

# 57~64 GHz 밀리미터파 대역 분배 방안 연구

## A Study on the Allocation Plan of 57~64 GHz Millimeter Wave

서 지 영 · 안 준 오

Ji-Young Seo · Jun-Oh Ahn

### 요 약

30 GHz 이상의 밀리미터파 대역에서 1 Gbps 이상의 초고속 광대역 서비스 제공에 적합한 57~64 GHz 대역에 대한 국내·외 주파수 및 기술 표준화 동향을 조사하고, 이에 대한 서비스 시나리오 및 60 GHz 대역에 대한 주파수 특성을 분석하였다. 이를 통해 1 Gbps급 ASK 변조 모뎀의 채널 대역폭은 2.5 GHz가 필요하고, 양 방향 FDD 통신을 구현하기 위해 전체 7 GHz 대역폭이 필요함을 산출하였다. 산출된 결과에 따라 국내에 적합한 57~64 GHz 밀리미터파 대역에 대한 주파수 분배 방안을 제안하였다.

### Abstract

We surveyed the international and national spectrum & technical standardization trends of extremely adaptive frequency bands 57~64 GHz that can provide 1 Gbps bit-rate ultra broadband service in above 30 GHz millimeter waves, and analyzed service scenarios and the characteristics of these bands. As a result of these analyses, 1 Gbps ASK channel bandwidth needs 2.5 GHz and total bandwidth calculated 7 GHz for dual FDD. Finally, we proposed the nationally suitable allocation plan of millimeter wave bands 57~64 GHz.

Key words : Millimeter Wave, 60 GHz, PtP, WPAN, Allocation Plan

### I. 서 론

초고속 인터넷과 이동통신이 생활에 필수적인 요소로 등장함에 따라 광통신 기반 백본망도 진화가 거듭되어 왔다. 이러한 초고속 인터넷과 이동통신의 보편화에 이어 인터넷 서비스 제공자와 인터넷 이용자, 이동통신 콘텐츠 제공자와 이용자간에 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 급속히 증가하고 있는 추세이다. 따라서 이러한 멀티미디어 통신 수요의 변화를 수용하기 위해서는 기존 유선 구간 및 무선 구간의 지속적인 전송 성능 향상이 요구되고 있다. 이제까지 백본망으로는 광통신망이 주류를 이루어 왔으며, 이에 대한 백업망으로 마이크로웨이브 고정 통신 시스템이 부분적으로 사용되어 왔다. 그

러나 대용량의 데이터 전송 수요가 증가되고, 이에 따라 기존 마이크로웨이브 고정 통신 시스템의 전송 성능 향상이나 새로운 대용량 무선 전송 시스템이 필요하게 되었으며, 밀리미터파 고정 통신 시스템이 이러한 목적에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 전망된다.

밀리미터파 대역의 무선 통신을 비롯한 각종 응용 분야는 국내·외적으로 성숙한 기술 개발이 이루어지지 않은 미개척 분야로서 선진국에서도 기술 선점을 위하여 많은 투자를 통해 연구 진행하고 있으며 우리나라에서도 그 중요성을 차차 인식하고 있다.

본 논문에서는 밀리미터파 대역 중 57~64 GHz에 대한 국내·외 주파수 및 기술 표준화 동향과 주요 서비스에 대한 시나리오를 분석하고, 주요 서비스간

「이 연구는 2006년도 정보통신부의 출연금 등으로 수행한 정보통신연구개발사업인 전파자원이용정책연구 사업의 결과임.」

한국전파진흥협회 기술연구팀(Spectrum Research Team, Korea Radio Promotion Association)

· 논문 번호 : 20060712-076

· 수정완료일자 : 2006년 9월 6일

간섭 영향을 분석함으로써 국내에 적합한 주파수 분배 방안을 제안하고자 한다.

## II. 국내·외 주파수 및 기술 표준화 동향

ITU(WRC)에서는 30~70 GHz 밀리미터파 대역에서의 고밀도 고정 서비스를 위한 국제 공통 주파수 개발이 진행 중이며, 현재까지 31.8~33.4 GHz, 37~40 GHz, 40.5~43.5 GHz, 51.4~52.6 GHz, 55.78~59.00 GHz 및 64~66 GHz를 분배하였다. 즉, 30 GHz 이상의 대역에서 10 GHz 이상 대역폭을 분배하였다. 현재의 57~64 GHz 대역에 대한 국내 및 국제 주파수 분배 현황을 표 1에 나타내었다.

57~64 GHz 대역의 경우, 우리나라는 국제 주파수 분배에 맞추어 업무를 분배하고 있다. 각 업무에 대한 각주는 현재 각 나라에서 이용하는 대역별 용도기준과는 별개의 문제이다. 국제 각주를 보면 57~64 GHz까지 고정 업무를 사용할 수 있으나 타 업무와의 공유를 전제로 전 지역에서 사용할 수 있도록 되어 있다. 단, 58.2~59.0 GHz 대역의 경우, 전파 천문 관측에 있어 국내 전파 천문 서비스와의 사용 공유가 이루어져야 하는 것이 필수 조건이다. 또한 59~64 GHz 대역의 경우는 항공기상 레이더와의 공유도 상호 간섭을 일으키지 않는 조건에서 사용할 수 있다고 WRC-2000에서 규정하고 있다.

