

LMDS용 평면형 안테나의 실용화 방안

A Study on the Practice Method of Planar Antenna for LMDS

이형수* · 설동범** · 이윤경** · 윤현보**

Hyung-Soo Lee* · Dong-Beam Seol** · Yun-Kyung Lee** · Hyun-Bo Yoon**

요 약

본 논문에서는 LMDS용 평면형 안테나로 28 GHz에서 동작하는 LTS 안테나와 Vivaldi 안테나를 시간영역 유한차분법(Finite Difference Time Domain Method)를 이용하여 최적화한 후 제작 및 측정하였다. 부엽의 크기를 줄이기 위하여 corrugation 구조를 설계한 평면형 안테나에 적용하여 FDTD 방법으로 최적화 한 후, 제작 및 측정하였다.

측정결과, corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나와 Vivaldi 안테나의 부엽의 크기가 약 4 dB 감소됨을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the planar LTS and Vivaldi antenna operating at 28 GHz for LMDS is optimized by finite difference time domain(FDTD) method and then fabricated and measured. We designed LTS and Vivaldi antenna with corrugation structure for reducing sidelobe, then these antenna are optimized by FDTD, and then fabricated and measured.

In a results of the measured values, sidelobe level of LTS and Vivaldi antenna with corrugation structure is 4 dB lower than that of LTS and Vivaldi antenna.

I. 서 론

최근에는 이동통신과 위성통신의 활성화 등에 힘입어 통신량의 급격한 증가로 더 높은 주파수 자원을 활용하기 위한 기술개발이 필요한 단계이며, 이는 자연적으로 밀리미터파의 연구를 가속시켰다고 볼 수 있다. 따라서 최근 밀리미터파를 활용한 대표적인 서비스인 LMDS 시스템에 기본이 되는 효율적인 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1]~[8]}

본 논문에서는 LMDS 용 평면형 안테나의 실용화 방안으로 소형 경량이며, 제작이 용이하고 높은

이득 및 광대역 특성을 가지며 E와 H 패턴이 대칭인 LTS (Linear Tapered Slot) 안테나와 Vivaldi 안테나를 해석하였다^{[1]~[8]}.

안테나의 해석은 full-wave 해석방법으로 다양한 구조의 해석이 용이하고 광대역 주파수 응답특성을 구할 수 있으며 다중 유전체 경계의 해석도 가능한 시간 영역 유한 차분법 (Finite Difference Time Domain : FDTD)를 이용하여 해석하였고, 급전구조로 microstrip-to-slot transition 을 이용하여 광대역 동작특성을 갖도록 하였다^{[9]~[14]}. LTS 안테나와 Vivaldi 안테나는 LMDS용 주파수인 28 GHz에서 VSWR이 2 이하일 때 5 GHz 이상의 대역폭을 갖도

* 한국전자통신연구원(ETRI)

** 동국대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Eng., Dongguk Univ.)

· 논문 번호 : 991227-125

· 수정완료일자 : 2000년 2월 21일

록 설계하였으며, FDTD 방법으로 최적화 한 후, 제작 및 측정하였다. 또한 평면형 안테나의 실용화를 위하여 부엽(sidelobe)의 크기를 감소시키는 방안으로 corrugation 구조를 LTS 안테나와 Vivaldi 안테나에 적용하여 제작 및 측정된 결과를 비교하였다.

II. LMDS 용 LTS 안테나

2-1 LTS 안테나의 FDTD 해석

Tapered slot 안테나의 기본 구조는 얇은 유전체 층의 한 면에는 tapered slot을 만들고, 다른 한 면에 마이크로스트립 선로를 이용하여 급전시키는 형태이다.

급전기 방향으로는 슬롯의 폭을 아주 좁게 만들어 입력 전송선과 급전을 용이하게 하고 슬롯 자체에서 생길 수 있는 복사를 최소화 시키며, 반대방향으로는 슬롯을 taper 형태로 점점 넓게 해주어 전파가 진행해가면서 서서히 복사하게 한다. 이러한 tapered slot 영역을 따라 λ_g (유전체내에서 파장)가 계속 변하기 때문에 tapered slot 안테나는 multi-octave 대역폭을 가질 수 있다. 그림 1은 linear 형태의 slot을 갖는 LTS 안테나를 FDTD 로 해석하기 위한 계산영역이다.

LMDS 용 LTS 안테나는 급전기로 밀리미터파대라는 점을 감안하여 일반적인 microstrip-to-slot transition 구조보다 더 효과적인 결합을 시켜주기 위해서 밑면의 마이크로스트립 선로가 윗면의 슬롯 선로를 지나서부터 존재하는 $\lambda_s/4$ 개방 스테르브의 폭 W_s 을 좀더 넓혀 주었고^{[12]~[14]}, tapered slot 복사체와 연결하였으며, 2α 를 12.1952°로 하고 tapered 시킨 길이 L 은 48.74 mm($4.55\lambda_0$)이며, tapered slot의 최종단의 폭 W 은 10.67 mm ($1\lambda_0$)로 FDTD 를 이용하여 최적화하였다^[4]. 여기서 λ_0 는 28 GHz 일 때 자유공간 파장이다.

