

중계도(ICO) 통신 위성의 전파 전달 특성 분석

The Characteristic Analysis of Wave Propagation for ICO Communication Satellite

박대성* · 이준호** · 최재훈*

Dae-Sung Park* · Joon-Ho Lee** · Jae-Hoon Choi*

요 약

최근 들어 활발하게 연구되고 있는 저궤도 위성 이동 통신 시스템은 서비스 지역 내의 전파 수신 환경이 통신 품질을 좌우하므로, 시뮬레이션을 통해 수신 지역의 전파 환경을 분석·예측하는 것이 무엇보다도 중요하다. 본 논문에서는 파추적법을 이용하여 위성 서비스 지역내의 전파 수신 환경을 예측하였다. 먼저, 연구에 필요한 가상 공간 및 구조물을 설정한 뒤 위성의 방위각 및 양각을 변화시켜 가면서 각 지점에서의 수신 전력 및 지연 프로파일을 파추적법을 이용한 시뮬레이션을 통하여 구하였다. 본 논문의 목적은 2 GHz 주파수대역을 갖는 위성 통신 망에서의 전파 전달 특성을 해석하고 이해하는데에 있다. 이를 통해 위성 이동 통신에서의 송·수신 시스템 설계와 위성망 구축에 도움을 줄 수 있을 것이다.

Abstract

It is very important to analyze and predict the propagation characteristics of LEO communication satellite at the service area using computer simulation. In this paper, the propagation characteristics of a satellite communication system are analyzed using ray tracing technique. We predicted the receiving environment and obtain the delay profile and total received power at each position using ray tracing method by changing both the azimuth and elevation angles after establishing the imaginary receiving space. The final goal of this paper is to analyze and understand the wave propagation characteristics of the satellite communication network about 2 GHz frequency band. The prediction method presented in this paper may help us to design a satellite transceiver system and to construct a satellite communication network.

I. 서 론

전파의 특성을 나타내는 전파 전파 채널 모델링 (wave propagation channel modeling)은 무선통

신 시스템의 설계에 있어서 가장 중요하고 기초적인 작업 중 하나이다. 채널을 모델링하는 방법으로는 통계적인 방법^[1]과 파추적법^[2]에 기초한 방법이 있는데, 통계적인 방법은 셀의 크기가 상대적으로 큰 셀룰라 시스템에서 주로 많이 이용되어 온 방법

「본 논문은 '97년도 한국통신 정보통신 기초연구과제 지원에 의해 일부 수행되었음」

* 한양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Hanyang Univ.)

** 한국통신위성사업본부(Satellite Business Group, Korea Telecom)

· 논문 번호 : 971217-088

· 수정완료일자 : 1998년 1월 20일

으로서 수신지역의 환경에 따라 실험적인 수정 파라미터를 이용하거나 이론적으로 해석이 용이한 구조물들을 가정해 구한 채널의 특성을 이용한다. 그 다음으로 파추적법은 송신기에서 수신기로 전달되는 개개의 전파를 직접파와 반사파, 회절파로 나누어 각각의 위상과 전계의 세기 등을 분석하는 방법이다. 셀룰라 시스템에서는 수신 셀의 크기가 수 km의 반경을 갖게 되므로 송신기에서 수신기까지 회절 및 반사, 산란 등에 의해 수십에서 수백까지의 차수를 갖는 전파의 경로가 발생한다^[3]. 이 때에는 전파 경로가 너무 복잡하여 파추적법에 의한 각각의 전파 경로 계산이 불가능해진다. 그러나 이보다 작은 수신범위를 갖는 마이크로나 피코 셀 단위에서는 전파의 경로가 비교적 간단해지므로 전파의 전파(propagation) 환경을 파추적법에 의해 비교적 정확히 알아낼 수 있다. 이러한 전파 환경의 정확한 분석은 시스템 설계자에게 수신 지역에서의 시스템 성능 및 수신 지역의 전파환경을 예측하는데 도움을 준다.

본 논문에서는 위성의 움직임에 대한 기본적인 이론과 수신점까지 일어나는 감쇠를 고려하여, 분석하고자 하는 지역을 기하학적으로 모델링한 후 균일 기하학적 회절이론^{[4]~[8]}을 기초로 한 파추적법을 이용하여 전파 전달 시뮬레이션을 통해 다중 경로를 수반하는 모든 파를 종합·계산한 뒤 임의의 수신점에서의 전계강도, 지연 프로파일(delay profile) 등을 계산하고 이를 고찰하였다. 이를 위해 제2장에서는 위성의 궤도 시스템과 지상에 도달할 때까지의 전파의 감쇠특성, 제3장에서는 가상환경을 모델링 하였고, 제4장에서는 시뮬레이션을 통한 수치해석 결과를 제시하였다.

II. 위성의 궤도 시스템 및 감쇠 파라미터

2-1 위성의 위치·궤도

수신자에게 있어서 위성의 위치는 매우 중요하다. 위성의 위치는 수신 지역에서 전파의 전력 및

수신 신호의 품질 등을 결정하는 가장 중요한 요소이기 때문이다. 파추적법을 이용한 전파 환경 모델링에서 송신점인 위성의 위치를 파악하고 전파의 진행방향을 결정하는 것은 필수적인 요소이다.

그림 1. (a)에서 볼 수 있듯이 지구의 적도와 위성의 궤도간에 기울기가 생기면 이를 경사각(inclination angle)이라 하고, 궤도의 정사영과 적도 간에 만나는 점을 상승점(ascending node)이라 한다. 일반적으로 위성의 위치는 지구의 지표에 대해 투영하여 생긴 지점을 좌표상의 위성의 위치로 한다.

