

칩과 안테나 사이 연결부 보호를 위한 RFID 태그 안테나의 광대역 설계

Wide Bandwidth RFID Tag Antenna Design for Protection of Connection Part between Chip and Antenna

이 지 철 · 민 경 식

Ji-Chul Lee · Kyeong-Sik Min

요 약

본 논문은 칩과 안테나 사이의 연결부 보호를 위한 RFID 태그 안테나의 광대역 설계에 대해서 기술한다. 제안된 태그 안테나의 크기, 공진 주파수 그리고 대역폭은 각각 $53 \times 10 \times 1$ mm, 900 MHz이고, -10 dB 이하에서 800 MHz(500~1,200 MHz)이다. 폴리에틸렌, 유리 그리고 실리콘과 같은 다른 비유전율을 가지는 유전체 매질들이 제안된 안테나와 칩의 연결부 보호를 위해 전체 하우징과 부분 하우징으로 적용되었다. 측정된 반사 손실과 방사 패턴은 계산 결과와 비교하여 잘 일치하였다. 하우징을 하지 않은 제안된 태그 안테나의 인식거리와 3 mm 두께를 가진 실리콘에 의해 전체적으로 하우징된 태그 안테나의 인식거리는 각각 약 5 m와 4 m로 관측되었다.

Abstract

This paper describes a wide bandwidth RFID tag antenna design for protection of connection part between chip and antenna. A proposed tag antenna size, a resonant frequency and bandwidth are $53 \times 10 \times 1$ mm, 900 MHz and 800 MHz (500~1,300 MHz) at -10 dB below, respectively. The dielectric materials with different relative permittivity such as polyethylene, glass and silicon were applied for protection of connection part between the proposed antenna and chip on the way of whole and partial housing. The measured return loss and radiation pattern agreed well with the calculation results. The read range of the proposed tag antenna without any housing and of tag antenna with housing covered over all by silicon with 3 mm thickness were observed about 5 m and 4 m, respectively.

Key words : RFID, Tag Antenna, Wide Bandwidth, Protection of Tag Antenna

I. 서 론

최근 UHF 대역 RFID 시스템은 여러 산업에서 이용되고 있으며, 특히 물류 창고, 공장 및 운송 등에서 자동화와 원격 관리 등의 응용으로 많이 사용되고 있다^{[1],[2]}. RFID 기술의 사용 주파수 대역은 크게 HF, UHF, ISM 대역으로 구분할 수 있으며, 특히 UHF 대역의 RFID 시스템은 전계를 이용해 정보를

전달하기 때문에 다른 대역의 RFID 시스템보다 통신거리가 길고, 저가 생산이 가능하다는 장점이 있다.

ISO-18000-6에 의해 국제적으로 UHF 대역 RFID 시스템의 사용 주파수 대역은 860 MHz에서 960 MHz로 권고하고 있다^[3]. UHF 대역 RFID 태그의 경우, 자유공간에서 반파장 다이폴 안테나의 길이가 약 16.5 cm로 커서 실제 사용을 위해서는 소형화가 필수적이다. 그러나 안테나가 소형화되면 안테나의

「본 연구는 Post-BK21 사업 지원으로 이루어졌음.」

「본 연구는 중소기업청과 부산광역시가 지원하는 2008년도 산학연공동기술개발지원사업의 지원으로 이루어졌음.」

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20081128-15S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 13일

방사 저항이 작아지고 리액턴스가 커지게 되어 대역폭 감소와 이득 저하라는 단점이 발생한다. 또한, 태그 안테나의 경우, 태그가 부착되는 물체에 따라 안테나의 동작 주파수가 변할 수 있다^[4]는 점을 고려할 때, 태그 안테나는 주파수 변화에 따른 성능 저하를 최소화할 수 있도록 충분한 대역폭을 가져야 한다^{[5],[6]}. 뿐만 아니라 RFID 기술은 여러 응용 분야의 시스템에 이용되면서 외적 요인에 의한 진동 및 충격 등에 의해 안테나와 칩의 연결 부분 파손 및 칩과 안테나의 불완전한 연결에 의해 인식이 되지 않거나 인식거리가 감소되는 등의 문제가 생기게 된다.