현재까지 ITU-R을 중심으로 국제 업무 분배된 상황에서 특별히 소출력에 대한 부분은 61.0~61.5 GHz의 ISM 대역에만 국한하고 있다. 그러나 미국의 경우, 57~64 GHz까지 RF device에 대해 허가받지 않고 사용할 수 있는 시스템으로 적용하는 것과 같이 각 나라에서는 주파수 업무 분배와 다르게 용도 측면에서 기술 기준을 통한 제한 규격을 설정하여 RF device를 사용할 수 있도록 규정하고 있다.

WRC의 경우는 60 GHz 대역에 대해서는 허가받지 않고 사용하는 RF device에 초점이 맞추어져 있기 때문에 WRC 의제로 특별히 다루고 있는 연구반은 없다. 단지 의제 7.1로 새로운 전파 이용 기술의 효과적인 관리를 위한 전파 규칙 개선 방안과 연계되어 결의 951에서 간단히 논의하고 있다. 결의 951의 경우 기존 시스템의 진화, 신규/미래 응용 시스템 및 기술 등과 관련하여 전파 규칙의 유효성, 정확성 및

표 1. 57~64 GHz 대역 국제 및 국내 주파수 분배 현황

Table 1. International and national frequency allocation of 57~64 GHz band.

국제			한국	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
제1지역	제2지역	제3지역	주파수대별 분배	용도 등
57~58.2	지구탐사위성(수동) 고정 위성간 5.556A 이동 5.558 우주연구(수동)		57~58.2 지구탐사위성(수동) 고정 위성간 5.556A 이동 5.558 우주연구(수동)	
	5.547 5.557		5.547	
58.2~59	지구탐사위성(수동) 고정 이동 우주연구(수동)		58.2~59 지구탐사위성(수동) 고정 이동 우주연구(수동)	
	5.547 5.556		5.547 5.556	
59~59.3	지구탐사위성(수동) 고정 위성간 5.556A 이동 5.558 무선표정 5.559 우주연구(수동)		59~59.3 지구탐사위성(수동) 고정 위성간 5.556A 이동 5.558 무선표정 5.559 우주연구(수동)	
59.3~64	고정 위성상호간 이동 5.558 무선표정 5.559		59.3~64 고정 위성상호간 이동 5.558 무선표정 5.559	
	5.138		5.138	

효과 등을 조사하고 있으며 전파 규칙 개선을 위한 옵션을 확인하기 위한 연구를 수행하고 있다. 주요 국에 대한 60 GHz 대역 분배 현황은 그림 1과 같다.

미국의 경우, 57~64 GHz 대역을 비허가 대역으로 지정하였으며(FCC Part 15.255 operation within the band 57~64 GHz), 일본의 경우는 고선명 TV(HDTV)와 고정 무선 액세스(FWA) 등의 전송과 같은 허가를 필요로 하는 용도로 54.25~59.00 GHz 대역을 분배하고 있으며, 홈링크 및 무선 LAN과 같이 비허가 용도로 59~66 GHz 대역을 분배하고 있다.

구분	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67 (GHz)	비고
미국	비행기 무선랜 대역											1998.8월 허용 (FCC)
유럽	57.2	58.2	59.0	60.0	61.0	62.0	63.0	64.0	65.0	66.0	67.0	2006.10월 허용 (ETSI) 2004.2월 허용 (ITU-R)
일본	비행기 무선랜 대역											2000.8월 허용

그림 1. 주요국 60 GHz 대역 분배 현황  
Fig. 1. Allocation of 60 GHz in major countries.

### III. 서비스 시나리오

#### 3-1 점 대 점 응용

60 GHz 대역의 전파는 높은 주파수와 넓은 대역폭, 16 dB/km의 높은 산소 입자 감쇄, 좁은 빔폭과 직진성 등을 특징으로 한다. 따라서 밀리미터파 주파수, 특히 60 GHz 대역은 1 km 이내의 고정 광대역 디지털 무선 전송에 적합하다. 그림 2는 60 GHz 및 70 GHz 밀리미터파 대역의 광대역 특성을 이용한 밀리미터파 대역 점 대 점 응용 서비스를 나타낸다.

현재의 통신 환경은 음성, 데이터뿐 아니라 영상을 포함한 디지털 신호의 멀티미디어화로 전송 용량은 날로 증가하고 있는 추세이다. 산소 입자 감쇄가 큰 60 GHz는 1 km 이내의 밀집된 지역의 초고속 광대역 디지털 신호의 전송에 유리하다.

