

# 디지털 LMDS 시스템을 위한 점대점 중계망 시스템 구현에 관한 연구

정회원 장 대 화\*, 방 효 창\*\*, 정 철 중\*\*\*, 김 원 후\*

## A Study on the Implementation of Point-to-Point Relay System for Digital LMDS System

Tae-Hwa Chang\*, Hyo-Chang Pang\*\*, Chul-Jong Chul\*\*\* Won-Hoo Kim\* *Regular Members*

### 요 약

LMDS 시스템은 밀리미터파 대역을 통하여 신호를 전송하는 광대역 무선 전송 시스템이다. LMDS 시스템은 크게 헤드엔드와 허브를 연결하는 중계망과 허브와 가입자간을 연결하는 분배망으로 구성된다. 본 연구에서는 LMDS 시스템의 백본망으로 활용이 가능한 점대점 중계망 시스템을 구현하였다. STM-1급의 전송신호를 27GHz 대역의 밀리미터파 대역으로 전송하는 시스템을 구현하고 이에 대한 성능을 분석하였다. 시험 결과 밀리미터 대역으로 STM-1을 전송하는 경우 이론적인 계산치에 근사하는 결과를 얻을 수 있었으며, 이 시스템은 LMDS 시스템의 백본망으로 충분히 활용할 수 있음을 증명하였다.

### ABSTRACT

LMDS(Local Multipoint Distribution Service) is a broadband wireless transmission system in millimeter wave frequency. LMDS system is consisted with relay system to connect between head-end and hub and distribution system to connect between hub and subscribers. In this study, we develop point-to-point relay system to use back-bone system in LMDS network. We develop STM-1 transceiver over 27GHz and analyze the system performance. We can get the similar measurement results comparing the theoretical results and then prove that this system can fit LMDS back-bone network requirements. This is the first system in Korea and we expect this system can apply the various network.

### I. 서 론

최근 수년간 정보 통신분야는 다른 분야에 비하여 비약적인 발전을 거듭하여 왔다. 현재 각국은 정보 통신산업이 21세기의 국가 경쟁력이 될 것이라는 판단하에 집중적인 육성을 하고 있는 실정이다. 무선 통신분야에 있어서는 이동통신이 주도적으로 각광 받아 왔으며, 유선 분야에서는 ATM과 같은 전송방식이 상용화를 눈앞에 두고 있다. LMDS는 이러한

유선과 무선의 장점을 적절히 결합한 시스템으로서 설치가 용이하고 가격이 저렴하다는 면에서는 무선의 장점을, 밀리미터 대역의 광대역 주파수를 사용함으로써 유선에서와 같이 넓은 대역폭을 제공할 수 있다. LMDS 시스템은 크게 헤드엔드, 허브, 가입자로 구성된다. 헤드엔드는 PSTN망 또는 프로그램 공급자(Program Provider)와 LMDS 시스템을 연계하는 기능을 수행한다. PSTN, 인터넷, 프로그램 공급자로부터의 방송신호는 모두 ATM셀로 변환되어 STM-1 동기식 계위신호에 맵핑된다. 헤드엔드에서의 STM-1

\* 한국항공대학교 항공전자공학과(happydog@mbt.co.kr)  
\*\*\* (주)엠비티(cjchung@mbt.co.kr)  
논문번호 : 98295-0715, 접수일자 : 1998년 7월 15일

\*\* 두원공과대학 전파통신과

신호는 중계망을 통하여 허브로 전달된다. 허브에는 AIU(Air Interface Unit)이 위치하고 있어 무선을 통하여 가입자에게로 신호를 전송하고, 가입자로부터의 상향신호를 헤드엔드로 전달하는 기능을 수행한다 (그림 1).

