

# 커플링 급전을 이용한 이중 모드 Annular Ring 안테나 설계

## Design of a Dual-mode Annular Ring Antenna with a Coupling Feed

김 재 희 · 우 대 웅 · 박 위 상

Jae Hee Kim · Dae Woong Woo · Wee Sang Park

### 요 약

본 논문에서는 GPS와 위성 DMB에 사용할 수 있는 이중 모드 annular ring 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 커플링 급전과 annular ring 패치의 네 개의 슬롯을 특징으로 한다. 급전 선로와 패치 사이의 간격은 입력 임피던스를 조절하는 역할을 하고, 패치의 슬롯의 길이는 DMB 주파수에 해당하는  $TM_{21}$  모드의 공진 주파수를 조절하는 역할을 한다. 제안된 안테나를 제작 및 측정을 하였다. 제작된 안테나는 GPS와 DMB 주파수에서 만족할만한 대역폭을 가지고 공진을 일으키며, GPS 대역에서는 broadside 방사 패턴을 가지고 DCS 대역에서는 코니컬 빔 방사 패턴을 가진다.

### Abstract

A dual-mode annular ring antenna for both global positioning system(GPS) and satellite digital multimedia broadcasting(DMB) is designed. The proposed antenna consists of a coupling feed line and four slots on the annular ring patch. The gap between the feed line and the annular ring patch is used for an input impedance matching, and the slot length is used for adjusting the resonant frequency of the  $TM_{21}$  mode at the DMB frequency. The antenna was fabricated and measured. The experimental results show that the antenna resonants at the GPS and DMB frequencies with suitable bandwidths, and had a broadside radiation pattern at the GPS band and a conical beam radiation pattern at the DMB band.

Key words : Annular Ring Antenna, Dual-Band, Slot, Gap Coupling

### I. 서 론

이동 통신은 오늘날 필수불가결한 통신 수단이다. 특히 움직이는 고속 물체에서의 통신은 사용자에게 원하는 정보와 최신 소식을 제공해 줄 수 있어, 사용자로 하여금 보다 편안하고 안전한 여행을 가능하게 한다. GPS는 고속이동 물체의 정확한 위치를 알려주고, 위성 DMB는 영상 신호를 사용자에게 전달해 준다. GPS와 위성 DMB는 서로 간에 정보를 제공하는 위성이 다르며, 위치 또한 다르다. GPS 위성은 24개로서 적도와 55도로 경사를 이루는 6개의 궤도면

에서 운동을 하고, DMB 위성은 지상에서 45°의 고도에 위치하며 정지궤도에 있다. 따라서 두 대역을 동시에 서비스하기 위해서는 대역별로 다른 방사 패턴을 가지는 안테나가 필요하다. 대역별로 다른 방사 패턴을 가지는 구조로 metamaterial의 0차 공진과 -1차 공진을 사용하는 안테나가 제안되었다<sup>[1]</sup>. 이 경우, 안테나의 대역폭이 좁고 -1차 공진에서 효율이 급격히 저하되어 GPS, DMB 응용에는 적합하지 않다. 그리고, annular ring과 truncated 패치 안테나를 사용하여 이중 대역에서 두 개의 독립적인 방사 패턴을 가지는 구조가 제안되었다<sup>[2]</sup>. 하지만 급전이 각

「본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성 사업으로 수행된 연구 결과임.」

포항공과대학교 전자전기공학과(Department of Electronic and Electrical Engineering, POSTECH)