본 논문에서는 안테나와 칩의 연결 부분을 보호하기 위한 방법을 제안하였다. 그 방법으로는 폴리에틸렌, 유리, 실리콘 등을 사용하여 칩과 안테나 모두를 보호하는 전체 하우징과 칩과 안테나의 연결부분의 이탈을 방지하기 위해 칩을 포함한 연결부분만 부분적으로 하우징하는 부분 하우징을 적용하여 안테나 및 태그의 내구성을 강화시켰다. 또한, 이 논문에서는 각도별 인식거리를 위 매질들을 이용하여 하우징을 했을 때 안테나의 특성과 매질의 두께에 따른 수신 전력 및 인식거리 등을 평가하였다.

II. 광대역 태그 안테나 설계

상용 RFID 태그 안테나는 협대역이기 때문에^[7] 주변 환경의 변화에 민감하여, 부착 매질의 영향을 많이 받으며 성능 저하의 원인이 된다. 따라서 성능 저하를 최소화하기 위해서는 광대역 안테나로 설계할 필요가 있다.

그림 1은 제안된 안테나의 구조이다. 제안된 안테나의 크기는 53×10×1 mm이고, 설계에 고려한 유전체 기판은 비유전율이 2.08인 테프론 기판이다. 태그 칩은 Alien社의 제품으로써 16-j131 Ω의 임피던스를 가진다. 수동형 RFID 태그는 내부에 별도의 전원을 가지고 있지 않으며, 리더로부터 송출된 전자파를 정류하여 자신의 동작 전원을 얻는다. 따라서 수동형 태그 안테나의 경우 최대의 전력을 손실없이 태그 칩으로 전달하여야 하기 때문에 제안된 안테나의 입력 임피던스는 칩과 공역인 16+j131 Ω의 임피던스를 고려하여 설계하였다^{[6]~[8]}.

그림 2는 제안된 안테나의 Y의 크기가 18 mm에

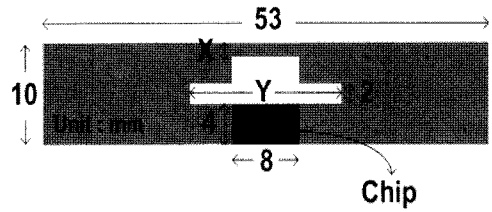


그림 1. 제안된 태그 안테나
Fig. 1. Proposed tag antenna.

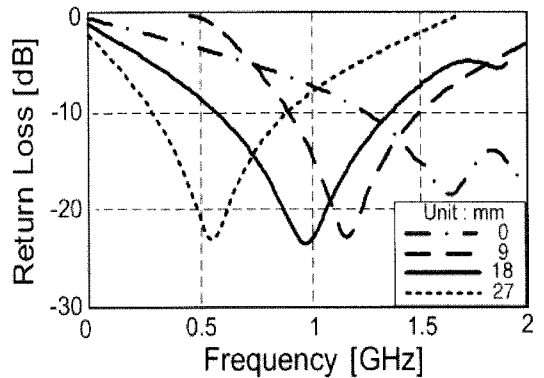


그림 2. Y값 변화에 의한 반사 손실
Fig. 2. Variation of return loss by 'Y' parameter.

서 27 mm까지 9 mm의 간격으로 증가할 때의 반사 손실 변화 값을 나타낸다. Y의 값이 18 mm일 때, 970 MHz에서 -23.79 dB의 반사 손실 특성을 보인다. Y의 길이가 증가할수록 안테나의 인덕턴스 성분의 증가로 인해 공진 주파수가 저주파수로 이동한다.

