

UHF 대역 RFID 시스템용 고감도 광대역 태그 안테나의 설계

박건도* · 민경식†

* 한국해양대학교 전파공학과, † 한국해양대학교 전파공학과 교수

Design of High Sensitive Broadband Tag Antenna for RFID System in UHF Band

Gun-Do Park* · Kyeong-Sik Min†

* Graduate school of National Korea University, Busan 606-791, Korea

† Department of Radio Communication Engineering Korea maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문은 UHF 대역 RFID 시스템용 고감도 광대역 태그 안테나의 설계에 대하여 기술한다. 제안된 태그 안테나의 크기는 60 mm x 10 mm x 1 mm이다. 공진 주파수는 910 MHz 이고, -10 dB이하 대역폭은 약 900 MHz이다. 측정된 반사손실과 지향성 패턴은 계산결과 잘 일치하는 것으로 확인되었다. 칩을 가진 제안된 태그 안테나의 인식거리는 6.5 m로 관측되었으며, 이 값은 상용 태그 안테나의 인식거리보다 평균 0.5 m이상 멀리 감지된 결과이다.

핵심용어 : RFID, 태그, 안테나, 초고주파 대역, 광대역, 고감도, 인식거리, 칩

Abstract : This paper presents the design of high sensitive/broadband tag antenna for Radio Frequency Identification (RFID) in Ultra High Frequency(UHF) band. A proposed tag antenna size is 60 mm x 10 mm x 1 mm. The resonant frequency is 910 MHz and bandwidth is about 900 MHz at -10 dB below. The measured return loss and directional pattern have been confirmed a good agreement with the calculation results. The read range of proposed tag antenna with chip is observed about 6.5 m and proposed tag antenna has been observed an average 0.5 m far more than read range of the commercial tag antenna.

Key words : RFID, tag, antenna, UHF band, Broadband, High sensitive, read range, Chip

1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification) 태그를 실생활에 적용하려는 것은, 구매자나 사용자에게 정확한 정보를 제공하는 것과, 정보 검색의 시간 절약 및 고도의 서비스 제공을 목적으로 하기 때문이다. 따라서 정확한 정보를 전달하기 위해서는 태그로부터 리더로의 인식정보 신호가 정확히 전달되어야 한다. 태그는 제품 생산 단계에서 제품의 고유 번호, 가격, 원산지 정보 등을 포함하게 되고, 생산된 제품은 포장, 제품 출하, 유통(운송), 보존, 판매 등의 수많은 경로를 통해 소비자에게 전달된다. UHF(Ultra High Frequency) 대역은 중장거리 신호 전송이 가능하고 동시에 여러 개의 태그를 빠른 시간에 인식할 수 있는 대역이다. 또한, 태그에 대용량의 고유 정보를 저장할 수 있으며, 반영구적인 사용이 가능하다. 이러한 이점으로 인하여 특히, 물류·유통 분야 등에서 기존의 바코드와 마그네틱 카드의 단점을 보완하여 사용의 편리성을 향상시켜줄 수 있는 차세대 핵심 기술 중의 하나로 많은 관심을 받고 있다 (Ahn et al., 2007; Awal et al., 2007; Choi et al., 2006; Ukkonen et al., 2006; Ukkonen et al., 2007). 하지만 많은 종류의 태그들이 연구·개발되어 사용되고 있으나, 태그를 제품에

부착한 후에 인식을 못한다든지, 게이트 통과 시간을 줄이기 위해 컨테이너 트레일러 출입문에서 자동으로 통행을 하고자 하나 트레일러에 부착된 태그가 어떤 원인에 의해 인식이 되지 않는 문제 등이 실 사용에서 나타나고 있다. 이는 태그의 제조과정에서 안테나와 칩의 결합이 불안정하거나, 유통과정 중에 진동 및 외부 충격 등에 의해서 태그의 파손 및 안테나의 파손에 의해 인식이 되지 않거나 인식거리 변화의 문제가 원인이 될 수 있다. 따라서 태그 안테나는 부착되어질 매질이나 위치 등을 고려하여 최적 설계되어야 하며, 인식거리 변화 문제를 해결하기 위해 태그 안테나의 광대역화가 요구된다.

