

# 등방성 복사 특성을 가지는 U-형태의 RFID 태그 안테나

## U-Shaped RFID Tag Antenna with Isotropic Radiation Characteristic

이상운 · 조치현\* · 이기근 · 추호성\* · 박익모

Sangwoon Lee · Chihyun Cho\* · Keekeun Lee · Hosung Choo\* · Ikmo Park

### 요 약

본 논문에서는 RFID 시스템의 안정적인 구동을 위하여 등방성 복사 특성을 가지는 U-형태의 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 태그 안테나는 복사부에 해당하는 U-형태의 반파장 다이폴 본체와 사각 형태의 급전부가 결합된 구조이다. 태그 칩과의 공액 정합이 용이하게 하기 위해 급전부 하단 중앙에 상용 태그 칩을 부착하여 U-형태의 본체에 연결하였다. 또한, U-형태의 태그 안테나의 본체 하단 중앙을 직사각형 슬릿을 만들어 이득 편차 특성을 개선하였다. 두 구조의 태그 안테나는 VSWR<2를 기준으로 국내에 할당된 UHF 주파수 대역인 908.5 ~ 914 MHz를 수용하였으며, VSWR<2 대역폭 안에서 슬릿이 없는 경우 1.63 dB 이하의 이득 편차 특성을, 슬릿이 있는 경우에는 0.74 dB 이하의 이득 편차 특성을 가졌다. 또한, VSWR<5.8 대역폭 안에서 슬릿이 없는 경우 3.8 dB 이하의 이득 편차 특성을, 슬릿이 있는 경우에는 1.2 dB 이하의 이득 편차 특성을 가졌다.

### Abstract

In this paper, we proposed a U-shaped RFID tag antenna with isotropic radiation characteristic for the stable operation of RFID system. The proposed antenna is composed of a U-shaped half wavelength dipole and a rectangular-shaped feed. In order to have good impedance matching with a tag chip, the commercial tag chip is attached to the lower center of the feed. A gain deviation characteristic of the U-shaped tag antenna can be further improved by inserting a rectangular slit in the lower center of the U-shaped antenna body. On the condition of VSWR<2, the tag antennas of two structures satisfy the Korea UHF RFID bandwidth and showed the gain deviation of less than 1.63 dB and 0.74 dB for without slit and with slit, respectively. On the condition of VSWR<5.8, the U-shaped tag antenna showed the gain deviation of less than 3.8 dB and 1.2 dB for without slit and with slit, respectively.

Key words : U-Shaped Antenna, Isotropic Radiation Pattern, Low Gain Deviation, RFID, Antenna

### I. 서 론

RFID 시스템은 중장거리 신호 전송이 가능하고 동시에 여러 개의 태그를 빠른 시간에 인식할 수 있다. 또한, 태그에 대용량의 고유 정보를 저장할 수 있으며, 반영구적인 사용이 가능하다. 이러한 이점으로 인하여 물류·유통 분야 등에서 기존의 바코드와 마그네틱 카드의 단점을 보완하여 사용의 편리성

을 향상시켜줄 수 있는 차세대 핵심 기술 중의 하나로 많은 관심을 받고 있다. 비접촉 무선 인식 기술인 RFID는 크게 리더와 태그로 구분되며, 리더 시스템에서 태그로 전파를 복사하면 태그 칩에 저장된 고유 정보를 역산란 방식을 통하여 태그 안테나로부터 되돌려 받는다. 일반적으로 리더 시스템의 안테나는 태그 안테나가 놓인 방향과 무관하게 태그의 고유 정보를 인식할 수 있도록 원형 편파를 가진 안테나

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

\*홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronics and Electrical Engineering, Hongik University)

· 논문 번호 : 20080211-017

· 수정완료일자 : 2008년 4월 28일

를 사용하며, 태그 안테나는 소형화가 용이한 선형 편파 안테나를 많이 사용한다. 태그 안테나는 유동적인 사물에 부착되어 사용하므로 RFID 시스템의 안정적인 구동에 있어서 태그 안테나의 설계는 매우 중요하다. 따라서 리더 시스템에서 태그의 고유 정보를 받을 때 태그의 방향에 무관한 인식률을 보여야 하며, 안테나의 높은 복사 효율을 가져 원거리 인식이 용이하도록 해야 한다. 또한, 태그 자체의 접지 공간이 없기 때문에 자체 접지를 지니고, 최대의 전력을 손실 없이 태그 칩으로 전달하여야 하므로 안테나와 태그 칩과의 임피던스 공액 정합이 용이한 구조이어야 한다<sup>[1]~[3]</sup>. 다이폴 구조의 안테나는 이러한 조건을 만족하는 안테나로 사물의 인식에 필요한 RFID 태그 안테나로 널리 사용되고 있다<sup>[3]~[7]</sup>. 그러나 다이폴 구조의 안테나는 도넛 형태의 복사 패턴 특성을 가지므로 복사가 되지 않은 영역이 발생하여<sup>[8]~[11]</sup>, 태그가 놓인 방향에 따라 리더 시스템에서의 인식률 저하와 태그를 인식할 수 있는 거리가 크게 감소하는 문제점이 지적되고 있다. 따라서 태그의 신뢰성 확보를 위하여 복사 패턴이 모든 방향으로 고른 인식 영역을 가지는 태그 안테나의 설계가 요구된다. 일반적으로 같은 편파와 같은 세기를 가지면서 모든 방향으로 전자기파를 복사하는 복사체는 존재하지 않는다<sup>[12]~[15]</sup>. 그러나 대부분의 RFID 리더 안테나는 양질의 고이득 원형 편파를 가지는 안테나로 설계되기 때문에 편파에 관계없이 태그 안테나가 등방성 복사 패턴을 가지게 되면 리더가 잘 인식할 수 있다. 준 등방성 복사 패턴을 가지는 안테나는 수평 도체 평판에 있는 슬롯과 이에 수직인 모노폴을 조합한 형태의 안테나<sup>[16]</sup>, 구(sphere)에 horizontal slot 을 형성한 안테나<sup>[17]</sup>, 또는 수직 방향으로 배열한 turnstile 안테나로 구현할 수 있다<sup>[18],[19]</sup>. 그러나 이 안테나들은 3차원 구조로 되어 있기 때문에 평면 형태를 요구하는 태그 안테나로 적합하지가 않다. 최근 평면 형태로 구현된 T-matching 급전 구조를 가지는 bent 다이폴 안테나<sup>[20]</sup>와 유도 결합 급전 구조를 가지는 폴디드 다이폴 안테나<sup>[21]</sup>가 준 등방성 복사 패턴을 가지는 태그 안테나로 제안되었다. 그러나 이 안테나들은 최대 이득 값과 최소 이득 값의 차이가 3 dB 이상이 되어 각각 quasi-isotropic 안테나와 near-isotropic 안테나로 명명하였으며, 방향에 따른

인식 거리의 차이가 생길 수 있다.

본 논문에서는 등방성 복사 특성을 가지는 U-형태의 태그 안테나를 제안한다. 반 파장 U형 다이폴 안테나는 복사 패턴에 널이 발생하는 양측 단에 흐르는 전류의 방향이 서로 다른 방향을 가지므로 전류에 의해 발생하는 전자기장을 상쇄하여 좋은 등방성 복사 패턴을 가질 수 있다<sup>[22]</sup>. 그러나 태그 칩과 공액 정합이 요구되는 RFID 태그 안테나로 적용하기 위해서는 급전부의 설계가 필요하다. 따라서 RFID 태그 안테나로 사용할 수 있는 U-형태의 반파장 다이폴과 사각 형태의 급전부가 결합된 태그 안테나를 설계하고, 급전부 근처에 슬릿을 삽입한 경우와 슬릿을 삽입하지 않은 경우에 대하여 각각의 특성을 비교하고자 한다. 제안한 태그 안테나는 낮은 이득 편차 특성을 갖도록 하여 리더 시스템이 태그의 고유 정보를 받을 때 최대의 인식 거리와 최소의 인식 거리의 비를 줄여 고른 인식 거리를 갖도록 하였으며, 충분한 전력이 태그 칩에 공급되도록 안테나와 태그 칩의 임피던스 공액 정합을 이루도록 설계하였다.

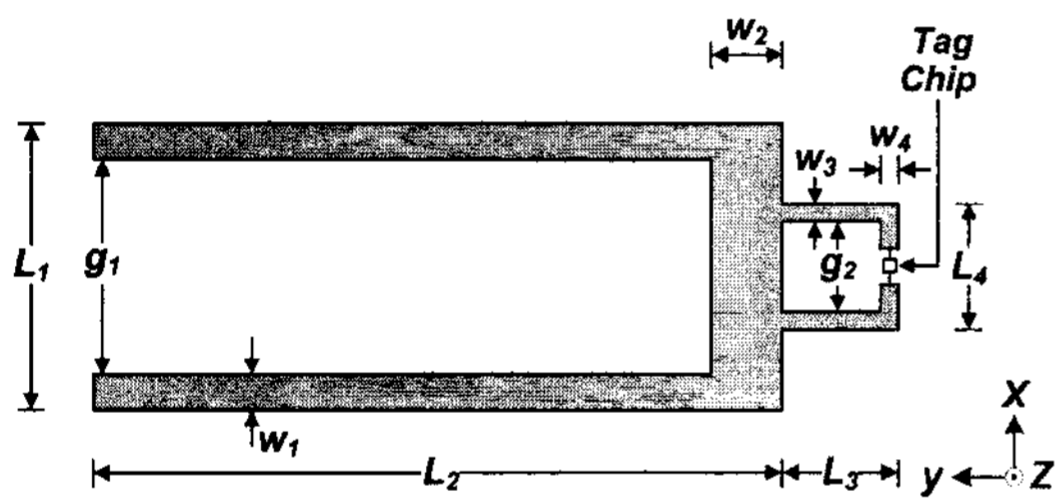
## II. 안테나 구조 및 설계

제안된 U-형태의 RFID 태그 안테나를 그림 1(a)에 도식화하였다. 제안된 U-형태의 태그 안테나는 안테나의 복사부에 해당하는 본체와 사각 형태의 급전부로 구성되어 있다. 본체는 U-형태의 반파장( $\lambda/2$ ) 다이폴 안테나로 되어 있고, 사각 형태의 급전부는 급전부 하단 중앙에 플립이 정합되어 있는 상용 태그 칩(ALL-9238, 9250)을 이용하여 본체에 연결하였다. 본체 등가 표면을 따라 흐르는 전류의 방향은 180°의 위상차를 갖도록 하여 복사 패턴에 널이 발생하는 부분을 상쇄하여 등방성 복사 패턴이 되도록 하였으며, 안테나의 입력 리액턴스를 인덕티브한 성분을 갖도록 만들어 태그 칩의 커패시티브한 성분을 상쇄하여 임피던스 공액 정합을 이루도록 하였다. 다음으로 이득 편차 특성을 개선하고자 U-형태의 태그 안테나에서 복사부에 해당하는 본체 하단 중앙에 직사각형 슬릿을 만든 U-형태의 RFID 태그 안테나를 그림 1(b)에 나타내었다. 태그 안테나는 비유전율 ( $\epsilon_r$ )이 3.38이고 0.2032 mm의 두께를 가지는 RO

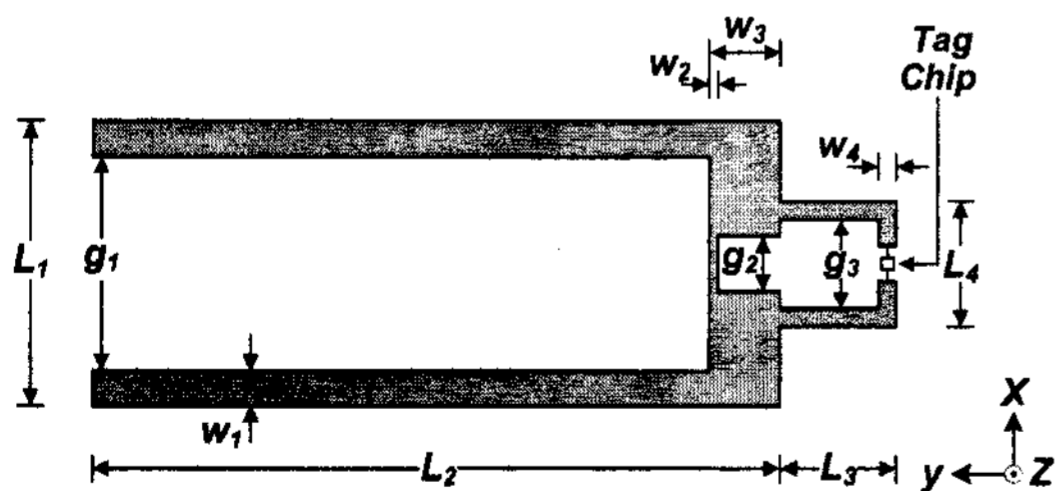
표 1. 최적화된 태그 안테나의 설계 변수

Table 1. The design parameters of the optimized tag antenna.

