

910 MHz 대역 RFID용 태그 안테나의 소형화 설계

박건도* · 민경식†

*한국해양대학교 전파공학과, †한국해양대학교 전파공학과 교수

Miniaturization Design of Tag Antenna for RFID System in 910 MHz band

Gun-Do Park* · Kyeong-Sik Min†

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

† Department of Radio Science and Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문은 910 MHz 대역에서 동작하는 RFID (radio frequency identification) 태그 안테나의 소형화 설계 기법을 제안한다. folded-dipole 구조와 미앤더 선로 구조를 적용하여 태그 안테나의 소형화 설계를 행하였다. 최대 전력 전달을 위해서 태그 안테나와 칩의 임피던스의 허수부는 공액 정합되었다. 최적화된 안테나의 크기는 50 mm × 40 mm × 1.6 mm로, 참고문헌 [4]와 비교하여 크기가 62 % 줄었다. 제작된 태그 안테나의 측정결과들은 예상과 잘 일치하는 것으로 확인되었다. 칩이 내장된 태그 안테나의 인식거리는 약 5 m로 관측되었다.

핵심용어 : RFID Tag, 초고주파 대역, 소형화, 접힌 다이폴

Abstract : This paper presents a miniaturization design technique of radio frequency identification (RFID) tag antenna operated in 910 MHz band. Miniaturization structure design for a tag antenna is performed by structure application of the folded dipole and meander line. In order to realize the maximum power transmission, imaginary part of a chip impedance and a tag antenna impedance is matched by complex conjugate number. The optimized tag antenna size is 50 mm × 40 mm × 1.6 mm and its size is reduced about 62 % comparison with antenna size of reference [4]. The measured results of fabricated tag antenna are confirmed the reasonable agreement with prediction. The read range of the tag antenna with chip observed about 5 m.

Key words : RFID Tag, UHF band, Miniaturization, Folded-dipole

1. 서 론

근거리 무선 통신 기술은 정보 서비스, 세금, 사진, 소리, 영상과 같은 많은 부분에서 적용되고 있다. 대표적인 예로 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템이 있다(Jeong et al., 2004). 그림 1은 RFID 시스템의 구성을 간단하게 보여주고 있다.

RFID 시스템은 크게 태그와 리더 그리고 미들웨어로 구성되어 있다. 수동형 RFID 태그의 경우 리더기가 태그로 신호를 보내면 태그는 수신된 신호로부터 에너지를 얻어 활성화되고, 태그 정보를 리더기로 송신한다(Kwon et al., 2005).

RFID 태그를 설계할 경우, 칩과 안테나 사이의 임피던스 정합이 매우 중요하며, 최대 전력 전달을 위해 칩과 태그 안테나의 임피던스는 공액 정합되어야 한다. 또한 다양한 응용분야에 사용하기 위해서는 태그 크기의 소형화가 필수적이다. 크기가 큰 제품에 태그를 사용할 경우, 태그 크기는 크게 고려해야 할 사항이 아니지만 휴대 단말기나 소형의 제품에 태그를 내장할 경우 태그의 크기는 매우 중요한 요소가 된다.

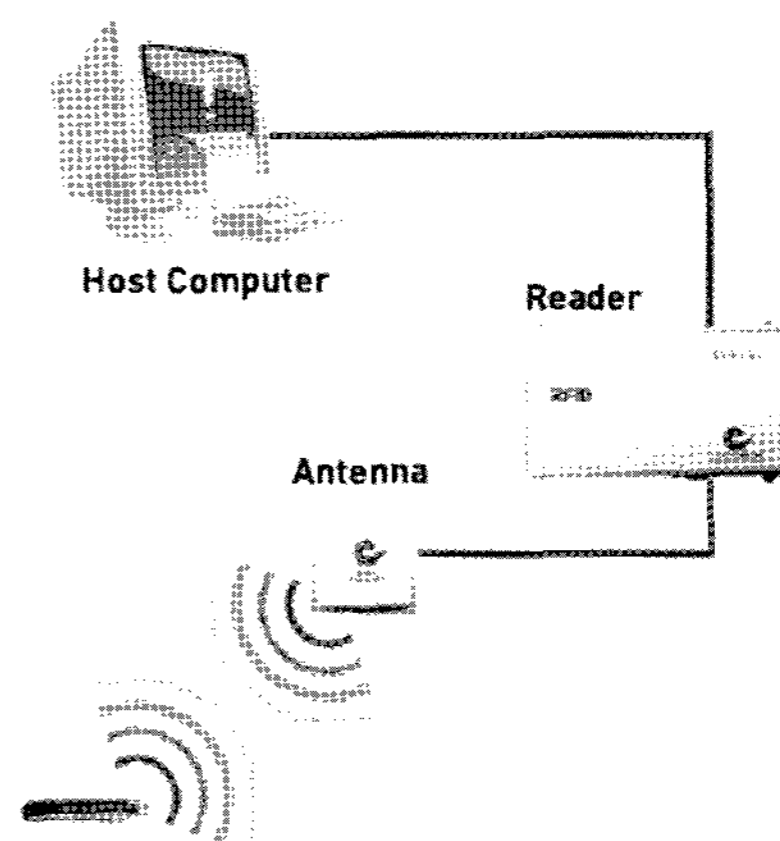


Fig. 1 The configuration of RFID system.

따라서 본 논문에서는 태그 안테나의 소형화에 포커스를 두고 소형화를 위한 연구 내용을 기술하고자 한다. 소형화의 방법으로 유전율이 높은 매질을 사용하는 방법, 안테나의 모양을 변형시키는 방법, 비어홀을 이용한 접지 편 등의 사용 등을

* 대표저자 : 박건도(정회원), gundo33@naver.com, 051)410-4921

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

고려할 수 있다. 그 예로 칩 안테나, 미앤더 라인 안테나, 역 F 형 안테나와 folded-dipole 안테나 그리고 접지 핀 안테나 등이 있다. 본 논문에서는 이들 소형화 방법을 복합적으로 설계에 적용하여 소형화를 시키고자 하며, 소형화를 위한 비교 연구 대상으로 참고문헌 [4]와 [5]를 참고하였다. 참고 문헌 [4]에 제안된 RFID 태그 안테나의 외형적 크기는 $95\text{ mm} \times 55\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ 이고, 참고 문헌 [5]에 제안된 안테나의 크기는 $105\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 이다. 참고 문헌 [4]에 제안된 태그 안테나는 칩 임피던스의 변화에 유연한 특성을 가지는 장점을 가지고 있으나 태그 안테나의 크기가 다소 큰 단점이 있다. 또한 참고 문헌 [5]의 경우 금속 물체에 부착될 수 있는 특징을 가지고 있으나 3D 구조를 가지고 있어 태그의 크기가 문제가 될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 태그 안테나의 소형화를 위하여 folded-dipole의 구조와 미앤더 라인을 적용한 소형화된 태그 안테나를 제안하였다.

2. 소형화된 태그 안테나의 설계

2.1 Folded-dipole 구조 이론

다이폴 안테나는 선형 안테나로 가장 널리 알려져 있으며, folded dipole 안테나의 경우, 임피던스 조절과 공진 길이를 확보하기 위해 널리 사용되며, 소형화 기법에도 실용적으로 응용되고 있다. 이를 적용하여 태그 안테나를 소형화 하고자한다(Pyo et al., 2004).