본 논문에서는 안테나와 칩으로 구성된 태그의 내구성이 강화된 설계 기법을 연구하여 사용상의 안정성과 신뢰성도 확보하고자 한다.

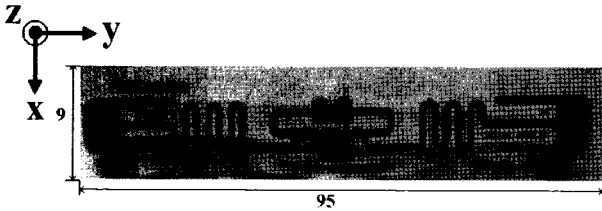
2. 안테나 설계

Fig. 1의 (a)는 Alien사의 상용태그 안테나, (b)는 광대역 특성을 가지는 태그 안테나이며, (c)는 각 태그 안테나의 반사 특성을 나타내고 있다. 상용태그 안테나(a)의 경우 대역폭이 좁

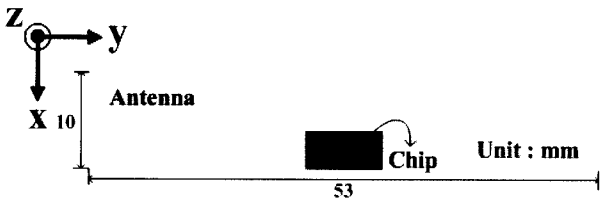
* 대표저자 : 박건도 (정회원), gundo33@nate.com 051-410-7921

† 교신저자 : 민경식 (중신회원), ksmin@hhu.ac.kr 051-410-4425

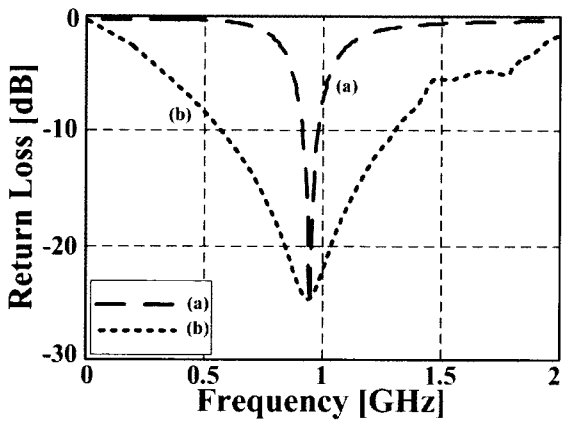
아 다른 매질에 부착되었을 때, 주파수 이동에 의해 인식이 되지 않거나 인식거리 변화의 문제가 발생할 수 있으며, (b)의 경우 대역폭이 넓기 때문에 주파수 이동에 의한 문제점은 작으나, 칩의 위치가 태그의 바깥 부분에 있기 때문에 쉽게 떨어질 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 인식을 저하 방지를 위하여 태그 안테나는 광대역 특성을 가져야 하며, 칩과 태그 안테나를 보호할 수 있는 구조적 안정성이 필요하다.



(a) Commercial tag antenna



(b) Broadband tag antenna



(c) The return loss of (a) and (b)

Fig. 1 Type of tag antenna

Fig. 2는 제안한 태그 안테나의 구조이며, 크기는 60 mm x 10 mm x 1 mm이다. 광대역 특성을 가지기 위해 슬롯을 사용하였고(Lee et al., 1996; Lee et al., 1997), 칩과 태그 안테나가 분리되는 것을 방지하기 위하여, 칩을 중앙에 위치시킴으로써 구조적으로 안정성을 가지게 하였다. 태그 안테나의 임피던스는 최대 전력 전달을 위하여 칩 임피던스와 공액 정합되었고, 전자계해석용 상용 툴인 Ansoft사의 HFSS를 사용하였다. 태그 안테나의 설계에 고려된 칩 임피던스는 $16 - j131 \Omega$ 으로 ALIEN사의 Higgs Strap 칩을 사용하였고, 유전체 기판은 비유전율이 2.08인 테프론을 고려하여 설계하였다.

