

평면 배열 안테나의 소자간 상호 결합 억제 설계

A Design for Mutual Coupling Suppression between Elements in Planar Array Antenna

민경식 · 김동진 · 박철근 · 문영민* · 김영일*

Kyeong-Sik Min · Dong-Jin Kim · Chul-Keun Park · Young-Min Moon* · Young-Eil Kim*

요 약

본 논문은 평면 배열 안테나의 성능 향상을 위한 안테나 소자간의 새로운 상호 결합 억제 방법을 제안하고 있다. 연구에 사용된 IEEE 802.11a(5.15~5.35 GHz, 5.75~5.85 GHz)를 만족하는 두 개의 안테나 소자가 반파장 간격으로 배열되어 있을 때, 안테나 소자간의 상호 결합은 -20 dB 정도였으나 본 논문에서 제안된 뒤집힌 U자형 구조물을 안테나 단 사이에 삽입한 경우, 5 GHz 전 대역에서 상호 결합이 -30 dB 이하로 현저히 억압되는 특성을 나타내었다. 본 논문에서 제안한 역 U자형 구조물은 안테나간 상호 결합을 개선할 뿐 아니라, 기생 안테나 성분으로 동작하여 안테나 이득도 2 dBi 이상 개선되는 특성을 나타내었다.

Abstract

This paper presents a novel method of mutual coupling suppression between antenna elements for performance improvement in planar array antenna system. Two miniature patch antenna elements satisfied IEEE 802.11a(5.15~5.35 GHz, 5.75~5.85 GHz) are used for this research, they are arrayed by half wave length interval. It is observed about -20 dB mutual coupling between each antenna element at center frequency. To suppress mutual coupling, the arrayed antennas with a reversed 'U' structure are observed below -30 dB mutual coupling at IEEE 802.11a band.

Key words : Mutual Coupling, IEEE 802.11a, Reversed 'U' Structure

I. 서 론

최근 무선 이동 통신 사용자의 급진적인 증가와 더불어 이른바 4세대 이동 통신의 시대가 개막됨에 따라 다양한 정보 콘텐츠의 제공과 실시간 동영상 제공 등이 필요하게 되었다.

이는 기술적으로는 초고속, 초정도, 대용량의 정보 전송을 해결해야 함을 의미한다. 이러한 기술적인 문제를 해결하기 위해 무선통신의 송·수신단에서 다중 안테나의 사용은 1990년 중반부터 많은 연구자들에게 주목을 받고 있다. 다중 안테나 시스템

이 제공하는 채널 용량은 기존의 무선 시스템에서 달성할 수 있는 것보다 훨씬 높으며, 이는 무선 통신 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다^[1]. 이러한 장점에도 불구하고, 다중 안테나 신호 처리 기술들은 다중신호 송수신을 위한 안테나 소자의 배열에 따른 소자간 상호 결합으로 인한 상관 계수의 악화 등은 고려하지 않고, 시스템적으로 해결하려고 하거나, 베이스밴드에서의 알고리즘에 의한 신호 처리로 접근하고 있기 때문에 실용화의 측면에서 보면 많은 문제를 가지고 있다^[2]. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서는 배열 안테나의 특성을 반드시 고려해야만

「본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구 결과로 수행되었음.」

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)

*삼성중합기술원(Samsung Advanced Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20050521-05S

· 수정완료일자 : 2005년 8월 17일

하고, 이를 알고리즘에 적용해야만 제대로 된 특성을 가지는 다중 안테나 시스템을 운용할 수 있을 것이다^[3]. 따라서 본 연구에서는 다중 안테나 시스템에 적용될 소형 안테나 소자 사이의 상호 결합을 최소화하여 각 소자간의 상관 계수를 줄일 수 있는 안테나 개발에 중점을 두었다. 안테나 설계조건으로는 IEEE 802.11a 전대역을 만족하며 이득은 6 dBi를 만족하는 2-channel 평면 배열 안테나로 가정하였다.