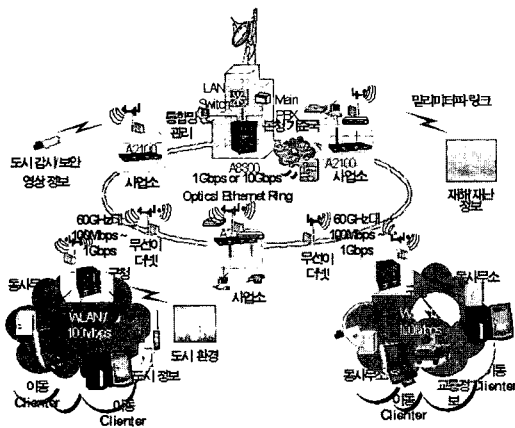


그림 2. 60/70 GHz 대역 점 대 점 응용 서비스  
Fig. 2. PtP application service in 60/70 GHz.

또한 기존의 광케이블 백본망에서 백업 링크의 점 대 점 링크로 이용 가능하며, CCTV 등의 무선 관제 시스템, 보안, 재난 방지 등의 응용에서 고화질 고속 영상 신호의 전송에 이용이 가능하다. 인터넷, 이미지, 동영상 등 멀티미디어 데이터량의 급격한 증가와 함께 최근 방송/통신, 유/무선이 통합되는 환경으로 변화됨에 따라, 최대 54 Mbps인 기존의 무선랜 용량으로는 고품질의 통신 트래픽을 수용하기 힘든 상황이다. 이러한 기존의 2 G, 3 G 중계기용 백업 링크와 WiBro, WiMAX, 위성/지상파 DMB 등의 멀티미디어 서비스가 본격적으로 이루어지면, 대용량 디지털 신호의 전송 용량 증가와 기존 무선 중계기 용량의 포화로 인해 초고속 광대역 서비스가 향후 급격히 요구될 것으로 판단되며 60 GHz 밀리미터파 대역이 그 대안이라고 할 수 있다.

또한 정보화 소외 지역 해소 방안으로 산간 오지, 도서 지역 등의 초고속 통신·방송 공중망 미보급 지역에 대한 초고속 인터넷 망을 설치하기 위해 밀리미터파 고정 통신망을 이용하면 경제적이면서 단기간 내에 구축이 가능한 초고속 공중망 구축 사업에 적합하다. 이외에도 지방자치체 도입, 기관별 자가망 확보(행정망), 통신·방송망 통합화를 위한 대안으로 유/무선 이중화 적용 및 광케이블 대체/보완 적용이 가능한 초고속 무선 인프라 구축 사업, 바다, 강, 하천, 산간 지역, 도로 등 유선망 포설이 어려운 지역에 대한 초고속 무선망 대체 적용이 가능한 광케이블 대체 시스템, 고속철, 지하철, 차량 등 이동체에서 이동간의 실시간 대용량(100 Mbps급) 전송이 어려우므로, 짧은 시간(정차 시간-수초 내) 동안 근거리에서 실시간 대용량 데이터(100 Mbps/Gbps) 전송용으로 대용량 데이터 실시간 전송 시스템으로의 이용이 가능하다. 또한 정지된 차량에 대용량 멀티미디어(영화, 교통 정보)를 고속으로 전송할 수 있는 infostation에서 대용량 멀티미디어 서비스, 열악한 입지 조건에 의해 위성 방송을 직접 수신할 수 없는 난시청 세대를 대상으로 고정 무선망을 통해 위성 방송 프로그램 재전송을 행하는 방송 전송 시스템용으로, 이동체 등으로부터의 영상을 중계차까지 전송하는 화상 전송 시스템, 고속 도로나 자동차 전용 도로에 설치되어 적용 가능한 GIS 정보 무선 정보 서비스 등으로 이용할 수 있다.

### 3-2 WPAN 응용

HD급 이상의 고화질 디지털 방송을 가정 내에서 전송하는 무선 시스템에 적용 가능한 영상 다중 전송 시스템, 종래의 54 Mbps급보다 고속 전송할 수 있고 수백 Mbps급 무선 LAN 구현이 가능한 초고속 무선 LAN, 가정 및 SOHO 내의 TV와 비디오 등의 AV 기기, 컴퓨터, 전화기 등 디지털 전자기기간 무선 전송 시스템 등 홈네트워크용으로도 적합하다. 이와 같이 60 GHz 대역에서는 다양하고 많은 서비스를 경제적으로 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

### IV. 소요 대역폭 분석

주요 서비스인 PIP의 경우, FDD로 설계되어 상향과 하향 채널 각각 60 GHz 대역에서 1 Gbps 전송 속도 이상이 나와야 경제적 의미가 있다. 현재 IEEE 802.16c와 같은 국제 표준화 기구에서도 전송률을 최소 2 Gbps 이상을 요구하는 추세이다. 고속 디지털 변조 방식을 사용하면 소요 대역폭을 줄일 수 있지만 1 Gbps급의 무선 모델을 구현하기가 매우 어려운 점이 있다. 1 Gbps급 ASK 변조 모델의 채널 대역폭은 2.5 GHz이며, 양 방향 FDD 통신을 구현하기 위해서는 아래와 같이 7 GHz 대역폭이 필요하다.

$$\text{소요 대역폭 } 7 \text{ GHz} = 2.5 \text{ GHz(상향)} + 1 \text{ GHz(보호대역)} + 2.5 \text{ GHz(하향)} + 1 \text{ GHz(보호대역)}$$

위와 같은 PIP의 소요 대역폭이 산출된 근거는 표 2와 같다.

