

# 다수 쌍의 L-Slot을 이용하여 무선 휴대 단말기용 MIMO 안테나 시스템의 격리도를 향상시키는 방법

## A Method to Improve Isolation of MIMO Antenna System for Wireless Portable Devices Using Multiple Pairs of L-Slots

이현석 · 윤상원 · 박현창 · 박형무

Hyun-Seok Lee · Sang-Won Yoon · Hyun-Chang Park · Hyung-Moo Park

### 요 약

본 논문에서는 2.3~2.4 GHz 대역 무선 휴대 단말기용 내장형 MIMO 안테나 시스템의 격리도를 향상시키는 방법을 제시하였다. 제안된 MIMO 안테나 시스템은 2개의 안테나 사이의 그라운드 기판에 다수 개의 L-slot으로 구성된 multi-slots를 위치시키며, multi-slots가 대역 차단 필터처럼 작용하여 안테나 간의 상호 결합을 억제시켜 격리도를 향상시킨다. 6쌍의 L-slots를 채택한 MIMO 안테나 시스템은 -26.4 dB의 반사 손실과 -37.5 dB의 격리도를 나타내었다.

### Abstract

A method to improve isolation characteristics of internal MIMO antenna systems for wireless portable devices operating in the 2.3~2.4 GHz band is presented. The proposed system incorporates multiple pairs of L-slots between the two antennas in the ground plane, which operate like a band-stop filter, suppressing mutual coupling between the antennas and resulting in improved isolation. A MIMO antenna system with 6 pairs of L-slots shows reflection loss of -26.4 dB and isolation of -37.5 dB.

Key words : MIMO, PIFA, Isolation, Mutual Coupling

## I. 서 론

4세대 이동 통신에서는 통신 속도의 향상과 용량 증대 등의 목적으로 MIMO(Multi Input Multi Output) 안테나 시스템 기술이 채택되었다<sup>[1]</sup>. MIMO 시스템에서는  $N$ 개의 안테나를 배열해 정보의 양과 신뢰도를 높일 수 있다. 하지만, 안테나 상호간의 성능 저하를 막기 위해서는  $0.5 \lambda$  이상의 이격 공간이 필요한데<sup>[2]</sup>, 무선 휴대 단말기에서는 공간적 제약으로 인해 상호 간섭(mutual coupling)이 발생하여 격리도(isolation)가 저하되고 MIMO 시스템의 용량 효율이 감

소한다. 이에 격리도를 향상시키기 위해 지지국 안테나에서는 도체판을 삽입하거나<sup>[3]</sup>, stub를 중첩시키는 방법<sup>[4]</sup>을 이용한다. 그리고, 무선 휴대 단말기에서는 편파를 이용하거나<sup>[5]</sup>, slot을 도입하는 방법들이 연구되어 왔다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 제작 공정이 간단한 다수 쌍의 L-slot(이하 multi-slots라고 표기함)을 삽입하여 MIMO 안테나 시스템을 무선 휴대 단말기의 작은 공간 안에서 격리도를 더욱 향상시키는 방법을 제시하였다.

## II. Multi-Slots 구조의 설계

동국대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Dongguk University)

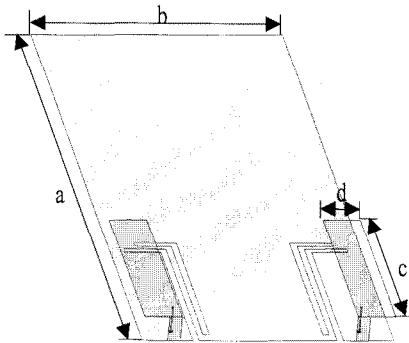
· 논문 번호 : 20080523-03S

· 수정완료일자 : 2008년 8월 11일

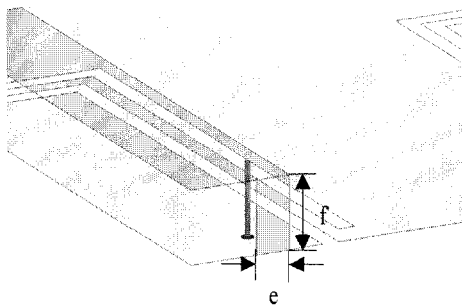
## 2-1 Multi-Slots를 삽입한 MIMO 안테나 시스템의 기본 구조

Multi-slots는 ‘L’자 모양의 slot 2개를 1쌍으로 하여 다수 개의 쌍을 그라운드 기판에 깎아내어 구현한 구조이다. 그림 1은 multi-slots를 구현한 MIMO 안테나 시스템의 기본 구조이다. 본 시스템은 2개의 Planar Inverted-F Antenna(PIFA)를 채택하였으며, 무선 휴대 단말기의 크기를 고려하여 그라운드 기판과 안테나의 치수 파라미터를 표 1과 같이 결정하였다.

