황사로 인한 위성통신신호 감쇠영향 예측모델 연구

조승재* · 홍완표**

A study on the prediction model of attenuation influence of satellite communication signal by Asian dust

Seung-jae Cho* · Wan-pyo Hong**

요 약

본 논문은 1~20Ghz의 대역별 위성통신 신호에 미치는 영향에 대해 예측 모델을 제안하고 기존 황사시 측정한 데이터와 비교 분석하였다. 황사의 감쇠 특성을 분석하기 위해 황사 물질에 대한 이론적 분석을 하였으며 이를 통해 예측 감쇠량을 제시하였다. 예측 감쇠량을 실제 우리나라 황사 강도와 가시거리와 높이 등의 파라미터를 적용한 이론치를 구하여 4년간 측정한 실측치와 비교하였고 이를 토대로 황사로 인한 감쇠를 미리 예측 가능할 것으로 확인 되었다.

ABSTRACT

This paper presents the prediction model of attenuation characteristics of satellite communication signals operating in the range from 1 to 20GHz, associated with the effects of the Asian Dust. And this paper analyze the effects of the Asian Dust in theory that dust particles size and density, OPC, signal levels, exponentail distribution and the permittivity. The prediction model of the dust attenuation was got, combining the formula of the complex dielectric constant of Asian dust. Expressions for specific attenuation and attenuation are derived in terms of the height, visibility. Therefore it make an investigate to the prediction model of attenuation characteristics continuously.

키워드

prediction model, Asian dust, scattering, satellite communications, signal attenuation

Ⅰ. 서 론

최근 들어 위성 통신은 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 이런 위성을 이용한 서비스가 증대함에 따라 C와 Ku대역은 거의 포화상태에 이르고 있어 대용량의 정보를 전송하기 위해 주파수 대역이 높은 20Ghz 이상의 Ka대역 사용이 불가피한 실정이다.

이와 같은 전자기파를 이용한 전파통신은 대기중의 수증기, 산소 및 수소 등의 가스분자, 비, 안개, 구름, 눈과 진눈개비 및 자유전자로 전파에 영향을 받는다. 또한 우리나라의 경우 봄, 가을, 겨울철에 중국 사막지역에서 불어오는 황사 발생량이 증가하면서 이로 인해 지구국과 통신위성사이 송수신 되는 신호세기에 영향을 미칠 것으로 예상하고 있다[1].

현재 우리나라에서의 황사로 인한 위성신호감쇠영향에 대한 분석과 감쇠 예측모델 제시는 미비한 실정이다. 앞으로 20Ghz 이상의 높은 주파수 대역을 사용하면서 황사로 인해 야기될 수 있는 감쇠 영향을 분석하고 이

* 한세대학교 정보통신공학과

** 한세대학교 IT학부

접수일자 2008. 01. 23

에 대한 감쇠 예측 모델을 제시함으로 감쇠 값을 예측하고 시스템 설계시 링크버짓에 적용함으로써 위성통신 신호의 품질을 향상 시키고자 한다.

본 논문에서는 2004~2007년의 미세먼지농도(PM10: Particle Matter 10㎛), 광학입자계수(OPC: Optical Particle Counter), Lidar(Light + Radar)데이터와 L, S, C, Ku, Ka-Band의 5개 대역 위성 수신 신호를 분석하고 황사 유전체로 인한 산란 이론을 분석과 유전율 및 황사의 분포도, 가시거리와 높이 등의 감쇠 입력 제원들을 분석한다. 그림 1은 실측 데이터를 통한 측정치와 이론적으로 분석한 데이터를 통해 예측을 모델을 만드는 과정이다. 황사시 실제 측정한 신호레벨 감쇠값과 이론적 분석을 통해 나온 이론 분석값을 비교함으로 우리나라 황사시에 위성신호 감쇠량을 미리 예측하고 적용할 수 있는 모델링을 제시한다.

