

4세대 이동통신용 하트형 빔 패턴 안테나의 설계에 관한 연구

윤현수* · 공진우* · 최병하*

*목포해양대학교

A study on the Heart-shape Beam Pattern Antenna for IMT-Advanced

Hyun-Soo Yoon* · Jin-Woo Kong* · Byoung-Ha Choi*

*Mokpo National Maritime University

E-mail : super_gain@mmu.ac.kr, bradkong@nate.com, antenna@mmu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 4세대 이동통신에 적용 가능한 하트형 빔 패턴을 갖는 안테나의 설계에 관한 연구를 하였다. 제안된 구조는 하트형 빔 패턴을 갖는 기본구조와 비교하면 전체의 크기(Ground Plane)는 동일하지만, 패치의 크기는 약간 증가(약 1.3배)하였다. 임피던스 대역폭은 기본구조와 비교하여 약 258%증가하여 IMT-Advanced에 적용할 수 있는 매우 좋은 특성을 얻을 수 있었다. 안테나의 임피던스 대역폭은 약 22%(870MHz)였으며, IMT-Advanced 주파수대역 전체에 걸쳐서 8.7dBi이상의 이득을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we studied about the antenna designed by heart-shape beam pattern for 4G mobile communication applications. The proposed whole size of structure was identical if it compare with the basis structure. But size of the patch was improved a little(upward 1.3). The impedance bandwidth was improved about 258% which compares with the basis structure. And the structure could get very good characteristic applicatory to IMT-Advanced. Impedance bandwidth of antenna was about 22%(870MHz). The gain of above 8.7dBi was achieved extended IMT-Advanced all frequency band.

Keyword

IMT-Advanced(4G), Heart-shape Beam Antenna, Wideband Antenna

1. 서 론

지난 몇 년 동안 통신망진화에 있어 가장 주목할만한 점은 음성 위주의 서비스에서 데이터 서비스로의 변화 및 고정된 네트워크에서 이동성이 보장되는 mobile communication으로의 변화이다. 현재 이동전화 서비스의 대부분을 차지하는 음성 서비스는 앞으로도 서비스의 주요 요소가 될 것이나, 수요자의 요구 충족을 위하여 더 질 높은

서비스를 제공하여야 한다. 이러한 서비스를 제공할 수 있는 4세대 이동통신은 1세대 아날로그에서 2세대 디지털, 3세대 동영상 이동통신, 3.5세대 고속이동통신에 이은 대용량 초고속 이동통신이다. 4G 서비스는 초당 100만비트 전송속도의 서비스가 끊기지 않는 기지국간 통화 연동 '핸드오버' 기술을 적용하여 고속 이동 중에 100Mbps, 정지 및 저속 이동 중에 1Gbps까지 대용량 초고속 데이터 통신이 가능하다.

국제전기통신연합(ITU : International Telecommunication Union) 산하, 전파규칙의 개정등의 업무를 수행하는 세계전파통신회의(WRC-07)에서 4세대 이동통신용 주파수 분배를 논하는 연구의제(Agenda 1.4)를 다루고 주파수 분배를 확정하기로 하였으며, 3400 ~ 4200[MHz] 대역이 IMT-Advanced용 주파수로 선정될 가능성이 매우 높다. 이에 대한 공유가능성 및 기술개발이 활발히 진행되고 있으며 주파수 소요량은 연구결과 2020년까지는 IMT(IMT-2000 + IMT-Advanced) 용도로 총 1280 ~ 1720MHz 대역폭이 필요할 것으로 예측되어진다[1]. 이에 대응하여 이 주파수 대역을 수용할 수 있는 안테나의 개발이 반드시 필요하게 되었다.

안테나 설계에 있어서 하트형 빔패턴을 갖는 안테나를 중계기용 안테나로 사용함으로써 중계기 중심 아래 방향으로 null point (수신 불가능점)를 얻어 지면으로부터의 반사 억제 및 중계기 설치 빌딩 내 전자파환경 영향을 최소화시킬 수 있을 뿐만 아니라 환경미화에 유리하다. 건물의 위에 중계기용 안테나를 설치할 경우 약 84°의 elevation 각도가 요구된다. 이때 안테나에 요구되는 각이 너무 크게 되면 안테나 설계에 있어 많은 어려움이 있게 되는데 이를 해결 하기 위해서는 안테나의 설치 위치를 건물로부터 더욱 높게 설정함으로써 70°이하까지 elevation 각도를 줄일 수 있다[2-4].

본 논문에서는 실외에서 주로 사용하며 비교적 크기의 제한을 받지 않는 AP(AccessPoint)용 고효율 안테나를 설계하였다. 제안된 하트형 빔 패턴을 갖는 안테나는 기존의 하트형 빔 패턴 안테나의 효율과 대역폭을 개선하기 위하여 방사패치를 일정 반경에 일정 간격으로 배열하였으며 가지형 급전구조를 사용하였다. 또한, 접지면과 가지형 급전구조사이, 가지형 급전구조와 방사 패치사이의 기판을 유전율이 낮은 공기층을 이용하여 주파수 소요량 대역폭이 넓은 4세대 이동통신용으로 사용할 수 있음을 확인 할 수 있었다[5-7].

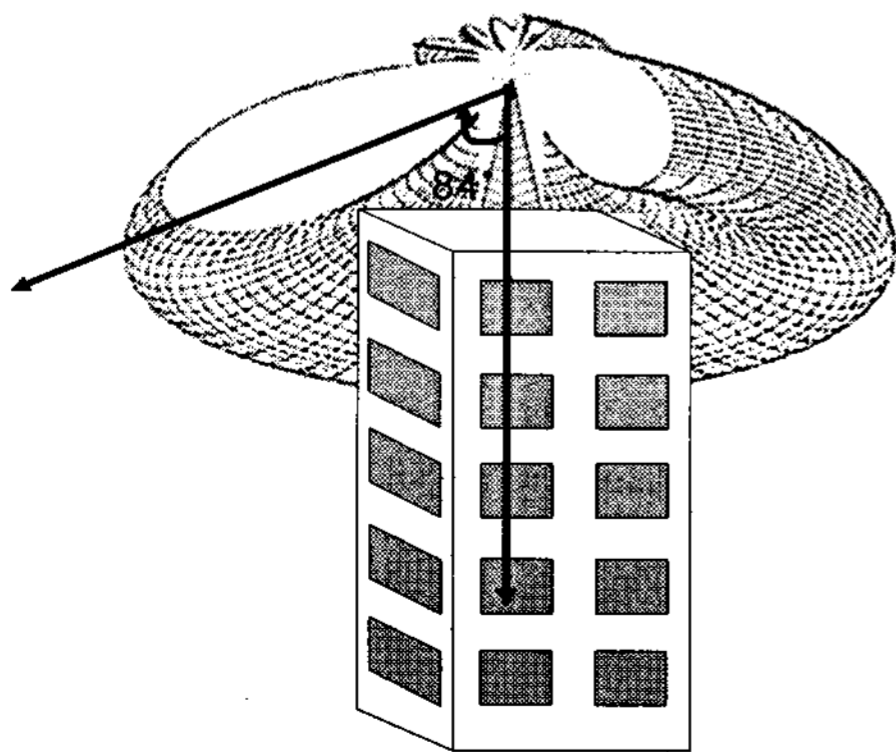


그림 4. 중계기용 안테나

II. 하트형 빔 패턴 안테나 설계

중계기 중심 아래 방향으로 수신 불가능 점을 얻어 지면으로부터의 반사 억제 및 중계기 설치 빌딩 내 전자파환경 영향을 최소화시킬 수 있을 뿐만 아니라 환경미화에 유리한 하트형 빔 패턴 안테나에 대한 연구는 다양한 방법에 의하여 진행되고 있다. 하트형 빔 패턴 안테나를 설계하기 위하여 기본적으로 원형 마이크로스트립 안테나를 사용하게 되는데, 원형 마이크로스트립 안테나의 공진주파수는 식(2-1)에 의해 구할 수 있다.

