

인식 거리 개선을 위한 차량용 태그 안테나의 지향성 설계

Directivity Pattern Design of a Vehicle Tag Antenna for Improvement of the Readable Range

박 대 환 · 민 경 식

Dae-Hwan Park · Kyeong-Sik Min

요 약

본 논문은 차량 번호판용 RFID 태그 안테나의 인식 거리를 향상시키기 위한 최적 지향성 설계에 대해서 기술하고 있다. 제안된 수동형 안테나의 지향성 패턴은 미앤더 선로의 위치와 태그 안테나가 부착되는 범퍼의 크기에 의해 결정된다. 계산된 지향성 패턴과 인식 거리의 타당성을 입증하기 위하여 태그 안테나를 제작하고 전파 암실에서 측정을 행하였다. 능동형과 수동형 안테나의 측정된 방사 패턴의 최대 지향성 이득은 각각 2.32 dBi와 3.1 dBi로 관측되었다. 수동형 태그 안테나의 최대 인식 거리는 차량 진행 방향(방위각 0°)을 기준으로 ±45°의 빔 방향에서 약 8.5 m로 측정되었다.

Abstract

This paper describes the design for radiation pattern directivity of vehicle license plate RFID tag antenna to improve the readable range. Directivity pattern of the proposed passive antenna is decided by the meander line position and the bumper size attached to the tag antenna. In order to prove the verification of the calculated directivity pattern and readable range of the proposed antenna, the tag antenna has been fabricated and measured at the anechoic chamber. It is shown that the maximum directivity gain of the measured radiation pattern of active and passive tag antenna were observed 2.32 dBi and 3.1 dBi, respectively. The maximum readable range of passive tag antenna was measured about 8.5 m at ±45° beam direction on the basis of the driving car direction(0° of azimuth angle).

Key words : RFID Tag Antenna, Vehicle License Plate, Readable Range, Active and Passive Antenna, Directivity Pattern

I. 서 론

최근 RFID 기술은 IT 산업의 발달과 더불어 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히 아파트 단지나 산업 단지, 톨게이트 등과 같은 대단지 지역에서 효율적인 인력 관리를 위한 분야에도 많이 이용되고 있다^[1]. 이러한 RFID 시스템의 도입으로부터 인력 절감에 의한 경제적 효과와 출입에 대한 보안 이력 관리

및 게이트 통과 시간 감소 등의 편리함을 추구할 수 있다. 앞서 언급한 서비스를 제공하기 위하여 차량에 부착될 RFID 태그의 위치가 고려되어지고 있으며, 전 세계적으로 차량용 RFID에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다^{[2]~[5]}. 이렇듯 다양한 차량 관련 RFID 기술을 기반으로 하는 서비스가 활성화되기 위해서는 무선 인식 태그의 인식률을 높일 필요가 있다. 특히 수동형 RFID 태그는 전원이 불필요하므

「본 연구는 Post BK-21 사업 및 중소기업청과 부산광역시가 지원하는 2010년도 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업 지원으로 이루어졌습니다.」

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

· 논문 번호 : 20100604-04S

· 교신저자 : 민경식(e-mail : ksmin@hhu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 8월 17일

