글자 모양의 자수형 도전사 UHF RFID 태그 안테나 디자인

Design of Electro-Thread Embroidery UHF RFID Tag Antennas with Character Shapes

최 재 한 · 정 유 정

Jaehan Choi · You Chung Chung

요 약

전도성을 띄는 다양한 도전사(electro-thread)의 도전율을 분석하여, 그 특성에 맞게 T 매칭 구조가 없는 글자 모양에 T매칭 구조를 인가하여 닦을 수 있는 자수형 UHF RFID tag 안테나를 설계하였다. 도전사를 이용한 RFID tag 안테나는 기존의 태그와는 달리 착용감과 구부러짐의 변화에 문제가 없어 옷에 자수하여 입을 수 있는 안테나로 사용되기가 쉽다. 자수형 태그의 모양은 일반 의류에 적용하기 쉬운 영어 알파벳 'F'와 한글 자음 'ㄹ' 형태로 설계하였다. 설계된 태그를 최적화하여 제작하였으며 제작한 태그의 특성과 인식 거리 패턴을 측정하였다. 또한 물 비눗물과 소금물에 태그가 젖었을 때 인식 거리를 측정하였다.

Abstract

The conductivity of various electro-threads is analyzed, and the washable electro-thread embroidery UHF RFID tag antennas using the character shape without T-matching structure are designed by adding a T-matching structure. The RFID tag antenna using the electro-thread is easy to be embedded on a cloth as a wearable antenna because it is flexible and different from general copper inlay shape and tape type tag. The embroidery tag antennas are designed with the English alphabet 'F' and the Korea alphabet 'ㄹ' character. Those are easy to be applied to general clothes. The parameters of antennas are optimized and fabricated. The characteristics and the reading range patterns of the tag antennas are measured. The reading ranges of wet tags(tap water, sea water and soapy water) are tested and compared.

Key words : RFID, Electro-Thread Antenna, Character Shape Tag Antenna, Wearable Tag Antenna, Washable Tag

Ⅰ. 서 론

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 각 사물에 전자 태그를 부착하고, 사물의 고유 ID를 무선으로 인식하여 해당 정보를 수집, 저장, 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격 관리 및 사물 간 정보 교환 등의 서비스를 제공하는 기술이다. RFID 시스템은 적용 분야별로 저주파 대역에서 마이크로파 대역에 이르기까지 다양한 주파수 대역을 사용하고 있다[1].

최근에 전 세계적으로 UHF 대역의 RFID 기술에 대한 관심이 증가하면서 국방, 환경, 의료, 항공, IT 등 다양한 분야에 RFID 기술을 적용하려는 연구가 활발히 전개되고 있다. UHF RFID 시스템은 기존의 저주파 RFID 시스템에 비하여 긴 인식 거리와 저렴한 tag 비용의 장점으로 전 세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 가장 적합하다고 평가되고 있다. 특히 Wal-Mart와 Tesco와 같은 대형 유통회사에서는 2005년부터 RFID 보급을 가시화하고 있고, 서비스의 확대가 가속화되고 있다[2],[3].

RFID 태그는 용도의 특성상 대부분 특정 사물에

「대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.」

대구대학교 정보통신공학부(Department of Information and Communication, Daegu University)

· 논 문 번 호 : 20090826-095

· 수정완료일자 : 2009년 10월 13일

부착되어 사용되므로 태그가 부착 물체의 특성 및 동작 환경에 따른 안테나의 최적화가 필요하다. 부착 되어야 하는 사물이 평평하여 부착이 용이하여 일반 부착형 또는 라벨형 태그가 사용이 용의할 때는 문제가 없으나, 사물이 평평하지 않고 구부러져 있거나 붙이기에 용이하지 않는 의복과 같은 경우에 의복에 도전사 실을 이용한 임베디드한 UHF 태그의 형태가 소개되었다[4]. 도전사(electro-thread)란 전기적인 성질을 지닌 금속사가 함입된 섬유를 말하는 것으로, 주로 스마트 의류에 사용될 목적으로 만들어져 탄소 미립자를 합성 섬유의 원료 중에 혼입시킨 소재로 하는 도전성 소재로 금속사 및 상기 도전사를 커버링하고 있는 절연성을 가진 섬유를 포함한다.

