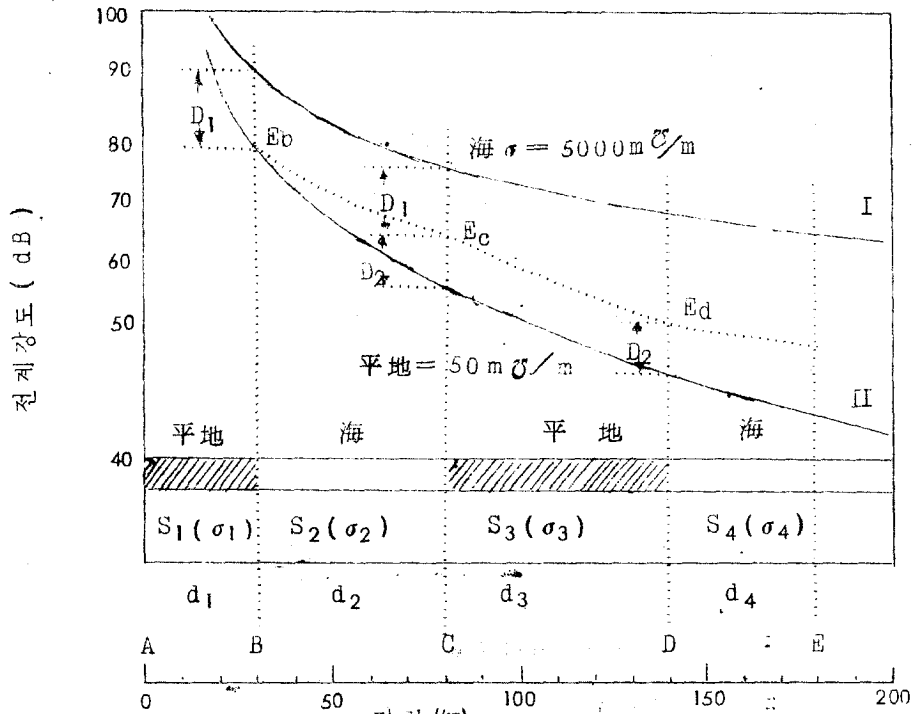
$$\ast \quad 1 \text{ } \sigma / \text{m} = 10^{-11} \text{ e} \cdot \text{m} \cdot \text{u}.$$

나. 混合路에서의 電界強度 계산법

(1) P.p. Eckersley의 方法

앞에 說明한 계산식에 의한 방법은 大地導電率이 일정한 均一大地이면 비교적 쉽게 구할 수 있으나 大地가 混合路일 경우에는 대단히 복잡하게 된다.

이런 경우에는 地表波 伝播曲線을 使用하는 것이 편리하다.



체 2 도 계산설 명도

第2圖를 適用하여 說明하면 B점의 電界強度는 d_1 區間이 平地이므로 曲線Ⅱ에 의해 B직선과 교차되는점, 즉 E_b 로 되고, C점의 電界強度는 d_2 區間이 海上이므로 曲線Ⅰ의 B점과 E_b 점이 맞나도록 曲線Ⅰ을 아래로 平行移動시켰을때 曲線Ⅰ과 C직선이 교차되는점, 즉 E_c 가 된다. 같은 方法으로 하여 D점의 電界強度는 曲線Ⅱ의 C점과 E_c 점이 맞나도록 曲線Ⅱ를 平行移動시켜 曲線Ⅱ와 D직선이 맞나는點 E_d 가 된다.

즉 依循曲線을 상하로 平行移動하여 계산한 方法으로서 "等価電力法"이라고 불리어지며 수식으로 표시하면

S_1 과 같은 조건에서	d_1 거리	의 電界強度를	$E_1(d_1)$	dB
S_2 와 " " "	d_1 " "	" "	$E_2(d_1)$	"
S_2 " " "	$d_1 + d_2$ " "	" "	$E_2(d_1 + d_2)$	"
S_3 " " "	$d_1 + d_2$ " "	" "	$E_3(d_1 + d_2)$	"
S_3 " " "	$d_1 + d_2 + d_3$ " "	" "	$E_3(d_1 + d_2 + d_3)$	"

라 할때 D지점의 受信電界는

$$E_D = E_1(d_1) - \{E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3)\}$$

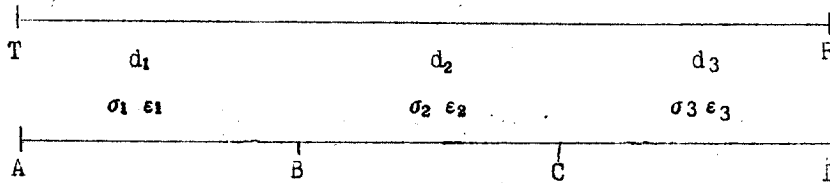
로 주어진다.