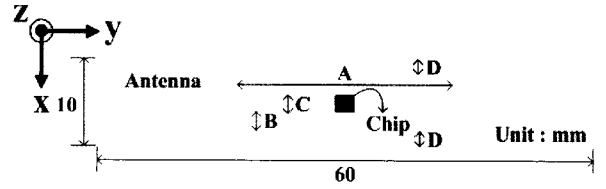


Fig. 2 The structure of proposed tag antenna

Fig. 3은 그림 2의 A의 값 변화에 따른 반사 특성 변화를 나타낸다. 파라미터 A를 25 mm에서 55 mm까지 10 mm 단위로 변화시켰으며, A값이 증가할수록 안테나의 전기적인 길이가 증가하여 공진 주파수가 하향하였다. 즉, 태그 안테나의 A의 값이 커짐에 따라 인덕티브 성분의 증가로 인해 공진 주파수가 하향하게 된다. 계산된 최적 A 파라미터 값은 35 mm이다.

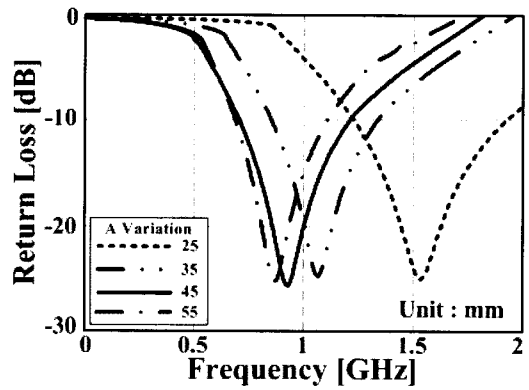


Fig. 3 The calculated return loss as functions of A parameter variation

Fig. 4는 그림 2의 파라미터 B의 변화에 따른 반사 특성을 나타낸다. B는 1 mm에서 3 mm까지 변화되었다. B의 값이 증가함에 따라 공진 주파수가 낮은 주파수로 이동한다. 이는 A 값의 변화와 마찬가지로 현상이다. 즉, B가 증가함에 따라서 태그 안테나의 커패시티브 성분이 감소하기 때문이다. B가 2 mm일 때, 900 MHz 대역에서 설계 안테나는 우수한 공진 특성을 보였다. 이때, 태그 안테나는 910 MHz에서 공진하였고, -10 dB이하 대역폭은 약 900 MHz이다.

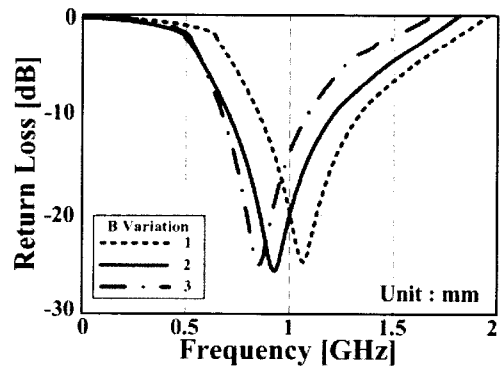


Fig. 4 The calculated return loss as functions of B parameter variation.

Fig. 5는 제안한 태그 안테나에 부착될 칩을 나타낸다. 전체 크기는 3 mm x 6 mm이고, 태그 안테나와 연결을 위한 도체 부분이 존재한다.

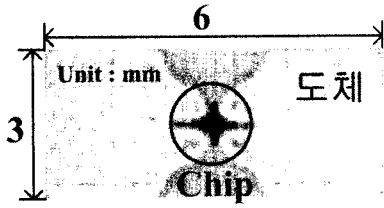


Fig. 5 Structure of commercial chip

Fig. 6은 C의 변화에 따른 지향성 패턴을 나타낸다. C의 값은 1 mm에서 5 mm까지 변화되었으며, 3 mm일 때 지향성이 3.7 dB로 가장 높고, 빔 폭이 컸다. 또한 3 mm일 때 칩과의 연결이 용이 하기 때문에 C의 값은 3 mm로 정하였다. B의 값이 2 mm로 고정되어 있기 때문에 D의 값은 1.5 mm가 된다. 제안한 태그 안테나의 파라미터 A, B, C, D의 계산된 최적 값은 각각 35 mm, 2 mm, 3mm, 1.5 mm이고, 공진 주파수는 910 MHz이며 UHF대역 RFID시스템 대역폭을 충분히 만족하였다.