구부리기 쉽고 착용할 수 있는 안테나로 의복에 적용할 수 있는 LAN용 2.45 GHz ISM 대역용 직물형 평면 안테나가 소개되었다. 안테나는 FlecTron과 부드러운 도전 섬유로 된 직물 안테나로 설계되었다. 효율은 70 % 정도이며, 이득은 6.5 dBi보다 크게 소개되었다[5]. 다이폴 형식이나 패치 형식으로 안테나를 제작하여 몸에 쉽게 부착하거나 삽입할 수 있게 설계한 안테나[6],[7]를 논문에서 소개하였다. 참고문헌 [8]에서는 360~460 MHz 대역에서 안테나의 구부러진 표면의 변화를 계산하고 서로 다른 크기의 사람 신체를 고려하여 설계하였다.

참고문헌 [9]에서는 도전사를 이용하여 'ㅂ'자 모양, 즉 글자 구조 자체에 T정합 구조를 가지고 있으므로, 따로 태그 안태나를 RFID 칩에 공액 정합시키기 위하여 T정합 구조를 부가할 필요가 없는 자수형으로 UHF 설계하고 소개하였다.

본 논문에서 새로 수입하여 소개된 도전체와 비슷한 성질을 가진 다양한 구리와 니켈 성분의 도전사의 성실을 분석하였다. 그 분석한 수치와 특징을 사용하여 T정합의 구조가 없는 글자 모양 자체에 T정합 구조를 인가하여 자수형 UHF RFID 태그를 도전사를 이용하여 설계 제작하였다. 또한, 450도까지 납 땜용 인두로서 고온에서 납 땜이 가능한지도 실험하였다. 이는 추후 태그의 팩캐이징시 높은 온도에도 견딜 수 있음을 보여 주었다. 인장 강도도 또한 측정하여 박음질을 할 때 실이 끊기지 않는 강도를 지니고 있는지도 측정하였다. 각 글자 'F'와 'ㄹ' 모양의 자수 모양의 태그별 인식 거리와 인식 패턴을 분석함으로써 자수형 태그를 적용 대상과 인식 방향에 따라 사용할 수 있도록 분석하였다. 또한, 물 비눗물과 소금물에 태그가 젖었을 때 인식 거리를 측정하여, 간단한 세탁 가능성을 보여준다.

Ⅱ장에서는 도전사의 기본 성질 및 도전사별 도전율 값에 대해 설명하였으며, 그 값을 토대로 시뮬레이션 툴을 이용하여 안테나를 설계하고 제작하였다. Ⅲ장에서는 다양한 설계된 글자 모양의 실제 태그의 모양과 성질을 보여 주고, Ⅳ장에서 결론을 내렸다.

Ⅱ. 도전사의 기본적인 성질 및 도전율 값

도전사는 보통 단위 길이 당 특정한 저항 값으로 구분하며, 또한 도전사의 필라멘트의 수로도 구분할 수 있다. 일반적인 물리학의 원리와 마찬가지로 굵거나 필라멘트의 수가 많은 도전사가 작은 저항 값을 갖게 된다. 이 저항 값은 안테나를 설계할 때 고려해야 한다. 또한, 저항 값으로부터 얻어지는 도전율 값은 안테나의 특성에 있어 설계할 때 아주 중요한 요소로 작용한다.

참고문헌 [4]와 [9]에서도 도전사의 특징에 대하여 논하였지만, 본 논문에서 사용되는 대표적인 도전사는 그림 1과 같은 구리와 니켈 성분의 도전 사이다.

