

# Chebyshev 다항식을 이용한 병렬급전 구조를 가진 LMDS 수신용 마이크로스트립 배열 안테나에 관한 연구

## A Study on Microstrip Array Antenna for LMDS Receiver with Corporate Feeding Network using Chebyshev Polynomials

문동권 · 안성훈\* · 박명렬 · 정천석\*

Dong-Kwon Moon · Sung-Hun Ahn\* · Myoung-Yeul Park · Chun-Suk Jung\*

### 요 약

본 논문에서는 Chebyshev 다항식을 이용한 병렬급전 구조를 가진 LMDS(Local Multipoint Distribution Service) 수신용 마이크로 스트립 배열 안테나를 제안하였다. Chebyshev 다항식을 이용한 병렬 급전 구조 마이크로스트립 배열 안테나의 설계를 위하여 Chebyshev 다항식을 제시하였고, LMDS 수신을 위해 24~26 GHz 주파수 대역 8×8 배열 안테나를 제시된 배열이론에 따라 설계하였다. 제작된 8×8 배열 안테나의 이득은 23.5 dBi, 대역폭 1.2 GHz, 중심 주파수 24.96 GHz, 삽입손실 -29.15 dB의 측정결과를 얻었다.

### Abstract

In this paper, a microstrip array antenna for LMDS(Local Multipoint Distribution Service) receiver with corporate feeding network using Chebyshev polynomials is proposed to get the high gain and low side lobe level. The Chebyshev array method is proposed to design the corporate feeding network. LMDS uses 24~27 GHz microwave frequency band to send and receive broadband signals. Measured antenna shows 23.4 dBi gain, 24.96 GHz center frequency, -29.15 dB return loss and 1.2 GHz bandwidth.

Key words : Chebyshev Polynomials, LMDS, Microstrip, Array Antenna, K-band

### I. 서 론

전세계적인 FTTH(Fiber To The Home)에 의한 초고속 통신망 구축이 경제적 문제로 인하여 지연됨에 따라 초고속화를 위한 점진적인 망진화 전략이 필요하게 되었다. 최근의 기술발달로 인해 이를 대체할 수 있는 경제적 타당성이 있는 다양한 기술이 등장하였다. 그 중 대표적인 예로 유선 분야의 경우 동선을 활용하는 xDSL을 들 수 있고, 무선분야는 K-band 주파수를 이용한 광대역 무선 가입자

망과 위성망을 들 수 있다. 특히 그 중에서 LMDS(Local Multipoint Distribution System)는 음성과 영상, 그리고 데이터까지 전송할 수 있는 쌍 방향 무선 멀티미디어(multimedia) 망으로써 기존의 유선망이 가지고 있는 한계를 극복하고 보완할 수 있는 시스템으로 각광 받고 있다. 국내에서 상용화 예정인 LMDS은 24~27 GHz대 주파수를 3개의 사업자에게 분할하여 할당하는 형태이다<sup>[1]</sup>.

LMDS 규격에 따르면 안테나는 높은 이득과 넓은 대역폭, 그리고 지향성이 요구된다. 따라서 선형

엔알디(주)(NRD Corp.)

\*울산대학교 전기전자 및 자동화공학부(School of Electrical Engineering, Ulsan University)

· 논문 번호 : 20020424-049

· 수정완료일자 : 2002년 8월 16일

배열 이론에 따라 안테나 소자를 배열하였을 때 안테나의 이득과 대역폭은 단일소자에 비해 향상된다<sup>[2]</sup>. 또한, LMDS 수신자와 기지국간의 점대점(point to point)통신에 유리하도록 안테나 복사패턴(radiation pattern)은 지향성을 가져야 한다. 따라서 안테나 소자 배열에 전류 진폭테퍼(amplitude taper)를 적용하여 주빔(main beam)의 크기를 개선할 필요가 있다. 이때 서비스(service)망 사이에 상호 간섭을 줄이고 서비스 품질을 향상하기 위해서는 부엽레벨과 주빔의 폭을 조절해야 한다.

