

# U-항만 환경에서 금속부착을 위한 인셋 급전 마이크로패치 안테나 설계

최용석\* 종신회원, 성현경\*\* 정회원

## Design of Microstrip Patch Antenna using Inset-Fed Layered for Metallic Object in u-Port

Yong-Seok Choi\* and Hyeon-Kyeong Seong\*\* *Regular Members*

### 요 약

최근 전 세계적으로 ITC 기술을 이용한 항만 물류 분야의 경쟁력이 심화되는 추세를 보이고 있으며 현재 우리나라도 국가 전략적 차원에서 생산성 향상 및 서비스의 개선을 통한 고부가 가치를 획득하기 위한 u-Port(항만 물류) 사업이 진행 중이다. u-Port 사업에서 주된 기술 요소로 RFID/USN 기술이 사용되는데, 이 기술은 금속 환경에서의 태그 인식률이 좋지 않고, 인식거리가 짧다는 문제점들을 이유로 센서 노드들의 추가적인 배치를 통하여 관리를 하고 있다. 그러나 이러한 방법은 오차 범위가 크고 시스템 구축 초기 비용 및 유지보수 비용이 많이 들어 U-Port용 시스템 구축에 여러 가지 문제점을 초래하고 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 본 논문에서는 금속 태그 제작에 사용되는 급전의 문제점을 개선하고, 주변 환경 요소인 금속 물질로 인한 영향을 줄여 태그를 금속 물체에 부착 할 경우에도 장거리 인식율을 높일 수 있도록 인셋 급전을 적용한 산업용 RFID 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 인셋 급전은 기존의 유도결합 급전을 이용한 구조와는 다르게 방사체와 급전선이 서로 분리되어 있지 않은 것이 가장 큰 특징이다. 이런 특징의 구조는 낮은 안테나 높이와 태그 칩에 임피던스 정합이 가능한 형태를 생산할 수 있게 해준다. 그러나 무조건 태그 안테나의 높이를 줄이면 안테나의 임피던스는 접지면과 방사체 사이의 기생 캐패시턴스가 증가하여 임피던스 정합의 어려움이 발생할 수 있으므로 단락 구조를 급전에 적용시켜 안테나의 임피던스를 인덕티브하게 만드는 방법을 이용하여 태그 안테나 설계 시 단점을 최소화하고 장점을 극대화 시켰다[1][2].

이러한 기술적 요소들을 적용하여 본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 변형된 형태로 설계하였고, 부착되는 금속물질의 영향을 줄이기 위해 인셋 급전을 이용하였으며, 안테나의 구성을 단일 층이 아닌 멀티층, 즉 방사체와 접지면 사이에 금속판을 삽입하여 특성저하를 감소시켰다.

**Key Words** : RFID, Microstrip patch antenna, Metallic object, Inset-fed, PSO, u-Port

### ABSTRACT

In this paper, we present, an industrial RFID layered microstrip patch antenna is designed using an inset feed method in order to improve recognition rates in a long distance as tags are attached to metal object by improving a problem of feeding power in fabricating metal tags and reducing effects of metallic object. The inset feed shows a distinctive characteristic that has no separation between emitters and feed lines differing from a structure with the conventional inductive coupling feed. This structure makes possible to produce a type that presents a low antenna height and enables impedance coupling for tag chips. Although it shows a difficulty in the impedance coupling due to increases in the parasite capacitance between a ground plane and an emitter in an antenna according to decreases in the height of a tag antenna, it may become a merit in designing the tag antenna because the antenna impedance can be determined as an inductive manner if a shorted structure is used for feeding power. Therefore, in this paper the microstrip patch antenna is designed as a modified type and applies the inset feed in order to reduce effects of metallic objects where the antenna is be attached. Also, the antenna uses a multi-layer structure that includes a metal plate between radiator and ground instead of using a single layer.

