

# 밀리미터파 무선통신로 멀티미디어 통신 시스템에서의 성능분석

강희조 · 서의현 · 최병갑

목원대학교 컴퓨터공학과

## Performance Analysis of Multimedia Communication System in Millimeter Wave RF Channel

Heau-Jo Kang · Euy-Hyun Suh · Byung-Kab Choi

Department of Computer Engineering, Mokwon University

Tel: 82-42-829-7634 / FAX : 82-42-824-7634, e-mail : hjkang@mokwon.ac.kr

### ABSTRACT

본 논문에서는 문자, 음성, 영상 등 멀티미디어 정보를 고품질로 전송할 수 있는 광대역 밀리미터파 무선통신로의 전파전파 특성의 성능분석 및 이의 응용에 대하여 검토한다.

### I. 서 론

최근 사회가 급속하게 고도 정보화 사회로 발전되면서 셀룰러, PCS, 이동 및 위성통신 등 여러 분야에서 전파의 사용이 급증하고 있으며, 서비스 정보의 형태도 음성, 데이터, 문자, 정지 영상, 동영상의 대용량 실시간 전송에 이르기까지 영역이 넓어지고 있다. 따라서 문자, 음성, 영상 등의 멀티미디어 정보를 고품질로 전송하기 위하여, 넓은 대역폭을 제공할 수 있는 밀리미터 대역의 무선 통신이 요구되고 있다. 밀리미터파 대역이란 통상적으로 전파의 파장이 1mm에서 10mm인, 주파수 대역이 30GHz에서 300GHz 사이의 스펙트럼 대를 말하는 것으로 고속의 데이터나 영상정보를 분배할 수 있는 광대역성을 가지고 있다. 이런 이유로 수 년 전부터 서비스 제공업체나 시스템 설계 업체들의 많은 관심을 받고 있지만, 아직은 기술의 이용성 및 활용성에서 개발이 상당히 낙후되어 통신, 레이더, 전파천문 등에서 일부 활용되고 있는 대역이다.

밀리미터파 대역을 이용하기 위해서는 전파전파 특성에 대한 고려가 선행되어야 한다. 마이크로파 시스템에서의 전파전파 손실은 주로 자유공간 손실에 의하여 발생하거나 밀리미터파 대역에서는 대기 중의 가스나 강우에 의한 감쇠가 추가로 발생한다. 따라서 저주파수 대역은 수 십 마일 이상을 전파하고 건물 등도 더욱 쉽게 투과가 가능하지만 밀리미터파의 경우에는 겨우 수 마일을 전파할 수 있으며 고체매질을 잘 투과하지 못한다. 그러나 이러한 전파 특성들이 단점뿐만 아니라 오히려 잘만 이용하면 주파수 재사용 거리의 단축에 의해 주파수 이용효율과 통신의 보안성을 높일 수 있는 장점으로 이용

할 수도 있다.

최근에 모든 선진국들은 LAN과 PCN에서 개발된 이동전화, 팩스, 데이터 전송, 화상회의와 같은 새로운 통신 서비스에 대한 폭발적인 수요가 요구된다[1]. 실제적인 글로벌 통신 네트워크의 목표로 현재 개발중인 자동화도로교통시스템(Intelligent Vehicle Highway System : IVHS)과 같은 서비스와 기존의 PCN과의 통합에 직면해 있다[2].

본 논문에서는 멀티미디어 정보를 고품질로 전송할 수 있는 광대역 밀리미터파 전파전파 특성과 전파에 영향을 미치는 여러 가지 실제적인 요소를 고찰하고, 이의 주요 응용 시스템에 대하여 검토한다.