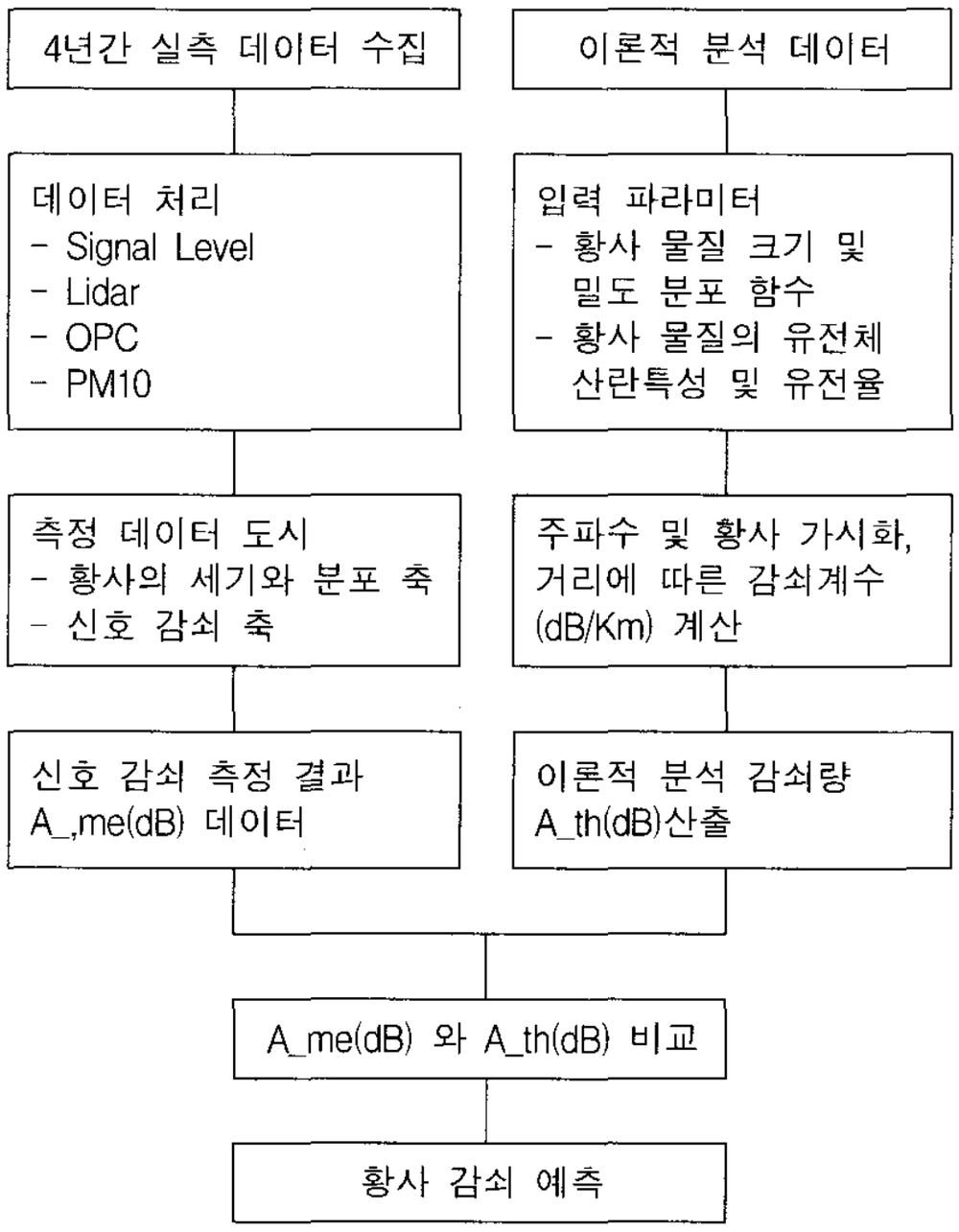

그림 1. 황사 감쇠 예측 절자
Fig. 1 Procedure for prediction of Asian dust attenuation

Ⅱ. 본 론

2.1 황사 측정 분석

가. 미세먼지농도(PM10)

미세먼지 농도라 불리는 PM10은 황사기간 중 백령도, 관악산, 지구대기관측소, 군산, 광주, 흑산도, 고산, 강화 등의 관측소에서 측정한다. 2004~2006년에 황사가 심하게 발생했을 경우 500$\mu g/m^3$이상의 농도를 보였으며 보통의 경우는 약 300$\mu g/m^3$의 농도를 보였다[2][3]. 그림 2는 2007년도에 측정한 PM10농도 그래프이다.