(2) G. Millington의 方法

G. Millington의 方法은 최초로 p.p. Eckersley의 方法에 의해 電界強度를 구하고 다음에 送受信點을 交換하여 동일한 모양으로 電界強度를 구한 후 양자의 기하평균을 하면 구하는

電界強度가 된다.

즉, 각 통로구간을 d_1, d_2, d_3 . 大地導電率 및 誘電率을 $\sigma_1 \epsilon_1, \sigma_2 \epsilon_2, \sigma_3 \epsilon_3$. 라 하면



R 지점의 受信電界는 P.P.Eckersley 의 方法에 의하여

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3)$$

가 된다. 다시 R을 送信地点, T를 受信地点으로 하였을때 얻어지는 T지점의 電界強度 E_T

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) \dots$$

가 된다. 여기서 구하고자 하는 電界強度 E는

$$E = \frac{1}{2} (E_R + E_T)$$

가 된다.

(3) 須田 方法

混合路에 있어서 각 區間の 距離를 dn , 도전율을 σn . 으로 하면 全區間の 等価導電率은

$$\sigma_e = \frac{\sum dn}{\sum \frac{dn}{\sigma n}} \dots\dots\dots (1)$$

로서 구해진다.

제 2 도의 C 혹은 D의 電界強度를 구하는데 必要한 A.C 혹은 A.D 間의 等値導電率은 (1) 式으로 부터 A.C 間 等値導電率은

$$\sigma_{ac} = \frac{\frac{d_1 + d_2}{\frac{d_1}{\sigma_1} + \frac{d_2}{\sigma_2}}} = \frac{\frac{30 + 50}{\frac{30}{10} + \frac{50}{5000}}} = 10 \times \frac{80}{30}$$

$$= 26.7 \text{ (m}\Omega/\text{m)}$$

A.D 間 等値導電率은

$$\sigma_{ad} = \frac{\frac{d_1 + d_2 + d_3}{\frac{d_1}{\sigma_1} + \frac{d_2}{\sigma_2} + \frac{d_3}{\sigma_3}}} = \frac{\frac{30 + 50 + 60}{\frac{30}{10} + \frac{50}{5000} + \frac{60}{10}}} = 10 \times \frac{140}{90}$$

$$= 15.5 \text{ (m}\Omega/\text{m)}$$

가 된다.

이 σ_{ac} 혹은 σ_{ad} 가 구해지면 제 2 도와 같은 電界強度曲線에 의해 직접 C 点 혹은 D 点의 電界強度가 구해진다.

그러나 이 方法은 導電率이 낮은부분, 예를들면 산악지 등의 導電率 추정에는 注意를 要한다.

이상에서 說明한 두방법은 근거리에서는 比較的 잘 맞지만 원거리에서는 일치하는 確度가 다소 떨어진다.

3. 等価大地導電率 調査

가. 조사방법

既 조사된 부분중에서 재 검토를 필요로 하는 부분과 未調査 부분을 조사대상으로 선정하여 선정된 지역의 (제 3 도 참조) 표준 방송국을 중심으로 8 방향에서 수신되는 측정대상 방송파 및 인근 표준 방송파의 전계강도를 측정한 후 逆으로 등가대지 도전율을 산출하였으며 측정지점은 다음과 같다.

서울 부산간 17개 지점

서울 목포간 12개 지점

경상북도 지역 11개 지점

무주 지역 12개 지점

강원도 지역 13개 지점

제주도 지역 10개 지점

서해안 지역 11개 지점 등 86개 지점이다.

