

차량 RKE 리더기용 PIFA형 스파이럴 안테나의 설계

Design of PIFA type Spiral Antenna for Vehicle RKE Reader

오 동 준* · 윤 호 진* · 정 봉 식*

Dong-Jun Oh · Ho-Jin Yun and Bong-Sik Jeong

요 약

본 논문에서는 자동차에 사용되는 RKE(Remote Keyless Entry) 시스템용인 중심주파수가 315MHz, 433MHz 및 447MHz인 스파이럴 안테나를 PCB(Printed Circuit Board)상에 설계하고자 한다. 안테나는 선로 급전하였으며, 급전 부에는 중심주파수 조정과 임피던스 정합이 용이하도록 PIFA(Planar Inverted-F Antenna) 구조를 적용하였다. 안테나는 PCB상에 인쇄되며, PCB 면적의 5% 정도인 30mm×20mm 이내의 크기를 갖도록 설계하였고, PCB상의 회로소자, ECU (Electronic Control Unit) 케이스, ECU가 장착되는 차체의 영향을 고려하여 설계하였다. 또한 스파이럴 선로상에 칩 인덕터를 삽입하여 315MHz와 447MHz에서 이중공진을 일으키는 이중대역 스파이럴 안테나를 설계하였다. 최종 설계된 안테나는 측정을 통해 안테나 사양을 만족함을 확인하였고, 안테나를 ECU에 장착하여 실험한 결과, 전방향에서 20m이상의 수신거리를 가지면서 정상적으로 동작함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the spiral antenna with the center frequencies of 315MHz, 433MHz, and 447MHz for RKE system of a vehicle is designed on PCB. The antenna is microstrip line-fed, and applied PIFA concept near the feeding part to easily tune center frequency and input impedance. The PIFA-type spiral antenna with the size of 30mm×20mm is designed on printed PCB by considering the effect of circuits and components on PCB, ECU case, and vehicle body. Also chip inductor inserted dual-band spiral antenna of 315MHz and 447MHz is designed. We found that the antenna designed on PCB satisfied the antenna specifications through measurement and field test.

Keywords : RKE, spiral antenna, PIFA, PCB, ECU, dual-band

I. 서 론

최근, 인간의 불필요한 개입을 줄이고 인간 중심의 자동화를 목적으로 무선 자동인식 기술인 RFID (Radio Frequency IDentification) 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-2]. RFID 기술은 차량 탑승자의 편의와 안전을 도모하기 위하여 자동차 분야에도 적용되고 있다. 미국에서는 2006년부터 타이어 결함이나 펑크로 인한 인명 사고를 막기 위해서 모든 차량에 타이어 압력 모니터링 시스템(TPMS, Tire Pressure Monitoring System)의 장착을 의무화하고 있어 이에 대한 연구가 활발하게 이

루어지고 있다[3-4]. 또한, 원격으로 차량문을 개폐하고 시동을 걸 수 있는 RKE(Remote Keyless Entry) 시스템에 대한 연구도 진행되고 있다. RKE 분야에서는 PASE (PASSive Start and Entry) 시스템을 이용한 스마트 키 시스템(Smart Key System)에 대한 연구가 이루어지고 있다[4-6].

한편, 미국 및 유럽에서는 RKE 및 TPMS 주파수 대역으로 315MHz와 433MHz 대역을 사용하고, 우리나라는 447MHz 대역을 사용하고 있다. 최근 정보통신부는 수입 자동차협회의 요청에 따라 433MHz 대역을 배분한 바 있다[3-4].

RKE 및 TPMS 리더기 안테나는 주로 헤리컬 및 모노폴 안테나를 사용한다. 이들 안테나는 길이가 5~10cm 정도이며, 별도 제작된 후 리더기에 연결하여 사용한다. 최근에는 리더기와 일체형으로 제작하기 위하여 안테나의 소형화가 필요하다[7-8]. 일체형 안테나는 신호처리

* 동아대학교 전자공학과
논문 번호 : 2007-4-34
심사 완료 : 2008. 4. 5

접수 일자 : 2007. 12. 11

회로와 함께 PCB 상에 동시 설계되므로 제작이 용이하고 리더기의 소형화가 가능하다는 장점을 갖는다.

또한, 하나의 안테나로 국내외에서 동시에 사용할 수 있도록 315MHz와 433MHz 혹은 447MHz에서 이중 공진을 일으키는 이중 대역 안테나를 설계할 필요가 있다. 안테나의 이중대역 특성은 안테나 내부에 슬릿이나 슬롯을 삽입하거나, 기생소자를 이용하거나, 안테나 선로 중간에 인덕터를 삽입하는 방법 등으로 구현될 수 있다[9-11].

본 연구에서는 미국의 315MHz, 유럽의 433MHz, 국내의 447MHz 대역을 수용하는 RKE 내장형 안테나와 이중대역 안테나를 ECU의 PCB상에 설계한다. 안테나는 크기와 복사특성을 고려하여 스파이럴 구조와 PIFA(Planar Inverted-F Antenna) 개념을 접목한다[9]. 안테나는 중심주파수가 315MHz, 433MHz, 447MHz이며, 안테나 입력단의 SAW 필터를 고려한 경우 -10dB 대역폭이 200kHz 이상이며, 30mm×20mm이내의 크기로 설계한다.

II. 안테나 구조

차량에 장착되는 RKE 리더기용 안테나는 Key FOB을 가진 운전자가 차량 주변의 일정한 거리에서 리더기와 무선 통신할 수 있도록 차량을 중심으로 전방향 복사패턴을 가져야 하며, 리더기의 본체와 일체형으로 제작할 수 있는 소형이면서 내장형이 되어야 한다. 이러한 특성을 갖는 안테나 구조로는 그림 1과 같이 스파이럴 구조가 있다. 그림 1(b)는 1(a)를 위에서 본 2차원 그림이다. 스파이럴 구조는 안쪽으로 감아도는 형태를 취하고, 스파이럴 선로의 한쪽은 접지면과 단락판으로 연결되어 있다. 급전점은 단락판으로부터 Fx 거리에 위치한다.