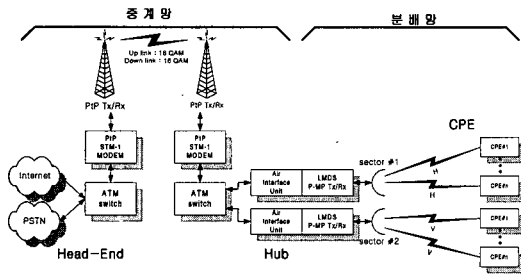


그림 1. LMDS 시스템 구성도

일반적으로 중계망은 STM-1급의 신호가 전송되므로 광 선로를 이용하는 방안과 무선을 이용하는 방안이 고려될 수 있다. 헤드엔드와 허브간을 광 선로를 통하여 연결하는 방식은 선로의 포설에 상당한 비용 및 시간이 요구될 수 있으며, 무선 사업자의 경우에는 기존의 유선 사업자의 선로를 임차하여 사용해야 한다는 부담이 가중될 수 있다. 반면에 무선으로 중계망을 구성하는 경우에는 경제적으로 저렴한 시스템을 구성할 수 있으며, 망 구성에 필요한 시간을 단축할 수 있어 조기 서비스가 가능하다는 장점이 있다. 반면에 무선 구간에서 발생하는 오류에 의해 서비스의 단절이 발생할 수 있다는 단점을 안고 있다. 또한 지금까지 STM-1급의 신호를 밀리미터 대역을 통하여 전송하는 시스템은 아직 세계적으로도 구현이 되지 않은 실정이다. 본 연구에서는 고도의 ASIC기술을 채택하여 구현된 STM-1급 16 QAM 모뎀을 이용하여 이를 밀리미터 대역에 적용하였다. 그 결과 STM-1급의 신호를 밀리미터 대역을 통하여 전송하는 시험에 성공하였다.

본 논문의 2장에서는 이론적인 STM-1 16 QAM의 링크 성능을 분석하였고, 3장에서는 시험 시스템의 전반적인 사항을 언급하였다. 4장에서는 실험 결과를 분석하였고, 마지막으로 5장에서는 향후 연구방향에 대해 언급하였다.

## II. 점대점 중계망 시스템

디지털 LMDS 시스템의 점대점 중계망 시스템은 헤드엔드에서 각 허브를 연결하는 시스템으로서 보통 STM-1급의 신호를 무선으로 전송하는 시스템이다.

이 시스템의 중요한 특징은 무선구간으로 STM-1급의 신호를 16 QAM을 통하여 전송하며 송수신 허브간은 높은 지향성을 갖는 안테나를 이용하여 연결된다는 점이다. 현재 기술적으로 STM-1급의 신호를 QPSK로 전송하는 방식은 아직 세계적으로도 개발되어 있지 못한 실정이다. 16 QAM, 64 QAM으로는 전송이 가능하다. QPSK로 STM-1급의 신호를 전송하는 방식은 현재의 기술적인 추세로 보아 조만 간에 가능해 질 것으로 사료된다.

27 GHz의 무선 주파수 대역에서 링크 요소는 다음과 같이 계산한다. 우선 주파수 대역과 사용지역 및 년시간 백분율이 결정되면, 그 주파수 대역에서의 자유공간 손실 및 강우 감쇄는 참고문헌 [1]에서와 같이 얻을 수 있다. 송신측의 안테나에 대한 EIRP는 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$EIRP_{dBw} = P_{tx}[dBw] - P_b[dB] + G_t[dBi] \quad (1)$$

여기서  $P_{tx}$ 는 송신기 출력,  $P_b$ 는 power back-off,  $G_t$ 는 송신 안테나 이득이다. 수신 신호레벨인 RSL(Received Signal Level)은 다음과 같이 주어진다.

$$RSL_{dBm} = EIRP_{dBm} - FSL - P_{rain} + G_r - L_r \quad (2)$$

FSL은 자유공간손실,  $P_{rain}$ 은 강우 감쇄,  $G_r$ 은 수신 안테나 이득,  $L_r$ 은 선로상의 손실을 의미한다. 수신 신호레벨 RSL로부터  $E_b/N_o$ 를 구할 수 있다.