LTS 안테나의 FDTD 계산영역에서 사용한 공간 분할 간격은 $\Delta x = 0.127$ mm, $\Delta y = 0.39628$ mm, $\Delta z = 0.26247$ mm 이고, 총 격자는 x, y, z 방향으로 각각 $126 \times 216 \times 32$ 이다. 여기서 유전체 두께 d 는 0.7874 mm 이고, 유전체의 유전상수 ϵ_r 은 2.2 이다. 특히 tapered 되는 부분에 있어서는 그림 1과 같

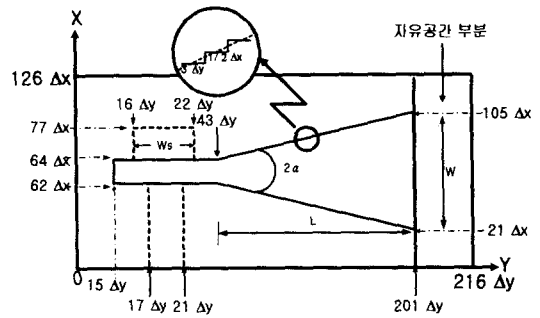


그림 1. LTS 안테나의 FDTD 계산 영역.

Fig. 1. The computational region of FDTD for LTS antenna.

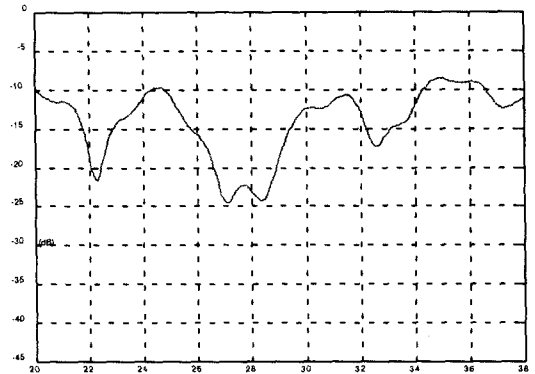


그림 2. FDTD 해석에 의한 LTS 안테나의 반사손실 (가로축 : [GHz])

Fig. 2. Return loss of LTS antenna by the FDTD analysis.

이 계단 근사법(stepped approximation method)을 이용하였고, 계단은 $6.0976^\circ (= \alpha)$ 로 해주기 위해 y 축으로 3칸 이동할 때마다 x 축으로 1/2 칸씩 이동하였다.

입력신호는 가우시안 펄스를 TEM 여기방법으로 여기하였고, 여기면으로부터 슬롯 선로 중심까지 급전선로의 길이는 진행펄스의 안정화 시간을 고려하여 63 Δx 로 설정하였으며, 시간 간격 Δt 는 Taflove에 의해 유도된 Courant의 안정 조건^[11]에 만족되도록 약 2.118×10^{-1} ps로 하였다. FDTD 계산후 Fourier 변환시 주파수 영역에서 응답 특성에 대한 해상도를 약 236 MHz로 하기 위하여 20,000번의 반복계산을 수행하였다.

FDTD 계산결과, 이 안테나의 반사손실은 그림 2와 같으며 -10 dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 6.8 GHz이다.

2-2 Corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 FDTD 해석

기판 가장자리에 주기적인 slit을 갖는 corrugation 구조를 설계한 LTS 안테나에 적용하여 FDTD 로 해석하였다. Slits 의 크기는 $8\Delta y$ 의 주기를 갖는 $4\Delta y \times 17\Delta x$ (폭 \times 길이)로 하였으며, FDTD 계산영역은 그림 3과 같다.

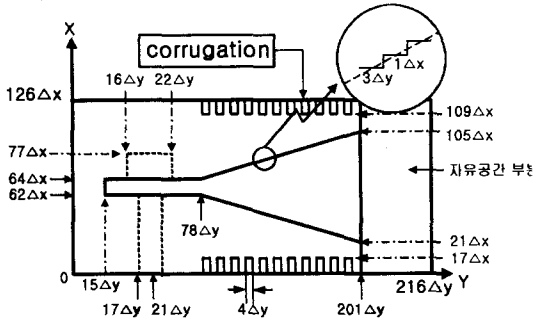


그림 3. Corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 FDTD 계산영역

Fig. 3. The computational region of FDTD for LTS antenna with corrugation structure.

