

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.6.181>

JIWIT 2012-6-23

Ka-band를 활용한 정지궤도 위성의 도심지 전파특성 분석

Propagation Characteristics Analysis for an Urban Site of Geostationary Earth Orbit Satellite using Ka-band

김주석*, 박노옥*, 임주영**, 임태혁**, 유창현***, 권건섭***, 김경석****

Joo-Seok Kim, No-Wook Park, Joo-Yoeng Lim, Tae-Hyuk Lim, Chang-Hyun Yoo, Kun-Sup Kwon, Kyung-Seok Kim

요약 위성통신시스템은 수신환경에 따라 전파 품질이 변화하므로 수신 지역의 전파 환경 특성을 분석하는 것이 매우 중요하다. 위성통신은 지상 무선통신과는 달리 위성의 고도 및 대기 환경에 추가로 영향을 받기 때문에 전파특성을 분석하기 위해서는 추가로 고려해야할 요소들이 많다. 본 논문에서는 도심지 환경에서 정지궤도 위성통신 시스템의 위성-지상 간 전파수신환경을 분석하였다. 도심지환경의 전파 시뮬레이션을 위해 건물을 가상으로 설정하고 수신환경을 변화시켜가며 전파특성을 분석결과를 도출하였다. 본 논문의 연구결과를 통해 Ka-band에서의 위성 이동통신 시스템 설계에 도움을 줄 수 있을 것이다.

Abstract In satellite communication system, propagation characteristics analysis of the receiving environment is very important, because radio quality is changed by the receiving environment. Unlike Terrestrial wireless communications, satellite communication is affected by altitude and atmospheric environment. Therefore, there are many factors to consider for propagation characteristics analysis. In this paper, signal reception environment of geostationary earth orbit was analyzed on urban environment. In order to analyze the propagation simulation, virtual buildings was established and reception environment was changed. The results of this paper would help to design the satellite mobile communication systems in Ka-band.

Key Words : Satellite, GEO, Ka band, propagation

1. 서론

위성통신기술은 최근 수십 년간 급속도로 발전하고 있다. 전 세계적으로 사용 중인 위성의 수가 수천기를 넘고 있으며 사용 주파수도 L, S, C, Ku 대역에서 20GHz

대인 Ka 대역까지 사용중이며 향후 40GHz이상 대역도 사용될 것이다. 위성통신은 사용 주파수 대역에 따라 다양하게 구분되는데 1~2GHz대역의 L밴드는 이리듐과 같은 저궤도용으로 할당되었고, 4~8GHz의 C밴드는 정지궤도용으로 커버리지가 매우 넓으며 강우감쇠의 영향이 적

*준회원, 충북대학교 전파통신공학과

**준회원, IM Technology

***준회원, 국방과학연구소

****정회원, 충북대학교 전파통신공학과 (교신저자)

접수일자 : 2012년 9월 14일, 수정완료 : 2012년 10월 30일

게재확정일자 : 2012년 12월 14일

Received: 14 September 2012 / Revised: 30 October 2012 /

Accepted: Revised: 14 December 2012

*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

School of Information and Communication Eng., Chungbuk National University, Korea

으나 안테나가 큰 단점이 있다. 또한 8~12GHz 대역의 X 밴드는 저궤도 또는 정지궤도용으로 할당되었으며 강우 감쇠가 적고 주파수가 높은 황금대역으로 일반적으로 군사용으로 사용되고, Ka밴드는 정지궤도용으로 20~30GHz 대역을 사용하고 있다. 우리나라의 경우 Ku, Ka밴드의 무궁화위성을 방송, 통신, 군사용으로 사용하고 있다. 위성통신에서 사용 주파수대가 확대됨에 따라 해당 주파수대의 정확한 전파 특성분석이 필요하다. 위성통신의 전파는 대기의 전리층을 통과하기 위하여 수 GHz에서 수십 GHz의 주파수를 사용하고 전파의 이동경로도 매우 길다. 따라서 위성 신호의 전파(Propagation) 특성은 지상의 무선통신과는 다른 특성을 갖는다. 이러한 전파 특성을 분석하기 위한 전파통신 시스템의 경우 효과적인 시스템의 설계를 위해서는 해당 전파 환경에 대한 체계적이고 신뢰성있는 예측 방법이 필요하다^{[1][2]}.