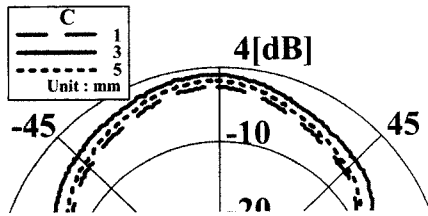


Fig. 6 Directional patterns by C parameter variation

Fig. 7은 설계된 태그 안테나의 방사패턴을 나타내고 있다. 이 방사패턴은 최적 파라미터를 사용하여 얻은 결과로, 910 MHz에서 계산된 패턴이다. 방사패턴은 무지향성의 특성을 나타내며, 실선은 E면(YZ 평면), 파선은 H면(ZX 평면)을 나타낸다.

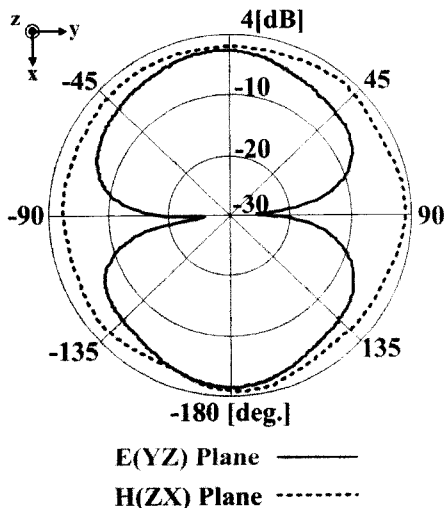
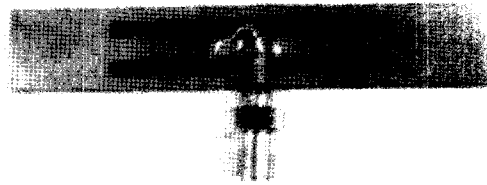


Fig. 7 The calculated radiation pattern of tag antenna(910 MHz)

3. 측정결과 및 분석

일반적으로 측정용으로 많이 사용하고 있는 장비들은 대부분 50 Ω의 전송선을 기준으로 한다. 하지만 태그 안테나는 칩의 임피던스에 의존하므로 50 Ω을 가지지 않고, 칩 임피던스에 의해 안테나의 임피던스는 변동되어야 한다. 따라서 태그 안테나를 설계할 때, 우선 칩 임피던스와 정합되는 태그 안테나를 설계하여야 한다. 다음으로 이론적 설계의 타당성을 입증하기 위해서 태그 안테나를 제작하여 측정을 통해 확인을 한다. 이때, 제안한 태그 안테나는 $16 + j131 \Omega$ 으로 설계되었기 때문에 50 Ω의 임피던스로 규격화된 장비로 측정을 하면, $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 이론적인 계산 값과 일치하지 않을 뿐 아니라, 비교를 할 수가 없다. 따라서 $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 태그 안테나 구조에, $16 + j131 \Omega$ 대신 50 Ω을 적용시켜 계산을 한다. 50 Ω으로 계산된 태그 안테나의 특성들은 $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 태그 안테나의 특성들과는 차이를 보일 것이다. 하지만 50 Ω으로 계산된 값은 50 Ω으로 측정된 값과는 일치할 것이므로 이를 비교하여 $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 태그 안테나의 타당성을 입증하는 것으로 한다. 이를 위해 $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 태그 안테나를 실제 제작하여 50 Ω으로 규격화된 회로망분석기(ANRITSU, 37369D)를 사용하여 반사계수 및 임피던스의 변화 특성들을 확인하고, 마이크로웨이브 수신기(Agilent, 8530A)를 이용하여 방사패턴을 측정하여 비교를 통한 설계의 타당성을 보였다. 칩이 내장되는 위치를 태그 안테나의 급전부로 사용하였다. $16 + j131 \Omega$ 으로 설계된 태그 안테나를 50 Ω급전선으로 급전했을 때의 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 유사한 특성을 보인다면, 칩을 연결하였을 때 이론적으로 계산한 값과 일치하는 성능을 보일 것으로 사료된다 (Min et al., 2007; Park et al., 2008).



(a) Antenna fed by coaxial connector with 50 Ω.



(b) Tag antenna connected with real chip.