· 논문 번호 : 20081223-154

· 수정완료일자 : 2009년 2월 20일

각 이루어지기 때문에 안테나의 복잡도가 증가하는 단점이 있다. Annular ring 슬롯을 이용한 이중 대역 안테나를 구현한 것이 있으나<sup>[3]</sup>, 두 대역에서 모두 수직 방향으로 최대지향성을 가져, 원하는 방사 패턴을 갖지 못한다. Annular ring 패치는 여러 가지 모드를 형성하게 되고, 특히 낮은 dominant 모드(TM<sub>11</sub>)는 GPS 안테나 응용에 많이 사용된다<sup>[4]</sup>. 그리고 TM<sub>21</sub> 모드는 수평 방향으로 균일한 방사 패턴을 가지고 수직으로는 지평선과 천정 사이에 최대지향성을 갖는 코니컬(conical) 빔 모양을 가져 위성 DMB 신호를 수신하기에 적합하다. 그러나 두 모드의 입력 임피던스가 다르기 때문에<sup>[5]</sup>, 고차 모드를 이용하여 코니컬 빔을 갖는 이중 대역 안테나<sup>[6]</sup>는 제안된 바 있으나, TM<sub>11</sub> 모드와 TM<sub>21</sub> 모드를 동시에 여기시키는 이중 대역 안테나는 제안되지 않았다.

본 논문에서는 고속 이동 물체의 천장의 표면에 사용할 수 있는 표면형 안테나로 GPS(중심 주파수 1.575 GHz) 신호와 위성 DMB(주파수 대역: 2.63~2.655 GHz) 신호를 수신할 수 있는 이중 대역 이중 패턴의 안테나를 제안하도록 한다. GPS 신호와 위성 DMB 신호는 모두 우수 편파(LHCP)를 사용하여 송신하고, 수신 안테나의 이득이 0 dBi 이상이면 충분히 신호를 수신할 수 있기 때문에 본 논문에서 선형편파를 이용하여 수신하는 안테나를 제안한다. 제안하는 안테나는 annular ring의 두 가지 모드를 한 급전으로부터 여기시켜 각 대역에서 독립적인 패턴을 얻는 구조이고 슬롯을 넣어 원하는 주파수 대역으로 튜닝이 가능한 안테나이다. II장에서는 안테나에 여기되는 기본 모드와 구조를 살펴보고, III장에서는 시뮬레이션을 통하여 중요한 파라미터를 알아본다. IV장에서 실험을 통한 성능을 검증하며, V장에서 결론을 짓도록 한다.

## II. 여기모드 및 안테나 구조

일반적인 annular ring 패치 안테나는 그 모양에 따라서 여기되는 모드의 공진 주파수가 달라지게 된다. Annular ring 패치 안테나는 TM 모드를 여기하게 되고 공진 주파수는 식 (1)을 통해 구할 수 있다<sup>[6]</sup>.

$$f_{nm} = \frac{ck_{nm}}{2\pi\sqrt{\epsilon_e}} \quad (1)$$

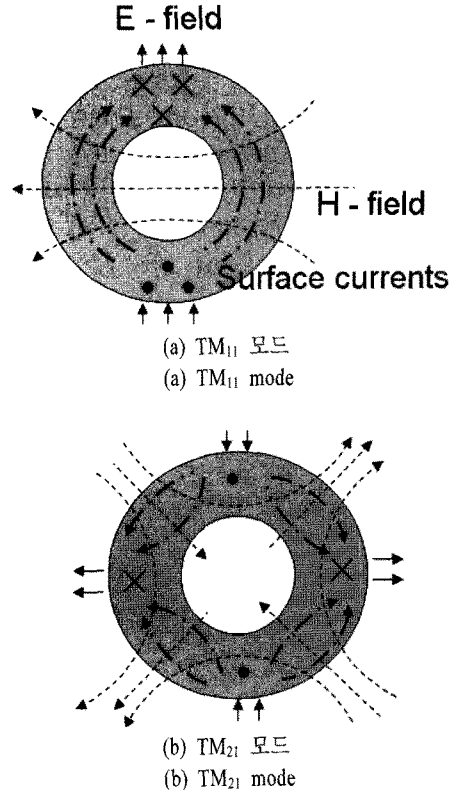


그림 1. Annular-ring 안테나의 공진 모드  
Fig. 1. Resonant modes of annular ring antenna.