II. 상호결합이 개선된 2-Channel 평면 배열 안테나의 설계

MIMO(Multi Input Multi Output) 안테나 시스템의 구성에 있어서 실제의 MIMO 환경에 적용하기 위해서는 다중 채널을 가지는 안테나 시스템이 기본적으로 필요하게 되고, 안테나 상호간의 결합이 자유 공간상의 상관 계수에 상당한 영향을 미치게 되므로 소자간의 상호 결합을 억제하는 것은 MIMO, 혹은 다중 안테나 시스템의 중요한 문제이다^{[4],[5]}. 이러한 문제를 해결하기 위한 선행 연구로는, 안테나 소자 사이에 전기벽과 전파 흡수체를 두어 소자간의 위상차가 각각 180°를 가지게 하여 상호 결합을 억제하는 방법^[6], 배열된 안테나 소자간에 일정한 높이를 가지는 isolation card를 사용하는 방법^[7], 그리고 배열된 안테나 전방향에 대해서 metallic wall을 세우는 방법^[8] 등, 대부분 3차원 구조를 이용하여 배열된 안테나 소자간의 물리적 거리는 일정하게 유지하면서 전기적 거리를 반파장으로 만들어 상호 결합을 억제하는 방식에 근거하고 있다. 그러나 앞서 열거한 안테나 간 상호 결합을 억제하는 선행 연구들은 모두 안테나 소자 사이에 3차원 구조물을 이용하므로, 배열된 안테나의 체적이 현저히 커지게 되고 안테나부의 제작 단가가 상당히 비싸지는 단점이 있다.

본 논문에서는 가로로 배열된 2-channel 평면 배열 안테나를 고려하여 이들 안테나 소자간의 상호 결합을 2차원 구조물을 사용하여 억제하는 방법에 초점을 맞추었다. 그림 1은 참고문헌 [9]에서 제안한 무선랜 대역용 광대역 소형 패치 안테나를 반파장 간격으로 배열한 경우이며, 이 때 두 소자 사이의 상호 결합은 5.25 GHz와 5.8 GHz 대역에서 각각 약 -18~-20 dB 정도이다^[10]. 그림 2와 3은 각각 2-channel 평

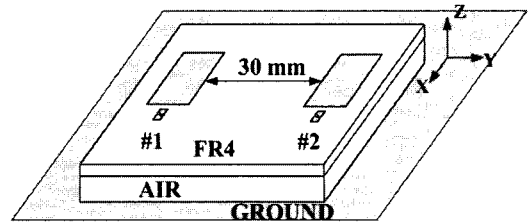


그림 1. 2-channel 평면 배열 안테나(반파장 간격)
Fig. 1. A conventional 2-channel planar patch array antenna(half lambda interval).

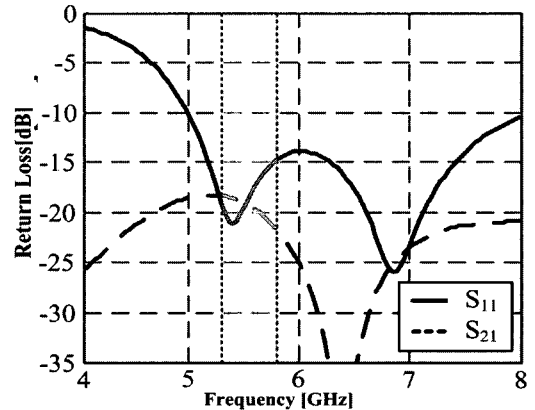


그림 2. 2-channel 평면 배열 안테나의 S_{11} 과 S_{21}
Fig. 2. Calculated S_{11} and S_{21} of the 2-channel planar patch array antenna.

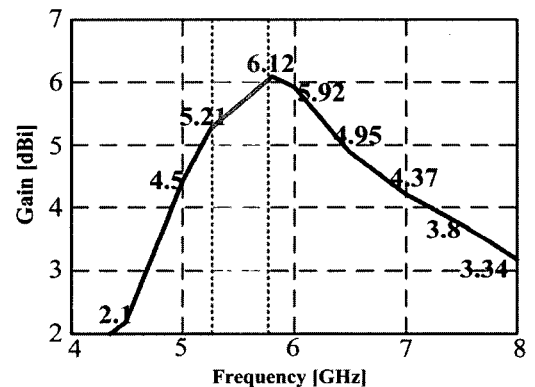


그림 3. 2-channel 평면 배열 안테나의 단일 소자의 이득
Fig. 3. Calculated gain of the each antenna element in 2-channel planar patch array antenna.