\*경민대학교 정보통신과 (yschoi@kyungmin.ac.kr), 제1저자 : 최용석

\*\*상지대학교 컴퓨터정보공학부(hkseong@sangji.ac.kr), 교신저자 : 성현경

접수일자 : 2015년 5월 19일, 수정완료일자 : 2015년 6월 3일, 최종 게재확정일자 : 2015년 6월 10일

## I. 서론

인터넷 환경의 변화와 IT기술의 발달로 네트워크의 유선에서 무선으로의 진화가 활발하게 이뤄지고 있는 가운데 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경이라는 새로운 패러다임이 생겨나게 되었다. 유비쿼터스는 사용자가 컴퓨터나 네트워크를 의식하지 않는 상태에서 장소에 구애받지 않고 네트워크에 접속할 수 있는 환경을 제공해준다[3]. 유비쿼터스는 기술, 비즈니스, 산업의 접목과 융합으로 새로운 공간의 재창조에 의해 새로운 가치를 창출할 수 있을 것으로 평가되고 있으며, 이러한 환경에서 네트워크의 센서기능을 담당하는 핵심 분야가 RFID기술이다. RFID는 RF 신호를 이용하는 무선 인식 시스템을 의미하며 RFID 기술은 비접촉식(contact-less)이고 비가시선(non-line of sight)의 데이터를 수취하는 기술로 초소형 IC칩에 식별정보를 입력하고 무선 주파수를 이용하여 물체, 동물, 사람 등을 관독·추적 및 관리할 수 있어 M2M에서 위치 추적 및 상황인식을 가능케 하여, 새로운 비즈니스를 실현시켜 줄 수 있는 핵심이 된다[4]. 마이크로스트립 안테나는 소형, 경량, 그리고 낮은 비용이라는 매력적인 점들을 갖춘 안테나이며 두께가 얇고 평면과 비평면에 부착이 용이하고 현대 프린트 회로기술을 이용하면 제작이 간편하고, MMIC 설계에 적합하다. 특히 패치 모양과 모드를 적절히 선정함으로써 공진주파수, 편파, 패턴과 임피던스를 변화시킬 수 있다[5]. RFID 태그 안테나 구현에서 가장 큰 어려움은 전도성(conductivity)물질에 부착 가능한 태그 형태 개발이다. 특히 알루미늄 캔이나 금속 상자, 그리고 포일(foil)로 포장된 담배 갑과 같은 전도성 물질 표면(conductive surface)근처에서는 안테나의 통신 특성에 영향을 주어 반사면(reflector)이 생성되어 지향성(directionality)을 증가시키고 공진 주파수, 방사 효율 등 안테나의 성능에 아주 크게 영향을 미치기 때문에 RFID 시스템을 구축하는데 많은 어려움을 발생한다. 따라서 전도성 물질에 부착되는 환경 속에서도 절연체가 외부적인 영향이나 내부적인 영향에 따라 화학적 및 물리적 성질이 나빠지는 현상인 열화가 없는 태그 안테나 구현이 무엇보다도 요구되고 있다[6]. 일반 라벨(label)태그를 금속에 부착하면, 태그 안테나와 금속면 사이에 기생 커패시턴스가 발생하고 그것의 영향으로 태그 안테나의 임피던스가 변하며 칩 임피던스와 부정합 되어 정상적으로 동작하지 않으며 임피던스 성분도 변하게 되어 인식 거리와 인식을 저하에 영향을 미치기 때문에 금속 물체의 경우 라벨형 태그와는 다른 구조의 안테나가 필요하다[7].

현재 상용화되어 있는 대부분의 안테나들도 전도성 접지면(ground plan)을 통해 금속 표면에서 안테나의 성능을 일부 향상시킬 수 있으나 금속체의 높은 전도성 때문에 금속 표면에서 안테나의 입사파(incoming wave)가 거의 대부분 반사되는 현상이 발생하며 이를 보완하기 위해 안테나의 방사 주파수(radiation frequency)와 방사 패턴(radiation

pattern)을 변화시키는 과정을 거치는데[8], 이때 전자파가 금속 표면으로부터 위상이 180° 바뀐 반사파가 생성되고, 이는 입사파를 상쇄시켜서 안테나의 방사 효율을 감소시키는 부정적인 효과들(negative effects)을 발생시킨다[10].