여기서  $\epsilon_e$ 는 기판의 유효 유전율이고,  $k_{nm}$ 은 아래 식 (2)의 해가 된다.

$$0 = N_n'(k_{nm}a)J_n'(k_{nm}b) - J_n'(k_{nm}a)N_n'(k_{nm}b) \quad (2)$$

$J_n'$ 은 first derivatives of Bessel function이고,  $N_n'$ 은 first derivatives of Neumann function이다.  $a$ 는 annular ring의 내경을 나타내고,  $b$ 는 annular ring의 외경을 나타낸다. 식 (1)에 의한 공진 주파수는 기판의 유효 유전율이 높을수록 낮아지고, 안테나의 외경  $b$ 가 커질수록 낮아지게 된다.

Annular ring 패치의 가장 낮은 두 가지 모드의 전개 및 자계 그리고 표면 전류를 그림 1에 도시하였다. 안테나의 가장 낮은 모드는 TM<sub>11</sub> 모드이며, 전개는 아래쪽과 위쪽에서 fringing field가 형성되며, 서로 동일한 방향을 향하게 된다. 그리고 표면 전류는 아래에서 위쪽으로 동일한 방향으로 흐른다. 표면전류의 수직 방향으로 자계가 형성된다. 이 모드의 전

계 및 자계 분포는 반 파장 원형 패치 안테나의 전계 및 자계 분포와 상당히 유사한 것을 확인할 수 있다. 따라서  $TM_{11}$  모드는 안테나의 수직 방향으로 최대 이득을 가지는 구조이다.  $TM_{21}$  모드는 전계와 자계의 분포가 annular ring의 중심에서 각에 따라 변화함을 확인할 수 있다. 수직과 수평 방향 끝 쪽에서 형성이 되는 fringing field는 서로 반대 방향으로 향하고 있고, 전류는 각 전계가 강하게 형성되는 지점 사이로 방향을 바꾸어가며 안테나 표면을 따라서 흐르고 있다. 서로 반대 방향으로 형성이 된 fringing field는 안테나의 수직 방향에 대한 방사를 억제하는 역할을 한다. 따라서 수직 방향으로의 방사가 되지 않고 비스듬한 방향으로 최대 방사를 이루어 conical 빔을 형성하게 된다.  $TM_{11}$  모드와  $TM_{21}$  모드는 서로 다른 전계를 형성하기 때문에 급전하는 위치도 다르게 된다.  $TM_{11}$  모드는 일반적으로 안쪽 원형에 스테브를 빼서 급전을 하는 방법을 많이 사용하고 있으며<sup>[7]</sup>,  $TM_{21}$  모드는 annular ring 패치의 적절한 위치에 동축 선로로 바로 급전하는 방법을 사용한다. 두 모드를 살펴보면 annular ring의 아래쪽은 동일한 fringing field가 형성이 되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 부분의 커플링을 이용한 급전을 하면 동시에 두 모드를 여기시킬 수 있게 된다. 본 논문에서는 50 Ω 마이크로스트립 선로와 안테나 사이에 간격(gap)을 두어 커플링을 하였다.

본 논문에서 제안하는 구조를 그림 2에 도시하였다. Annular ring 패치에 네 개의 슬롯을 두었다. 이 네 개의 슬롯은  $TM_{21}$  모드의 전류를 돌아가게 하여  $TM_{21}$ 의 공진 주파수를 조절하기 위하여 삽입이 되었다. 그리고 평면형 안테나로 구현하기 위하여 안테나의 높이가 낮게 설계되었다. 안테나는 두께가 0.4 mm인 FR4 기판(비유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.02) 두 개와 두께가 2.61 mm 허니콤 구조를 이용하여 설계되었다. 허니콤 구조는 일정 두께를 가지며 벌집 모양과 같이 생긴 구멍이 뚫려 있는 구조체이다. 이는 유전율이 1에 가까워 공기와 같은 특성을 가지며, 안테나의 지지도를 높여 기계적 강도를 키우게 된다. 안테나의 급전선은 50 Ω 선로 폭인 13 mm로 하였고, 안테나는 GPS(1.575 GHz)와 위성 DMB에 동작하도록 설계되었다. Annular ring의 외경과 내경을 조절하여 GPS 대역의 공진 주파수를 설계하였으며,