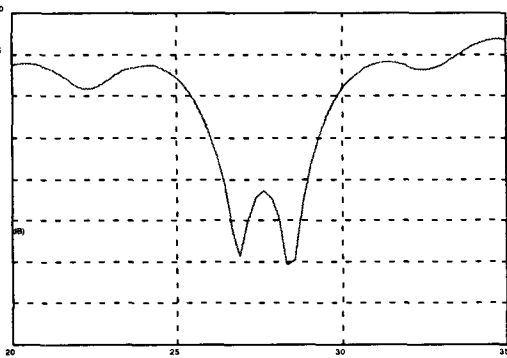


그림 4. FDTD 해석에 의한 corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 반사손실(가로축 : [GHz])

Fig. 4. Return loss of LTS antenna with corrugation structure by the FDTD analysis.

앞에서와 마찬가지로 방법으로 FDTD로 해석한 결과, corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 반사손실은 그림 4와 같으며 -10 dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 4.5 GHz이다.

Ⅲ. LMDS 용 Vivaldi 안테나

3-1 Vivaldi 안테나의 FDTD 해석

Vivaldi 안테나는 그림 5와 같이 지수함수 형태의 tapered slot을 갖는 구조이다.

이 안테나도 마찬가지로 스테브의 폭을 확장한 microstrip-to-slot transition 구조를 tapered slot 복사체와 연결하였으며, 지수함수 형태로 tapered된

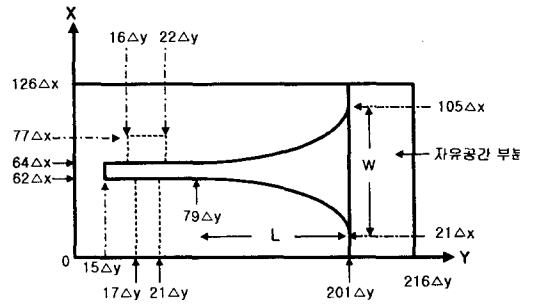


그림 5. Vivaldi 안테나의 FDTD 계산 영역

Fig. 5. The computational region of FDTD for Vivaldi antenna.

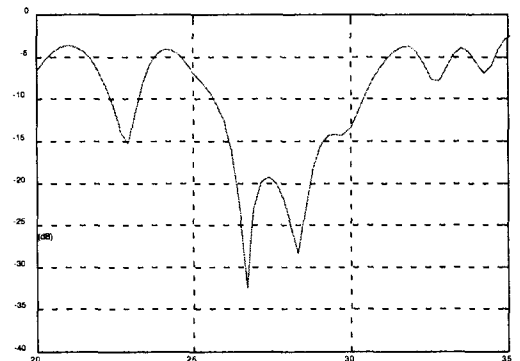


그림 6. FDTD 해석에 의한 Vivaldi 안테나의 반사손실(가로축 : [GHz])

Fig. 6. Return loss of Vivaldi antenna by the FDTD analysis.

슬롯은 식 (1)과 같다.^[4]

$$x(y) = W_0 \exp(k_s, y) \quad (1)$$

여기서 W_0 , k_s 는 임의의 상수이다.

Tapered 시킨 길이 L 은 48.74 mm($4.55 \lambda_0$)이며 tapered slot의 최종단의 폭 W 는 10.67 mm($1 \lambda_0$)로 설계하였으며, FDTD를 이용하여 최적화하였다. 여기서 λ_0 는 28 GHz 일 때 자유공간 파장이다. 그림

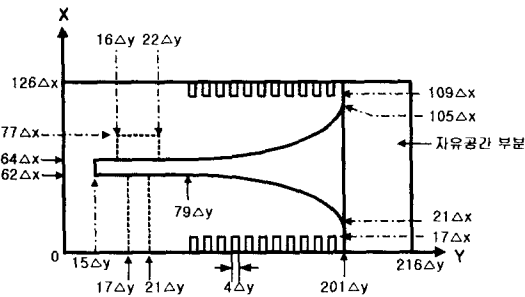


그림 7. Corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나의 FDTD 계산 영역.

Fig. 7. The computational region of FDTD for Vivaldi antenna with corrugation structure.

5는 Vivaldi 안테나의 FDTD 계산영역이며, 총 격자 수는 x, y, z 방향으로 각각 $126 \times 216 \times 32$ 이다.

FDTD 계산결과, Vivaldi 안테나의 반사손실은 그림 6과 같으며 -10 dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 5 GHz 이다.