2.2 미앤더 선로 이론

그림 2는 미앤더 선로의 전계 분포와 자계 분포를 개략적으로 나타낸 것이다. 미앤더 선로는 주어진 안테나의 전기적 크기를 최소의 면적에 집적시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 2-(a)에서 위쪽 전계와 아래 부분의 전계는 서로 같은 방향을 갖지만, 수직 방향의 선로에 걸리는 전계는 서로 다른 방향을 가지게 된다. 따라서, 수직 방향의 선로에서 생성되는 원거리장 필드는 서로 상쇄되게 된다. 2-(b)는 자계 분포를 나타내고 있으며, 위에서 설명한 전계와 같은 원리로 동작한다. 미앤더 안테나는 모서리 부분에서 가지는 손실과 평행한 각 선로간의 간섭 현상 때문에 약 1λ 의 길이를 가지게 된다(Yoon et al., 2002).

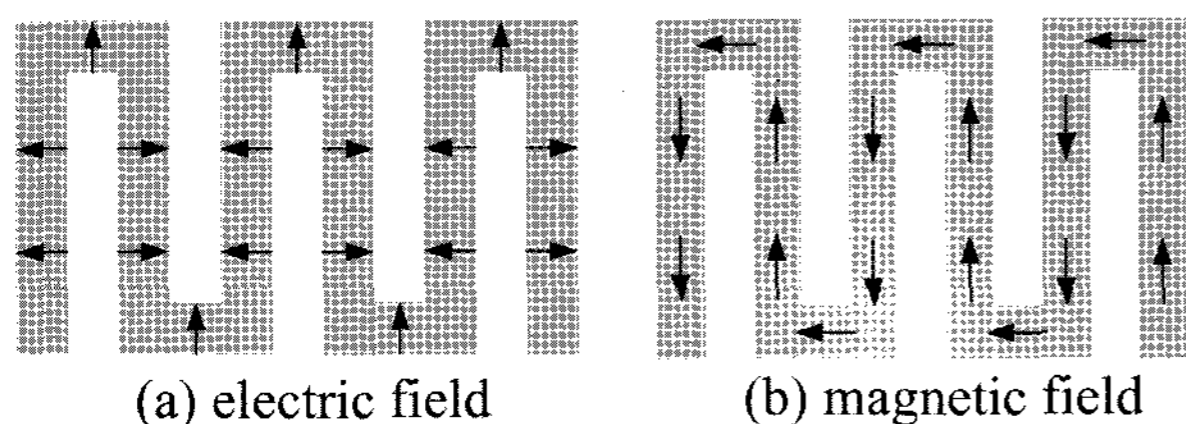


Fig. 2 The electric and magnetic field of meander line

2.3 소형화된 태그 안테나의 설계

그림 3은 제안된 안테나의 구조를 나타내고 있다. 안테나의 구조는 folded-dipole 구조와 미앤더 선로 구조의 이론을 적용하여 소형화하였다. 태그 안테나의 설계는 최대 전력 전달을 위하여 칩 임피던스와 공액 정합되었고, 파라미터 스터디를 통하여 최적화되었으며, 전자계해석용 상용 툴인 Ansoft사의 HFSS를 사용하였다. 태그 안테나의 설계에 고려된 칩 임피던스는 $25 - j100\ \Omega$ 으로 쉽게 구할 수 있는 칩으로 하였다.

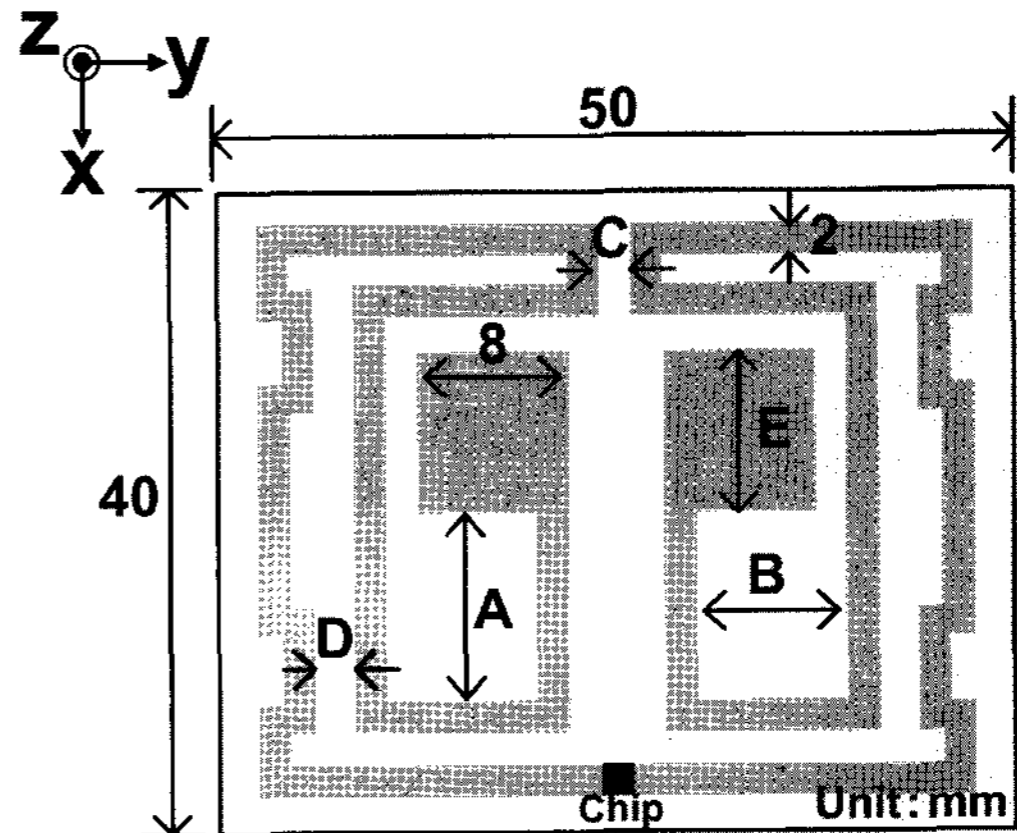


Fig. 3 The structure of proposed antenna.

그림 4는 A값 변화에 따른 반사 특성 변화를 나타낸다. 파라미터 A를 8~12 mm 까지 변화시켰으며, A값이 감소 할수록 공진 주파수가 상승하였다. A의 값이 감소함에 따라 미앤더 선로와 패치 부분의 거리가 가까워지기 때문에 그 사이에 커패시턴스 성분이 발생하고 이 성분이 증가하여 공진 주파수가 상승하게 된다. A가 12 mm 일 때, 910 MHz에서 공진하였으며 반사 특성은 -19 dB이다.

그림 5는 파라미터 B의 변화에 따른 반사 특성을 나타낸다. B의 값이 감소함에 따라 공진 주파수가 상승함을 알 수 있는데, 이는 A값의 변화와 마찬가지로 B가 감소함에 따라, 두 미앤더 선로의 거리가 가까워져서 선로 사이에 발생하는 커패시턴스 성분의 증가로 공진 주파수가 상승하였다. B가 10 mm 일 때, 안테나는 우수한 공진 특성을 보였다. 따라서 A와 B의 크기를 조절함으로써 공진 주파수를 제어할 수 있고, 여기서는 각각 12 mm와 10 mm를 최적 길이로 선정하였다.