그림 3은 Y의 값을 18 mm로 고정시키고, X의 간

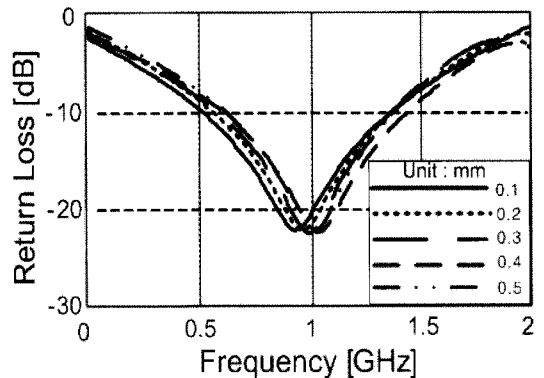


그림 3. X값 변화에 의한 반사 손실
Fig. 3. Variation of return loss by 'X' parameter.

격을 0.1~0.5 mm까지 0.1 mm 간격으로 변화시켰을 때의 반사 손실의 변화를 나타낸다. X의 값이 0.1 mm일 때, 900 MHz에서 -24.57 dB의 반사 손실을 가지며, 대역폭은 약 800 MHz(500~1,300 MHz)로 계산되었다. 따라서 계산에 의한 최적 X의 값을 0.1 mm로 정하였다. 이는 유럽(865~868 MHz), 미국, 캐나다(902~928 MHz, 미국과 공통) 그리고 한국(908.5~914 MHz)의 UHF대 RFID의 대역폭을 만족한다.

III. 하우징 설계

외적 진동 및 충격으로 인하여 발생할 수 있는 안테나의 파손 및 태그의 이탈을 방지하기 위해 비유전율 2.25인 폴리에틸렌, 비유전율이 5.5인 유리 그리고 비유전율이 11.9인 실리콘을 이용하여 안테나 전체를 보호하는 전체 하우징 그리고 태그의 이탈을 방지하기 위한 부분 하우징을 제안한다. 이와 같은 재료의 선택 이유는 폴리에틸렌의 경우, 방수 능력이 뛰어나 안테나의 부식을 예방할 수 있으며, 유리의 경우는 차량 등에 부착될 때를 고려한 것이며, 실리콘의 경우는 재료의 특성이 부드럽기 때문에 외적인 진동을 완화시켜줄 수 있고, 접착력이 뛰어나기 때문이다. 그림 4와 그림 5는 제안된 안테나에 폴리에틸렌, 유리 그리고 실리콘을 이용하여 전체 하우징과 부분 하우징을 적용했을 때, 0.1 mm부터 3 mm의 두께 변화에 따른 각 매질의 반사 손실의 변화를 보여준다. 검은색 선, 빨간색 선 그리고 파란색 선은 각각 폴리에틸렌, 실리콘 그리고 유리를 이용하여 하우징한 것을 나타낸다.

결과에서 보듯이 비유전율이 높을수록 관내 파장 크기가 커지기 때문에 저주파수로 이동하는 것을 볼 수 있다. 하지만 전체 하우징의 경우는 비교로부터도 알 수 있는 것처럼 주파수의 천이 현상은 약 20 MHz 정도로 크지 않음을 알 수 있다. 이는 동작 주파수에 비해 안테나 하우징의 크기가 작고 광대역 특성을 가지므로 영향이 적은 것으로 사료된다. 또한, 같은 매질이라 하더라도 두께가 두꺼워지면 관내 파장의 변화로 인해 저주파수로 이동을 한다. 하지만 공진 주파수의 이동 폭은 최대 30 MHz이므로 UHF 대역을 충분히 만족한다.

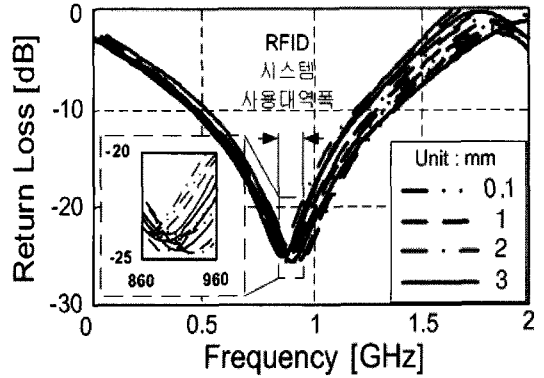


그림 4. 폴리에틸렌과 실리콘의 전체 하우징 시 반사 손실

Fig. 4. Return loss by all housing used polyethylene and silicon.