설계 변수	슬릿이 없는 경우(mm)	슬릿이 있는 경우(mm)
$L_1$	32.0	32.0
$L_2$	76.0	76.5
$L_3$	14.5	13.0
$L_4$	14.6	14.0
$w_1$	4.0	4.0
$w_2$	8.0	1.0
$w_3$	2.3	8.0
$w_4$	2.0	2.0
$g_1$	24.0	24.0
$g_2$	10.0	6.0
$g_3$	-	10.0



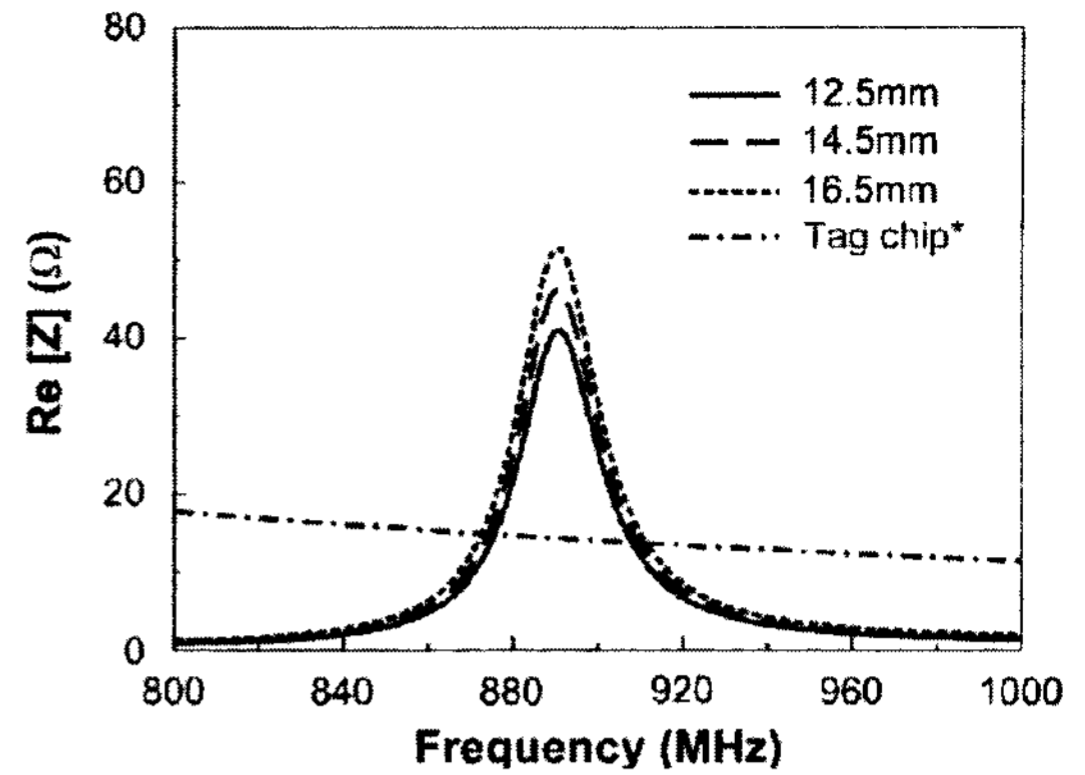
(a) 슬릿이 없는 경우  
(a) Without slit



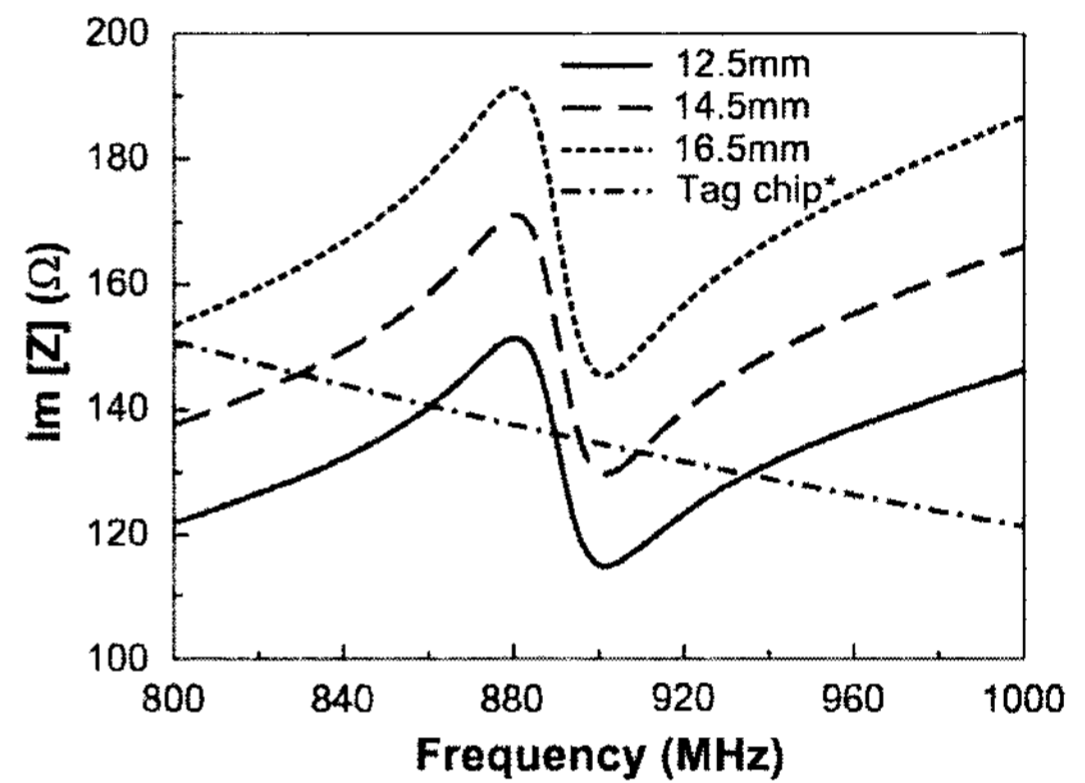
(b) 슬릿이 있는 경우  
(b) With slit

그림 1. 제안된 U-형태의 RFID 태그 안테나의 구조  
Fig. 1. The structure of the proposed U-shaped RFID tag antenna.

4003 기판 위에 단일 평면 구조로 인쇄하였다. 상용 태그 칩은 914 MHz에서 약  $13 - j133$ 의 입력 임피던스 값을 가지는 것을 사용하였다. 안테나의 최적화는 Zeland사의 EM Simulator인 IE3D로 하였다. 최적



(a) 입력 저항  
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스  
(b) Input reactance

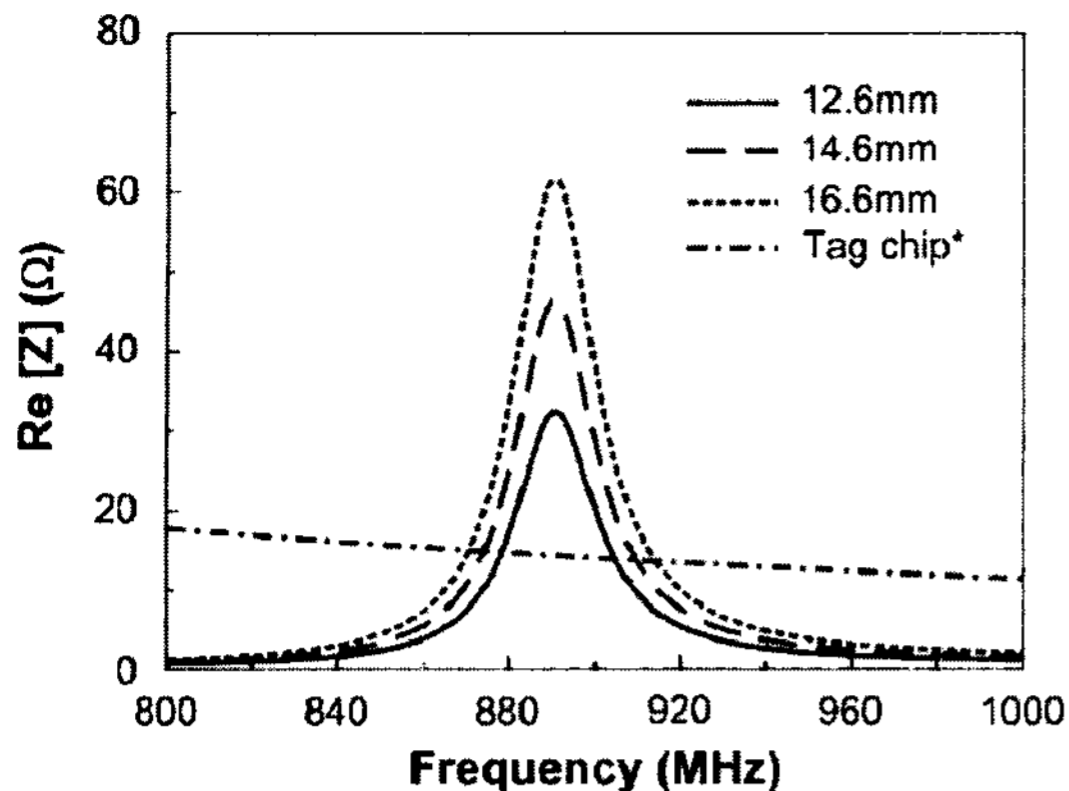
그림 2. 사각 형태의 급전부 상하 길이( $L_3$ ) 변화에 따른 임피던스 변화

Fig. 2. Variation of impedance with respect to the length( $L_3$ ) of feed.