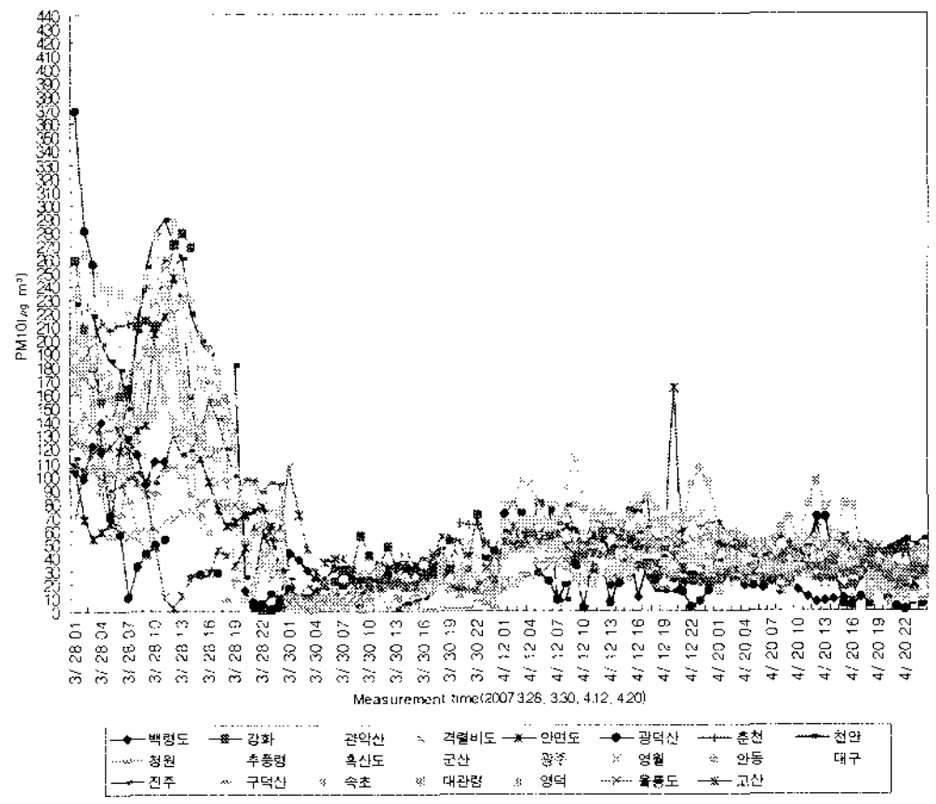

그림 2. 미세먼지농도(PM10) 측정 데이터(2007년)
Fig. 2 Measured data of Particle Matter 10㎛

나. 광학입자계수(OPC) 측정

광학입자계수기에 의해 측정된 황사데이터는 기상연구소에서 측정한 것으로 측정 시 황사의 크기를 8개의 분류로 나누어 입자의 크기를 측정하였다. 강한 황사가 왔던 2004년 3월 11일과 2005년 4월 19일과 20일, 2006년 4월 7일과 8일 사이에 작은 입자들은 급격히 줄어드는 반면 입자가 큰 것들은 상대적으로 늘어나고 있는 현상을 보이며 이는 대기중 중금속 성분이나 유기물 등이 늘어난 것으로 분석되고 있다[4]. 그림 3은 2005년도에 측정한 광학입자계수값과 동시에 측정한 신호레벨 값의 분포를 비교한 그래프이다. 대상은 Ka 대역주파수로 하였으며 OPC의 크기별 분포(1~30㎛)[5]와 측정된 Signal Level (dBm)[6]을 비교하였다. 황사 입자의 개개 크기 값만으로는 황사가 위성통신신호에 미치는 영향을 정형화하여 분석하기는 쉽지 않지만 대체로 일정하게 분산되어 있는 그래프를 통해서 그 추세선을 분석하여 다음

과 같은 식을 도출하였다.

$$y = -(5.0e-11)x^2 - (2.0e-06)x - 129.93 \quad (1)$$

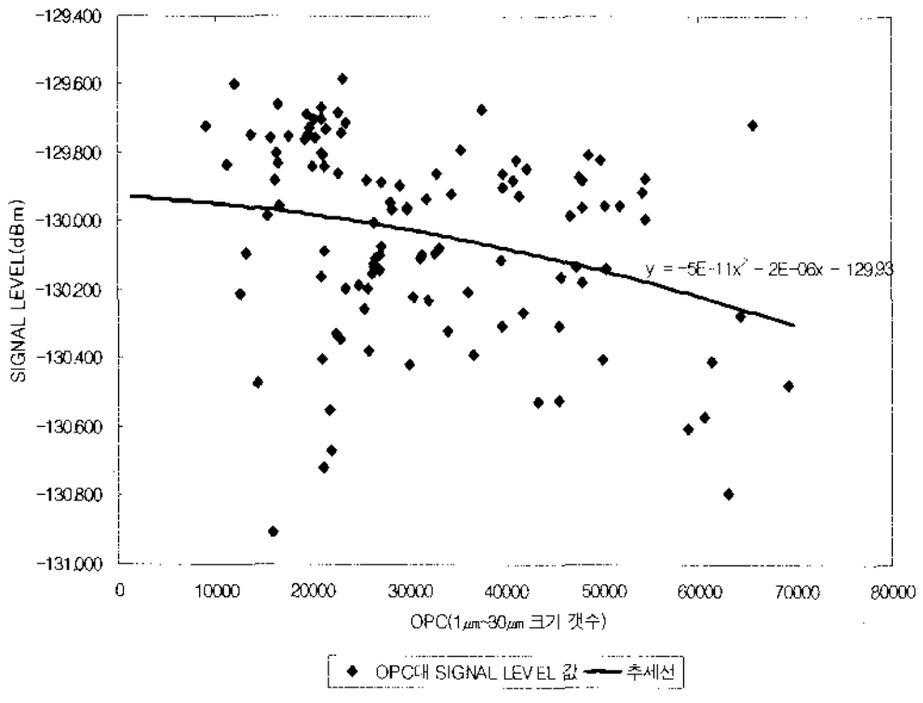

그림 3. 황사 수농도 대 Signal Level 값 분포 그래프 (Ka-band)

Fig. 3 Distribution graph of OPC value versus Signal Level value (Ka-band)

다. Lidar 측정

그림 4는 2007년도 황사 측정일을 대상으로 서울 Lidar 센터[7]에서 후방산란강도를 측정한 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 3km 이하의 고도와 3km 이상의 고도에서 황사가 부유하고 있다. 주로 아래층에 자리잡고 있는 황사는 무게가 무거운 입자이고 3Km이상 떠있는 입자는 가벼운 입자라고 볼 수 있다. 그리고 그 층의 두께는 약 2~3km로서 위성통신 신호가 상층과 하층에 동시에 영향을 받을 수 있다. 이를 후방산란강도 (Backscattering intensity)를 통해 크게 나타남을 알 수 있다.