Fig. 8 Two fabricated types of tag antenna.

Fig. 8의 (a)는 측정을 위해 $16 + j131 \Omega$ 로 설계된 태그 안테나에 50 Ω 급전선을 사용하여 제작한 태그 안테나 사진이고, (b)는 그림 5의 칩이 사용된 태그 안테나의 사진이다. 태그 안테나 제작에 사용된 유전체는 비유전율이 2.08인 테프론 기판으로 두께는 1 mm이고 이 파라미터를 시뮬레이션 및 제작에 적용하였다.

Fig. 9는 최적화된 파라미터에 의해 태그 안테나의 임피던스가 $16 + j131 \Omega$ 일 때의 시뮬레이션 결과와 50 Ω 급전선을 사용하여 시뮬레이션 및 측정 결과의 비교를 나타내며, 또한 측정 타당성을 재입증 하기 위해, 50 Ω 급전선을 사용했을 때의 측정 결과를 이용하여 임피던스 변환(50 Ω to $16 + j131 \Omega$)을 통한, 계산 결과를 나타낸다. 50 Ω 급전선을 사용하여 측정된 임피던스 값을 이용하여 임피던스 변환을 통해 칩 임피던스 일 때의 반사손실을 구할 수 있다(Son et al., 2005). 수식 (1)은 태그 안테나와 칩 사이의 반사계수이다. Z_a 는 태그 안테나의 측정 임피던스이고, Z_c 는 태그 칩의 임피던스이다.

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_c^*}{Z_a + Z_c}, 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (1)$$

임피던스 변환 순서는, 수식 (1)에서 태그 안테나의 측정 임피던스와 칩 임피던스가 주어지면 Γ (반사 계수)를 계산할 수 있다. 계산된 Γ 의 절대값을 이용하여, 수식 (2)를 통해 반사 손실을 구한다.

$$RL = -20\log_{10}|\Gamma| \quad (2)$$

예를 들어, 910 MHz에서 50 Ω 급전선을 사용하여 측정된 태그 안테나의 임피던스 값은 $14 + j130 \Omega$ 이고, 칩 임피던스는 $16 - j131 \Omega$ 이다. 태그 안테나의 임피던스와 칩 임피던스를 수식 (1)에 대입하면, 반사계수의 값 $-0.065 - j0.026$ 이 구해진다. 계산된 반사계수의 값을 반사 손실을 구하는 식 (2)에 대입 하면, 반사 손실 값은 23.08 dB이 얻어진다. 6.9 GHz에서 측정된 임피던스는 $37 + j30 \Omega$ 이고, 위와 동일한 방법으로 계산 하면 반사계수는 $0.877 + j0.248$ 이 되고, 반사손실 값은 0.84

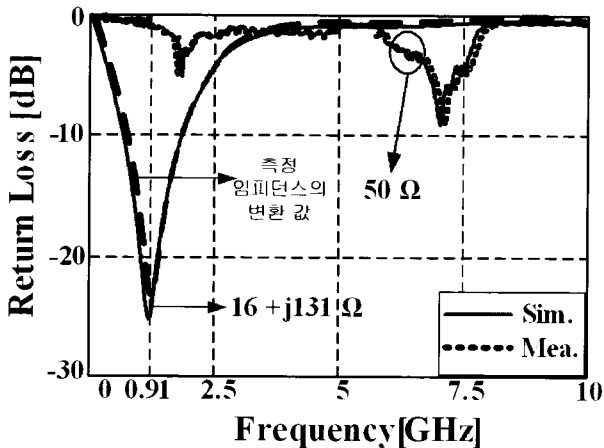
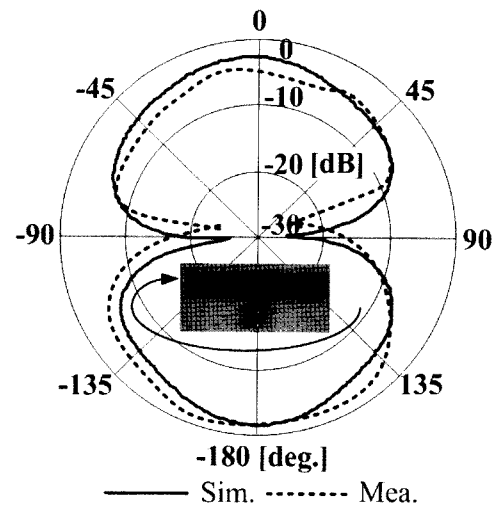