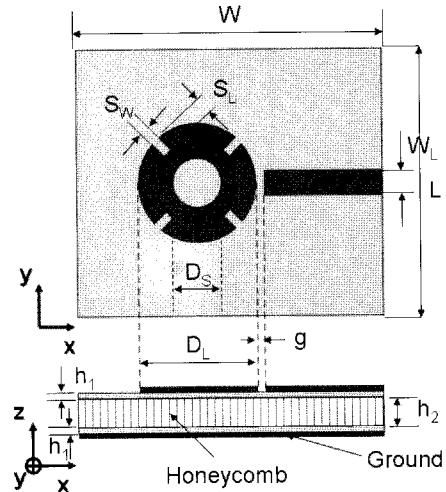


그림 2. 제안하는 이중 모드 annular-ring 안테나 구조  
Fig. 2. Geometry of the proposed dual-mode annular-ring antenna.

표 1. 이중 모드 annular ring 안테나의 최적 설계값  
Table 1. Optimized values for the geometric parameters of the proposed dual-mode annular ring antenna.

변수	값(mm)	변수	값(mm)
$W$	140	$D_L$	86
$L$	140	$D_S$	26
$h_1$	0.4	$S_w$	2
$h_2$	2.61	$S_L$	11
$g$	0.5	$W_L$	13

위성 DMB의 공진 주파수는 안테나의 슬롯 길이를 조절하여 설계하였다. 최적화된 설계 값은 표 1에 도시하였다. 안테나의 직경은 86 mm로 낮은 공진 주파수 1.575 GHz의 파장으로 표현하였을 때 약 0.45 파장에 해당한다. 이는 기관이 공기일 때 일반적인 반 파장 패치안테나와 유사하다.

### III. 시뮬레이션 및 분석

제안된 안테나의 시뮬레이션 및 분석을 위하여 CST사의 MWS를 사용하였다. 안테나 설계에 있어서 중요한 요소는 원하는 주파수대역을 튜닝할 수 있는 안테나 파라미터를 찾아내는 것이다. Annular ring의 바깥쪽 직경( $D_o$ )이 커지면 식 (1)의 공진 모드 주파수가 감소하여 안테나의 동작 주파수 역시 감소

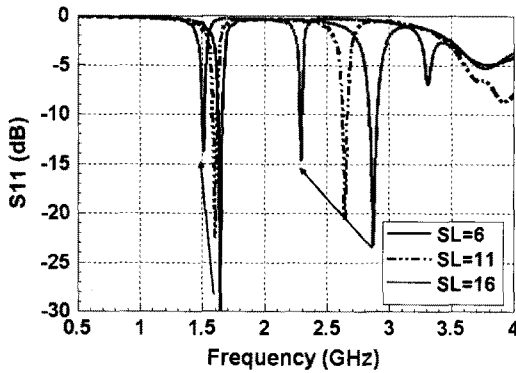


그림 3. Annular ring의 슬롯의 길이( $S_L$ )에 따른 안테나의 반사계수( $S_{11}$ )의 변화  
 Fig. 3. Simulated  $S_{11}$  of the proposed antenna at the different slot length( $S_L=6, 11, \text{ and } 16$ ).

하게 된다. Annular ring 구조에서  $TM_{21}$  모드의 전류가 가장 강하게 형성되는 부분에 슬롯을 넣어 슬롯의 길이( $S_L$ )을 조절해 가면서 공진 주파수의 변화를 살펴보았다. 슬롯의 길이가 길어짐에 따른  $S_{11}$ 의 변화를 그림 3에 도시하였다. 슬롯이 존재함으로 인해 전류가 슬롯을 따라서 돌아가면서 형성이 되기 때문에  $TM_{21}$  모드의 공진 주파수가 많이 변화함을 확인할 수 있고, 상대적으로  $TM_{11}$  모드의 공진 주파수는 전류의 방향에 큰 영향을 미치지 않아 변화량이 적음을 확인할 수 있다. 따라서 슬롯의 길이를 조절하여  $TM_{21}$  모드의 공진 주파수를 우리가 원하는 대역으로 쉽게 설계할 수 있다.