위성통신의 전파는 대부분 대기 중을 통과하여 지상 수신점에 도달하게 되는데 이때 다양한 원인에 의해 전파 손실이 일어나게 된다. 기본적으로 위성-지상 간 자유공간 손실이 일어나고, 전파 경로인 대기 중에 존재하는 수증기, 산소 등에 의한 감쇠, 강우에 의한 감쇠 등으로 손실이 일어나게 된다. 또한 위성-지상 간 전파경로에 존재하는 지상의 장애물에 의한 손실이 일어나게 된다^[3].

본 논문에서는 정지궤도 위성 환경에서 Ka-band를 활용하여 위성-지상 간 전파특성을 분석하고자한다. 위성의 고도에서 지상까지의 전파 감쇠 환경을 다양하게 고려하여, 도심지환경을 모델링하여 전파특성을 분석한다. 2장에서 위성의 송수신 환경 분석을 위해 고정 위성의 궤도 및 수신점과의 상대 거리 및 양각(elevation angle) 등을 분석하고, 전파의 경로에 따른 감쇠 분석을 위한 전파 파라미터를 분석한다. 3장에서는 위성 신호의 전파분석 시뮬레이션을 위해 도심지 환경을 가상으로 모델링하는 방법에 대해 서술하고, 4장에서 시뮬레이션을 통해 도심지 환경의 전파특성에 대해 분석한다.

II. 정지궤도 위성의 송수신 환경

1. 위성의 궤도 및 수신점과의 거리 분석

위성신호 수신환경에서 위성과 수신점과의 상대적 위치는 매우 중요하다. 위성신호의 전파가 수신점까지 전

달되기 위한 경로 분석을 위해서는 우선 위성의 궤도 및 고도에 따른 위치를 파악해야 한다.

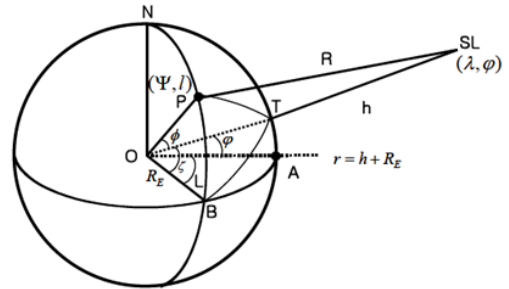


그림 1. 지구와 위성의 기하학

Fig 1. The geometry of the Earth and satellite

그림 1은 위성과 지구의 상대적 위치 및 각에 따른 관계를 나타낸다. 지구 표면상의 임의의 수신점(경도 Ψ , 위도 l) 위치를 점 P라 할 때 위성 SL(경도 λ , 위도 φ)과의 거리는 R로 정의할 수 있으며, 실제 위성신호 전파가 도달하는 거리가 된다. 이 값은 다음과 같이 나타낸다^[4].

$$R = \sqrt{R_E^2 + r^2 - 2R_E r \cos \phi} \quad (1)$$

여기서 R_E 는 지구 반지름이며, r 은 지구 중심점에서 위성까지의 거리이다. ϕ 는 지구 중심점을 기준으로 수신점과 위성 사이의 각도이다.

표 1. 실제 방위각의 결정

Table 1. Determination of the azimuth

점 T	방위각 $\angle NPT'$
South-east	$180^\circ - \angle NPT'$
North-east	$\angle NPT'$
South-west	$180^\circ + \angle NPT'$
North-west	$360^\circ - \angle NPT'$

수신점의 위치에서 위성의 상대 위치를 결정하기 위한 요소로 방위각과 양각(elevation angle)이 있다. 이 두 각은 수신점에서 바라본 송신점의 위치를 나타내는 요소이다. 방위각은 진북 방향에서 위성위치에 대해 시계방향으로 측정되는 각도로, 그림 1에서 $\angle NPT'$ 이며 다음

과 같은 중간 파라미터 $\angle NPT'$ 에 의해 나타낸다^[4].

$$\angle NPT' = \sin^{-1}\left(\frac{\sin L \cos \varphi}{\sin \phi}\right) \quad (2)$$

여기서 L 은 위성과 수신점과의 경도 차($\Psi - \lambda$)이다. 실제 방위각 $\angle NPT'$ 는 수신점에 대한 위성의 아래점 T 의 방향에 따라 표 1에서 구한다.