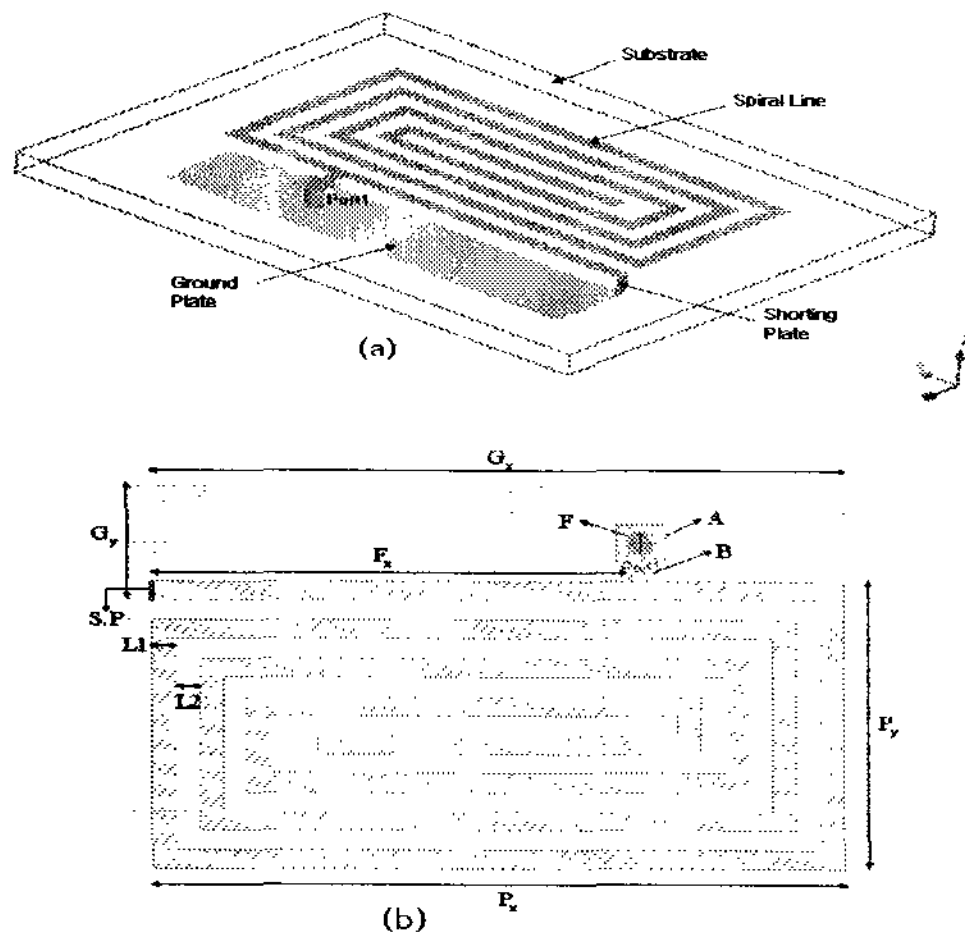


그림 1. PIFA형 스파이럴 안테나 구조
Fig. 1. Structure of PIFA type spiral antenna

그림 1의 스파이럴 안테나는 스파이럴 구조가 형성된 패치(Patch)면의 반대쪽 접지면상의 도체를 제거하여 패치면과 접지면의 양 방향으로 복사가 이루어지도록 한다. 이와 같이 패치면의 반대쪽에 접지도체가 없는 경우에는

접지도체가 존재하는 경우에 비해 중심주파수가 높아지는 특성이 있어 중심주파수를 낮추기 위해서 스파이럴 선로의 길이를 추가적으로 증가시켜야 한다. 스파이럴 선로의 입력측 끝단은 단락면(Shorting Plate)을 통해 접지도체에 연결하여 PIFA 구조로 형성시켜 안테나의 소형화를 도모한다. 안테나의 급전점으로부터 단락면까지를 정합 브리지로 사용하면 정합 브리지상의 급전점의 위치 조정을 통해 임피던스 정합을 쉽게 구현할 수 있다.

III. 안테나 설계 및 실험

먼저, PIFA 개념을 적용하여 중심주파수가 315MHz인 스파이럴 안테나를 3cm×2cm이내의 크기로 설계하고자 한다. 표 1은 안테나 사양이다. 복사패턴은 안테나 패치면과 도체면의 양방향으로 복사가 일어나는 아령 모양의 패턴을 갖도록 한다. 안테나 기판은 리더기 PCB 기판과 재질이 동일한 비유전율이 4.4이고, 두께가 60mil인 FR4_epoxy를 사용한다. 본 논문에서는 Ansoft Designer 3.5 및 CST를 사용하여 안테나를 시뮬레이션 하였고, 안테나 파라메타는 HP8510을 사용하여 측정하였다.

안테나는 그림 1과 같이 안쪽으로 감기는 직사각형의 스파이럴 형태이고, 스파이럴 선로의 선폭과 선간 간격은 1mm로 고정한다. 표 2는 안테나 급전점(Fx)의 위치에 따른 중심주파수와 대역폭 변화를 보여준다. 급전점이 단락면으로부터 멀어질수록, Fx가 증가할수록 중심주파수는 323MHz에서 320MHz로 3MHz 정도 낮아지는 반면, 반사손실은 3.42dB에서 14.85dB로 크게 증가하므로 임피던스 정합상태가 대폭 개선됨을 알 수 있다.

표 1. 안테나 사양
Table 1. Specification of antenna

항목	내용
공진주파수, fc	315MHz
대역폭	1MHz
안테나 크기	30mm×20mm

표 2. 스파이럴 안테나의 급전점에 따른 특성 변화
Table 2. Effect of feeding point of spiral antenna

Fx[mm]	10	15	19	20.5
중심주파수, fc [MHz]	323	322	321	320
반사손실 @ fc [dB]	3.42	7.33	11.68	14.85

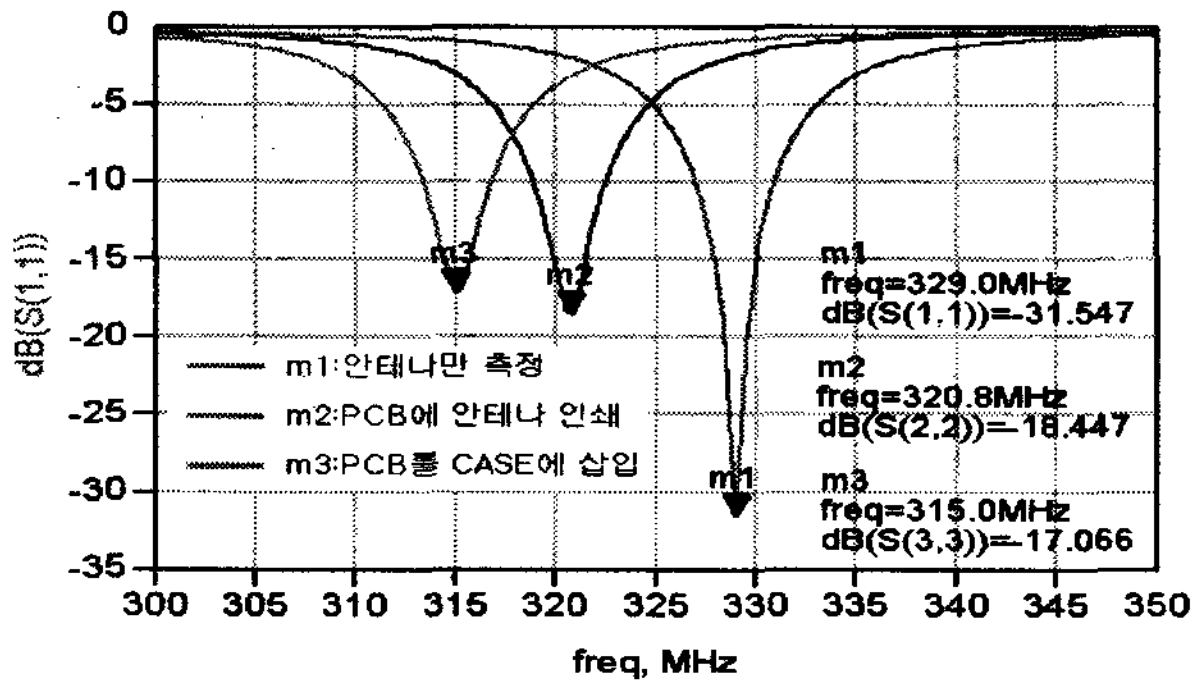


그림 2. 315MHz 스파이럴 안테나의 반사손실 측정 결과
Fig. 2. Measured return loss of 315MHz spiral antenna