Chebyshev 다항식을 이용한 배열법은 주빔의 폭을 부엽레벨(side lobe level)을 통해 규정함으로써 적용 시스템에 맞는 최적화된 빔폭(beam width)을 얻을 수 있도록 한다<sup>[3][4]</sup>.

본 논문에서는 Chebyshev 다항식을 이용한 배열법의 위와 같은 특징을 이용하여 병렬급전구조의 LMDS 수신용 마이크로스트립 배열 안테나를 설계, 제작하고 측정을 통해 그 특성을 고찰한다. 선형배열 이론에 따라 배열된 안테나의 복사패턴을 분석하고 Chebyshev 다항식에 따른 주빔과 부엽레벨의 관계를 해석하여 배열 안테나에 그 기본 원리 및 특징을 적용한다. 시뮬레이션을 통하여 배열 안테나의 동작을 확인하고 설계된 안테나를 제작하여 측정결과를 이론치와 비교 분석한다.

## II. 안테나의 설계

주빔의 폭을 줄이고 이득을 증대시키기 위해서는 여러 개의 안테나를 규칙적으로 배열한 배열 안테나를 사용하여야 한다. 배열 안테나의 전체 이득 및 복사 특성은 각 배열 소자에 공급되는 전류, 위상 및 소자 수에 의해 결정된다.  $N$ 개의 소자가 동일한 간격과 일정한 크기로 위상천이 할 때 근사화된 전체 복사패턴은 다음과 같다.

$$E(\theta) = \frac{1}{N} \frac{\sin[N(kd\sin\theta - \beta)/2]}{\sin[kd\sin\theta - \beta/2]} E_e(\theta) \quad (1)$$

이것은 배열 좌표의 원점에 등간격, 균일급전의 선형배열의 정규화된 전체세기이다.  $N$ 이 증가하면 주엽은 좁아지며 부엽들은 더 많이 존재하게 된다. 부엽의 크기도  $N$ 이 증가할수록 작아지지만 완전히

사라지지는 않고 한주기마다 같은 모양이 존재한다.

균등급전에서 나타난 부엽레벨은 인접 서비스 이용자와 상호결합을 일으키고 다중경로 수신에 의한 S/N 비를 떨어 뜨린다. 따라서 부엽레벨을 가능한 작게 하면서 지향성은 유지해야 한다. Chebyshev 배열방법은 부엽레벨을 임의로 규정하고 정해진 부엽레벨에서 균등급전에 동일한 수준의 좁은 주빔 폭을 갖도록 한다. 그 역도 성립하여 주빔의 규정으로 부엽레벨을 결정한다. Chebyshev 배열에서 각 소자 안테나의 전류크기는 다음과 같다.

$$T_n(X) = \begin{cases} (1-n)^2 \cosh(n \cosh^{-1}|x|) & x < -1 \\ \cosh(n \cos^{-1}x) & -1 < x < 1 \\ \cosh(n \cosh^{-1}x) & x > 1 \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $n=0, 1, 2, 3, \dots, N-1$  이고 배열소자 계수이다. 다항식 사이에는

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x) \quad (3)$$

가 성립된다.

$|x| \leq 1$  영역에서 정현파 성질을 가지며,  $|x| > 1$  영역에서는 지수적으로 증가하는 특성을 지닌다. 따라서  $|x| \leq 1$ 인 범위에서 부엽이 생기게 하고  $|x| > 1$ 영역에서 주빔이 형성되도록 하면, 임의의 부엽레벨에서 가장 좁은 주빔이 결정된다.

### 2-1 기본소자 설계

LMDS 수신용 안테나 설계 사양은 표 1과 같다.

LMDS 기지국용 안테나는 넓은 서비스 영역을 갖는 점대다중점(point to multipoint) 방식으로 운용

표 1. LMDS 수신용 안테나 규격  
Table 1. LMDS receiver antenna spec.