나. 電界強度 測定

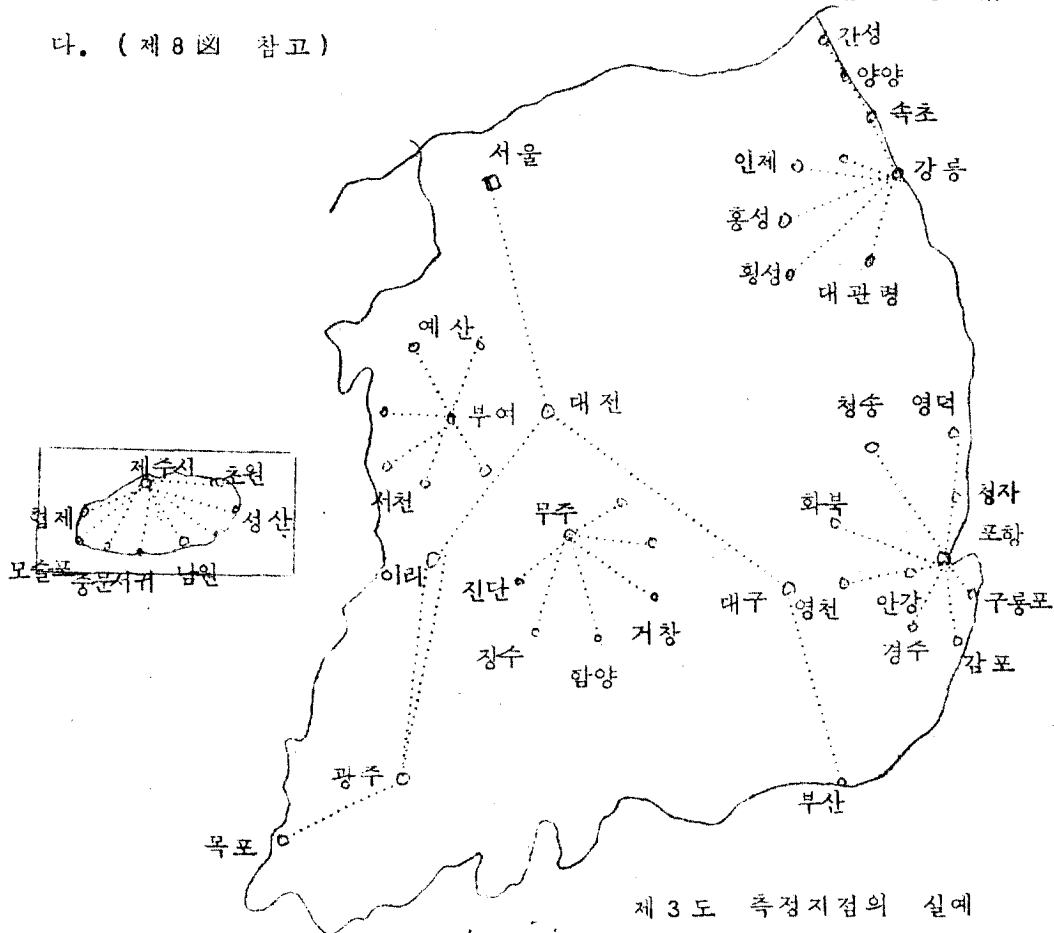
(1) 測定地点의 選定

표준방송파 (535 ~ 1605 KHz) 를 수신하기 위한 지형조건으로서 주위는 비교적 평탄하며 送信源으로부터 10 Km 이상 40 Km 미만인 지역을 선정했다.

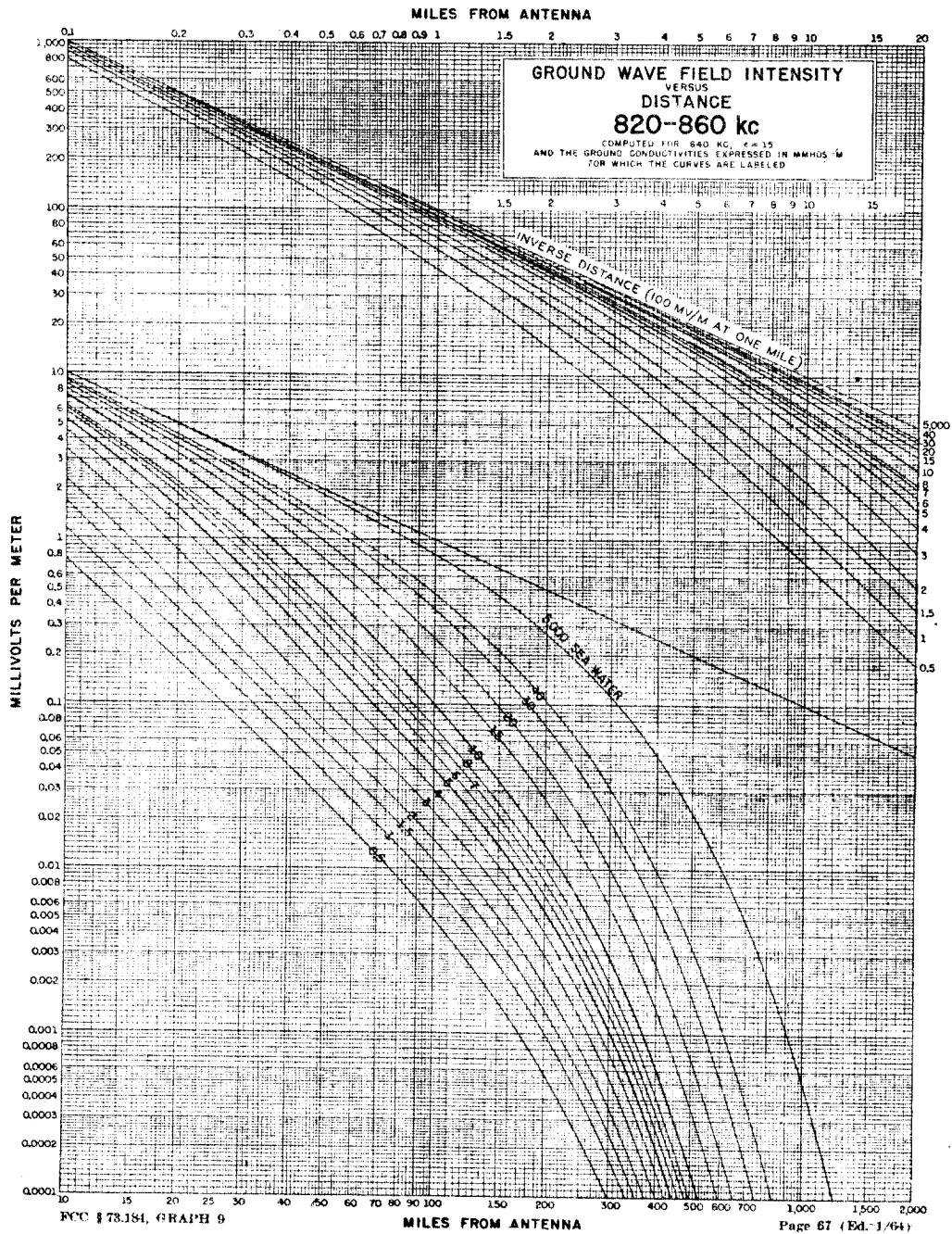
表는 空中線 電力 250 W, C.C.I.R 圖表는 1 Kw 를 基準으로
作圖된 것을 利用하였다.