그라운드 기판에 L-slot 쌍이 있는 경우에는 L-slot 쌍이 없는 경우와 달리 전류가 한 쪽으로 치우쳐 흐르게 된다. 그러므로 기판의 급전부에 가까운 L-slot 끝에 전류가 가장 크게 흐르고, 급전부와 먼 L-slot의 끝에는 전류의 세기가 작아지기 때문에 다른 급전부로 흐르는 전류를 방해하는 역할을 한다<sup>[5]</sup>.



(a) 기판 및 안테나 구조  
(a) Schematics of ground plane and antenna



(b) 단락 핀과 급전부 구조  
(b) Schematics of shorting pin and feeding point

그림 1. Multi-slots를 구현한 PIFA MIMO 안테나 시스템의 기본 구조

Fig. 1. Schematics of PIFA MIMO antenna system with multi-slots.

표 1. 기판과 안테나의 치수 파라미터  
Table 1. Dimensions of ground plane and antenna.

구분	파라미터	길이 (mm)
기판	$a$	100
	$b$	40
패치	$c$	32
	$d$	6
단락 핀	$e$	2
	$f$	4

그림 2는 L-slot이 없을 때, 1쌍일 때, 6쌍일 때의 H-field 분포를 나타낸 것으로 H-field가 가장 약한 부분이 그라운드 기판 아랫 부분에 검은 색으로 표시된다. L-slot 쌍이 늘어남에 따라 H-field가 약한 부분이 넓어지는 것을 확인할 수 있는데, 이것이 전류가 다른 급전부로 흐르는 것을 방해한다는 것을 나타낸다. 따라서 L-slot 쌍은 상호간의 공진과 커플링을 통해 한 개의 대역 차단 필터(band-stop filter)처럼 작용하며, 일정한 간격과 크기의 L-slot 쌍이 늘어남에 따라 공진기의 개수를 증가시키는 것과 유사한 효과로 인하여 안테나 간의 커플링이 감소되고, 스크트 특성이 향상되어 격리도를 높일 수 있게 된다.

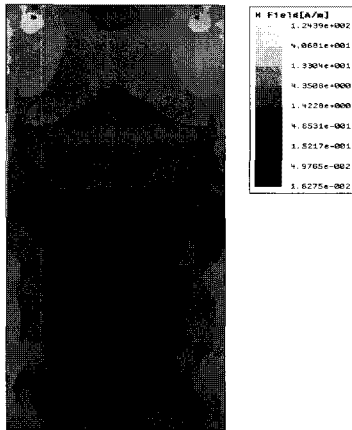
## 2-2 Multi-Slots의 상세 설계

그림 3은 multi-slots의 구조를 보여준다.

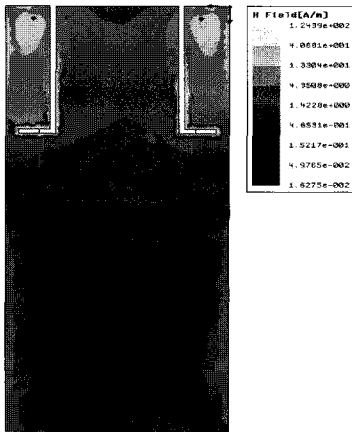
SL은 L-slot의 짧은 변의 길이, LL은 L-slot의 긴 변의 길이, W는 L-slot의 폭, S는 slot간의 간격을 나타낸다.

