

제주지역에서 무선호출 주파수의 전파 특성

이청민*, 강부식*, 장재성**

The Propagation Characteristics of Mobile Radio Frequency in Cheju

Chung-min Lee*, Boo-sig Kang*, Jae-seong Chang**

ABSTRACT

Received field strength in land mobile-radio communication must consider characteristics besides. This paper analysis propagation characteristics to multipath and then compute theoretical value of field strength which vectorial compose and compared with measured value. Seom base station is to unity south area of Cheju by single propagation area. But Gunwelak base station cause a weak and impossible received field area to increase obstruction. In order to replace it, we necessary technique study of new mobile communication propagation environment. For take a accuracy received field strength, the first thing field strength of a point must measure many times and calculate mean value of it. The second we must suggest an analytical modeling to compose to these measured values.

I. 서 론

육상이동무선통신에서 수신점에 도달하는 전계강도는 전파경로에 따라 그 값이 달라진다. 이러한 현상은 일차적으로는 송수신간 거리와 안테나 특

성, 사용주파수에 의해 영향을 받지만 그의 불규칙한 지형의 형태 및 주위 환경 조건에 의해서도 수신전계강도의 변화가 발생한다.

전자파의 기본적 특성이 에너지가 동일 위상의 표면에 수직 또는 수평 방향으로 전파하는 것이므

* 대학원 통신공학과

** 공과대학 통신공학과

로 무선통신은 지표면이 평면이고 크기면에서 무한하다면 가시거리내에서 전파된다. 또한 에너지는 반사 및 굴절과 회절에 의해 지평선 너머에 까지 전파된다. 반사와 굴절은 지표면에서 전파의 급작스런 또는 점진적인 변화에 기인하며 회절은 전파 거리가 유한하기 때문에 야기되는 가장자리(edge) 효과와 관련이 있다.

다중경로전파에서의 전파특성은 자유공간 전파특성과는 달리 환경이나 지형에 의해 신호의 감쇠를 받고 반사 및 굴절과 회절되어 전파하기 때문에 경로차에 의한 다중경로 전파손실이 발생한다. 이와 같은 전파손실은 신호의 품질을 떨어뜨리는 요인이 된다. 최적의 무선통신 시스템을 구축하기 위해서는 이동통신 환경에 적합한 모델링과 이에 따른 해석이 필요하다. 수신된 전파들은 다중경로에 의한 전파특성을 포함하며 각기 다른 시간 지연과 진폭, 위상변화를 가지므로 최종 수신 전계강도는 수신된 전파들을 수신지점에서 벡터적으로 합성해야 한다.

다중경로에 의한 전계강도를 구하기 위한 전파경로는 크게 지표파, 직접파, 회절파, 반사파로 나누어 볼 수 있으며 지표파의 감쇠와 전계강도는 안테나의 최소 실효 높이 개념을 도입하여 그 적용여부를 판단하여 CCIR⁽¹⁾과 Norton과 Van der pol⁽²⁾ 방법들에 의해 구한다. 회절파에 의한 손실은 장애물을 쐐기형(kinfe-edge)으로 간주하여, 단일 장애물인 경우는 Deygout방법⁽³⁾을 다중 장애물인 경우 Picquenard방법⁽⁴⁾을 사용하여 구한다.

본 논문에서는 평평한 대지와 경사진 대지에서 단일 대지반사파 및 다중 대지반사파에 의한 전파경로의 물리적 특성을 해석하고 전파경로상에 1개 이상의 장애물이 존재할 경우 이 장애물에 의한 회절 및 반사의 영향을 고려하고 다중경로전파의 전계강도를 보다 많은 수정요소를 적용하여 이론적

으로 예측한 후, 세오름을 기지국으로 하는 제주도 서부지역, 건월악을 기지국으로 하는 제주도 동부지역에 대한 실제 측정치와 비교, 분석한다.

II. 대지반사파의 전파

대지반사파는 대지에 한번 또는 그 이상 반사되어 수신되는 전파이다. 전파가 대지에 복사되는 경우 대지의 전기적 상수는 지역에 따라 다르고 완전 도체가 아니므로 완전 반사를 하지 못하고 일부는 대지로 침투하여 열 에너지로 소모된다. 따라서 대지 조건을 고려하여 전계 강도를 산출해야 보다 정확한 값을 유도할 수 있다.