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r = RSL_{dBw} - 10\log(R) + 204dBw - NF \quad (3)$$

R : 데이터 속도[log-bit/s] NF : Noise figure

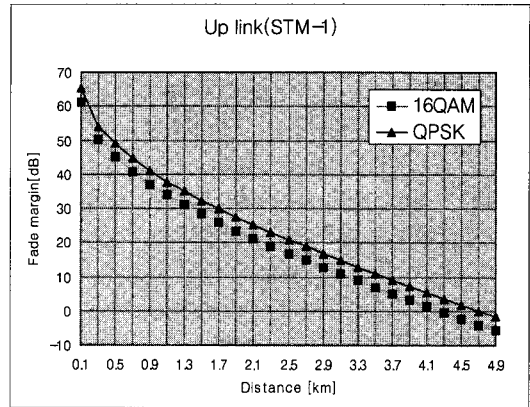
결국 페이드 마진(FM)은 요구되는  $E_b/N_o$ 와 수신된  $E_b/N_o$ 의 차이로 주어진다.

$$FM = \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_r - \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{require} \quad (4)$$

표 1. 99.999% 가용도, BER=10<sup>-8</sup>에 대한 채널 링크 버짓 (d=2km, STM-1)

파라미터	단위	P-P (상향)	P-P (하향)
주파수	GHz	24.25~24.75	25.5~27.5
송신기 출력 P <sub>tx</sub>	dBw	0	0
Power Back-off P <sub>b</sub>	dB	3	3
송신 안테나 이득 G <sub>t</sub>	dBi	35	35
EIRP	dBw	32	32
자유공간 손실 FSL	dB	120.7	120.7
강우 감쇄 손실 P <sub>rain</sub>	dB/km	6.7	6.7
선로상 손실 L <sub>Lr</sub>	dB	6	6
수신 안테나 이득 G <sub>r</sub>	dBi	35	35
구현 손실 Loss <sub>simple</sub>	dB	4	4
부호화 이득 G <sub>code</sub>	dB	5	5
BER=10 <sup>-8</sup> 에 대한 여유도 페이드 마진 16 QAM	dB	21.248	20.225
E <sub>v</sub> /N <sub>o</sub> = 16 [dB]			
BER=10 <sup>-8</sup> 에 대한 여유도 페이드 마진 QPSK	dB	25.248	24.225
E <sub>v</sub> /N <sub>o</sub> = 12 [dB]			

이상의 결과로부터 거리에 따른 페이드 마진을 도식적으로 표시하면 그림 2와 같다. 이상의 결과로부터 강우감쇄를 고려한 상황에서 STM-1급의 신호를 27 GHz의 대역으로 전송하는 경우 BER=10<sup>-8</sup>을 유지하는 페이드 마진이 0이 되는 지점은 약 4 km 임을 알 수 있었다. 따라서 중계망 시스템의 적절한 중계 거리는 hop당 4 km 이내로 셀을 설계하여야 한다.



(b) 상향

그림 2. STM-1 전송 시스템의 페이드 마진

### III. STM-1 전송 시스템의 구성

그림 3은 본 연구에서 구현한 중계망의 간단한 구성도이다.

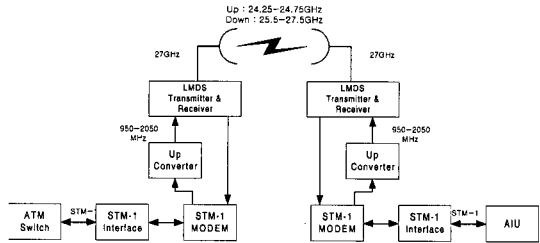
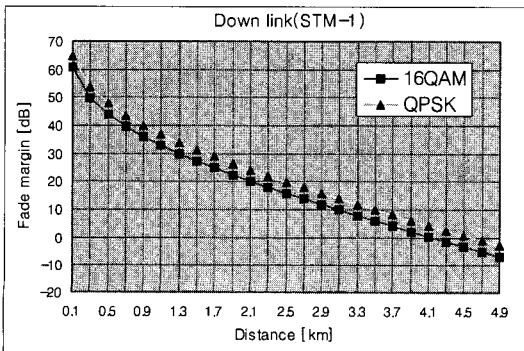


그림 3. 점대점 중계망 시스템

본 연구에서 구현한 STM-1 16 QAM 중계망 시스템의 전체적인 규격은 표 2와 같으며 기본적인 구성은 다음과 같다.