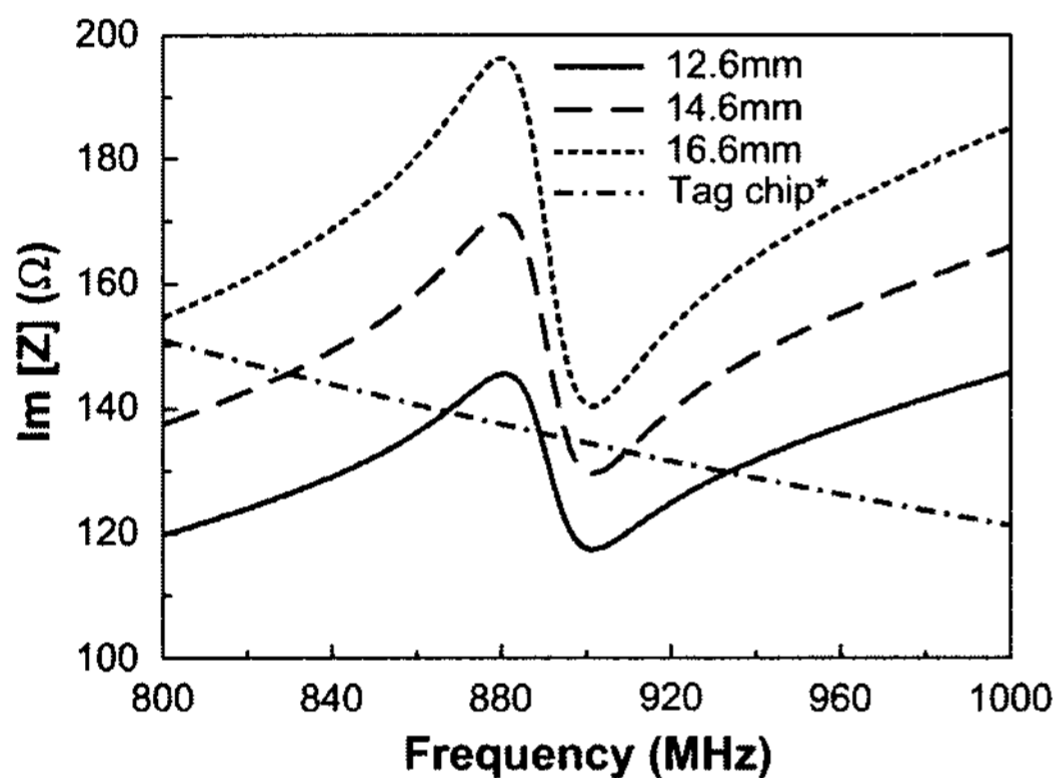
화된 슬릿이 없는 U-형태의 태그 안테나와 슬릿이 있는 U-형태의 태그 안테나의 설계 변수는 표 1과 같다.

최적화된 태그 안테나의 설계 변수를 통하여 임피던스 특성 변화를 살펴보았다. 그림 2는 안테나의 복사부에 해당하는 본체를 고정시킨 뒤, 사각 형태의 급전부 상하 길이  $L_3$ 를 변화시킨 결과이다.  $L_3$ 를 12.5 mm에서 16.5 mm까지 2 mm 간격으로 증가시켜 본 결과, 입력 저항과 입력 리액턴스는 일정하게 증가하였다.

사각 형태 급전부 좌우 길이  $L_4$ 를 변화시켜 본 결과를 그림 3에 나타내었다. 입력 저항은  $L_3$  길이 변화보다 큰 폭으로 증가하였으며, 입력 리액턴스는



(a) 입력 저항  
(a) Input resistance



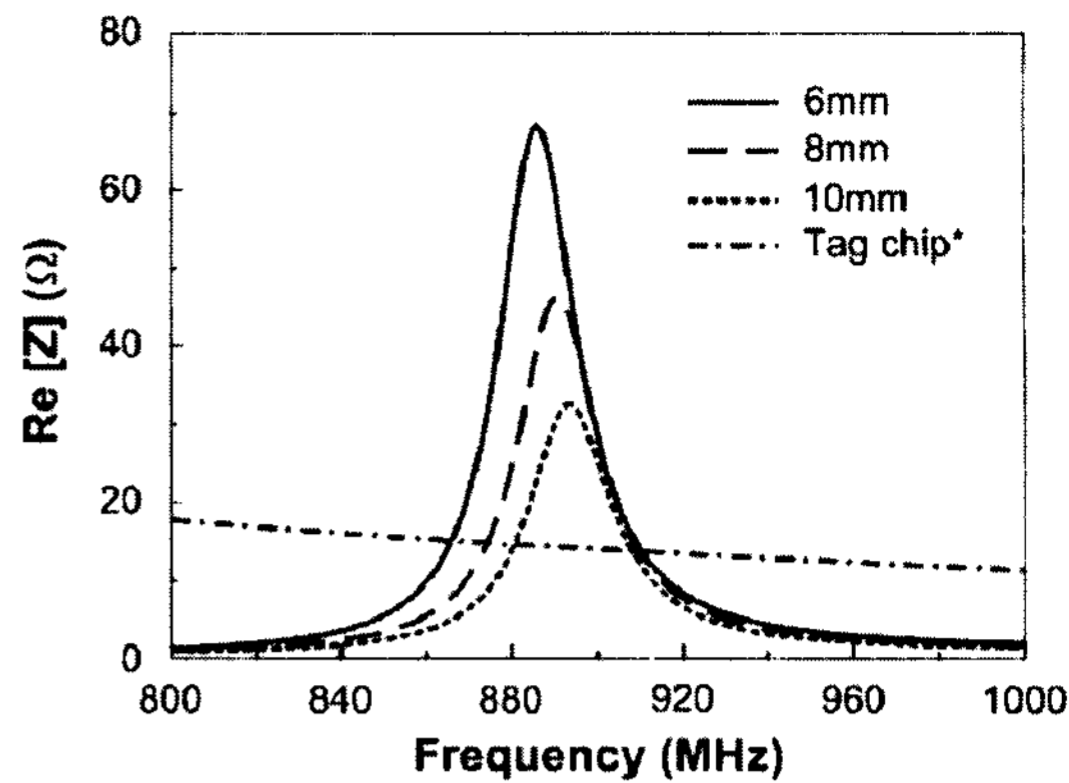
(b) 입력 리액턴스  
(b) Input reactance

그림 3. 사각 형태의 급전부 좌우 길이( $L_4$ ) 변화에 따른 임피던스 변화  
Fig. 3. Variation of impedance with respect to the width( $L_4$ ) of feed.

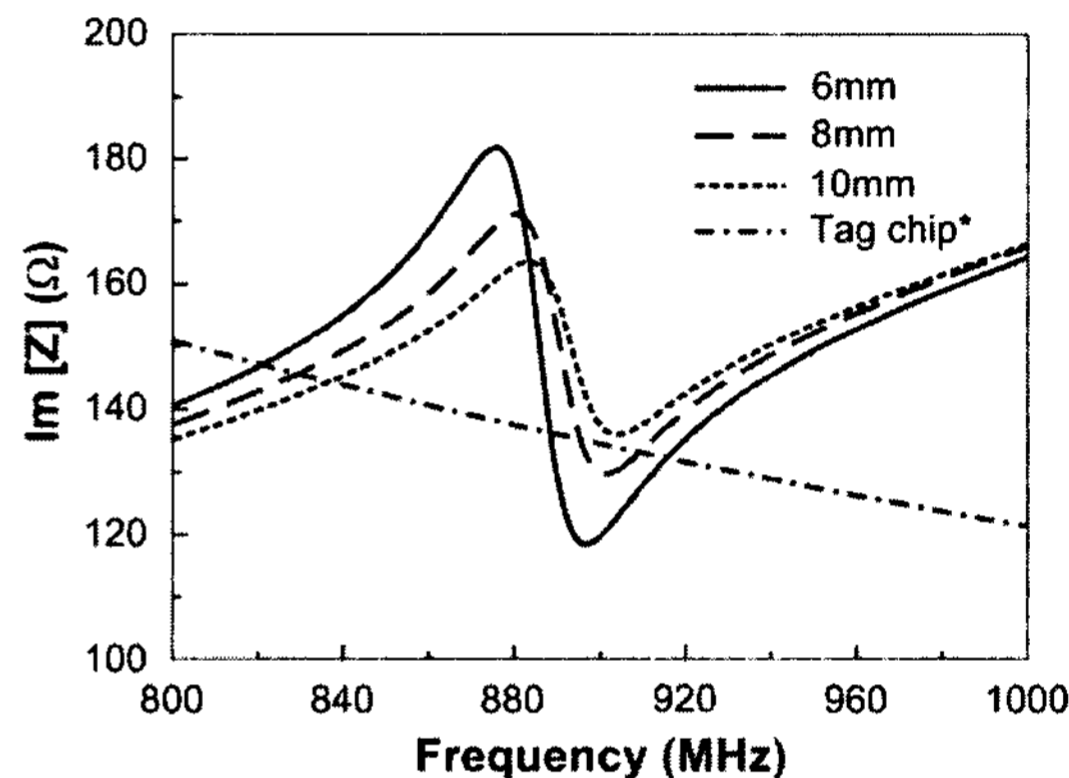
$L_3$  길이 변화와 유사하게 일정하게 증가하였다. 따라서 제안된 태그 안테나는 사각 형태의 급전부에 의해 입력 리액턴스를 인덕티브한 성분을 갖도록 하여 태그 칩의 커패시턴스 성분을 상쇄시켜 임피던스 공액 정합을 이루도록 하였다.

그림 4는 복사부에 해당하는 본체의 하단 선폭의 변화에 따른 임피던스 특성을 알아보려고,  $w_2$ 를 6 mm에서 10 mm까지 선폭을 2 mm 간격으로 증가시켜 보았다. 선폭이 넓어짐에 따라 입력 저항은 크게 감소하였으며, 입력 리액턴스는 변화의 폭이 크게 작아졌다.