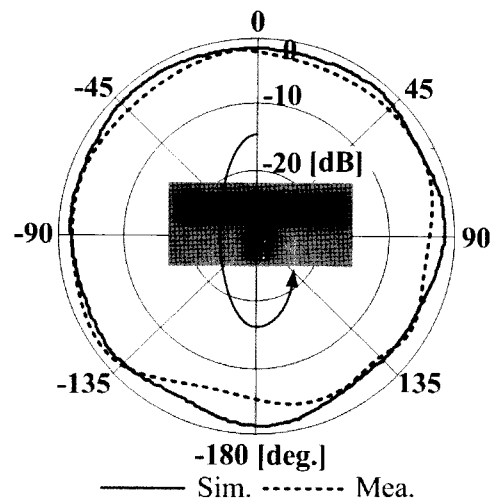
Fig. 9 Return loss comparison between calculation and measurement.

dB가 된다. 칩 임피던스는 $16 - j131 \Omega$ 로 고정되어 있기 때문에 0에서 10 GHz까지 측정된 태그 안테나의 임피던스를 수식 (1)과 (2)를 통해 반사손실 값을 구할 수 있고, 그래프로 나타내면 그림 9와 같다. 그림 9로부터 알 수 있는 것처럼 50 Ω 급전선으로 측정된 반사손실의 특성은 50 Ω 급전선으로 계산된 것과 잘 일치하였고, 50 Ω 급전선으로 측정된 태그 안테나 임피던스를 데이터 변화하여 비교한 결과도 잘 일치함을 재확인할 수 있었다.

제한된 태그 안테나는 공진 주파수 910 MHz에서 반사특성은 약 -25 dB를 보였으며, -10 dB이하의 대역폭은 약 900 MHz로 광대역 특성을 보인다.



(a) E pattern (YZ-plane)



(b) H pattern (ZX-plane)

Fig. 10 The radiation pattern comparison of the tag antenna with 50 Ω port

Fig. 10은 전파암실에서 측정된 방사패턴을 시뮬레이션 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 실선은 태그 안테나가 50 Ω 를 가질 때의 시뮬레이션 결과를, 파선은 측정 결과를 나타낸다.

공진주파수는 6.9 GHz이고, 방사패턴의 측정값과 시뮬레이션 값이 잘 일치하고 있다. 따라서 Fig. 5의 $16 - j131 \Omega$ 의 칩을, $16 + j131 \Omega$ 으로 설계하고, 제작한 태그 안테나에 결합하더라도 910 MHz에서 Fig. 10과 같은 방사패턴을 보일 것으로 사료된다.

4. 인식거리 측정 및 비교

Fig. 11은 제작한 태그 안테나의 인식거리 및 인식각도 측정을 위한 전파암실에서의 측정 시스템을 나타낸다. 측정 시스템은 RFID 리더, 태그, 호스트 컴퓨터로 구성되어 있다. 칩이 내장된 태그 안테나의 인식거리 측정을 위해 상용 리더기 (ALIEN사 ALR-9800)를 사용하였다.

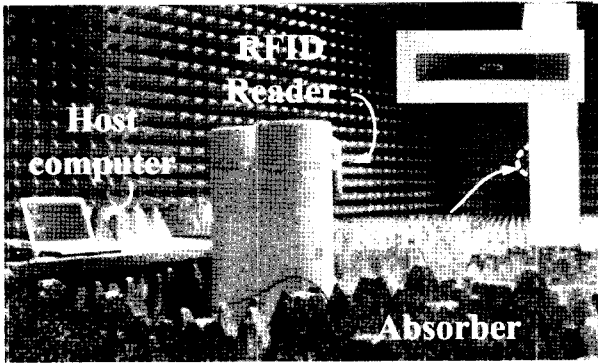


Fig. 11 Read range measurement system

Fig. 12는 인식거리 및 인식각도에 따른 태그 안테나의 수신 전력을 측정하는 시스템으로 송신 안테나(Horn antenna, 1 ~ 18 GHz), 수신 안테나(태그 안테나), 신호발생기(Agilent, E8257D), 스펙트럼 분석기(Agilent, E4446A)로 구성되어 있다.