급전 선로와 안테나의 간격( $g$ )이 두 공진 주파수에 미치는 영향을 살펴보았다. 그림 4는 간격을 0.2, 0.5, 1.1 mm로 하였을 때  $S_{11}$ 의 변화를 나타낸 것이다. 간격  $g$ 는 안테나의 공진 주파수에 거의 영향을 미치지 않고 안테나의 매칭에 영향을 미치게 된다. 그래프를 살펴보면 두 모드에서 매칭되는 정도가 서로 유사한 것을 확인할 수 있고, 적절한 간격( $g=0.5$ )을 유지하면 두 모드에서 매칭이 잘 이루어짐을 확인할 수 있다. 따라서 안테나 설계시 두 대역의 중심 주파수를 정해 두고, 낮은 대역은 주파수는 안테나의 외경을 조절하여 설계하고 높은 대역의 주파수는 안테나의 슬롯의 길이를 조절하여 설계할 수 있다. 공진 주파수를 설계한 후에는 급전 선로와 안테나의 간격을 조절하여 매칭이 가능하다.

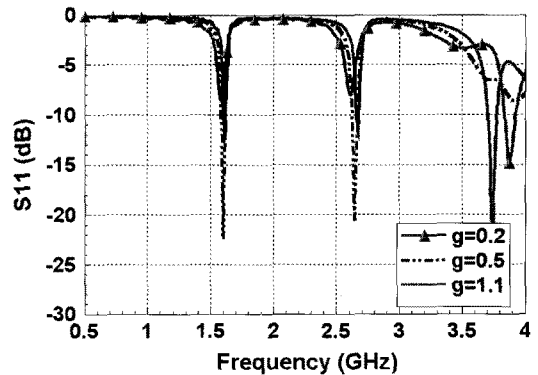
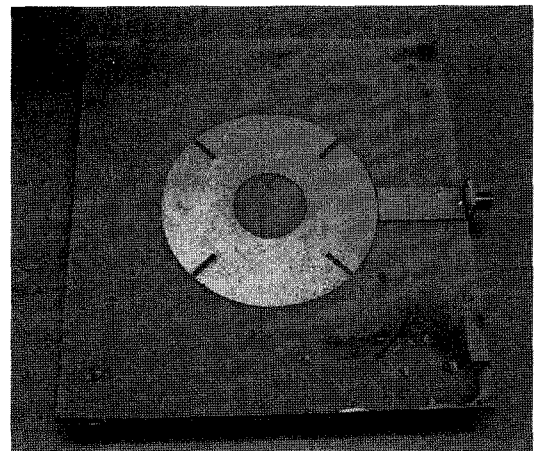


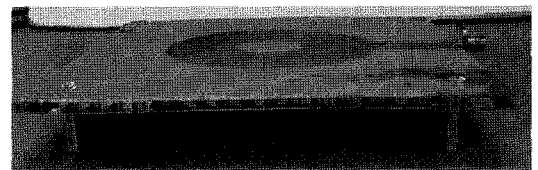
그림 4. 급전 간격( $g$ )에 따른 안테나의 반사계수( $S_{11}$ )의 변화  
 Fig. 4. Simulated  $S_{11}$  of the proposed antenna at the different gap( $g=0.2, 0.5, \text{ and } 1.1$ ).

#### IV. 제작 및 측정 결과

제안한 안테나의 성능을 살펴보기 위하여 제작을 하여 반사 손실과 방사 패턴을 측정하고 시뮬레이션과 비교를 하였다. 그림 5는 표 1의 설계 파라미터로



(a) 정면 사진  
 (a) Front view



(b) 측면 사진  
 (b) Side view

그림 5. 제작된 이중 모드 annular ring 안테나  
 Fig. 5. Fabricated dual-mode annular ring antenna.