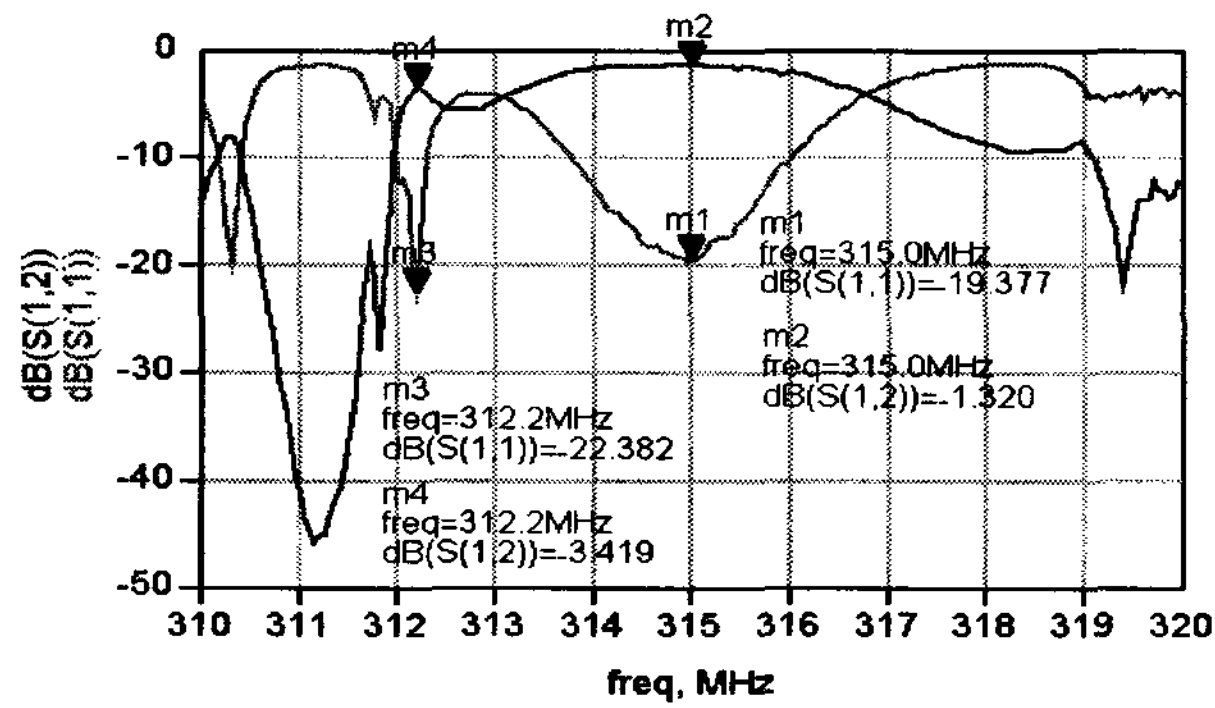


그림 3. 315MHz SAW 필터의 산란 특성

Fig. 3. Scattering parameter of 315MHz SAW filter

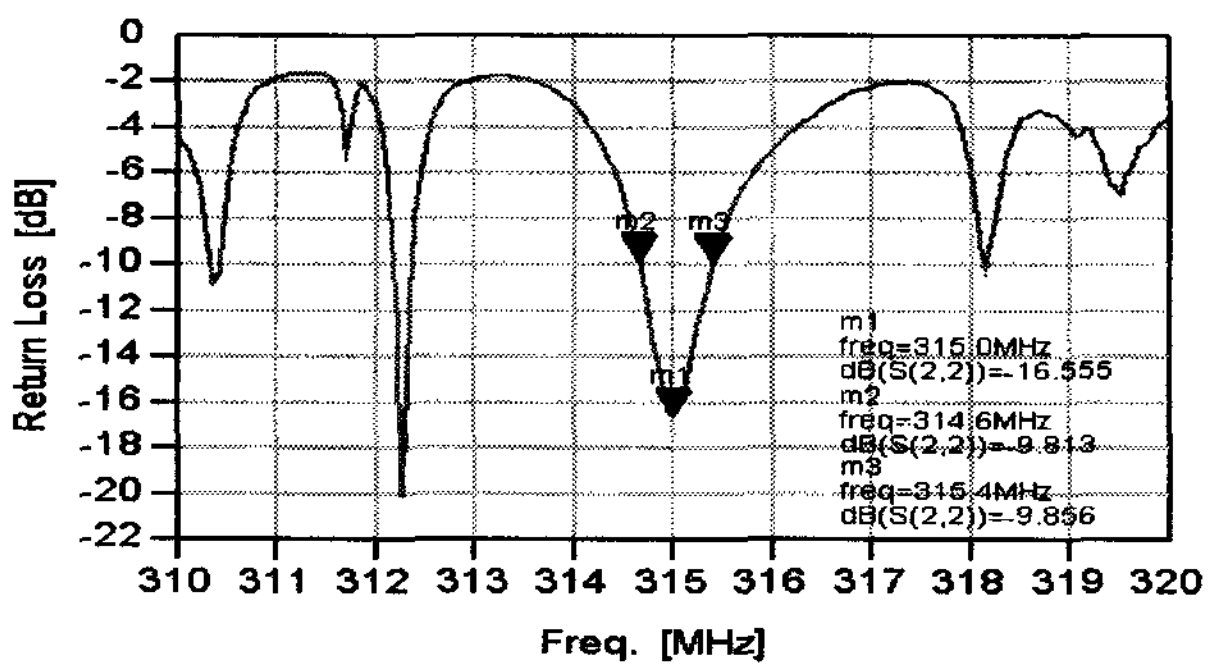


그림 4. SAW 필터를 포함한 315MHz 스파이럴 안테나의 반사손실 측정 결과

Fig. 4. Measured return loss of 315MHz spiral antenna with SAW filter

그림 2는 315MHz PIFA형 스파이럴 안테나의 반사손실 특성을 측정한 것이다. m1은 PCB와 동일한 재질의 FR4_epoxy 기판에 안테나를 제작하여 측정한 반사 손실이고, m2는 PCB 상에 제작된 안테나의 입력단에 연결된 SAW 필터의 입력부에서 측정한 반사 손실이고, m3는 안테나가 제작된 PCB를 RKE 리더기 케이스에 장착한 후 측정한 반사 손실이다. m2는 m1에 비해 공진주파수가 8.2MHz 낮고, m3은 m2에 비해 5.8MHz 낮아짐을 볼 수 있다. 리더기 케이스는 비유전율이 약 3.03인 유전체로서

안테나의 공진주파수를 약 6MHz 낮추는 효과가 있으므로 리더기 케이스를 고려하여 안테나를 설계해야 한다.

안테나의 급전부에는 0Ω저항, SAW 필터, 인덕터가 직렬로 연결된다. 필터는 KEC사의 KF315V SAW 필터를 사용하였으며, 필터 입력부에는 인덕터가 연결된다. 그림 3은 SAW 필터의 산란특성을 측정한 것으로, 중심주파수 315MHz에서 2MHz의 대역폭을 갖는다. 그림 4는 안테나 급전부에 저항, 필터, 인덕터를 연결한 상태에서 인덕터의 입력부에서 측정한 반사손실 특성이다. 중심주파수는 315MHz이고, 반사손실은 16dB이며, SAW 필터를 포함한 -10dB 대역폭은 0.8MHz로 측정되었다.