II-1. 평평한 지형에서의 반사

송신점과 수신점이 거리 d 만큼 떨어져 있고 두 지점간의 지형이 평평하다고 가정하면 수신점에서는 세가지 파, 즉 직접파, 반사파 및 지표파를 수신할 수 있다. 이 때 수신점의 전력⁽⁵⁾은

$$P_r = P_t g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 |1 + \rho e^{i\Delta} + \eta|^2 \quad (1)$$

로 되고, 여기서 P_t (Watt)는 안테나 수신 전력이고 g_1, g_2 는 송수신 안테나 이득, h_1, h_2 (m)는 송수신 안테나 높이이다. 또한 λ (m)는 파장, ρ 는 대지반사 계수, η 는 이동통신 환경에서 무시할 수 있는 지표파의 항이고, Δ 는 직접파와 반사파의 위상차($4\pi h_1 h_2 / \lambda d$)이다.

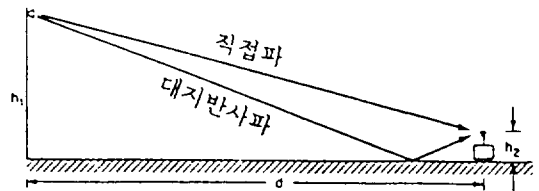


그림 1. 대지반사파

그림 1은 평평한 지형에서의 일반적인 대지반사파를 나타내며, 이동통신에서 입사각 θ 가 매우 작고 $\lambda d \gg h_1, h_2$ 이므로 $\Delta \ll 1$ 이 된다. 만약 $\rho \cong -1$ 라 가정하면 식 (1)은 다음과 같이 근사화 된다.

$$P_r \cong P_t g_1 g_2 \left(\frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2 \quad (2)$$

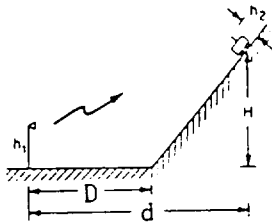
이 식을 dBm으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$P_r(\text{dBm}) \cong 10 \log_{10} (P_t g_1 g_2) - 40 \log d$$

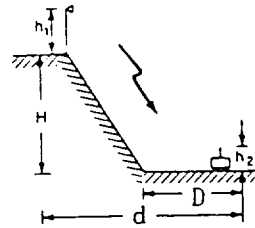
$$+ 20 \log h_1 + 20 \log h_2 \quad (3)$$

II-2. 경사진 지형에서의 반사

실제 전파 지형이 항상 평평한 것만은 아니므로 다른 전파경로를 고려해야 한다. 평평한 지형과 마찬가지로 전파거리를 d 라 하고 송수신간 언덕의 경사 방향에 따라 그림 2와 같이 두 가지 형태⁽⁶⁾를 고려한다.



(a) 형태 A



(b) 형태 B

- (a) 형태 A : 수신점 안테나가 송신점 보다 더 높은 경사면에 있을 때
- (b) 형태 B : 수신점 안테나가 송신점 보다 낮은 평평한 대지 위에 있을 때

그림 2. 평평하지 않은 지형에서의 두 가지 반사 형태

그림 2의 D 는 평평한 대지의 길이, H 는 평평한 대지와 수신점간 높이 차이이다. 형태 A와 B는 언덕의 경사면에서 항상 반사가 일어난다. Snell의 법칙에 의해 반사점은 형태 A의 수신점 또는 형태 B의 송신점 안테나가 위치하는 언덕의 꼭대기에 근접한다. 다중반사파는 송수신점간의 평평한 대지의 길이나 안테나 높이에 따라 존재할 수도 있고 존재하지 않을 수도 있다. 또 안테나 높이와 실효 안테나 높이는 구별되어야 한다. h_1 과 h_2 는 대지에 대한 실제 높이이고, h_1' , h_2' 은 반사점에 의해 확장

된 대지 평면에서 실효 안테나 높이⁽⁷⁾이다.