로 저가의 RFID 시스템을 구축하는 데 비용 측면에서 유리하다. 그러나 능동형 RFID 태그에 비해 RFID 리더기가 태그를 판독할 수 있는 인식 거리가 짧고 인식률이 떨어진다는 단점이 있으므로 이를 극복하기 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 인식률과 인식 거리를 동시에 개선하기 위하여 차량 번호판에 능동 및 수동형 태그 안테나를 설계하여 차량 출입 시스템에 적용하고자 한다. 인식 거리를 향상시키기 위해 차량의 다양한 부분에 RFID 시스템을 적용시킬 수 있지만, 저자들은 어떤 차량이라도 없어서는 운행을 할 수 없는 차량 번호판에 태그 안테나를 적용하는 것을 고려하였으며, 번호판이 알루미늄이므로 그 자체가 안테나가 될 수 있다는 점에 착안하여 차량 번호판에 RFID 시스템을 적용하고자 한다. 차량 번호판을 사용하였을 경우, 별도의 안테나 부착이 필요 없고 번호판 자체가 안테나로 동작되므로 이득이 증가될 수 있고, 이로 인해 인식 거리 또한 길어질 수 있다. 또한, 차량 번호판이 앞뒤에 위치되어 있어 인식을 두 번하여 인식률 오류를 줄일 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 차량 번호판의 크기가 상용 태그의 크기보다 매우 크므로 UHF 대역 수동형(860~960 MHz)과 능동형(443.92 MHz)의 주파수를 동시에 적용할 수 있는 이중 공진 안테나를 설계함으로써 인식률 향상을 증가시킬 수 있는 장점도 가질 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 차량 번호판에 적용될 태그 안테나의 구조 설계를 행하였다. RFID 태그 안테나는 부착되어지는 물체에 따라 전기적 특성이 영향을 받아 임피던스 성분이 변하게 되고 이러한 영향은 태그의 인식 거리와 성능 저하의 요인이 되므로 부착 물체 및 태그의 설치 주변 환경을 고려한 설계를 행하여야 한다^[6]. 따라서 2장에서는 태그가 부착될 부착물을 포함한 이론적 설계를 행하였다. 3장에서는 2장에서 설계한 최적 파라미터를 가지고 안테나를 실제 제작하여 측정을 행하였고, 그 결과 값을 바탕으로 이론치와 비교를 행하였다. 4장에서는 결론을 맺었다.

II. 안테나의 구조 및 설계

차량용 번호판인 알루미늄을 이용하여 설계된 능동 및 수동형 안테나를 그림 1에 나타내었다. 설계

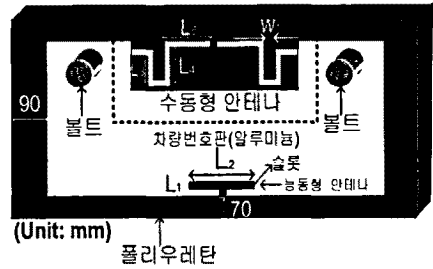


그림 1. 슬롯과 미앤더 선로를 가진 능동 및 수동형 안테나 구조

Fig. 1. The active and passive antenna structure with slot and meander line.

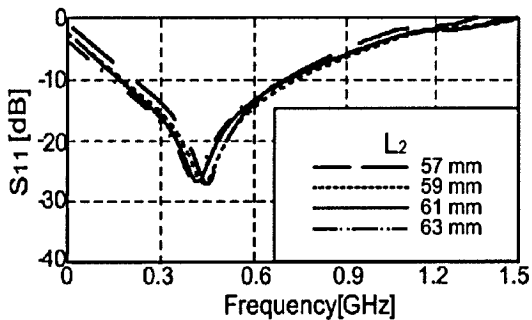
에 고려된 차량 번호판 안테나의 크기는 가장 흔히 사용되어지고 있는 가로 335 mm, 세로 155 mm, 두께 1 mm이며, 순도 99.9%의 알루미늄 재질인 차량 번호판을 사용하였다^[7]. 차량 번호판이 부착될 차량 범퍼의 크기와 차량 번호판의 고정을 위해 사용되는 볼트와 너트도 설계 시에 고려되었다. 범퍼와 볼트 및 너트의 유무에 대한 안테나의 특성 변화는 참고 문헌^[8]에 자세히 설명되어 있다. 차량 번호판 후면에 위치한 범퍼의 복소 비유전율은 실제 차량에 사용되는 폴리우레탄을 고려하여 6.5를 채택하였다. ‘그림 1처럼 안테나의 지향 방향을 조정하여 인식 거리를 개선하기 위해 제안된 안테나의 본체 상단 중앙에 미앤더 라인 구조로 수동형 안테나를 구현하였다. 그림 1에서처럼 양단에 가장자리 근처에 미앤더 라인을 구현함으로써 전류가 미앤더 부분에서 강해지고 빔의 방향도 가장자리 방향을 향하게 된다. 또한, 미앤더 라인을 사용함으로써 공진 주파수의 최적 전기적 파장을 가지며 동작하는 파라미터를 쉽게 구할 수 있다. 능동형 안테나의 경우도 참고문헌 [10]에서 언급하였듯이 수동 안테나와의 전기적 격리 특성을 고려하여 그림 1에 보이는 것처럼 본체 하단 중앙에 위치시켰다. 또한, 슬롯을 삽입하여 전기적인 길이를 만족하는 공진 주파수를 가지도록 능동 안테나를 설계하였다.’ 태그 칩은 Alien사의 Higgs 상용 칩을 설계에 이용하였으며, 태그 칩의 임피던스는 $16 - j131 \Omega$ 이다. 따라서 태그 안테나 설계에서는 $16 + j131 \Omega$ 을 사용하였다. 또한, 본 논문에서의 모든 시뮬레이션 결과는 Ansoft사의 HFSS Tool을 이용하여 수행하였다.