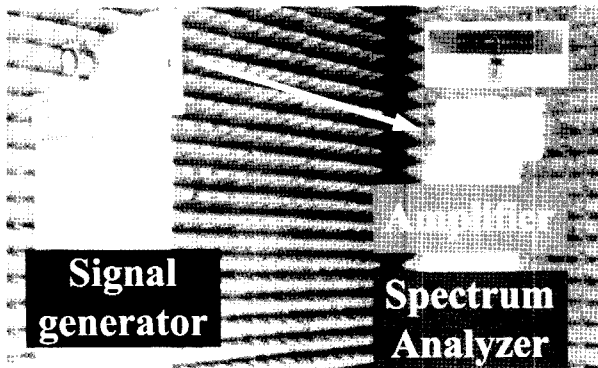


Fig. 12 Receiving power measurement system

Fig. 13은 인식거리에 따른 각도 및 수신 전력을 나타내고 있다. 송신 전력은 0 dBm이며, 0°(정면)에서 ±90°까지 각도 변화를 주면서 측정을 하였고, 각도의 변화는 포지션 컨트롤러 (Orbit, AL-4806A)를 이용하여 자동 회전을 시켰다. 음영 부분은 태그 안테나가 인식되는 수신 전력이며, 최대 인식거리는

0°와 15°에서 약 6.5 m로 관측되었고, 45°에서는 약 3 m, 90°에서는 인식이 되지 않았다. 수신 전력은 인식각도에 따라 차이가 있으며 일정한 수신 전력 수치보다는 인식각도 거리에 의존함을 알 수 있었다.



Distance [m]	Angle [°] / Detection power [dBm]						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-18.7	-19.2	-20.2	-20.3	-21.3	-23.2	-29.3
2	-22.3	-23.7	-23.1	-20.3	-23.1	-23.4	-28.1
3	-25.2	-29.8	-34.0	-28.2	-30.3	-30.2	-32.3
4	-26.9	-30.0	-29.3	-28.9	-28.1	-32.3	-30.9
5	-30.2	-30.4	-30.3	-31.8	-31.4	-39.3	-30.7
6	-31.1	-31.7	-33.7	-33.1	-34.3	-35.8	-35.6
6.5	-33.4	-33.2	-33.9	-34.4	-35.3	-36.7	-36.1
7	-33.6	-33.7	-34.2	-34.8	-36.1	-36.6	-36.9



Distance [m]	Angle [°] / Detection power [dBm]						
	0°	-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°
1	-18.7	-21.9	-23.3	-19.2	-24.3	-20.0	-29.0
2	-22.3	-23.0	-20.7	-25.9	-25.2	-20.7	-27.9
3	-25.2	-20.9	-28.2	-25.2	-27.4	-23.7	-25.2
4	-26.9	-27.9	-25.2	-27.9	-25.6	-26.6	-29.8
5	-30.2	-29.3	-31.2	-33.9	-35.5	-32.2	-30.9
6	-31.1	-32.3	-33.1	-33.0	-35.8	-35.6	-35.3
6.5	-32.4	-33.6	-33.5	-34.0	-35.5	-35.9	-36.8
7	-33.6	-34.5	-34.7	-34.2	-35.9	-36.6	-36.4

Fig. 13 Angle and receiving power by read range.

Fig. 14는 Fig. 13의 데이터를 그림으로 나타낸 것이다. 실선은 각도별 인식거리를 나타내고 있고, 파선은 태그 안테나가 동작되어지는 수신 전력을 나타내고 있다. Fig. 13으로부터 알 수 있는 것처럼 인식각도에 대한 인식거리와 수신 전력은 유사한 패턴을 그리는 것을 알 수 있다. 또한 상용태그 안테나 (Fig. 1(a))의 각도별 최대 인식거리를 측정하여 Fig. 13에 그래프로 나타내었다. 제안한 태그 안테나와 상용태그 안테나의 각도별 최대 인식거리 비교 결과, 제안한 태그 안테나의 최대 인식거리가 약 0.5 m 더 길었다. 상용태그 안테나와 측정하여 비교함으로써, 제안한 태그 안테나의 우수성을 검증하였다.