양각은 수신점을 기준으로 지표면에서 위성의 위치에 대한 각도이며 그림 2의 E 로 표현된다. 이 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = \cos^{-1}\left(\frac{r}{R} \sin \phi\right) \quad (3)$$

2. 위성통신의 전파 파라미터 분석

위성과 수신점과의 거리 및 각도에 대한 값들을 토대로 위성신호가 수신점까지 전파될 때 일어나는 전파환경을 분석해야 한다. 송신점에서 수신점까지의 일반적인 경로 감쇠식은 다음과 같다.

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dB) + G_r(dB) - FSPL(dB) - DL(dB) - \alpha(dB) \quad (4)$$

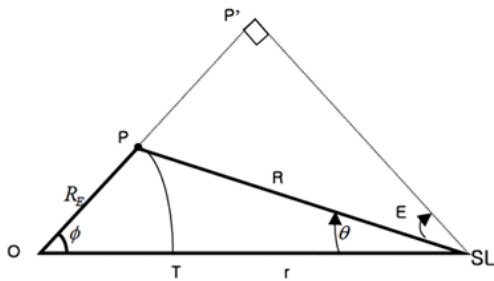


그림 2. 위성의 양각
Fig 2. Elevation angle of the satellite

여기서 P_r 는 수신전력이며, P_t 는 송신전력, G_t 는 송신안테나 이득, G_r 는 수신안테나 이득이다. $FSPL$ 은 자유공간 경로손실(free-space path loss)이며 DL 은 장애물에 의한 회절손실이고, α 는 대기 흡수 및 강우 감쇠에 의한 손실이다.

자유공간 경로손실은 전파경로의 매질에 상관없이 송수신 간의 경로에 의한 감쇠값이며 다음과 같이 나타낸다.

$$FSPL = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 \quad (5)$$

식 (5)의 λ 는 사용주파수의 파장이다.

전파가 장애물에 의해 가려지게되면 회절손실이 일어나게 되며, 송수신단 사이의 장애물 높이에 의해 표현되는 식 (6)의 knife-edge 모델을 적용한다^[5].

$$DL(dB) = 6.9 + 20 \log\left(\frac{\sqrt{(v-0.1)^2 + 1}}{v-0.1}\right) \quad (6)$$

대기 흡수에 의한 손실은 GHz 이상의 높은 주파수에서 대기 중의 기체 분자에 의해 발생하는 감쇠로써, 주로 산소 분자(dry air)와 수증기(water vapor)에 의해 발생된다^[6]. 그림 3 같이 산소 분자와 수증기에 의한 감쇠가 나타나는 주파수 대역이 서로 다르며, 위성신호 전파 분석을 위해 두 요인을 모두 고려한 총 감쇠값을 고려해야한