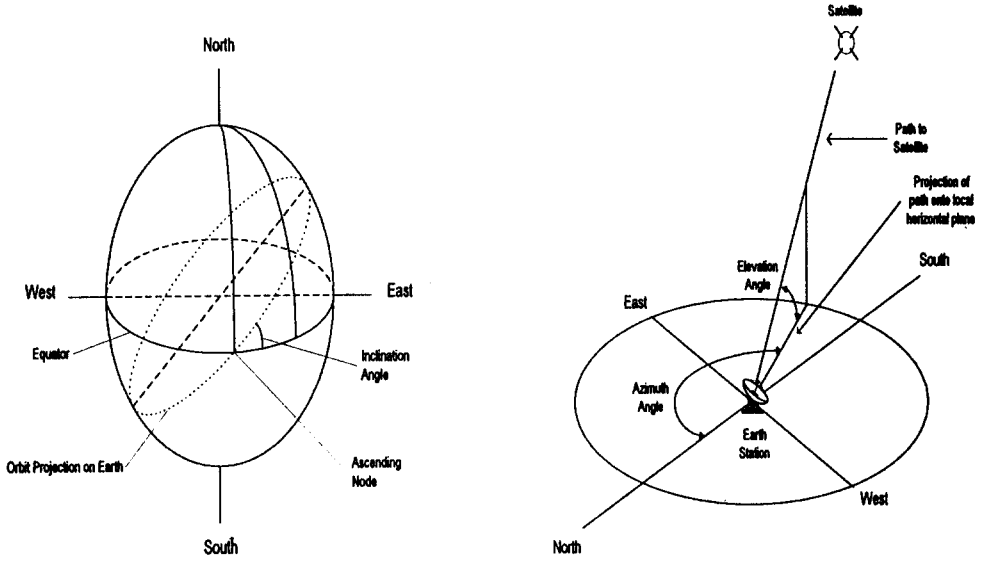
위성의 서비스를 받는 수신 지역에서는 지상에서 바라본 위성의 위치가 가장 중요하다. 이는 송신점을 결정하므로 궤도상 위성의 절대 위치와 함께 각기 다른 위도와 경도를 가진 수신 지역에 따라 상대적으로 달라지는 위성의 위치도 계산하여야 한다. 위성의 상대적 위치를 결정하는 요소에는 방위각(azimuth angle)과 양각(elevation angle)이 있다. 그림 1. (b)에서 볼 수 있듯이 방위각은 진북(true north)에서부터 위성 투영 경로까지 시계방향으로 측정 되어진 각도이고, 양각은 지구국의 지표면과 위성의 경로가 수직으로 이루는 각도를 나타낸다.

2-2 감쇠 파라미터

위성의 위치가 구해졌으면 위성으로부터 수신 지역까지 파가 전달되는 과정에서 어느 정도의 감쇠가 일어나는지를 계산하여야 전체의 수신 전력을 구할 수 있다. 송신기부터 수신기까지 파가 전파될 때의 일반적인 경로 감쇠식(path loss equation)은 식 (1)과 같다^[3].

$$C_p(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dB}) + G_R(\text{dB}) - \alpha(\text{dB}) - \text{FSPL}(\text{dB}) \quad (1)$$

여기서 C_p 는 수신전력을 나타내고, P_t 는 송신 전력, G_t 는 송신 안테나 이득, G_R 은 수신안테나 이



(a) 정지궤도와 경사각을 포함하는 궤도를 갖는 위성의 좌표계

(b) 지구국과 위성사이의 방위각 및 양각

그림 1. 위성의 위치 좌표계

Fig. 1. Coordinate system for a satellite position.

특, α 는 대기중 흡수에 의한 손실(atmospheric loss)이고 FSPL은 자유공간 경로 손실(free-space path loss)이다. 수신전력은 송신 신호의 세기, 송신 안테나 이득, 수신 안테나 이득과도 관계가 있으나 위성에서 수신점까지의 경로에서 큰 영향을 미치는 성분은 대기중 흡수에 의한 손실과 신호가 전파됨에 따라 거리에 제곱에 비례하여 세기가 줄어드는 자유공간 경로 손실이다.

첫번째 요소인 대기중 흡수에 의한 손실은 어느 정도 이상의 높은 주파수에서 전파와 대기의 기체 분자들과의 상호작용에 기인한다. 특히, 22.235 GHz 주파수에서는 수증기(water vapor)에 의한 감쇠가 우세하게 나타나고, 53.5 GHz와 62.5 GHz에서는 산소 분자(oxygen molecules)에 의한 감쇠가 나타난다. 일반적으로 대기에 의한 감쇠는 1 dB 미만이지만, 수증기나 산소에 의한 상호작용이

있는 특수한 대역에서는 1~10 dB의 감쇠가 생긴다^[7]. 또한, 표 1은 주파수에 따른 전형적인 감쇠값

표 1. 주파수에 따른 전형적인 감쇠값

Table 1. Typical attenuation value with frequency.

주파수 (GHz)	고도 (km)				
	0	0.5	1.0	2.0	4.0
10	0.053	0.047	0.042	0.033	0.02
15	0.084	0.071	0.061	0.044	0.023
20	0.28	0.23	0.18	0.12	0.05
30	0.24	0.19	0.16	0.10	0.045
40	0.37	0.33	0.29	0.22	0.135
80	1.30	1.08	0.90	0.62	0.30
90	1.25	1.01	0.81	0.52	0.22
100	1.41	1.14	0.92	0.59	0.25

을 나타내었고 이들의 단위는 단위길이에 대한 데시벨(dB/km)이다. 본 연구에서 분석하고 있는 ICO 위성 시스템의 사용주파수인 2 GHz에서의 감쇠값은 대략 0.033 dB/km이다.