공진 주파수 :

$$(f_r)_{mno} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \left(\frac{\chi_{mn}}{a} \right) \quad (2-1)$$

패치 공진기의 반지름이 유한하기 때문에 패치 공진기 가장자리에서의 계는 프린징 효과가 발생하게 된다. 총 프린징 효과는 패치의 크기와 기판의 높이에 대한 함수이며 기본 E-평면(x-y 평면)에서 프린징 효과는 기판의 높이 h에 대한 반지름 a의 비(a/h)와 기판의 유전율 ϵ_r 의 함수이다. 마이크로스트립 안테나에서는 $2a/h \approx W/h \gg 1$ 이므로 프린징 효과가 적지만 프린징 효과는 안테나의 공진 주파수에 영향을 주기 때문에 고려해야 한다. 프린징 효과에 의하여 패치의 확장된 전기적 길이 즉 교정인자를 도입하여 계산하면 실효반경 a_e 를 식(2-2)와 같이 구할 수 있다[2].

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left[l \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2 \quad (2-2)$$

$a/h > 1$ 인 경우 프린징 효과에 의한 실효 유전율과 특성임피던스는 식(2-3), 식(2-4)와 같다.

실효유전율 :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{a} \right)^{-1/2} \quad (2-3)$$

특성 임피던스 :

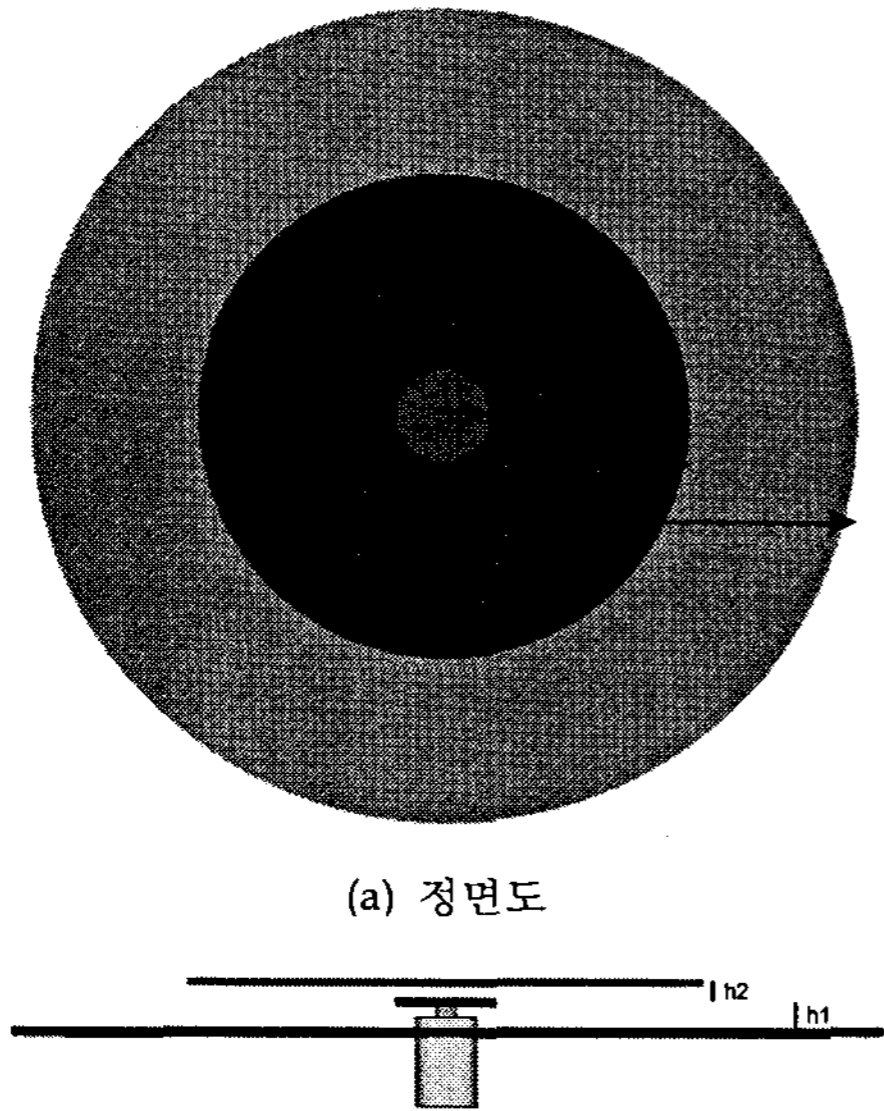
$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_{re}}} l \frac{8h}{a} + 0.25 \frac{a}{h}$$

$$\frac{W}{h} \leq 1$$

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{W}{h} + 1.393 + 0.667l \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right)^{-1}$$

$$\frac{W}{h} \geq 1 \quad (2-4)$$

안테나 설계 상용프로그램인 CST사의 MWS 5.0 툴에 의해서 최적화 시킨 결과 공진 주파수 3800 [MHz]에서 공진패치의 반지름 $a=PR=41.4$ [mm]가 되었고, 이를 그림 2.에서 보여주고 있다.



(a) 정면도
(b) 측면도
그림 2. 안테나의 구조

표 1. 단일 E형 안테나의 최적 설계 변수 [mm]

설계변수	FR	PR	GR	H1	H2
Length	8	41.4	70	3	1.5

표 1.에 나타난 안테나의 최적 설계 변수를 이용하여 설계된 안테나의 특성을 측정하였다. 그림 3.는 입력 반사손실, 그림 4.는 입력 임피던스, 그림 5.는 E-평면과 H-평면 방사패턴, 그림 6.은 Cartesian로 표현된 방사패턴을 보여준다. VSWR 2:1인 범위가 310[MHz]로 주파수 소요량 대역폭이 넓은 4세대 이동통신용으로 사용할 수 없음을 알 수 있었다. 방사패턴 특성을 살펴보면, E-평면과 H-평면 방사패턴은 동일하며 중심주파수 3800 [MHz]에서 안테나의 이득은 8.3[dBi] 그리고 3dB 빔폭은 Null값을 포함하여 약 100°를 나타냄을 알 수 있었다.