그림 6은 C의 변화에 따른 결과 그래프이다. C가 증가 할수록 공진 주파수가 감소하였다. 미앤더 선로의 간격인 C가 증가함에 따라 C부분에 존재하던 용량성 성분이 줄어들게 되고, 따라서 임피던스 허수부의 커패시턴스 성분이 감소된다. 더불어 감소되는 값만큼 허수부의 인덕턴스 역할로 변하면서 주파수는 하향하게 된다. C의 값이 2 mm일 때, 910 MHz에서 공진하였으며, 반사 특성은 -19 dB이다. 주파수의 변화가 위의 A와 B보다는 심하지 않았으나, 주파수의 미세한 조정을 하고자 할 때에는 C의 제어가 필요하다고 사료된다.

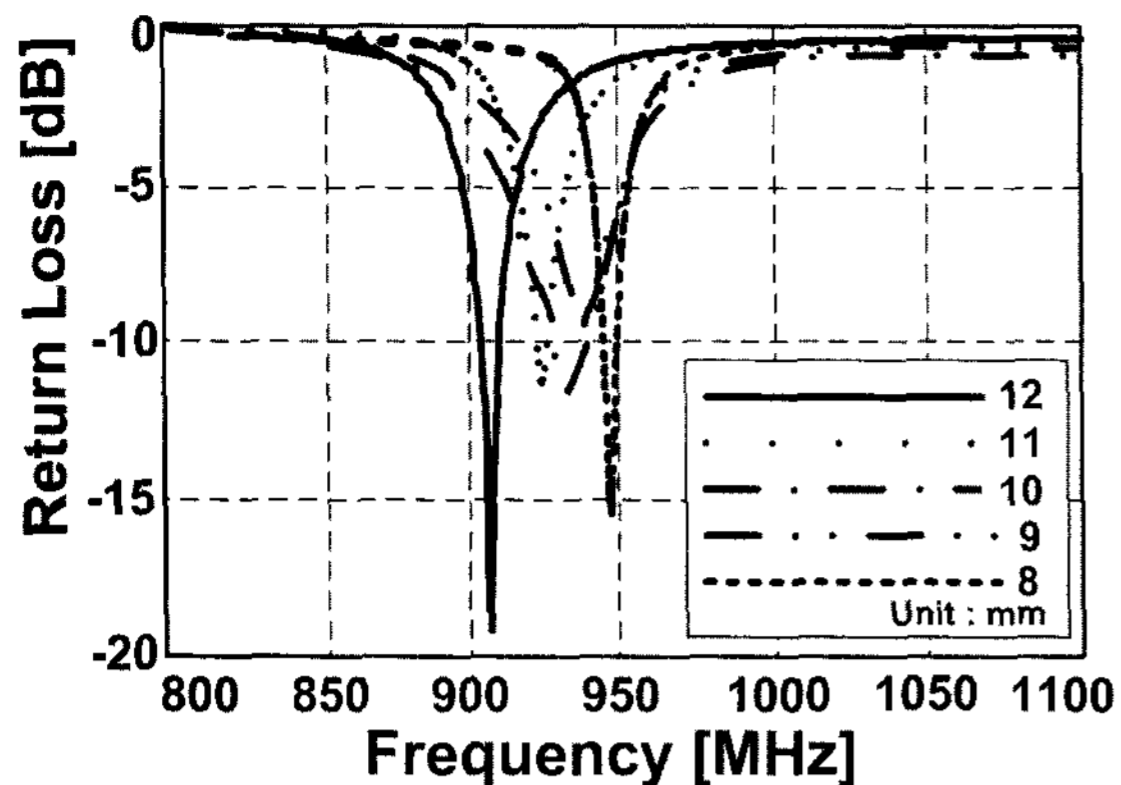


Fig. 4 The results of A variation.

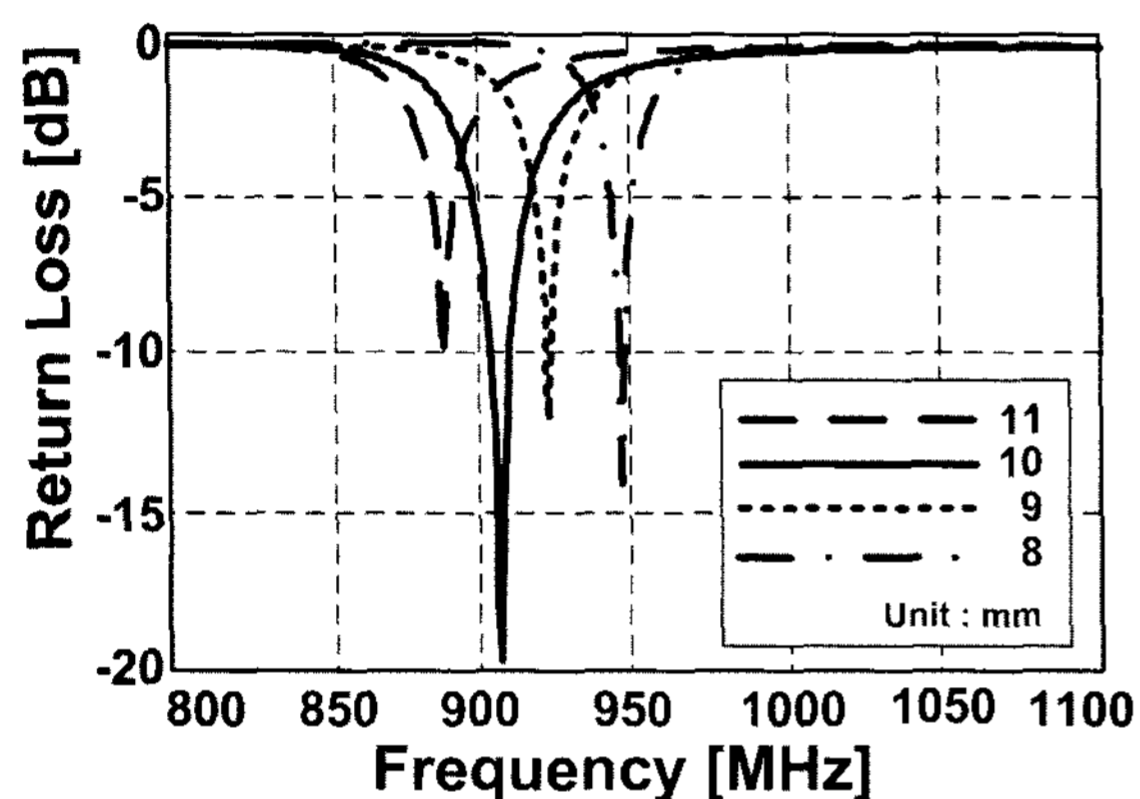


Fig. 5 The return loss according to B variation.