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 금속 물체에 부착 가능한 금속 태그 안테나를 설계하였다. 안테나 설계 시 중요하게 적용되는 매개변수들의 정확한 값을 구하기 위하여 먼저 IE3D 시뮬레이터를 이용하였으며, 급전 방식을 변화시켜 금속용에서 사용할 수 있는 안테나를 설계 하였다. 설계한 안테나는 기존의 상용화 태그보다 소형이면서 보다 더 긴 인식거리를 갖고 부착되는 금속면 크기에 영향이 적은 인셋 급전을 이용한 적층형 마이크로스트립 패치 안테나이다.

기존의 PIFA 형태가 아닌 변형된 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하였으며 금속물질의 영향을 줄이기 위해 안테나의 구성을 단일 층이 아닌 멀티층, 즉 방사체와 접지면 사이에 금속판을 삽입한 형태로 제작하였다. 또한 안테나 설계 및 제작 시 인셋 급전 방법을 이용하여 원형편파 발생을 쉽게 하여 높은 이득을 가질 수 있는 금속 부착용 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다.

## II. UHF 대역 금속 부착용 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 실험환경

### 2.1 안테나 설계 및 실험 환경

본 논문에서는 금속태그 제작에 사용되는 급전의 문제점을 개선하고, 금속 물질의 영향을 줄여, 태그를 금속 물체에 부착 할 때, 장거리에서의 인식율을 높이기 위해 인셋 급전을 이용하여 산업용 RFID 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 인셋 급전은 기존의 유도결합 급전을 이용한 구조와는 다르게 방사체와 급전선이 서로 분리되어 있지 않은 것이 가장 큰 특징이다. 이러한 구조는 낮은 안테나 높이로 태그 칩에 임피던스 정합이 가능한 형태를 생산할 수 있게 해준다. 태그 안테나의 높이를 줄이면 안테나의 임피던스는 접지면과 방사체 사이의 기생 커패시턴스가 증가하여 임피던스 정합의 어려움이 있지만 단락 구조를 급전에 이용하면 안테나의 임피던스를 인덕티브하게 만들 수 있으므로 태그 안테나 설계 시 장점이 될 수 있다[11]. 안테나 제작시 마이크로스트립 패치 안테나를 변형된 형태로 제작하였고, 부착되는 금속물질의 영향을 줄이기 위해 인셋 급전을 이용하였으며, 안테나의 구성을 단일 층이 아닌 멀티층, 즉 방사체와 접지면 사이에 금속판을 삽입하여 특성저하를 감소시켰다.

표 1은 안테나 설계에 필요한 설계 매개변수를 나타낸다. 공진주파수의 경우 RFID용으로 사용할 수 있는 전 세계

UHF 표준 대역인 860~960MHz의 범위에서 작동 될 수 있어야 하기 때문에 안테나의 기본 공진 주파수인 910MHz를 선택하였다. 안테나 설계에 사용된 태그칩은 915MHz 주파수에서 임피던스가 12-j128Ω인 스트랩 패키지로 된 Alien Higgs를 선택하였으며, 유전체 재료는 산화알루미늄이고, 4.4의 유전율을 지니고 있다. 유전체 기판의 높이 즉 안테나의 두께는 0.6mm로 선택하였다.