대기(atmosphere)는 질소 및 산소가 균질하게 다량 포함되어 있는 대류권(0~17 km), 성층권(17~50 km), 중간권(50~80 km)과 상당히 희박한 양의 기체분자들만이 존재하는 열권(80~400 km)으로 나뉘어진다. 따라서, 위에 언급되어진 감쇠값은 대기중에서만 유효하므로 위성에서부터 수신지점까지의 전체거리에 적용할 수 없고, 경로중에서 대기중을 지난 거리만을 구하여 적용시켜야 한다. 결국 대기중 감쇠가 고려되어야 할 부분은 지상에서부터 80 km 정도까지 지표면에서 떨어져 있는 중간권 부분까지이다. 지구면이 굴곡없이 평평하다고 가정할 때 위성에서부터 수신지점까지의 거리는 그림 2에서와 같이 구할 수 있다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 대기권을 지나는 전체

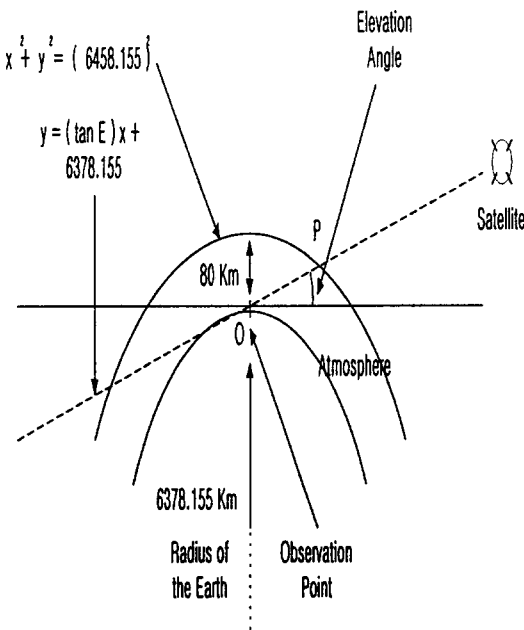


그림 2. 대기권을 지나는 전체 경로
Fig. 2. Total path through the atmosphere.

거리는 수신 지점인 점 O에서부터 대기권의 외곽지역인 점 P까지이다. 지구의 중심 원점을 좌표 C(0, 0)라고 하면 지구 대기권의 원의 방정식과 위성부터 수신지점간의 직선 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$x^2 + y^2 = (6378.155 + 80)^2 \quad (2)$$

$$y = (\tan E)x + 6378.155 \quad (3)$$

여기서 E는 양각이다.

식 (2)와 식 (3)을 연립하면 점 P의 좌표가 나오게 되며 여기서 점 O부터 점 P까지의 거리를 구할 수 있다. 전체거리는 다음 식 (4)와 같이 표현된다.

$$Dist_{Atm} = \sqrt{(x_{Atm})^2 + (\tan E \times x_{Atm})^2} \quad (4)$$

$$x_{Atm} = \frac{-12756.31 \times (\tan E)}{2 \times (1 + \tan^2 E)} \quad (5)$$

$$+ \frac{\sqrt{(-12756.31 \times \tan E)^2 + 4107619.2 \times (1 + \tan^2 E)}}{2 \times (1 + \tan^2 E)}$$

가장 수신 환경이 좋지 않은 양각이 10°(ICO 시스템은 양각이 10° 이하가 되면 다른 위성으로의 Hand-over가 일어남)일 때 전파가 대기권을 통과하는 전체거리는 393.63 km로써, 양각이 90°인 경우일 때 대기권을 통과하는 전체거리인 80 km의 4.9배나 된다.

두번째 요소는 자유공간 경로손실로써 이는 전파중의 매질과는 무관하다. 물리적으로 자유공간 경로손실은 위성의 운용주파수와 송신기로부터 수신기 사이의 거리 R에 의존한다. 사용주파수에서의 파장을 λ라 하면, 자유공간 경로손실은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$FSPL = \frac{\lambda^2}{(4\pi R^2)} \quad (6)$$

III. 가상환경 모델링

앞에서 언급한 위성의 절대위치 및 수신 지역에서의 방위각 및 앙각을 계산했다면^[7] 이제는 기하광학·균일 기하학적 회절이론을 바탕으로 한 파추적법을 이용하여 가상 공간상에서의 전파 환경을 분석해야 한다. 위성에서 수신지역까지는 거리가 매우 길기 때문에 위성에서 수신 지역으로 입사되는 파의 각도는 위성의 방위각 및 앙각과 같다고 가정한다. 여기서, 앞의 가정에 의해 위성에 위치한 송신점을 가상 공간상의 위 평면인 소스평면(source plane)으로 대체할 수 있게 된다. 이 소스평면에서는 앞장의 감쇠 계산에 의해 줄어든 전계가 고려된 다수의 입사파가 발생된다. 입사파는 입사평면 상에서 개개의 파의 위상이 같은 평면파(plane wave)로 가정한다. 해석되어질 공간의 개략적인 구조는 다음의 그림 3과 같다.