2-1 능동형 태그 안테나의 설계

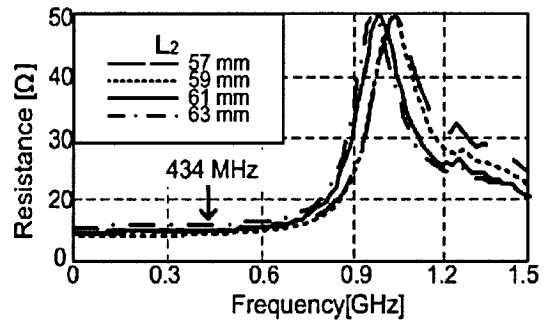
그림 1에서 중앙 하단에 슬롯을 가진 능동형 안테나를 위치시켰다. 제안된 능동형 슬롯 태그 안테나의 특성을 살펴보고자, 특성 변화에 민감한 슬롯의 길이(L_2) 변화에 따른 S_{11} 특성 변화를 그림 2(a)에 나타내었다. " L_2 "를 57 mm에서 63 mm까지 2 mm 간격으로 증가하였다. " L_1 "= 5 mm이고 " L_2 "가 61 mm일 때, 434 MHz에서 -28.21 dB의 계산된 S_{11} 이 얻어졌으며, 지향성 이득은 2.74 dBi로 계산되었다. 그림 2(b)를 분석해 보면 434 MHz에서 " L_2 "가 변화하더라도 임피던스에는 큰 영향을 주지 않는다. 이러한 임피던스의 작은 민감도로 인해 능동형 안테나의 -10 dB 대역폭은 280 MHz에서 620 MHz까지 약 340 MHz의 광대역 특성을 가지는 것을 확인할 수 있다^[9].

2-2 수동형 태그 안테나의 설계

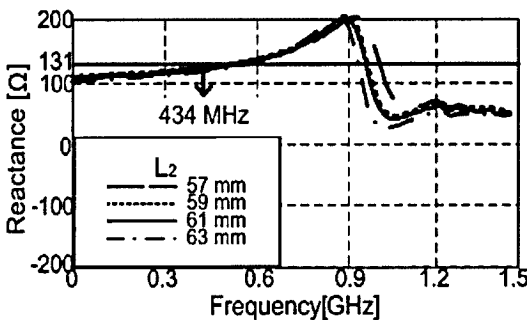
참고문헌 [10]에서는 리더기의 설치 위치에 따른 태그 안테나의 지향성이 고려되지 않는 U자형 수동형 태그 안테나가 설계하였다. 리더기의 설치 위치가 태그 설계에 고려되지 않는 U자형 안테나의 지향성 패턴을 그림 4에서 분석해 보면, θ 가 0도이고 ϕ 가 0도(차량의 정면 방향)일 때, 그림 4에서처럼 빔의 최대 지향성 각도는 $\pm 110^\circ$ 부근에서 나타난다. 따라서 안테나가 차에 부착되었을 경우, 전파의 주 진행 방향이 차량 번호판 후면(범퍼 방향, -YZ축 방향)이 되어 좌우에 위치한 리더기가 전파를 인식하지 못해 차량이 게이트를 통과하지 못하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 지향성 패턴을 개선하기 위해 U자형 태그 안테나 대신 미앤더 선로를 가진 수동형 안테나로 재설계하였다.