항 목	사 양
중심주파수	25.04 GHz
대역폭	1 GHz (약 2.5 %)
이 득	20 dBi 이상
정재파비	2.0 : 1
편 과	선형편과(수직 또는 수평)
부엽레벨	-15 dB
반전력 빔폭	10° 이하

됨에 따라 약 13 dBi 정도의 이득을 요구하는데 비해, 가입자용은 기지국용 안테나와 LOS(Line of Sight)의 점대점방식으로 운용되 20 dBi 이상의 비교적 높은 이득을 요구한다. 정재파비 2이하에서 대역폭은 하향 대역폭인 980 MHz를 넘는 1 GHz 이다. 편파특성은 인접 셀(cell) 간의 독립성을 최대화하기 위해 선형편파를 사용한다. 부엽레벨은 주빔과 절충된 값으로 Chebyshev 배열 설계시 -15 dB로 규정하고 주빔의 폭을  $10^\circ$  이하로 한다<sup>[5]</sup>.

설계에 사용한 테프론 기판의 유전율은 2.2이고 기판의 두께는 15 mil(0.381 mm)이다. 시뮬레이션 툴(tool)은 상용 설계 툴인 Ensemble 7.0을 사용하였다.

중심주파수인 25.04 GHz을 안테나 공진주파수로 하여 폭(W) 3.79 mm, 길이(L) 3.97 mm 의 단일 패치 안테나를 설계하였다.

단일 패치 안테나는 배열을 고려하여  $100 \Omega$  급전선로를 이용하게 된다. 그림 1은  $100 \Omega$  급전을 위해 구형 패치 안테나 가장자리를 삽입한 모양이다. 그림 2는 임피던스 정합을 위한 최적의 삽입깊이를 얻고 구형 패치 안테나의 입력 임피던스(impedance) 변화를 삽입깊이에 따라 보기 위해 안테나를 시뮬레이션한 결과이다. 안테나의 임피던스 분포를 보면 가장자리 부분이 최대 임피던스 점이 되고, 중심까지의 2/3 정도 되는 지점이 약  $50 \Omega$  임을 알 수 있다. 정합을 고려한 삽입깊이의 최적값은 가장자리에서 0.9 mm(B) 삽입된 지점 임을 확인하고 이 지점을 급전점으로 선택하였으며 이때 구형 패치 안테나의 입력 임피던스는  $123.6 \Omega$  이었다. 그림 3은 단일 패치 안테나에  $100 \Omega$  급전선로를 구성하여  $S_{11}$ 의 변화를 시뮬레이션 한 결과이다<sup>[7]</sup>. 표

표 2. 단일 패치 안테나 파라미터

Table 2. A patch antenna parameter.

항 목	값
패치의 폭(w)	3.79 mm
패치의 길이(l)	3.97 mm
급전점의 깊이(b)	0.9 mm
급전슬롯의 넓이(a)	1.189 mm
입력 임피던스	$123.6 \Omega$

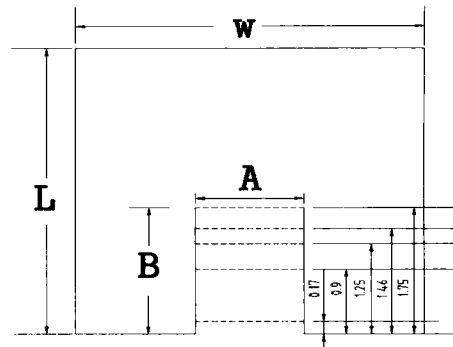


그림 1. 단일 패치 안테나  
Fig. 1. A patch antenna.

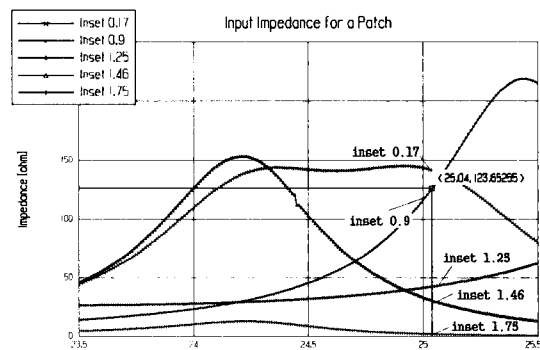


그림 2. 단일 안테나의 입력 임피던스  
Fig. 2. Simulated input impedance.