II-3. 두 개의 반사파에서의 수신전력

그림 3과 같이 반사파가 2개 존재하는 경우 역시 D 는 형태에 따라 두 가지로 나타낼 수 있다.

$$D > D_1 = \frac{dh_1}{h_1 + h_2 + H} \quad (\text{형태 A})$$

$$D > D_1 = \frac{dh_2}{h_1 + h_2 + H} \quad (\text{형태 B}) \quad (4)$$

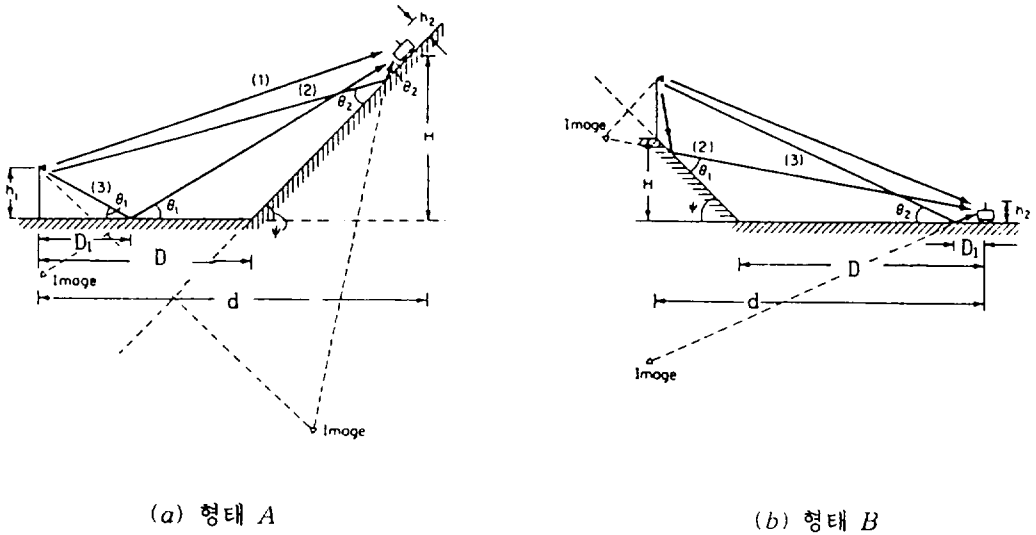


그림 3. 조건 2 : 두개의 반사파

두개의 반사파가 존재하므로 수신전력을 구하기 위해 식 (1)를 다시 쓰면

$$P_r = P_t g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 |1 + \rho_1 e^{i\Delta_1} + \rho_2 e^{i\Delta_2} + \dots|^2 \quad (5)$$

이 되고, ρ_1, ρ_2 는 입사각에 따른 대지반사 계수이고 Δ_1, Δ_2 는 송신 안테나에서 수신 안테나까지 전파하는 반사파와 직접파간의 위상차이다. 또한 $d \gg h_1, (h_2 + H)$ 이고 반사각이 매우 작으면 위상차 Δ_1 과 Δ_2 역시 작아진다. 이 때 반사 계수 ρ_1, ρ_2 를 -1이라 가정하면 다음 식이 성립된다.

$$\begin{aligned} \sin \Delta_i &\cong \Delta_i \\ \cos \Delta_i &\cong 1 - \frac{\Delta_i^2}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $i=1, 2$ 이다. 식 (5)의 우변에서 절댓값으로 표현된 항은 다음과 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} |1 - e^{i\Delta_1} - e^{i\Delta_2}|^2 &= 3 + 2\cos(\Delta_1 - \Delta_2) \\ &- 2(\cos\Delta_1 - \cos\Delta_2) \cong 1 + 2\Delta_1\Delta_2 \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 식 (1)과 (2)에서 수신전력은

$$\begin{aligned} P_r &= P_t g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 (1 + 2\Delta_1\Delta_2) \\ &\cong P_t g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

이다. 2개의 반사파가 존재할 때 경사진 곳에서 수신전력을 구하는 일반적인 식은

$$P_r = P_0 |\alpha_0 - \alpha_1 e^{i\Delta_1} - \alpha_2 e^{i\Delta_2}|^2 \quad (9)$$

가 된다. 여기서 P_0 는 자유공간 전송전력으로

$$P_0 = P_t g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (10)$$

이고, α_1, α_2 및 α_0 는 자유공간 감쇠정수이다. α_0 는 직접파의 감쇠정수, α_1 은 수신점과 가까운 곳의 반사에 의한 감쇠 및 α_2 는 멀리 떨어진 곳의 반사파에 의한 감쇠를 나타내므로 α_1 과 α_2 ⁽⁸⁾는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\alpha_1 > \alpha_2$$

이 조건을 사용하면 $\alpha_0 \equiv \alpha_1$ 이 되어 식 (9)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$P_r \equiv \alpha_0 P_0 |1 - e^{-\Delta}|^2 \equiv \alpha_0 P_0 g_1 g_2 \left(\frac{h_1' h_2'}{d^2} \right)^2 \quad (11)$$

이 식은 식 (1)과 동일한 결과가 되어 2개의 반사파가 존재하더라도 수신점과 가까운 대지 반사파만을 고려하더라도 큰 차이가 없음을 보인다.