본 논문에서는 도전사의 종류 4가지 제품 'AmberStrand-Z-66-Ni', 'AmberStrand-Z-66-Cu', 'AmberStrand-Z-132-Ni', 'AmberStrand-Z-132-Cu'을 측정하였다. 그중에 그림 1에서 'AmberStrand-Z-66-Ni', 'AmberStrand-Z-66-Cu'의 모델을 보여주고 있다.

실의 규격을 설명시 참고문헌 [4]와 [9]에서 설명한 무게 단위의 데니어(denier)와 달리, 위의 제품명

그림 1. 'AmberStrand-Z-66' Cu와 Ni 재질의 도전사
Fig. 1. Cu and Ni electro-thread 'AmberStrand-Z-66'.

표 1. 도전사의 저항 값과 도전율
Table 1. Resistivity and conductivity of electro-thread.

	길이	단면적 (지름)	전기저항 (15 cm)	도전율
Ni(66)	15 cm	0.025 mm	2.4	3.1831e+07
Ni(132)	15 cm	0.05 mm	1.9	1.0052e+07
Cu(66)	15 cm	0.025 mm	3.6	2.1221e+07
Ni(132)	15 cm	0.05 mm	3	6.3662e+06

에서 숫자는 필라멘트의 숫자이고, Cu는 구리 성분, Ni는 니켈 성분을 표시한다. 그리고 Z는 꼬임의 방향으로서 왼쪽방향으로 꼬임을 말한다. 꼬임에는 S 꼬임도 있는데, 이는 오른쪽 꼬임을 말한다.

표 1에서 네 가지 도전사 제품의 측정된 저항 값을 볼 수 있다. 이 측정된 저항 값으로 도전율 값을 계산하여 표 1에 보여준다. 도전율 값은 식 (1)과 같이 유도할 수 있다. 여기서 R은 전기저항, l은 도전사의 길이, A는 도전사의 단면적이고 ρ는 고유 저항 값을 나타낸다.

$$K=\frac{1}{\rho}(S/m),\quad R=\rho\frac{l}{A}(\Omega) \tag{1}$$

식 (1)을 이용하여 K 값(도전율)을 구하였다. K 값은 Ni(66) 도전사와 Cu(66) 도전사 각각 3.1831e+07과 2.1221e+07로 계산이 되어 안테나를 설계할 때 이 값을 이용하여 구리와 니켈 도전사로 시뮬레이션하여 기본 설계를 하였다.

도전사 실이 얼마나 높은 온도에서 견딜 수 있는가를 알아보기 위해 온도 테스트를 해 보았다. 실험 방법은 인두기를 사용하여 얼마나 높은 온도에서 인두가 가능한가로 측정하였다. 실험에 사용된 인두기는 'HAKKO FX-9512'로 온도 조절이 가능한 모델이며, 실험한 결과 두 제품 모두 최고 온도인 450도 온도에서 인두가 가능했다. 이 실험은 고온에서 적용 가능한 환경과 고온에서 납 땜과 칩 패키징을 할 때 적용될 수 있다. 또한, 인장 실험을 통해 도전사의 인장 강도를 추를 달아서 실이 끊어질 때까지 측정해본 결과 Cu(66) 도전사는 2.55 kg이었고, Ni(66) 도전사는 7.5 kg의 무게로 일반실보다 3~4배 강함을 보여주었다.

Ⅲ. 자수형 UHF RFID 태그 디자인 및 측정

자수는 어느 모양으로도 가능하므로 어떤 로고나 어떤 모양의 글자로 옷에 직접 자수를 놓을 수 있고, 그 도전사로 수 놓은 자수 자체가 태그가 된다. 티매칭 구조가 있는 글자는 태그 안테나로서 자수형으로 설계가 용이함이 소개되었으므로 본 논문에서는 T정합 구조가 없는 글자 중에서 많이 쓰이는 영어 알파벳 'F'와 한글 자음 'ㄹ' 형태로 UHF RFID 태그 안테나를 설계하였다.