### II. 밀리미터파의 전파 전파 특성

#### 2.1 가스 흡수(Gaseous Absorption)

밀리미터파에 대부분 영향을 끼치는 대기 가스는 수증기와 산소이다. 가스 감쇠는 가스의 압력, 온도, 밀도에 따라 변화한다. 수증기와 산소에 의한 밀리미터파 흡수를 지배하는 기본 메카니즘[3]에서 폭넓게 설명되었다. 대략적으로 이야기하면, 물분자는 전기 분극 모멘트가 0이 아닌 반면에 산소 분자는 자기 분극 모멘트를 나타낸다. 어떠한 주파수에서 무선 전파와 상호작용 할 때, 위의 모멘트는 전파 영역에서 운반된 에너지 중 일부를 소실한 분자들과 forced rotation이 만들어진다. 흡수는 가스 분자의 공진 주파수에 대응하여 최대가 되도록 만든다. 높은 고도에서 에너지 손

실은 공진 주파수 근처에서 좁은 범위로 제한된다. 공진 피크치는 아주 예리하지 않고, 분자운동으로 유기된 도플러 현상에 기인하여 그들의 폭은 작다. 반면에, 낮은 고도에서 분자들 사이의 빈번한 충돌에 기인하여 더욱 넓은 범위에서의 공진 대역 확산과 높은 가스 밀도로 인해서 감쇠는 커지게 된다.

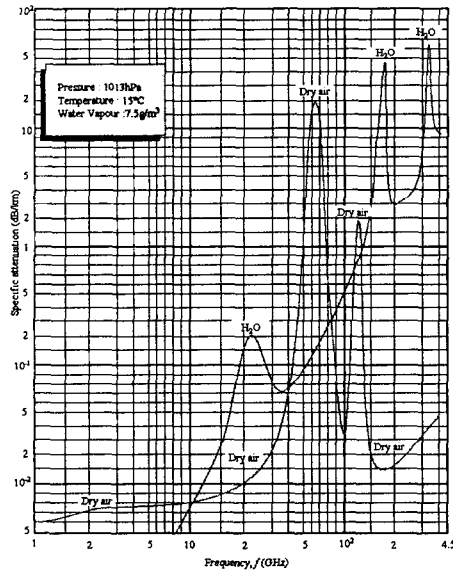


그림 1. 대기감쇠계수[기압 : 1013mb, 기온 : 15°C, 수증기 밀도 : 705g/m<sup>3</sup>]

2.2 수증기 흡수(Water Vapor Absorption)

수증기는 22, 183, 323 GHz[5]대역에서 분자 공진 현상에 의해서 3개의 흡수 피크치를 나타낸다. 대기압  $p_{atm}=1 \text{ atm}(1013.6 \text{ mb})$ , 온도  $T=20^\circ \text{C}$ , 수증기 밀도  $\delta_w=7.5 \text{ g/m}^3$ (약 40 %의 상대 습도에 대응)로 놓으면, 해수면(h=0 km)에서 감쇠 커브가 그림 1에 도시된다. (아래에서 설명된) 산소 흡수에서 발생된 것과 달리 수증기의 최대 흡수치에 대응하는 주파수의 사용은 대기 상태(즉, 온도, 압력, 습도)와 아주 밀접한 관련이 있으므로 무선 링크에서 주의 깊게 피해야 한다.

표 1. 산소흡수 영역의 대역 분할

f (GHz)	Band	Spec.attenuation (dB/Km)	Type
39.5~51.4	W1	0.3(miximum)	Window band
51.4~66	A1	15.5(peak)	Absorption band
66~105	W2	0.05(minimum)	Window band
105~134	A2	1.7(peak)	Absorption band

2.3 산소 흡수

분자 산소는 48과 72 GHz 사이에서 45의 공진

침투값을 보여준다. 분자충돌에 의한 낮은 고도(높은 대기압)에서 seamless한 감쇠 커브와 모두 결합되어 진다. 게다가, 산소는 119GHz에서 단일 공진 흡수선을 보여준다. 그림에서 해발에서의 침투값이 1.7dB/km이다. 표 1은 산소흡수영역[4]에 기초로한 실제로 기준에 사용된 대역 분할을 보여준다.  $P_{atm}=1$ 이고  $T=20^\circ \text{C}$  인대지 레벨에서의 특정감쇠가 그림 1에 나타내었다.