슬릿이 없는 U-형태의 태그 안테나를 기준으로



(a) 입력 저항  
(a) Input resistance

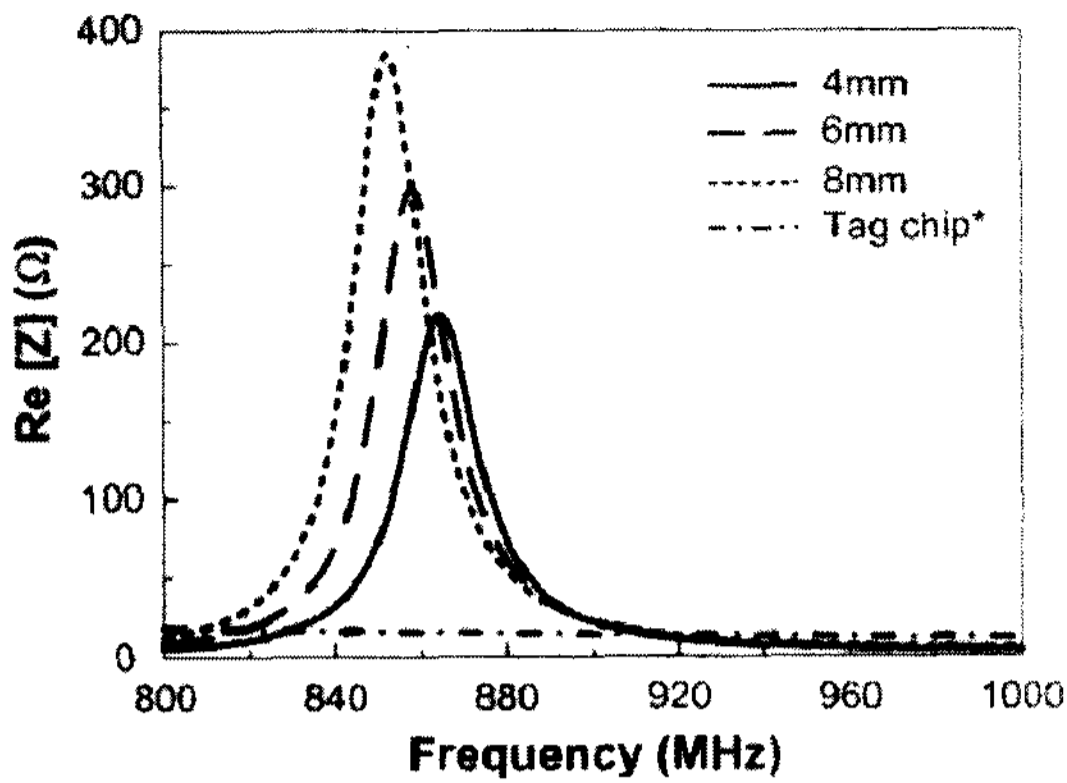


(b) 입력 리액턴스  
(b) Input reactance

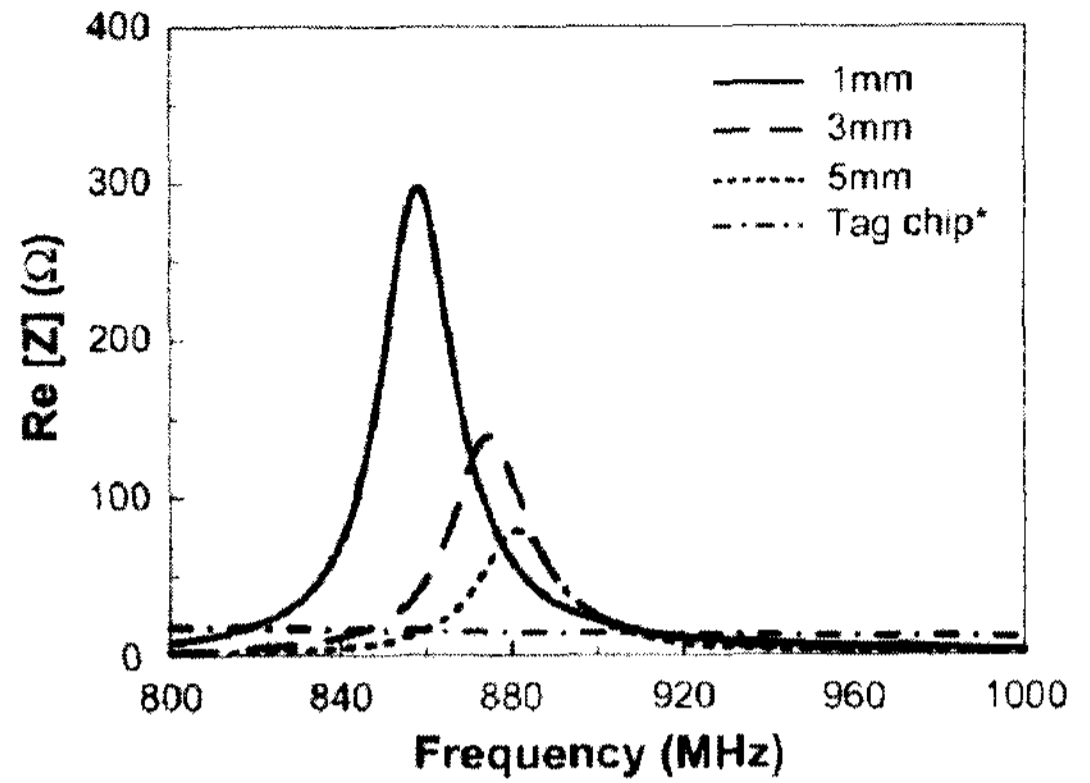
그림 4. 안테나 본체 하단 선폭( $w_2$ ) 변화에 따른 임피던스 변화  
Fig. 4. Variation of impedance with respect to the width( $w_2$ ) of antenna body.

슬릿의 크기에 따른 임피던스 특성 변화를 살펴보았다. 그림 5는 슬릿의 간격 변화에 따른 임피던스 특성을 알아보려고,  $g_2$ 를 4 mm에서 8 mm까지 2 mm 간격으로 증가시켜 보았다. 간격이 증가함에 따라 입력 저항과 입력 리액턴스는 매우 큰 폭으로 증가하였지만 중심 주파수에서 멀리 떨어진 부분에서 증가함에 따라 태그 칩과의 임피던스 정합에는 큰 영향을 미치지 않았다.

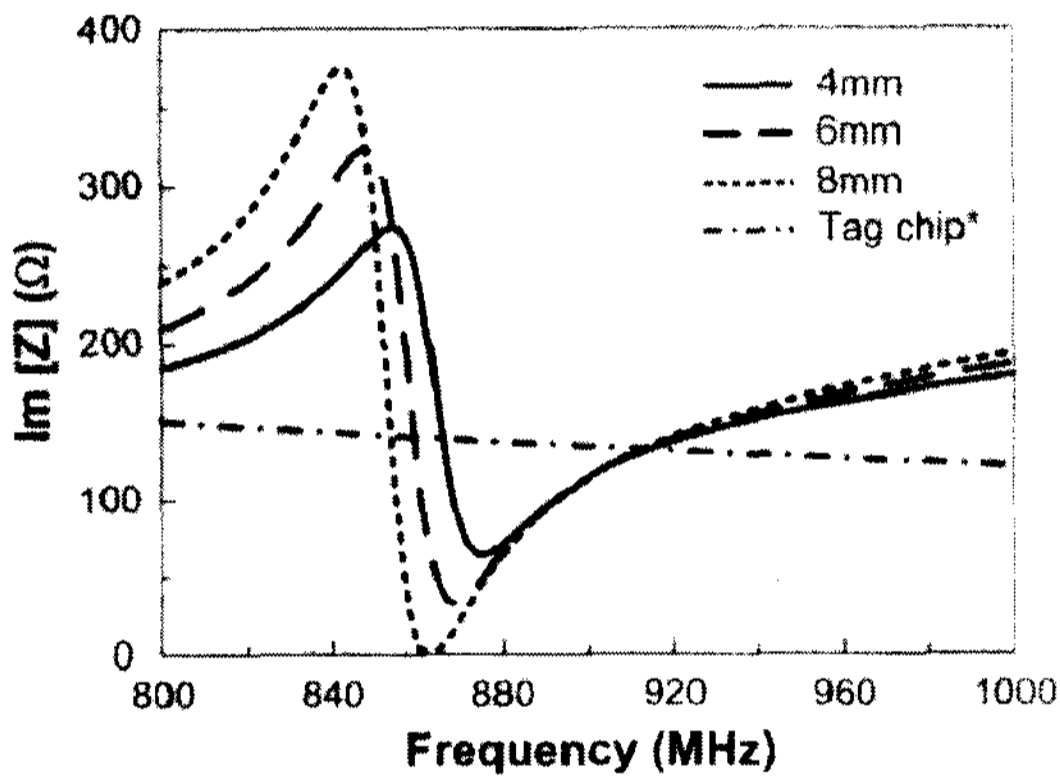
슬릿의 상단에 위치한 선폭  $w_2$ 를 1 mm, 3 mm, 그리고 5 mm로 증가한 결과를 그림 6에 나타내었다. 입력 저항과 입력 리액턴스는 선폭이 넓어짐에 따라 큰 폭으로 감소하였다. 입력 저항의 경우, 태그 칩과



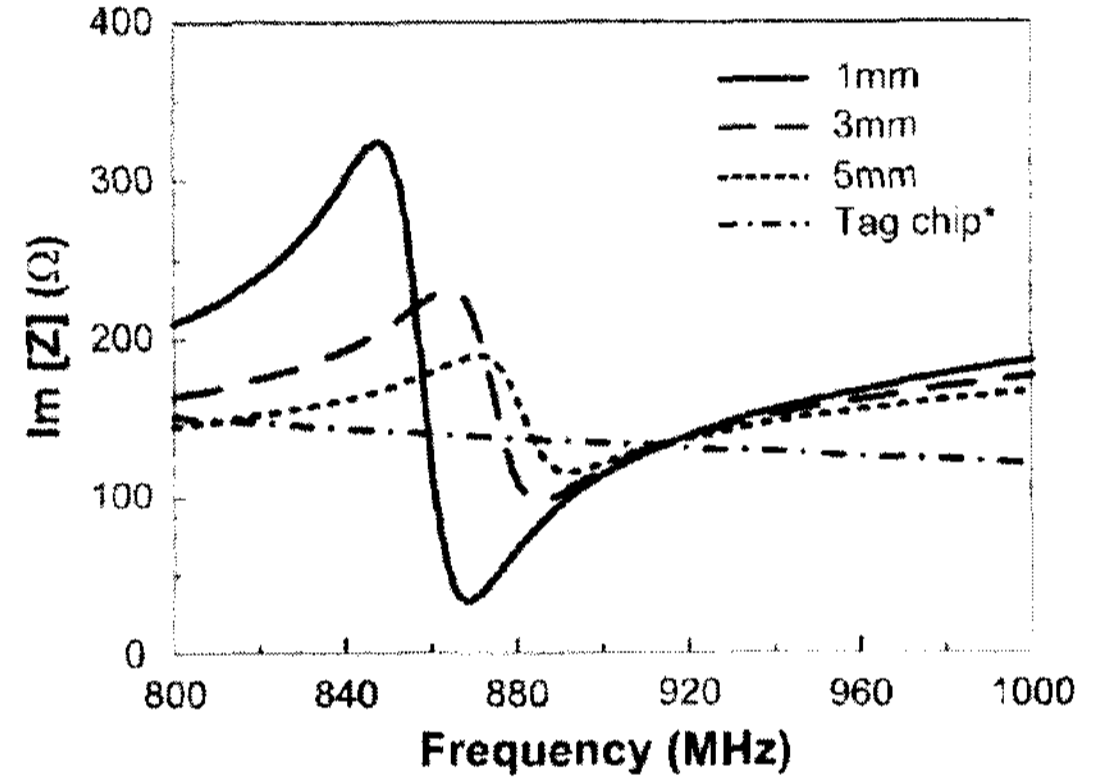
(a) 입력 저항  
(a) Input resistance



(a) 입력 저항  
(a) Input resistance



(b) 입력 리액턴스  
(b) Input reactance



(b) 입력 리액턴스  
(b) Input reactance

그림 5. 슬릿 간격( $g_2$ ) 변화에 따른 임피던스 변화  
Fig. 5. Variation of impedance with respect to the gap( $g_2$ ) of slit.

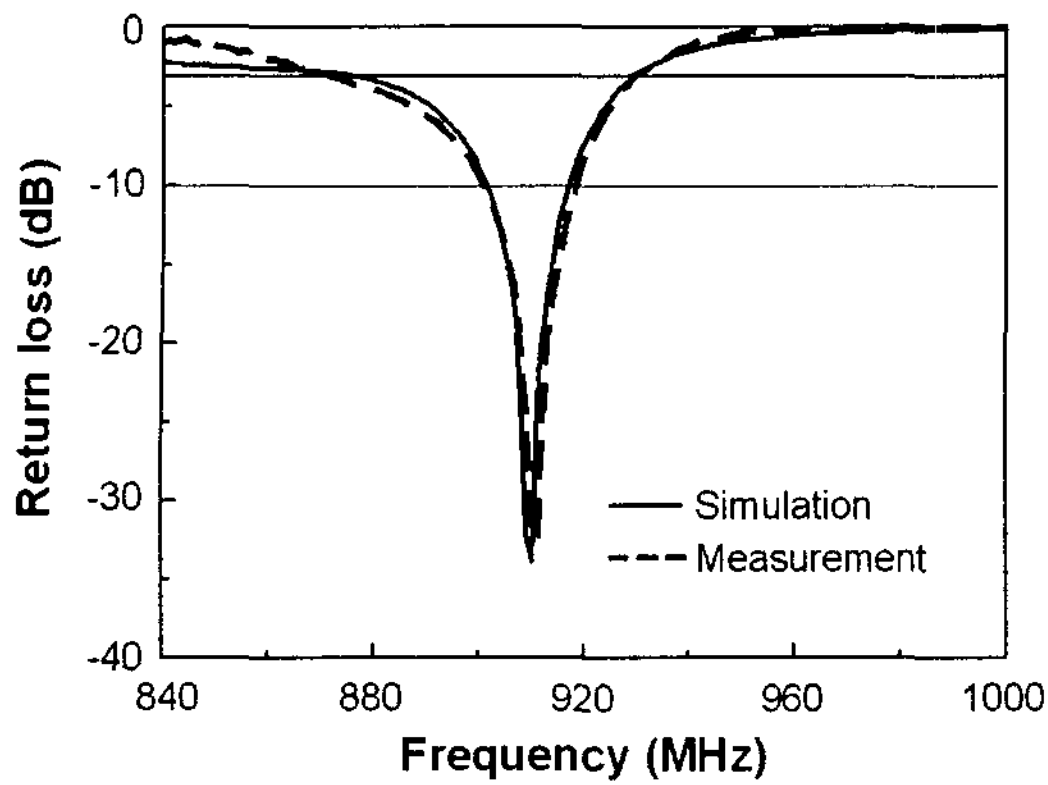
그림 6. 슬릿 선폭( $w_2$ ) 변화에 따른 임피던스 변화  
Fig. 6. Variation of impedance with respect to the width( $w_2$ ) of slit.