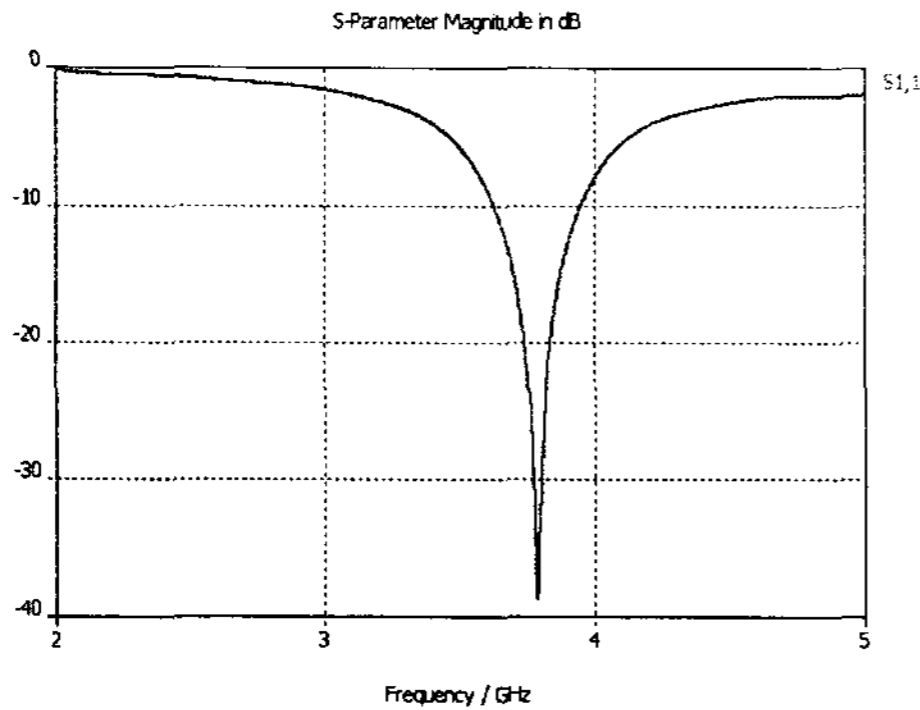


그림 3. 안테나의 입력 반사손실

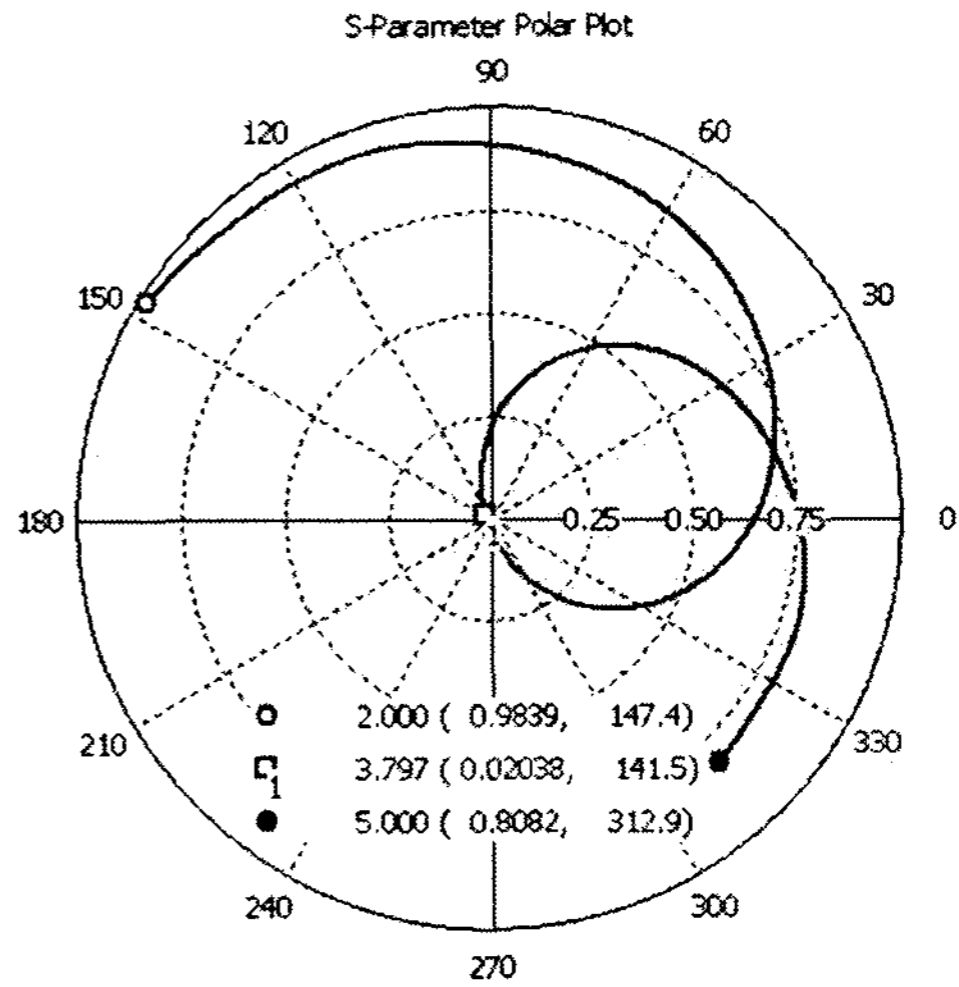


그림 4. 안테나의 입력 임피던스

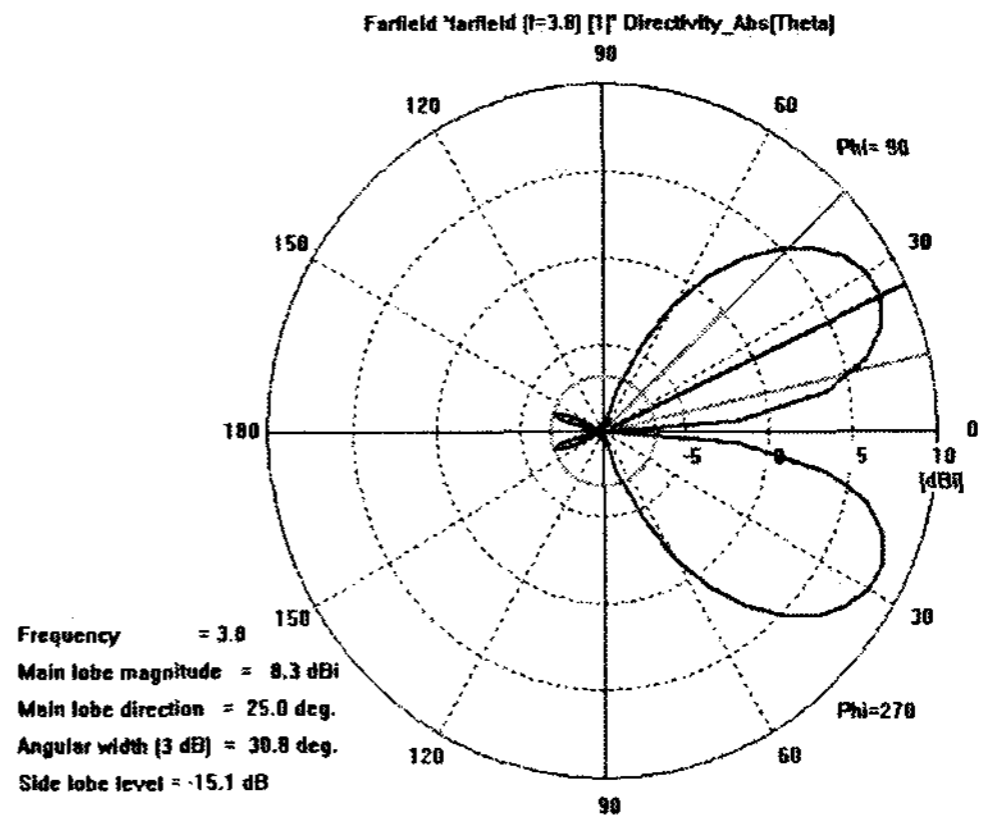


그림 5. 안테나의 방사패턴

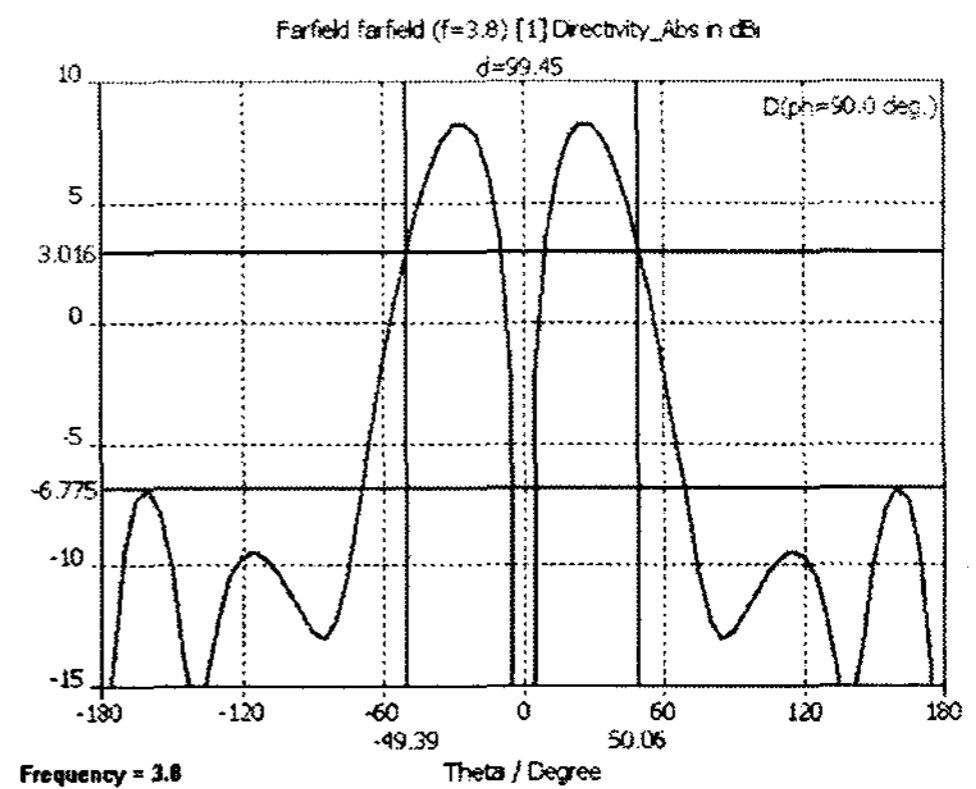


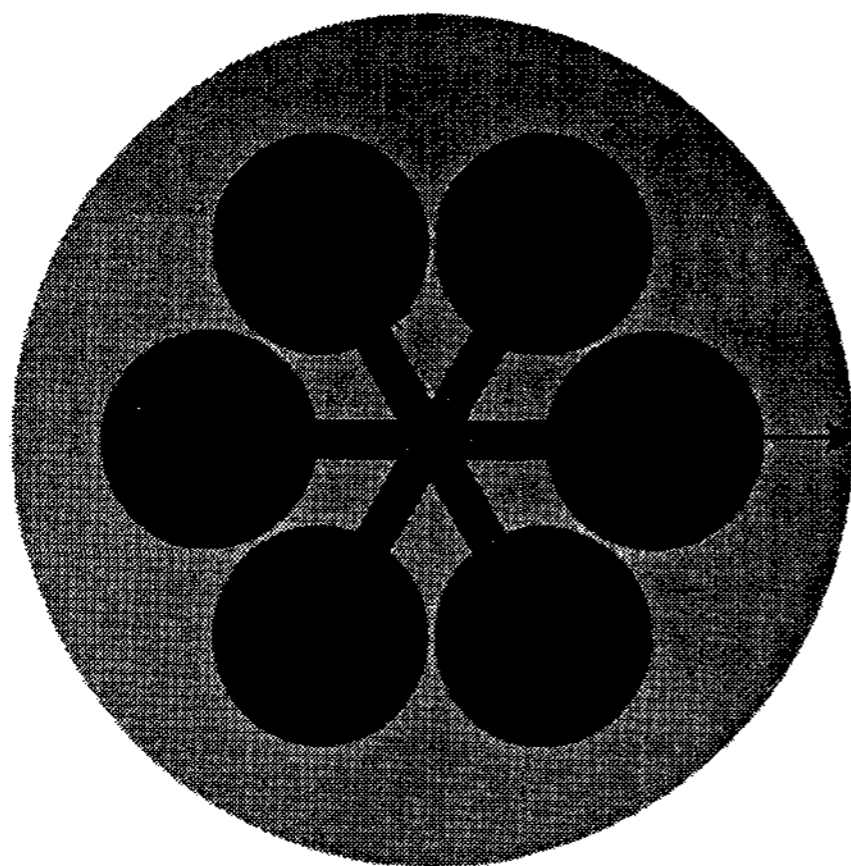
그림 6. 안테나의 Cartesian 방사패턴

III. 제안된 하트형 빔패턴 안테나 설계

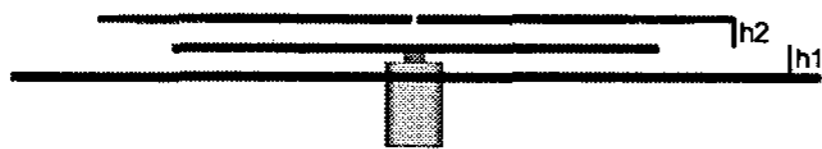
최종 설계할 안테나의 사양을 표 2에 나타내었다. 기존의 하트형 빔 패턴을 갖는 안테나의 대역폭을 개선하기 위하여 원형 패치를 중심축을 중심으로 60° 간격으로 배열하였으며, 가지형 급전 구조를 사용하였다. 그 안테나의 구조를 그림 7.에서 보여주고 있다.