면 배열 안테나의 계산된 S-파라미터의 S_{11} 과 S_{21} , 단일 소자에 대해서 주파수에 따라 계산된 최대 이득을 나타낸다.

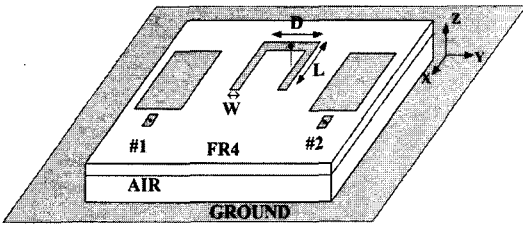


그림 4. 제안된 역 U자형을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나

Fig. 4. Proposed 2-channel planar patch array antenna with reversed 'U' structure.

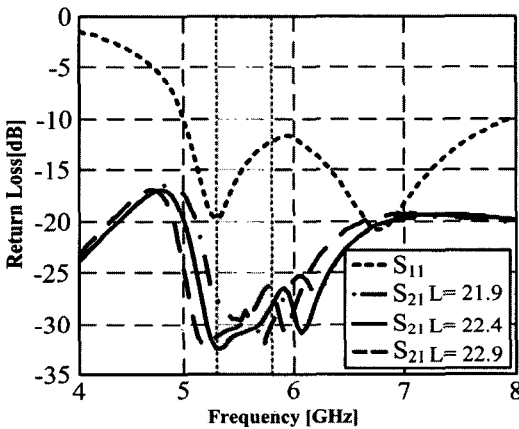


그림 5. 길이 L 에 따른 S_{21} 의 변화(unit: mm)

Fig. 5. Calculated S_{21} according to the length.

그림 4는 상호 결합을 억압하기 위해 본 논문에서 제안하는 2-channel 평면 배열 안테나 구조를 나타낸다. 두 개의 안테나 소자 사이에 via hole을 이용하여 접지된 역 U자형 구조를 배치함으로써 소자간의 상호 결합을 억제하였다. 접지된 마이크로스트립 선로를 이용한 역 U자형 구조를 이용함으로써 소자간의 간섭을 발생시키는 신호가 상쇄되어 상호 결합이 현저히 억제되는 효과를 가진다. 제안된 역 U자형 구조물은 전체의 길이가 약 1 파장 정도이며, 안테나 간의 간섭 신호 성분이 공진 현상을 통하여 효율적으로 차단되며, via hole을 통해 접지면으로 유도된다.

III. 제안된 역 U자형 구조의 파라미터

그림 5는 그림 4에서 보인 역 U자형 구조의 전체 길이(L)에 따른 상호 결합(S_{21})의 변화를 나타낸다. 안테나의 공진 주파수는 변화하지 않는 반면, L 이

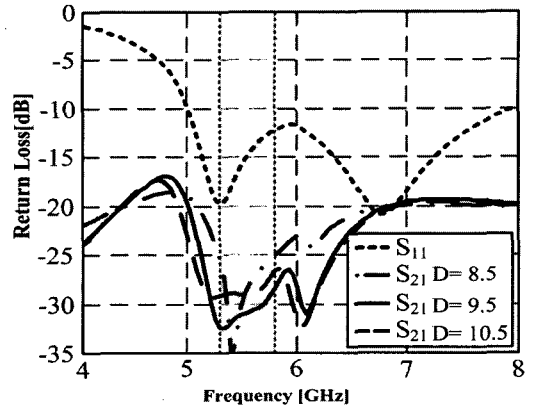


그림 6. 전체 폭 D 에 따른 S_{21} 의 변화(unit: mm)

Fig. 6. Calculated S_{21} according to the total width D .