표 1. 안테나 설계를 위한 매개 변수

구분	설정값
공진주파수( $f_0$ )	910MHz
유전상수( $\epsilon_r$ )	4.4
유전체 기판 높이( $h$ )	0.6mm

표 2. 패치 안테나 설계에 필요한 설정 값

구분	설정값
패치 너비( $w$ )	30mm
패치 길이( $L$ )	70mm
안테나 실효 유전율( $\epsilon_{reff}$ )	4.34
안테나 실효 길이( $L_{eff}$ )	70.8mm

표 1의 설계 매개변수를 기준으로 표 2의 패치 안테나 설계에 필요한 설정 값을 계산하였으며, 다음의 PSO 알고리즘을 적용하여 나머지 변수를 도출하였다[12].

$$- \text{패치 너비}(w) = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

(  $f_0$  : 공진주파수,  $\epsilon_r$  : 유전율,  $c$  : 전파 속도 )

$$- \text{패치 증가 길이}(\Delta L) = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_{reff} + 0.258)(w/h + 0.8)}$$

(  $\epsilon_{reff}$  : 실효유전율,  $h$  : 유전체 기판 높이 )

$$- \text{패치 길이}(L) = L_{eff} - 2\Delta L \text{ ( } L_{eff} \text{ : 실효 길이 )}$$

$$- \text{안테나 실효유전율}(\epsilon_{reff}) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

(  $h$  : 유전체 기판 높이 )

$$- \text{안테나 실효 길이}(L_{eff}) = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

위의 매개 변수를 바탕으로 최적화된 시뮬레이션 결과의 안테나 설계 치수를 구할 수 있었다. 설계된 안테나의 중요한 부분인 접힌 선로는 방사체와 접지면 사이의 금속면과 전기적으로 연결되어 있으며, 방사체의 크기를 줄이기 위해 역

L자 슬롯을 삽입하였다. 접힌 선로는 중간의 금속면과 연결하여 제한된 태그 안테나의 임피던스 특성을 인덕티브하게 하고, 방사체와 접지면 사이의 층을 분리시켜 금속 물질에 부착 되었을 때 금속 물질에 대한 안테나 성능의 변화를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 접힌 선로의 길이 변화로 안테나 임피던스의 허수 성분(imaginary part) 변화를 조절 할 수 있으며, 실수 성분(real part)은 접힌 선로와 방사 패치와의 간격( $D$ )에 의해 조절될 수 있다.

그림 1은 허수 성분에 따른 임피던스의 변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 접힌선로( $F$ )의 길이가 증가할수록 허수 성분의 임피던스가 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 칩과 안테나 사이에서 최대 전력을 전달하기 위해 안테나의 입력 임피던스는 915MHz에서 12+j128Ω이 되어야 한다. 결과를 보면 접힌선로가 27mm일 경우 리액턴스 곡선은 j128Ω을 초과하지 못하는데 이것은 정합목표를 달성 할 수 없는 것을 뜻하기 때문에 접힌선로가 28mm일 때 이상적인 정합목표를 달성하는 것을 알 수 있었다.

그림 2는 실수 성분의 임피던스 변화를 나타낸다. 접힌 선로와 방사 패치와의 간격( $D$ )이 증가할수록 실수성분의 임피던스가 감소하는 것을 볼 수가 있다. 위와 마찬가지로 안테나의 임피던스가 915MHz에서 12+6.2Ω이 되어야 하기 때문에 방사 패치와의 간격( $D$ )이 4mm일 때 정합이 이루어지는 것을 알 수 있었다.