본 연구에서 구현한 점대점 중계망 시스템은 크게 LMDS 송신기, LMDS 수신기, 16 QAM 모뎀으로 구성된다. LMDS 송신기는 우리나라 주파수 환경에 맞도록 26.5 ~ 27.5 GHz의 주파수 대역에 대해 설계되었다. LMDS 송신기의 송신전력은 1[W]로 설정되었으며, 송신 안테나는 실제 시스템과 동일한 이득 15 dBi, 90°의 빔폭을 갖는 섹터 안테나를 사용하였다. LMDS 수신기는 내부에 AGC(Automatic Gain



(a) 하향

Control)기능을 장착하고 있으며 요구하는 C/N으로 설정이 가능하게 설계되었다. 수신안테나는 가입자단에 적용되는 것과 동일한 이득 35 dBi의 지향성 안테나를 이용하였다.

표 2. 중계망 시스템 규격

LMDS 송신기	
입력주파수	950 ~ 2050 MHz
출력주파수	26.5 ~ 27.5 GHz
송신전력	0 dBw (3 dB back-off)
송신안테나 이득	15 dBi
송신안테나 빔폭	90°
STM-1 16 QAM 변조기	
변조방식	QPSK, 16 QAM
부호방식	Reed-solomon(204,188) Convolutional R=1/2,3/4,5/6
Roll-off factor	Alpha=0.35
최대 데이터 속도	155.520 Mbps
IF 출력 전력	-20 ~ 0 dBm
IF 출력주파수	140 MHz
디지털 입력 인터페이스	8bits 데이터, 클럭
LMDS 수신기	
입력주파수	26.5 ~ 27.5 GHz
출력주파수	950 ~ 2050 MHz
수신안테나 이득	35 dBi
수신안테나 빔폭	3°
STM-1 16 QAM 복조기	
복조방식	QPSK, 16 QAM
부호방식	Reed-Solomon(204,188) Viterbi decoder(K=7)
IF 입력전력 범위	-25 ~ -65 dBm
IF 입력주파수	950 ~ 2050 MHz
디지털 출력 인터페이스	8bits 데이터, 클럭
Scrambler	1+x14+x15
Interleaver/Deinterleaver	가능
STM-1 인터페이스(송신)	
입력 인터페이스	STM-1 광 신호(MM/SM)
출력 인터페이스	8bits 데이터, 클럭(19.44MHz)
경보조건	OOF, LOS, LOF
STM-1 인터페이스(수신)	
입력 인터페이스	8bits 데이터, 클럭(19.44MHz)
출력 인터페이스	STM-1 광 신호(MM)
경보조건	OOF, LOS, LOF

STM-1 16 QAM 변조기는 무선채널에서 발생할 수 있는 버스트성 에러에 대응하기 위해

Reed-Solomon과 컨볼루션 부호를 연결하여 사용하였다. 마찬가지로 STM-1 16QAM 복조기는 Reed-Solomon 복호기 및 비터비 복호기를 내장하고 있으며, 채널에서 발생하는 페이딩 성분 및 반송파 복구회로를 보조하기 위한 5탭의 등화기를 내장하고 있다.

STM-1 16 QAM 변조기의 출력 IF 주파수가 140 MHz이고 LMDS 송신기의 입력 주파수는 950 ~ 2050 MHz이므로 상승 변환기를 사용하여 주파수를 변환하였다. 상승 변환기는 이미지 성분을 제거하기 위하여 이중 변환방식으로 구성되었다. 반대로 STM-1 16 QAM 복조기의 입력 주파수는 950 ~ 2050 MHz이므로 별도의 하강 변환기를 사용하지 않았다.

STM-1 인터페이스는 STM-1 광 신호를 전기적인 신호로 변환하여 16 QAM 변조기의 입력으로 전달하거나, 복조기로부터의 전기적인 신호를 광신호로 변환하는 기능을 수행한다.

#### IV. 실험 결과

본 연구에서는 본격적인 현장시험의 전단계로서 실험실 차원의 시험을 진행하였다. 본 연구에서 구현한 점대점 중계망 시스템의 시험 구성도를 그림 4에 나타내었다. 실험에 소요되는 계측기로는 STM-1 신호의 발생과 분석을 담당하는 STM-1 Analyzer (형명 :MP1560, 제조사: Anritu),  $E_b/N_0$ 에 대한 실험을 위해 잡음을 발생하는 Noise & Interference test set (형명 : HP3708A) 등이 요구되었다.