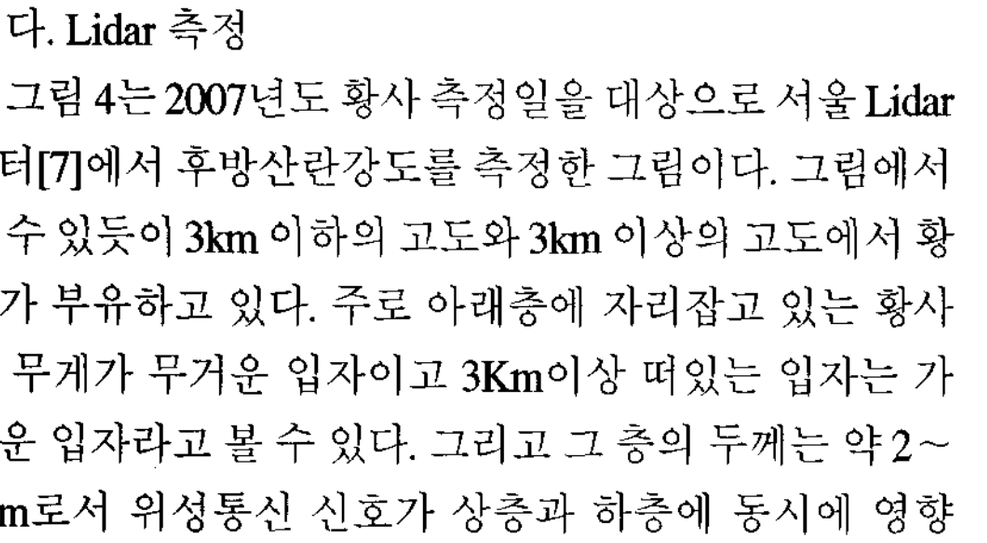

그림 4. 2007년도 Lidar 측정 데이터

Fig. 4 Procedure for prediction of Asian dust attenuation

라. 2004~2007년도 위성수신 신호분석

그림 5는 2004~2007년의 황사기간 동안 대역별 측정한 신호값의 최대 신호전력레벨과 최소 신호전력레벨 간의 차이 값을 분석한 것이다. 4년간의 측정값에서 L-Band의 경우의 평균 레벨차는 1.4dB, S-Band의 경우는 2.3dB, C-Band의 경우는 0.8dB, Ku-Band의 경우는 0.9dB, Ka-Band의 경우는 5.9dB로 분석되었다. L-, C-, Ku- 대역의 변동폭은 크지 않았던 반면에 S-와에는 Ka-대역의 변동폭은 가장 두드러지게 나타났다.

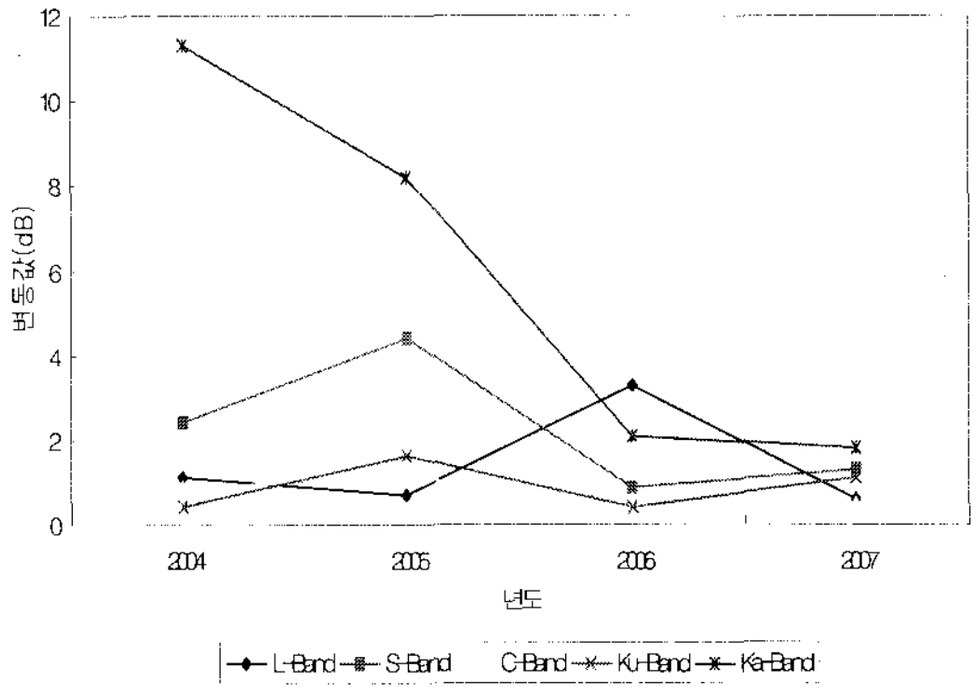

그림 5. 황사시 위성수신 신호 변동폭 그래프

Fig. 5 The graph of the fluctuation range of signal level values in Asian dust day

2.2 황사의 이론적 분석

가. 황사 입자의 분포도

황사 먼지 입자의 분포는 공기의 흐름 및 지면의 상태, 바람의 세기와 높이에 따라서 달라진다. 많은 부분의 요소들을 다 포함 시킬 수는 없지만 먼지 입자의 수와 크기, 밀도 등으로 그 단위 분포량을 알 수 있다. OPC의 데이터를 통해 먼지 입자는 대략 0.3 ~ 25㎛ 크기의 범위로 구성되어있음을 알 수 있다. 각 먼지 입자 크기와 그 수에 따라 분포 되어 있고 이 논문에서는 이것을 지수분포와 대수정규분포를 사용하여 파악하도록 한다. 표 1.는 2004~2007년의 황사의 세기별로 입자별 평균 반지름 크기와 그 수량 파라미터를 보여주고 있다.

$$\text{지수분포} : p(D) = \frac{1}{D_0} exp[-\frac{D}{D_0}] \quad (2)$$

대수정규분포:

$$p(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\, D\sigma} exp[-\frac{(\ln D - m)^2}{2\sigma^2}] \quad (3)$$

$$N(D) = N_0 \bullet p(D) \quad (4)$$

여기서 N_0는 m3 당 입자의 개수, D_0는 입자의 평균 반지름 (mm), m은 $\ln D$의 평균, σ은 $\ln D$의 표준편차이다.