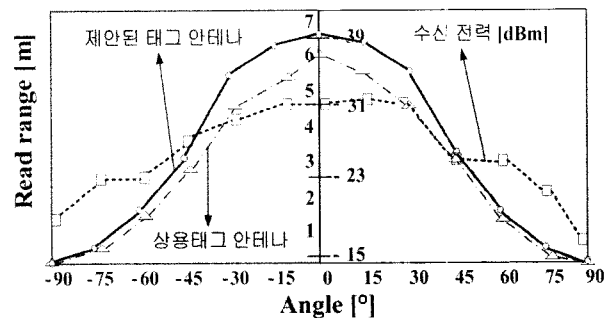


Fig. 14 Read range and receiving power as functions of rotation angles

5. 결 론

본 논문에서는 UHF대 RFID 대역을 충분히 만족하는 광대역 특성과 고감도의 인식거리 및 구조적 안정을 가지는 내구성이 강화된 태그 안테나를 제안하였다. 제안한 태그 안테나의 크기는 60 mm x 10 mm x 1 mm, 공진 주파수 910 MHz에서 약 -25 dB, 그리고 -10 dB이하 대역폭은 900 MHz (550 ~ 1450 MHz)이다. 전파암실에서 ALIEN사의 상용 리더기 (ARL-9800)를 이용하여 인식거리를 측정하였고, 상용태그의 인식각도와 수신 전력을 측정하여 비교함으로써, 제안한 태그 안테나의 우수성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 중소기업청과 부산광역시 지원하는 2008년도 산학연공동기술개발지원사업의 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

[1] Ahn, J., Jang, H. Moon, H. S., Lee, J. W., and Lee, B. S.(2007), "Inductively Coupled Compact RFID Tag Antenna at 910 MHz with Near-Isotropic Radar Cross-Section (RCS) Patterns", IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, vol. 6, pp. 518-520.

[2] Awal, A. R. and Larmakar, N. C.(2007), "A Novel L-Shaped RFID Tag Antenna", Proceedings of the 37th European Microwave Conference, pp. 1003-1006.

[3] Choi, W., Son, H. W., Shin, C., Bae, J. H., and Choi, G.(2006), "RFID tag antenna with a meandered dipole and inductively coupled-feed", Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 619-622.

[4] Lee, K. F., Luk, K. M., Yung, Y. L., Tong, K. F., and Huyng, T.(1996), "Experimental study of the rectangular patch with a U-shaped slot", IEEE APS Inter. Symposium, pp. 10-13.

[5] Lee, K. F., Luk, K. M., Tong, K. F., Shum, S. M., Huynh, T., and Lee, R. Q.(1997), "Experimental and simulation studies of the coaxial fed U-slot rectangular patch antenna", IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 144, no. 5, pp. 345-358.

[6] Min, K. S., Park, G. D., and Park, C. K.(2007), "Design for the miniaturized RFID tag antenna in 910 MHz band", TENCON 2007-2007 IEEE Region 10 Conference, pp. 1-4.

[7] Park, G. D. and Min, K. S.(2008), "Miniaturization Design of Tag Antenna for RFID System in 910 MHz band", Korea and Institute of Navigation and Port Research, vol. 32, no 5, pp. 363-368.

[8] Son, H. W., Choi, W. G., and Pyo, C. S.(2005), "UHF RFID Tag Antenna techniques," The journal of Korea Electromagnetic Engineering Society, vol. 16, no. 2, pp. 55-63.

[9] Ukkonen, L., Schffrath, M., Engels, D. W., Sydanheimo, L., and Kivikoski, M.(2006), "Operability of Folded Microstrip Patch-type Tag Antenna in the UHF RFID Bands Within 965-928 MHz", IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, vol. 5, pp. 414-417.

[10] Ukkonen, R., Sydanheimo, L., and Kivikoski, M.(2007), "Design and performance of passive UHF RFID tag antenna for industrial paper", Antennas and Propagation International Symposium, pp. 5479-5482.

원고접수일 : 2008년 11월 3일
 심사완료일 : 2009년 2월 11일
 원고채택일 : 2009년 2월 23일