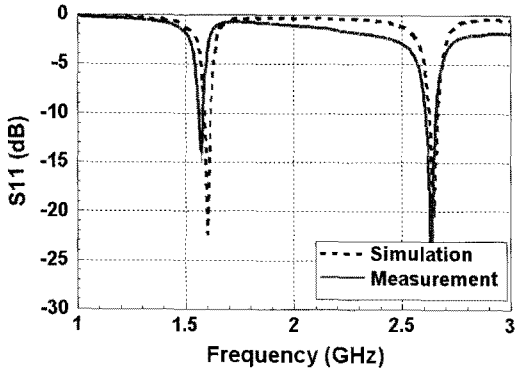


그림 6. 제작된 안테나의 시뮬레이션과 측정된 반사 계수

Fig. 6. Simulated and measured  $S_{11}$  of the proposed antenna.

제작된 안테나의 모습을 보여주고 있다. 중심에 허니콤을 사용하고 샌드위치 구조로 양쪽에 FR4 기판이 사용되었다. 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실은 그림 6에 도시를 하였다. 시뮬레이션과 측정 결과는 상당히 유사한 분포를 보이는 것을 확인할 수 있고, GPS와 DMB 대역에서 공진이 잘 형성된다.  $S_{11} < -10$  dB를 기준으로 하였을 때 시뮬레이션에서는 GPS 대역에서 31 MHz(1.584~1.615 GHz), DMB 대역에서 40 MHz(2.623~2.663 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 확인할 수 있었고, 실제 측정에서는 GPS 대역에서는 18 MHz(1.562~1.58 GHz), DMB 대역에서는 47 MHz(2.610~2.657 GHz)의 대역폭을 가짐을 확인하였다. 측정된 대역은 GPS와 DMB 대역을 모두 만족시킨다.

제안된 안테나의 방사 패턴을 시뮬레이션 및 측정을 하여 그림 7에 도시하였다. 시뮬레이션과 측정은 상당히 유사한 경향을 보이고 있다. GPS 대역은 일반적인 원형 패치 안테나와 같이 수직 방향으로 최대 방사가 형성되고 DMB 대역은 60° 방향으로 최대 빔을 가지는 코니컬(conical) 빔이 형성되는 것을 확인할 수 있다. GPS 대역에서의 시뮬레이션된 안테나의 이득은 7.6 dBi, DMB 대역에서의 이득은 5.2 dBi 였다. 이는 움직이는 GPS 위성의 신호와 정지 궤도에 있는 위성 DMB 신호를 수신하기에 적합한 방사 패턴 및 이득이다.

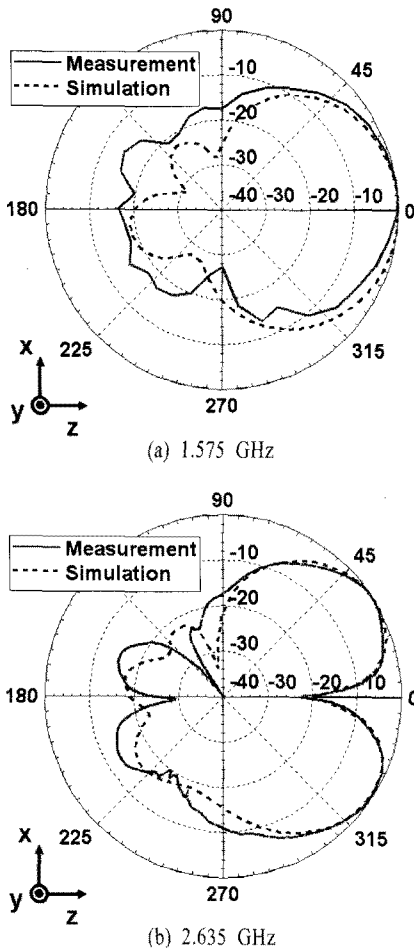


그림 7. 1.575 GHz와 2.635 GHz에서 시뮬레이션 및 측정된 방사 패턴

Fig. 7. Simulated and measured radiation patterns at 1.575 GHz and 2.635 GHz.