그림 5(a)와 (b)는 PCB상에 인쇄된 315MHz 스파이럴 안테나와 안테나가 장착되는 RKE 리더기 케이스이다. 표 3은 최종 설계된 315MHz 스파이럴 안테나의 설계값이다. 안테나 크기는 29mm×15mm이고, 급전점은 단락판으로부터 21.5mm 떨어진 곳에 형성된다.

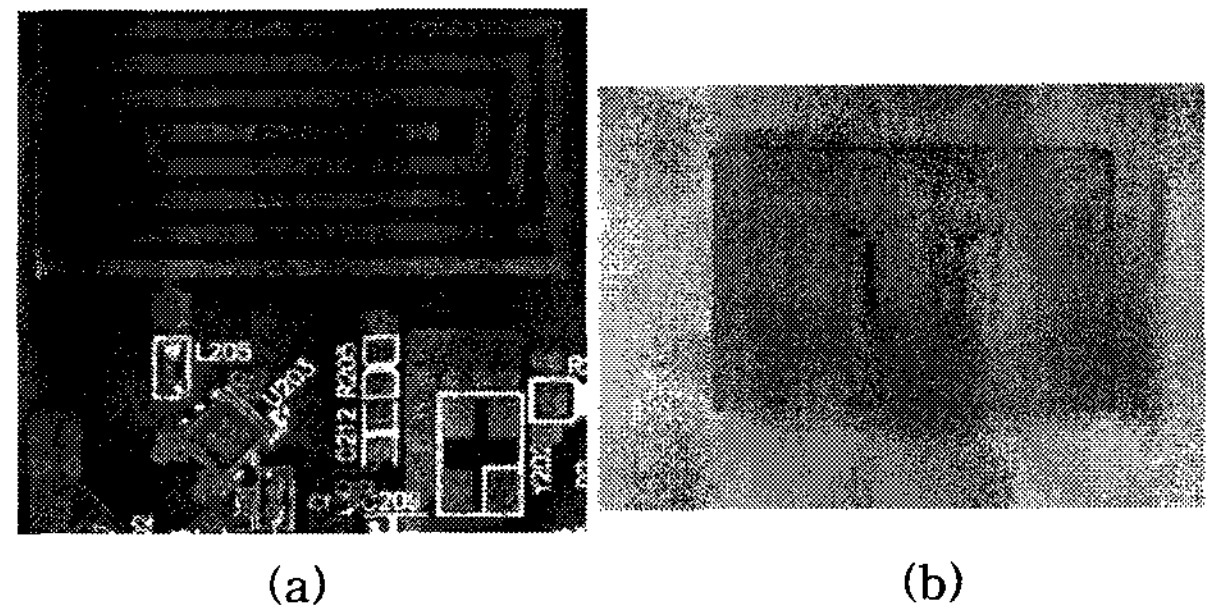


그림 5. 315MHz 스파이럴 안테나와 RKE 리더기 케이스
Fig. 5. 315MHz spiral antenna and RKE reader case

표 3. 315MHz 스파이럴 안테나의 설계값 (그림 1 참조)
Table 3. designed values of 315MHz spiral antenna

Px	Py	Fx	Gx	Gy	L1	L2
29mm	15mm	21.5mm	29mm	6mm	1mm	1mm

그림 6은 CST STUDIO SUITE™ 2006을 이용하여 315MHz 스파이럴 안테나를 장착한 RKE 리더기를 차량 운전석에 설치한 후, 차량 주변에서의 복사특성을 시뮬레이션 한 것으로 수평면에 대해 전방향(omni-directional) 복사특성을 가짐을 알 수 있다. 그림 7과 표 4는 RKE 리더기가 설치된 차량으로부터의 수신거리를 차량 주변의 8개 방향에서 측정한 것이다. 수신거리는 RKE 리더기와 태그(Key Fob) 간의 정상적인 동작이 가능한 리더기와 태그 사이의 최대 거리를 의미한다. 안테나의 특성, 리더기의 장착 상태, 차체 등의 영향으로 인해 다른 방향에 비해 6번 방향에서 상대적으로 수신거리가 짧게 나타난다. 하지만 6번 방향에서도 수신거리가 20m이상으로 측정되어 모든 방향에서 수신거리가 20m이상이어야 한다는 조건을 만족하고 있다.