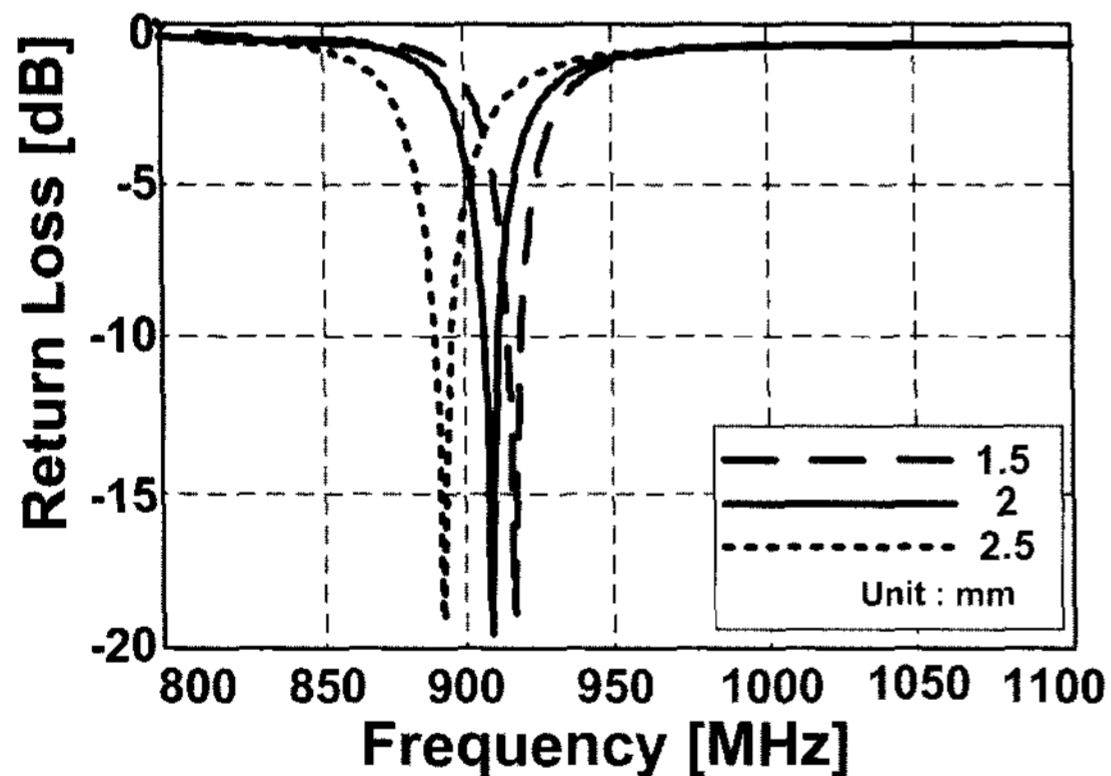


Fig. 6 results of C variation.

그림 7은 파라미터 D의 변화에 따른 반사 특성 그래프이다. D의 값 변화에 따른 반사특성의 변화를 살펴보면, 공진 주파수 이동은 없고, 반사특성의 레벨만 변화하는 것을 볼 수 있다. 따라서 D의 파라미터는 순저항의 역할을 하며 대역폭을 조절하는데 기여하는 것을 알 수 있다. 이는 매우 중요한 파라미터로 그 이유를 간략히 언급하면, 태그 안테나를 설계할 경우, 칩의 임피던스와 공액이 되는 안테나의 임피던스를 가지도록 설계를 하여야 한다. 즉 태그 안테나의 임피던스 허수부를 0 [Ω]으로 설계함으로써, 위상의 변화를 최소화시켜 태그의 손실을 최소화할 수 있기 때문이다. 칩 임피던스는 고정된

값이 아니라 제조하는 회사에 따라 다양하므로, 태그 안테나를 설계할 때, 반드시 사용하고자 하는 칩의 임피던스를 고려하여야 한다.

따라서 그림 7의 결과로부터 제안된 안테나가 임피던스의 실수 부분만을 조절할 수 있는 특징을 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 칩과의 임피던스 정합을 위하여 안테나의 전체적인 설계가 아닌 D 파라미터를 변화시킴으로써 임피던스의 실수 부분을 조절하여 다른 임피던스를 가지는 칩이 사용될 경우에도 임피던스 매칭에 유연하게 대응할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 8는 제안된 태그 안테나에서 D 부분의 미앤더 선로가 일직선일 때의 결과와 선로가 접힌 선로 일 때의 반사 특성 결과를 비교한 것이다. 미앤더 선로가 일직선일 경우, 제안된 태그 안테나는 920 MHz에서 공진하였다. 이는 미앤더 선로가 일직선으로 접힌 선로일 때와 비교하여 L성분이 감소함으로써 공진 주파수가 상승한 것이다. 공진 주파수를 저주파수로 이동시키기 위해서는 선로의 폭을 넓히거나 추가적인 전송선로를 넣어 L성분을 증가시키는 방법을 고려할 수 있다. D 부분을 일직선에서 접힌 선로로 변형함으로써 설계 주파수로의 이동 및 태그 안테나의 임피던스 실수 부를 조절할 수 있었다.

그림 9는 E의 값 변화에 따른 임피던스 특성을 나타낸 것으로 실선과 파선은 각각 실수와 허수 성분이다. 설계에 고려된 칩 임피던스가 $25 - j100 \Omega$ 으로, 제안된 태그 안테나는 E가 10 mm일 때, $25 + j100 \Omega$ 이 되어 칩 임피던스와 공액 정합함으로써 최대 전력을 전달하게 된다.

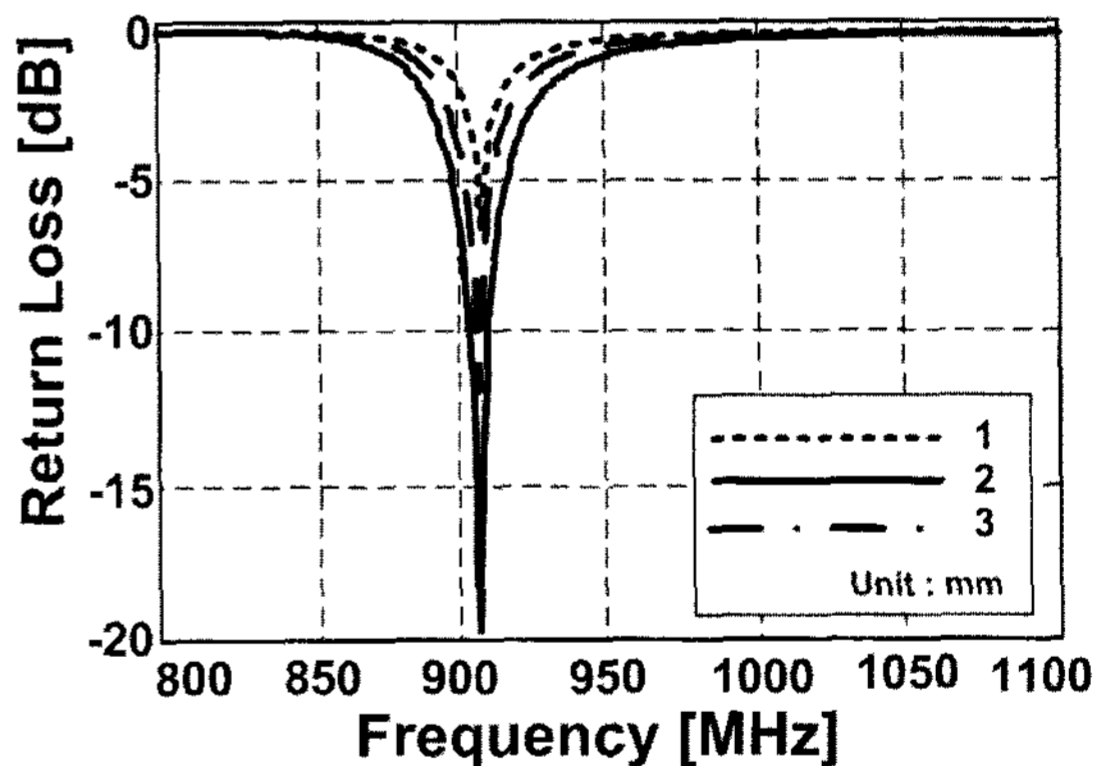


Fig. 7 The results of D variation.