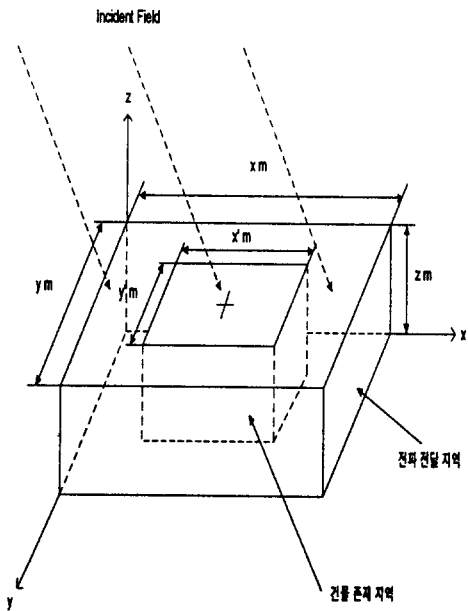


그림 3. 수신지역 전파환경 모델링 모형
Fig. 3. The prototype of propagation environment modeling of received area.

가상 공간상에서의 전파환경 모델링 모형의 크기는 $x \times y \times z$ (m)이다. 앙각의 크기에 따라 전파 전달 지역의 일부분이 입사파가 존재하지 않는 음영지역이 되기 때문에 위성에서부터 수신 지역간의 전파환경 모델링을 시뮬레이션 해 볼 수 있는 부분은 가운데의 $x' \times y' \times z$ (m) 부분이다. 따라서, 건물을 존재시켜 전파환경을 분석할 건물 존재 지역과 이 건물 존재지역 전체에 파를 입사시키기 위한 전파 전달 지역은 가상 공간의 크기 및 최저 허용 앙각에 따라 달라진다. 예를 들어, 가상공간을 $1000 \times 1000 \times 50$ (m)으로 설정하고 최소 앙각을 10° 로 허용하였다면 그림 4와 같은 건물 존재 지역의 크기가 정해진다. 여기서 높이를 50 m로 설정함으로써 약 17층 크기의 건물까지 분석이 가능하다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 전파 전달 지역 내부 중심에 $500 \times 500 \times 50$ (m)의 건물 존재 지역을 설정하면 최소 앙각인 10° 일 경우 건물 존재 지역의 대부분을 입사파가 존재하는 라인 오브 사이트

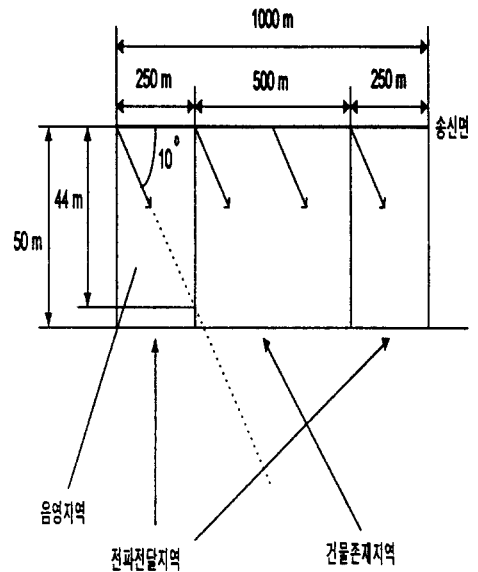


그림 4. 전파환경 모델링 모형의 단면도
Fig. 4. Cross-section of prototype of propagation environment modeling.

(line-of-sight)에 포함시킬 수 있다. 그런데, 그림 5와 같이 가상 공간상의 위쪽 평면인 쏘스평면은 방위각 및 양각에 따라서 입사 평면과 각도의 차이를 가지게 되므로 동일한 파를 쏘스평면에서 발생시킬 경우 각각의 파들은 입사 평면에서 서로 다른 거리와 위상을 갖게 된다. 따라서, 쏘스평면에서 일정한 간격으로 발생시켜야 할 파들에 대해 이러한 위상 및 거리차이를 고려하여야 한다.

먼저, 방위각과 양각에서 얻어진 입사파의 단위 벡터는 직교좌표계상에서 다음과 같이 표현된다.

$$\vec{i}_{inc} = -\sin\theta \cos\phi \hat{a}_x - \sin\theta \sin\phi \hat{a}_y - \cos\theta \hat{a}_z \quad (7)$$

만약 그림 6처럼 가상 공간상의 중심점에서 쏘스평면과 입사평면의 거리 및 위상 차가 없다고 가정하고, 이 중심점의 좌표가 $C(X, Y, Z)$ 라고 하면 입사평면의 평면방정식은 다음과 같이 표현된다.

그런데, 쏘스평면상의 한점 $P(x_1, y_1, Z)$ 에서 전파가 발생하였다면 식 (7)에 의해 다음과 같은 직선 방정식을 얻게 된다.

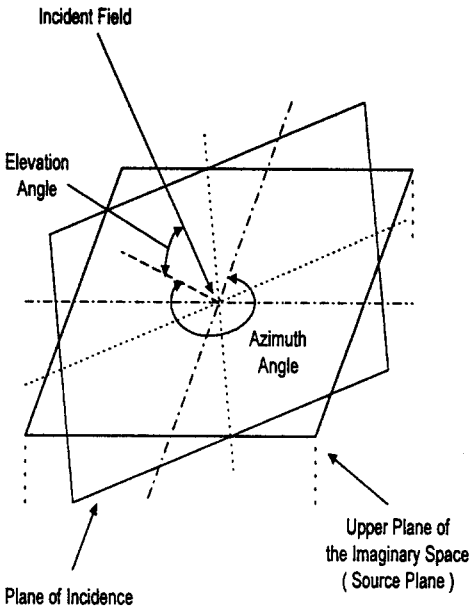


그림 5. 입사평면과 쏘스평면
Fig. 5. Incident plane and source plane.