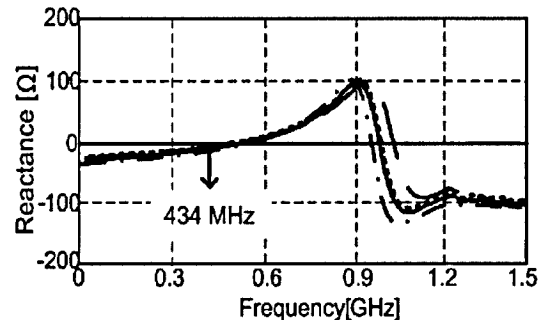
(a) " L_2 "에 의한 반사 손실
(a) Return loss by " L_2 " variation



(b) 입력 저항(16 Ω)
(b) Input resistance(16 Ω)



(c) 입력 안테나 리액턴스(131 Ω at 434 MHz)
(c) Input antenna reactance(131 Ω at 434 MHz)



(d) 칩 임피던스가 고려된 안테나 리액턴스 (0 Ω at 434 MHz)
(d) Antenna reactance considered chip impedance (0 Ω at 434 MHz)

그림 2. 길이(" L_2 ") 변화에 따른 S_{11} 과 입력 임피던스 비교
Fig. 2. Comparison of S_{11} and input impedance respect to the length(" L_2 ") variation.

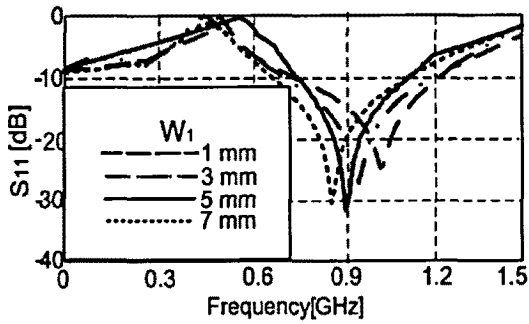


그림 3. “ W_1 ” 파라미터의 길이 변화에 의한 계산된 S_{11}

Fig. 3. Calculated S_{11} by length variation of “ W_1 ” parameters.

그림 3은 그림 1에서 제안된 수동형 태그 안테나의 미앤더 선로 사이 간격 “ W_1 ”에 대한 계산된 S_{11} 결과 값의 비교를 나타낸다. “ W_1 ”이 작을수록 캐패시턴스 성분이 증가하여 수동형 태그 안테나의 공진 주파수가 고주파수대로 이동하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 설계에서는 5 mm를 “ W_1 ”의 최적 설계 값으로 하였다. 계산된 S_{11} 과 지향성 이득 값은 900 MHz에서 각각 -32.24 dB, 3.42 dBi로 나타났다.

그림 4는 수동형 안테나의 계산된 지향성 패턴의 비교를 나타낸다. 참고문헌 [10]의 U자형 안테나의 주 빔 방향의 문제점을 미앤더 선로와 차량 범퍼의 크기를 고려하여 전류의 흐름을 제어함으로써 지향성 방향을 조정할 수 있었다. 미앤더 선로 구조의 계산된 전계 지향성 패턴을 분석해 보면 최대 지향성

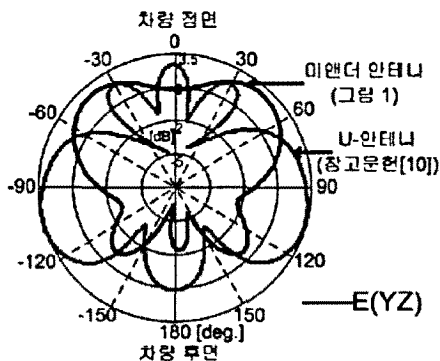


그림 4. U자와 미앤더 선로를 가진 수동형 안테나 구조에 따른 지향성 패턴 비교

Fig. 4. Comparison of radiation pattern with respect to the passive antenna structure between with U-type and with meander line.

표 1. 최적화된 태그 안테나의 계산된 파라미터 값
Table 1. The calculated parameter values of the optimized tag antenna(unit: mm).

안테나 입력 임피던스	L_1	L_2	L_3	L_4
$16+j131$ [Ω]	5	61	22	30
설계 칩 임피던스	L_5	W_1	Port size	
$16-j131$ [Ω]	30	5	2×2	

각도 ϕ 가 -45° 와 $+45^\circ$ (+YZ축 방향)에서 나타났다. 즉, 리더기의 위치가 정면이 아닌 차량 진행 방향의 도로 양측에 고정되어 있다고 가정하면, 이때 진행 차량을 기준으로 리더기의 방위 방향각은 $\pm 45^\circ$ 근처이므로 인식률이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 또한, 미앤더 선로 안테나의 계산된 지향성 이득 값은 3.42 dBi였다.