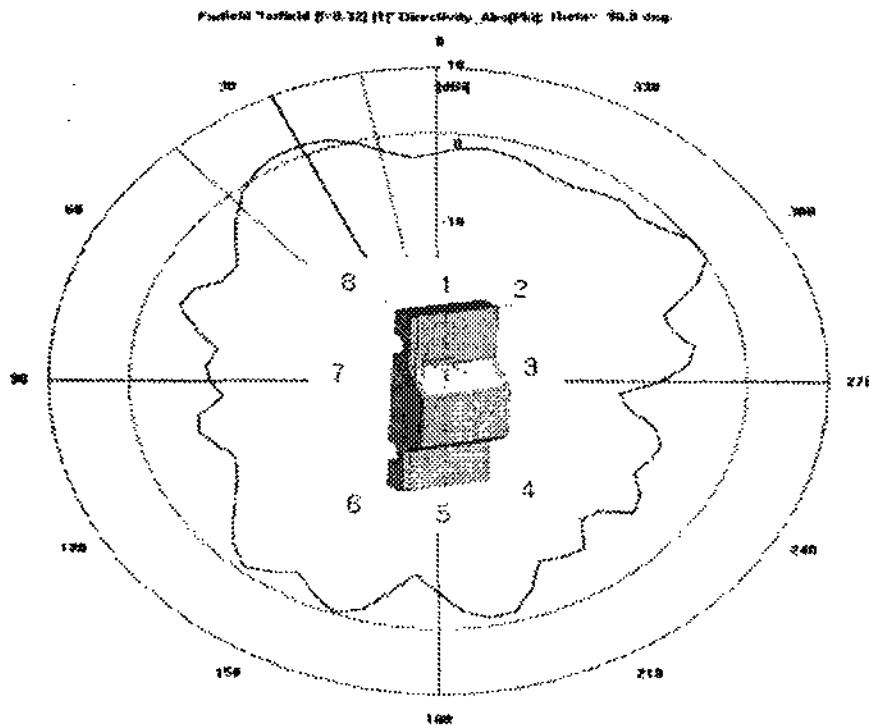


그림 6. 차량내의 RKE 리더기 안테나의 시뮬레이션 복사 특성

Fig. 6. Simulated radiation characteristics of RKE reader in vehicle

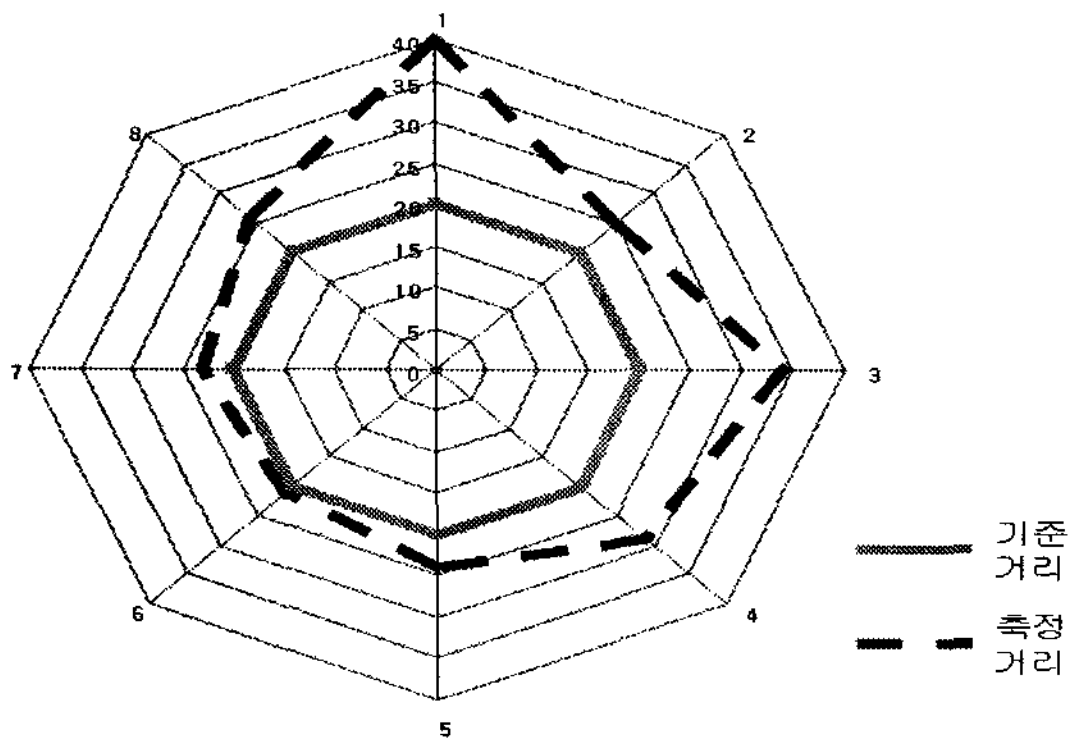


그림 7. 차량내의 RKE 리더기로부터 수신거리

Fig. 7. Receiving distance from RKE reader in vehicle

표 4. 차량내의 RKE 리더기로부터의 방향별 수신거리
Table 4. Receiving distance from RKE reader in vehicle

위치	1	2	3	4	5	6	7	8
거리(m)	40	25	34	29	24	21	23	26

이제, 유럽용인 433MHz와 국내용인 447MHz 안테나를 설계하고자 한다. 안테나 구조는 315MHz 안테나와 동일하다. 이들 안테나의 공진주파수는 315MHz 보다 높으므로 315MHz 안테나에 비해 스파이럴 선로의 길이가 짧아진다. 표 5는 433MHz 및 447MHz 안테나의 최종 설계값이다. 급전위치는 최적화를 통해 각각 단락판으로부터 17mm 및 16mm인 곳으로 하였다. 최종 설계된 안테나 크기는 각각 23.5mm×13mm와 22.6mm×13mm이다. 이때 접지 도체와 스파이럴 패턴은 1mm 정도 겹치며, 선폭 및 선간 간격은 1mm로 하였다. 접지 도체와 스파이럴 패턴을 포함한 안테나는 23.5mm×18mm의 크기로 PCB 면적(115mm×77mm)의 5% 이내에 해당한다. 그림 8과 9는 PCB상에 제작된 433MHz 및 447MHz 안테나를 리더기 케이스에 장착하기 이전과 이후의 반사손실을 측정 한 것

이다. 그림 8에서 m1은 케이스가 없는 경우로 440.1MHz이고, m2는 리더기 케이스에 삽입한 경우로 434.6MHz로서 중심주파수가 5.5MHz 낮아졌으며 대역폭은 7.4MHz이다. 그림 9는 케이스 유무에 따라 중심주파수가 5.1MHz 변화였으며, 케이스가 있는 경우 중심주파수가 448MHz이고 대역폭이 6.3MHz로 측정되었다. 그림 8과 9로부터 케이스의 영향으로 안테나의 공진주파수가 약 6MHz 낮아짐을 확인할 수 있다. 표 6은 최종 설계된 315MHz, 433MHz, 447MHz용 스파이럴 안테나를 리더기 케이스에 넣고 측정한 안테나의 주파수 특성을 보여준다.

표 5. 433/447MHz 안테나의 설계값

Table 5. designed values of 433/447MHz antenna

항목	433MHz 안테나	447MHz 안테나
안테나 크기	23.5mm×13mm	22.6mm×13mm
접지면	23.5mm×6mm	22.6mm×6mm
급전위치	17mm	16mm

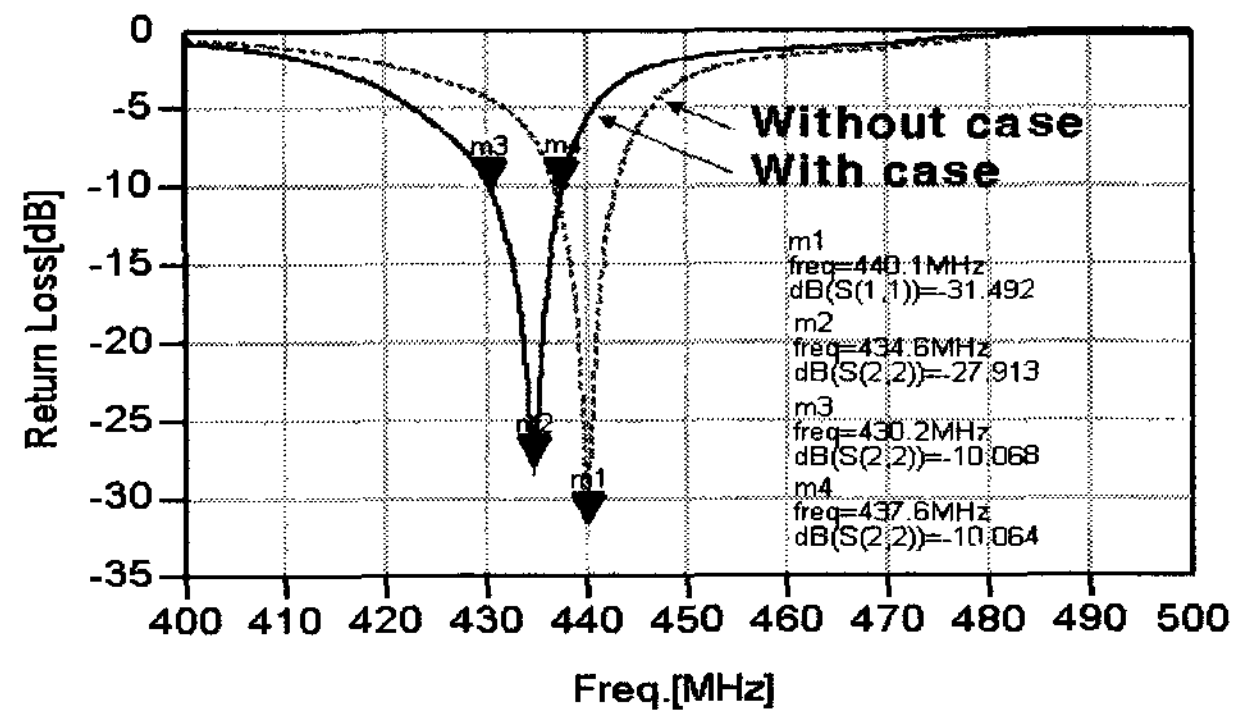


그림 8. 케이스 유무에 따른 433MHz 스파이럴 안테나의 반사손실 측정 결과

Fig. 8. Measured return loss of 433MHz spiral antenna with and without the RKE reader case