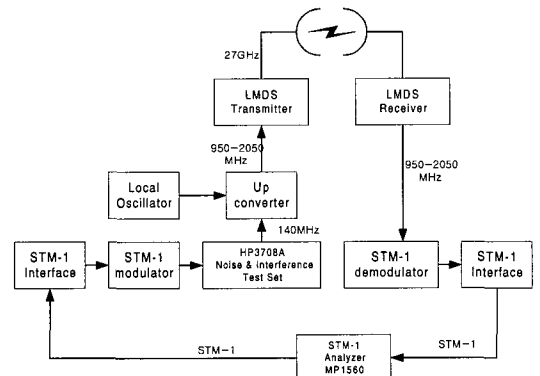
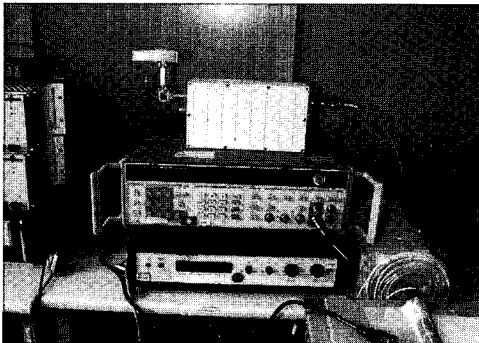
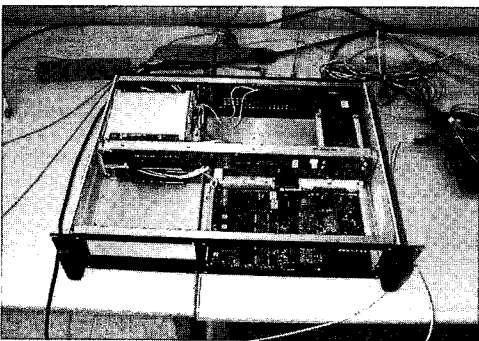


그림 4. 점대점 중계망 시험 구성도

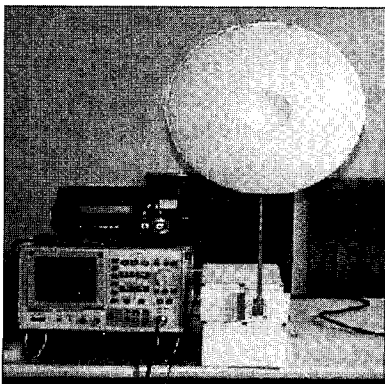
그림 5(a)는 LMDS 송신기의 구성을 나타낸 사진이며, 그림 5(b)는 STM-1 16 QAM 변조기 및 STM-1 인터페이스의 구성도를 나타낸 사진이다. 그림 5(c)는 LMDS 수신기의 구성을 나타낸 사진이며, 그림 5(d)는 STM-1 16 QAM 복조기와 STM-1 인터페이스의 구성도이다.



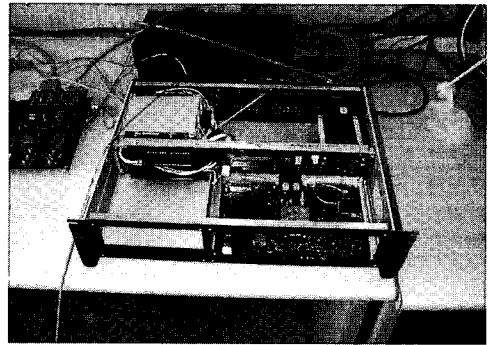
(a) LMDS 송신기



(b) STM-1 16 QAM 변조기



(c) LMDS 수신기



(d) STM-1 16 QAM 복조기

그림 5. LMDS 중계 시스템

STM-1 변조기의 출력 IF 주파수는 상승변환기를 이용하여 1.6 GHz의 대역으로 변환한 후 LMDS 송신기의 입력으로 인가하였다. 그림 6은 HP3708A의  $E_b/N_0$ 를 25 dB에서 10 dB 사이의 범위로 가변하면서 잡음 레벨을 관측한 27GHz 대역에서의 송신 RF 스펙트럼이다.  $E_b/N_0$ 를 저하시킴에 따라 송신 출력 레벨은 일정하지만 대역외 잡음 레벨은 증가함을 볼 수 있다. 그림 7은 정상적인 조건하에서 LMDS 수신기의 출력 IF 스펙트럼이다. 중심 주파수는 1.6 GHz이다. 그림 8은 경로에서 20 dB의 감쇄를 경로상에 발생시킨 경우 LMDS 수신기의 출력 IF 스펙트럼이다. 수신기의 AGC에 의해 20 dB 감쇄에 대한 보상이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