표 1은 그림 1의 설계에서 구한 파라미터들을 정리한 표이다.

III. 제작 및 측정 결과

제안된 안테나의 계산된 파라미터들의 타당성을 검증하기 위해, 설계된 안테나의 제원으로 제작 및 측정을 하였다. 제작된 안테나의 S_{11} 및 대역폭 측정은 Anritsu사의 Vector network analyzer 37369D를 사용하였다.

그림 5는 실제 제작된 안테나를 보여 준다. 1 mm

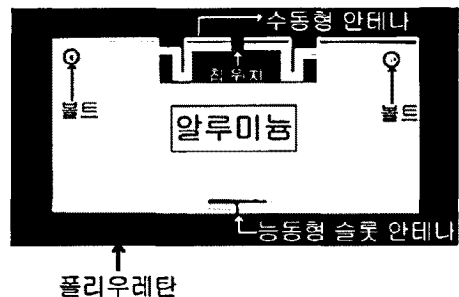


그림 5. 알루미늄 도체를 이용한 제작된 차량용 번호판 안테나

Fig. 5. The fabricated vehicle license plate antenna using aluminium conductor.

의 두께를 가진 알루미늄 도체를 이용하여 제작하였다.

그림 6은 측정된 안테나와 시뮬레이션 결과 값의 S_{11} 비교를 나타낸다. S_{11} 의 측정 및 비교를 평가·분석하기 위해서는 4 단계의 과정을 거쳐 확인할 수 있다. 이를 정리하면 아래와 같다.

① 칩 임피던스의 공역 임피던스를 가지는 태그 안테나를 설계한다. 본 논문은 $16 - j131 \Omega$ 을 가진 상용 태그 칩을 사용하였기 때문에, 안테나 임피던스로는 칩과 공역할 수 있는 $16 + j131 \Omega$ 을 설계에 적용하였다. 계산된 결과는 그림 6에서 ①로 나타난다.

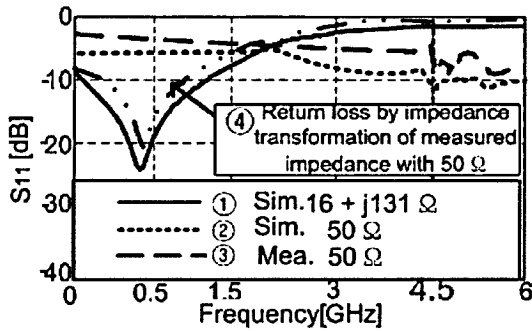
② 안테나의 재설계 과정을 거친다. 그 이유로서는 측정용으로 많이 사용되고 있는 계측 장비들은 대부분 50 Ω 의 전송선을 사용하고 있기 때문이다. 하지만 태그 안테나의 입력 임피던스는 칩 임피던스에 의존하므로 입력 임피던스가 50 Ω 이 아니다. 따라서 실제 측정에서 설계한 태그 안테나의 입력 임피던스가 50 Ω 이 아니므로, 능동형 태그 안테나의 경우, 칩 임피던스를 고려하여 설계한 434 MHz에서

공진하지 않고 그림 6(a)의 파선(②)과 같이 4.5 GHz에서 공진하는 특성을 보인다. 이는 50 Ω 의 전송선과 안테나의 입력 임피던스가 부정합되어 일어나는 자연스런 현상이다. 그림 6(b)의 수동형의 계산 결과도 ②와 같이 나타난다.

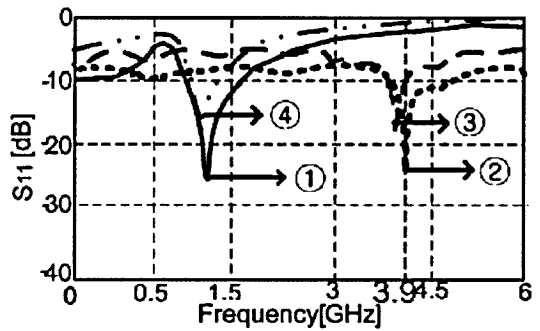
③ 50 Ω 으로 설계·제작된 안테나를 측정한다. 설계 순서 ②에서 얻은 계산 결과를 바탕으로 안테나를 제작하고 계측 장비들을 이용하여 50 Ω 에서 측정을 한다. 그 결과를 그림 6(a)~(d)에서 ③으로 나타내었다.