표 1. 2004~2007년 황사의 크기 지수분포 파라미터
Table 1. Parameter of exponential distribution of Asian dust size from 2004 to 2007 year

황사 크기	D_0(1/mm)	N_0/m^3
강한 황사	1.03×10^{-3}	1.32×10^{6}
보통 황사	5.66×10^{-4}	2.08×10^{6}
약한 황사	4.90×10^{-4}	7.19×10^{5}

나. 유전율 해석

유전율은 단순한 상수 가 아니라 외부 장의 주파수 ω에 대한 복소함수 로 나타나게 된다. 진공과는 달리, 실제 물질이 외부 장에 반응할 때는 그 장의 주파수도 중요하게 작용한다. 물질이 가해진 장 자체에 반응하는 것이 아니라, 장이 가해진 이후 그에 따라 발생하는 일련의 변화에 반응함을 의미한다.

$$D_0 e^{iwt} = \hat{\epsilon}(\omega) E_0 e^{iwt} \quad (5)$$

여기서 D_0와 E_0은 각각 변위 장과 전기장의 크기를 나타내고, $i = \sqrt{-1}$은 허수 단위이다. 정적인 전기장에 대한 매질의 반응은 위의 유전율에서 주파수를 0으로 극한을 취해서 표현할 수 있으며, 이 유전율을 "정적 유전율" 혹은 유전 상수라고 한다.

정적 유전율과 낮은 주파수로 진동하는 장에서의 유전율은 비슷한 값이고, 주파수가 점점 높아지면서 D와 E사이의 위상차 δ가 커지기 시작한다. 이 차이가 눈에 띄도록 나타나는 주파수는 온도와 물성에 따라 달라진다. 평균적인 장세기 (E0)에서 D와 E는 비례하고 다음과 같은 공식이 성립한다.

$$\hat{\epsilon} = \frac{D_0}{E_0} e^{i\delta} = |\epsilon| e^{i\delta} \quad (6)$$

이렇게 장의 세기가 계속 변하는 경우 유전율은 복소 유전율이므로 다음과 같이 실수부와 허수부로 나눌 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'' \quad (7)$$

허수부는 매질에 의한 에너지 흡수 속도와 연관되어 있다. 복소 유전율은 보통 주파수 ω에 관한 복잡한 함수로, 유전체가 주파수에 따라 다양하게 장을 흡수하기 때문이다. 하지만, 실제로 주파수 영역이 좁다면, 유전율은 주파수에 무관하거나 간단한 모델 함수로 근사할 수 있다. 어떤 주파수에서 의 허수부가 양수인 경우에는 에너지가 흡수되어 손실이 생기고, 음수인 경우에는 이득이 생긴다. 다음 표 2는 과거의 연구를 통해서 조사된 유전율 값 테이블이다[8][9][10].

표 2 황사 먼지 입자의 유전율
Table 2. Dielectric permittivity index of dust particles

ε	10GHz	S Band	32GHz 점토	8.8GHz 점토	20㎛의 먼지	2㎛의 먼지
ε′	4.56	4.56	2.5	2.5	2.0	3.0
ε″	2.51	0.251	0.06	0.02	0.4	0.1

다. 온도 변화에 대한 유전율 영향

다음은 공기 중의 온도에 대한 유전율의 변화에서도 조사하였다. 기온이 달라짐에 따라 물질의 유전율이 변화된다. 다음은 유전율의 실수와 허수에 대한 온도에 따른 계산식이다[11].

$$\epsilon_w = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + i\lambda_s/\lambda} \quad (8)$$

$$\epsilon'_w = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)[1 - (\frac{\lambda_s}{\lambda})^{1-a} \sin\frac{a\pi}{2}]}{1 + 2(\frac{\lambda_s}{\lambda})^{1-a} \sin\frac{a\pi}{2} + (\frac{\lambda_s}{\lambda})^{2(1-a)}} \quad (9)$$

$$\epsilon''_w = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)(\frac{\lambda_s}{\lambda})^{1-a} \cos\frac{a\pi}{2}}{1 + 2(\frac{\lambda_s}{\lambda})^{1-a} \sin\frac{a\pi}{2} + (\frac{\lambda_s}{\lambda})^{2(1-a)}} + \frac{\sigma_w \lambda}{18.8496\times10^{10}} \quad (10)$$

그림 6은 식(10) 와 (11)을 분석하여 온도에 대한 복소 유전율 그래프로 나타내었다.