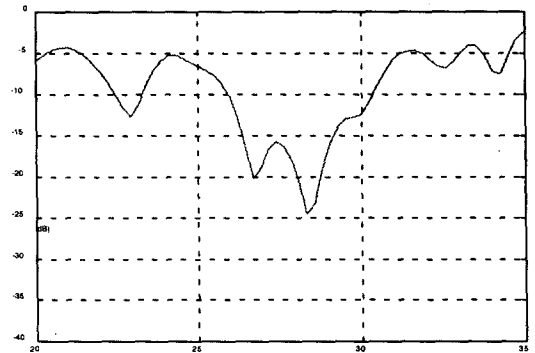
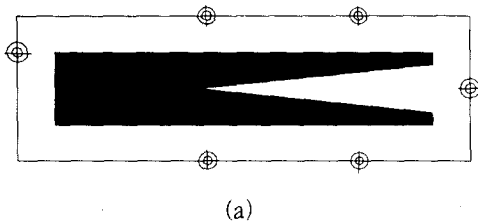
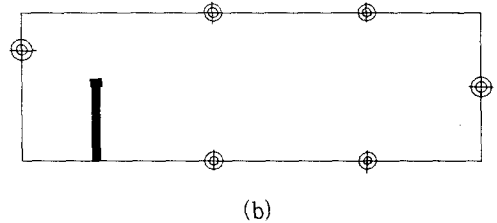


그림 8. FDTD 해석에 의한 Vivaldi 안테나의 반사손실(가로축 : [GHz])

Fig. 8. Return loss of Vivaldi antenna by the FDTD analysis.



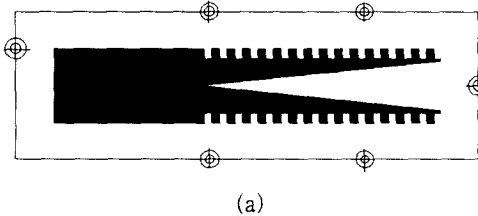
(a)



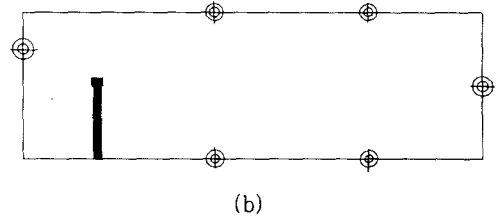
(b)

그림 9. LTS 안테나의 양화필름. (a) LTS 복사체 (윗면), (b) 급전선로 (아래면)

Fig. 9. Positive film of the fabricated LTS antenna. (a) LTS (front), (b) feeder line (back)



(a)



(b)

그림 10. Corrugation 구조의 LTS 안테나의 양화필름

(a) Corrugation 구조의 LTS 복사체(윗면), (b) 급전선로(아래면)

Fig. 10. Positive film of the fabricated LTS antenna with corrugation structure.

(a) LTS with corrugation structure (front), (b) feeder line (back)

3-2 Corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나

그림 7은 corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나의 FDTD 계산 영역이다. 지수함수 형태의 tapered slot 가장자리에 주기적인 slit을 만들었으며, slits의 크기는 $8\Delta y$ 의 주기를 갖는 $4\Delta y \times 17\Delta x$ (폭×길이)로 하였다.

FDTD 계산결과, corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나의 반사손실은 그림 8과 같으며 -10 dB를 기준으로 할 때 대역폭은 약 4.5 GHz 이다.

IV. 제작 및 측정

4-1 LTS 안테나의 제작 및 측정

최적화된 LTS 안테나를 RT-duroid 5880 시리즈인 $\epsilon_r=2.2$, $h=0.7874\text{ mm}$, 동박두께 $0.5z_0(18\ \mu\text{m})$ 인 기판을 이용하여 사진 감광법으로 제작하였으며, 그림 9와 그림 10은 제작된 전체 LTS 안테나와 corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 양화필름(positive film)이며, AutoCAD(14v)를 이용하여 설계한 것이다.

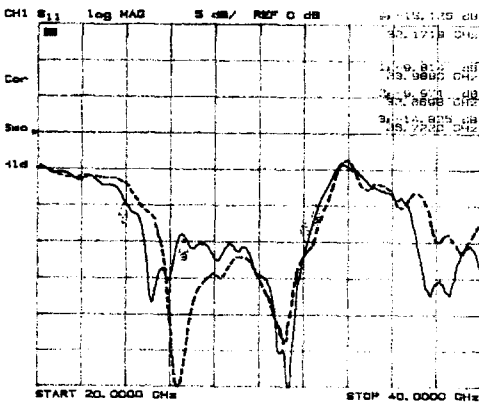


그림 11. LTS 안테나의 반사손실 측정값
 — : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

Fig. 11. The measured return loss of LTS antenna.
 — : without corrugation,
 ---- : with corrugation

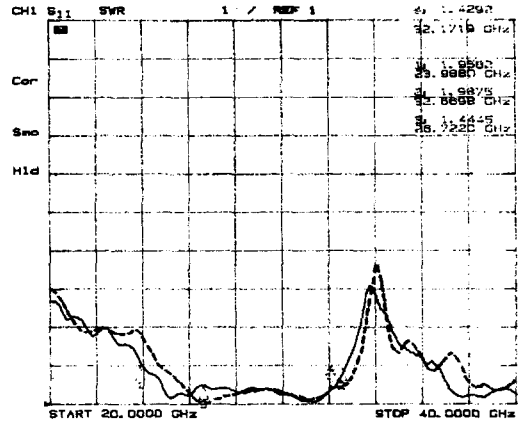


그림 12. LTS 안테나의 정재파비 측정값

— : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

Fig. 12. The measured VSWR of LTS antenna.