또 分布圖의 作成은 標準放送局을 中心으로 8 方向의 電界強度
를 測定하고 이 測定値를 基準으로 轉電率을 求해 계산치와 비교
검토후 地圖上에 표시하였다.

본 分布圖는 67 年부터 71 年까지 측정된 전계강도치와 75 年度
에 측정된 자료를 종합하여 등가대지 도전을 분포도를 작성하였
다. (제 8 圖 참고)



제 3 도 측정지점의 실예



2155

(2) 測定対象

선정된 측정지점에서 수신되는 국내 표준방송파의 전계강도를 측정하였다.

(3) 측정시간

空間波(공간파)로 인한 오차를 없애고 地表波(지표파)만을 수신하기 위해 晴天時인 10:00 ~ 16:00 時内に 實施하였다.

(4) 測定偏波

垂直偏波

(5) 측정 안테나 높이

地上高 1 m

(6) 사용 측정기

NM - 25 T 전계강도 측정기

M - 262 C 전계강도 측정기

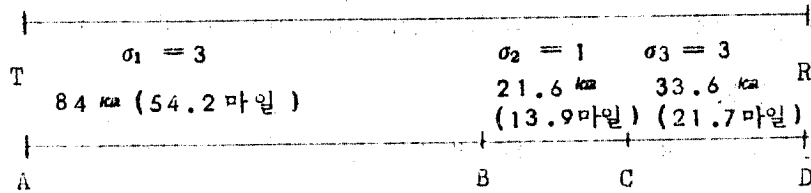
(7) 測定地点은 送信所와의 정확한 거리 계산 및 再 測定時를 위해 1:50,000 地圖上에 표시하였다.

다. 等値大地導電率 分布圖 作成

伝播曲線은 第4~6 圖의 大地誘電率 $\epsilon = 15$ 로서 地表波 電界強度 伝播曲線(F.C.C. Rule and Regulation Part 73. 184의 graph)을 主로 사용하고 C.C.I.R Rec. 368-2의 地表波 伝播曲線(10KHz ~ 10 MHz)을 참고로 導電率을 求했으며 F.C.C 圖

4. 理論値와 実測値와의 比較

서울 중앙 제 1 방송 (710 KHz, 500 KW) 을 대전에서 수신하여
理論値와 実測値를 비교한 결과는 다음과 같다.



가. P.P Eckersley의 방법

위 그림에서 B지점의 전계강도를 E_1

C " " E_2

D " " E_3

라 하면

$$E_R = E_1(d_1) + E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) \dots \textcircled{1}$$

로 주어진다.

이를 F.C.C도표에서 찾으면

$$\sigma_1 = 3, d_1 = 54.2 \text{ mile에서 } E_1(d_1) = 0.135 \text{ mv/m}$$

$$\sigma_2 = 1, d_1 = 54.2 \text{ " } E_2(d_1) = 0.0455 \text{ mv/m}$$

$$\sigma_2 = 1, d_1 + d_2 = 68.1 \text{ " } E_2(d_1 + d_2) = 0.0285 \text{ mv/m}$$

$$\sigma_3 = 3, d_1 + d_2 = 68.1 \text{ " } E_3(d_1 + d_2) = 0.08 \text{ mv/m}$$

$$\sigma_3 = 3, d_1 + d_2 + d_3 = 89.8 \text{ " } E_3(d_1 + d_2 + d_3) = 0.043 \text{ mv/m}$$

이를 위 ①式에 代入하면

$$ER = 0.135 \div 0.0455 \times 0.0285 \div 0.08 \times 0.04 = 0.045 \text{ (mv/m)}$$

$$\approx 33.1 \text{ (dB)}$$

를 얻는다.