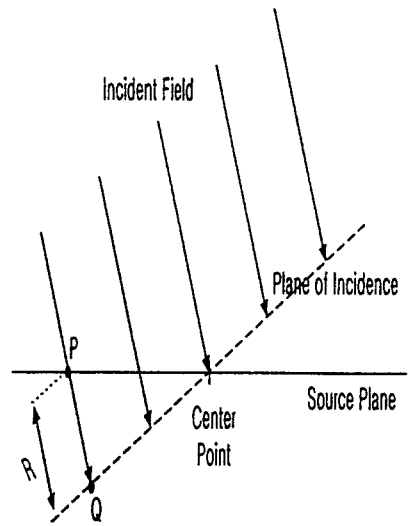


그림 6. 입사평면과 쏘스평면 사이의 거리 차이
Fig. 6. Difference of distance between incident plane and source plane.

$$\sin\theta \cos\phi (x-X) + \sin\theta \sin\phi (y-Y) + \cos\theta (z-Z) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{x-x_1}{\sin\theta \cos\phi} = \frac{y-y_1}{\sin\theta \sin\phi} = \frac{z-Z}{\cos\theta} \quad (9)$$

따라서 식 (8)과 (9)를 연립하여 풀면 입사평면에서의 좌표 점 Q가 나오므로 따라서 PQ의 거리인 R은 다음과 같이 표현된다.

$$R = \sqrt{(x'-x_1)^2 + (y'-y_1)^2 + (z'-Z)^2} \quad (10)$$

여기서 x', y', z' 은 다음과 같다.
 $x' = [(X-x_1)\sin\theta \cos\phi + (Y-y_1)\sin\theta \sin\phi] \sin\theta \cos\phi + x_1$
 $y' = [(X-x_1)\sin\theta \cos\phi + (Y-y_1)\sin\theta \sin\phi] \sin\theta \sin\phi + y_1$
 $z' = [(X-x_1)\sin\theta \cos\phi + (Y-y_1)\sin\theta \sin\phi] \cos\theta + Z$

IV. 수치해석 및 결과 고찰

그림 7에는 전파 환경분석 시뮬레이션에 이용될 가상 수신 지역의 구조를 도해하였다. 공간상의 위 평면인 쏘스평면에서 전파가 발생하는 전파 전달 지역은 가로, 세로, 높이가 각각 1000 × 1000 × 50 (m)이며, 구조물을 설정하여 수신 환경을 분석할 건물 존재 지역은 전파 전달 지역의 내부 중앙에 위치하며 가로, 세로, 높이가 각각 500 × 500 × 50 (m)이다.

그림 8과 같이 건물 존재 지역내에 4개의 빌딩 (구조물)을 설정하였으며 각각 다른 면적과 높이를 갖는다. 또한, 건물에 의해 음영지역이 많이 존재하지 않아 입사파의 영향을 많이 받는 지점에 수신점 1번을 설정하였으며, 비교적 건물에 많이 가려져 반사파 및 회절파의 영향을 받는 지점에 수신점 2 번을 설정하였다. 해석대상 위성은 중계도인 10355

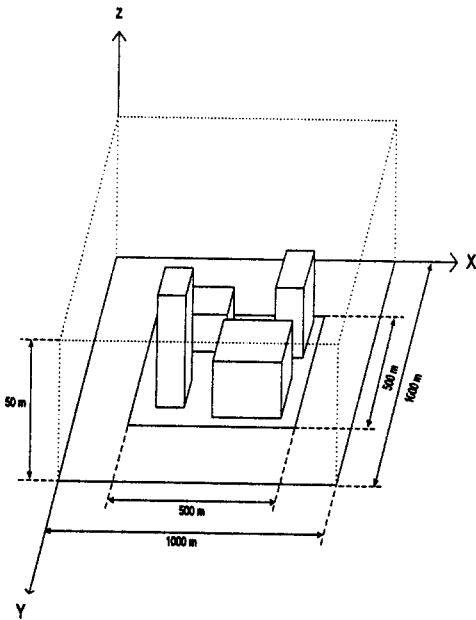


그림 7. 전파환경 분석에 이용될 가상 공간의 구조
Fig. 7. Structure of imaginary space for propagation environment analysis.

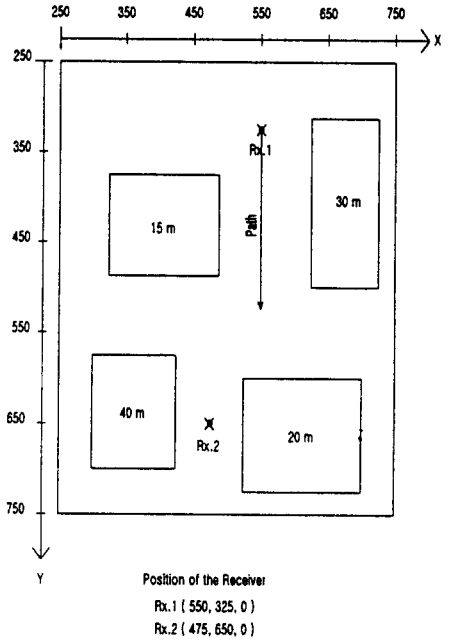


그림 8. 시뮬레이션으로 분석되어질 지역내 구조물
Fig. 8. Structures in the area being analyzed by simulation.

km에 6시간의 주기 및 45°의 경사각을 갖는 ICO 위성으로 이 위성은 주로 휴대단말에 대하여 범세계적인 이동통신 서비스 제공을 목적으로 한다^[8].