측정한 도전율 값을 충분히 고려하여, 안테나 시뮬레이션 툴을 이용하여 UHF 대역의 RFID tag를 시뮬레이션하고 설계하였다. T매칭 구조를 가지고 있지 않은 영어 알파벳 'F'와 한글 자음 'ㄹ'은 설계 시 T매칭 구조를 가진 태그보다 크기가 약 1.6배 정도 더 크게 해야 매칭이 됨을 알 수 있었다. 또한, T매칭 구조 없이는 글자의 어느 한 부분이 RFID 스트랩을 본딩하기 위하여 글자의 한 부분이 끊어져야 하므로 글자의 원래 모양을 잃을 수가 있다. 그래서 옷에 부착하는 태그이기 때문에 안테나의 크기와 글자 모양을 고려하여, T 매칭 구조를 인가하여 설계된 안테나의 크기를 줄였다.

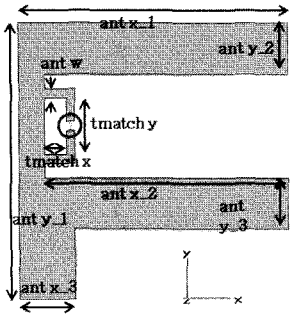
본 논문에서 기존의 시스템에 사용이 가능한 910 MHz에서 임피던스가 $11.94-133.3j$의 값을 가지는 Alien사의 Gen2 스트랩을 사용하여 CST로 설계하였으며, 태그 안테나의 임피던스는 칩 임피던스와 공액 정합을 시켰다.

첫 번째 안테나는 영어 알파벳 'F' 형태이며, 임피던스 매칭을 하기 위해서 그림 2에서 보이듯이 T매칭 구조를 사용하였으며 각각의 길이별 파라미터 변수를 나타냈고, 최적화한 파라미터들의 값을 명시하였다.

두 번째 안테나는 한글 자음 'ㄹ' 형태로 그림 3에서 길이별 파라미터 변수를 나타내고 있다. 최적화한 파라미터들의 값을 명시하였다.

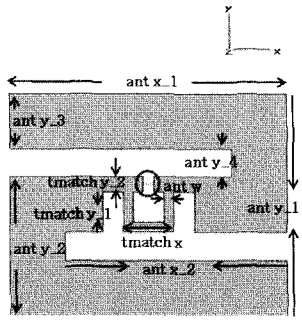
그림 2와 3에서 T정합 위치는 글자의 모양을 해치지 않는 최선의 위치를 선택하였으며, 그 모양과 위치는 XY 평면상에 그림 2와 같이 설계하였다.

그림 4와 5는 최적화된 'F'와 'ㄹ' 모양의 태그 안테나의 방사 패턴을 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. 그림 4에서 실선은 θ가 90도이며, ϕ의 변화에



Parameter	Value
ant x_1	63mm
ant x_2	57mm
ant x_3	13mm
ant y_1	59mm
ant y_2	10mm
ant y_3	10mm
ant w	2mm
tmatch x	5mm
tmatch y	12mm

그림 2. 'F' 형태의 RFID 태그 안테나와 파라미터 값
Fig. 2. 'F' shape RFID tag antenna and parameters.



Parameter	Value
ant x_1	54.6mm
ant x_2	43.6mm
ant y_1	44mm
ant y_2	27.5mm
ant y_3	11mm
ant y_4	5.5mm
tmatch x	9mm
tmatch y_1	8mm
tmatch y_2	3mm
ant w	2mm

그림 3. 'ㄹ' 형태의 RFID 태그 안테나와 파라미터 값
Fig. 3. 'ㄹ' shape RFID tag antenna and parameters.

따라 패턴을 보여주고, 점선은 ϕ가 0도이며 θ의 변화에 따라 패턴을 보여주고 있고, 그림 5에서는 실선은 ϕ가 90도이며 θ의 변화에 따라 패턴을 보여주고, 점선은 θ가 0도이며 ϕ의 변화에 따라 패턴을 보여주고 있다. 두 모양의 태그가 θ가 0도와 180도일 때 서로 다른 방향으로 최대 방사 패턴을 보여 주고 있다. Ni-66과 Cu-66 성분의 태그로 제작되었지만 Cu 성분의 태그는 인식 거리가 좋지 않아서 본 설계 결과에는 포함하지 않았다.