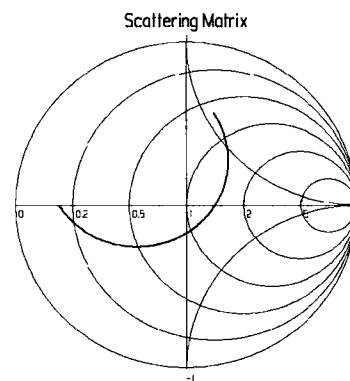


그림 3. 단일 패치의  $S_{11}$   
Fig. 3. A patch antenna's  $S_{11}$ .

2는 단일 패치 안테나의 설계 파라미터이다.

## 2-2 배열안테나 설계

표 3은 소자수에 따른 안테나 특성이다. 배열 소자수가 증가할수록 일부 특성은 개선된다. 임피던스 정합 특성을 보이는 삽입손실과 정재파비는 배열에 따른 부정합요소가 발생되어 단일 소자에 비해 높아진다. 삽입손실이 증가하더라도 배열수가 많아지면 소자수에 비례하는 공진대역이 넓어져 대역폭은 증가한다. 주빔폭은 배열수가 증가하더라도 정방형이 되지 않으면 오히려 감소한다. 정방형이 아닌 배열은 가로세로 전계 세기가 큰 차이를 보이고 이로 전계를 안테나 중심으로 집중시킬 수 없기 때문이다. 배열수에 따라 복사 에너지는 단일 방향으로 합성되어 안테나 이득은 배열수가 증가할수록 높아진다.

표 3의 분석을 통하여 64개의 소자가 8×8 정방형 배열될 때 안테나 규격에 만족함을 보인다. 표 4는 정리된 배열 안테나의 설계 사양이다.

소자 사이의 간격은 상호결합을 줄이고 주어진 소자 개수에서 최대 이득을 얻으며 급전선 간에 충분한 공간을 확보하고자 0.68λ (λ/2 이상)가 되도록 한다.

표 3. 소자 수에 따른 안테나 특성

Table 3. Variation of the characteristics vs. elements.

소자수	삽입손실	정재파비	주빔폭	대역폭	이득	부엽
1	-21.0	1.2	49	0.66	7.9	-
2	-10	1.9	69	0.18	8.6	-
4	-7.6	1.3	37	0.79	12.1	3
8	-11.2	1.7	42.6	0.33	14.5	5.5
16	-57.8	1.0	18.9	1.26	18.3	8.5
32	-17.8	1.29	19.4	0.91	20.7	11.5
64	-18.8	1.26	8.9	1.42	23.4	10.5

표 4. 배열안테나의 설계 사양

Table 4. Design spec. of the array antenna.

소자 수	64 (8×8)
급전방식	병렬급전
소자간격	0.68 λ
전류진폭분포	수평: Chebyshev
	수직: 균등급전

특 한다. 진폭 분포는 편파 분리도를 최대화하기 위해 수평 방향으로 Chebyshev, 수직방향으로 균등급전을 한다<sup>18)</sup>. 표 5는 식 (2)로부터 계산되어진 안테나 소자 각각의 진폭 크기이다. 설계된 진폭 크기는 1을 최대치로 해서 나타낸 상대적인 값이다. 따라서 진폭의 균등분포에서는 모든 소자의 진폭이 1이나 Chebyshev 분포에서는 최대 진폭을 1로 봤을 때 상대적 값이다. 각 안테나 소자에 계산된 값의 전류진폭을 급전하기 위해 전력분배기의 폭을 좌우 비대칭으로하여 임피던스를 각각 다르게 설계하고 전체 급전선로를 구성한다. 그림 4는 64개의 안테나 소자를 8×8 배열한 전체 안테나 구성도이다.

표 5. 진폭 분포

Table 5. Amplitude distribution.