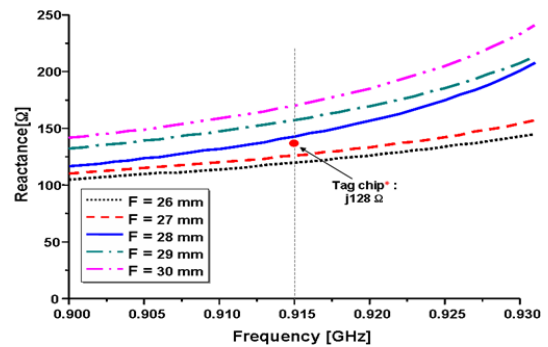


그림 1. 선로 길이 변화에 따른 허수부 임피던스 변화

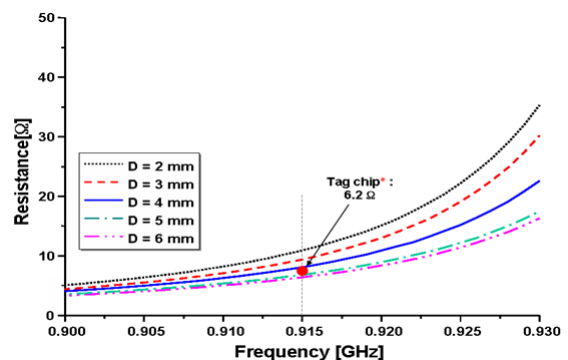


그림 2. 선로와 방사체 간격 변화에 따른 실수부 임피던스 변화

표 3은 위의 매개 변수를 바탕으로 최적화된 시뮬레이션 결과의 안테나 설계 치수를 나타낸 것이다. 각각의 최적화

된 값은 앞의 단계에 따라 계산 되었으며, 파라미터 환경 변화에 따른 특성으로 얻을 수 있었다.

표 3. 최적 시뮬레이션 결과에 따른 안테나 설계 치수

변수	W	L	A	B	C	D	E	F
설정값	30	70	30	10	23	4	2	28

본 논문에서 제안된 안테나는 인셋 급전을 통하여 최적의 급전점을 찾은 후 각각의 상수 값을 설정하여 안테나에 삽입 되는 슬롯의 크기를 설정하였다. 그림 3은 인셋 급전을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나 설계구조를 나타낸 것이다.

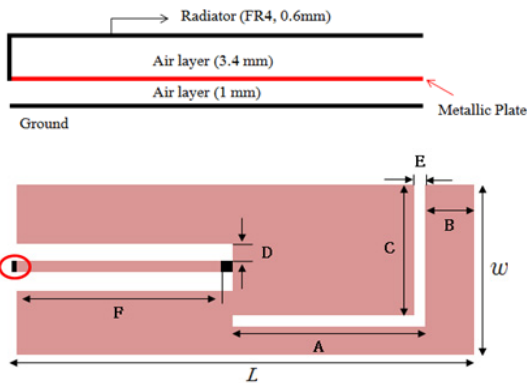


그림 3. 인셋 급전을 이용한 마이크로스트립 패치 안테나 설계 구조

## 2.2 실험 결과

그림 4는 제안된 안테나의 전류 분포를 보여주고 있으며, 삼각형의 방향은 전류의 방향을 나타내고, 삼각형의 크기는 전류의 크기를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 역 L자 슬롯 좌/우 로 전계의 최대점과 최소점이 형성되며,  $\lambda/2$ 의 공진 길이를 가지고 있다.

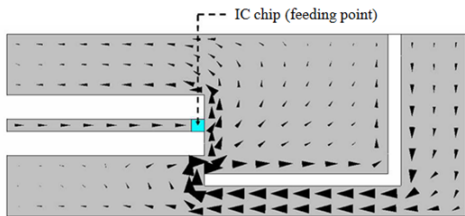


그림 4. 전류 분포

그림 5는 금속면 크기에 대한 제안된 안테나의 임피던스 특성과 공진 주파수 변화를 나타낸 것이다. 부착되는 금속 물질 크기는 최대  $1\lambda \times 1\lambda$ 까지 변화를 주었다.