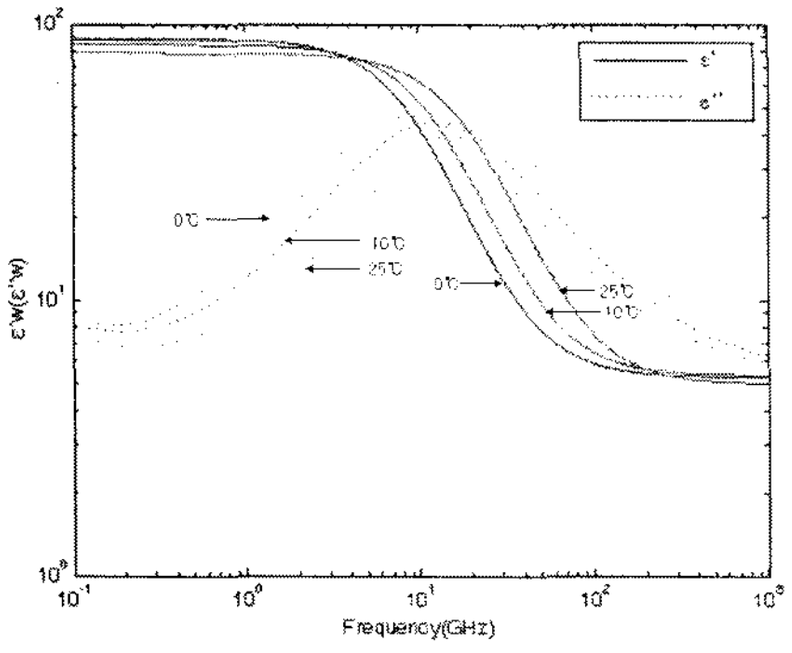

그림 6. 온도변화에 따른 복소 유전율의 실수부(ϵ')와 허수부(ϵ'')

Fig. 6. Real and imaginary part of complex dielectric constand due to temperature changed

Ⅲ. 신호 감쇠 예측

황사를 이루는 물질 입자가 크기와 형태가 일정하다고 가정하고[12] 전자기 이론으로 다음과 같이 특정 감쇠 상수와 위상 편이 상수 공식을 나타낼 수 있다.

$$\alpha = 8.686 k_0 Im[\sqrt{\epsilon_e}] \tag{11}$$

$$\beta = \frac{180}{\pi} k_0 Re[\sqrt{\epsilon_e}] \tag{12}$$

여기에서 ϵ_e는 황사 입자의 유전율이고, α는 특정 감쇠 상수, β는 위상 편이 상수이며, k_0는 자유공간에서의 전파 상수이다.

$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$임을 고려하고 식(11), (12)를 표현하면 다음과 같은 식을 유도 할 수 있다.

$$\alpha = -\frac{0.6287 f}{V_b} a_e Im[\frac{\epsilon_m^* - 1}{\epsilon_m^* + 2}] \text{ (dB/km)} \tag{13}$$

$$\beta = \frac{1.383 \times 10^3 f}{V_b} a_e Re[\frac{\epsilon_m^* - 1}{\epsilon_m^* + 2}] \text{(deg/km)} \tag{14}$$

여기서 a_e는 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$a_e = \frac{\int_{a\min}^{a\max} a^3 p(a) da}{\int_{a\min}^{a\max} a^2 p(a) da} \tag{15}$$

a_e는 황사 입자의 평균 반지름(mm), V_b는 황사 가시거리(km), ϵ_m^*는 황사 입자의 유전 상수이다.

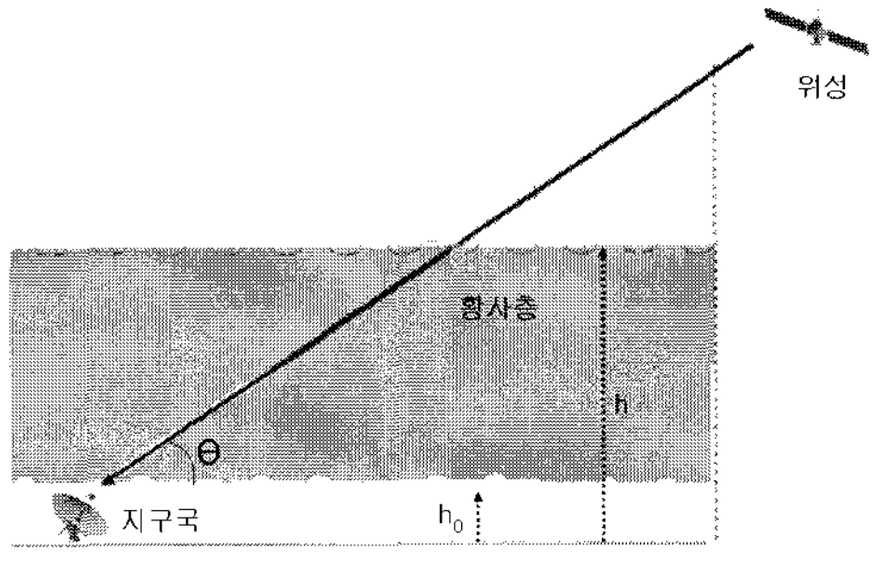

그림 7. 지구국과 위성 사이의 황사층

Fig. 7 Asian Dust along earth-space paths

그림 7에서 h_0는 황사의 하단 높이를 뜻한다. h는 황사의 높이이고 θ는 위성과 지구국간의 앙각을 뜻한다. 황사가 지상까지 덮여 있다고 가정하고 해수면을 기준점 삼아 지구국의 높이를 적용한다.

$$a_e = a_{0e} (\frac{h}{h_0})^{-\gamma_e} \quad \gamma_e = 0.04 \tag{16}$$

$$V_b = \frac{V_{b0}}{\exp[b(h - h_0)]} \quad b = 0.75 \tag{17}$$

V_{bo}와 a_{0e}는 각각 지구국의 높이가 h_0일 때 가시거리(km)와 황사 입자의 평균 반지름(mm)이며 f는 주파수 대역(GHz)이다. 위의 식(16)과 (17)를 식(13)에 대입하면

$$\alpha = -\frac{0.6287 f \exp[b(h - h_0)]}{V_{bo}} a_{0e} (\frac{h}{h_0})^{-\gamma_e} Im[\frac{\epsilon_m^* - 1}{\epsilon_m^* + 2}] \tag{18}$$