그림 9. (a)는 시간에 따른 ICO 위성의 위치 및 방위각, 양각 등을 계산한 프로그램의 결과이다. 10355 km의 고도와 45°의 경사각을 가지고 동경 30°의 위치에서 시작한 위성은 73시간 33분 후 북위 37°, 동경 127°(우리 나라 경기도 평택의 위치)에서 관측이 가능하게 되며, 이때 방위각은 299.546°이고 양각은 74.8534°이다. 또한 지구국과 위성간의 거리는 10493.4 km이며 전파가 대기권을 통과한 총 거리는 82.8416 km이다. 마찬가지로, 그림 9. (b)는 시작점인 상승점의 위치가 서경 0°일 때의 계산 결과인데 이 경우 위와 동일한 관찰점인 북위 37°, 동경 127°에서 1시간 19분 후 위성의 방위각은

```

Altitude of the Satellite ? ( Km ) 10355
Inclination Angle of the Satellite ? ( Degree ) 45
Longitude of Ascending Node of the Satellite
( Starting Point - Please Type 'E'ast or 'W'est and
Degree ) ? E30
Period of the Satellite is 21541.2 Secs
-> 5 Hr. 59 Min. 1 sec.

Latitude of the Earth Station
( Please Type 'N'orth or 'S'outh and Degree ) ? N37
Longitude of the Earth Station
( Please Type 'E'ast or 'W'est and Degree ) ? E127
The Earth Station Locates in N 37 Degrees and E 127
Degrees
Please enter the time ( in 24 Hours ) ? 73.55

The Satellite locates in N 43.0698 and E 117.555 at
73.55 Hrs.
The elevation angle is 74.8534 Degree, and azimuth
angle is 299.546 Degree.
The Distance between the earth station and the
satellite is 10493.4 Km.
The total atmospheric distance is 82.8416 Km.
    
```

```

Altitude of the Satellite ? ( Km ) 10355
Inclination Angle of the Satellite ? ( Degree ) 45
Longitude of Ascending Node of the Satellite
( Starting Point - Please Type 'E'ast or 'W'est and
Degree ) ? W0
Period of the Satellite is 21541.2 Secs
-> 5 Hr. 59 Min. 1 sec.

Latitude of the Earth Station
( Please Type 'N'orth or 'S'outh and Degree ) ? N37
Longitude of the Earth Station
( Please Type 'E'ast or 'W'est and Degree ) ? E127
The Earth Station Locates in N 37 Degrees and E 127
Degrees
Please enter the time ( in 24 Hours ) ? 1.32

The Satellite locates in N 44.0333 and E 55.3978 at
73.55 Hrs.
The elevation angle is 15.26 Degree, and azimuth
angle is 275.982 Degree.
The Distance between the earth station and the
satellite is 13882 Km.
The total atmospheric distance is 282.147 Km.
    
```

(a) 동경 30°의 위치에서 45°의 경사각을 갖는 위성의 경우

(b) 서경 0°에서 상충점을 갖는 위성의 경우

그림 9. 위성 위치 프로그램의 실행결과

Fig. 9. Programming result of a satellite location.

275.982°이고 양각은 15.26°가 된다. 이 때의 지구 국과 위성간의 거리는 13882 km이고 대기권을 통과한 총 경로의 길이는 282.147 km이다.

이러한 결과를 토대로 가상 수신 공간상에서의 시뮬레이션을 통하여 전력의 세기와 지연 프로파일을 구하여 보았다. 앞에서 설명한 대로 수신기 1 (Rx. 1)은 직접파가 도달할 수 있는 지역에 설정한 반면, 이와는 달리 수신기 2(Rx. 2)는 낮은 양각에서 직접파가 도달할 수 없는 지점에 위치시켜 전력의 세기 및 지연 프로파일을 비교하였다. 또한 2 GHz 대역에서의 구조물의 반사계수를 구조물에 입사하는 각도와는 상관없이 일정하게 2 dB로 적용시켰으며, 그림 9. (a)와 (b)에서 나온 결과대로 방위각이 300°이고 양각이 75°인 경우와 방위각이 275°이고 양각이 15°인 경우로 나누어 결과를 비교해 보았다. 쏘스평면에서 가로, 세로를 각각 1 m 간격으로 나누어 파를 발생시켜 총 1000×1000 개의 파를 발생시켰으며, 위성에서의 전체 세기를 0 dB로 설정하여 수신점에 돌아오는 파가 -250 dB

이하이면 이를 무시하도록 하였다. 또한, 반사 차수는 5차까지이고 회절 차수는 1차까지만 고려하여 더 이상의 파의 추적을 하지 않았다.

그림 10과 11은 각각 방위각이 300°이고 양각이 75°일 때 수신기 1과 2에서의 전체 수신 전력의 세기 및 지연 프로파일을 나타내었다. 또한, 그림 12와 13은 방위각이 275°이고 양각이 15°일 때 수신기 1과 2에서의 전체 수신 전력의 세기 및 지연 프로파일을 나타내었다. 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 양각에 관계없이 직접파가 도달할 수 있는 수신기 1이 수신기 2보다 수신 전력의 세기가 강하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 양각이 75°로 비교적 각도가 높은 환경에서는 수신기 1과 2의 수신 전력이 별 차이가 없는 반면 양각이 15°로 각도가 낮은 환경에서는 수신기 1과 2의 수신전력에 많은 차이를 보였다. 또한, 전체 전력을 좌우하는 요소는 대부분 먼저 도달한 파에 의한 것임을 알 수 있다. 지연 프로파일에서 갑자기 수신 전계의 세기가 떨어진 부분은 고차회절파 또는 회절-반사파의 부재에 기인한

Delay Profile of Receiver 1 (Total Power = -185.2796 dB)

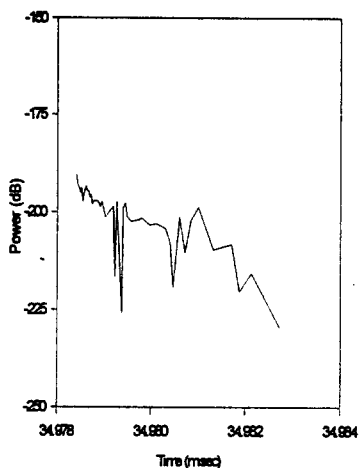


그림 10. 방위각 300°, 양각 75°일 때 수신점 1에서의 수신 전력과 지연 프로파일

Fig. 10. Received power and delay profile at receiver location 1 when azimuth angle is 300° and elevation angle is 75°.