III. 구형지구와 장애물에 의한 회절

무선통신은 회절현상에 의해 지구주위를 전파한다. 회절운동은 파 운동의 기본 속성이고 광학적 측면으로는 더 정확한 광학적 파를 얻기 위해서 기하광학(Geometrical optics) 방법이 도입되어야 한다.

곡률을 갖는 지구에서의 회절 현상⁽⁹⁾은 가시거리의 전파를 가능케 한다. 장애물에 의해 야기된 손실은 거리나 주파수가 증가할수록 손실의 정도도 커지며 송수신 안테나 높이에는 반비례적으로 영향을 미친다. 지구곡률에 의한 손실은 monogram⁽¹⁰⁾을 사용해 구하고, 이 손실을 평면지구 전송손실에 더함으로써 전파의 기본손실을 계산할 수 있다.

지구표면을 장애물이 없는 구형이라 가정하여 전계강도를 예측하면 결과는 지구표면과 대기에만 의존한다. 언덕, 나무, 빌딩에 의해 야기된 전계강도의 변화를 정확히 계산해 내기란 매우 복잡한 문제이므로 이 장애물들을 췌기형으로 간주하여 계산한다. 췌기형 장애물에 의한 파의 회절은 파의 차폐손실(shadow loss)을 가져온다. 구형지구에서 전파될 때, 주위의 췌기형 장애물에 의해 예측된 손

실에서 큰 차이는 회절손실이 장애물에 영향을 받음을 의미한다.

그림 4(a)에서 보이는 것처럼 송수신점간에 두 개 이상의 췌기형 장애물이 존재할 경우 정확한 전계강도를 해석하는 것은 매우 복잡하다. 송수신간 단일 장애물이 있는 경우 회절과 반사에 의한 영향을 모두 고려하면 그림 4(b)와 같이 네 가지 경로를 생각해 볼 수 있다. 즉 MOQ, MOQ', M' OQ, M' OQ'로 각 전파경로는 그림 4(a)에서 설명된 단일 전파경로 형태와 유사하다. 네 가지 전파경로에 의한 전계강도의 세기는 크기와 위상을 포함한 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\left| \frac{E}{E_0} \right| = S_1 \left[1 - \frac{S_2}{S_1} e^{-j(\Delta+b)} - \frac{S_3}{S_1} e^{-j(\Delta+c)} + \frac{S_4}{S_1} e^{-j(b+c)} \right] \quad (12)$$

여기서 E는 수신 전계강도, E₀는 자유공간 전계강도이다. S₁, S₂, S₃, S₄는 네 가지 전파경로 MOQ, MOQ', M' OQ, M' OQ'에 대한 각각의 차폐손실의 크기이다. 또한 $\Delta = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda(d_1 + d_2)}$ 이고

$$b = \frac{4\pi h_2 c_s}{\lambda d_2}, \quad c = \frac{4\pi h_1 c_s}{\lambda d_1} \text{ 이다.}$$

식 (16)은 반사계수가 -1이고 실제 안테나 높이가 최소실효 안테나 높이보다 큰 경우에 적합하다. 이때 지표면에 의한 영향을 무시하여 안테나 높이가 0에 근접하면 그 정확성은 떨어진다. H가 h₁과 h₂보다 클 경우 S₁=S₂=S₃=S₄=S가 되어 식 (12)는 다음 식으로 근사화 된다.

$$\left| \frac{E}{E_0} \right| = 2(2S) \left| \sin \frac{\Delta}{2} \cos \frac{b-c}{2} + j \left(\sin^2 \frac{b+c}{4} - \sin^2 \frac{b-c}{4} \right) e^{j \frac{\Delta}{2}} \right| \quad (13)$$