그림 6은 Ni 성분의 도전사를 사용하여 자수한 안테나를 제작한 것이다. 'F' 형태 'ㄹ' 형태 안테나로 제작되었다. 손바닥보다 작고 알아 볼 수 있는 크기이고, 가슴에 붙이기에 적당하게 제작한 'F' 형태 안테나의 크기는 가로 6.3 cm×세로 5.9 cm이며, 'ㄹ' 형태 안테나의 크기는 가로 5.46 cm×세로 4.4 cm이다. 아래 그림과 같이 RFID 스트랩의 위치는 T정합의 중앙 부분에 위치하고 있다.

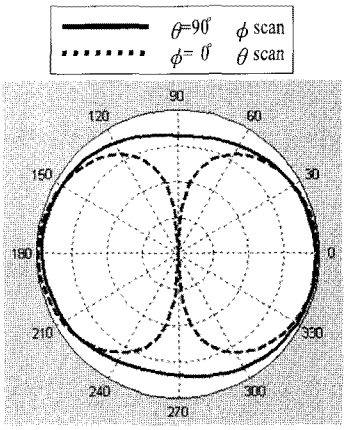


그림 4. 시뮬레이션한 'F' 모양 태그의 방사 패턴
Fig. 4. Simulated radiation pattern of 'F' shape tags.

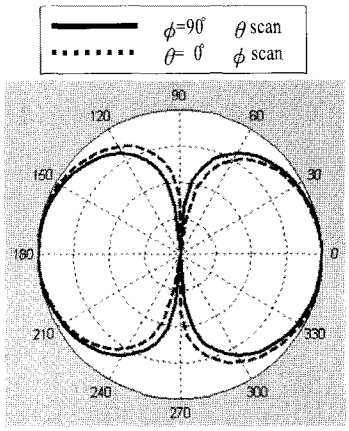


그림 5. 시뮬레이션한 'ㄹ' 모양 태그의 방사 패턴
Fig. 5. Simulated radiation patterns of 'ㄹ' shape tags.

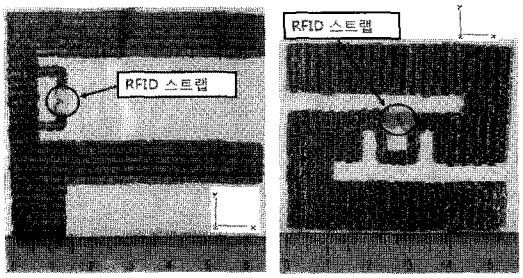
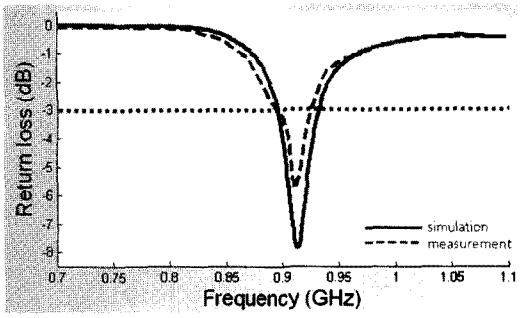
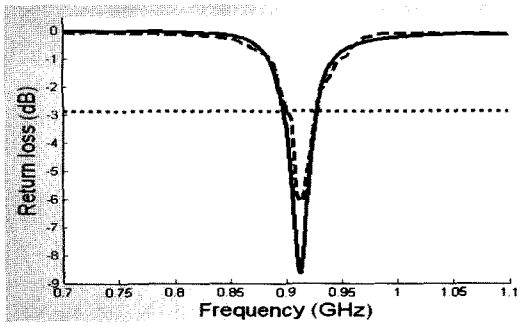


그림 6. 제작한 'F'와 'ㄹ' 모양의 태그들
Fig. 6. Fabricated 'F' & 'ㄹ' shape tags.