의 임피던스 정합되는 부분이 상위 주파수 대역으로 올라가며, 입력 리액턴스의 경우 태그 칩과의 임피던스 정합 부분에는 큰 영향을 미치지 않았다.

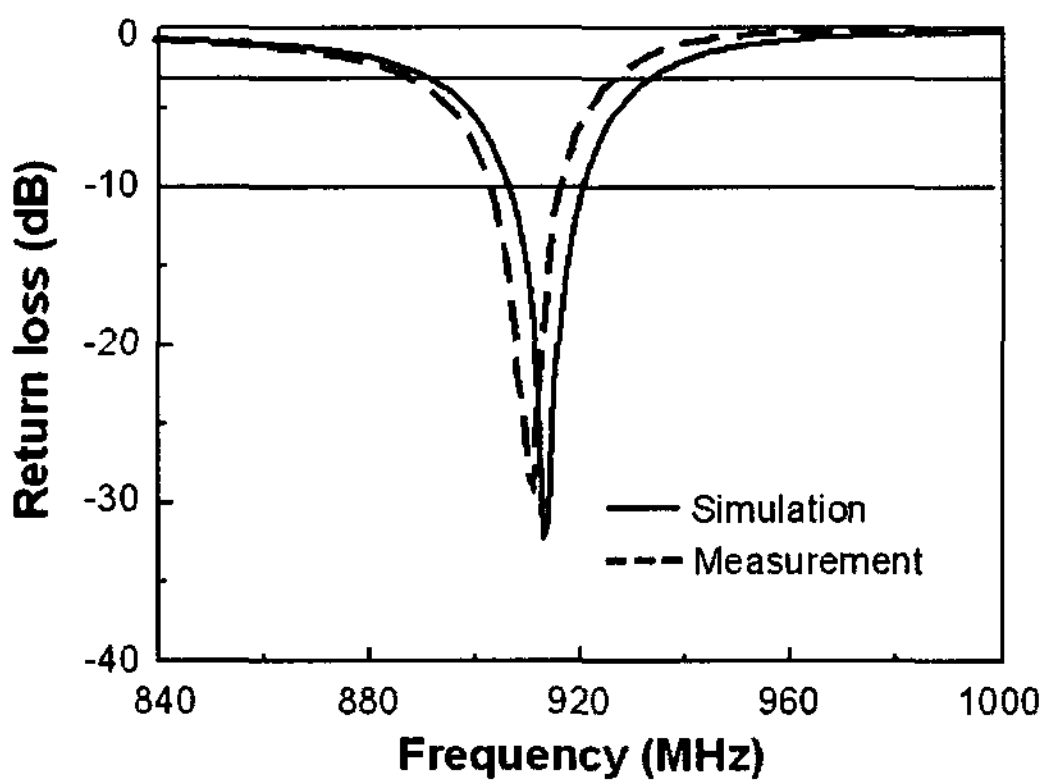
그림 7은 최적화된 슬릿이 없는 경우와 슬릿이 있는 경우의 태그 안테나에 대한 반사 손실 특성을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 실선과 점선으로 도식화하였고, 두 결과가 매우 유사함을 보여주고 있다. 측정된 태그 안테나의 대역폭은  $VSWR < 2$ 를 기준으로 슬릿이 없는 경우 900.8~918.3 MHz로 약 1.92% 대역폭을 가지고, 슬릿이 있는 경우에는 902.8~916 MHz로 약 1.45%의 대역폭을 가진다. 슬릿이 있는 태그 안테나는 슬릿이 없는 태그 안테나보다 상대적으로 약간 좁은 대역폭을 가졌으

나, 두 구조 모두 국내에 할당된 UHF 주파수를 수용하였다. 또한,  $VSWR < 5.8$ 을 기준으로 한 대역폭에서는 슬릿이 없는 태그 안테나는 871~929.5 MHz로 약 6.5%의 대역폭을 가지며, 슬릿이 있는 태그 안테나는 887~926.5 MHz로 약 4.36%를 가졌다. 이는 슬릿이 있는 태그 안테나가 낮은 주파수 대역에서 높은 임피던스 특성을 가져 슬릿이 없는 경우보다 상대적으로 큰 반사 손실을 갖는 것으로 사료된다.

제안한 U-형태의 태그 안테나의 주파수에 따른 이득 편차 특성에 대하여 그림 8에 나타내었다. 태그 안테나의 이득 편차는  $360^\circ$  전방향의 최대 이득과 최소 이득의 차이로서, 시뮬레이션 결과  $VSWR < 2$  대역폭 안에서 슬릿이 없는 경우 1.63 dB 이하의



(a) 슬릿이 없는 경우  
(a) Without slit



(b) 슬릿이 있는 경우  
(b) With slit

그림 7. 최적화된 태그 안테나의 반사 손실 특성  
Fig. 7. The return loss of the optimized tag antenna.

이득 편차 특성을 가졌지만 본체 하단 중앙에 슬릿을 있는 경우에는 0.74 dB 이하로 이득 편차 특성이 향상되었다. 그리고  $VSWR < 5.8$  대역폭 안에서 슬릿이 없는 태그 안테나는 3.8 dB 이하의 이득 편차 특성을 가졌고, 슬릿이 있는 경우에는 1.2 dB 이하로 이득 편차 특성이 향상되었다. 따라서 제안된 태그 안테나는 리더 시스템이 태그의 고유 정보를 받을 때 최대의 인식 거리와 최소의 인식 거리의 비를 줄임으로써 고른 인식 거리를 확보할 수 있다.

그림 9는 최적화된 두 구조에 대한 태그 안테나의 복사 효율 특성이다. 안테나의 복사 효율은 Wheeler cap 방법<sup>[23]</sup>을 이용하여 측정하였으며, 슬릿이 없는 경우와 슬릿이 있는 경우의 시뮬레이션 결과는 실선으로 측정 결과는 점선으로 나타내었다. 측정된 슬

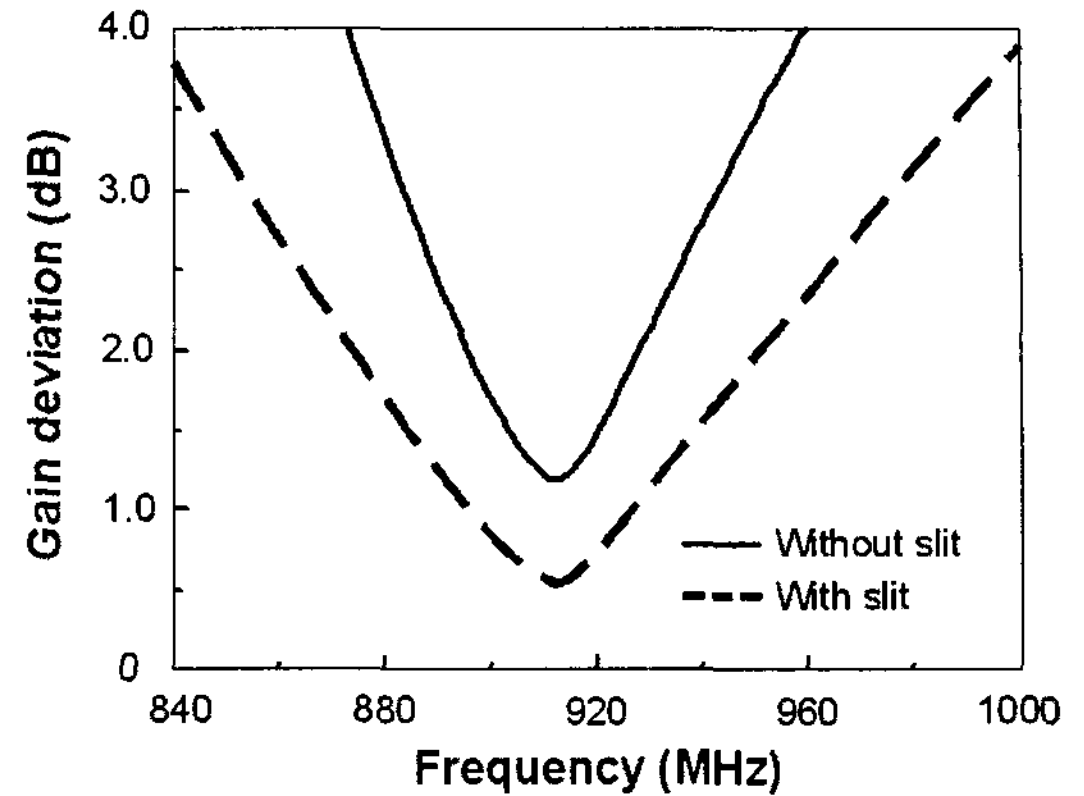
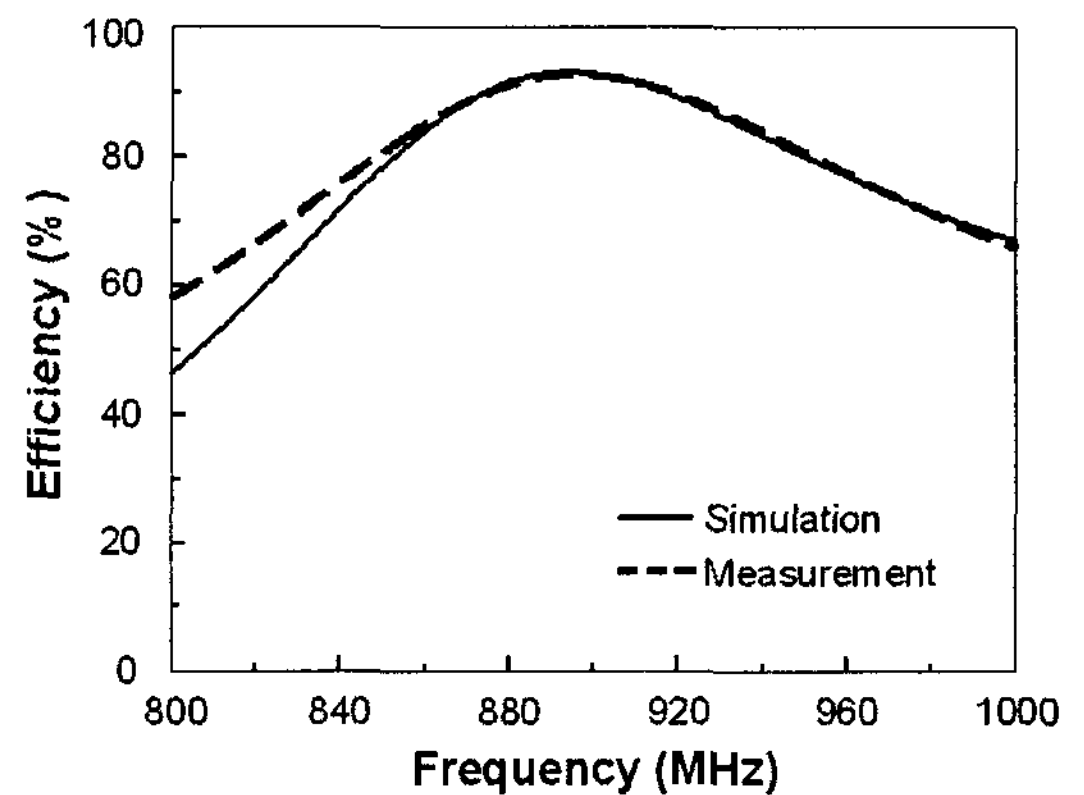
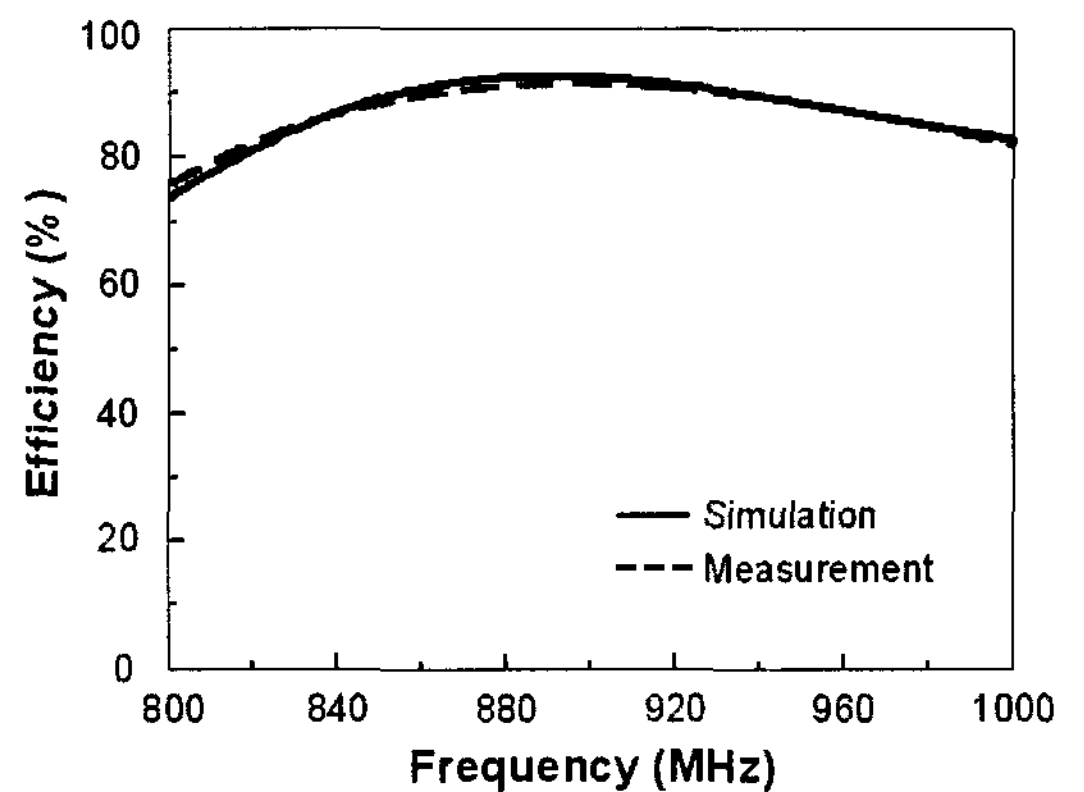