표 2. 제안된 안테나의 사양

	E형 적층 안테나
Frequency Range	3400 ~ 4200[MHz]
VSWR	≤ 1.5
Input Impedance	50 [Ω]
Radiation Pattern	Directional (heart-shape)
Gain	≥ 8.0 [dBi]
Half Power Beam Width	≥ 85°



(a) 정면도



(b) 측면도

그림 7. 안테나의 구조

기존 안테나의 구조에서 그 구조를 많이 변화하였기 때문에 그 설계변수를 다시 변화시켜야 했다. 식(2-2)에 의하여 패치를 배열할 구조의 반지름을 구하고 각 패치의 반지름(PR)을 결정 한 후 각 변수를 변화하여 최적화 하였다.

그림 8.과 그림 9.는 급전선 설계변수의 변화에 따른 입력 반사손실의 변화이다. 급전선의 길이가 짧아질수록 공진 특성이 더욱 명확해지지만 그 대역폭이 좁아지는 것을 확인 할 수 있었으며, 급전선의 폭이 증가할수록 공진 특성은 약해지지만

그 대역폭이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 급전선의 길이와 매우 밀접한 관계를 가지고 있는 각 패치의 중심점으로부터 밖으로 나아간 길이 d의 변화에 따른 입력 반사손실은 그림 10.에 나타내었다. d의 길이가 증가할수록 공진 특성은 좋아지지만, 대역폭이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 각 조건을 고려하여 시뮬레이션 한 결과 FL=42mm, FW=6mm, d=5mm에서 가장 양호한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