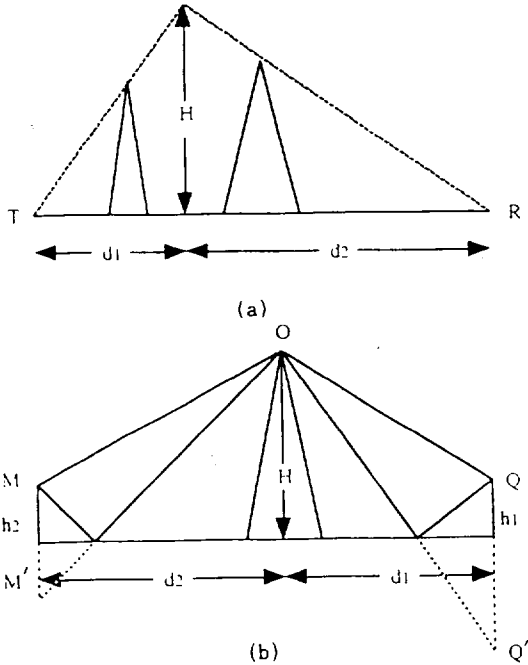


그림 4. 회절현상

여기서 S는 네가지 전파경로의 평균 차폐손실이다. 또 H가 작은 값이면 식 (13)은 식 (14)로 근사화시킬 수 있다.

$$\left| \frac{E}{E_0} \right| = 2(2S) \sin \frac{\Delta}{2} \quad (14)$$

평면 지구에서 전계강도는 $2E_0 \sin \frac{\Delta}{2}$ 이고 장애물의 영향은 첫번째 Fresnel zone에 의한 손실을 더한다.

IV. 계산결과 및 고찰

II, III절에 설명한 이론적 방법을 사용하여 제주도 무선호출 시스템의 성능개선을 위한 전계강도

를 해석했다. 전계강도 계산에 필요한 기준들은 다음과 같다.

가. 송신소 위치

- ① 제주도 서부지역에 대해 전파방사 효율이 좋은 1160m 고지의 세오름
- ② 제주도 동부지역에 대해 전파방사 효율이 좋은 700m 고지의 견월악

나. 공중선 : 5dB 이득을 갖는 수평편파 성분의 전방향 Collinear 안테나

다. 사용주파수 : 322.05MHz

라. 송신전력 : 이동통신용 70Watt

마. 비 고 : 송수신점 높이 및 거리 등을 알기 위해 1 : 78,500 지도 사용

1. 세오름에서의 전계강도 계산

CW 방향으로 제주도 서부 지역을 지도상에서 지형의 특성을 고려하여 전파경로상에 영향을 주는 장애물을 파악하여 직선경로를 14등분 하였다. 그림 5는 전파경로상의 장애물을 표시한 것이고 표 1은 수신위치를 나타낸 것이다.

그림 6은 수신위치에 따른 전계강도 측정치와 이론치를 나타낸 것이고, 그림 7은 제주도 지형에 표시한 것이다.

그림 6과 7에서 보듯이 세오름 기지국은 송신점의 높이가 높으며, 전파경로상 장애물 수도 많지 않다. 또한 인구가 밀집된 해안지대 근처에는 지형상의 장애물은 거의 없다. 다만 전파원 특성상 장애가 없음에도 서귀포시 하원동에서 전계강도가 떨어진다. 그 이유는 지도상에서는 정확히 나타나지 않지만 하원동, 회수동, 대포동이 주위지형보다 낮은 분지이므로 전계강도 값이 떨어진 것이라 사료된다. 이 지역은 수신불가능한 지역은 아니고 약전 지역이다.