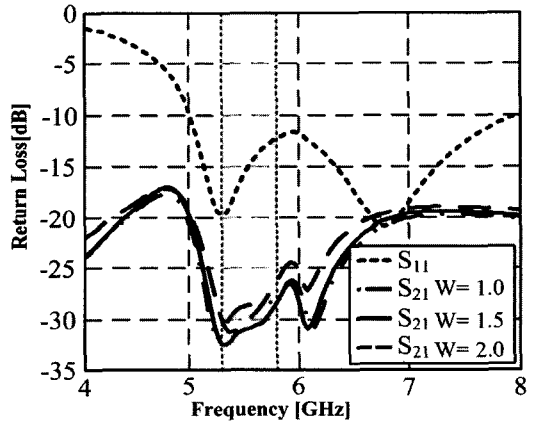


그림 7. 선로 폭 W 에 따른 S_{21} 의 변화(unit: mm)

Fig. 7. Calculated S_{21} according to the line width W .

증가함에 따라 S_{21} 의 공진 주파수가 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 L 의 길이를 적절히 조절함으로써 IEEE 802.11a 대역뿐만 아니라 사용자의 요구에 따라 상호 결합의 억압 대역을 조정할 수 있음을 보이고 있다. 5 GHz 대역에서는 L 이 22.4 mm일 때 사용 대역 전체의 상호 결합을 억압할 수 있다.

그림 6과 7은 역 U자형 구조물의 전체 폭 D 와 선로의 폭 W 의 변화에 따른 S_{21} 의 변화를 나타내었다.

그림 6에서 알 수 있듯이 역 U자형 구조물의 전체 폭 D 는 S_{21} 의 공진 주파수와 그 공진 정도에 영향을 미치며, 5 GHz 대역에서는 구조물의 전체 폭 D 가 9.5 mm일 때 최적값을 가지는 것으로 사료된다. 또한 선로 폭 W 에 의해 고유 임피던스를 가지므로 S_{21} 의 공진 정도에 영향을 미친다. 그림 7은 W 를 1 mm

에서 2 mm까지 변화시키면서 계산된 결과를 나타내며, 폭 W 에 따라 역 U자형 구조물의 임피던스가 변화하게 됨으로써 S_{21} 이 변화됨을 나타낸다.

위의 결과로부터 IEEE 802.11a 전 대역에서 상호 결합을 효과적으로 억압할 수 있는 파라미터 값을 아래 표 1에 정략적으로 나타내었다. 표 1의 값들은 파라미터들의 변화에 따른 안테나 특성으로부터 최적화 수행에 의해 결정된 값이다. 그림 8은 표 1의 파라미터 값으로 2-channel 평면 배열 안테나를 최종적으로 계산된 S-파라미터 특성을 나타낸다. 안테나의 반사계수(S_{11})는 IEEE 802.11a에서 요구하는 5.15~5.25 GHz 대역과 5.75~5.85 GHz 대역을 만족하며, 소자간의 상호 결합 또한 5.25 GHz와 5.8 GHz 대역에서 각각 -33 dB와 -28 dB 이하의 특성을 나타내었다.

그림 9는 제안한 역 U자형 구조물을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나의 단일 소자에 대한 주파수에 따른 이득 특성을 나타낸다. 그림 3에서 보여

표 1. 설계된 역 U자형 구조의 파라미터 값
Table 1. Design parameters of reversed 'U' structure.

파라미터	값 (mm)
L	22.4
D	9.5
W	1.5

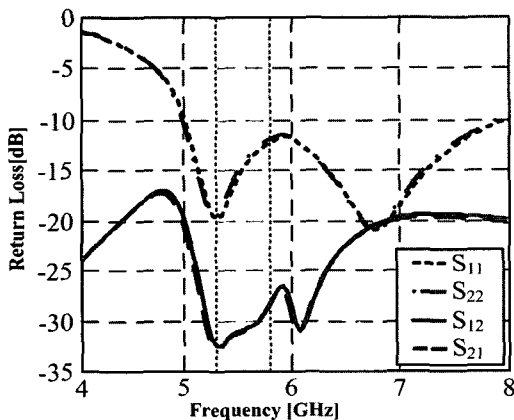


그림 8. 최적화 된 파라미터에 의한 계산된 결과(unit : mm)
Fig. 8. Calculated results by using optimized parameters.