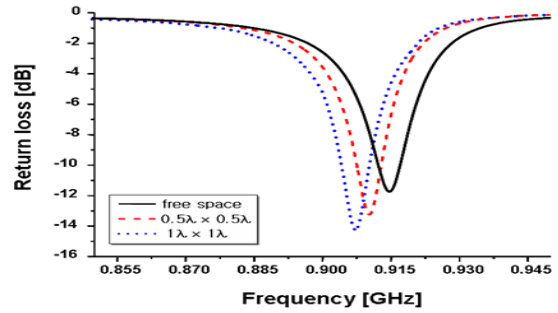


그림 5. 금속판이 있을 경우의 반사 손실

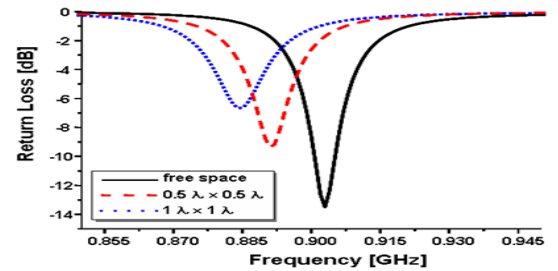


그림 6. 금속판이 없을 경우의 반사 손실

그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이 제안된 안테나는  $1\lambda \times 1\lambda$  이하에서만 변하고 그 이상의 크기를 갖는 금속면에 부착 되었을 때는 거의 변화를 나타내지 않았다. 금속면 크기에 따라 제안된 안테나의 공진 주파수 변화는  $8MHz$  이고 반사 손실은 최대  $3.3dB$ 의 변화를 나타내었다. 이것은 제안된 안테나가 금속면 크기에 대해 임피던스나 공진 주파수의 변화가 적음을 확인 할 수 있다.

그림 7은 설계된 안테나의 금속면 위에서의 2D 방사패턴을 나타낸 결과이다.  $4.2dBi$ 의 약 70% 효율로  $50.6^\circ$ 의  $3dB$  angular width의 결과를 보였다.

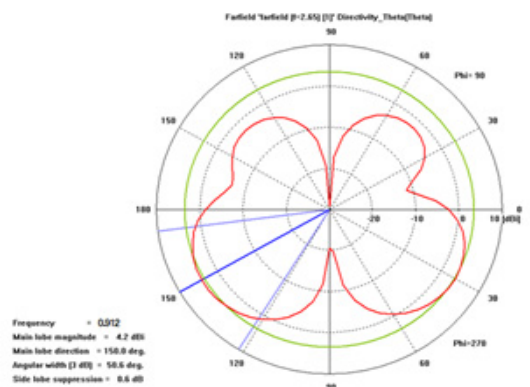


그림 7. 2D 방사 패턴

그림 8은 설계된 안테나의 금속면 위에서의 3D 방사패턴을 나타낸다. 실험 결과 주엽의 크기가  $4.2dBi$ 로 지향성을 가지고 있는 것을 나타낸다.

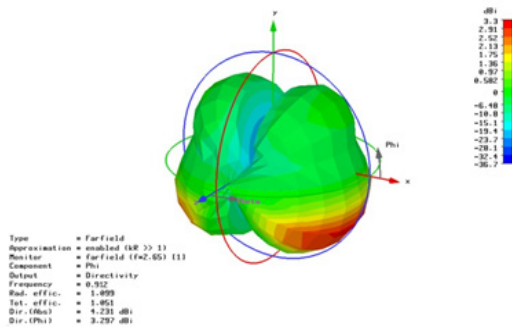


그림 8. 3D 방사 패턴

다음으로 RFID 태그안테나의 주파수에 따른 최대 인식거리 측정을 위해 RFID reader(model XR440) 안테나를 사용하여 902~928MHz에서 30.0dBm의 EIRP, 이득률 6.0dBi 값으로 무반사실에서 측정하였다. 이러한 방법들을 통하여 복사 전력 측정 이후, Friis 전송방정식을 통하여 주파수에 따른 인식 거리를 산출하였다. 인식 거리는 다음의 식을 통해 나타낼 수 있다[13].

$$Readerable\ range = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{tag}}}$$