Delay Profile of Receiver 1 (Total Power = -198.2716)

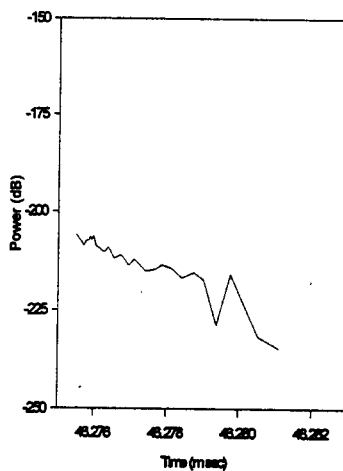


그림 12. 방위각 275°, 양각 15°일 때 수신점 1에서의 수신 전력과 지연 프로파일

Fig. 12. Received power and delay profile at receiver location 1 when azimuth angle is 275° and elevation angle is 15°.

Delay Profile of Receiver 2 (Total Power = -188.4793 dB)

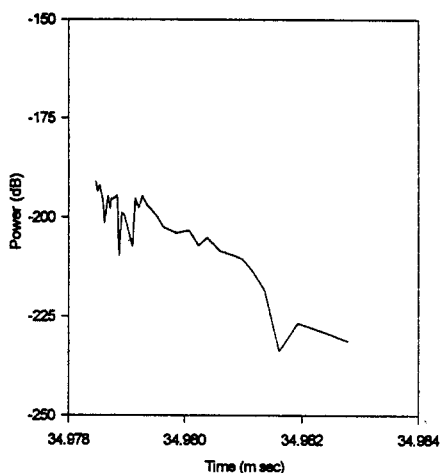


그림 11. 방위각 300°, 양각 75°일 때 수신점 2에서의 수신 전력과 지연 프로파일

Fig. 11. Received power and delay profile at receiver location 2 when azimuth angle is 300° and elevation angle is 75°.

Delay Profile of Receiver 2 (Total Power = -207.6511 dB)

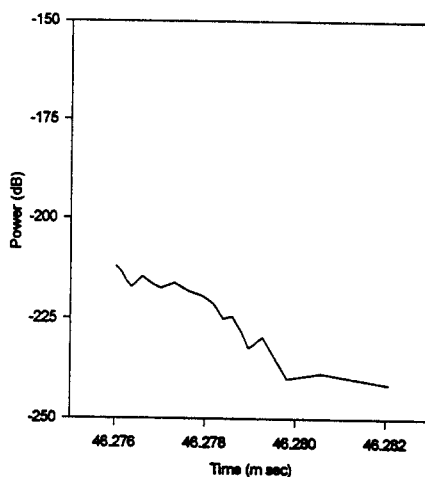


그림 13. 방위각 275°, 양각 15°일 때 수신점 2에서의 수신 전력과 지연 프로파일

Fig. 13. Received power and delay profile at receiver location 2 when azimuth angle is 275° and elevation angle is 15°.

것으로 판단된다.

다음에는 수신기의 위치를 고정하고 양각을 변화시켰을 때의 대표적인 지연 프로파일 값을 살펴 보았다. 먼저 수신기의 위치는 수신기 1의 지점에 고정시킨 후 방위각은 300°이고 양각을 15°, 30°, 45°, 60°, 75°로 각각 15°씩의 차이를 주어 변화시켜 보았다. 그림 14에서는 각각의 프로파일의 시작시간을 전체 도달 시간이 아닌 수신기에 처음 도달한 파의 시간을 0으로 하여 그래프를 작성하였다. 그림 14에서 볼 수 있듯이 75°일 때의 수신전력이 세고, 양각이 낮아질수록 수신전력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 양각이 30°일 때의 전계세기가 양각이 15°일 때보다 낮게 나타나 있는데 이는 지형에 의한 특이성 때문이라 생각된다.

마지막으로, 방위각과 양각을 고정시킨 후 수신기의 위치를 변화시켰을 때의 지연 프로파일을 구해 보았다. 그림 15는 위의 그림 8에서 나타난 경로를 따라 수신기가 이동했을 때의 전력의 분포를 보여주고 있다. 방위각 275°, 양각 15°인 상황에서 수

Delay Profile with varying Elevation Angle (15°~75°)

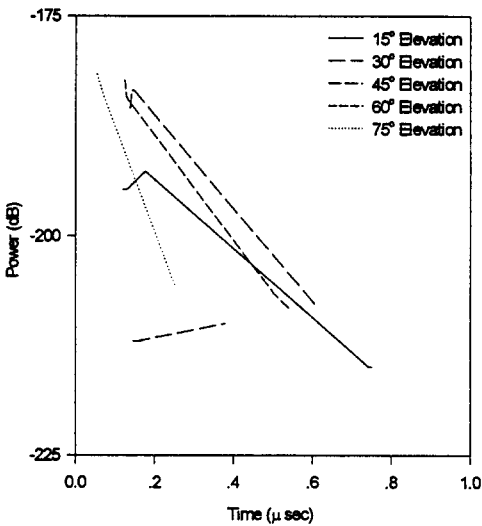


그림 14. 양각의 변화에 따른 지연 프로파일
Fig. 14. Delay profile with varying elevation angle.