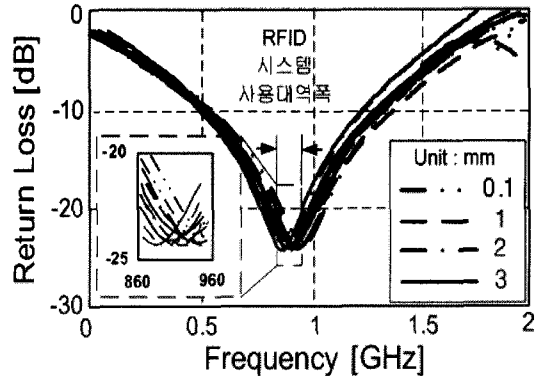


그림 5. 폴리에틸렌과 실리콘의 부분 하우징 시 반사 손실

Fig. 5. Return loss by partial housing used polyethylene and silicon.

IV. 측정 및 검토

측정용으로 많이 사용되고 있는 장비들은 대부분 50 Ω의 임피던스를 기준으로 한다. 하지만 태그 안테나는 칩의 임피던스에 의존하므로 50 Ω 설계를 할 수 없고, 칩 임피던스에 따라 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, 본 논문에서의 설계 안테나는 16+j131 Ω으로 설계되었기 때문에 50 Ω의 임피던스로 규격

화된 장비로 측정을 하면, 이론적인 계산 값과 일치하지 않을 뿐 아니라, 비교를 할 수가 없다. 따라서 ① 칩 임피던스를 고려하여 안테나의 입력 임피던스를 $16+j131 \Omega$ 로 설계한다. ② 안테나의 성능 측정을 위하여 ①에서 $16+j131 \Omega$ 로 설계된 최적 안테나 구조의 입력 임피던스를 $16+j131 \Omega$ 대신 50Ω 로 설계한다. ③ 50Ω 로 계산된 태그 안테나의 특성들은 $16+j131 \Omega$ 로 설계된 안테나의 특성들과는 차이를 보일 것이다. 하지만 50Ω 로 계산된 값은 50Ω 로 측정된 값과는 일치할 것이므로, 50Ω 로 계산된 값과 측정된 값을 비교하여 설계의 타당성을 확인한다. ④ 다음으로 50Ω 로 측정된 안테나의 임피던스 값을 $16+j131 \Omega$ 로 임피던스 변환을 하여 ①에서 설계한 $16+j131 \Omega$ 입력 임피던스의 계산 값과 비교를 하면 최초 설계 주파수인 900 MHz 대역의 반사 손실 특성을 얻을 수 있다. 그림 6은 태그 안테나의 인식거리 측정 및 방사 패턴, 이득 등의 안테나 특성을 측정하기 위하여 제작된 두 종류의 안테나 사진을 나타낸다. 그림 7은 최적화된 파라미터에 의해 태그 안테나의 임피던스가 $16+j131 \Omega$ 일 때의 시뮬레이션 결과와 50Ω 일 때의 결과를 비교한 것을 나타낸다. 그리고 측정의 타당성을 입증하기 위해, 50Ω 일 때의 측정 결과를 이용하여 임피던스 변환을 한 결과도 제시한다.

임피던스 변환의 방법은 50Ω 로 측정된 임피던스의 값을 이용하여 수식 (1)을 통해 $16+j131 \Omega$ 로 변환하였다⁹⁾. 수식 (1)은 태그 안테나와 칩 사이의 반사계수이며, Z_c 는 태그 안테나의 측정 임피던

스이고, Z_c 는 태그 칩의 임피던스이다.

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

수식 (2)는 수식 (1)에서 계산된 Γ 를 이용하여 반사 손실을 구할 수 있다.