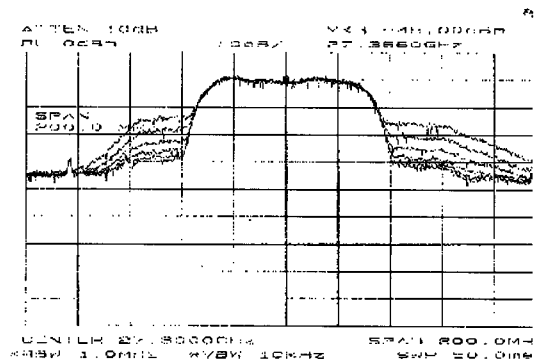


그림 6.  $E_b/N_0$ 에 따른 송신 RF 스펙트럼

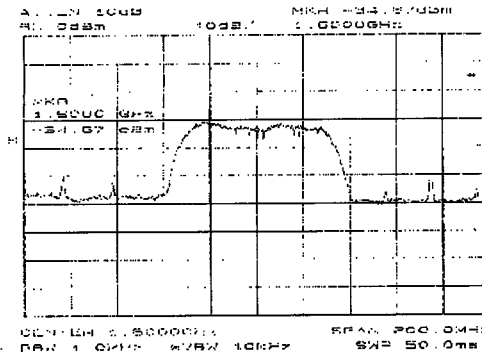


그림 7. 수신 IF 스펙트럼

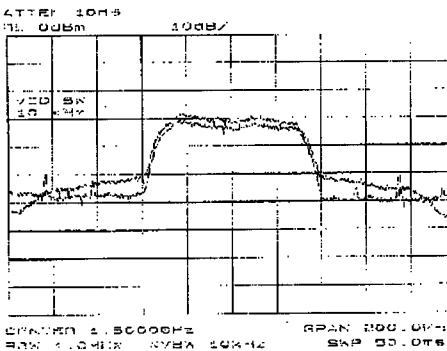


그림 8. 20dB 감쇄시 수신 IF 스펙트럼

이상의 실험실 구성을 통하여  $E_b/N_0$ 에 대한 STM-1의 전송 특성을 측정된 결과를 그림 9에 나타내었다.

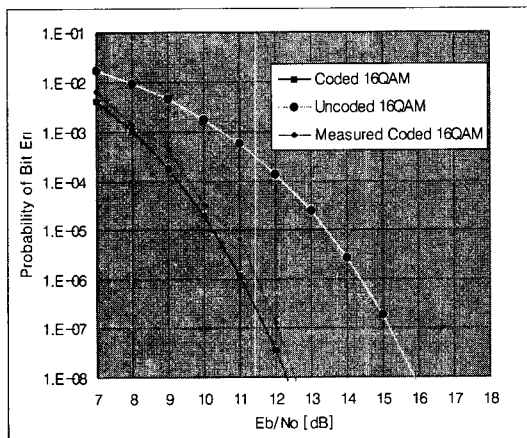


그림 9. 측정된 STM-1 16 QAM 시스템의 BER

그림 9에서 보는 바와 같이 본 연구에서 개발된 점대점 중계망(STM-1) 전송 시스템은 이론적인 16

QAM의 성능 보다는 우수하지만 부호화 이득을 고려한 16 QAM의 이론적인 성능보다는 저하됨을 알 수 있었다. 이러한 성능 차이가 발생한 것은 몇 가지 요인을 들 수 있다. 케이블 및 상송 변환기에서 발생하는 손실이나, 커넥터에서 발생하는 손실 등이 그 원인이 된다. 이러한 손실은 어느 정도 감소시킬 수는 있으며, 전체 시스템의 성능평가에 큰 영향을 미치지 않는다.