Power Distribution across the path

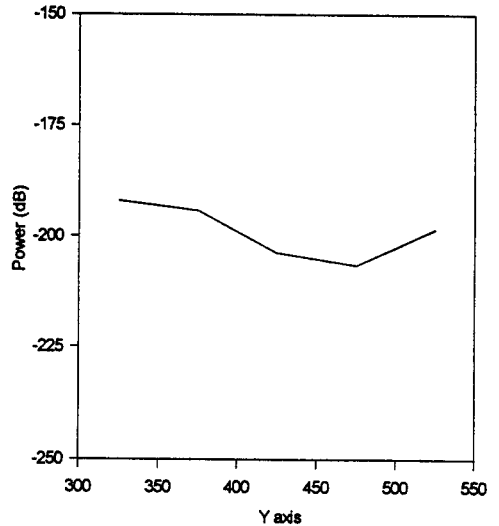


그림 15. 경로에 따른 전력 분포
Fig. 15. Power distribution across the path.

신기가 라인 오브 사이트(line-of-sight)일 때는 수신파워가 세지만 그림자 영역에서는 파워 레벨이 떨어짐을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 위성으로부터의 전파 전파(wave propagation) 특성을 효과적으로 알아내기 위하여 파추적법을 이용해 다중 경로파를 해석하여, 임의의 수신 지역에서의 전파 환경을 분석하였다. 일반적으로 전파의 세기는 양각에 의하여 결정되며, 높은 양각을 가질수록 지면에 인접한 수신자는 직접 파에 의한 영향을 많이 받게 되어 높은 수신 전력을 얻게 된다. 낮은 양각을 가진 환경에서는 수신 지역의 구조물에 의한 영향에 의해 수신 환경이 좌우되었으나, 높은 양각을 가진 수신 환경에서는 구조물에 의한 영향이 크지 않았음을 알 수 있다. 또한 건물의 인접지역에서는 반사파와 회절파에 의한 영향이 많이 나타남을 알 수 있었다.

본 연구에서의 문제점은 주파수에 대한 물질의 전기적 특성 데이터가 부족하여 시뮬레이션 시에 정확한 반사계수 및 회절계수를 사용하지 못하였다는 점이다. 또한 컴퓨터의 오랜 실행시간으로 인해 제한된 수의 파와 제한된 차수의 반사·회절과를 발생시킬 수밖에 없었고, 건물 존재 지역이라는 한정된 지역에 대한 시뮬레이션을 행함으로 인해 그 지역 밖에서의 구조물이 실제 분석 영역에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석이 수행되지 못하였다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 시뮬레이션 프로그램은 사용자가 반사파의 차수와 회절파의 차수를 임의로 조정 가능하게 되어있어 좀 더 복잡한 건물 분포에 대한 파추적도 가능하도록 되어있다. 본 논문에서는 기준이 될 실측치를 수집하지 못하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 이론적인 분석만을 행하였으나 향후 실제 위성의 운용시에 이를 측정하여 이 연구에 대한 정확성을 검증하는 연구가 계속 수행되어야 할 것이다. 또한, 중궤도(ICO) 위성으로부터의 전파전달 특성에 중요한 영향을 미칠 수 있는 건물, 자연 장애물, 나무 등에 의한 blocking이나 shadowing 효과, 위성 안테나 빔의 offset 각도에 따른 전파전달 특성분석, 그리고 두개 이상의 위성으로부터의 다중경로에 의한 전파 환경의 변화 등에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] David Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 72-160, 1992.
 [2] F. S. Hill Jr., *Computer Graphics*, Macmillan Publishing Company, New York, pp. 615-669, 1990.
 [3] Allan W. Scott, *Understanding Microwaves*, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 341-480, 1993.
 [4] Graeme L. James, *Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Waves*, IEE, pp. 96-185, 1985.
 [5] D. A. McNarama, C. W. I. Pistorius & J. A. G. Malherbe, *Introduction to Uniform Geometrical Theory of Diffraction*, Artech House, London, pp. 159-178, 1986.
 [6] J. B. Keller, "Geometrical theory of diffraction", *J. Opt. Soc. of America*, vol. 52, no. 2, pp. 116-130, February 1962.
 [7] Tri T. Ha, *Digital Satellite Communication*, McGraw-hill Publishing Company, New York, pp. 31-128, 1990.
 [8] 전완중, "ICO(P-21) 시스템의 망구성 및 호처리", *Telecommunication Review*, vol. 6, no. 6, pp. 687-703, December 1996.

박 대 성



1997년 : 한양대학교 전파공학과(공학사)
 1997년 ~ 현재 : 한양대학교 전파공학과(석사과정)
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 분석, 전파전파 모델링, 이동통신

이 준 호



1987년 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
 1989년~1990년 : LG전자 연구개발단 연구원

1990년~현재 : 한국통신 위성사업본부 위성통신연구실
 전임연구원
 [주 관심분야] 위성통신

최 재 훈



1980년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)

1986년 : 미국 Ohio State University 전기공학과(공학석사)

1989년 : 미국 Ohio State University 전기공학과(공학박사)

1989년~1991년 : 미국 Arizona State University 연구교수

1991년~1995년 : 한국통신 위성사업본부 연구팀장

1995년~현재 : 한양대학교 전파공학과 조교수

[주 관심분야] 이동통신 및 위성통신, 안테나 설계 및 분석, 마이크로파 수동소자 설계, 전파전파 모델링