본 전계강도는 공중선 전력 250 W 일때의 値이므로 500 KW 인 경우에는 66.1 dB 가 된다.

위 계산식에서 + 대신 ×로 한것은 전계강도를 dB로 계산 하지 않고 (mv/m)로 계산했기 때문이다.

나. G. Millington의 방법

G. Millington의 방법은 위 P. P Eckersley 방법에서 ER 과 ET 를 바꾸어서 계산한후 幾何平均 (幾何平均) 하면 된다.

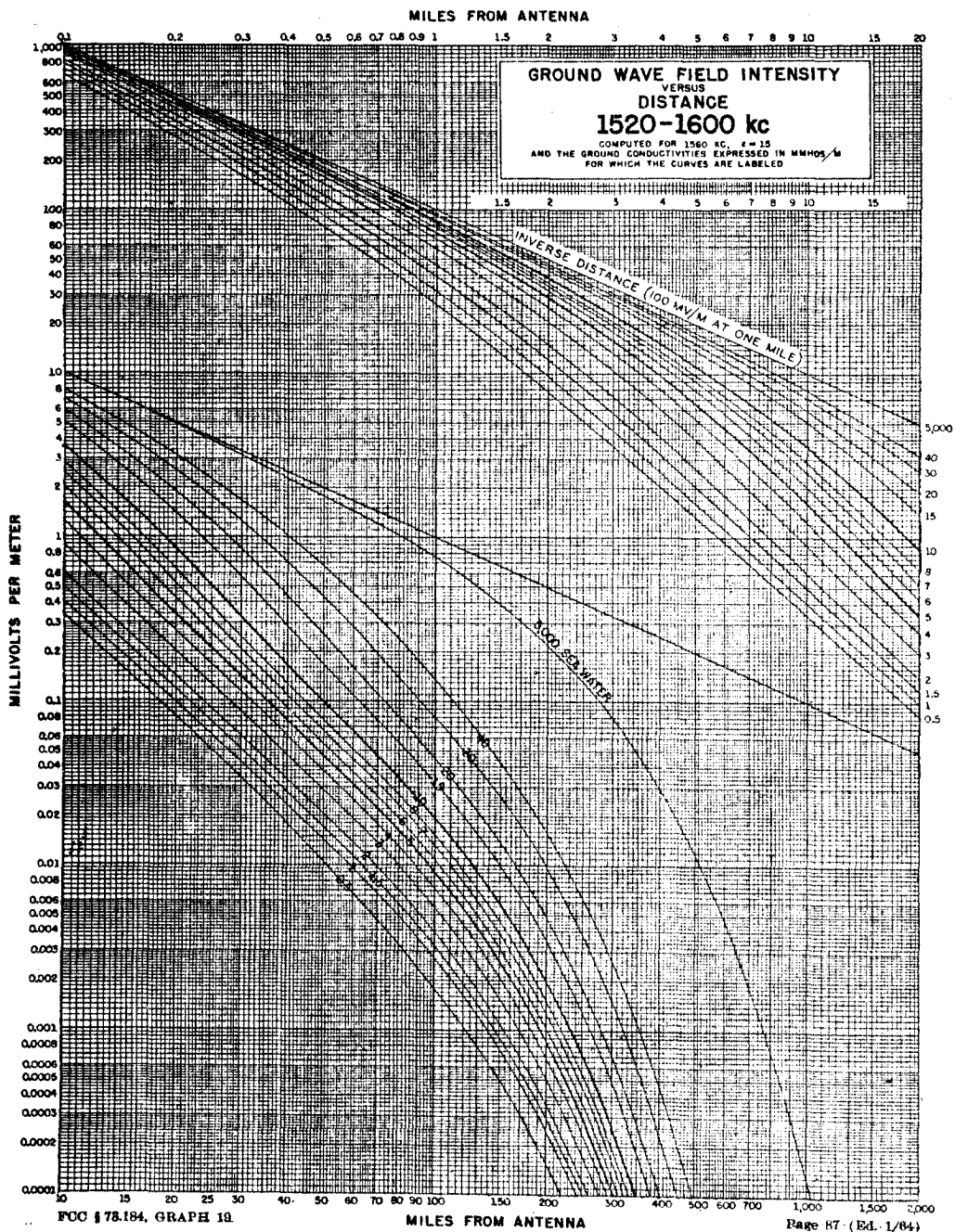
앞에서 P. P Eckersley 방법에 의하여 ER 을 구하였으므로 逆으 로 ET 를 구하면

$$ET = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1) \dots \textcircled{2}$$

로 된다.