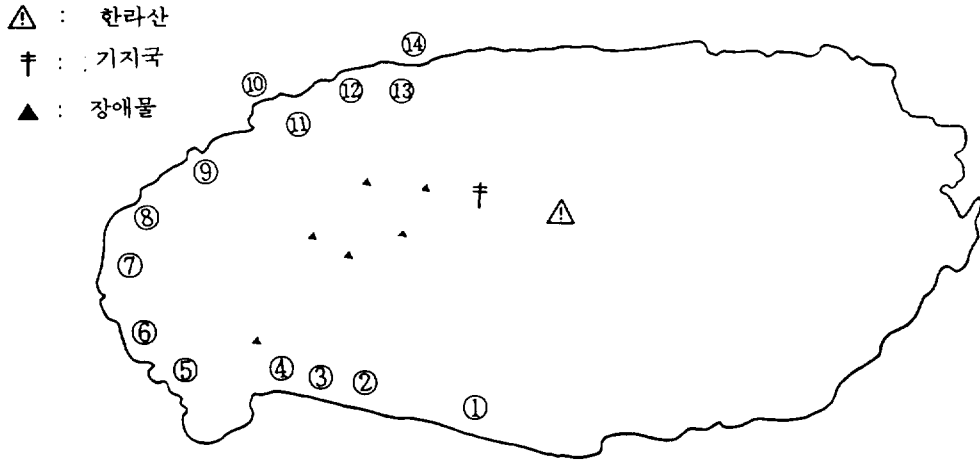


그림 5. 세오름 기지국을 중심으로 한 서부 지역의 지형

표 1. 수신점 위치

송신점	세 오 림						
수신점 번호	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
수신점 위치	하원동	중문	대평리	화순	대정읍	하동	고산
수신점 번호	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
수신점 위치	한경면	한림	곽지	애월	신업	외도	이호

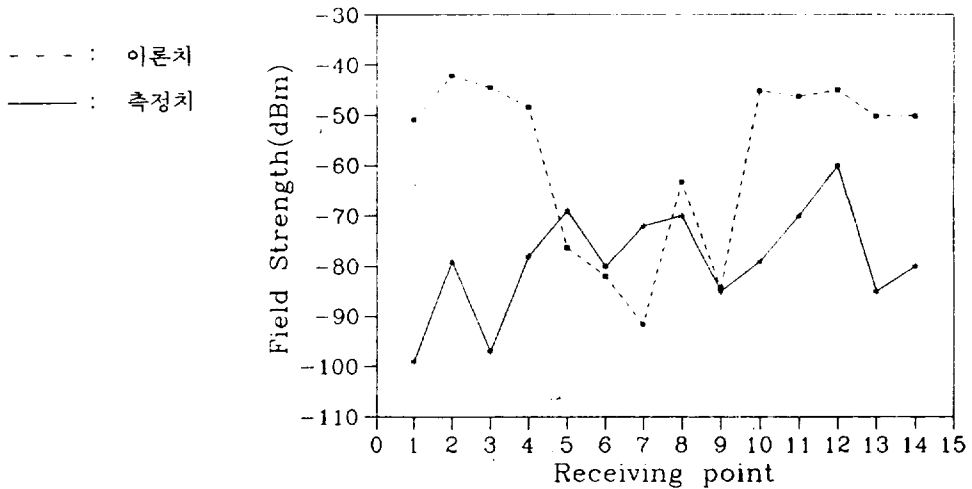


그림 6. 수신위치별 전계강도 세기

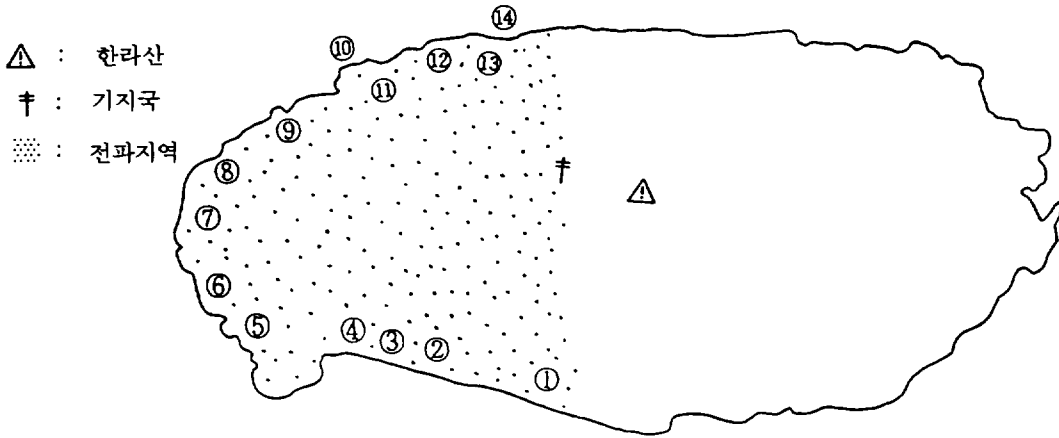


그림 7. 제주도 지형상의 전계강도

2. 견월악에서의 전계강도 계산

CW 방향으로 제주도 동부 지역에 대하여 전파 특성을 고려하여 세오름 기지국에서의 마찬가지로

로 13개 지역으로 나누어 계산하였다. 수신점 위치는 그림 8과 표 2와 같다.