가로 배열(Chebyshev)		세로 배열(균등급전)	
소자	전류진폭	소자	전류진폭
1	0.501	1	1.0
2	0.751	2	1.0
3	0.933	3	1.0
4	1.000	4	1.0
5	1.000	5	1.0
6	0.933	6	1.0
7	0.751	7	1.0
8	0.501	8	1.0

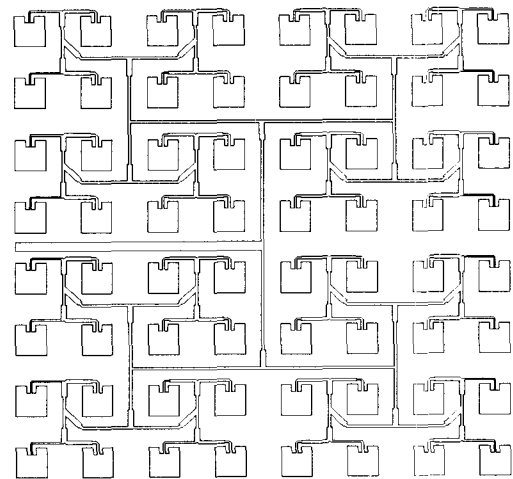


그림 4. 8×8 배열 안테나

Fig. 4. 8×8 array antenna.

Chebyshev 다항식을 이용한 병렬급전 구조를 가진 LMDS 수신용 마이크로스트립 배열 안테나에 관한 연구

표 6. 설계된 안테나 특성

Table 6. The characteristics of designed antenna.

대역폭	1.42 GHz
공진주파수	24.98 GHz
삽입손실	-18.8 dB
정재파비	1.26
주빔폭	8.9°
이득	23.4 dBi
부엽레벨	-10.5 dB

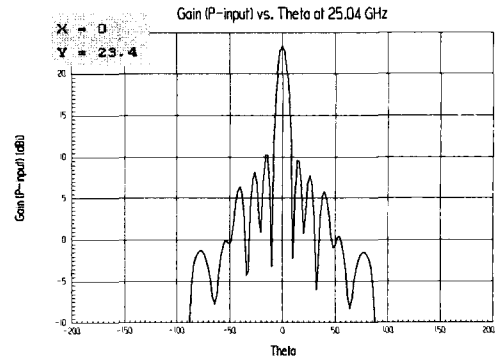


그림 7. 복사특성

Fig. 7. Radiation pattern.

설계하고자 했던 20 dBi 이상이다.

그림 7은 복사특성이며 가로방향 진폭이 Chebyshev 분포임에 따라 복사특성 또한 가로방향의 가장자리로 복사에너지가 낮게 나타난다.

### III. 제작 및 측정

제작에 사용된 기판은 유전율 2.2, 두께 0.381 mm(15 mil)인 테프론 기판을 사용하였고, 측정을 위하여 Anritsu 37937A VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하였다. 그림 8은 실제 제작된 안테나의 실물사진이며 실제 크기는 80×80 mm이다. 그림 9는 제작된 안테나의 삽입손실을 24~26 GHz 사이에서 측정한 것이다. 삽입손실은 -29.148 dB이며 이때 공진주파수는 25.04 GHz에 약간 못미치는 24.96 GHz 이다. 삽입손실은 안테나 설계 특성인 -18 dB 보다 대폭 향상된 측정결과를 보인

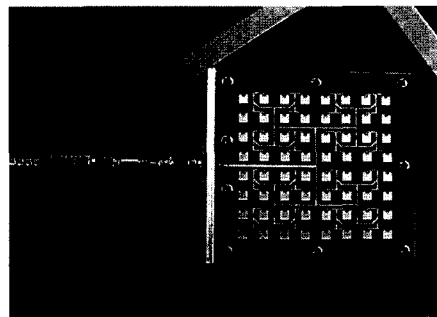


그림 8. 제작된 안테나

Fig. 8. The photograph of the fabricated antenna.