— : without corrugation,
 ---- : with corrugation

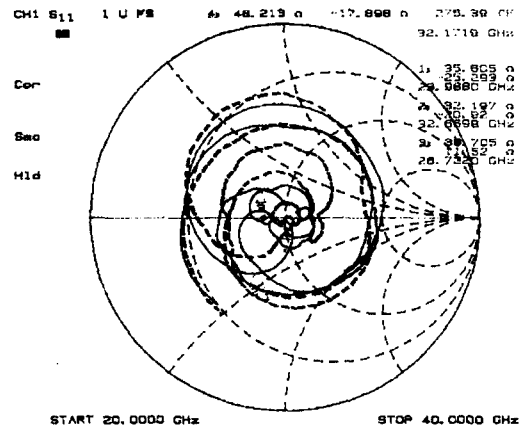


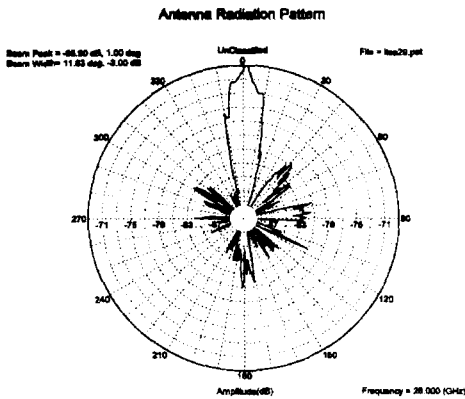
그림 13. LTS 안테나의 입력임피던스 측정값

— : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

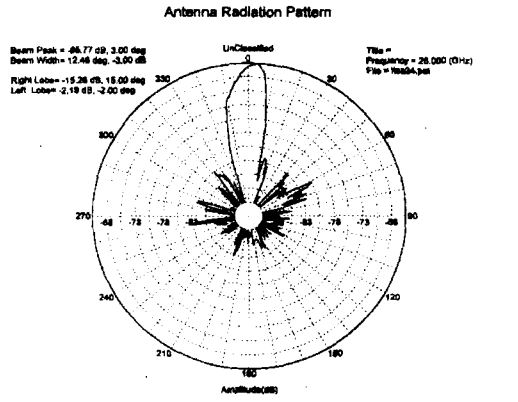
Fig. 13. The measured input impedance of LTS antenna.

— : without corrugation,
 ---- : with corrugation

제작된 LTS 안테나와 corrugation 구조를 적용한 LTS 안테나들의 반사손실, VSWR 및 입력임피던스를 HP8722A Network Analyzer 로 측정하여 그 결



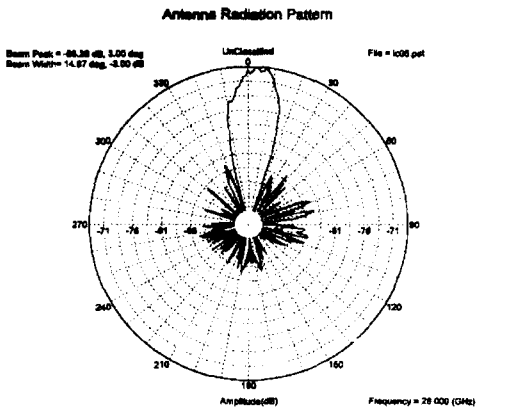
(a)



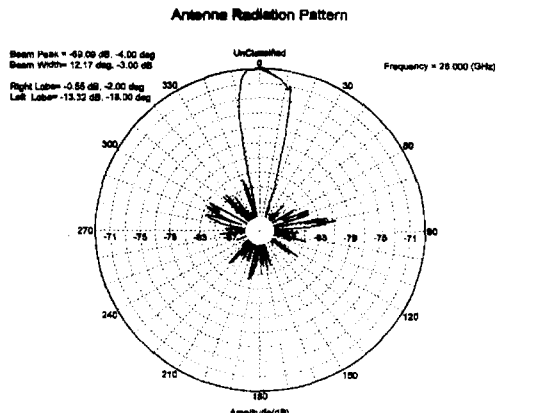
(b)

그림 14. LTS 안테나의 복사패턴. (a) E-패턴, (b) H-패턴

Fig. 14. The measured radiation patterns of LTS antenna. (a) E-pattern, (b) H-pattern.