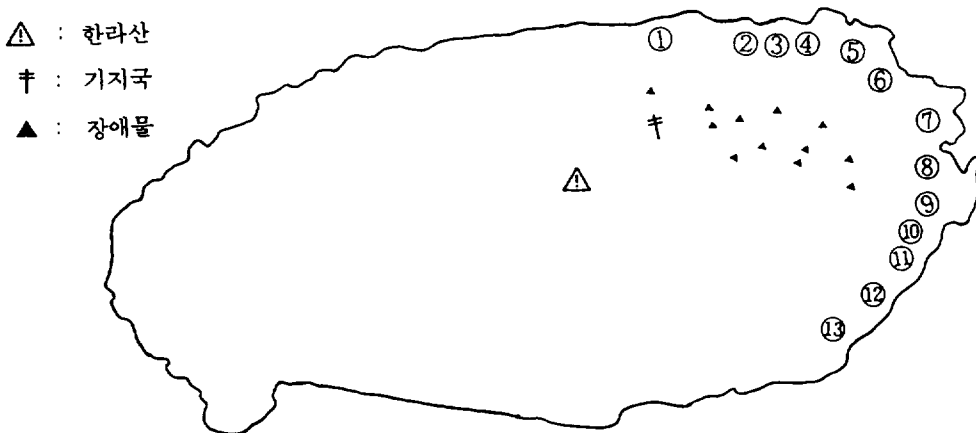


그림 8. 견월악 기지국을 중심으로 한 동부 지역의 지형

표 2. 수신점 위치

송신점	견월악						
수신점 번호	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
수신점 위치	화북	조천	합덕	동북	월정	한동	구좌
수신점 번호	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	
수신점 위치	종달	시흥	산양	신산	신평	표선	

그림 9는 수신위치에 따른 전계강도 측정치와 이론치를 나타낸 것이고, 그림 10은 제주도 지형에 표시한 것이다.

견월악을 기지국으로 한 동부지역은 송신점 높이가 700m이고 구좌, 시흥, 산양, 신산리의 전파경로상에는 많은 장애물이 존재한다. 따라서 이 장애

물에 의한 회절손실로 전계강도 값이 떨어진다. 이론상으로 특히 전파경로상에 장애물이 많은 한동 지역의 전계강도가 현저히 떨어지나, 실제 측정된 결과 수신불능 지역은 종달, 시흥, 산양지역이다.