그림 8. 최적화된 태그 안테나의 이득 편차 특성  
Fig. 8. The gain deviation of the optimized tag antenna.



(a) 슬릿이 없는 경우  
(a) Without slit



(b) 슬릿이 있는 경우  
(b) With slit

그림 9. 최적화된 태그 안테나의 복사 효율 특성  
Fig. 9. The efficiency of the optimized tag antenna.



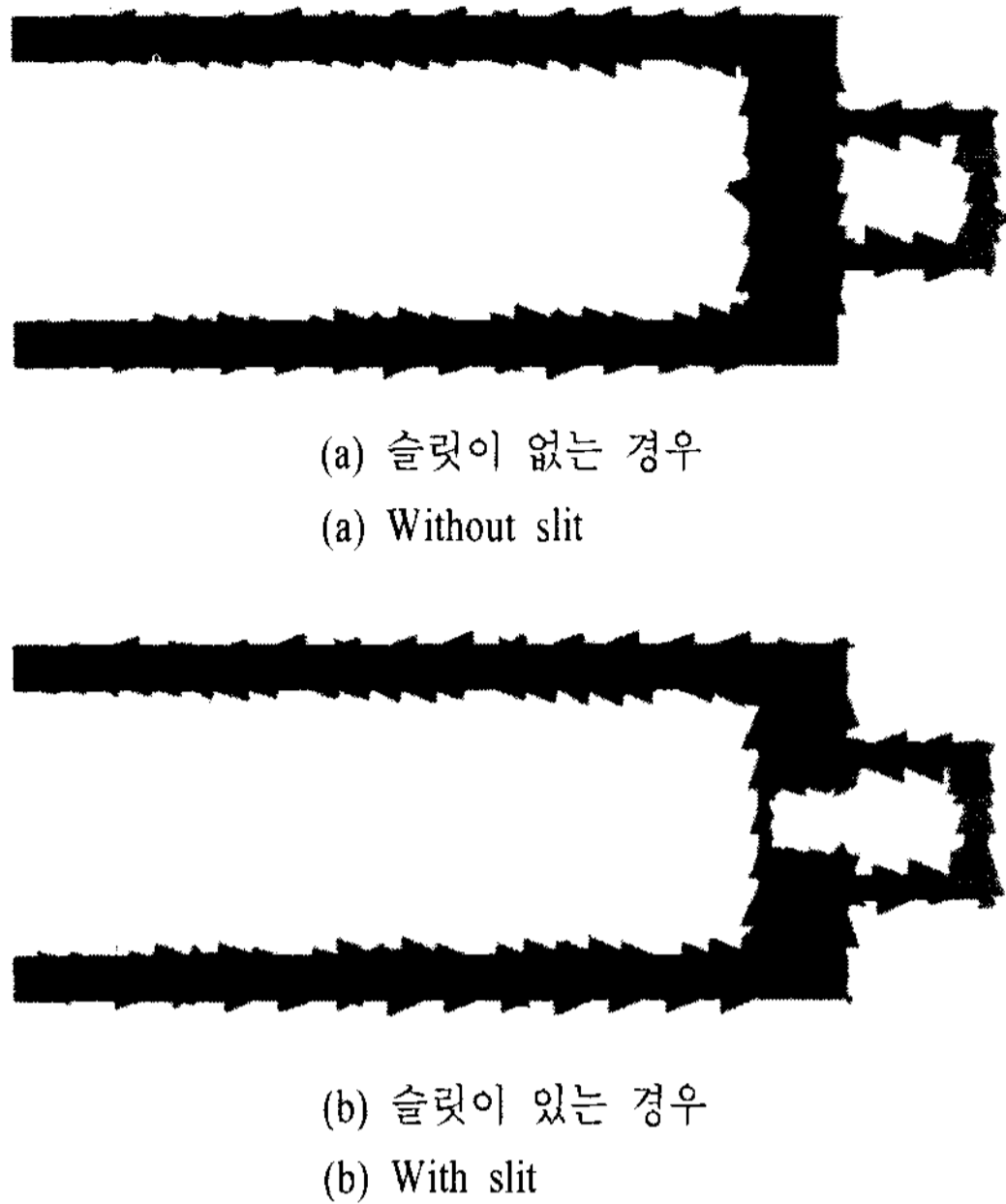


그림 10. 최적화된 태그 안테나의 표면 전류 분포  
Fig. 10. Current distribution of the optimized tag antenna.

릿이 없는 태그 안테나와 슬릿이 있는 태그 안테나의 복사 효율은  $VSWR < 2$  대역폭 안에서 각각 90% 이상과 91% 이상의 높은 복사 효율을 가진다. 그리고  $VSWR < 5.8$  대역폭 안에서는 슬릿이 없는 태그 안테나는 최소 87.1%의 복사 효율을 갖는 것에 반해 슬릿이 있는 태그 안테나는 90.4% 이상의 높은 복사 효율을 가졌다.

그림 10은 최적화된 U-형태 태그 안테나의 표면에 흐르는 전류 분포를 나타내었다. 슬릿이 없는 경우와 슬릿이 있는 경우 모두 안테나의 복사부에 해당하는 U-형태 본체를 따라 흐르는 전류는  $180^\circ$ 의 위상차를 가지므로 복사 패턴에 널이 발생하는 부분을 상쇄하여 등방성 복사 패턴을 형성하게 된다. 또한, 슬릿이 없는 경우, 본체 하단 선폭에 흐르는 전류 중에 상단에 흐르는 전류는 한 방향으로 흐르고, 두 부분에서 급전부 방향으로 흐른다. 슬릿이 삽입된 경우에는 급전부에서 복사부로 유입되어 슬릿의 좌우 측면을 따라 흐르는 전류는  $180^\circ$ 의 위상차를 가지므로 등방성 측면에서 더 낮은 이득 편차 특성을 가진다. 시뮬레이션 결과, U-형태의 안테나에 흐르는 전류는 슬릿이 없을 경우 최대 34.51 A/m, 슬릿이 있을 경우 최대 23.48 A/m의 전류가 흐른다.