④ 제한한 설계의 타당성을 보이기 위해 50 Ω 전송선으로 측정하여 얻은 측정 데이터를 임피던스 변환하여 나타낸다. 식 (1)은 태그 안테나와 칩 사이의 임피던스 변환에 의해 구해지는 S_{11} 이다. Z_a 는 태그 안테나의 측정 임피던스이고, Z_c 는 태그 칩의 임피던스이다.

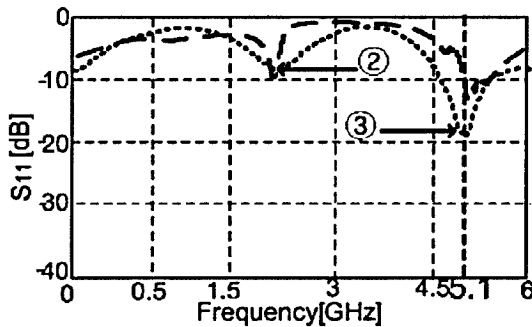
$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_c^*}{Z_a + Z_c}, \quad 0 \leq |\Gamma| \leq 1 \quad (1)$$



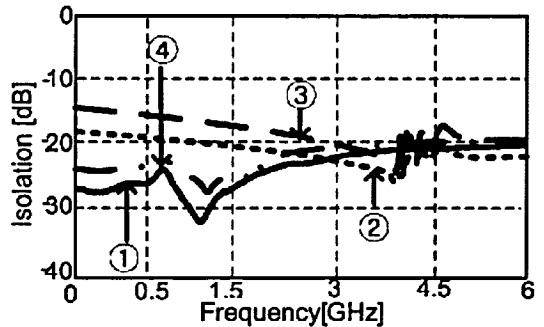
(a) 능동형 안테나 S_{11}
(a) The active antenna S_{11}



(b) 범퍼를 가진 수동형 안테나 S_{11}
(b) The passive antenna S_{11} with bumper



(c) 범퍼가 없는 수동형 안테나 S_{11}
(c) The passive antenna S_{11} without bumper



(d) 격리도
(d) Isolation

그림 6. 계산되고 측정된 반사 손실 및 격리도 결과 값 비교

Fig. 6. Comparison of the calculated and the measured S_{11} and isolation.

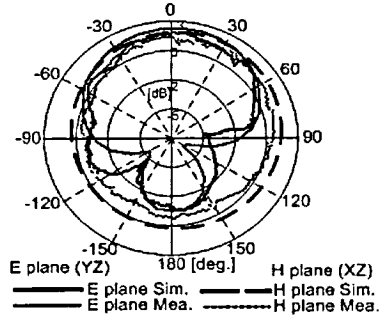
임피던스 변환 순서는 식 (1)에서 태그 안테나의 측정 임피던스와 칩 임피던스가 주어지면 계산할 수 있다. 계산된 Γ 의 절대 값을 이용하여, 식 (2)을 통해 반사 손실을 구한다.