먼저 송수신 보호대역 산출을 위하여,  
Coherent OOK BER

$$P(\epsilon) = \text{erfc} \sqrt{S/2N_0}$$

표 2. 소요 대역폭 산출 조건  
Table 2. Calculation condition of required bandwidth.

구분	주요 규격
예상 주파수 범위	57~64 GHz
다중화 및 변조 방식	FDD, ASK(NRZ-I)
Symbol rate	1.25 Gbps
송신 전력	최대 10 dBm
최대 전송 거리	1 km(BER $10^{-9}$ 기준, Sensitivity level: -55 dBm)

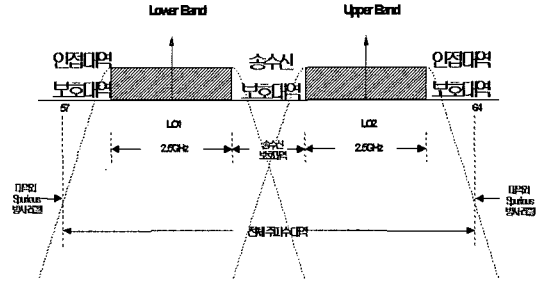


그림 3. 소요 대역폭(7 GHz) 산출  
Fig. 3. Calculation of required bandwidth.

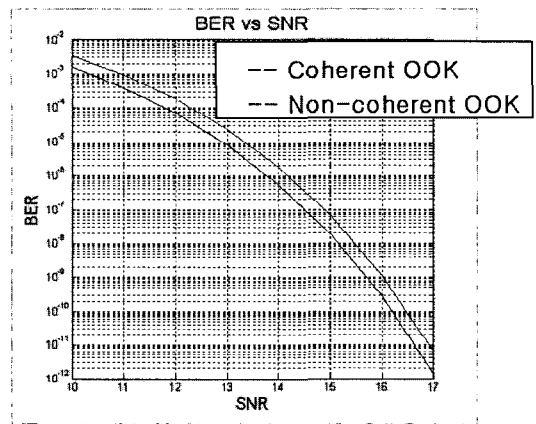


그림 4. SNR에 따른 BER  
Fig. 4. BER for SNR.

Non-coherent OOK BER

$$P(\epsilon) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{Eb}{2N_0}\right)$$

을 계산하였으며 그 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 BER이  $10^{-9}$ 일 경우 필요한 SNR은 16 dB임을 알 수 있다.

수신 sensitivity level은 수신 NF=8 dB로 가정하면,

$$\begin{aligned} & -174 \text{ dBm} + 10 \log 2.5 \text{ GHz} + NF + SNR \\ & = -56 \text{ dBm} \end{aligned}$$

이므로, 표 2의 최소 수신 레벨 -55 dBm과 비교해 볼 때 1 dB margin이 발생한다. 또한 added noise level은 SNR 1 dB 성능 저하를 기준으로 계산했을 때 신호 세기가 minimum sensitivity level일 경우 signal level 대비 22 dB 이하가 된다. 그러므로 Tx- to-Rx 거리 전력은 2.5 GHz BW일 때, -78 dBm이 된다.

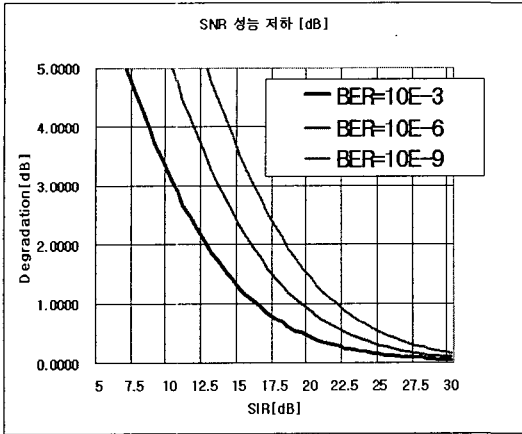


그림 5. SNR 성능 저하  
Fig. 5. Declined SNR's performance.

송수신 보호대역 계산을 위해 회로 시뮬레이션 수행한 결과는 그림 6과 같다.

이 계산 결과에서 알 수 있듯이 송수신 대역 보호를 위해서는 900 MHz 이상의 송수신 대역간 주파수 이격이 필요함을 알 수 있다.

스푸리어스 레벨은 조사 결과 미국 스푸리어스 발사 기준  $90 \text{ pW/cm}^2@3 \text{ m}$  (최대 허용 평균 전력( $90 \mu\text{W/cm}^2@3 \text{ m}$ ) 대비  $-50 \text{ dB}$  이하(FCC part 47 cfr 15.255))가 국내 기준인 17 GHz 이상에서 주파수 밴드의 30 MHz 초과 주파수에 대해서 평균 전력 대비

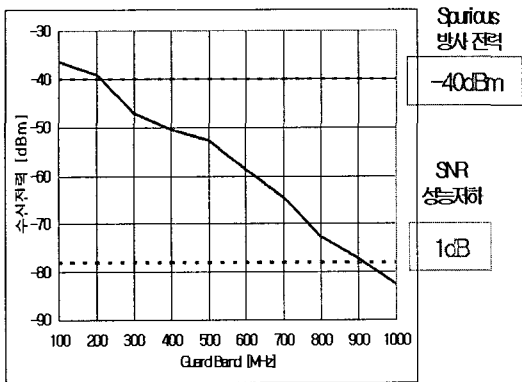


그림 6. 송수신 보호 대역 계산 결과(계산 조건: 1.25 Gbps, NRZ-I coding ASK, Chebyshev 7차 필터 사용)

Fig. 6. Calculated results of T/R guard band(Calculation condition: 1.25 Gbps NRZ-I coding ASK, Chebyshev seventh filter).