특정 감쇠의 최대치는 60 GHz에서 약 15.5 dB/km이고, 여기서 수증기 감쇠는 약 0.1dB/km 이어서 무시될 수 있다. 산소흡수 특성의 이용에 특별한 관심이 있으므로 가스 감쇠가 산소의 존재에 주로 영향을 받는 60 GHz 주위의 주파수 영역에서의 감쇠만으로 관심 영역을 제한한다. ITU-R(CCIR)에 따르면 10GHz 위의 주파수에 대한 청정 대기에서의 굴절지수  $n_0$ 는 다음과 같이 주어진다[5].

$$n_0(p_{atm}, p_w, T) = 1 + \left[ \frac{77.6}{T} \left( p_{atm} + 4810 \frac{p_w}{T} \right) \right] \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

여기서,  $T$ 는 켈빈 절대 온도이고,  $p_{atm}$ 은 mbar에서의 기압계 압력이며,  $p_w$ 는 mbar에서 수증기의 부분압력이다. 그러나, 이러한 모델은 산소 흡수 영역 근처에서 더 이상 올라가지 않는다. Ott와 Thompson[6]은 낮은 고도의 산소 흡수 대역에서 올바른 대기 굴절 지수용 확장 모델을 개발하였다. 흡수 선 근처에서, 굴절 지수는 주파수에 의존하는 항과 주파수와 무관한 항의 합으로 만들어지는 복소수  $\bar{n}$ 이며 다음과 같다.

$$\bar{n}(f, p_{atm}, p_w, T) = n_0(p_{atm}, p_w, T) + n_R(f, p_{atm}, T) + jn_I(f, p_{atm}, T) \quad (2)$$

여기서,  $f$ 는 반송파 주파수이고,  $j=\sqrt{-1}$  이고,  $n_R$  과  $n_I$ 에 대한 표현은 [6]에서 정해져 있다. 실험적 측정치에 기반으로 한 특정 산소 흡수  $\alpha_{oxy}$ 에 대한 간단한 모델이[6]에서와 같이 (2)에 유도되었다.

$$\alpha_{oxy} = \frac{0.2422f}{1 + \left( \frac{60-f}{3.92} \right)^2} \frac{p_{atm}}{1013.25} \left( \frac{300}{T} \right)^2 \quad (3)$$

여기서,  $\alpha_{oxy}$ 는 dB/km,  $f$ 는 GHz,  $p_{atm}$ 은 mbar,  $T$ 는 K로 표현된다. (3)로부터 고정된 주파수에 대하여,  $\alpha_{oxy}$ 는  $p_{atm}$ 와  $T$ 의 함수이며, 임의의 점에서( $p_{atm}, T$ ), 이들 두 파라미터는 반대방향으로 변화할 때 초대 기울기를 가진다. 압력이 증가하고, 온도가 감소하면 분자 밀도가 증가하고 그러므로, 감쇠가 크게된다. 흡수 대역 근처에서 굴절 지수는 복소수이므로, 반송파 주파수 근처의 대기

나 흡수 대역 내를 전파하는 광 대역 신호는 흡수를 겪게 된다. 푸리에 변환 기법과 [6]에서 제안된 대기굴절 모델을 사용한 그러한 흡수에 관한 해석적 연구에서 이용될 수 있고, 흡수하는 전파성의 대기에서 펄스 왜곡에 관한 자세한 연구는 [7]에서 나타내었다.