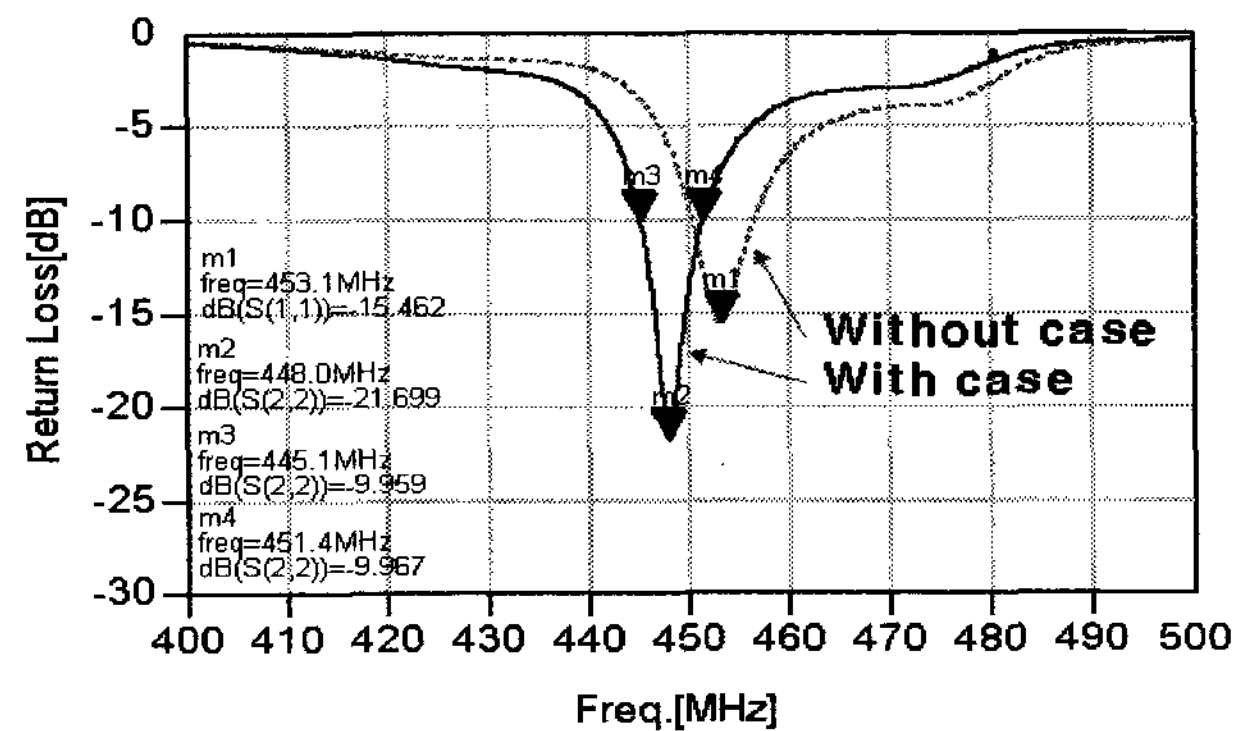


그림 9. 케이스 유무에 따른 447MHz 스파이럴 안테나의 반사손실 측정 결과

Fig. 9. Measured return loss of 447MHz spiral antenna with and without the RKE reader case

표 6. 설계된 안테나의 주파수 특성

Table 6. Frequency characteristics of designed antennas

항목	315MHz용	433MHz용	447MHz용
중심주파수	315MHz	434.6MHz	448MHz
-10dB 대역폭	2MHz	7.4MHz	6.3MHz

이제, 인덕터 삽입법을 사용하여 315MHz와 447MHz에서 이중공진을 일으키는 이중대역 스파이럴 안테나를 설계하고자 한다. 스파이럴 선로의 중간에 칩인덕터를 삽입하는 경우, 낮은 주파수에서는 칩인덕터의 임피던스가 낮아 단락으로 볼 수 있으므로 전체 스파이럴 선로에 대한 공진주파수를 형성하게 된다. 이때의 공진주파수가 315MHz이다. 반면, 주파수가 높아지면 칩인덕터의 임피던스가 높아져서 칩인덕터 부분이 개방되므로 스파이럴 선로의 길이가 상대적으로 짧아져서 높은 공진주파수를 형성한다. 이때의 공진주파수가 447MHz이다. 그러므로 스파이럴 선로의 중간에 칩인덕터를 삽입하는 것으로 이중공진 안테나를 설계할 수 있다고 본다.

그림 10은 스파이럴 선로 상에 칩 인덕터를 삽입한 이중대역 안테나의 구조이다. 칩 인덕터의 부착위치에 따라 공진주파수와 주파수의 간격이 변한다. 여기서는 크기가 27.5mm×15mm인 스파이럴 패치내에서 스파이럴 선로상의 (13.75mm, 4.5mm)에 칩 인덕터를 배치하였다. 그림 11은 칩 인덕터의 인덕턴스 변화에 따른 안테나 반사손실 특성을 측정된 것이다. 여기서 m1/m5, m2/m6, m3/m7, m4/m8은 각각 68nH, 82nH, 100nH, 120nH의 인덕턴스에 해당한다. 그림에서 보듯이 인덕턴스가 증가할수록 공진주파수는 낮아지고 두 공진주파수의 간격이 좁아짐을 알 수 있다. 인덕턴스가 82nH 일때, 원하는 이중대역 특성을 얻었다.

그림 13은 급전위치에 따른 안테나 반사손실을 측정된 것이다. 여기서 m1/m5, m2/m6, m3/m7, m4/m8은 각각 Fx가 25, 30, 33, 35mm에 해당한다. 급전위치의 변화는 공진주파수 변화에 영향을 주지 않지만, 안테나의 반사손실 특성은 크게 개선됨을 보여준다. 여기서는 급전위치 Fx=33mm에서 원하는 이중대역 특성을 얻었다. 그림 13은 Fx=33mm이고, 82nH 칩인덕터를 사용한 이중대역 스파이럴 안테나 반사손실을 측정된 것이다. 이중공진은 315MHz와 449.5MHz에서 형성되었고, -10dB 대역폭은 공진주파수에서 3MHz와 8.5MHz로 측정되었다. 이로부터 스파이럴 선로상에 칩 인덕터를 부착하여 이중공진 스파이럴 안테나를 설계할 수 있었다. 표 7은 이중대역 안테나의 주요 파라메타의 설계값과 안테나의 주파수 특성을 정리한 것이다.