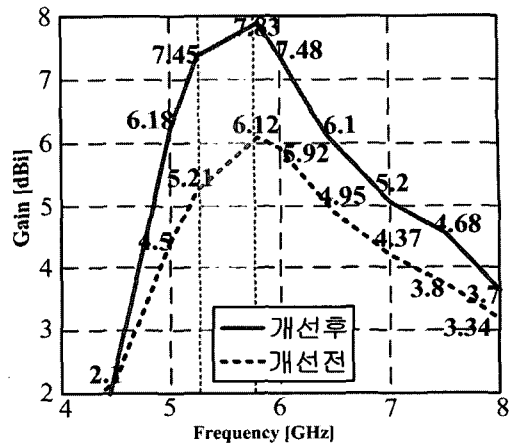


그림 9. 역 U자형 구조물을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나의 단일소자의 이득
Fig. 9. Improved antenna gain by using proposed reversed 'U' structure.

준 안테나 이득과 비교하여 보면 전체적으로 이득이 2 dBi 정도 개선됨을 알 수 있는데, 이는 제안한 역 U자형 구조물이 기생 안테나처럼 동작함으로써 안테나의 이득을 개선시키는 효과가 나타나는 것이다.

그림 10은 반파장 간격을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나와 본 논문에서 제안한 역 U자형 구조물을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나의 전류 분포를 나타낸다. 그림 10(a)의 경우, 역 U자형 구조물을 가지지 않은 두 개의 안테나 소자가 동시에 급전되었을 경우의 각각 소자의 전류 분포를 나타낸 그림으로, 이 경우 두 안테나 소자의 전류 분포는 동일하게 일어나며 이 때의 두 소자간의 상호 결합은 5.25 GHz와 5.8 GHz 대역에서 각각 -18 dB와 -21 dB 정도이다. 그림 10(a)와 같이 두 개의 안테나 소자가 배열된 경우에는 두 안테나 소자의 주 편파는 수직 편파가 되며 이 경우에 발생하는 원치 않는 수평 편파에 의하여 두 안테나간의 상호 결합은 다소 큰 값을 가지게 된다. 그러나 그림 10(b)의 경우를 살펴보면 역 U자형 구조물을 두 개의 안테나 소자 사이에 삽입한 경우, 전류 분포에서 확인할 수 있듯이 역 U자형 구조물에 의해서 두 소자 사이에 발생하는 원치 않는 방사 성분이 상쇄되어지게 된다. 이는 역 U자형 구조물이 각 소자에서 약 1/4 파장 거리를 가지게 되므로 역 U자형 구조물에 대해서 입사파와 반사파가 각기 90°의 위상차를 가지게 되어 서로 상쇄되

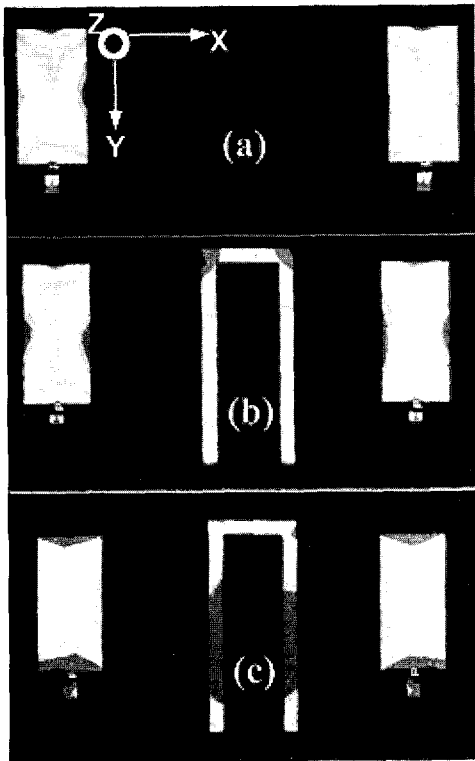


그림 10. 역 U자형 구조물을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나의 전류 분포
 Fig. 10. Current distributions of the proposed reversed 'U' structure.

어지며, 또한 역 U자형 구조물에 여기 된 간섭 성분은 via hole을 통해서 접지면으로 흡수되어지는 것이다.