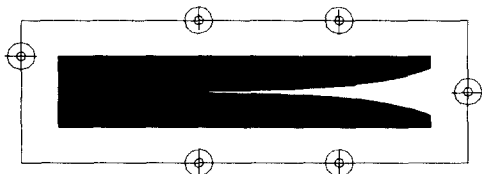
(a)



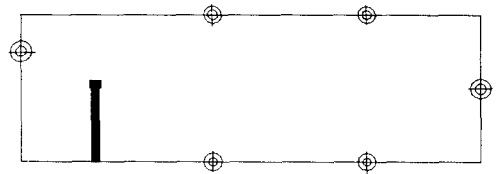
(b)

그림 15. Corrugation 구조를 갖는 LTS 안테나의 복사패턴. (a) E-패턴, (b) H-패턴

Fig. 15. The measured radiation patterns of LTS antenna. (a) E-pattern, (b) H-pattern.



(a)



(b)

그림 16. Vivaldi 안테나의 양화필름. (a) Vivaldi 복사체(앞면), (b) 급전선로(아래면)

Fig. 16. Positive film of the fabricated Vivaldi antenna. (a) Vivaldi(front), (b) feeder line(back).

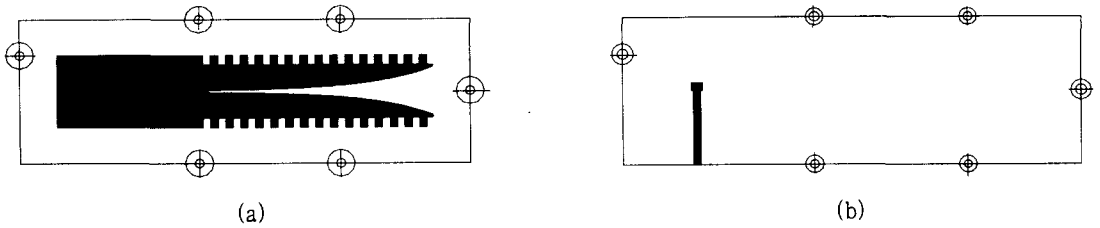


그림 17. Corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나의 양화필름
 (a) Corrugation 구조의 Vivaldi 복사체 (윗면), (b) 급전선로(아래면)
 Fig. 17. Positive film of the fabricated Vivaldi antenna with corrugation structure
 (a) Vivaldi with corrugation structure (front), (b) feeder line(back).

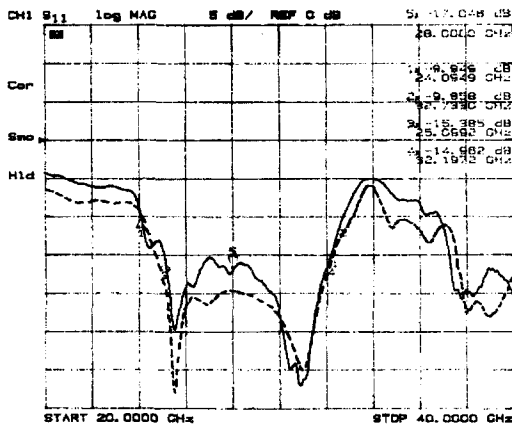


그림 18. Vivaldi 안테나의 반사손실 측정값
 — : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

Fig. 18. The measured return loss of Vivaldi antenna.
 — : without corrugation,
 ---- : with corrugation

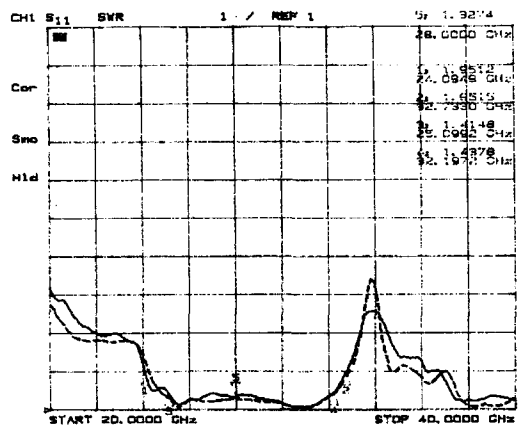


그림 19. Vivaldi 안테나의 정재파비 측정값
 — : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

Fig. 19. The measured VSWR of Vivaldi antenna.
 — : without corrugation,
 ---- : with corrugation

과를 그림 11~13에서 비교하였으며, Pattern recorder에 의한 복사패턴을 측정 한 결과는 그림 14와 그림 15에 나타내었다.

4-2 Vivaldi 안테나의 제작 및 측정

최적화된 Vivaldi 안테나를 RT-duroid 5880 시리즈인 $\epsilon_r=2.2$, $h=0.7874$ mm, 동박두께 $0.5z_o(18 \mu m)$ 인 기판을 이용하여 사진 감광법으로 제작하였으며, 그림 16과 그림 17은 설계된 전체 Vivaldi

안테나 구조와 corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나로, AutoCAD (14v)를 이용하여 설계한 것이다.