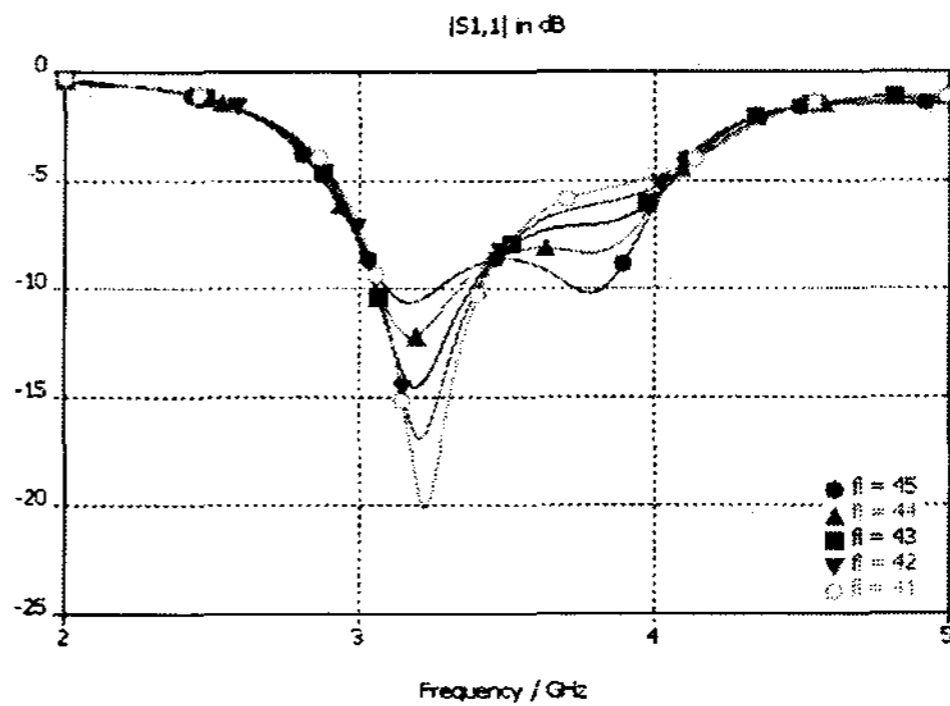


그림 8. FL변화에 따른 S11의 변화

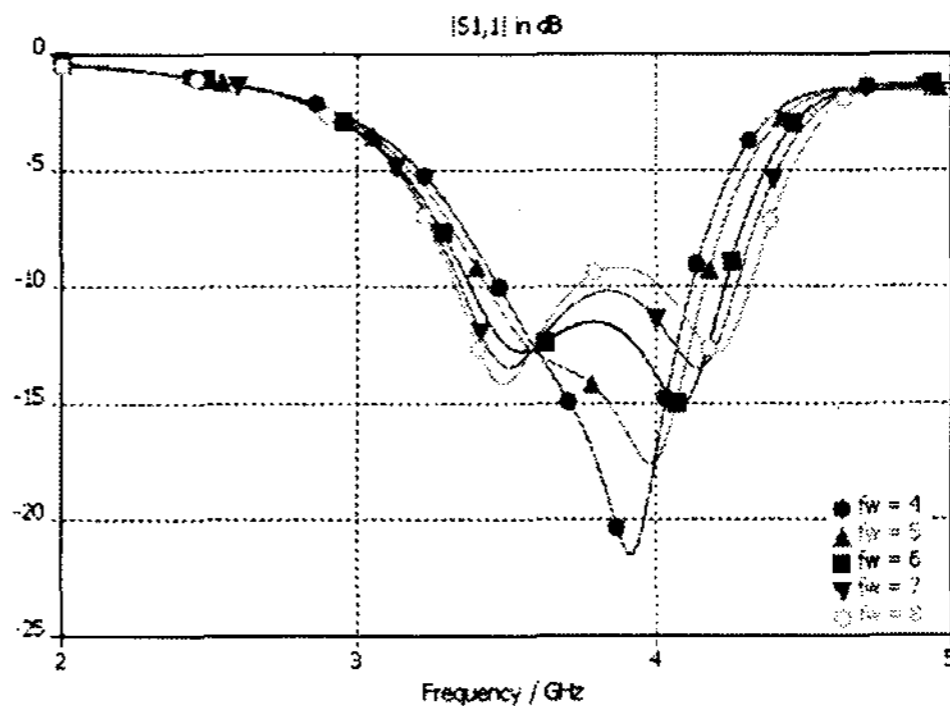


그림 9. FW변화에 따른 S11의 변화

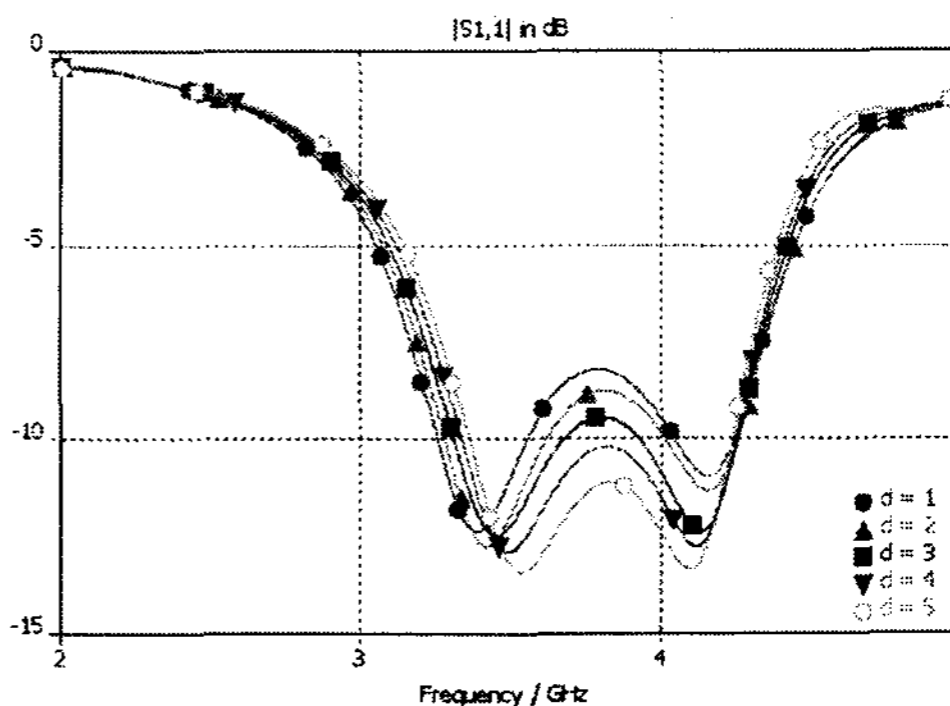


그림 10. d변화에 따른 S11의 변화

공진주파수를 결정하는데 있어 가장 큰 영향을 미치는 요소 중에 하나인 기판의 높이 h_1 과 h_2 의 변화에 따른 입력 반사손실의 변화를 그림 11.과 그림 12.에 나타내었다. 동축케이블과 직접 연결되는 급전선까지의 높이 h_1 이 높아질수록 공진주파수가 급격히 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 이때, $h_1=3\text{mm}$ 이면, $h=2.5\text{mm}$ 일 때와 $h_1=4\text{mm}$ 일 때의 공진주파수를 모두 포함하게 되어 매우 넓은 광대역 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한, h_2 의 높이가 높아질수록 공진주파수가 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다.

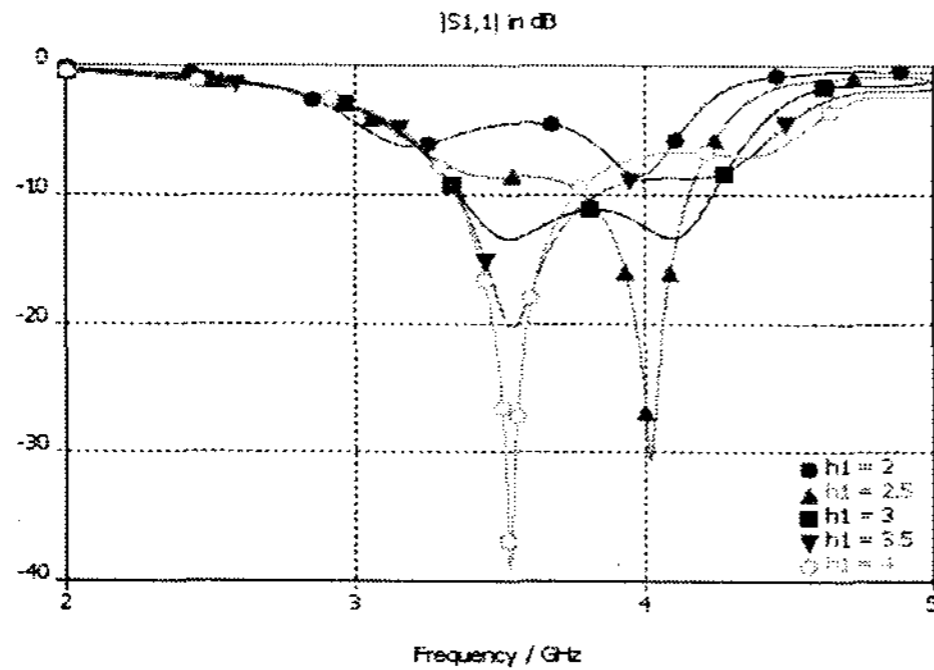


그림 11. h_1 변화에 따른 S_{11} 의 변화

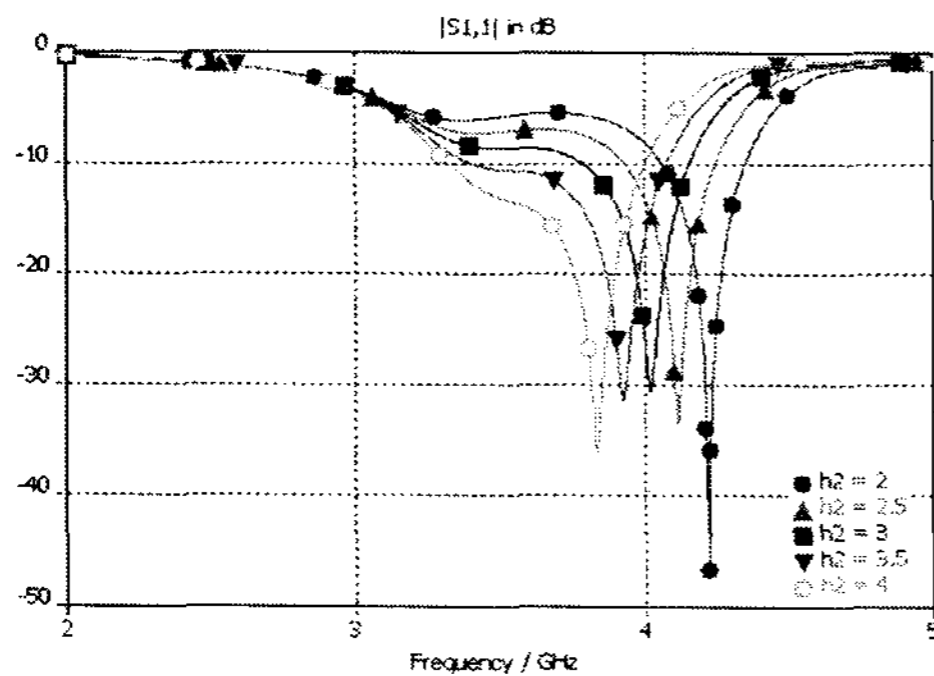


그림 12. h_2 변화에 따른 S_{11} 의 변화

이 결과를 바탕으로 제안된 안테나의 최적화시킨 설계 변수를 표 3.에 나타내었다. 이 최적 설계 변수를 이용하여 설계된 안테나의 특성을 측정하였다. 그림 13.는 입력 반사손실, 그림 14.은 입력 임피던스, 그림 15.는 E-평면과 H-평면 방사패턴, 그림 16.는 Cartesian로 표현된 방사패턴, 그림 17.은 안테나의 이득을 보여준다. 입력 반사손실은 VSWR 2:1인 범위가 약 870[MHz]로 3400 ~ 4200[MHz] 대역을 위한 안테나로써 충분히 사용이 가능하다. 방사패턴 특성을 살펴보면, E-평면과 H-평면 방사패턴은 동일하며 중심주파수 3800 [MHz]에서 안테나의 이득은 9.1[dBi] 그리고 3dB 빔폭은 Null값을 포함하여 약 92°를 나타냄을 알 수 있었다.