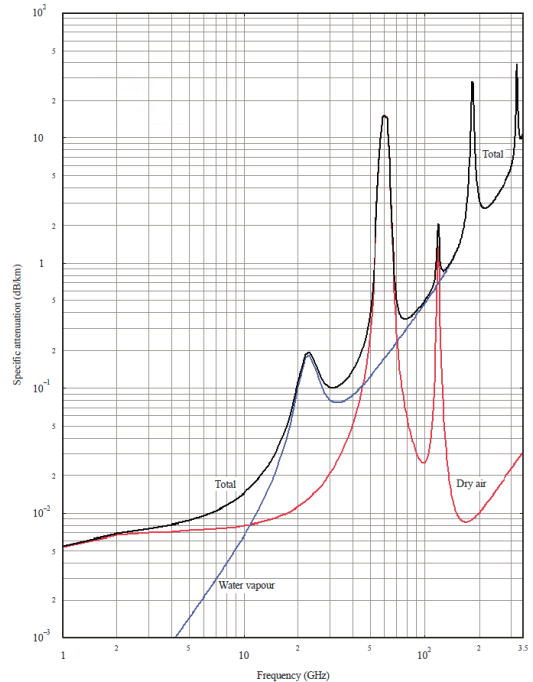


그림 3. 대기흡수에 의한 감쇠
Fig 3. Attenuation by atmospheric absorption

다. 본 논문에서 고려하는 Ka-band (20~30GHz)에서의 감쇠율은 약 0.101에서 0.196dB/km 사이의 값을 갖는다. 이 값은 단위 km당 발생하는 감쇠율로 실제 전파 경로에 대한 거리를 반영해야 한다. 위성 통신의 특성 상 우주공간을 거쳐 지구 상의 대기층을 통과하므로 실제 대기층에 대한 거리를 반영한다. 이 값은 대기층의 높이 및 전파의 수신 각도(양각)에 따라 도출된다^[6].

위성 통신의 경우에 의한 감쇠를 알기 위해서 먼저 아래 그림 4와 같이 수신점과 위성 사이의 경로를 파악할 필요가 있다. 이를 바탕으로 ITU-R 문서에서 제시하는 테이블에서 주파수에 연동되는 계수값($k_H, k_V, \alpha_H, \alpha_V$)을 찾아 특정감쇠율(γ_R)과 유효패스길이(L_E)를 식 (7), (8)과 같이 계산 할 수 있다^{[7][8]}.

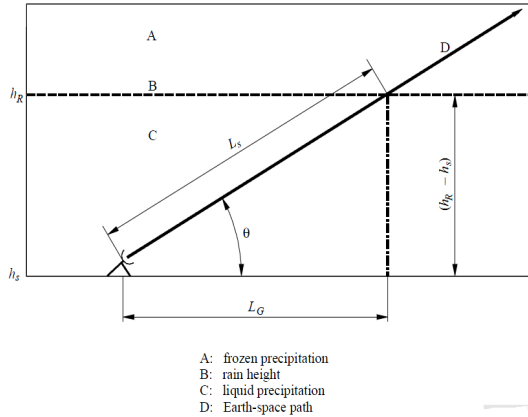


그림 4. 지구-우주 경로의 강우감쇠 계산을 위한 모식도
 Fig 4. Schematic presentation of Earth-space path for the calculation of rain attenuation

$$\gamma_R = kR^\alpha \quad (dB/km) \quad (7)$$

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta\cos 2\iota]/2$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V(k_H\alpha_H - k_V\alpha_V) \times \cos^2\theta\cos 2\iota]/2k$$

$$L_E = L_R^v \quad (km)$$

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\sin\theta} \quad (km)$$

$$v = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin\theta} v_f}$$

$$v_f = \left(31(1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \frac{\sqrt{L_R\gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)$$

특정감쇠율과 유효패스길이를 계산하고 이를 이용해 지구-우주 경로의 경우에 의한 감쇠를 다음과 같이 계산 할 수 있다.

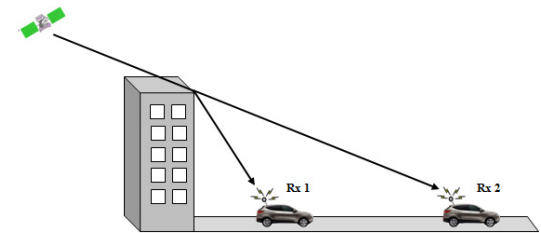
$$A = \gamma_R L_E \quad (dB) \quad (9)$$

강우에 의한 감쇠는 위성과 지상관측점 사이의 양각에 영향을 받는다. 또한 지역에 따라 강우도가 서로 다르기 때문에 해당 지역에서의 공인된 강우데이터를 필요로 한다.