표 3. 최종 소요 대역폭

Table 3. Final required bandwidth.

전송 속도	채널 대역폭 산출 근거	분배 채널 대역폭
1.25 Gbps	(1.25 Gbps×85 % (NRZ-coding) +50 MHz (LO Margin)) ×2 (DSB) = 2,225 MHz	2,500 MHz

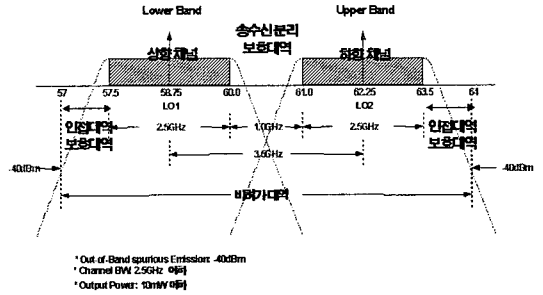


그림 7. 최종 소요 대역폭 산출 결과  
Fig. 7. Final required bandwidth.

$-40 \text{ dB}$  이하(정보통신부령 제179호 개정판, 2005. 8. 29)보다 엄격하였다. 보다 엄격한 규격을 사용하는 경우 스푸리어스 레벨 억제를 위한 필터는 대역 외에서  $-50 \text{ dB}$  이상의 감쇠 특성을 가져야 한다. 그러나 이러한 특성은 앞서 설명한 송수신 보호 대역을 만족시키기 위한 필터를 사용한다면 문제 없이 만족될 수 있다. 최종 소요 대역폭 산출 결과는 표 3 및 그림 7과 같다.

### V. 60 GHz 대역 전파 특성 분석

밀리미터파 대역 송수신기의 성능을 실제 환경에 적합하도록 모델링하고 디자인할 수 있도록 60 GHz 대역을 포함한 V-Band(50~75 GHz) 전 대역에 걸쳐 field test를 실시하였다. 실험 결과, 산소 입자 등에 의한 부가 손실은 61 GHz에서 최고치  $16.7 \text{ dB/km}$ 로 측정되었으며, 실측한 데이터로 감쇄량을 직접 확인, 이번 실험의 의의가 있다고 할 수 있다.

#### 5-1 실험 구성도

그림 8은 V-Band 부가 손실을 측정하기 위한 field test 구성도를 나타낸다. 송신측은 signal generator 출력  $0 \text{ dBm}$ 을  $42.5 \text{ dBi}$  reflector 안테나를 사용하여 전

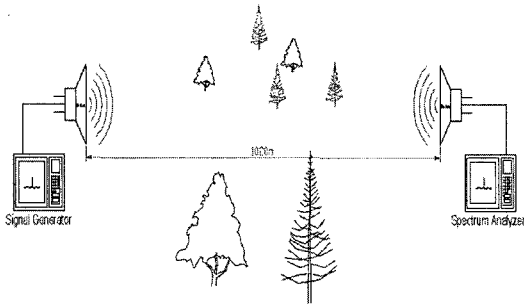


그림 8. 60 GHz 대역 대기 감쇄량 측정을 위한 실험 구성도

Fig. 8. Test diagram for the air attenuation measurement in 60 GHz.

송하였으며, 1 km 이격되도록 설치한 수신측은 42.5 dBi reflector와 spectrum analyzer로 수신하여 감쇄량을 측정하였다. 측정 거리는 지형지물의 장애로 정확히 1 km 지정하지 못하고 장애물이 없는 1,020 m 지점에서 측정하고 부가 손실 계산식에서 1 km 단위 당 loss로 환산하였다. 또한 송신 전력은 0 dBm으로 하였으나 antenna와 signal source의 mixer 출력 port간을 결합하는 V-cable과 adaptor의 손실로 인해 실제 출력  $P_t$ 는 더 낮아지며, 이는 측정결과에서 보상이었다. 실험은 관련 업체(울산 소재)의 현장(장애물이 없는 장소)에서 4회 수행되었다.

### 5-2 Link Budget 모델링

수신기의 input power level  $P_r$ 은 송신 출력, 송/수신 안테나의 이득, carrier 주파수, 전송 거리 및 대기 조건 등에 의해 아래식과 같이 결정된다.