이를 F. C. C 도표에서 찾으면

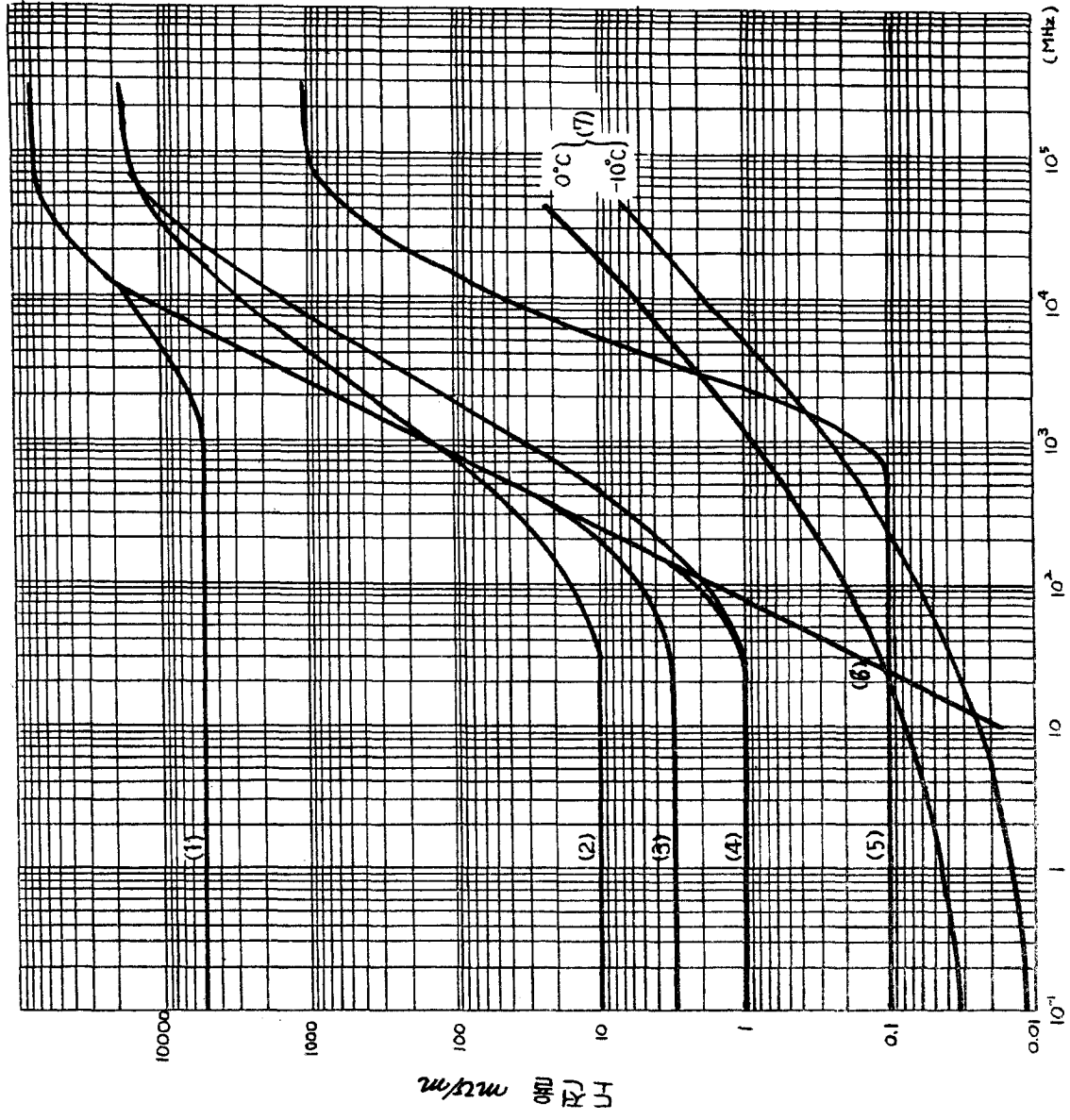
$$\begin{aligned} \sigma_3 = 3, d_3 = 21.7 \text{ mile에서 } E_3(d_3) &= 1.1 \text{ mv/m} \\ \sigma_2 = 1, d_3 = & \quad \quad \quad E_2(d_3) &= 0.33 \text{ mv/m} \\ \sigma_2 = 1, d_3 = 35.6 & \quad \quad \quad E_2(d_3 + d_2) &= 0.113 \text{ mv/m} \\ \sigma_1 = 3, d_3 = & \quad \quad \quad E_1(d_3 + d_2) &= 0.37 \text{ mv/m} \\ \sigma_1 = 3, d_3 = 89.8 & \quad \quad \quad E_1(d_3 + d_2 + d_1) &= 0.043 \text{ mv/m} \end{aligned}$$