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

예를 들어, 900 MHz에서 50Ω 로 측정된 태그 안테나의 임피던스 값은 그림 7로부터 $14+j130 \Omega$ 이고, 칩 임피던스는 $16-j131 \Omega$ 일 때, 수식 (1)에 위 값을 대입하면, 반사계수의 값은 $-0.065-j0.036$ 을 얻는다. 계산된 값의 절대 값을 수식 (2)에 대입하면 반사 손실 값은 그림 8과 같이 23.74 dB가 계산된다. 위와 동일한 방법으로 0 GHz에서 3.5 GHz까지 측정된 태그 안테나의 임피던스를 수식 (1)과 수식 (2)를 이용하여 변환하였다.

위와 같은 방법으로 50Ω 계산 및 측정 값의 비교와 측정 임피던스 값의 변환이 비교를 통하여 설계의 타당성을 2회에 걸쳐 확인하는 과정을 거쳐 정확도 및 신뢰도를 더욱 높였다. 그림 8은 안테나의 임피던스가 50Ω 일 때 2.35 GHz에서의 시뮬레이션 값과 전파 암실에서 측정된 방사 패턴을 나타내며, 측정된 이득은 2.92 dBi였다. 그림 12의 (a), (b)로부터 알 수 있는 것처럼 시뮬레이션 값과 측정 값이 잘 일치하는 것을 확인하였다.

그림 9는 3 mm의 두께로 안테나 전체를 세 종류의 매질(비유전율=2.25, 5.5, 11.9)로 하우징하여 반사

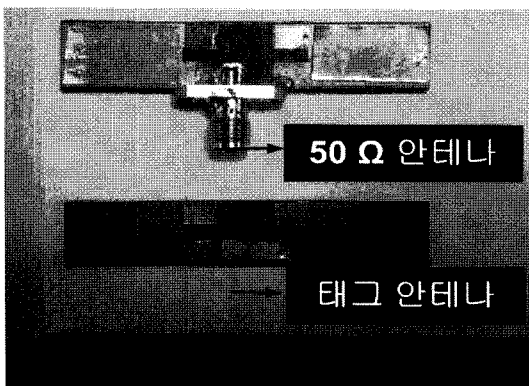


그림 6. 제작된 안테나 사진
Fig. 6. Photograph of fabricated antennas.

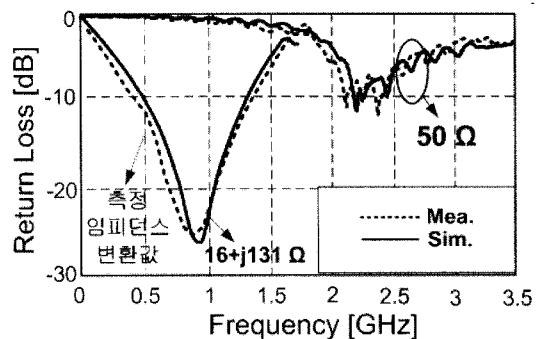


그림 7. 계산 값과 측정 값의 반사손실 비교.
Fig. 7. Return loss comparison between calculation and measurement values.

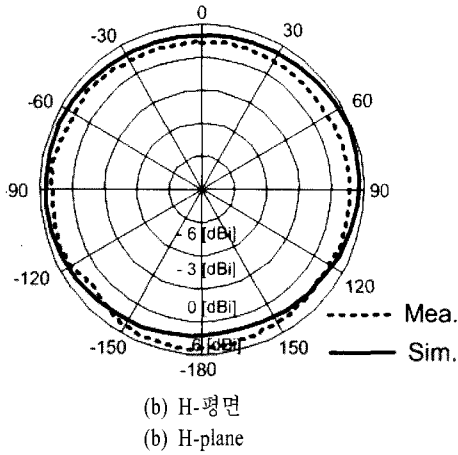
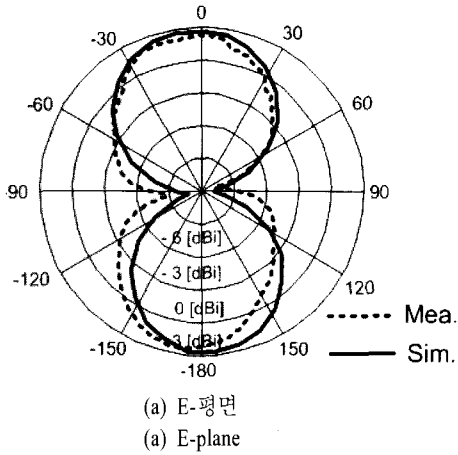