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

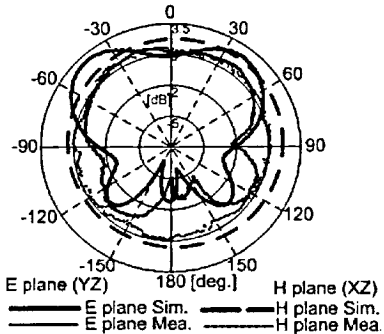
능동형 안테나의 S_{11} 그래프인 그림 6(a)으로부터 알 수 있는 것처럼, 50 Ω 급전으로 계산된 것과 50 Ω으로 제작된 안테나의 반사 손실이 잘 일치하였고, 50 Ω 급전선으로 측정된 태그 안테나의 임피던스를 변화(그림 6의 ④)하여 그림 6의 ①과 비교한 결과도 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 (b)의 범퍼가 있는 수동형 안테나 역시 계산된 ①과 임피던스 변환된 ④의 값과 비교하여 보아도 잘 일치함을 보여 준다. 또한 그림 (c)는 범퍼가 없는 경우, 수동형 안테나의 반사 손실을 보여 준다. 앞서 언급한 방법과 동일하게 측정하였고 측정된 안테나와 계산된 결과 값이 잘 일치함을 보여 준다. 그림 (d)는 능동형 안테나와 수동형 안테나의 격리도 값을 보여 준다. 계산 값과 측정된 값을 비교해 보면 -20 dB 이하의 높은 격리도 값을 확인할 수 있다. 우수한 격리도 값을 얻는 원인은 중앙 상단에 위치한 수동형 안테나와 하단에 위치한 능동형 슬롯 안테나 사이의 거리는 약 0.35 λ로 수동형 안테나의 파장인 0.25 λ보다 안테나로 사용된 차량 번호판이 커서 높은 격리도 값을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 7(a)는 그림 5의 안테나를 전파암실에서 측정한 방사 패턴을 시뮬레이션 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 능동형 안테나의 공진 주파수 4.5 GHz와 수동형 안테나의 공진 주파수인 3.9 GHz에서 비교한 (YZ)축 전계와 (XZ)축 자계의 계산 값은 측정된 값과 잘 일치하고 있다. 능동 및 수동형 안테나의 측정된 이득 값은 2.32 dBi와 3.1 dBi로 관측되었다. 또한, 그림 7(c)와 같이 범퍼가 없는 수동형 안테나의 지향성 방향은 태그 안테나가 부착될 차량의 범퍼에도 영향을 받는 것을 알 수 있다. 따라서 범포를 고려한 태그 안테나의 지향성 방향이 범퍼를 포함하지 않는 태그 안테나의 지향성 방향보다 리더기의 위치가 고려된 적절한 방사 패턴이라고 할 수 있다.

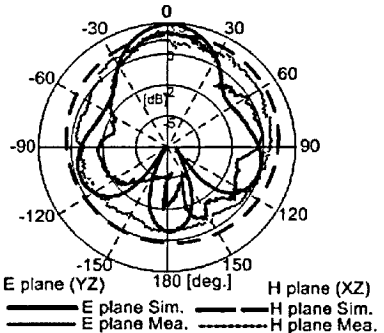
그림 8은 각도에 따른 최대 인식 거리를 측정할 결과를 보여주고 있다. 또한, 안테나만 있는 경우도



(a) 능동형 안테나의 방사 패턴(50 Ω @4.5 GHz)
(a) Radiation pattern of active antenna(50 Ω @4.5 GHz)



(b) 범퍼에 부착된 수동형 안테나의 방사 패턴(50 Ω @3.9 GHz)
(b) Radiation pattern of passive antenna with bumper(50 Ω @3.9 GHz)



(c) 범퍼가 없는 수동형 안테나의 방사 패턴(50 Ω @5.1 GHz)
(c) Radiation pattern of passive antenna without bumper(50 Ω @5.1 GHz)

그림 7. 제작된 태그 안테나의 계산되고 측정된 방사 패턴 비교

Fig. 7. The comparison of calculated and measured radiation pattern of the fabricated tag antenna.

인식 거리도 측정되었다. 리더기는 ALIEN사의 ALR-9800(4W EIRP)을 사용하였으며, 이득은 6 dBi, RF

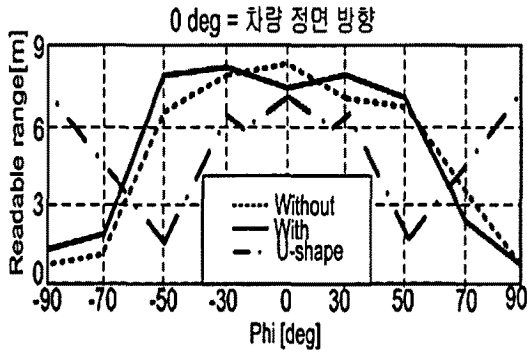


그림 8. 수동형 안테나의 각도에 따라 측정된 인식 거리

Fig. 8. The measured readable range by angle of passive antenna.