$P_{reader}$  : 리더 안테나의 출력 포트 전력

$G_{reader}$  : 리더 안테나의 이득

$P_{tag}$  : 태그 칩에 전달되는 최소 문턱 전력

$G_{tag}$  : 태그 안테나의 이득

$\lambda/4\pi$  : 1m의 자유 공간에서 갖는 손실 계수

태그의 최소 문턱 전력  $P_{tag}$ 는  $P_{reader}$ 에 따른 EIRP와 1m 자유 공간에서의 손실 계수의 합으로 나타낸다. EIRP는 리더 안테나의 입력전력  $P_{reader}$ 와 이득  $G_{reader}$ 의 곱으로 구해지며, 일반적으로 ISO 18000에 따라 최대 4W, 즉 36dBm 이하의 값을 가져야 한다. 따라서 태그가 동작하기 위한 리더의 최소 출력 전력에 3dBi의 이득  $G_{reader}$ 를 곱하여 36dBm 이하의 EIRP 값을 구하고, 이를 이용하여 1W 이하의 리더 안테나 최소 전력  $P_{reader}$ 에 1m 자유 공간 손실계수와 리더 안테나의 이득  $G_{reader}$ , 케이블 손실을 고려하여 태그의 민감도, 즉 태그의 최소 문턱 전력  $P_{tag}$ 를 구한다. 또한 태그  $P_{tag}$ 를 EIRP 값과 1m 자유 공간 손실 계수의 곱으로 나누어 태그 안테나의 이득  $G_{reader}$ 를 나타낸다.

### III. 결론

본 논문에서는 금속 환경에서 사용이 가능하고 태그의 크기를 소형화 시키면서 광대역 정합 특성과 다양한 방사패턴을 얻고, 폭넓은 VSWR 및 축비 대역폭을 확보 할 수 있도록 인셋 급전 적층형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였

다. 설계된 안테나는 기존의 PIFA 구조 안테나에서 나타나는 부차면 크기에 따른 성능 열화로 인한 인식거리가 달라지는 점을 개선하기 위해 설계 하였으므로 대역폭 확보 및 성능이 중요한 변수로 적용되어 이중 대역 원형편파 안테나를 사용하였다.

또한 안테나의 높이를 줄이면서 태그 칩에 임피던스 정합이 가능하도록 인셋 급전 방식을 사용하였으며 금속 물질의 영향을 줄이기 위해 안테나의 구성을 단일 층이 아닌 멀티층, 즉 방사체와 접지면 사이에 금속판을 삽입한 형태로 설계하여 금속 물질에 대한 안테나의 성능 변화를 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 마이크로스트립 패치의 크기를 줄이고 반파장의 공진 길이를 갖도록 하기 위하여 역 L자 슬롯을 이용하였다.

안테나의 공진 주파수( $f_0$ )는 전세계 UHF 표준 대역인 860~960MHz의 범위에서 작동할 수 있도록 910MHz로 설정하였으며, 기판의 유전율( $\epsilon_r$ )은 4.4로 설정하였다. 유전체 기판의 높이( $h$ )는 0.6mm로 선정한 뒤 각각의 설계 매개변수를 적용하여 안테나를 제작하여 측정한 결과 안테나 주파수 범위 880~940MHz 대역에서 VSWR이 3이하이므로 안테나의 광대역 특성을 볼 수 있었다. 주파수 910MHz에서는 약 -18dBi로 금속면에서의 태그 안테나의 특성이 양호한 것으로 나타났다.

또한 금속면에서의 안테나 방사 패턴의 측정 결과, 금속 물질의 크기에 따라 방사 패턴의 주 빔의 방향이 변하지 않는 것을 확인하여 금속 물질에서의 안테나 사용이 용이한 것으로 나타났다. 금속면 위에 부착된 상태에서는 열화가 발생하여 3%의 효율이 감소되었고, 이득 또한 4.2dBi로 공기중 대비 감소함을 알 수 있었지만 금속물질에서의 안테나 사용이 용이한 것으로 나타났다.

설계된 안테나를 적용하여 직접 태그를 제작한 뒤 인식거리를 측정한 결과 880MHz 대역에서 6.92m, 910MHz 대역에서는 7.32m, 940MHz대역에서는 5.96m의 인식거리를 확인하여 기존 금속용 태그 보다 성능이 우수한 것으로 나타났다.