황사의 분포 밀도가 높이에서 다양함으로 감쇠 값은 다음과 같이 주어진다.

$$A = (\int_{h_0}^{h} \alpha \cdot dh)/\sin(\theta) \qquad (19)$$

그림 8은 황사 높이에 따른 특정 감쇠 상수변화를 표현한 그래프이다. 이 때 V_{bo} = 0.8Km , a_{0e} = 0.003 이다. 지구국(h_0)의 높이는 위성전파감시센터의 고도인 150m로 설정하였다. 그리고 황사의 높이(h)는 Lidar사진을 통해서 볼 수 있듯이 평균적인 4~5Km의 높이까지 측정하였다.

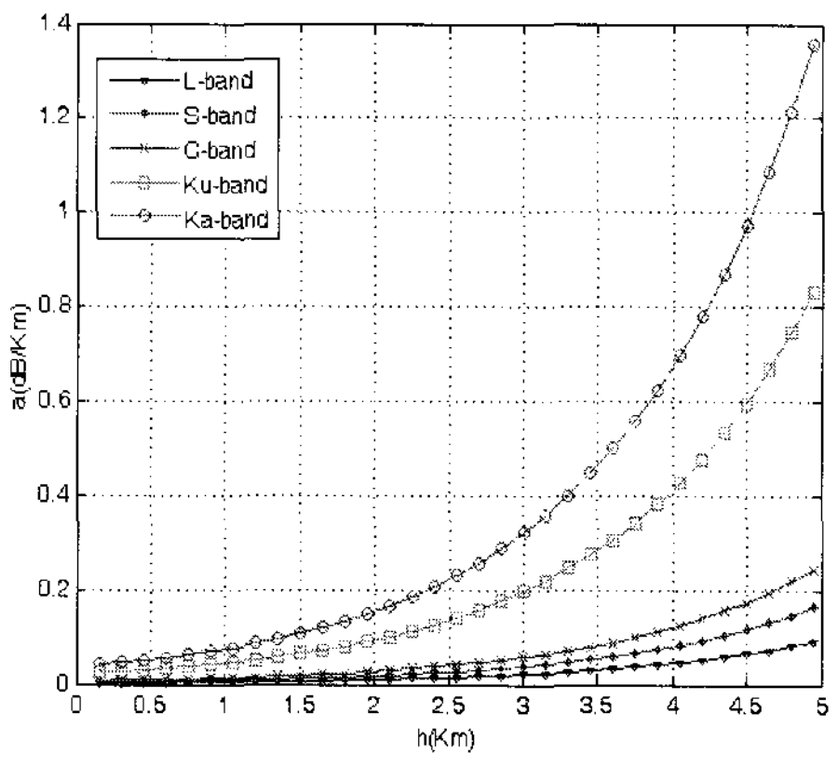

그림 8. 대역별 황사 높이에 따른 특정 감쇠상수 변화
Fig. 8 Variations in the specific attenuation constant due to the height of Asian dust

그림 9는 2004~2007년의 실제 측정한 신호레벨 값의 평균치와 이론적 분석을 통해 나온 값을 비교한 그래프이다.

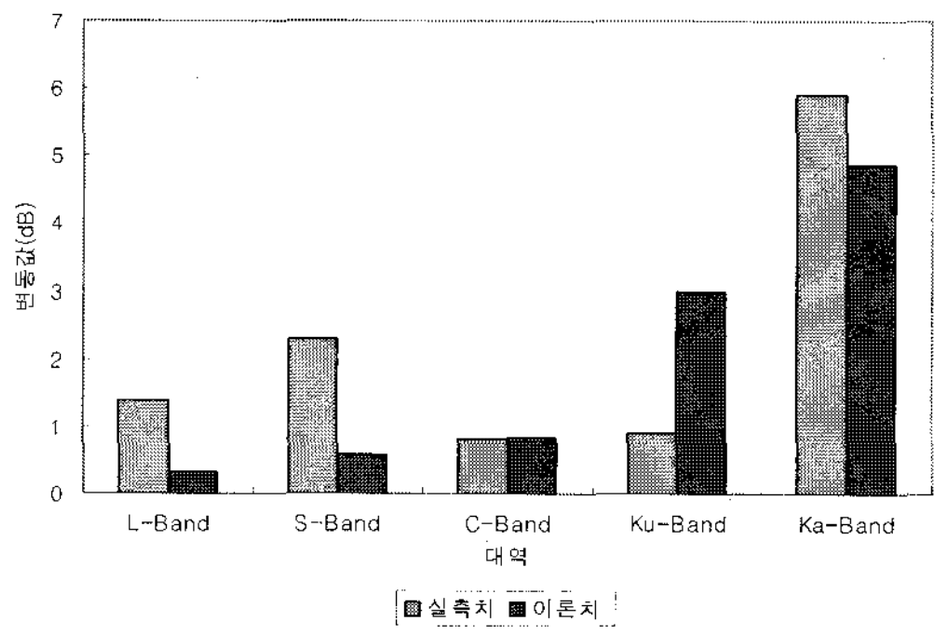

그림 9. Signal Level 평균 변동 값과 이론적 분석 값 비교
Fig. 9 The comparison of average fluctuation values of signal level with values are based theory analysis

V. 결 론

본 논문은 황사가 위성통신 신호에 어떠한 영향을 미치는지 측정을 통해 분석하고 또한 이론적 분석을 통해 예측모델을 제시하여 중국으로부터 불어오는 황사에 대한 감쇠 값을 미리 파악하고 시스템 링크 버짓시 이를 반영하는데 목적으로 하고 있다.