제 116 도

- (1) 海水
- (2) 湿地
- (3) 淡水
- (4) 平地
- (5) 乾地
- (6) 氷雪
- (7) 氷

그림 7 도



이를 위 ②式에 代入하면

$$E_T = 1.1 \div 0.33 \times 0.113 \div 0.37 \times 0.043 = 0.0438 (\text{mV/m})$$

$$= 32.8 (\text{dB})$$

가 되고

또 이를 500 KW 출력으로 환산하면 65.8 dB가 된다.

여기서 구하고자하는 전계강도는

$$E = \frac{1}{2} (E_R + E_T) \text{ 이므로}$$

$$= \frac{1}{2} (66.1 + 65.8)$$

$$= 65.95 (\text{dB}) \text{ 가 된다.}$$

다. 須田方法

혼합로에서 A, D간의 등가도전율 (等価導電率) 은

$$\sigma_{AD} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{\frac{d_1}{\sigma_1} + \frac{d_2}{\sigma_2} + \frac{d_3}{\sigma_3}} \quad \text{에서}$$

$$= \frac{84 + 21.6 + 33.6}{\frac{84}{3} + \frac{21.6}{1} + \frac{33.6}{3}}$$

$$= \frac{139.2}{182.4} = 2.3 (\text{mV/m}) \text{ 가 된다.}$$

이를 F.C.C. 函表에서 710 KHz, 2.3 mV/m, 90 mile 地点의 電界強度는 約 0.033 mV/m 이므로 이를 dB 로 換算하면 約 30.4 dB 가 되며

이를 500 KW 出力으로 換算하면 63.4 dB 가 된다.

라. 以上과 같이 理論式에 依한 63.4 dB 는 実測值 63.3 dB 와 近似함을 알 수 있다. 理論值 對 実測值의 對比 例를 들면 다음과 같다.

【 표 2 】

单位 : dB rel. 1 $\mu\text{V/m}$

区 分	millington 法	須 田 法	実 測 值	備 考
서울 → 大田	65.95	63.4	63.4	710KHz 500 Kw
光州 → 礼山	54.65	55.3	53.9	750KHz 50 Kw
大邱 → 大田	59.90	54.8	55.4	740KHz 100 Kw

以上으로 3 가지 方法間은 近似하게 一致함을 알 수 있다.

5. 調 査 結 果 및 考 察

많은 실측치를 기초로 理論解析을 加하여 等値大地 導電率을 유도하는 과정에서 다음과 같은 고찰을 할 수 있었다.

가. 平地는 海拔高가 다르더라도 그 大地가 平坦한 地域이면 大地 導電率은 同一視할 수 있었다.

여기서 平地라함은 그 地域이 비교적 平坦한 地域을 말한다.

나. 丘陵이라 하더라도 경사가 가파르지 않고 넓은 地域의 大地 導電率과 거의 같지만, 보통 丘陵은 平地의 大地 導電率보다 나쁘며 森林地帶는 그 陵線이 느슨하면 丘陵의 大地 導電率과 대체로 비슷하다.

다. 地勢의 굴곡이 심한 丘陵, 산악지대라 할지라도 송수신점間이 비교적 平坦한 地域인 경우에는 이동로의 大地導電率은 平地 또는 丘陵의 大地 도전율과 같은 정도로 보아도 무방하다.

단, 산악의 기복이 심한 경우에는 예상외로 그의 도전율은 나쁜 것으로 추정된다.

마. 송수신지점간의 거리가 대략 10 Km 이내에서는 분포도(分布圖) 이용이 적당치 않을 때가 있다.

10 Km 이내의 경우 분포도상에는 전파통로가 균일대지로 되어

있어도 실제에는 불균일대지로 되어 있는 경우가 많기 때문이며
이때는 7도를 참고하는 것이 좋다.

또 5 Km 이내에서는 회절파(回折波), 직접파(直接波)에 의한
전계의 오차를 일으킬 수도 있다.