결과적으로 볼 때, 본 연구에서 구현한 STM-1 16 QAM 전송 시스템은 밀리미터파 대역을 통하여 전송하기에 충분한 성능을 나타내었음을 알 수 있었다.

### V. 결론

본 연구에서는 LMDS 시스템의 백본망으로 활용이 가능한 점대점 중계망 시스템을 구현하였다. 시스템 시험 결과 본 시스템은 LMDS 시스템의 중계망으로 충분히 활용할 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 구현된 시스템은 LMDS 시스템 뿐만 아니라 다른 시스템의 무선 백본망 구축에도 활용이 될 수 있을 것으로 기대된다. 현 단계에서 시험은 실험실에 국한되어 진행되었으므로 현장 시험의 경우 다른 요인에 의해 시스템 성능의 저하가 예상된다.

앞으로는 이 시스템을 현장에서 운용하여 발생하는 간섭등에 대한 분석을 진행할 예정이며 멀티미디어 시스템과의 연동을 통하여 실질적인 서비스를 제공하는 시스템을 구축할 계획이다.

### 참고 문헌

- [1] Roger L.Freeman, *Telecommunication Transmission Handbook*, Wiley series in Telecommunications, 1991.
- [2] A.A.R. Townsend, *Digital Line-of-sight radio links*, Prentice-Hall, 1988.
- [3] Kamilo Feher, *Telecommunications Measurements, Analysis, and Instrumentation*, Prentice-Hall, 1987.
- [4] Kamilo Feher, *Digital Communications : Satellite /Earth Station Engineering*, Prentice-Hall, 1987.
- [5] 조성준 역, *디지털 마이크로파 통신*, 대광문화사, 1989
- [6] B.Cornaglia, M.Di Lascio, L. Ordano, "Wireless

CATV: general system overview and radio coverage planning", *Proc. 5th ECRR*, pp.63-68, Bologna-Italy, May, 1996.

[7] H.-P.Petry, "Design Aspects of Next Generation Broadband Flexible Fixed Radio Access System", *Proc. 5th ECRR*, pp.51-56, Bologna-Italy, May, 1996.

[8] C. Mattiello, "Visibility estimation for urban radio-link design", *Proc. 8th ICAP*, pp.952-954, Edinburgh-UK, Apr. 1993.

[9] C. Mattiello, L. Ordano, "Multipoint radio systems : Planning tools using terrain data based derived from satellite remote sensing", *Proc. 4th ECRR*, pp.204-209, Edinburgh-UK, Oct. 1993.

[10] 장태화 외 3인, "디지털 LMDS 시스템을 위한 점대점 중계망 시스템 구현에 관한 연구", *한국통신학회 하계학술대회 논문집*, pp. , 1998.7..

[11] DAVIC Specification 1.1, Part 8: "LMDS Specifications", Seoul, Mar, 1996.

정 철 중(Chul-Jong Chung) 정회원

1984년 12월 : Canada, McGill University 졸업

1987년 6월 : Canada, McGill University (공학석사)

1992년 5월 : Virginia 주립대 (공학박사)

1992년 7월~1994년 5월 : Canada, Alberta 연구소

책임연구원

1994년 6월~1997년 8월 : 대영전자기술연구소 책임연구원

1997년 9월~현재 : (주)엠비티 이사

<주관심 분야> 광대역 무선 가입자 시스템, 광전송 CATV 시스템, 초고속과 분야

김 원 후(Won-Hoo Kim) 정회원

1959년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)

1975년 : 한양대학교 전자공학과 (공학석사)

1989년 : 경희대학교 전자공학과 (공학박사)

1964년~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 정교수

<주관심 분야> 스펙트럼 확산 통신, 무선통신, 항법 전자 등

장 태 화(Tae-Hwa Chang) 정회원



1991년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과 졸업

1993년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과(석사)

1993년 1월~현재 : 대영전자

연구소

1995년 8월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정(수료)

<주관심 분야> 통신 시스템, 광대역 전송시스템

방 효 창(Hyo-Chang Pang) 중신회원



1988년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과 졸업

1992년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과(석사)

1997년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과

(공학박사)

현재 : 두원공과대학 전파통신과 조교수

<주관심 분야> 스펙트럼 확산 통신, 광대역 무선 통신 시스템, 이동통신 시스템.