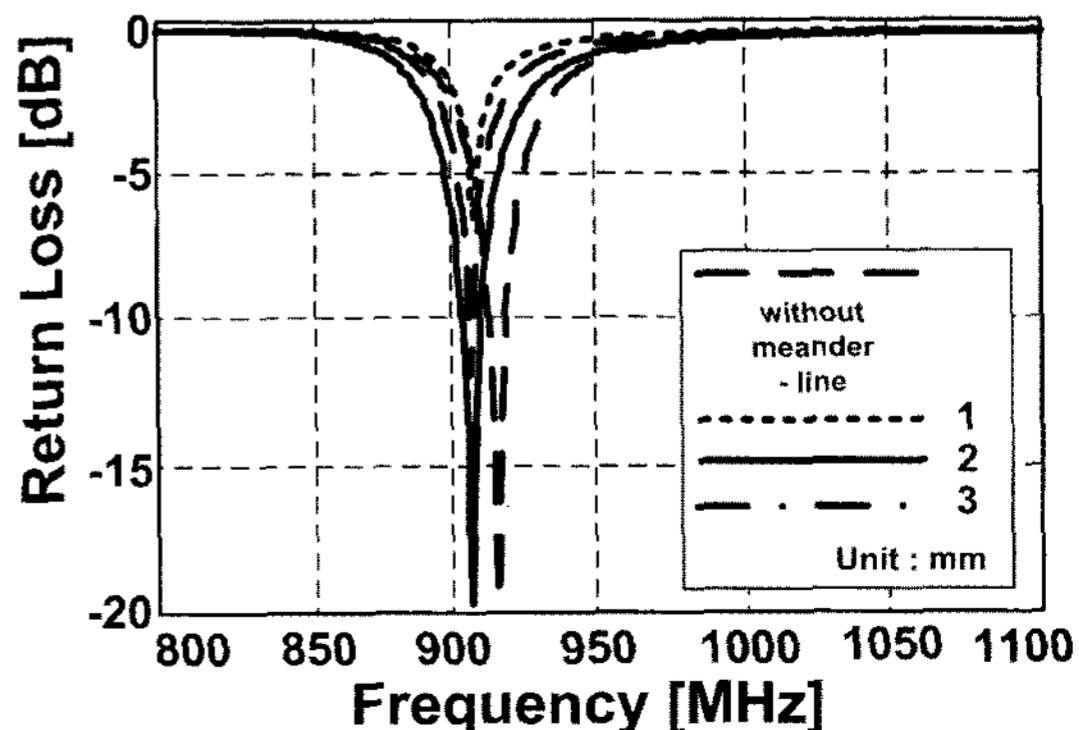


Fig. 8 Return loss comparison with straight meander line and folded meander line.

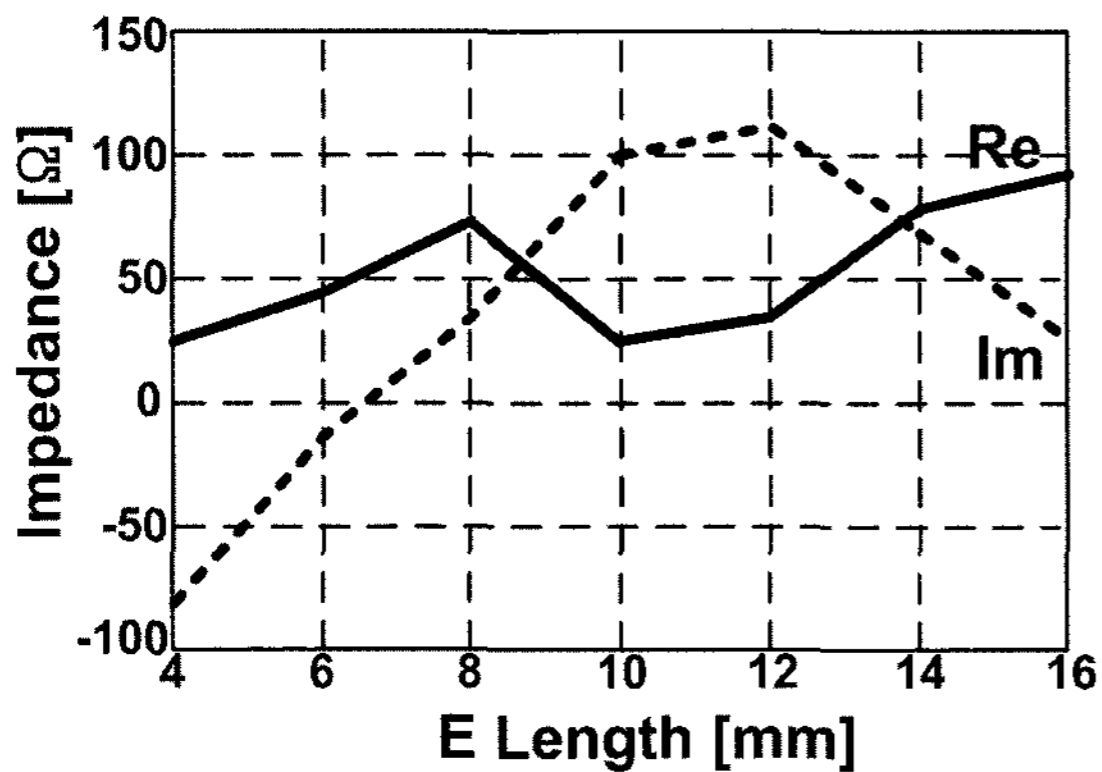


Fig. 9 The results of E variation.

Table 1 Optimum parameters.

(mm)				
A	B	C	D	E
12	10	2	2	10

표 1은 제안된 태그 안테나의 설계에 의해 구해진 최적 파라미터의 수치를 정리하였다. 이들 수치를 이용하여 안테나를 제작하였다.

그림 10은 설계된 안테나의 방사패턴을 나타내고 있다. 이 방사패턴은 표 1에서 보인 최적 파라미터를 사용하여 얻은 결과로, 910 MHz에서 계산된 패턴이다. 방사패턴은 무지향성의 특성을 나타내며, 실선은 E면(XY 평면), 파선은 H면(YZ 평면)을 나타낸다.