power는 30 dBm이다. 그림 8에서 0도(태그 안테나와 리더 안테나가 서로 마주 보고 있는 각도)일 때, 안테나만 있는 경우 측정된 최대 인식 거리는 0°에서 8.6 m였고, 실제 차량의 범퍼에 부착된 태그 안테나의 측정된 인식 거리는 -45° 와 $+45^\circ$ 에서 8.5 m의 최대 인식 거리를 보였다. 또한, 미앤더 선로의 안테나가 참고문헌 [10]의 U자 수동형 안테나의 인식 거리보다 -45° 와 $+45^\circ$ 에서 약 5 m 긴 인식 거리를 가지는 것을 확인하였다. 따라서 차량에 적용하기 위해서는 참고문헌 [10]의 U자형 태그 안테나보다는 리더기의 위치에 적합한 미앤더 선로가 유리함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 인식 거리를 개선하기 위해 차량 번호판을 이용하여 RFID 태그 안테나를 설계하였고, 리더기의 위치를 고려하여 지향성 방향을 조절하기 위해 태그 안테나가 부착되는 범퍼를 고려하였다. 제안된 태그 안테나는 가로 335 mm, 세로 155 mm, 두께 1 mm를 가지며, 434 MHz와 900 MHz에서 공진하였고, 측정된 이득은 2.32 dBi와 3.1 dBi이다. 인식 거리를 개선하기 위해 참고문헌 [10]의 U자 수동형 안테나를 미앤더 선로의 안테나로 재설계하여 전류의 흐름을 조절하였다. 재설계된 미앤더 선로의 안테나와 U자 안테나와 비교하여 방사 패턴과 인식 거리를 살펴본 결과, 방사 패턴의 경우, 미앤더 선로를 가진 수동형 안테나의 최대 지향성 패턴은 리더

기가 위치할 도로 양측의 좌우 -45° 와 $+45^\circ$ 사이를 커버를 할 수 있는 빔 패턴을 가졌으며, 인식 거리 역시 $\pm 45^\circ$ 에서 최대 인식 거리인 8.5 m로 측정되었다. 이러한 인식 거리는 U자 수동형 태그 안테나보다 $\pm 45^\circ$ 에서 약 5 m 정도 더 긴 인식 거리를 보였다. 향후 연구 과제로 차체와 지면까지를 모두 고려한 태그 안테나의 특성에 대한 평가 검토가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] F. C. Ronald, "Smart card application in integrated transitfare, parking fee and automated toll payment systems the maps concept", *Telesystems Conference, 'Commercial Applications and Dual-Use Technology', Conference Proceedings.*, pp. 21-25, 1993.
- [2] Z. Pala, N. Inanc, "Smart parking application using RFID technology", *RFID Eurasia, 2007 1st Annual*, pp. 1-35, Sep. 2007.
- [3] Jan-Dong Tseng, Wen-De Wang, and Rong-Jie Ko, "An UHF band RFID vehicle management system", *Anti-counterfeiting, Security, Identification, 2007 IE-EE International Workshop*, pp. 390-393, Apr. 2007.
- [4] Jea-Hoon Choi, Ui-Sheon Kim, and Young-Man Um, "Design of antennas for the UHF RFID system", *IWAT International Workshop*, pp. 75-78, Mar. 2008.
- [5] Jung-Hyun Joo, Suk-II Kim, "Location and identification of windshield attached RFID tags", *The Korean Institute of Electromagnetic and Science*, 35(2), pp. 341-346, Oct. 2009.
- [6] 이상운, 조치현, 이기근, 추호성, 박익모, "등방성 복사 특성을 가지는 U-형태의 RFID 태그 안테나", *한국전자과학회논문지*, 19(5), pp. 523-532, 2008년 5월.
- [7] <http://www.mltm.go.kr>
- [8] Dae-Hwan Park, Kyeong-Sik Min, "Design for a tag antenna using license plate attached vehicle bumper", *The Korean Institute of Electromagnetic and Science*, 20(6), pp. 535-543, Jun. 2009.
- [9] 민경식, 김진우, "RFID 태그용 다이폴 안테나의 부착 지면에 따른 실험적 성능 평가", *한국전자*

파학회논문지, 18(3), pp. 273-281, 2007년 3월.

[10] Dae-Hwan Park, Kyeong-Sik Min, "Design of active and passive license plate tag antenna for vehicle

RFID system", *The 2009 International Symposium on Antenna and Propagation*, pp. 863-866, Oct. 2009.

박 대 환



2009년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)

2009년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정

[주 관심분야] RFID, 소형 안테나 설계 등

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)

1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)

1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1997년 3월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 교수

[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM (Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성 통신 및 이동 통신용 안테나 설계 등