2.4 신틸레이션 페이딩

더 나아간 왜곡의 소스는 낮은 대기층을 통해 전파하는 동안 전자기파에 영향을 끼치는 대류권 난류에 기인한 굴절 지수의 랜덤한 요동으로 표현되며, 수신된 신호의 진폭과 위상의 흔들림을 유도한다. 이러한 현상을 신틸레이션 페이딩이라고 하며, 신호 파동의 분산과 진폭 스펙트럼으로 나타낸다. 실험 측정치는 비록 흡수 대역에서 증가되지만, 신틸레이션 페이딩 효과는 실제 응용에서 무시할 수 있는 것으로 나타났다.

2.5 강우 감쇠(Rain Attenuation)

60GHz 전파에서 더 나아간 문제는 강우 감쇠이다. 강우와 무선 전파 사이의 상호 작용은 주어진 강우율에 대하여 떨어지는 물방울의 크기와 모양에 따른 감쇠를 일으킨다. 떨어지는 물방울의 크기에 관한 몇 가지 다른 분포가 강우 감쇠의 예측 치와 거의 일치하지 않은 채로 문헌들에서 제안되어 왔다. 문헌[8]에서의 값을 사용하면,  $T=20^{\circ}C$ 에서 LP drop size 분포를 사용하여 그림 2에서 보여진 커브를 도시할 수 있다.

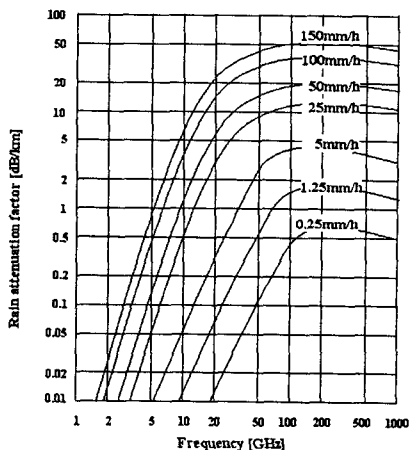


그림 2. 주파수와 강우감쇠( $T=20C$ )

2.6 안개와 구름의 영향

안개와 구름은 지름이 0.1mm 보다 작은 물방울로 이루어져 있으며, 마이크로파대에서 밀리미터파대 사이의 감쇠계수  $g(dB/Km)$ 는 단위 체적당 수분의 질량  $M(g/m^3)$ 에 비례한다는 것이 이론적으로 알려져 있다.

$$\gamma = K \cdot M \tag{4}$$

여기서  $K$ 는 물의 유전율과 전파의 주파수에 의해 결정되는 계수로 계수  $K$ 의 주파수 특성을 그림 3에 나타낸다.

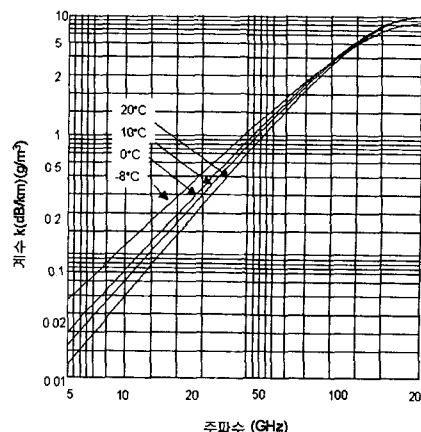


그림 3. 안개와 구름에 의한 감쇠특성

2.7 나뭇잎에 의한 손실

나뭇잎에 의한 밀리미터파 대역의 손실은 아주 중요한 요소로 작용하며, 어떠한 경우에는 나뭇잎에 의한 전송손실이 전파전파의 특성을 제한하는 주요 요소로 간주되는 경우도 있을 수 있다. 나뭇잎에 의한 전파감쇠를 예측하기 위한 실험식이 ITU-R의 보고서 236-2에 언급되어 있는데, 나무숲의 길이가 400m 이내인 경우 손실을 계산하는 관계식은 다음과 같다.

$$L = 0.2 f^{0.3} R^{0.6} dB \tag{5}$$

여기서  $f$ 는 MHz 단위의 주파수이며,  $R$ 은 파의 진행방향으로의 길이로써 m으로 표시된다. 식 (5)은 주파수 대역 200~95,000MHz에서 적용 가능하며 예를 들어 40GHz의 경우 숲의 길이가 10m라면 나뭇잎에 의한 손실은 약 19dB가 되며, 이 손실은 무시할만한 적은 손실량이 아님을 알 수 있다.