그림 10(c)의 전류 분포는 그림 10(b)에 대해서 역위상의 경우를 나타내는 것으로 제안된 역 U자형 구조물에 전류가 강하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 이는 제안된 역 U자형 구조물이 마치 안테나처럼 동작하고 있음을 설명해 주는 것으로, 역 U자형 구조물이 상호 결합의 억압뿐 아니라 두 개의 안테나 소자 사이에서 기생 안테나 역할을 함으로써 안테나 이득의 개선에 기여하고 있음을 나타낸다.

IV. 제작 및 측정결과

그림 11은 제안한 역 U자형 구조물을 가지는 2-channel 평면 배열 안테나의 제작된 사진을 나타낸다. 제작된 안테나의 S-파라미터와 방사 패턴을 측

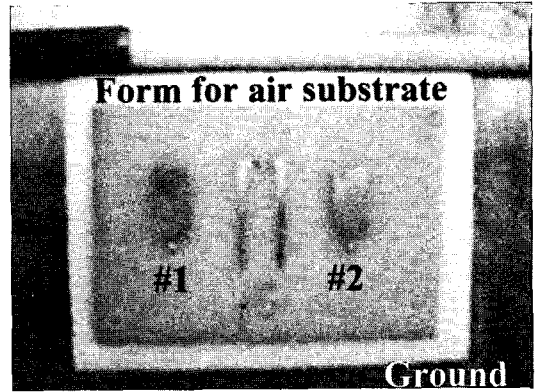


그림 11. 제작한 안테나 사진
 Fig. 11. Photograph of the fabricated antenna.

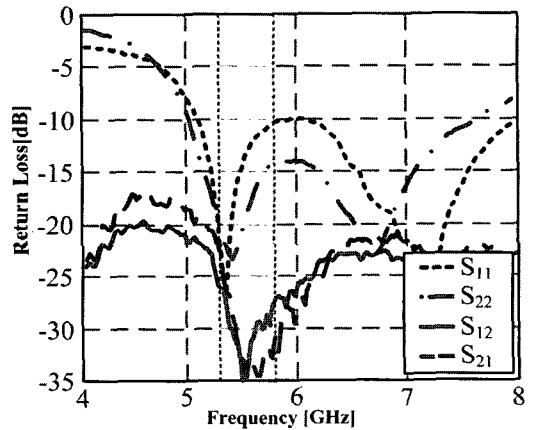


그림 12. 제작한 안테나의 S-파라미터(측정값)
 Fig. 12. Measured S-parameters of fabricated antenna.

정하였으며, 그림 12와 13에 각각 나타내었다. 제안한 안테나의 측정된 반사손실과 상호 결합은 계산된 결과와 거의 일치하는 특성을 보였다. 각각의 안테나 소자는 IEEE 802.11a 대역을 만족하며 상호 결합은 5.25 GHz와 5.8 GHz 대역에서 각각 약 -28~-29 dB 정도로 우수한 억압 특성을 나타내었다. 방사 패턴 측정은 5.25 GHz와 5.8 GHz 대역에서 각각 이루어졌으며, 역 U자형 기생소자의 영향에 의해 약간의 찌그러짐 현상을 보이나 실제로 무선 통신 환경에 적용할 수 있는 적합한 방사 패턴을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11a 전 대역에서 상호 결

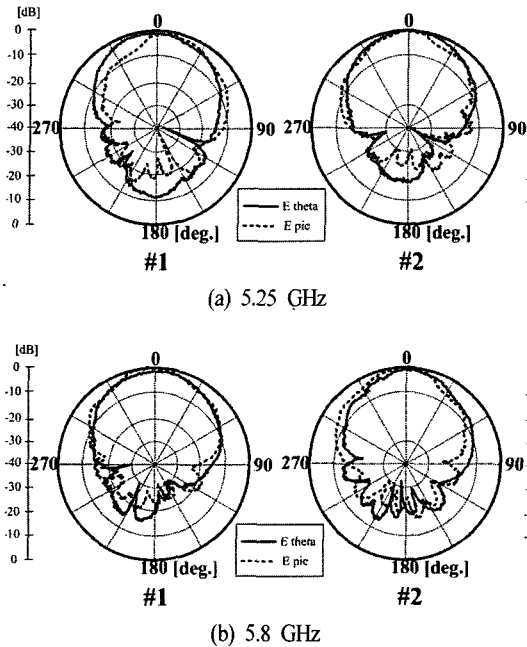


그림 13. 제작한 안테나의 방사 패턴(측정값)
 Fig. 13. Measured radiation pattern of the fabricated antenna.