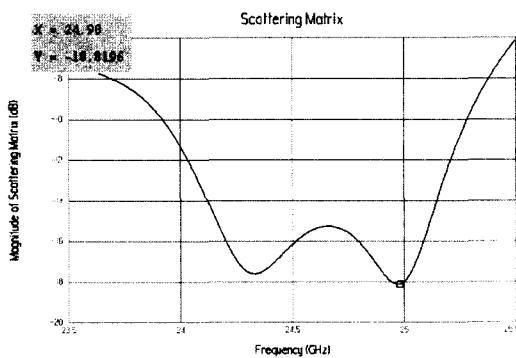


그림 5. 삽입손실

Fig. 5. Return Loss.

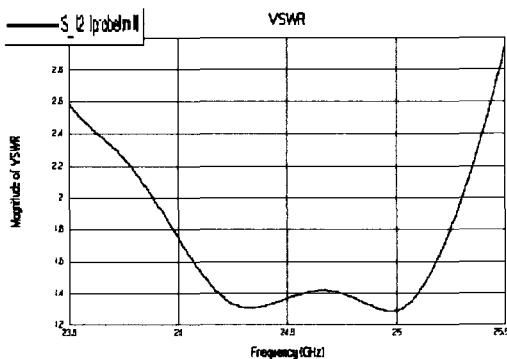


그림 6. 정재파비

Fig. 6. VSWR.

표 6은 설계된 8×8 배열안테나 특성이다.

그림 5는 삽입손실 특성이다. 최대공진 주파수 24.98 GHz에서 -18.8 dB 이다. 그림 6에서 정재파비 2 이하의 대역폭은 1.42 GHz로 LMDS 수신용 안테나에 필요한 대역폭을 만족한다. 3 dB 빔 폭은 8.9°로 단일 소자에 18 %이다. 이득은 23.4 dBi로

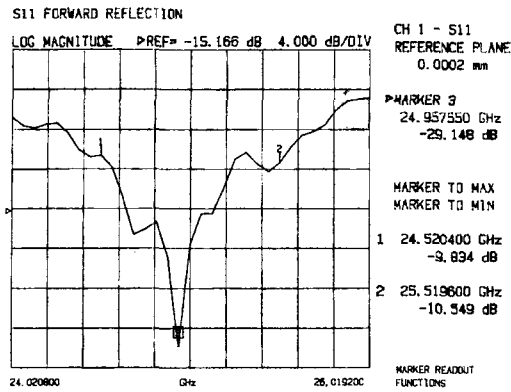


그림 9. 제작된 안테나 삽입손실  
Fig. 9. Return Loss of the fabricated antenna.

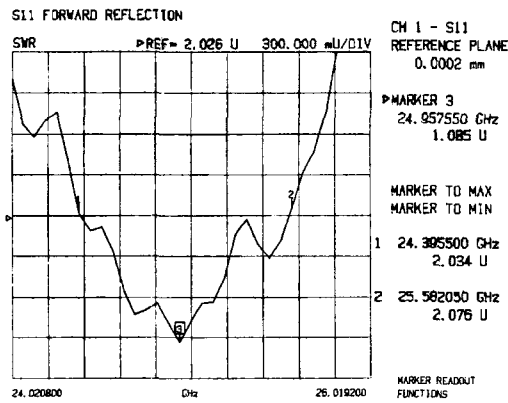


그림 10. 제작된 안테나 정재파비  
Fig. 10. VSWR of the fabricated antenna.

다. 이는 설계시 고려되지 않았던 하우징(housing)이 안테나 측정과 구조 보호를 위해 부착되면서 안테나와 하우징 사이의 리액턴스에 변화가 생겨 나타난 오차로 추정된다. 그림 10은 제작된 안테나의 정재파비를 측정하는 것이다. 정재파비 2이하의 Mark 1과 Mark 2 사이 대역폭은 약 1.2 GHz이다. 설계 특성인 1.42 GHz에 비해 다소 좁아졌지만 이는 삽입손실의 대폭 개선으로 인해 나타난 결과이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 Chebyshev 다항식을 이용한 병렬 급전 구조를 가진 LMDS 수신용 마이크로스트립 배열 안테나를 설계, 제작하였다.