실측치 분석을 위해 4년간의 황사기간 동안 광학입자계수(OPC), 미세먼지농도(PM10), Lidar 데이터와 위성수신 신호레벨 값을 측정하였고 측정결과 강한 황사와 보통 황사시 특정 감쇠가 있음 확인하였다.

이에 따라 황사의 영향을 이론적으로 분석하고 접근하기 위해 입력 파라미터가 되는 황사 물질 크기 및 밀도, 수농도와 신호레벨과의 관계, 분포함수에 대한 분석과 황사 물질의 유전율에 대한 조사를 통해 이론적 감쇠 공식을 적용하였다.

황사를 구성하는 구형 유전체에 의한 감쇠영향을 분석하였으며 모래 및 먼지에 대한 유전율을 분석하고 논하였다. 또한 수농도와 신호레벨과의 관계에서 추세선의 공식을 통해 대역별 감쇠 영향에 대해 분석하였으며, 실제 위성과 지구국간의 황사에 의한 상관관계를 황사의 가시거리와 입자의 분포, 유전율의 파라미터를 이론적 분석에 적용하여 도출한 측정치와 4년간의 데이터 실측 평균치를 비교함으로 황사로 인한 감쇠를 이론적으로 미리 예측 가능하게 하였다.

본 논문에서 분석한 4년간의 위성수신 신호레벨 데이터 외에 향후 계속적으로 꾸준하게 황사 데이터와 위성수신 신호레벨을 수집, 분석하여 보다 객관적인 데이터로 황사가 위성수신 신호에 미치는 영향을 검증하고 보완해야 할 것이다.

참고문헌

[1] Wan-pyo Hong, Yong-Sin Chun "A Study on the Effects of Asian Dust to the Signal of Satellite Communication", Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society Vol.15 No.7 pp722~729, July 2004

[2] Wan-pyo Hong, "Attenuation Characteristic of Satellite Communication signal Associated with Asian Dust in

the Frequency Range L-band to Ka-band", AIAA 2007-3257, 2007.

[3] 홍완표 외 4인, "마이크로웨이브 주파수대역을 사용하는 정지위성신호의 모래먼지(黃沙)에 의한 변화특성", ICMIP, 2005

[4] Wan-pyo Hong, "An Analysis of attenuation characteristic of satellite communication signal associated with Asian sand dust in the frequency range L-band to Ka-band" ClimDiff 2005, Cleveland, U.S.A, 2005.

[5] Wan-pyo Hong, "An Analysis of GEO satellite communication signals in L- to Ka-band Associated with Asian Sand Dust", JC-SAT2005, Nagoya, Japan, 2005

[6] Wan-pyo Hong, "A study on GEO satellite signals in L -to Ka-band affected by Asian Sand Dust", International Journal of KIMICS, Vol. 3, No. 3, September 2005.

[7] http://www-lidar.nies.go.jp/Seoul/index.html

[8] S. I. Ghobrial, "The effect of sand storms on microwave propagation," Proc. Nat. Telecomm. Conf., Houston, TX, vol. 2, Proc. No. CH1539-6/80/0000-0216, pp.43. 5.1-43.5.4, 1980.

[9] Goldhirsh, J., "A parameter review and assessment of attenuation and backscatter properties associated with dust stroms over desert regions in the frequency range of 1 to 10 GHz", IEEE Trans. And. Propaga., AP-30, 1121, 1982.

[10] Smith, E.K., and W.L. Flock, "Propagation through Martian dust at X- and Ka-band", TDA Progress Report 42-87, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, 291, July-September 1986.

[11] ZHOU Wang, ZHOU Dong-fang, HOU di-ting, Hu Tao, WENG Ling-wen, "Calculation and simulation of sand and dust attenuation in microwave propagation.", High Power Laser and Particle Beam Vol.17 No.8, Aug. 2005.

[12] T. S. Chu,"Effects of sandstorms on microwave propagation."Bell Syst. Tech. j.. Vol 58, no. 2, Feb. 1979.

저자소개

조 승 재(Seung-Jae Cho)

2006년 한세대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2008년 한세대학교정보통신공학과 (공학석사)
※ 관심분야 : 위성통신시스템, 네트워크 등

홍 완 표(Wan-Pyo Hong)

1991년 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년 광운대학교 전자공학과(공학박사)
1990.8 ~ 1997.11 정보통신부 통신정책국, 정보화기획실, 전파방송관리국통신사무관
1997. 11~1999. 11 : 삼성전자(주) 위성사업 T/F팀, 전송영업그룹장
1999. 11~2001.2 : 광운대학교정보통신연구원 연구전담교수
2002년 1월 ~ 2003년 12월 : 한국정보통신기술사협회장
2002.3 ~ 현재 : 한세대학교 IT학부 교수
※ 관심분야 : 위성통신시스템, 초고주파소자설계 등