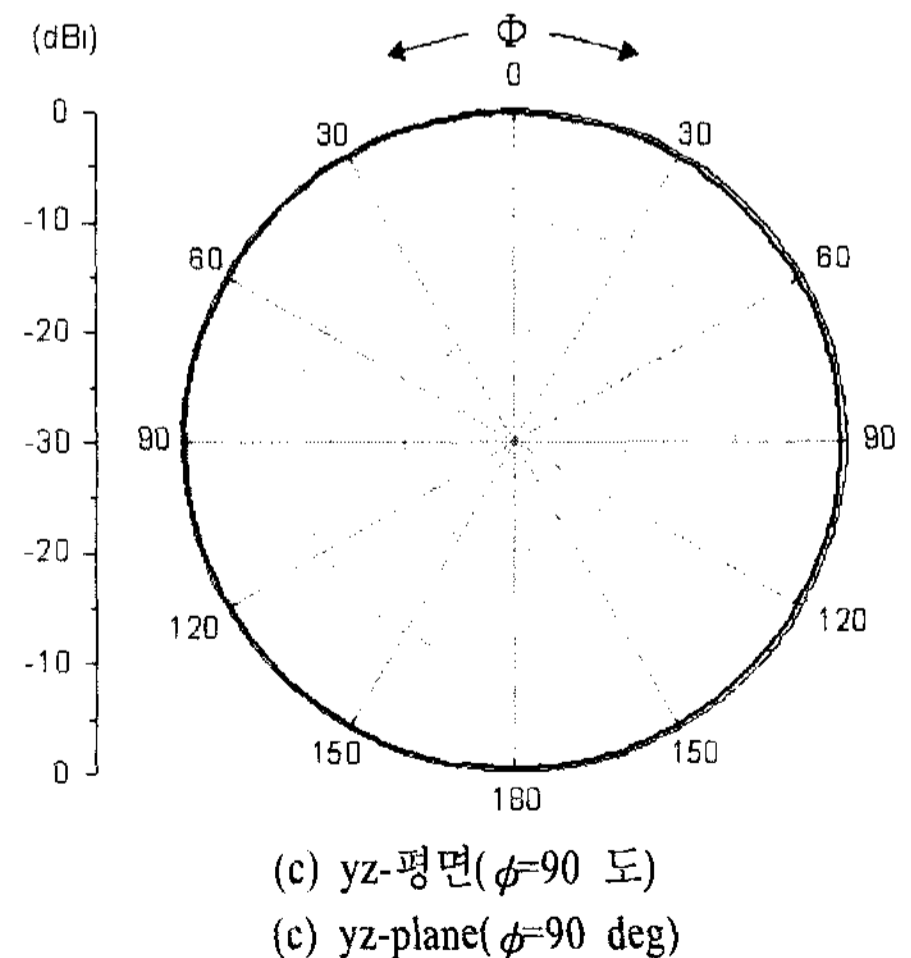
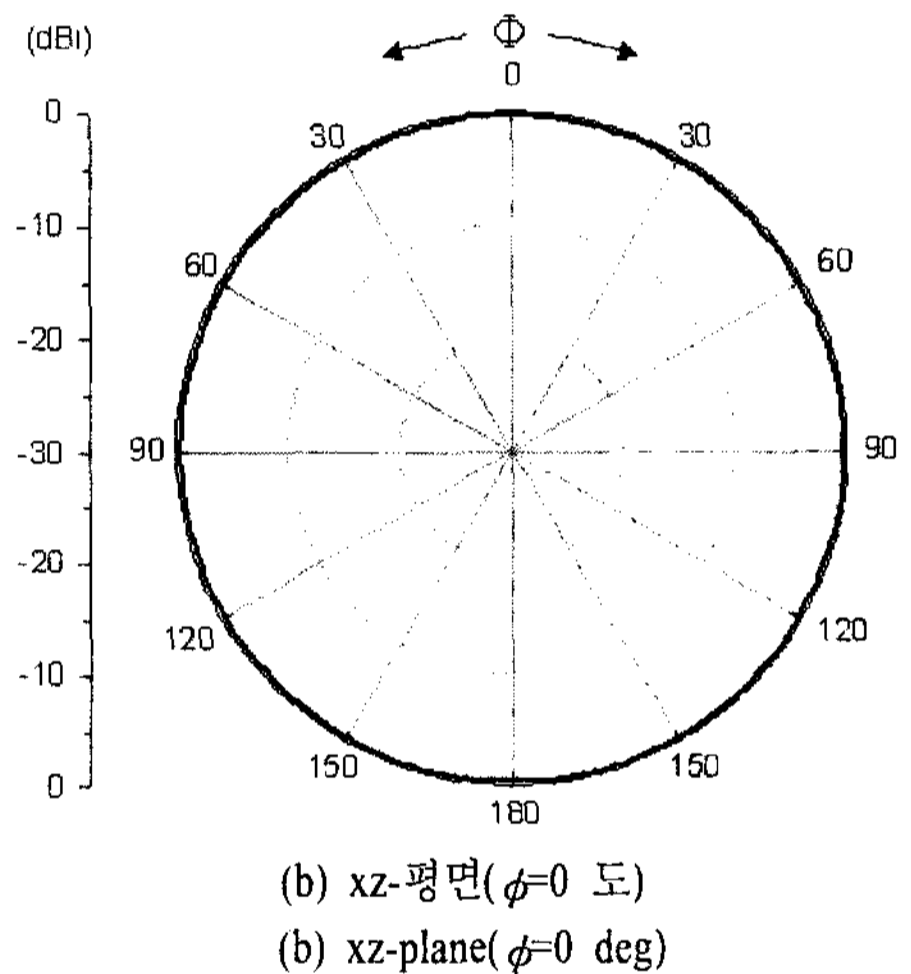
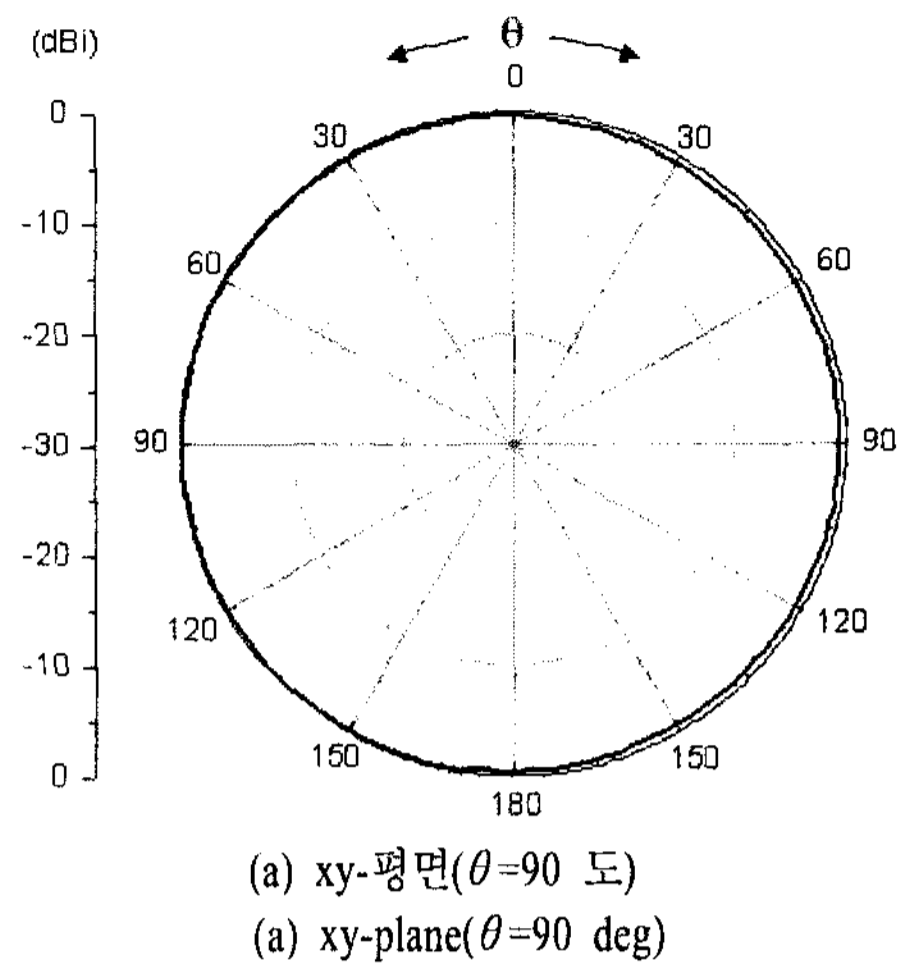
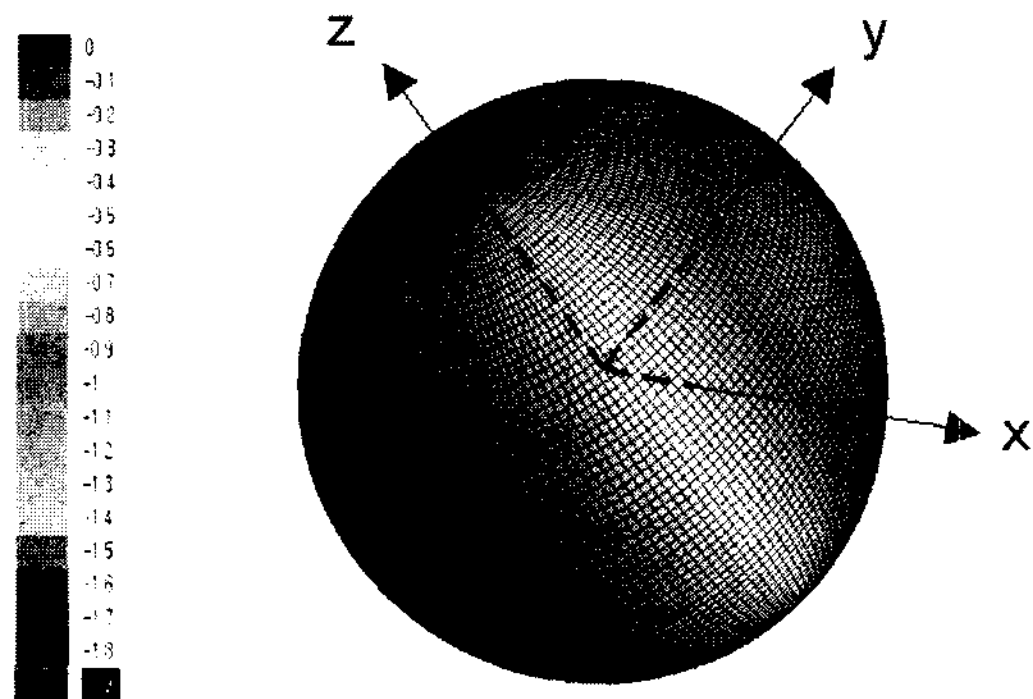
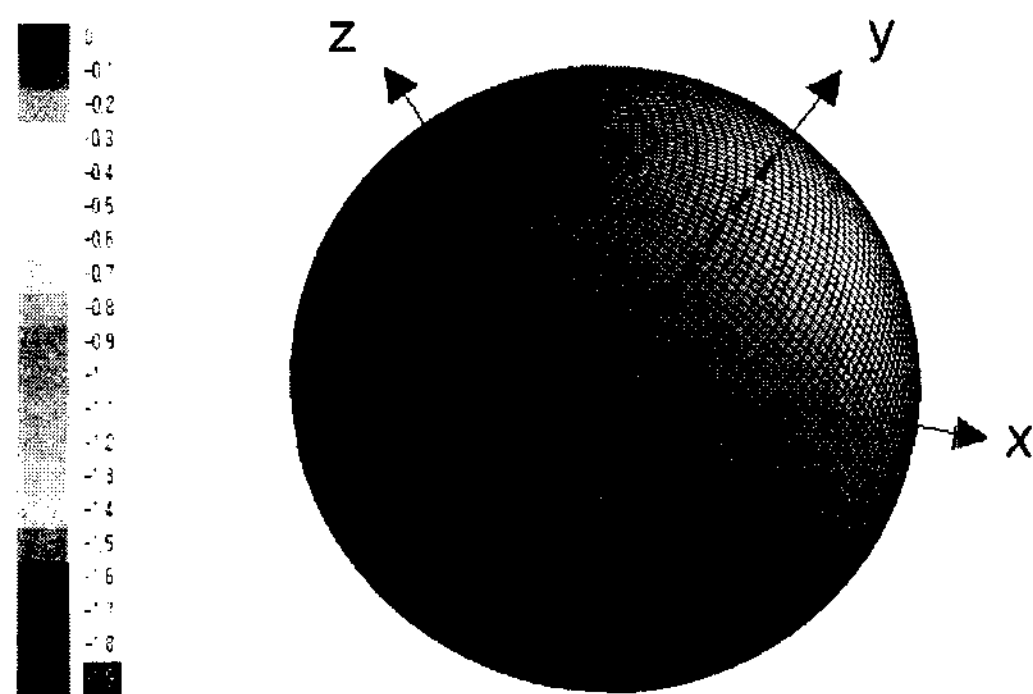


그림 11. 최적화된 태그 안테나의 복사 패턴  
Fig. 11. The radiation pattern of the optimized tag antenna.



(a) 슬릿이 없는 경우  
(a) Without slit



(b) 슬릿이 있는 경우  
(b) With slit

그림 12. 최적화된 태그 안테나의 3차원 복사 패턴 특성

Fig. 12. The 3D radiation pattern of the optimized tag antenna.

그림 11은 국내 UHF 대역의 중심 주파수인 911 MHz에서 시뮬레이션한 정규화 된 복사 패턴 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과, xy-평면, xz-평면, yz-평면 모두 등방성 복사 패턴 특성을 확인할 수 있었으며, 안테나의 이득은  $-0.15$  dBi이다. 이러한 특성은 다이폴 안테나의 문제점인 복사가 되지 않는 영역에서 인식률이 급격히 떨어지는 것을 보완할 수 있다.

그림 12는 U-형태의 태그 안테나에서 슬릿이 없는 경우와 슬릿이 있는 경우에 대한 각각의 최소 이득 편차 지점인 912 MHz에서 본 3차원 복사 패턴 특성을 도식화하였다. 슬릿이 없는 경우는 최대  $0.49$  dBi의 지향성을 가지며, 슬릿이 있는 경우는 최대  $0.2$  dBi의 지향성을 보인다.