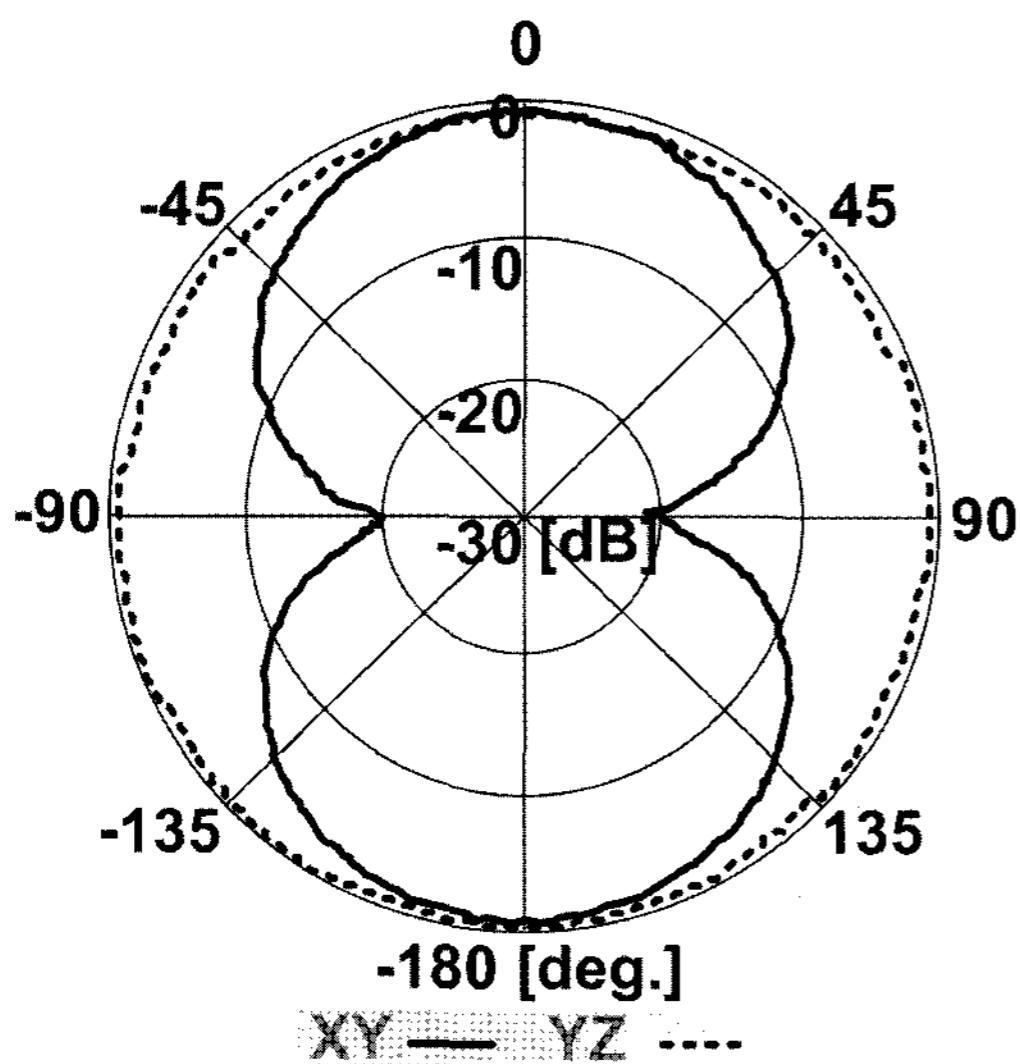


Fig. 10 The radiation pattern of optimized antenna.

3. 측정 결과

일반적으로 측정용으로 많이 사용하고 있는 장비들은 대부분 50 Ω의 전송선을 기준으로 한다. 하지만 태그 안테나는 칩

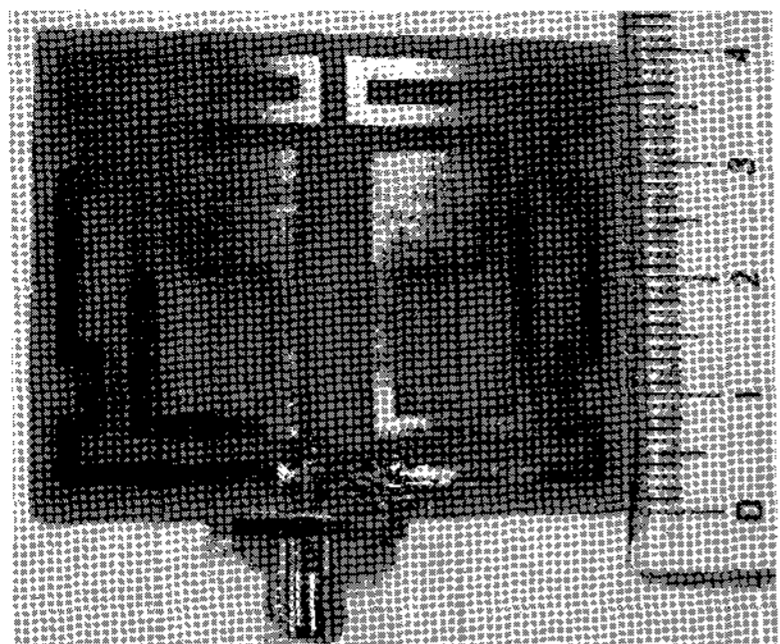
의 임피던스에 의존하므로 50 Ω을 가지지 않고, 칩 임피던스에 의해 안테나의 임피던스는 변동되어야 한다. 따라서 태그 안테나를 설계할 때, 우선 칩 임피던스와 정합되는 안테나를 설계하여야 한다. 다음으로 이론적 설계의 타당성을 입증하기 위해서 안테나를 제작하여 측정을 통해 확인을 한다. 이때, 설계 안테나는 $25 + j100$ Ω으로 설계되었기 때문에 50 Ω의 임피던스로 규격화된 장비로 측정을 하면, 이론적인 계산값과 일치하지 않을 뿐 아니라, 비교를 할 수가 없다. 따라서 $25 + j100$ Ω으로 설계된 안테나 구조에, $25 + j100$ Ω 대신 50 Ω을 적용시켜 계산을 한다. 50 Ω으로 계산된 태그 안테나의 특성들은 $25 + j100$ Ω으로 설계된 안테나의 특성들과는 차이를 보일 것이다. 하지만 50 Ω으로 계산된 값은 50 Ω으로 측정된 값과는 일치할 것이므로 이를 비교하여 $25 + j100$ Ω으로 설계된 안테나의 타당성을 입증하는 것으로 한다. 이를 위해 $25 + j100$ Ω으로 설계된 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 안테나의 급전부로 사용하였다. 제안된 태그 안테나의 임피던스를 50 Ω으로 했을 때의 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 유사한 특성을 보인다면, 칩을 연결하였을 때 이론적으로 계산한 값과 일치하는 성능을 보일 것으로 사료된다.

그림 11의 (a)는 측정을 위해 50 Ω 임피던스를 가지도록 제작한 태그 안테나 사진이고, (b)는 칩이 사용된 태그 안테나의 사진이다. 안테나 제작에 사용된 유전체는 비유전율이 4.6인 FR-4 기판으로 두께는 1.6 mm이고 이 파라미터를 시뮬레이션 및 제작에 적용하였다. 최적화된 안테나의 크기는 $50 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$ 로, 참고문헌 [4] 및 [5]와 비교하여 크기가 각각 62%와 87% 줄어 든 소형 안테나를 최종적으로 설계·제작하였다.