### 2-2-1 L-Slot의 짧은 변 길이에 따른 격리도 특성 변화

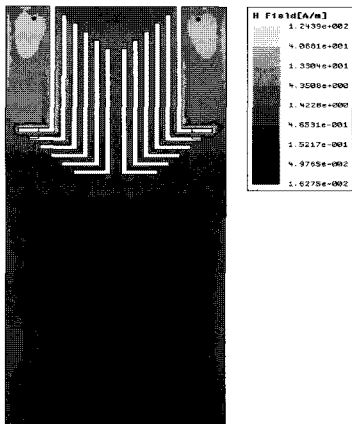
그림 4는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 L-slot의 짧은 변 길이(SL)에 따른 격리도 특성 변화를 시뮬레이션한 결과이다. 선행 연구의 결과 L-slot의 폭(W)에 따른 격리도 특성 변화는 큰 차이가 없어서 폭은 1 mm로 고정하였다. 총길이를  $\lambda/4$ 인 37 mm로 고정하고, 짧은 변의 길이를 3, 5, 7 mm까지 변화시킨 결과 짧은 변의 길이가 길어질수록 격리도 특성이 개선되었다. 그러나 짧은 변의 길이가 7 mm 이상인 경우에는 그라운드 기판이 L-slot의 짧은 변에 의해 단



(a) L-slot이 없을 때 H-field 분포  
(a) H-field distribution without L-slot



(b) L-slot이 1쌍일 때 H-field 분포  
(b) H-field distribution with one pair of L-slots



(c) L-slot이 6쌍일 때 H-field 분포  
(c) H-field distribution with six pairs of L-slots

그림 2. H-field 분포  
Fig. 2. H-field distribution.

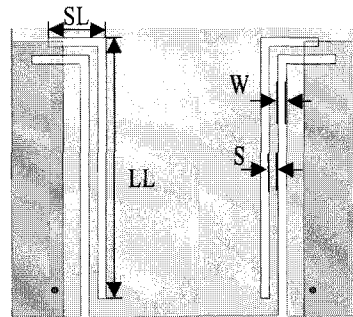


그림 3. Multi-slots 구조  
Fig. 3. Schematics of multi-slots.

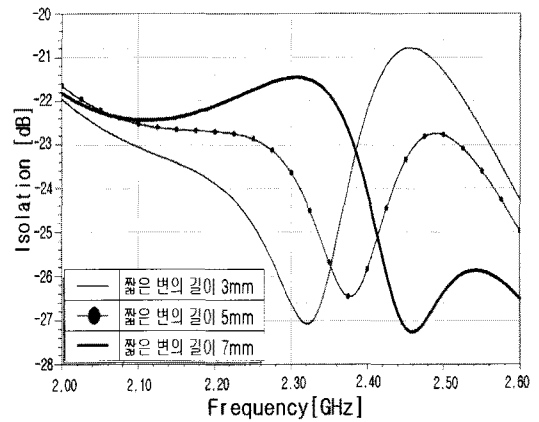


그림 4. L-slot의 짧은 변 길이 변화에 따른 격리도 특성  
Fig. 4. Isolation characteristics versus short-side length of L-slot.

락되기 때문에 적합하지 않다.

### 2-2-2 L-slot 간의 간격에 따른 격리도 특성 변화

그림 5는 두 쌍의 L-slot간의 간격(S)에 따른 격리도 특성을 나타낸 것으로 간격을 1, 6, 11 mm로 변화시킨 결과 L-slot간의 간격이 증가함에 따라 격리도 특성이 개선되어, 간격이 11 mm일 때 -30.5 dB의 격리도를 보였다.

### 2-2-3 L-slot 쌍의 개수에 따른 격리도 특성 변화

L-slot의 간격이 11 mm일 때, 격리도 특성이 제일 우수하나, 간격을 11 mm로 할 경우, 그라운드 기판

다수 쌍의 L-Slot을 이용하여 무선 휴대 단말기용 MIMO 안테나 시스템의 격리도를 향상시키는 방법

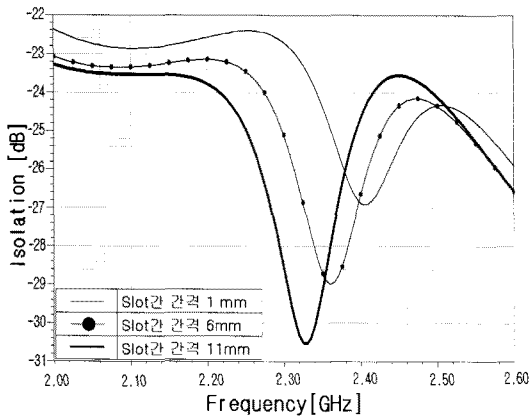


그림 5. L-slot 간의 간격 변화에 따른 격리도 특성  
Fig. 5. Isolation characteristics versus gap between L-slots.