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log \lambda - 20 \log 4\pi - 20 \log R - L^*(R/1000)$$

여기서,  $P_t$ 는 송신기의 output power level[dBm],  $G_t$ 는 송신 안테나 이득[dBi],  $G_r$ 은 수신 안테나 이득[dBi],  $\lambda$ 는 파장[m],  $R$ 은 전송 거리[m],  $L$ 은 부가 손실 [dB/km]이며, 본 실험에서 측정하고자 하는 값이다. 그리고 송신기와 송신 안테나 간의 케이블/도파관 손실은 측정시 송신 출력을 보상하면서 고려되었으며, 수신기와 수신 안테나 간의 케이블/도파관 손실은 부가 손실에 포함하여 측정하였다. 측정시 antenna와 spectrum은 도파관으로 직접 결합하였으며, 이

때의 손실은 0.2 dB 정도 이하로 미미할 것으로 본다. 부가 손실  $L$ 은 산소 입자에 의한 감쇄, 강우에 의한 감쇄, 안개나 구름에 의한 감쇄 및 나뭇잎에 의한 감쇄 등이 있으며, 본 실험은 맑은 날, 습도 40~50% 정도 대기 조건을 적용하였다.

### 5-3 실험 결과

실험 결과, 57 GHz~66 GHz 대역 내의 산소 입자 감쇄 등 부가 손실은 5.4 dB/km~16.7 dB/km로 측정되었으며, 주파수별로 10 dB 이상 차이를 보였다. 그림 9에 측정한 결과를 나타내었으며, V-band 전 대역을 500 MHz 간격으로 송신 신호와 수신 신호의 차를 측정하였다. 송수신 안테나 이득 42.5 dBi는 주파수별로 동일하게 적용하였으나, 약간의 차이가 있을 수 있으며, 이는 추가적인 부가 손실의 증감으로 반영될 수 있다.

측정시 오차를 줄이기 위해 1,020 m 이격 거리에서 2회에 걸쳐 수신 전력  $P_r$ 을 측정하였으며, 바람 등에 의해 안테나의 focusing이 흔들릴 수 있으므로 두 측정치 중 높은 전력을 선택하여 km당 부가 손실을 계산하였다. 측정 결과는 그림 9와 같다.

### 5-4 결과 분석

60 GHz 대역을 포함한 밀리미터파대 송수신기의 성능을 실제 환경에 적합하도록 모델링하고 디자인

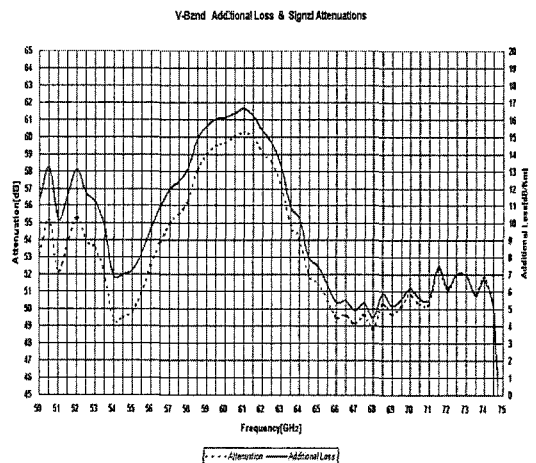


그림 9. V-band 부가 손실(comotech)  
Fig. 9. V-band additional loss(comotech).

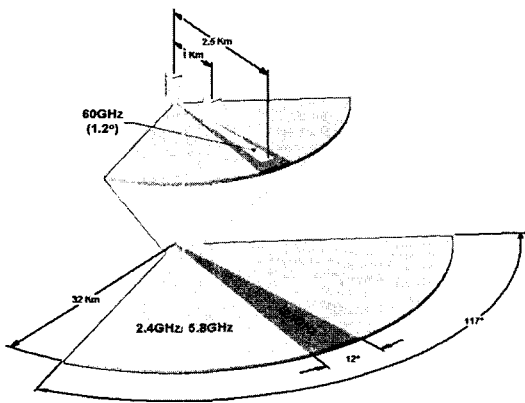


그림 10. 2.4, 24, 60 GHz 주파수 대역별 방사 패턴 및 방사 반경 비교  
 Fig. 10. Comparison of radiation pattern and radius in 2.4, 24, 60 GHz.

할 수 있도록 60 GHz 대역을 포함한 V-Band 전 대역에 걸쳐 field test를 실시하였다. 실험 결과, 산소 입자 등에 의한 부가 손실은 61 GHz에서 최고치 16.7 dB/km로 측정되었으며, 그 동안 적용해온 문헌의 16 dB/km 결과와 0.7 dB/km의 차이를 보이고 있다. 하지만 실험 조건에 의해 이 정도의 오차는 발생할 수 있으며, 문헌의 결과가 어느 정도 맞는지 추측만하기보다는 실측한 데이터로 감쇄량을 직접 확인하였으며, 광대역 특성을 요구하는 60 GHz 대역을 포함한 밀리미터파 송수신기 설계시 고려되어야 함을 확인하였다.