합이 -27 dB 이하로 억압된 2-channel 평면 배열 안테나를 설계하고 제작하였다. 제안한 안테나는 via hole로 접지된 역 U자형 마이크로스트립 선로를 이용하여 다중 안테나 시스템의 가장 큰 단점으로 꼽히는 상호 결합의 문제를 해결하였고, 역 U자형 구조물이 기생 안테나로 동작하여 안테나의 최대 이득을 2 dBi 이상 개선하였다. 또한 제안한 안테나 구조는 MIMO 안테나 시스템, 송신 다이버시티, DOA(Direction Of Arrival) 등과 같은 다중 안테나 시스템의 응용분야에 있어서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] <http://jansnt.co.kr>

[2] Sung Jin Kim, Yong Suk Lee, Ho Jin Kim, and Hyeon Woo Lee, "Technical review for 3GPP downlink multiple antenna concepts", *Telecommunication Review*, vol. 12, no. 2, pp. 152-168, Mar. 2002.

[3] <http://www.ece.utexas.edu/~rheath/research/mimo/antenna>

[4] A. F. Molisch, M. Z. Win, "MIMO systems with antenna selection", *Microwave Magazine, IEEE*, vol. 5, Issue 1, pp. 46-56, Mar. 2004.

[5] Quan Zhou, Huaiyu Dai, "Joint antenna selection and link adaptation for MIMO systems", *Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Fall. 2004 IEEE 60th*, vol. 3, pp. 1643-1647, Sep. 2004.

[6] Tae-Yoon Lee, Nak-Sun Sung, Ji-Hun Bae, Chul-Sik Pyo, and Jong-Suk Chae, "Planar Microstrip Array Antenna", Korea Patent, Registration No. 10-2002-0074683, Nov. 2002.

[7] David, J. P. Willy, "Radio frequency transceiver and receiver with isolation card", U.S.A Patent, Registration No. 2000-reg.143-AP211045J, Dec. 2000.

[8] Yuki Inoue, Hirotake Sumi, and Hiroyuki Arai, "Pattern calibration free antenna by suppressing mutual coupling between elements", *Proceeding of ISAP*, pp. 17-20, Aug. 2004.

[9] 민경식, 김동진, "무선랜 대역용 소형 패치 안테나의 설계", 한국전자파학회 전자파기술학회 학술대회 발표집, pp. 9-13, 2004년 6월.

[10] Kyeong-Sik Min, Dong-Jin Kim, "Patch array antennas for home network system", *KJJC*, pp. 5-8, Nov. 2004.

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 3월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 부교수

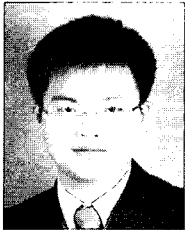
[주 관심분야] RFID, MIMO 안테나, 위성통신 및 이동통신용 안테나, 초고주파 회로용 프로그램

문 영 민



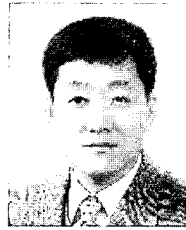
2003년 1월~현재: 삼성종합기술원 Communication & Network Lab. 전문연구원
 [주 관심분야] 이동통신용 안테나, MIMO 안테나

김 동 진



2002년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2004년 2월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] MIMO 안테나, 소형안테나

김 영 일



1989년 2월: 충남대학교 물리학과 (이학사)
 1991년 2월: 충남대학교 물리학과 (이학석사)
 1991년 2월~1996년 9월: 경북대학교 센서 기술연구센터 선임연구원
 1996년 10월~2001년 2월: 삼성전

자(주) 중앙연구소 책임연구원

2001년 2월~현재: 삼성종합기술원 전문연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, RFID, UWB 등

박 철 근



2002년 2월: 동의대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2004년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] MIMO 안테나, DOA 측정 시스템, RF 회로