제작된 Vivaldi 안테나의 반사손실, VSWR 및 입력임피던스를 HP 8722A network analyzer로 2.4 mm calibration kit에 의해 calibration 한 후에 측정하였으며, corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나와 비교한 측정결과를 그림 18~20에 나타내었다.

그림 21과 그림 22는 Pattern recorder로 측정 한 Vivaldi 안테나의 복사패턴이다.

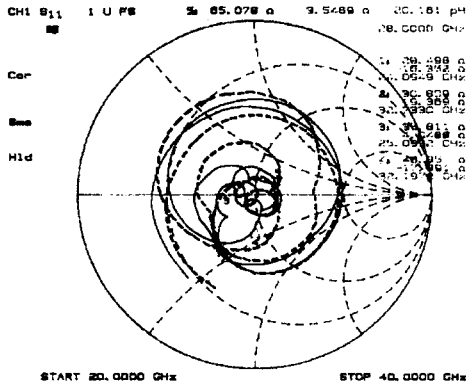
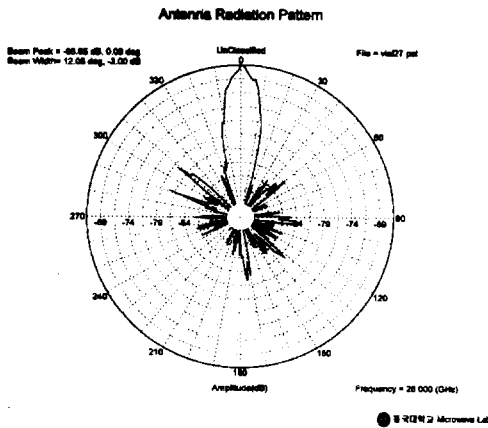


그림 20. Vivaldi 안테나의 입력임피던스 측정값

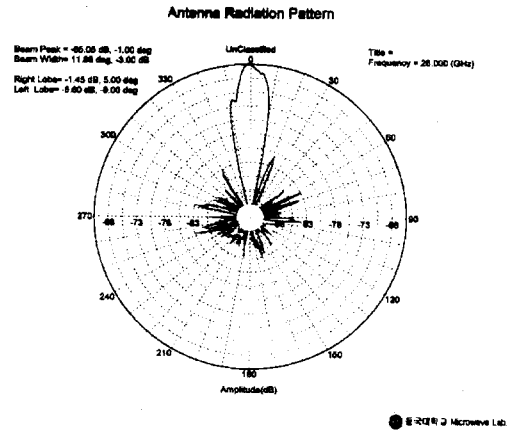
— : corrugation이 없는 구조,
 ---- : corrugation 구조

Fig. 20. The measured input impedance loss of Vivaldi antenna.

— : without corrugation,
 ---- : with corrugation



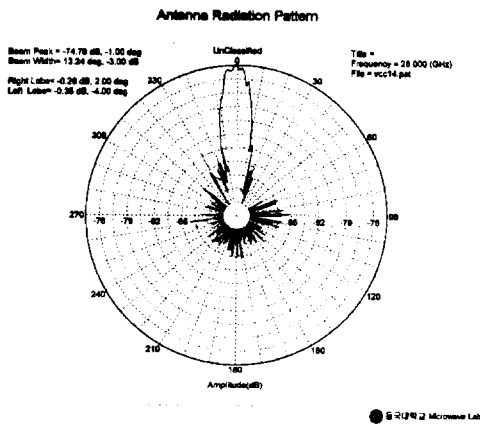
(a)



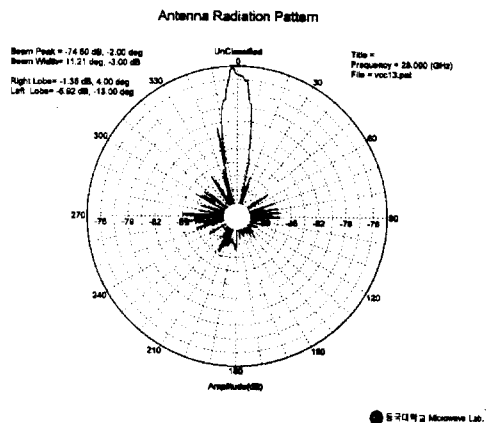
(b)

그림 21. Vivaldi 안테나의 복사패턴. (a) E-패턴, (b) H-패턴

Fig. 21. The measured radiation patterns of Vivaldi antenna. (a) E-pattern, (b) H-pattern.



(a)



(b)

그림 22. Corrugation 구조를 갖는 Vivaldi 안테나의 복사패턴. (a) E-패턴, (b) H-패턴

Fig. 22. The measured radiation patterns of Vivaldi antenna with corrugation structure. (a) E-pattern, (b) H-pattern.