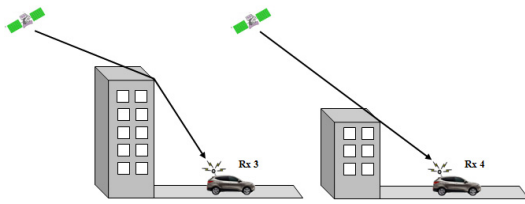
III. 시뮬레이션 환경 모델링

위성 신호의 수신 환경을 시뮬레이션하기 위해서 상의 도심지 건물 환경을 모델링해야 한다. 수신점의 위치에서 주변 건물의 높이 및 건물과의 거리에 따라 신호 수신 환경이 달라지기 때문에 다양한 수신환경을 가정하여 시뮬레이션의 신뢰성을 높여야 한다. 그림 5 (a)와 같이 수신위치가 건물과의 거리에 따라 위성신호 품질이 달라진다. Rx 1의 위치에서 건물에 신호가 가려져 신호감쇠가 크게 일어나게 되며(NLOS), Rx 2의 위치에서 건물에 의한 감쇠가 사라져(LOS) 신호 수신이 원활하게 된다. 그림 5 (b)는 건물 높이에 따라 수신환경이 변하게 되는 경우로, 건물과의 거리가 일정할 때 건물에 의해 신호가 가려지는 환경(Rx 3, NLOS)과 신호 수신이 원활한 환경(Rx 4, LOS)이다. 도심지 환경에서 위성신호 수신환경을 분석하기 위해서는 다양한 건물과의 상대적 위치를 고려해야한다.

본 논문에서는 고정궤도 위성에 대해 고려를 하므로 위성의 위치는 항상 일정하다. 시뮬레이션을 위해 위성의 방위각과 건물, 수신점의 위치가 일직선 상에 있다고 가정하고 수신점과 건물의 거리 및 건물의 높이를 다양하게 변화하여 수신환경을 분석한다.



(a) 건물과 수신점의 거리에 따른 변화



(b) 건물 높이에 따른 변화

그림 5. 건물의 높이와 거리에 따른 수신 환경 변화
Fig 5. Changes of the receiving environment according building height and distance

IV. 시뮬레이션 결과 분석

위성 통신 신호의 시뮬레이션 분석을 위해 국내에서 고정궤도 위성용으로 사용 중인 무궁화 5호 위성을 토대로 표 2와 같은 파라미터를 적용하였다. 송신 출력, 고도 및 송신 주파수는 무궁화 5호의 제원을 따르며, 양각 및 방위각은 국내 서울(E126° N37°)을 수신점으로 하였을 때, 2.1장의 식(2), (3)에 의해 도출된다. 송수신 안테나 이득은 0dBi로 가정한다. 또한 강우 감쇠 효과는 수신환경의 강우량에 따라 감쇠폭의 변화가 크므로 우선 강우량이 0mm/h인 맑은 날씨를 가정한다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

항목	값
위성 송신 출력	54 dBW
위성 고도	35,786 km
고정위성 궤도위치	E113° N0°
송신 주파수	20.7 GHz
양각	44.952°
방위각	200.98°

그림 6은 건물과 수신점의 거리를 10m, 20m, 30m로 각각 고정하고 건물의 높이를 변화하였을 때의 수신전력에 대한 결과이다. 건물과 수신점의 거리가 10m 일 때의 결과를 보면, 건물 높이가 약 9.7m까지 수신 전력이 -126.7dBm으로 일정하다. 이것은 건물 높이가 9.7m이하 일때는 위성신호에 대한 건물의 감쇠 효과가 없다는 것이다. 즉, 식(4)의 장애물에 의한 회절 감쇠효과가 없는 조건이다. 건물 높이가 9.7m를 넘게 될 때부터 감쇠 효과가 적용되기 때문에 감쇠가 시작된다. 건물 높이가 20m일 때 회절 감쇠가 일어날 조건은 건물 높이가 19.7m 이상이며, 건물 높이가 30m 일때는 29.6m 이상이다. 전체적으로 수

신전력 값이 건물높이가 높아질수록 일정한 값으로 수렴 되는 형태를 보이는데 이것은 건물 높이가 높아질수록 회절 각도가 점점 커져 90°에 수렴하기 때문이다.