2.8 산란 및 회절에 의한 손실

송수신기간의 비 가시거리가 형성되더라도 송신신호는 수신기 근처의 반사체에 의한 반사에 의하여 수신기에 도달할 수 있다. 밀리미터파와 같이 파장이 짧은 파는 회절효과가 미미하며 빛과 같이 세도우 효과나 반사에 더 영향을 받기 쉽다.(이러한 세도우 현상은 통신시스템에서 불요파의 수신을 막아주는 차폐효과를 제공하기도 한다.) 어찌되었거나, 비 가시거리 상황의 수신기에서 전파의 수신에 큰 영향을 미치는 것은 반사파에 의한 에너지의 전달이다.

반사나 반사에 의해 발생하는 신호의 분산정도는 반사매질의 반사도에 크게 좌우되며, 밀리미터파와 같은 매우 파장이 짧은 파의 경우에 매질의

반사면은 매우 거칠게 작용하게 되어 결과적으로 많은 분산을 발생시켜, 통상적인 반사파에 비하여 수신기에 도달하는 에너지의 양이 줄어들게 된다.

### 2.9 하늘 잡음(Sky noise)

전자파 에너지를 흡수하는 모든 물질은 또한 방사체로 작용한다. 즉, 수증기, 산소 그리고 빔방울과 같이 전파전파 손실을 야기하는 대기 중의 구성 성분들은 잡음과 같은 신호를 방사한다. 이러한 신호들이 수신용 안테나로 유입되면 시스템의 성능을 저하시키게 된다. 큰 양각으로 위성을 지향하고 있는 지구국 안테나는 대기 중의 여러 구성 성분으로부터 방사되는 하늘 잡음을 수신하게 되는데, 이 경우의 잡음 정도를 하늘 잡음 온도라고 부른다.

하늘 잡음의 경우에도 밀리미터파 대역의 가스 분자의 공진주파수에서 침투값이 발생함을 알 수 있으며, 이 현상은 결국 밀리미터파 대역을 통신에 적용하기 위한 적합성의 여부에 영향을 미치게 된다.

### 2.10 강설의 영향

눈 조각은 얼음, 물, 공기의 복합체이기 때문에, 전파전달에 영향을 미친다. 눈의 용해도에 따라서 전파의 감쇠특성과 산란특성은 현저한 변화를 보인다. 그러나 싸락눈에 의한 마이크로파대, 밀리미터파대 감쇠는 작은 편이다. 하지만 젖은 상태의 눈이 내릴 때는 밀리미터파도 눈에 떨 정도로 감쇠 되는 경우가 있다.

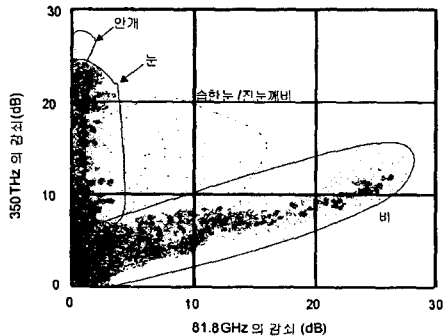


그림 4. 비가 내릴 때 밀리미터파와 가시광의 감쇠 비교

## III. 밀리미터파의 응용시스템

### 3.1 밀리미터파 무선통신 시스템

밀리미터대 통신 시스템으로는 50 GHz대 간이 무선국, 초고속 무선 LAN 시스템, 이동 또는 광대역 무선 액세스 시스템, HDTV의 FPU(Field Pick-up Unit) 시스템, 이동체 퍼스널 위성통신 시스템, 열차통신 시스템, 방송용 시스템 등을 살

펴볼 수 있다.