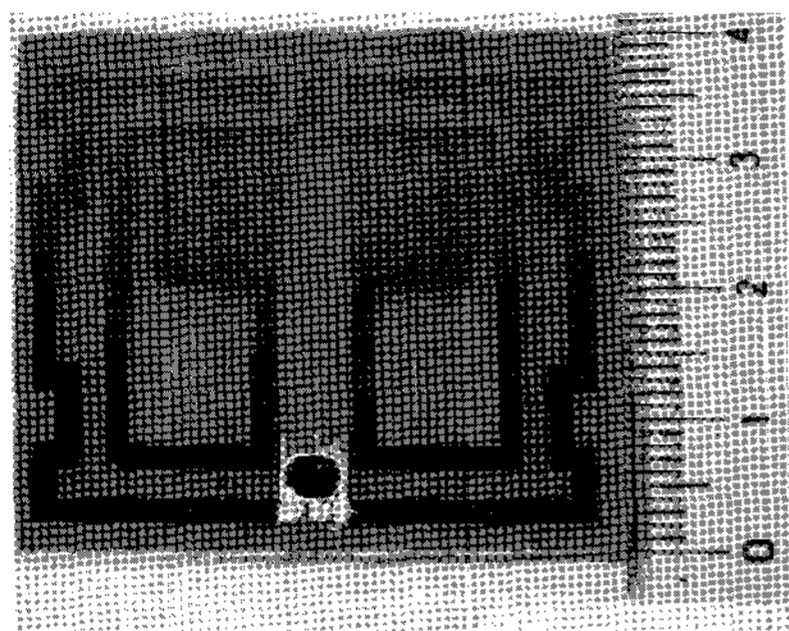
그림 12는 최적화된 파라미터에 의해 태그 안테나의 임피던스가 $25 + j100$ Ω일 때의 시뮬레이션 결과와 50 Ω일 때의 시뮬레이션 및 측정 결과를 보여주고 있다. 제안된 태그 안테나는 공진 주파수 910 MHz에서 반사 특성은 -25 dB를 보였으며, -10 dB이하의 대역폭은 약 40 MHz (890 ~ 930 MHz)로 국내 UHF RFID 대역 (908.5 ~ 914 MHz)을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다. 임피던스를 50 Ω으로 하였을 때, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 940 MHz에서 공진하였으며 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 실제 칩 임피던스를 적용하였을 경우에도 910 MHz에서 ± 20 MHz의 대역폭을 가지며 시뮬레이션과 측정 결과가 잘 일치할 것으로 예상할 수 있다.

그림 13은 태그 안테나가 50 Ω 임피던스 값을 가질 때 주파수에 따른 임피던스의 변화를 측정치와 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과, 실수 성분은 20 ~ 360 Ω, 허수 성분은 $-j200 \sim +j95$ 까지 변화를 보이고 있다. 이들 수치가 중요한 것이 아니라 실수부와 허수부의 그래프 변화가 일치한다는 것이 중

요한 포인트로, 측정 결과 또한 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 특성을 보이고 있다.



(a) With 50 Ω port.



(b) With real chip.

Fig. 11 The photograph of the fabricated tag antenna.

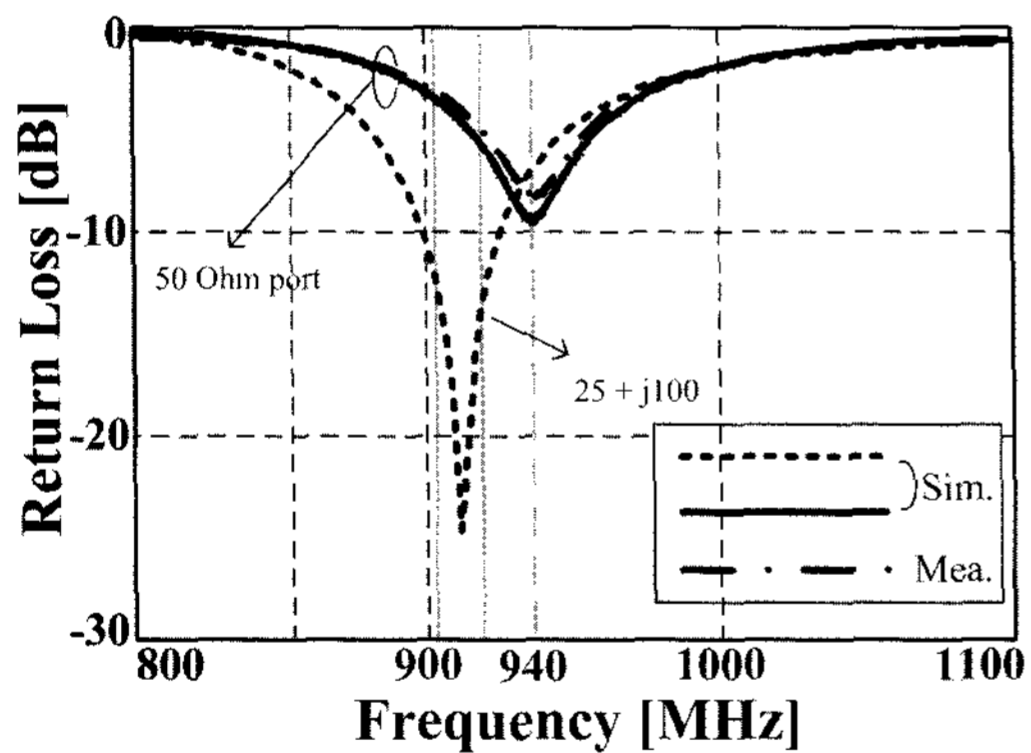


Fig. 12 Return loss of simulation and measurement.