그림 8. 2.35 GHz에서의 방사 패턴 비교(50 Ω)
Fig. 8. Comparison of radiation pattern at 2.35 GHz(50 Ω).

손실을 측정된 결과를 나타낸다. 안테나의 입력 임피던스가 50 Ω일 때의 측정된 반사 손실은 그림 9에서는 큰 차이를 보이지 않으나, 50 Ω으로 측정된 임피던스를 칩 임피던스로 변환하여 나타낸 것을 살펴보면, 비유전율이 높은 매질일수록 낮은 주파수로 공진 주파수가 천이하고 있으며, 이는 관내 파장과 비유전율이 반비례하는 관계를 가지기 때문이다.

그림 10은 50 Ω의 안테나에서 두께 3 mm의 매질을 전체 하우징에 적용시켜 2.35 GHz에서 측정된 방사 이득 패턴이다. 최대 이득은 폴리에틸렌의 경우 약 2.9 dBi였고, 유리는 2.86 dBi, 실리콘의 경우는 2.69 dBi였다. 방사 패턴의 특성은 세 종류 모두 거의 유사한 특성을 보이지만 비유전율의 차이에 의해 이득에서 최대 0.21 dBi의 차이를 보인다.

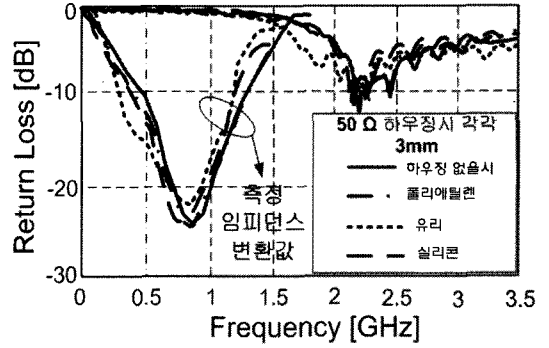


그림 9. 3 mm 두께로 전체 하우징된 세 종류의 태그 안테나의 측정된 반사 손실

Fig. 9. Measured return loss of 3 kinds of tag antennas coated whole housing with 3 mm thickness.

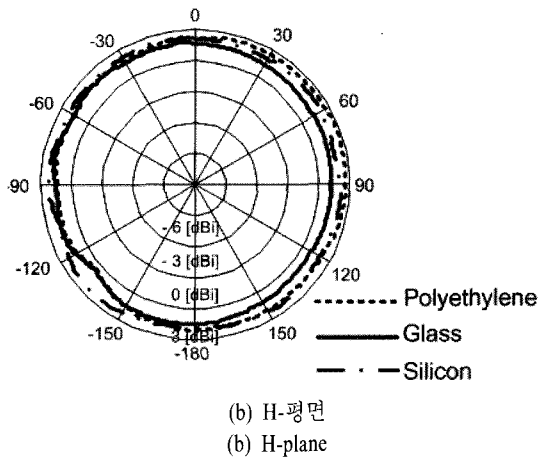
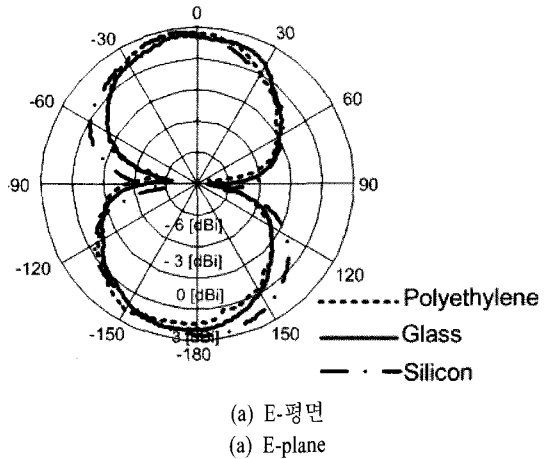


그림 10. 측정된 방사 이득 패턴(2.35 GHz)
Fig. 10. Measured radiation gain patterns(2.35 GHz).