본 논문에서 설계한 U-Port 환경 위한 인셋 급전 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 방식은 실험을 통하여 금속 부착형으로서의 안테나 적합성을 확인하였으며, 앞으로 항만 물류 시장의 원활한 정보 흐름을 위한 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

[1] Quan Xue, Kam Man Shum, and ChiHou Chan, "A Novel 1-D Microstrip PBG Cell," IEEE Microwave and Guided Wave Lett, Vol. 53, No. 10, Oct. 2000.  
 [2] Lorena I. Basilio, Michael A.Khayat, Jeffery Williams, Stuart A.Long, "The Dependence of the Input Impedance on Feed Position of Probe and Microstrip Line - Fed patch

Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. 49, pp. 45-47, Jan. 2001.

[3] Finkenzeller K (2003) RFID handbook, 2<sup>nd</sup> edn. Wiley, Hoboken

[4] Balanis CA(1997) Antenna theory analysis and design. Wiley, New York

[5] Song M-H and Woo J-M, "Miniaturisation of microstrip patch antenna using perturbation of radiating slot"IEEE Electron Lett 39(5), pp.417-419, 2003.

[6] Leena Ukkonen, Lauri Sydanheimo, and Markku Kivikoski. "Anovel tag design using inverted-F antenna for radio frequency identification of metallic objects," IEEE AW&WC. pp. 91-94. 2004.

[7] P. R. Foster, R. A Burberry. "Antenna problems in RFID system. RFID Technology", IEEE., No.1999-123 May. 1999.

[8] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jakkola, and K. Laukkanen. "Planar inverted-F antenna for RFID", Electron, Letter, vol.40, no.14. pp. 848-850. 2004.

[9] M. Hirvonen, P. Pursula, K. Jakkola, and K. Laukkanen. "Planar inverted-F antenna for RFID", Electron, Letter, vol.40, no.14. pp. 848-850. 2004.

[10] P. Raunonen, L. Sydänheimo, L. Ukkonen, M. Keskilammi and M. Kivikoski "Folded Dipole Antenna Near Metal Plate," IEEE International Antennas and Propagation Symposium. 2003.

[11] Lorena I. Basilio, Michael A.Khayat, Jeffery Williams, Stuart A.Long, "The Dependence of the Input Impedance on Feed Position of Probe and Microstrip Line - Fed patch Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol. 49, pp. 45-47, Jan. 2001.

[12] P. S. Shelokar "Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization", Applied Mathematics and Computation 188, pp.129 - 142, Jul. 2007.

[13] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," 2nd edition, Boston-London, Artech House, 2000.

**저자**

**최 용 석(Yong-Seok Choi)**



· 2002년 : 상지대학교 전자계산학과 이  
학사  
· 2007년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정  
보과 공학석사  
· 2012년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정  
보과 공학박사

· 2012년 ~ 2014년 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 외래교수,  
(주)코스모티어기술연구소 선임연구원  
· 2015년 현재 : 경민대학교 정보통신과 조교수  
<관심분야> : Ubiquitous Sensor Network, Mobile Tele-  
communication, Mesh Network, Satellite Communication,  
RFID/WSN 설계, 보안 및 응용 등

**성 현 경(Hyeon-Kyeong Seong)**

**정회원**



· 1982년 : 인하대학교 전자공학과 공  
학사  
· 1984년 : 인하대학교 대학원 전자공학  
과 공학석사  
· 1991년 : 인하대학교 대학원 전자공학  
과 공학박사

· 2005년 ~ 2006년 : 미국 Naval Postgraduate School 방문  
교수

· 1991년 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

<관심분야> : Multiple-Valued Logic Design, Computer  
Architecture Design, Information & Coding Theory,  
Cryptography Theory & Security, RFID/WSN 설계 및 응  
용 등