표 1. corrugation 구조를 적용한 경우, LTS 안테나와 Vivaldi 안테나의 특성 비교

특성	구조	LTS 안테나		Vivaldi 안테나	
		without corrugation	with corrugation	without corrugation	with corrugation
중심주파수		28 GHz	28 GHz	28 GHz	28 GHz
대역폭		8.68 GHz	8.52 GHz	8.64 GHz	8.40 GHz
V.S.W.R		1:1.9(max)	1:1.9(max)	1:1.9(max)	1:1.9(max)
E패턴	HPBW	11.83°	14.87°	12.06°	13.24°
	side lobe	-12 dB	-16 dB	-14 dB	-18 dB

안테나의 가장자리에서 전계의 방향은 corrugation 구조에 의해 변화하는데 corrugation 구조를 적용한 경우 안테나의 가장자리에서 전계의 방향은 안테나의 복사방향과 일치한다. 따라서, corrugation 구조를 사용하여 복사패턴을 개선할 수 있다. 표 1은 설계한 안테나와 corrugation 구조를 적용한 안테나에 대하여 반사손실, 정재파비, 복사패턴의 측정값들을 비교한 결과를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 LMDS 용 평면형 안테나로 LTS 안테나와 Vivaldi 안테나를 구현하였다. 안테나의 해석은 FDTD 방법을 이용하였고, 급전구조로 microstrip-to-slot transition을 이용하여 광대역 동작특성을 갖도록 하였다. 부엽의 크기를 줄이기 위하여 corrugation 구조를 설계한 안테나에 적용하여 구현하였다.

LTS 안테나와 Vivaldi 안테나는 LMDS 용 주파수인 28 GHz에서 VSWR이 2이하일 때 5 GHz 이상의 대역폭을 갖으며, corrugation 구조를 적용한 경우, 반사손실 특성에는 거의 영향을 주지않으며, 다만, 부엽의 크기가 약 4 dB 감소됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Pranay R. Acharya, Hans Ekstom, Steven S. Gearhart "Tapered slot antennas at 802 GHz" *IEEE Trans. MTT-41*, no. 10, pp. 1715-1719, Oct., 1993.
 [2] S. Sugawara & Y. Maita "MM-wave tapered slot antenna with improved radiation

pattern" *IEEE MTT-S Digest*, pp. 959-962, 1997.

[3] J. S. Colburn, "Linear tapered slot antenna directivity improvement via substrate perforation : A FDTD Evaluation. *IEEE proceeding*, pp. 1176-1179, 1998.
 [4] Yngvesson, K. S. et al, "End-fire tapered slot antennas on dielectric substrates" *IEEE Trans. AP-33*, no. 12, pp. 1392-1400, Dec., 1985.
 [5] Janaswany, R. and D. H. Schaubert "Analysis of the tapered slot antenna" *IEEE Trans AP-35*, no. 9, pp 1058-1065, Sep., 1987.
 [6] Kai Fong Lee and Wei Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, 1997.
 [7] P. Besso, R. Bills, P. Brachat "Omnidirectional antenna with shaped elevation pattern for LMDS Systems at 40.5 - 42.5 GHz Band", *Proceeding of the international conference on telecommunications*, vol. 2, pp. 138-140, 1998.
 [8] J. B. Muldavin, "Tapered slot antennas on thick dielectric substrates using micromaching techniques" *IEEE*, pp. 1110-1112, 1997.
 [9] Karl S. Kunz, Raymond J. Luebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, 1993.
 [10] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-14, pp. 302-307, May, 1966.
 [11] A. Taflove and M. E. Brodwin, "Numerical

solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-23, no. 6, pp. 623-630, Jun., 1975.

[12] Hung-Yu Yang and Nicolaos G.Alexopoulos, "A dynamic model for microstrip-slotline transition and related structures," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol.

MTT-36, no. 2 pp. 286-293, Feb., 1988.

[13] Bernd Schuppert, "Microstrip/slotline transitions : Modeling and Experimental investigation," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-36, no. 8, pp. 1272-1282, Aug., 1988.

[14] Jeffrey B. Knorr, "Slotline transitions," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, pp. 548-554, May, 1974.

이 형 수

1980년: 경북대학교 전자공학(공학사)
1985년: 연세대학교 전자계산학과(공학석사)
1995년: 성균관대학교 정보공학과(공학박사)
1983년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

이 윤 경

1993년: 서울산업대학교 매체공학과(공학사)
1995년: 동국대학교 전자공학과(공학석사)
1996년~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정

설 동 범



1999년: 동국대학교 전자공학과(공학사)
1999년~현재: 동국대학교 전자공학과 석사과정

윤 현 보

1979년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수