표 3. 제안된 E형 안테나의 최적 설계 변수 [mm]

설계변수	GR	PR	FW	FL	d	h_1	h_2
Length	70	18	6	42	5	3	3

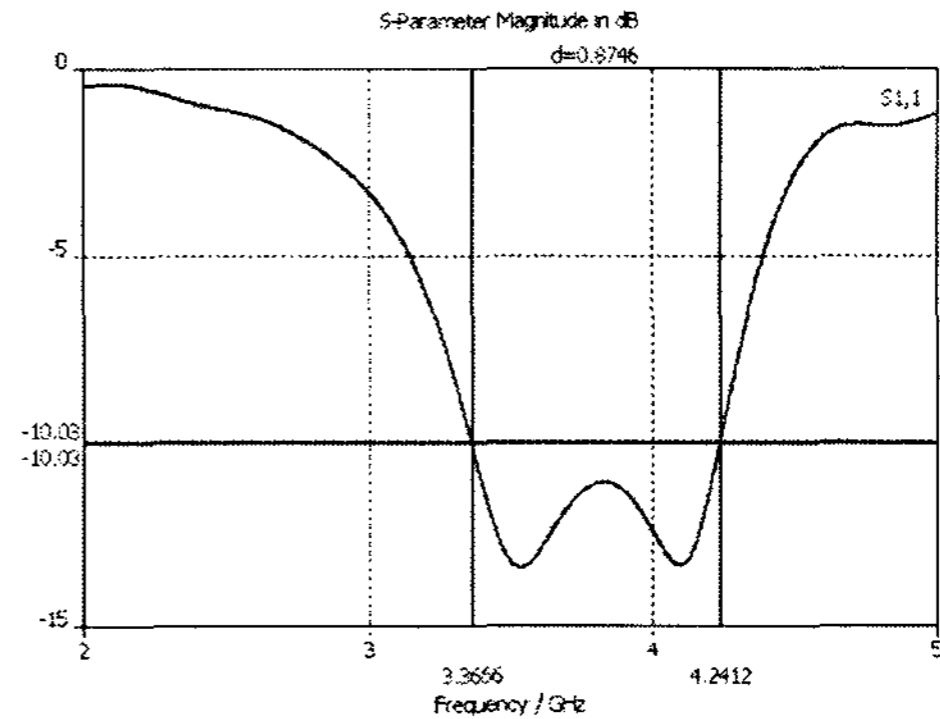


그림 13. 제안된 안테나의 입력 반사손실

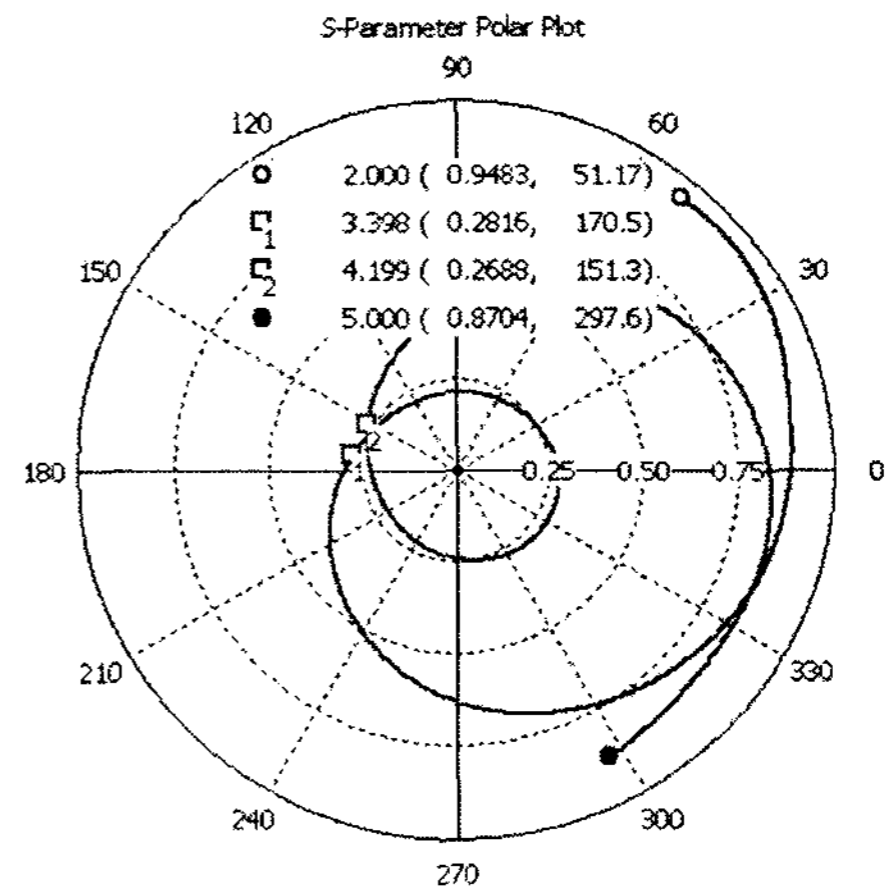


그림 14. 제안된 안테나의 입력 임피던스

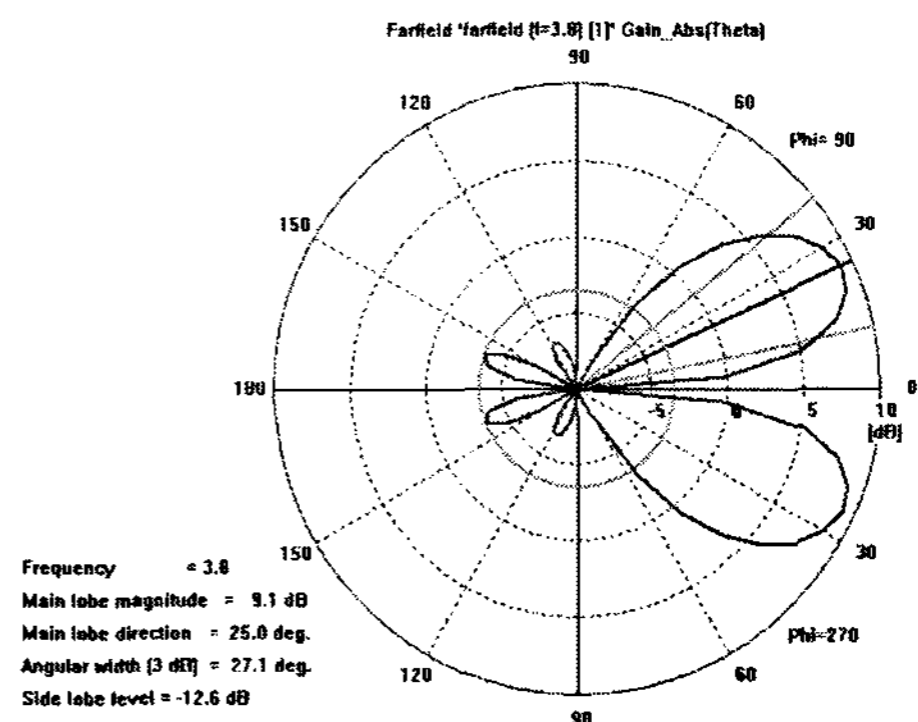


그림 15. 제안된 안테나의 방사패턴

참고문헌

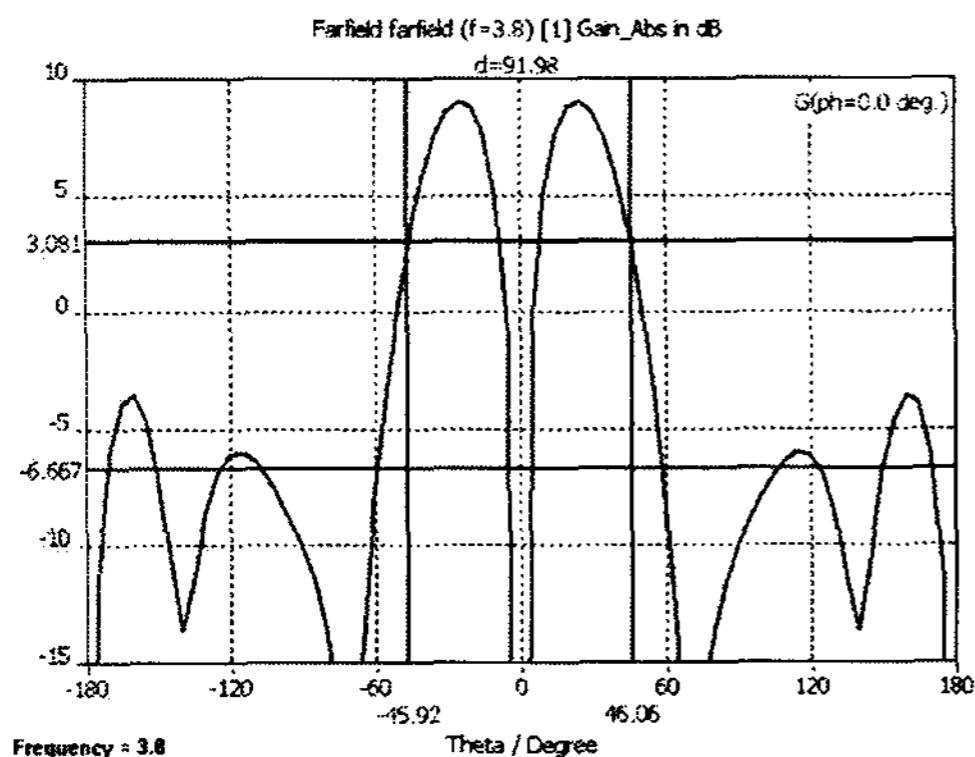


그림 16. 제안된 안테나의 Cartesian 방사패턴

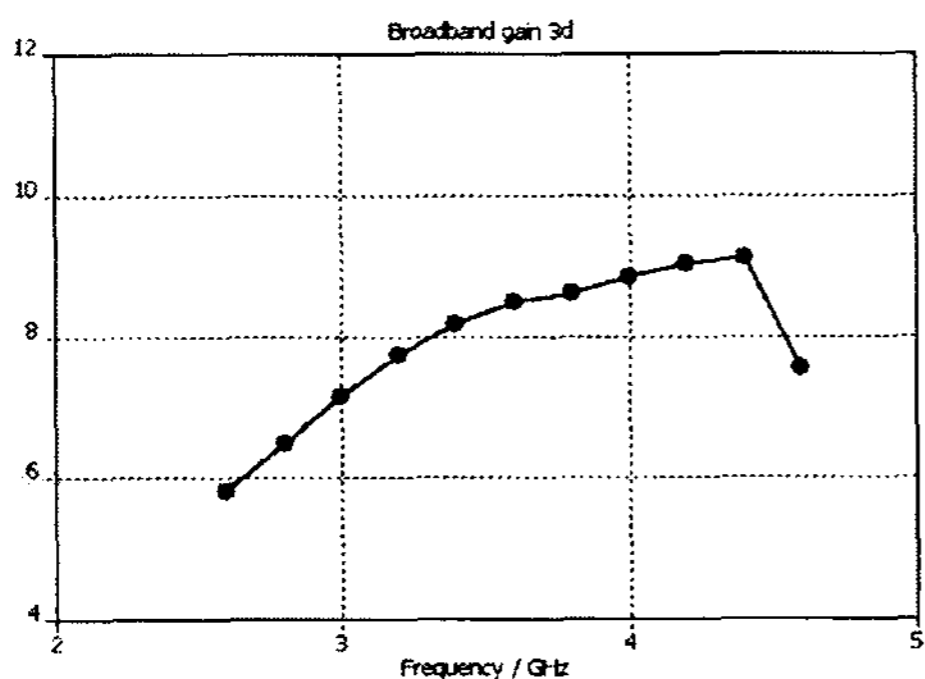


그림 17. 제안된 안테나의 이득

- [1] 정우기, 윤현구, 임재우, 육종관, 박한규 “4 세대 이동통신 서비스 주파수 소요량에 관한 연구”, 전자과학회논문지, 17(2), pp. 110-116.
- [2] Constantine A. Balanis “Antenna Theory Analysis and Design” John Wiley & Song INC., 1998.
- [3] R. Grag, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, INC. PP. 1~72, 533-590, 2001.
- [4] W. Kin-Lu, “Compact and Broadband Microstrip Antennas”, John Willey & Sons, INC. 2002.
- [5] Pozar, David M. A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antennas, *IEEE Press* : 157-167.