### 3.2 근거리 센싱 시스템

밀리미터파대 전파가 가진 광대역성, 장치의 소형·경량성, 간섭 억압성을 살려서 근거리에서 고분해능의 센싱 시스템으로는 장애물검지·충돌방지 등을 목적으로한 차재용 레이더, 대지속도 센서, 고정밀도의 위치인식 시스템, 침입검지, 비접촉 카드 시스템 등이 예상되는 시스템이다.

### 3.3 첨단 차량 및 도로시스템 기술

차량으로부터 또는 차량으로 실시간 전송해야 하는 정보의 형태는 매우 다양한데, 그 중 차량간 정보통신의 유형은 크게 운전자 사이의 정보교환을 의미하는 개인적인 정보와 차량의 운행상태 즉 위치, 속도, 가속도 및 운전자의 조작의도를 상호 교환하는 차량의 안전운행관련 정보 등으로 구분할 수 있다. 현재 차량과 차량간의 무선통신 방법으로 많이 이용되고 있는 것은 적외선 통신과 밀리미터 통신인데, 밀리미터파인 경우에는 차간거리 측정용으로 사용되는 밀리미터파 레이더가 76GHz/24GHz/60GHz 대역에서 연구 중에 있다.

### 3.4 지구환경 리모트 센싱·전파천문

지구환경 문제로는 오존층파괴, 지구온난화, 산림파괴, 사막화, 해양오염파괴 따위를 들 수 있다. 매질에 의한 밀리미터파의 흡수, 산란, 열잡음 방사 특성을 관측하는 것에 의해 역으로 매질의 물리학적 특성(온도, 밀도 등)에 관해서 아는 것이 가능해진다. 이러한 전파를 이용한 리모팅 센싱에는 이미지 어레이 수동형과 능동형이 있다. 또한, 전파천문의 주역은 성간 분자의 관측, 별의 탄생에 관한 영역 연구, 행성계의 형성에 관한 연구 등이 있으며, 전파천문의 핵심이 되는 관측기술은 성간 분자에서 열적으로 방사된 미약한 전파를 고감도 또는 고 각도 분해능으로 관측하는 것이다.

## IV. 결론

문자, 음성, 영상 등 멀티미디어 정보를 고품질로 전송할 수 있는 광대역 밀리미터파 무선통신에의 전파전파 특성의 성능분석 및 밀리미터파대 전파의 특징으로 기대되는 이용분야, 밀리미터파대 주파수 할당의 동향 등에 대하여 검토하였다. 21세기의 고도정보사회에 있어서 밀리미터파 이용시스템은 중요한 일익을 담당할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] Special issue on "Wireless Personal Communications", IEEE Communications

- Magazine, 1995.
- [2] I. Catling (ed.), *Advanced Technology for Road Transport*, Artech House Publishers : London, 1994.
  - [3] A.W. Stration, "The absorption and Reradiation of Radio Waves by Oxygen and Water Vapour in the Atmosphere", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* pp. 595-597, 1975.
  - [4] R. Steele, "Towards a High-Capacity Digital Cellular Mobile Radio System", *IEE Proceedings, Pt. F*, pp. 405-415, 1985.
  - [5] CCIR Study Group 5, "Recommendations and Reports of the CCIR", Vol. 4, International Telecommunications Union, Geneva, 1982.
  - [6] R.H. Ott and M.C. Thompson Jr., "Characteristics of a Radio Link in the 55 to 65 GHz Range", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 873-877, 1976.
  - [7] C.J. Gibbins, "Propagation of Very Short Pulses Through the Absorptive and Dispersive Atmosphere", *IEEE Proceedings, Pt. H*, pp. 304-310, 1990.
  - [8] R.L. Olsen, D.V. Rogers and D.B. Hodge, "The a Rb Relation in the Calculation of Rain Attenuation", *IEEE Transactions in Antennas and Propagation*, pp. 318-329, 1978.