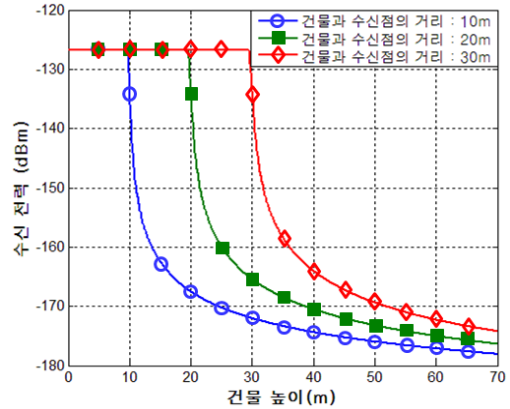


그림 6. 건물의 높이에 따른 수신 전력
Fig 6. The received power according to the building height

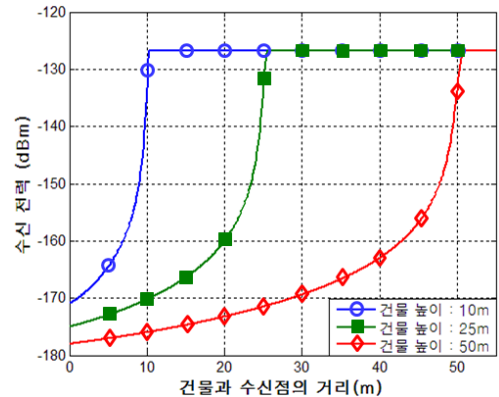


그림 7. 건물과 수신점의 거리에 따른 수신 전력
Fig 7. The received power according to distance between the building and receiving point

그림 7은 건물 높이를 10m, 25m, 50m로 각각 고정하고 건물과 수신점 사이의 거리를 변화시켰을 때 수신전력에 대한 결과이다. 건물과 수신점의 거리가 멀어질수록 건물에 의한 감쇠 효과가 적어지게 되므로 수신 전력이 점점 높아진다. 건물 높이가 10m일 때 건물의 감쇠 효과가 사라지는 지점은 10.3m 이며, 건물 높이가 20m일 때의 거리는 25.5m, 건물 높이가 30m일 때의 거리는 50.6m이다. 전체적인 결과를 보면 건물과 수신점의 거리가 멀어질수록 지수함수적으로 수신전력의 세기가 커진

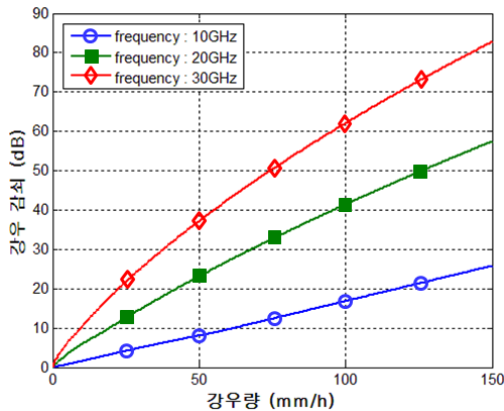


그림 8. 강우량에 따른 강우감쇠 변화

Fig 8. Rain attenuation by rain rate

다. 이것은 그림 6의 결과의 상반되는 개념으로, 거리가 가까울 때 회절 각도가 직각에 가까워짐에 따라 점점 멀어질수록 회절각도가 0° 에 가까워지므로 수신전력이 급격히 커지기 때문이다.

앞의 결과들을 보면 대체로 건물과 수신점 사이의 거리가 건물 높이와 비슷할 때 건물에 의한 감쇠효과가 사라지는 경향을 보인다. 본 시뮬레이션에서 적용한 위성의 양각이 44.952° 이기 때문에 나타나는 현상이다. 양각이 45° 보다 작다면 건물에 의한 감쇠 효과가 커지고, 양각이 45° 보다 크다면 건물이 비교적 높더라도 감쇠효과가 적어질 것이다.

표 3. 주파수 20GHz에서 강우량에 따른 강우감쇠

Table 3. Rain attenuation by rain rate at 20GHz frequency

강우량(mm/h)	강우감쇠(dB)
0	0
50	23.1775
100	41.4486
150	57.4569

강우 감쇠는 실제 통신을 하는 지역의 날씨를 반영하므로 매우 가변적이다. 그림 8은 2장 2절의 강우감쇠 수식에 대한 시뮬레이션 결과이다. 주파수가 높을수록, 강우량이 많아질수록 감쇠값이 커지는 경향을 보인다. 본 논문에서 고려하는 주파수에 대한 강우 감쇠 상세값은 표 3에 정리하였다. 이 강우 감쇠값은 전파가 대기를 통과하며 발생하는 손실로, 건물 높이 및 수신점과의 거리에 관계없이 일정한 값으로 적용된다. 즉, 앞서 도출한 그림 6, 7의 결과에 상수 형태로 더하여 최종 수신 레벨