- [6] G. Kumar, K. P. Ray, “Broadband Microstrip Antennas”, Artech House, INC, 2003.
- [7] T. Fukusako, N. Kitamuar, N. Mita, "Circularly polarized reconfigurable patch antenna using Y-branched feed circuit" *IEEE Trans. Antennas & Propagation*, Vol. 2B, pp. 579-600, Jan. 1974.

V. 결 론

본 논문에서는 하트형 빔 패턴을 갖는 4세대 이동통신 AccessPoint용 광대역 안테나의 설계에 관한 연구를 하였다.

안테나 설계 툴인 CST Microwave Studio 5.0으로 기존의 하트형 빔 패턴을 갖는 안테나의 제반 특성을 확인하였고, 기존의 하트형 빔 패턴 안테나의 대역폭을 개선하기 위하여 원형 패치를 중심축을 중심으로 60° 간격으로 배열하였으며, 가지형 급전구조를 사용하였다. 최종 설계된 안테나는 3.37 ~ 4.24 [GHz] 대역에서 -10dB 이하의 양호한 반사손실과 8.7dBi 이상의 높은 주파수 대역 평균 이득을 얻을 수 있었다. 3dB 빔폭은 Null값을 포함하여 약 92°를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 안테나의 이득 8 [dBi]이상 그리고 3 dB 빔폭은 85°이상의 초기 설계스펙을 모두 만족함을 알 수 있었다.

추 후 시뮬레이션 결과를 토대로 하여 주로 실외 건물 옥상에 배치하는 광대역 안테나를 제작할 계획이며, 제작된 안테나는 4세대 이동통신 (IMT-Advanced) AP용 안테나로 활용 가능할 것으로 사료된다.