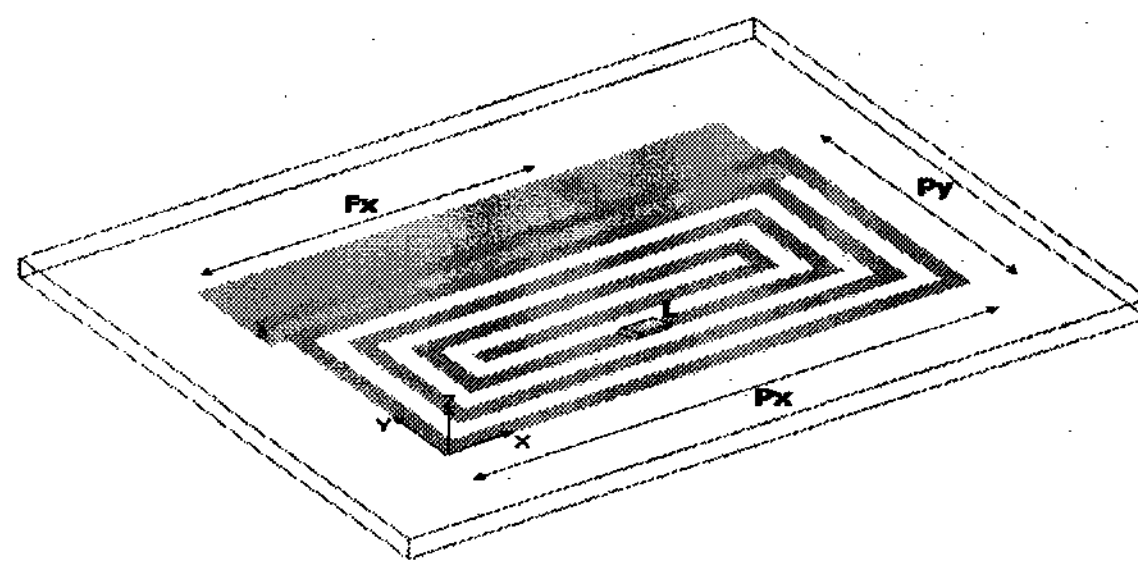


그림 10. 이중공진 스파이럴 안테나 구조

Fig. 10. Structure of dual-band spiral antenna

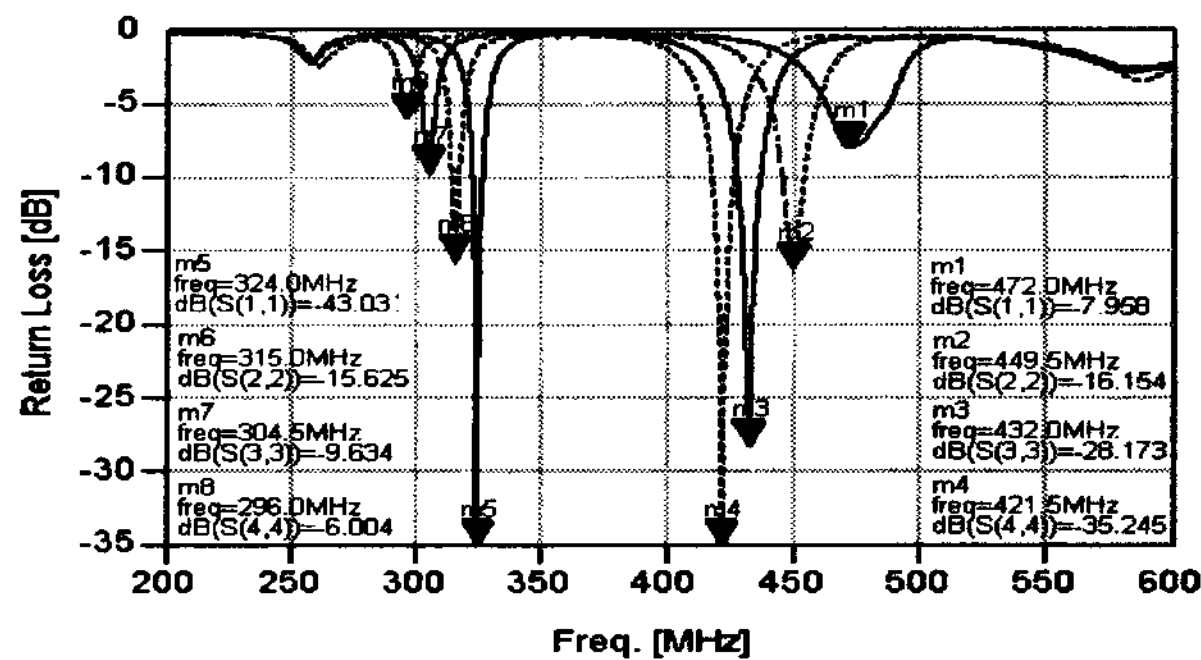


그림 11. 인덕턴스에 따른 안테나 반사손실 측정 결과
Fig. 11. Measured return loss as a function of inductance of 68nH, 82nH, 100nH, and 120nH

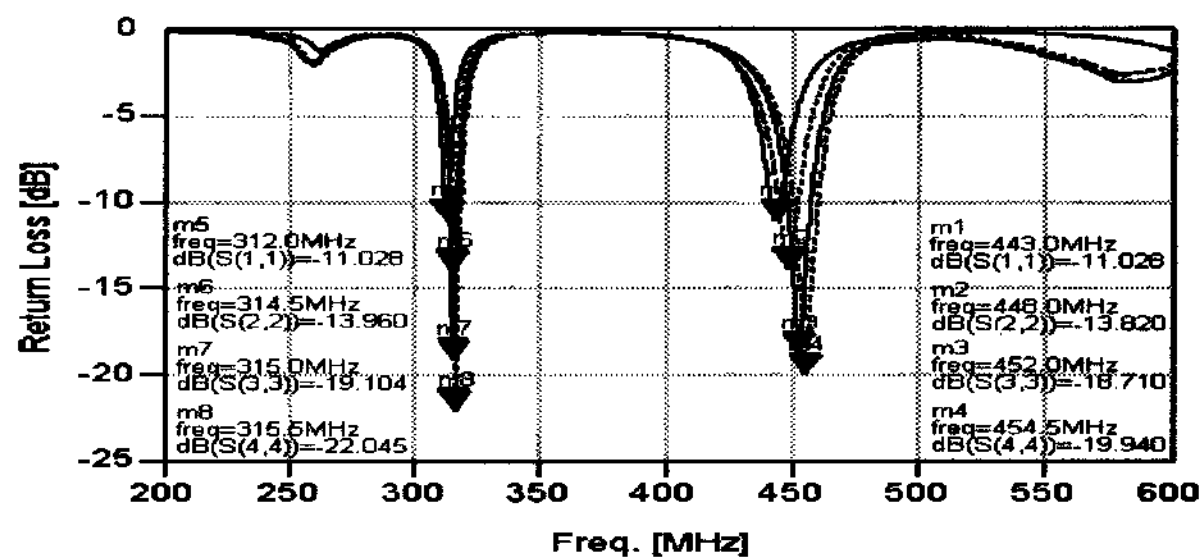


그림 12. 급전위치에 따른 안테나의 반사손실 측정 결과
Fig. 12. Measured return loss as a function of feeding point Fx of 25mm, 30mm, 33mm, and 35mm