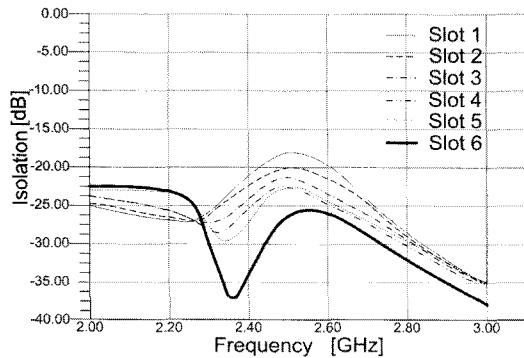


그림 6. L-slot 쌍의 개수 변화에 따른 격리도 특성  
Fig. 6. Isolation characteristics versus number of L-slot pairs.

에 들어갈 수 있는 최대 slot 쌍이 2개로 제한된다. 따라서 본 논문에서는 L-slot 간의 간격이 격리도에 기여하는 정도와 L-slot 쌍의 개수 증가가 격리도 향상에 기여하는 정도를 상세 검토하였다.

그림 6은 L-slot 쌍의 개수에 따른 격리도 특성 변화를 나타내었다. Slot 간의 간격을 1 mm로 하여 L-slot 쌍의 개수를 1쌍에서부터 기판에 수용 가능한 최대 개수인 6쌍까지 증가시킨 결과 6쌍일 때 가장 좋은 격리도 특성인  $-37.5$  dB를 보였다. 이는 간격이 11 mm일 때 수용 가능한 최대 개수인 2쌍을 사용했을 때보다 더 우수한 격리도로서, L-slot 간의 간격보다도 L-slot 쌍의 개수가 격리도 향상에 더 중요하게 작용함을 보여준다.

표 2. 최적화된 multi-slots 구조의 치수 파라미터  
Table 2. Dimensions of multi-slots structure.

구분	파라미터	길이 (mm)
Slot	SL	7
	LL	30
	W	1
	S	1

최적화된 multi-slots 구조의 치수 파라미터를 표 2에 정리하였다.

### III. 제안된 MIMO 안테나 시스템의 특성

그림 7은 두 개의 PIFA 안테나 사이의 그라운드 기판에 6쌍의 L-slot을 도입하여 최적화 설계된 MIMO 안테나 시스템의 구조이다. 반사 손실  $S_{11}$ 은  $-26.4$  dB, 격리도  $S_{21}$ 은  $-37.5$  dB로서 목표 주파수인 2.3~2.4 GHz 대역에서 양호한 반사 특성과 더불어 우수한 격리도 특성을 얻었다. 표 3에 제안된 MIMO 안테나 시스템의 특성을 정리하였다.

그림 8은 L-slot이 없는 기존의 PIFA MIMO 안테나

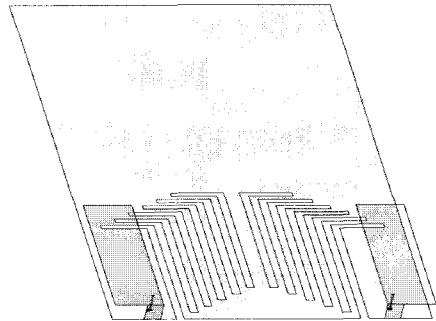


그림 7. 제안된 안테나 구조  
Fig. 7. Schematics of the proposed antenna.

표 3. 제안된 MIMO 안테나 시스템의 특성  
Table 3. Characteristics of proposed MIMO antenna system.