그림 11은 태그 안테나의 인식거리와 50 Ω 임피던스로 설계된 안테나의 수신 전력을 동시에 동일한 환경에서 측정할 수 있는 모습을 나타낸다.

수신 전력의 측정 방법으로는 송신부의 경우, RFID 리더기 안테나와 1 GHz부터 2.6 GHz 대역에서 동작되는 혼 안테나를 이용하여 측정 안테나와의 거리를 조절하고 각도 조절을 위해 포지션 컨트롤러(Orbit, AL-4806A)를 이용하여 인식 거리에 따른 수신 전력을 측정하였다. 이때 사용한 signal generator는 Agilent E8257D로 0 dBm의 출력을 냈고, 감쇠되는 신호의 보안을 위해 Agilent 83017A 증폭기와 Agilent E4446의 spectrum analyser를 이용하였다. 인식거리 측정을 위해 Alien社의 대역폭이 902.75 MHz에서 927.25 MHz의 ALR-9800 리더기를 사용하여 그림 11의 측정 환경에서 수신 전력과 인식거리를 동시에 측정하였다.

그림 12는 3 mm의 매질을 이용하여 전체 하우징을 적용하였을 때의 인식거리와 평균 수신전력을 나타낸다.

하우징을 하지 않고 측정한 인식거리와 폴리에틸렌을 3 mm의 두께로 전체 하우징을 하여 측정한 경우, 0°에서 약 5 m로 인식이 되었고, 유리는 0°에서 약 4.5 m, 그리고 실리콘의 경우 0°에서 약 4 m의 인식거리를 보였다. 두께 3 mm의 매질을 이용하여 전체 하우징을 한 경우와 전체 하우징을 하지 않았을 때와 비교하여 인식거리에서 최대 1 m의 차이가 생기는 이유는 매질의 비유전율에 따른 안테나의 이득 차이 때문으로 사료된다. 그리고 각도별 인식이 가능한 지점에서의 수신 전력은 0°에서 약 -29.8 dBm이었으며, 75°의 경우 -27.5 dBm이었다. 인식이 가

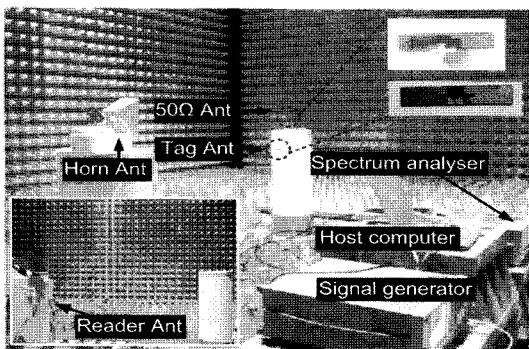


그림 11. 인식거리와 수신 전력 측정 환경
Fig. 11. Measurement environment of reading range for identification and receiving power.

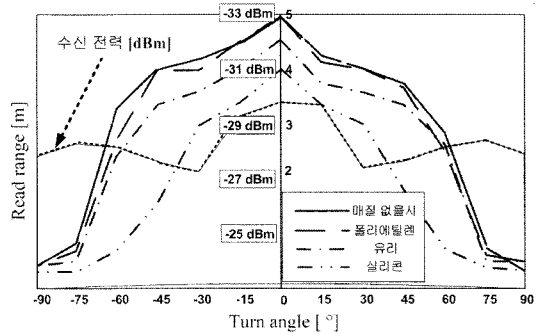


그림 12. 두께 3 mm의 매질을 이용한 전체 하우징에서의 인식거리

Fig. 12. Read range in whole housing method at materials thickness 3 mm.