그림 10은 60 GHz 밀리미터파 대역과 2.4 GHz, 5.8 GHz 및 24 GHz 대역의 주파수별 방사 패턴과 방사 반경을 상대적으로 비교한 그림이다. 그림의 60 GHz 대역을 표시한 윗부분은 빔 커버리지가 워낙 작아 일부를 확대한 그림이다. 2.4 GHz나 5.8 GHz 대역의 방사 전력은 32 km에 이르는 커버리지에, 빔 폭은 무려 117°에 이르므로 이 커버리지 내에 동일한 주파수를 사용하는 다른 시스템이 존재해서는 안됨을 의미한다. 24 GHz 마이크로웨이브 대역은 지향성 안테나의 사용으로 빔 커버리지는 2.4 GHz 대역과 유사한 32 km이며 빔 폭은 12° 정도로 제한된다. 60 GHz 밀리미터파 대역의 경우, 그림 3에서 아주 좁은 부분의 커버리지를 차지하고 있으며, 빔 폭은 약 1.2° 정도에 2.5 km 이하의 커버리지를 갖는다. 이는 앞서 설명한 60 GHz 대역의 산소 입자 감쇄,

좁은 빔 폭 및 전파의 직진성에 기인한 결과이다.

위의 방사 패턴에서 알 수 있듯이 산소 입자 감쇄가 큰 60 GHz 대역의 주파수 특성상 그림 10에서 보듯이 그 커버리지가 매우 작다. 이는 전송 거리면에서는 다소 불리하다고 볼 수 있으나, 인접 지역에 간섭이 적어 주파수 재사용 효율은 대단히 높음을 의미한다. 따라서 이러한 60 GHz 주파수 특성상 밀집된 지역 내에 1.25 Gbps 급의 광대역 점 대 점 고정 무선 전송 솔루션으로 매우 적합하다. 일본, 미국 및 유럽에서는 60 GHz 대역을 10 mW 이하의 소출력 기기에 한해 비허가 대역으로 지정하고 있으며, 실제로 현재까지 인접 채널 혼신으로 인한 통신 품질 저하 등의 간섭 사례는 없는 것으로 보고되고 있다.

## VI. 주파수 분배 방안

60 GHz 밀리미터파 대역에서 1.25 Gbps의 광대역 전송을 위해서 요구되는 대역폭은 2.2 GHz~2.5 GHz가 소요된다. 양 방향 통신(full duplex)을 위해서는 송신과 수신 채널이 각각 요구되며 또한 송신 대역과 수신 대역은 물리적으로 약 800 MHz~1 GHz 정도가 이격될 필요가 있다. 따라서 전체 요구되는 주파수 대역은 약 6 GHz가 소요되며, 여기에 다시 송수신 대역 외에 보호 대역이 필요하므로 약 7 GHz의 주파수 대역이 필요하다. 주파수 대역은 미국, 캐나다의 비허가 주파수 대역과 일치하고 국제 기준에도 부합되는 57 GHz~64 GHz가 적절할 것으로 판단된다. 이 경우 밀리미터파 대역을 이용해 1.25 Gbps Gigabit Ethernet 신호를 무선 전송을 위해서는 NRZ-coding된 신호의 85% 신호 대역과 double side band이므로 실제 전송 대역폭은 여기에 2를 곱한 2,200 MHz의 대역폭이 요구된다. QAM 등 동기식 고속 변조 방식으로 Gigabit Ethernet 신호의 무선 전송을 위해서는 1.25 Gbps 속도를 지원하는 QAM 고속 모뎀이 필요하며, 현재로서는 Giga급 무선 전송용 모뎀이 국내는 물론 국외에서도 개발되지 않고 있다. 2.4 GHz나 5.8 GHz 등 무선 랜 장비는 64-QAM, 256-QAM 등의 고속 디지털 변조를 사용해 신호를 전송한다. QAM 방식의 고속변조 기술을 사용하면 소요되는 주파수 대역폭은 줄일 수 있지만, 수신기에서는 더 큰 신호대 잡음비가 요구되는 단점이 있다.

표 4. 최종 소요 대역폭

Table 4. Final required bandwidth.

전송 속도	산출 근거	소요 대역폭 (MHz)	채널 대역폭 (MHz)
1.25 Gbps	$(1.25 \text{ Gbps} \times 85 \% (\text{NRZ-coding}) + 50 (\text{LO margin})) \times 2 (\text{DSB}) = 2,225 \text{ MHz} \approx 2,200 \text{ MHz}$	2,200	2,500
622 Mbps	$(622 \text{ Gbps} \times 80 \% (\text{NRZ-coding}) + 30 (\text{LO margin})) \times 2 (\text{DSB}) = 1,055.2 \text{ MHz} \approx 1,000 \text{ MHz}$	1,000	1,200
155 Mbps	$(155 \text{ Gbps} \times 80 \% (\text{NRZ-coding}) + 30 (\text{LO margin})) \times 2 (\text{DSB}) = 308 \text{ MHz} \approx 300 \text{ MHz}$	300	400

ASK 변조 방식의 경우, 수신기는 15 dB 정도의 SNR로 수신 가능하지만, 256-QAM 변조의 경우, 33 dB 이상의 우수한 신호대 잡음비를 요구하게 된다. 따라서 긴 전송 거리와 BER  $1 \times 10^{-9}$  이상의 우수한 통신 품질이 요구되는 경우에는 16-QAM이나 QPSK 이상의 고속 변조 방식을 일반적으로 사용하지 않는다. 따라서 100 Mbps 이상 최대 1.25 Gbps의 초고속 광대역 무선 통신을 위해서는 구성이 간단한 ASK 방식이 대안이라 할 수 있다. 표 4에 60 GHz 밀리미터파 전송 장비의 전송 속도별 주파수 대역폭을 요약하였다.