## V. 결 론

본 논문에서는 GPS와 위성 DMB에 사용할 수 있는 각 대역에서 패턴이 다른 이중 모드 annular ring 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 커플링 급전을 이용하여 annular ring의 두 가지 모드를 여기시켰고, GPS 대역에서는 안테나의 수직 방향으로 최대 방사가 발생하고, DMB 대역에서는 코니컬 빔 패턴이 발생한다. 측정된 안테나는  $S_{11} < -10$  dB를 기준으로 GPS는 18 MHz의 대역폭을, DMB는 47 MHz의 대역폭을 가져 원하는 주파수 대역을 모두 만족한다. 본 논문에서 제안하는 구조는 평면형 구조로 고속 이동 물체의 천장에 사용하여 기계적인 구조물과 집적화가 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Anthony Lai, Kevin M. K. H. Leong, and Tatsuo Itoh, "Dual-mode compact microstrip antenna based on fundamental backward wave", *Asia-Pacific Microwave Conference*, vol. 4, Dec. 2005.

[2] Shun-Yun Lin, Kuang-Chih Huang, "A compact microstrip antenna for GPS and DCS application", *IEEE Tans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 3, pp. 1227-1229, Mar. 2005.

[3] Jia-Yi Sze, Chung-I G. Hsu, and Sheng-Chin Hsu, "Design of a compact dual-band annular-ring slot antenna", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 423-426, 2007.

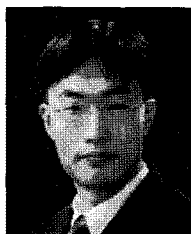
[4] L. Boccia, G. Amendola, and G. Di Massa, "Performance evaluation of shorted annular patch antennas for high-precision GPS systems", *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 1, no. 2, pp. 465-471, 2007.

[5] Arun K. Bhattacharyya, Ramesh Garg, "Input impedance of annular ring microstrip antenna using circuit theory approach", *IEEE Tans. Antennas Propag.*, vol. 33, no. 4, pp. 369-374, Apr. 2005.

[6] R. J. Langley, K. Voudouris, and J. C. Batchelor, "Annular ring patch antennas", *IEE Colloquium on Multi-Band Antennas*, Oct. 1992.

[7] Chow Yen Desmond Sim, Kuang-Woei Lin, and Jeen-Sheen Row, "Design of an annular-ring microstrip antenna for circular polarization", *Antennas Propagat. Soc. Int. Symp.*, vol. 1, pp. 471-474, Jun. 2004.

김 재 희



ials

2004년 8월: 고려대학교 전기전자  
전파공학부 (공학사)

2005년 3월~현재: 포항공과대학교  
전자전기공학과 석·박사 통합과  
정

[주 관심분야] 밀리미터파 빔 형성  
안테나, 소형안테나, Metamaterials

박 위 상



공업주식회사

1974년 2월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)

1982년 6월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학석사)

1986년 8월: University of Wisconsin  
Madison 전자공학과 (공학박사)

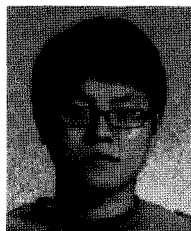
1976년 7월~1978년 11월: 삼성전자

1984년 1월~1986년 8월: University of Wisconsin-Madison,  
TA 및 RA

1986년 8월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수  
[주 관심분야] Design of Microstrip Antennas, Full-Wave

Analysis of Microstrip Structures, Design of Passive Micro-  
strip Devices by Network Modeling, Measurement and  
Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones

우 대 응



2007년 2월: 경북대학교 전자전기  
컴퓨터학부 (공학사)

2007년 3월~현재: 포항공과대학교  
전자전기공학과 석·박사 통합과  
정

[주 관심분야] 안테나, 메타물질