6 . 結 論

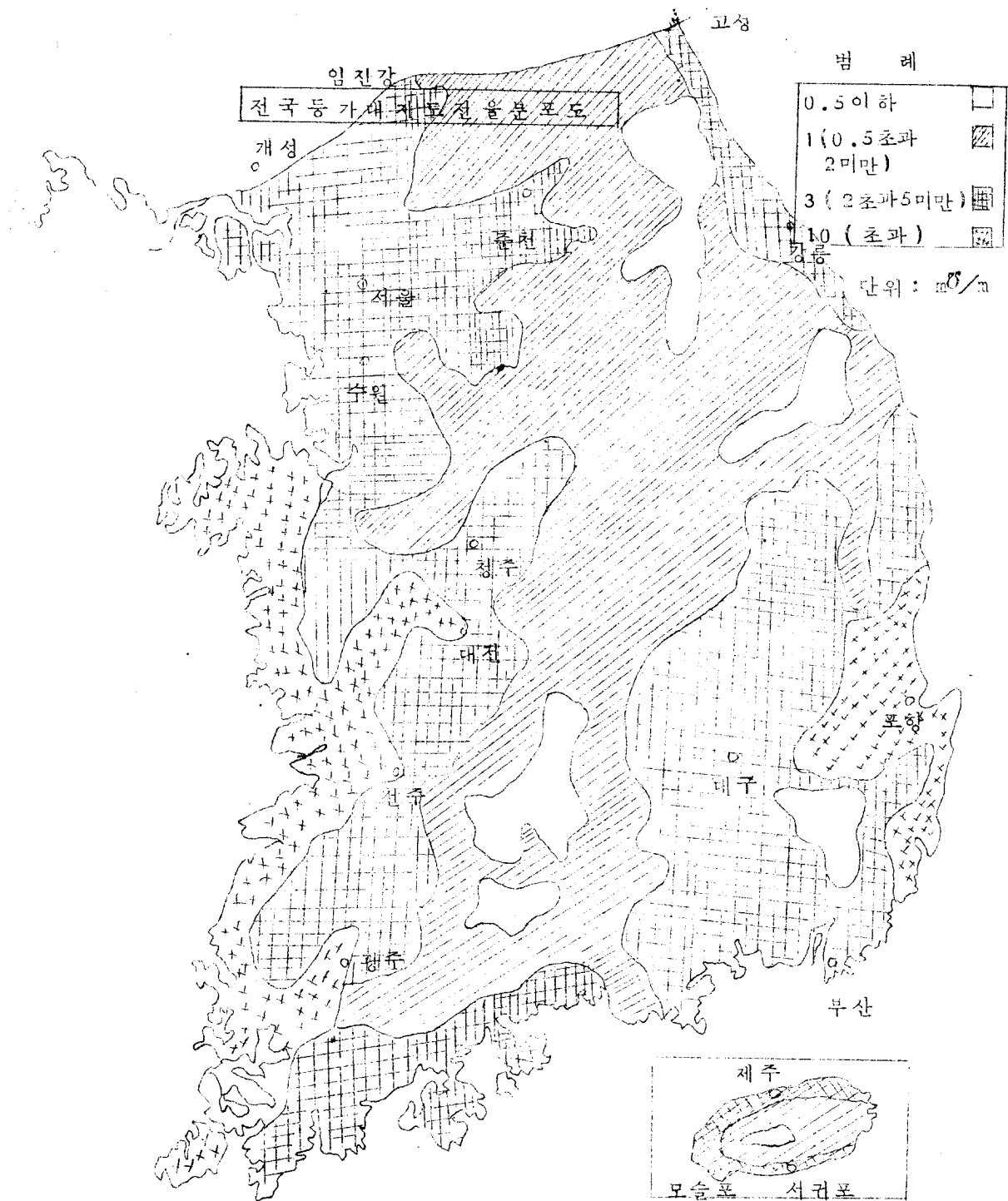
이상과 같은 調査結果에서 平野地帶, 丘陵地帶, 山岳地帶 順으로 大地電率은 점차 낮은 數値로 나타나고 있으나 地域에 따라서는 반드시 그렇치 않는 곳도 있음을 알 수 있다.

浦項을 중심으로한 동해안 地域에 대해서는 측정당부자도 特別한 관심을 가지고 측정을 하였으나 지형적인 조건에 비해 도전을 비교적 좋음을 알 수 있었다.

이 지역에 대해서는 좀 더 연구를 계속해볼 필요가 있는 것으로 생각된다.

또 우리나라 지역의 경우 눈이 많은 지역은 대체적으로 도전을 이 좋았으며 이는 大地에 습기가 많은 원인으로 추정된다.

끝으로 본 大地電率은 방송국의 씨-비스 에티아, 무선국 치국 계획등에 많은 참고가 될줄 믿는다.



参 考 文 献

1. XII th C.C.I.R Plenary Assembly New Delhi 1970.

Volume II

2. 無線工学 第三号 才-ム社

3. NHK 放送技術 昭和 28 年 5 月

4. 電気通信学会雑誌 第 50 卷 2 号

5. 電波研究所 報告書 第 1, 5, 8, 10, 14, 21, 25 号

6. F . C . C . Rules and Regulations Volume III