선형 배열이론과 Chebyshev 다항식을 해석하고 안테나 특성의 주요파라미터인 급전점의 임피던스 분석을 위해 삽입깊이에 따른 임피던스 변화를 시뮬레이션 함으로써 최적의 설계치를 얻었다. 삽입깊이는 0.9 mm이고 가로는 3.79, 세로는 3.97 이다. 기본 소자를 Chebyshev 배열법에 적용하여 배열된 소자 수에 따른 안테나 주요 특성의 변화를 시뮬레이션하여 소자수에 따른 안테나특성을 분석하고 규격을 만족하는 최적의 배열 수를 얻었다. 가로방향은 Chebyshev 분포, 세로방향은 균등분포 된 병렬급전 구조의 8×8 배열 안테나는 빔폭 8.9°와 부엽레벨 -15 dB 이하의 Chebyshev 분포된 안테나 특성을 보였다.

설계된 안테나는 테프론 기판에 제작하고 구조의 변형 방지와 측정의 안정을 위해 하우징을 제작하여 부착하였다. 제작된 8×8 배열 안테나의 이득은 23.4 dBi, 대역폭 1.2 GHz, 중심 주파수 24.96 GHz, 삽입손실 -29.15 dB의 측정결과를 얻었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Y. Chung, "Korean Type 28 GHz band LMDS," *KITE Autumn Conference*, Oct. 1994.
- [2] D. P. Gray, L. Shafai, "Two Planar Array Candidates for LMDS/LMCS Subscriber Terminal", *IEEE Trans. Antennas Propagat., International symposium*, vol. 4, pp. 2728-2731, 1999.
- [3] W. L. Stutzman, *Antenna Theory and design*, John Willey & Sons, pp. 441-475, 1998.
- [4] R. J. Mailloux, J. Mcilvenna and N. Kernweis, "Microstrip array technology", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, no. 1, pp. 25-38, Jan. 1981.
- [5] Y. T. Lo, D. Solomon and W. F. Richards, "Theory and experiment on microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, no. 2, pp. 137-145, Mar. 1979.
- [6] R. A. Sainati, *CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application*, Artech House, pp. 32-147, 1996.
- [7] I. J. Baul, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*,

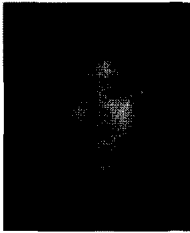
Chebyshev 다항식을 이용한 병렬급전 구조를 가진 LMDS 수신용 마이크로스트립 배열 안테나에 관한 연구

Artech House, pp. 32-84, 1982.

[8] P. Besso, R. Bills, P. Brachat and R. Vallauri,  
"Millimetric Wave Omnidirectional Antenna

With Cosecant Squared Elevation Pattern", *IEEE  
Tras. Antennas Propagat., 10th International  
Conference*, vol. 1, pp. 448-451, Apr. 1997.

### 문 동 권

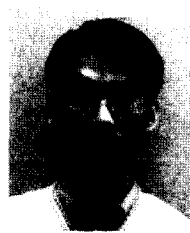


1999년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학사)  
2001년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년 8월~현재: 엔알디(주) 연구소 연구원

[주 관심분야] 밀리미터파 소자 및

안테나 설계

### 박 명 렬



1996년 2월: 경북 산업대학교 전자공학과 (공학사)  
1998년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년 12월~현재: 엔알디(주) 연구소 연구원

[주 관심분야] 밀리미터파 소자 및

안테나 설계

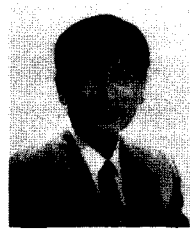
### 안 성 훈



2002년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학사)  
2002년 3월~현재: 울산대학교 전기전자 및 자동화공학부 석사과정

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나, EMC

### 정 천 석



1969년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)  
1980년 2월: 부산대학교 전자공학 (공학석사)  
1988년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 11월~현재: 울산대학교 전

기전자 및 자동화공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 및 EMC