에 반영될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 고정 궤도 위성으로부터의 신호가 수신되어 질 때 수신환경에 따른 전파 특성 분석을 위하여 도심지를 고려한 건물에 의한 감쇠 효과를 분석하였다. 위성 신호는 건물의 높이 및 건물과 수신점 사이의 거리에 따라 감쇠 영향을 크게 받으며, 높이와 거리에 의한 관계는 위성의 양각에 영향을 받을 수 있었다. 또한 강우감쇠의 의한 효과는 고려하고자 하는 날씨에 따라 적용할 수 있는 감쇠값들을 도출하였다.

본 논문의 결과는 향후 고정위성 통신 시스템의 설계를 위한 전파특성분석에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 연구된 건물에 의한 감쇠 효과 외에도 위성신호의 전파에 중요한 영향을 줄 수 있는 수풀, 지형 장애물 등에 대한 감쇠 효과에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] S.H. Nam, H.W. Kim, K.S. Kang and B.J. Ku, "Broadcasting and Communications Convergence Technology Trends via Satellite", Electronics and Telecommunications Research Institute, Electronics and Telecommunications Trends, Vol.25, no.2, 2010.04.
- [2] YS. Kang and DS. Ahn, "Research on the Next-Generation Satellite Mobile Communications," Electronics and Telecommunications Research Institute, Electronics and Telecommunications Trends, Vol.21, no.4, 2006.08.
- [3] Allan W. Scott, Understanding Microwaves, John Wiley Sons Inc., New York, pp. 341-480, 1993.
- [4] Kumoh National Institute of Technology, Industrial Technology Development Institute, "Study Satellite Automatic Tracking Antenna Calibration Technology", Korea Radio Station Management Agency, 2003.03.
- [5] Propagation by diffraction, ITU-R P.526-12, 2012.12.
- [6] Attenuation by atmospheric gases, ITU-R P.676-9, 2012.02.

[7] Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, ITU-R P.618-10, 2009.10.

[8] Specific attenuation model for rain for use in prediction methods, ITU-R P.838-3, 2005.03.

저자 소개

김 주 석(준회원)



- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
 - 2009년 2월 : 충북대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
 - 2009년 3월~현재 : 충북대학교 전자통신공학과 대학원(박사 과정)
- <주관심분야 : 이동통신 Cross Layer, 무선망 Scheduling, Cognitive Radio, 디지털 라디오, MIMO_OFDM, 위성통신>

유 창 현



- 1987년 2월 : 충남대학교 전기공학과 졸업
 - 1989년 2월 : 충남대학교 전자공학과 대학원(공학석사) 졸업
 - 1989년 2월~현재 : 국방과학연구소 군위성통신 시스템 설계
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신>

박 노 욱(준회원)



- 2009년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
 - 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자통신공학과 대학원(석사 과정)
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, 무선망 Scheduling, Cognitive Radio>

권 건 섭



- 1997년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
 - 1999년 2월 : 한양대학교 전자공학과 대학원(공학석사) 졸업
 - 2012년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 대학원(공학박사)
 - 2006년 1월~현재 : 국방과학연구소 군위성통신 단말 설계
- <주관심분야 : 위성통신, RF/안테나, 위성채널>

임 주 영



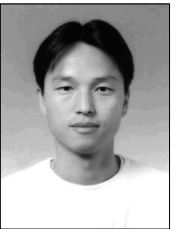
- 2010년 8월 : 한밭대학교 제어계측공학과 졸업
 - 2010년 8월~현재 : 아이엠테크놀로지
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, USN, 전력선통신>

김 경 석(정회원)



- 1989년 1월~1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
 - 1999년 1월~2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
 - 2002년 2월~2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
 - 2004년 9월~2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 - 2005년 3월~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : 전파감시/관리시스템, 전파신호처리, SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선통신, 디지털라디오, MIMO 무선채널분석>

임 태 혁



- 2000년 2월 : 충북대학교 재료공학과 졸업
 - 2004년 5월~현재 : 아이엠테크놀로지 시스템사업부
- <주관심분야 : 위성통신, 이동통신, USN>