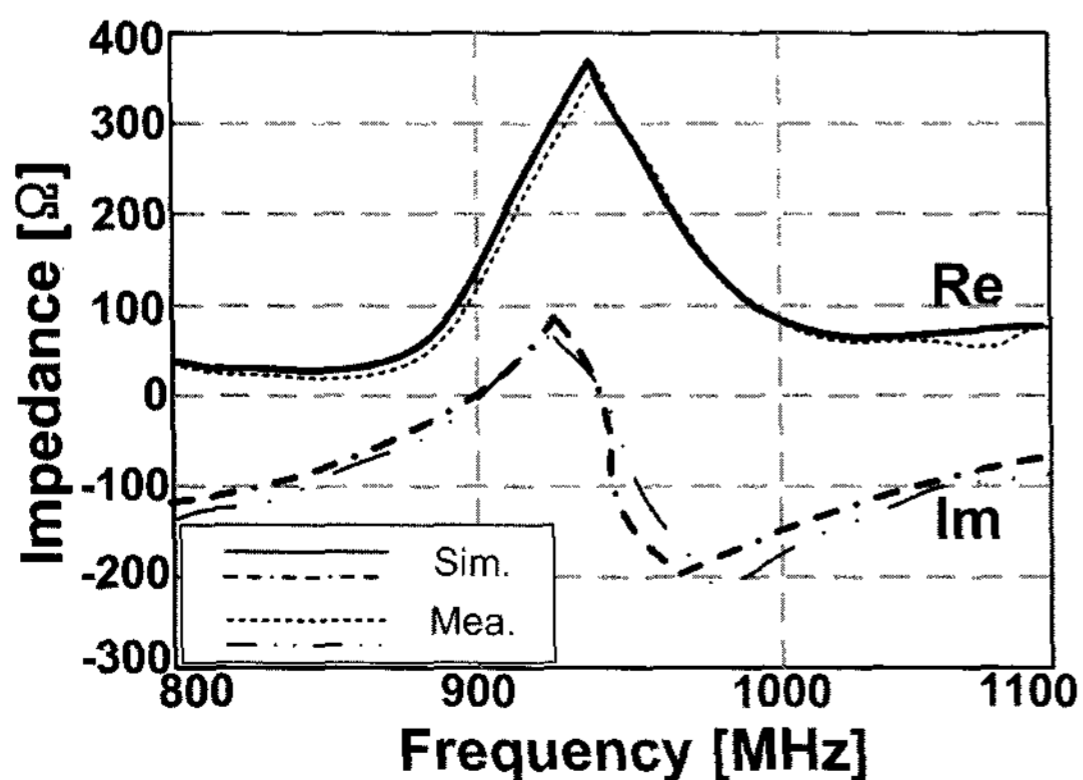
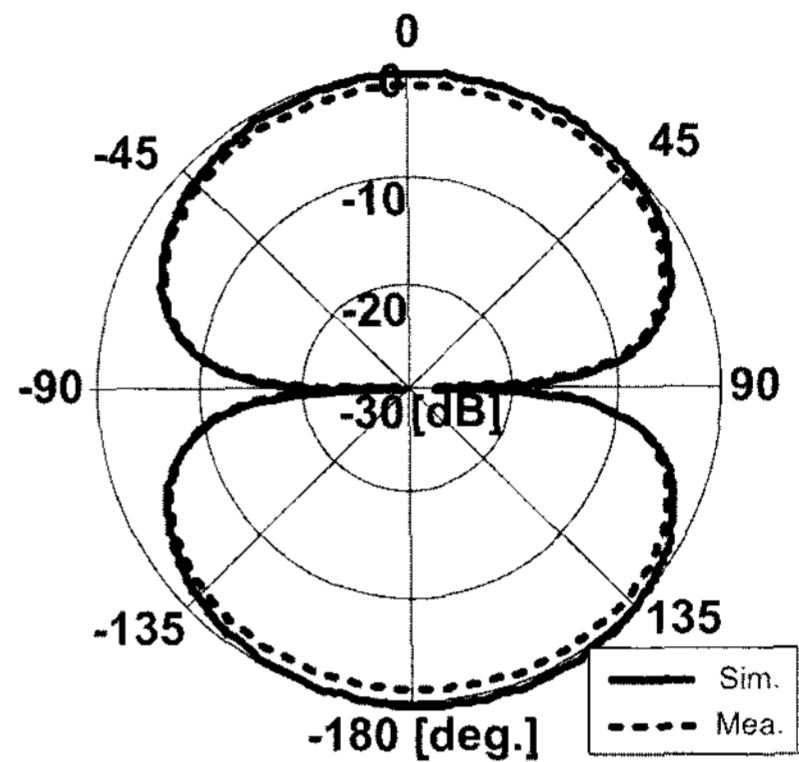
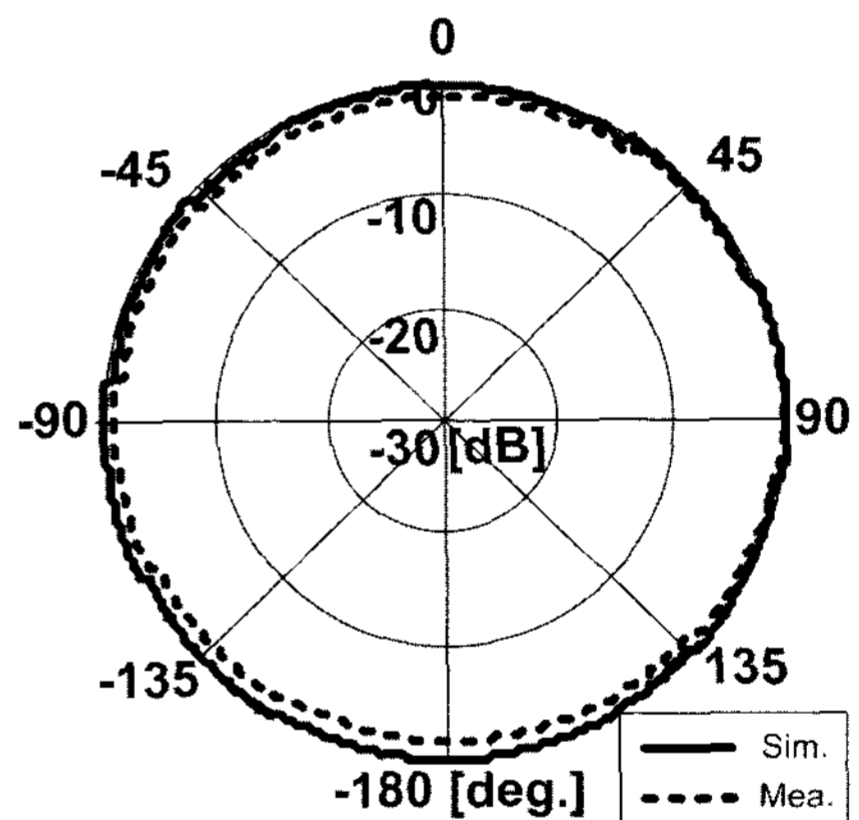


Fig. 13 The impedance variation of tag antenna with 50 Ω.

그림 14는 전파 암실에서 측정된 방사패턴을 시뮬레이션 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 실선은 태그 안테나가 50 Ω을 가질 때의 시뮬레이션 결과를, 파선은 측정 결과를 나타낸다. 공진 주파수 940 MHz에서 나타낸 방사패턴은 측정값과 시뮬레이션 값이 잘 일치하는 것을 보이고 있다. 따라서 25 - j100 Ω의 칩을 25 + j100 Ω으로 제작한 안테나에 결합하더라도 910 MHz에서 그림 15와 같은 방사패턴을 보일 것으로 사료된다.



(a) E pattern (XY-plane)



(b) H pattern (YZ-plane)

Fig. 14 The radiation pattern comparison of the tag antenna with 50 Ω port.

칩이 내장된 태그 안테나의 인식거리 측정을 위해 상용 리더기(ALIEN ALR-9800)를 사용하였다. 정확한 측정을 위해 전파 암실에서 측정하였으며, 약 5 m의 인식거리를 나타내었다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내 UHF RFID 대역 (908.5 ~ 914 MHz)을 만족하는 소형화된 태그 안테나를 제안하였다. 소형화를 위해 folded dipole 구조와 미앤더 선로 기술을 적용하였고, 최대 전력 전달을 위해 안테나의 임피던스는 칩 임피던스와 공액 정합시켰다. 최적화된 안테나의 크기는 50 mm × 40 mm × 1.6 mm로, 참고문헌 [4]와 비교하여 크기가 62 % 줄었다.

태그 안테나의 성능을 검증하기 위한 각종 측정결과들은 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 우수한 특성을 보였다. 상용 리더기를 이용하여 측정한 결과, 약 5 m의 인식거리를 보였다.

Acknowledgment

본 연구는 Post-BK21 사업 지원으로 이루어졌습니다.

참 고 문 헌

[1] Jeong, G. T., Yoon, J. H., Kang, M. K., Lee, H. C., and Kwak, K. S. (2004), "Design of a Meander Type Microstrip Antenna in the 5GHz," *Korea Information and Communications Society*, Vol. 29, No. 9A, pp. 1083-1090.

[2] Kwon, H. I., Sin, Y. J., Lee, B. S., Choi, W. K., and Son, H. W.(2005), "UHF Band RFID Tag Antenna Design Technic by RCS," *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 16, No. 2, pp. 64-71.

[3] Lee, G. H. and Kim, K. Y.(2004), "RFID Technology Tendency," *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 15, No. 5, pp.43-49.

[4] Mun, L. N., Kin, S. L., and Peter H. Cole(2005), "Analysis of constraints in small UHF RFID tag Design," *IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications 2005*, Vol. 1, pp.507-510.

[5] Min, K. S. and Kim, J. W.(2006), "Development of Insensitive Tag for Variation of Chip Impedance," *The Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 29, No. 2, pp.90-93.

[6] Pyo, C. S., Chae, J. S., and Kim, C. J.(2004), "RFID System Technology," *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 15, No. 5, pp.21-31.

[7] Yoon, Y. J., Hong, E. S., Kim, M. J., Lim, Y. S., and Jeong, B. H.(2002), "ANTENNA THEORY AND DESIGN", KYOBO, pp.222-228.

원고접수일 : 2008년 5월 20일
 심사완료일 : 2008년 6월 23일
 원고채택일 : 2008년 6월 28일