- - - : 이론치
 — : 측정치

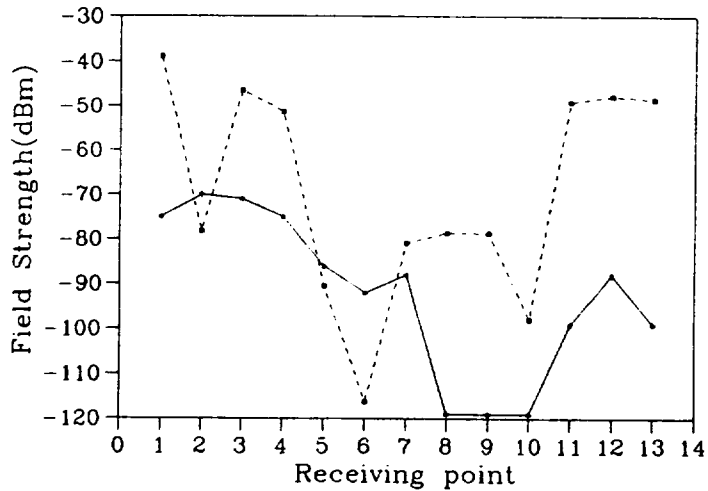


그림 9. 수신위치별 전계강도 세기

- △ : 한라산 † : 기지국
- ⋯ : 전파지역
- ▨ : 수신 불능지역

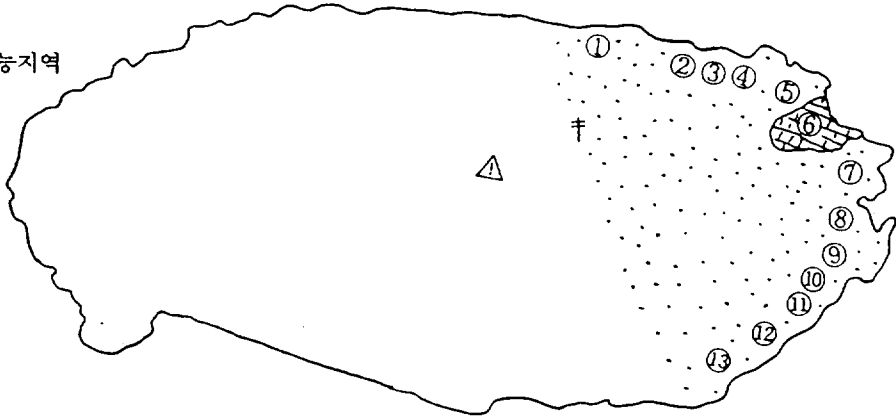


그림 10. 제주도 지형상의 전계강도

V. 결 론

본 논문은 제주도에서 평균 전계강도를 계산하는 수식을 제시하여 세오름과 전월악을 기지국으로 하는 제주도 서부 및 동부지역에 대한 전계강도를 계산했다. 전계강도는 일차적으로 송신 전파원의 특성에 영향을 받지만 그의 전파경로상에 존재하는 불규칙한 장애물에 의한 회절 및 반사로 인해 변화를 알 수 있다.

제주도의 지형적 특성상 한라산이 중앙부에 있으므로 해서 기지국에서 원형적인 전파구역을 창출해 내기는 어렵다. 따라서 전파 방사 효율이 좋은 세오름을 기지국으로 선택한 경우 제주도 서부지역 즉 제주시, 북제주군, 남제주군, 서귀포시 등을 모두 전파가능 지역으로 묶을 수 있다. 또한 전월악을 기지국으로 한 경우 화북에서 신흥리까지 전파가능 지역으로 구분할 수 있다. 수신불능지역인

종달, 시흥, 산양지역을 보완하기 위해 막대한 비용이 드는 매오름 기지국을 선정한다는 것은 전파 불량지역을 해소한다는 이동통신 서비스 차원에서는 타당할지 모르나 설치비용과 유지보수 면을 감안한다면 다른 방법을 모색해야 한다. 따라서 지리적, 지형적, 환경적 요건으로 일부 특정지역의 수신상태가 나빠지는 것을 극복하기 위해 간이 중계기의 설치 등 새로운 이동통신 기술개발의 필요성을 갖는다.

향후 연구 방향은 기후 조건과 연계된 평균 전계강도를 예측하고 빌딩과 같은 인공구조물과 가로수, 차량 등에 의한 전계강도 변화가 심한 도심지에 대한 전계강도의 예측이 필요하고 또한 다수의 반복 측정을 통해 평균 전계강도 측정치를 Okmula-Hatta 방법에 의해 구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] CCIR Rep. 715-1.
- [2] 이기학, 전자파 및 안테나 공학, 광문당, 1993, 5장.
- [3] Deygout J. "Multiple knife-edge diffraction of microwaves.", IEEE Trans. Vol. AP-14, pp.480~489, 1966.
- [4] Picquenard A., Radio Wave Propagation, Wiley, New York, 1974.
- [5] Kenneth Bullington, "Radio propagation for vehicular communications." IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-26, pp.295~308, Nov. 1977.
- [6] William C. Y. Lee, Mobile Communication Engineering, McGraw-Hill Book Co., 1982, Chap. 4.
- [7] Yoshihisa Okumura, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service", Review Elec. Tokyo Commun. Lab., Vol.16, pp.825~873, Sept. 1968.
- [8] K.K.Kelly. II, "Flat suburban area propagation at 820MHz." IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. VT-27, pp.198~204, Nov. 1978.
- [9] C.W.Burrows and M.C.Gray, "The effect of the earth's curvature on ground wave propagation," Proc. I.R.E., Vol. 29, pp.16~24, Jan. 1941.
- [10] Shigekaze Shibuya, A Basic Atlas of Radio-Wave Propagation, Wiley, 1987, Chap. 3.