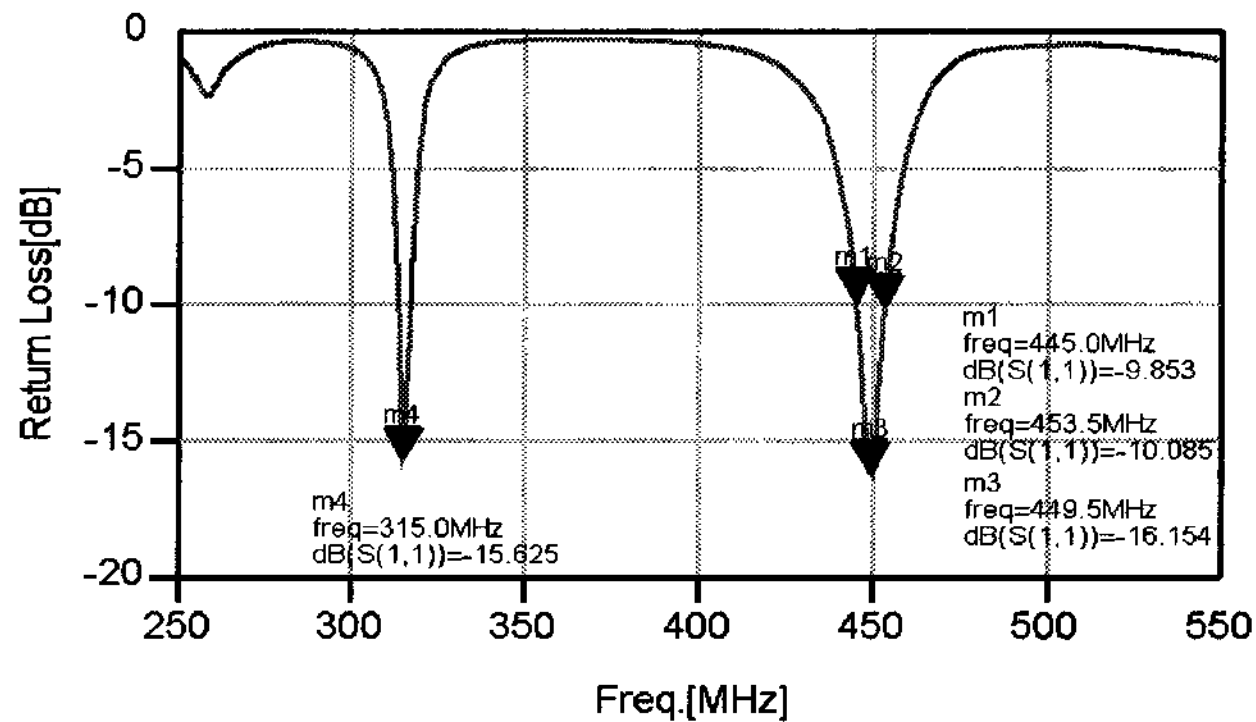


그림 13. 이중대역 안테나의 반사손실 측정 결과
Fig. 13. Measured return loss of dual-band antenna

표 7. 이중공진 안테나의 주요 설계값과 주파수 특성
Table 7. Designed values and frequency characteristics of dual-band spiral antenna

항목	내용	
안테나 크기	27.5mm×15mm	
급전위치	33mm	
인덕턴스	82nH	
공진주파수	315MHz	449.5MHz
-10dB 대역폭	3MHz	8.5MHz

그림 13은 급전위치에 따른 안테나 반사손실을 측정 한 것이다. 여기서 m1/m5, m2/m6, m3/m7, m4/m8은 각각 Fx가 25, 30, 33, 35mm에 해당한다. 급전위치의 변화는 공진주파수 변화에 영향을 주지 않지만, 안테나의 반사손실 특성은 크게 개선됨을 보여준다. 여기서는 급전위치 Fx=33mm에서 원하는 이중대역 특성을 얻었다. 그림 13은 Fx=33mm이고, 82nH 칩인덕터를 사용한 이중대역 스파이럴 안테나 반사손실을 측정 한 것이다. 이중공진은 315MHz와 449.5MHz에서 형성되었고, -10dB 대역폭은 공진주파수에서 3MHz와 8.5MHz로 측정되었다. 이로부터 스파이럴 선로상에 칩 인덕터를 부착하여 이중공진 스파이럴 안테나를 설계할 수 있었다. 표 7은 이중대역 안테나의 주요 파라메타의 설계값과 안테나의 주파수 특성을 정리한 것이다.

IV. 결론

본 논문은 RKE 리더기용 안테나에 적용되는 중심주파수가 315MHz, 433MHz, 447MHz인 소형 내장형 안테나를 설계하였다. 안테나는 소형화가 가능하고 임피던스 정합이 쉬운 스파이럴 구조와 PIFA 개념을 접목하였고, RKE 리더기 케이스와 PCB 상의 각종 소자들의 영향을 고려하여 설계하였다. 리더기 케이스는 공진주파수를 6MHz 정도 낮추는 효과를 준다. 315MHz용 안테나는 29mm×15mm, 433MHz용은 23.5mm×13mm, 447MHz용은 22.6mm×13mm의 크기로 설계되었다. 이 크기는 PCB 면적의 약 4.5~5%로서 PCB 면적을 크게 차지하지 않고도 설계사양을 만족하였다. 그리고 스파이럴 선로상에 82nH 칩인덕터를 삽입하여 315MHz와 447MHz 대역에서 공진을 일으키는 이중대역 스파이럴 안테나를 설계하였다.

참고문헌

[1] 이재용, IT839 전략 표준화-RFID/USN, TTA저널, 통권100호, pp.36-50, 2005.
[2] F. Klaus, RFID HANDBOOK: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and

Identification, John Wiley, 2003.

[3] 정신교, RFID/USN용 주파수 분배 방안 연구, 정보통신부, 2004.
[4] 안준오, 정성진, Zigbee 및 차량용(TPMS, RKE) 주파수 분배 방안 연구, 정보통신부, 2005.
[5] S. Einzinger and W. Weil, "Passive Start and Entry System- PASE," MST NEWS, pp.37-38, 2001.
[6] K. Ieda and T.Itoh, "Antenna Embedded Door Handle for Smart Key System," SAE, SP-1926, 2005.
[7] K. Oh, B. Kim, and J. Choi, "Novel Integrated GPS/RKES/PCS Antenna for Vehicular Application," IEEE MWCL, Vol.15, No.4, pp.244-246, 2005.
[8] B. Al-Khateeb, V. Rabinovich, B. Oakley, and N. Alexandrow, "Compact Planar Antennas for Short-Range Wireless Automotive Communication," IEEE Trans. VT, Vol.55, No.4, pp.1425-1435, 2006.
[9] P. Salonen and M. Keskilammi, "Novel Dual-band Planar Inverted-F Antenna," Asia Pacific Micro. Conf., pp.706-710, December 2000.
[10] Kin-Lu Wong, Planar Antennas for Wireless Communications, John Wiley & Sons, 2003.
[11] Z. Chen and M. Chia, Broadband Planar Antennas : Design and Applications, John Wiley, 2006.



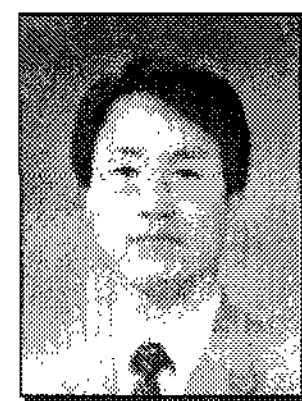
오 동 준 (Dong-Jun Oh)

2006년 2월 동아대 전자공학과(공학사)
2006년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정
관심분야 : 초고주파회로설계, 안테나설계



윤 호 진 (Ho-Jin Yun)

2007년 2월 동아대 전자공학과(공학사)
2007년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 석사과정
관심분야 : 안테나설계



정 봉 식 (Bong-Sik Jeong)

1987년 2월 경북대 전자공학과 (공학사)
1990년 2월/1995년 2월 KAIST 전기및전자공학과 (공학석사/공학박사)
1995년~1997년 2월 LG전자 선임연구원
1997년 3월~현재 동아대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 초고주파회로설계, 안테나설계