능한 지점에서의 평균 수신 전력은 약 -27.7 dBm이다. 측정 데이터는 그림 11의 환경에서 세 번 측정의 평균값으로 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 UHF대역 상용 RFID 태그 안테나의 협대역 단점을 개선한 광대역 설계와 차량의 진동과 충격을 견딜 수 있는 내구성이 강화된 태그 안테나를 제안하였다. 설계된 태그 안테나의 전체 크기는 53×10×1 mm이고, -10 dB 이하 대역폭은 500 MHz에서 1,300 MHz까지 800 MHz를 가진다. 외적 진동이나 충격으로부터 칩과 안테나의 연결을 강화하기 위해 차량의 환경을 고려한 폴리에틸렌, 유리, 실리콘을 이용하여 전체 하우징과 부분 하우징을 하여 매질 두께의 변화에 따른 반사 손실을 이론적으로 계산하였다. 비유전율이 가장 큰 실리콘을 3 mm 두께로 하여 전체 하우징에 적용하였을 때 공진 주파수는 약 30 MHz 저주파수로 이동하였으나 UHF 대역 RFID의 대역을 여전히 만족하였다. 그리고 세 종류의 각 매질의 두께가 3 mm일 때의 전체 하우징을 하여 측정한 방사 이득 패턴과 반사 손실 결과는 계산한 값들과 아주 잘 일치하였다.

하우징을 하지 않은 태그 안테나의 인식거리는 0°에서 5 m이었으며, 두께 3 mm로 한 세 종류의 매질을 전체 하우징으로 제작하여 측정한 인식거리는 폴리에틸렌은 5 m, 유리 4.5 m 그리고 실리콘은 4 m로 이득 감소에 따른 영향이 확인되었다.

참 고 문 헌

- [1] Li Xu, Li Bin Tian, and Bin Jie Hu, "A novel broadband UHF RFID tag antenna mountable on metallic surface", *ICMMT International Conference*, vol. 4, pp. 2128-2123, Sep. 2007.
- [2] JeaHoon Choi, Uisheon Kim, Youngman Um, and Dongmin Shin, "Design of antennas for the UHF RFID system", *IWAT International Workshop*, pp. 75-78, Mar. 2008.
- [3] 김구조, 김신환, 정유정, "UHF 대역의 원형 RFID 태그 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 18(3), pp. 282-287, 2007년 3월.
- [4] 민경식, 김진우, "RFID 태그용 다이폴 안테나의 부차 지관에 따른 실험적 성능 평가", *한국전자과학회논문지*, 18(3), pp. 273-281, 2007년 3월.
- [5] Wonkyu Choi, H. W. Son, Changsoo Shin, Jihoon Bae, and Gilyoung Choi, "RFID tag antenna with a meandered dipole and inductively coupled feed", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 619-622, Jul. 2006.
- [6] Reena Ukkonen, Sydanheimo, and Markku Kivikoski, "Design and performance of passive UHF RFID tag antenna for industrial paper", *Antennas and Propagation International Symposium*, pp. 5479-5482, Jun. 2007.
- [7] 손해원, 최원규, 표철식, "UHF RFID 태그안테나 기술", *한국전자과학회논문지*, 16(2), pp. 55-63, 2005년 4월.
- [8] 이지철, 박건도, 민경식, "UHF대 RFID tag의 내구성 설계에 관한 연구", *한국전자과학기술학회 학술대회*, pp. 97-100, 2008년 6월.
- [9] Jung Chin Hsieh, Ming Lu Lai, and Shyh Kang Jeng, "An RFID antenna design for multi-layered printed circuit board applications", *Antennas and Propagation International Symposium*, pp. 309-312, Jun. 2007.

이 지 철



2008년 8월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2008년 9월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] MDM(Magneto-Dielectric Material), RFID, 소형 안테나 설계

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 부교수
 [주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM(Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성통신 및 이동통신용 안테나 설계 등