그림 13은 슬릿이 없는 태그 안테나의 방향에 따

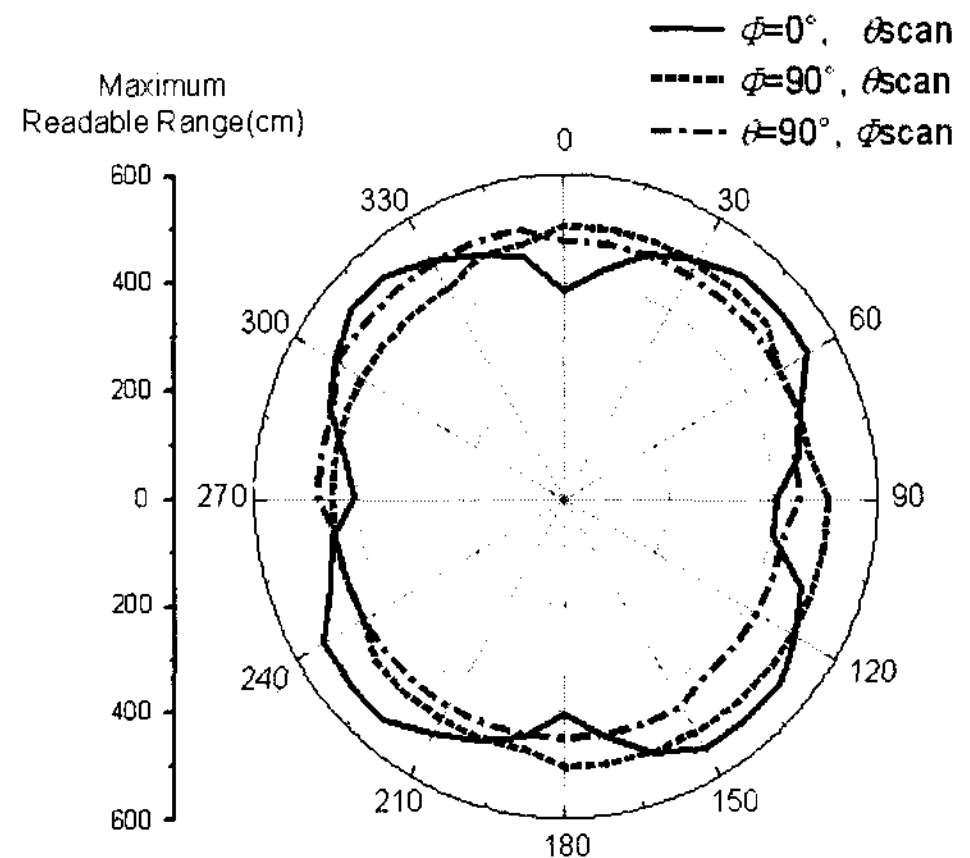


그림 13. 최적화된 슬릿이 없는 태그 안테나의 인식 거리 특성

Fig. 13. The readable range of the optimized tag antenna without slit.

른 최대 인식 거리를 측정 한 결과이다. 국내 UHF 대역 중심 주파수인 911 MHz에서 측정 한 결과, xz-평면은  $3.83 \sim 5.4$  m의 인식 거리를 가졌고, yz-평면은  $4.5 \sim 5.05$  m의 인식 거리를 가졌으며, xy-평면은  $4.25 \sim 5.05$  m의 인식 거리를 가졌다.

### III. 결 론

본 논문에서는 RFID 시스템의 안정적인 구동을 위하여 슬릿이 없는 경우와 슬릿이 있는 경우에 대한 U-형태의 RFID 태그 안테나를 제안하였다. 각각의 태그 안테나는 U-형태의 반파장( $\lambda/2$ ) 다이폴 안테나와 사각 형태의 급전부가 결합된 구조로써 급전부 하단 중앙에 상용 태그 칩을 연결하여 임피던스 공액 정합이 용이하도록 하였다. 또한, 슬릿이 있는 태그 안테나는 슬릿이 없는 태그 안테나에서 본체 하단 중앙에 직사각형 슬릿을 만들어 이득 편차 특성을 개선하였다. 상용 태그 칩에 공액 정합한 결과, 태그 안테나는  $VSWR < 2$ 를 기준으로 슬릿이 없는 경우  $900.8 \sim 918.3$  MHz의 약 1.92 % 대역폭과 슬릿이 있는 경우에는  $902.8 \sim 916$  MHz의 약 1.45 %의 대역폭을 가짐으로써 국내에 할당된 UHF 주파수( $908.5 \sim 914$  MHz)를 모두 수용하였다. 본체 등가 표면을 따라 흐르는 전류는  $180^\circ$ 의 위상차를 가지므로 각각 널리 발생하는 부분을 상쇄하여 등방성 복사 패턴이



되도록 하였으며, 슬릿이 없는 U-형태의 RFID 태그 안테나에서 본체 하단 중앙에 슬릿을 생성함으로써 대역폭 안에서 최소 이득 편차를 1.19 dB에서 0.54 dB로 낮출 수 있었다. 또한, VSWR<5.8 대역폭 안에서 슬릿이 없는 U-형태의 태그 안테나는 3.8 dB 이하의 이득 편차 특성을 가진 것을 슬릿이 생성되어 1.2 dB 이하로 향상되었다.

### 참 고 문 헌

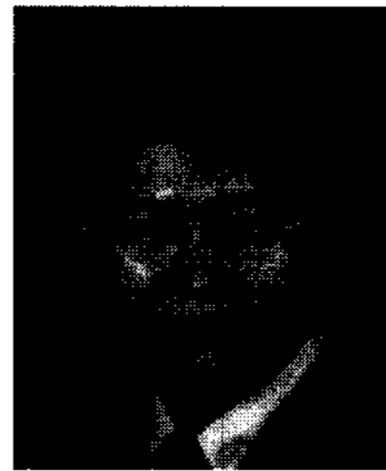
- [1] K. Watanabe, H. Aono, S. Ozaki, K. Yoshimura, K. Saito, K. Kudo, and A. Watanabe, *Ubiquitous Radio Frequency Identification*, Nikkei BP, 2004.
- [2] V. D. Hunt, A. Puglia, and M. Puglia, *A Guide to Radio Frequency Identification*, Wiley, 2007.
- [3] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., Wiley, 2003.
- [4] Q. Xianming, Y. Ning, "A folded dipole antenna for RFID", *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. 1, pp. 97-100, Jun. 2004.
- [5] K. V. S. Rao, P. V. Nikitin, and S. F. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, no. 12, pp. 3870-3876, Dec. 2005.
- [6] P. R. Foster, R. A. Burberry, "Antenna problems in RFID systems", *IEE Colloquium on RFID Technology*, vol. 3, pp. 3/1-3/5, Oct. 1999.
- [7] S. Jeon, Y. Yu, and J. Choi, "Dual-band slot-coupled dipole antenna for 900 MHz and 2.45 GHz RFID tag application", *Electron Lett.*, vol. 42, pp. 1259-1260, Oct. 2006.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [9] A. Delichatsios, D. W. Engels, "The Albano passive UHF tag antenna", *Waveform Diversity Conference*, pp. 3209-3212, 2006.
- [10] S. Basat, S. Bhattacharya, A. Rida, S. Johnston, L. Yang, M. Tentzeris, and J. Laskar, "Fabrication and assembly of a novel high-efficiency UHF RFID tag on flexible LCP substrate", *Proc. IEEE ECTC Symp.*, pp. 1352-1355, Jun. 2006.
- [11] L. Yang, S. Basat, and M. Tentzeris, "Design and development of novel inductively coupled RFID antennas", *Proc. IEEE AP-S Symp.*, pp. 1035-1038, Jul. 2006.
- [12] L. E. J. Brouwer, "On continuous vector distributions on surfaces", *Proc. Royal Acad. (Amsterdam)*, vol. 11, pp. 850-858, 1909.
- [13] E. Comay, "The problem of spherically symmetric electromagnetic radiation", *Am. J. Phys.*, vol. 70, no. 4, pp. 715-716, Jul. 2002.
- [14] H. F. Mathis, "A short proof that an isotropic antenna is impossible", *Proc. IRE.*, vol. 39, p. 970, Aug. 1951.
- [15] H. F. Mathis, "On isotropic antenna", *Proc. IRE.*, vol. 42, p. 1810, Dec. 1954.
- [16] S. A. Long, "A combination of linear and slot antennas for quasi-isotropic coverage", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 24, pp. 572-576, Jul. 1975.
- [17] D. S. Bugnolo, "A quasi-isotropic antenna in the microwave spectrum", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 10, pp. 377-383, Jul. 1962.
- [18] G. H. Brown, "The turnstile antenna", *Electronics*, vol. 9, no. 15, pp. 14-17, Apr. 1936.
- [19] S. G. M. Darwish, K. F. A. Hussein, and H. A. Mansour, "Circularly polarized-dipole antenna for satellites", *National Radio Science Conf., Digest*, B17, pp. 1-15, Mar. 2004.
- [20] 조치현, 추호성, 박익모, "인식 음영 구역을 제거한 RFID 태그 안테나 설계", *한국전자과학회 논문지*, 16(12), pp. 1206-1212, 2005년 12월.
- [21] 안준오, 장형민, 문효상, 이범선, "유도 결합 구조를 응용한 UHF 대역 near-isotropic 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 17(12), pp. 1240-1247, 2006년 12월.
- [22] H. Matzner, M. Milgrom, and S. Shtrikman, "Magnetoelectric symmetry and electromagnetic radiation", *Ferroelectrics*, vol. 161, pp. 213-219, 1994.
- [23] 조치현, 추호성, 박익모, 강진섭, "유전자 알고리즘을 사용한 안테나 고차 변압 회로 구성과 변압 회로를 사용한 Wheeler Cap 효율 측정법", *한국전자과학회논문지*, 17(8), pp. 753-759, 2006년 8월.

이 상 운



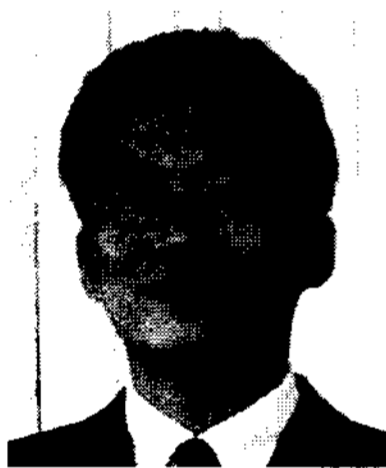
2007년 2월: 남서울대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID 태그 안테나 설계

추 호 성



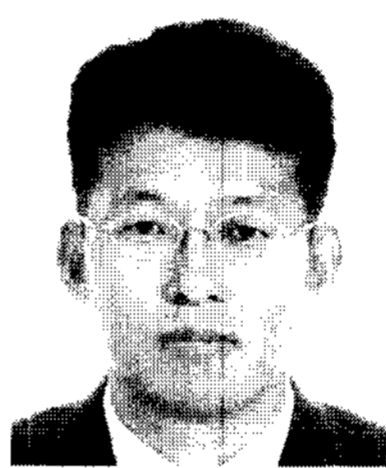
1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)  
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)  
2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)  
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 조교수  
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

조 치 현



2004년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
2006년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학석사)  
2006년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정  
[주 관심분야] 소형 안테나, RFID 태그 안테나 설계 및 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)  
1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)  
1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)  
1994년~1996년: LG전자기술원  
1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수  
[주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자 (안테나 포함) 설계 및 해석

이 기 근



1988년: 광운대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년: University of Florida 전자공학과 (공학석사)  
2001년: Arizona State University 전자공학과 (공학박사)  
현재: 아주대학교 전자공학부 조교수

[주 관심분야] SAW 센서, Neural Probes, RF MEMS