Frequency	2.3~2.4 GHz	
	No. of L-slot	
	$S_{11}$ (dB)	$S_{21}$ (dB)
0 pairs	$-30.2$	$-12.5$
1 pairs	$-27.5$	$-25.4$
6 pairs	$-26.4$	$-37.5$

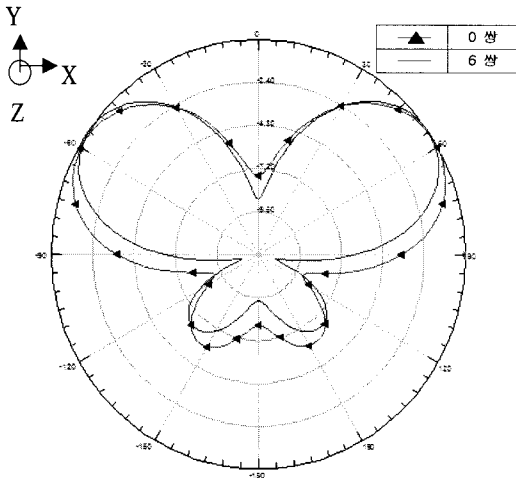


그림 8. Multi-slots가 없는 경우와 있는 경우의 MIMO 안테나 시스템의 방사 패턴  
 Fig. 8. Radiation patterns of MIMO antenna system with and without multi-slots.

나 시스템과, 본 논문에서 제안된 6쌍의 L-slot을 구현한 multi-slots PIFA MIMO 안테나 시스템의 방사 패턴을 비교한 것으로 lobe의 모양으로부터 제안된 구조의 격리도가 향상되었음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 multi-slots를 사용하여 4세대 이동통신 주파수 후보 대역인 2.3~2.4 GHz에서 무선 휴대 단말기 MIMO 안테나 시스템의 공간적인 제약을 극복하고 안테나 간 격리도를 향상시키는 방법을 제시하였다. 두 개의 PIFA 안테나 사이의 그라운드 기판에 6쌍의 L-slot을 도입한 MIMO 안테나 시스템의  $S_{11}$ 은  $-26.4$  dB,  $S_{21}$ 은  $-37.5$  dB로서 양호한 반사 특성과 더불어 우수한 격리도 특성을 보였다. 제안된 방법은 목표 대역에서 우수한 특성을 보였을 뿐 아

니라 2개 이상의 안테나를 갖는 무선 휴대 단말기용 MIMO 안테나 시스템, 기지국용 배열 안테나 등에서도 격리도 향상에 용이하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 36.211 v8.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical channels and modulation", May 2008.
- [2] M. -C. Huynh, W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna(PIFA) performance", *IEE Proc. -Microw. Antennas Propag.*, vol. 150, no. 4, Aug. 2003.
- [3] Min-Sung Kwon, Jae-Hoon Yun, "RFID tag range measurement system using isolation antenna", *EuMA*, pp. 230-233, Oct. 2007.
- [4] Chi-Yuk Chiu, Jie-Bang Yan, and R. D. Murch, "24-Port and 36-Port antenna cubes suitable for MIMO wireless communications", *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, pp. 1170-1176, Apr. 2008.
- [5] Seong-Youp Suh, Vijay K. Nair, Denise Souza, and Sandeep Gupta, "High isolation antenna for multi-radio antenna system using a complementary antenna pair", *IEEE Trans, Antennas and Propagation International Symposium*, pp. 1229-1232, Jun. 2007.
- [6] Ki-Jin Kim, Won-Gyu Lim, and Jong-Won Yu, "High isolation internal dual-band planar inverted-F antenna diversity system with band-notched slots for MIMO terminals", *Proceedings of the 36th European Microwave Conference*, pp. 1414-1417, Sep. 2006.

### 이 현 석



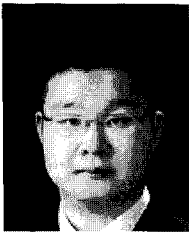
2007년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 이동통신

### 박 현 창



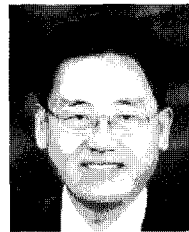
1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년 1월: 미국 Cornell University 전자공학과 (공학석사)  
1993년 1월: 미국 Cornell University 전자공학과 (공학박사)  
1993년~1995년: 미국 University of Virginia, Research Associate  
1995년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수  
[주 관심분야] MMIC, 안테나 및 전자기파 응용, 초고주파 반도체소자

### 윤 상 원



2005년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 9월~현재: 동국대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 이동통신

### 박 형 무



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1980년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
1984년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
1984년~1999년: 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원, 책임연구원, 반도체연구단장  
1999년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수  
[주 관심분야] MMIC, 안테나, Wireless Sensor Network, 지능형 센서