송신 출력은 60 GHz 밀리미터파 대역의 주파수 특성과 장점을 살려 주파수 사용 효율을 극대화할 필요가 있으며, 따라서 현재 특정 소출력 무선기기의 제한 출력 10 mW를 기준으로 하는 것이 적합하다. 송신 출력이 높을 경우, 인접 채널에 혼신의 우려가 있으므로 밀집된 도심 지역의 광대역 전송을 위해 송신 출력을 제한하여 여러 가입자에게 초고속 광대역 서비스를 실시함이 바람직할 것으로 판단된다.

또한 용도는 60 GHz 밀리미터파 대역의 주파수 특성상 커버리지가 좁고, 산소에 의한 감쇠가 커서 인접채널 간섭 정도가 적으므로 비면허로 지정하는 것이 관련 산업 활성화에 기여할 것으로 판단된다.

## VII. 결 론

본 논문에서는 57~64 GHz 밀리미터파 대역에 대

한 국내·외 주파수 이용 현황 및 기술 표준화 동향을 분석하였다. 선진국의 경우, 대규모 투자를 통해 미활용 개척 분야인 동 대역에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있었고, 활용 분야가 매우 다양하여 본 연구 결과인 분배 방안이 적극 제안되어 분배가 조속히 이루어질 필요가 있을 것으로 분석되었다.

최근 밀리미터파 WLAN에 활용하기 위한 다중 경로에 강한 OFDM 기술 등이 개발되고, 관련 기술이 표준화를 완료하고 실제 구현됨에 따라 초고속 광대역 무선 접속 시스템에 이르는 광범위한 영역에서의 서비스가 가능해질 것으로 예상된다. 이는 end-user에게 신속하고 경제적으로 음성, 데이터 및 영상을 포함하는 멀티미디어 통신을 가능케 하는 기술이다.

57~64 GHz 밀리미터파 대역은 높은 주파수와 넓은 대역폭, 산소 입자의 높은 감쇄, 좁은 빔 폭과 직진성을 특징으로 한 고정 광대역 디지털 무선 전송에 적합하다. 이에, 점 대 점 옥외의 무선 링크, 초고속 공중망 구축 사업, 광케이블 대체 시스템 등 다양한 점 대 점 응용 서비스 시나리오와 영상 다중 전송 시스템, 초고속 무선 랜, 홈네트워크 등에 적용 가능한 WPAN 응용 서비스 관련 분야를 분석하였다. 또한 미개척 분야의 주파수 대역이라 현재까지는 주파수 간섭 등에 대한 분석이 알려져 있지 않아 본 연구에서는 고정 무선 중계 서비스를 중심으로 주파수의 조정 및 양립성 관점을 근간으로 하여 간섭 분석에 대해 접근하였다.

이와 같이 연구한 결과를 바탕으로 57~64 GHz 대역에 대한 주파수 분배 방안을 제안하였다. 본 분배 방안이 적극 수용되어 한정된 밀리미터 전파 자원을 효율적으로 이용하고, 관련 산업이 활성화될 수 있는 도약의 기회가 되었으면 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] ABI research, "Ultra wideband: standards, technology OEM strategy and market", 2005.
- [2] Maravedis, "WiMAX and broadband wireless worldwide market analysis and trends 2005~2010", Mar. 2005.
- [3] Visant Strategies, "Point-to-point microwave radio, the market in 2005 and beyond", Feb. 2005.



- [4] 송명선 외, "밀리미터파 대역 주파수 이용 정책 방안에 관한 연구", 한국전파진흥협회, 2005년 12월.
- [5] 이형수, 송명선 외, "홈네트워크용 주파수 이용정책 수립 연구", 한국전파진흥협회, 2004년 12월.

- [6] 문철 외, "57 GHz 이상 대역에서 광대역 고정무선시스템의 기술적 특성 연구에 관한 연구", 한국정보통신기술협회, 2005년 11월.
- [7] ETRI, "밀리미터파에 의한 HR-WPAN 표준화 연구 동향", 2005년 12월.

### 서 지 영



2002년 2월: 영동대학교 전자공학과 (공학사)  
2004년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학석사)  
2004년 10월~현재: 한국전파진흥협회 기술연구팀 팀원  
[주 관심분야] 주파수 이용 및 관리 정책, 전파 이용의 기술적 조건 등

### 안 준 오



1993년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학사)  
1995년 2월: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 박사과정  
2001년 2월~현재: 한국전파진흥협회 기술연구팀 팀장  
[주 관심분야] 주파수 이용 및 관리 정책, 안테나 설계 및 해석, 이동통신 및 전파전파