그림 7은 제작한 안테나의 return loss를 측정한 것이다. 그림 7(a)에서 'F' 형태 안테나의 반사 손실은 약 910 MHz −7.8 dB로 나타났고, 대역폭(bandwidth)은 −3 dB에서 34 MHz로 나타났으며, 측정한 값에



(a) 'F' 모양 태그
(a) 'F' shape tag



(b) 'ㄹ' 모양 태그
(b) 'ㄹ' shape of tag

그림 7. 제작한 태그의 return loss in(dB)
Fig. 7. Return loss(dB) of fabricated tags.

서는 return loss가 약 −5.8 dB이며, 대역폭이 32 MHz 미만으로 나타났다. 그림 7(b)에서 'ㄹ' 형태 안테나의 반사계수는 약 −8.6 dB이며, 대역폭은 −3 dB에서 28 MHz 미만으로 나타났으며, 측정한 값은 약 −6.1 dB이며, 대역폭이 23 MHz로 나타난 것을 볼 수 있다. 대체적으로 실험치과 측정치가 비슷함을 볼 수 있었으나, 측정치와의 차이는 본딩시에 글루의 저항 성분이 지배적일 것으로 예상된다.

제작한 안테나의 인식 거리를 측정하였다. 열린 공간에서 Alien사의 리더기와 리더 안테나를 사용하였다. 리더기는 ALR9900 모델을 사용하였으며, 리더 안테나는 이득이 6 DBi인 ALR-9610-AL 모델을 사용하였다. 리더 시스템의 유효 등방향 방사 전력(EIRP)은 36 dBm이다.

그림 8과 그림 9는 'F' 모양과 'ㄹ' 모양 안테나의 인식 거리를 보여주고 있다. 'F' 형태의 안테나의 인식 거리는 최대 3.24 m, 'ㄹ' 형태 안테나의 인식 거리는 1.50 m로 나타난 것을 알 수 있다. 'F'자 형태가

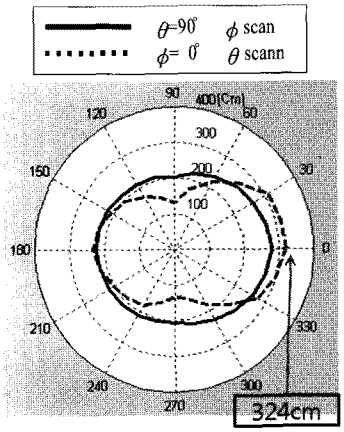


그림 8. 'F' 모양 태그의 인식 거리 패턴
Fig. 8. Reading range pattern of 'F' shape tag.

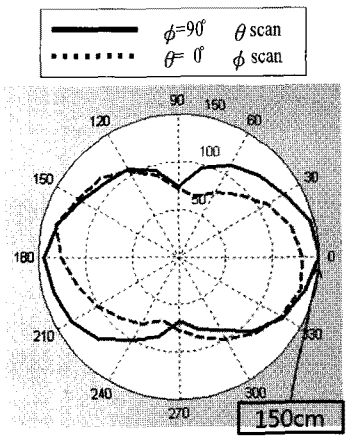


그림 9. 'ㄹ' 모양 태그의 인식 거리 패턴
Fig. 9. Reading range pattern of 'ㄹ' shape tag.

표 2. 태그의 인식 거리 및 안테나 크기
Table 2. Comparison of reading ranges and sizes.

태그 안테나	인식 거리	안테나 크기(mm)
'F'	324cm	63*59
'ㄹ'	150 cm	54.6*44

인식 거리가 더 좋게 나온 이유는 RCS값이 약간 큰 이유와 그림 8에서와 같이 인식 거리 패턴이 한쪽으로 약간 더 지향성이 있으므로 인식 거리가 길게 인식이 되었다.

점선은 θ방향으로 나타낸 것이고, 실선은 ϕ 방향으로 나타낸 것이다. 그림 4와 5의 안테나 방사패턴과 일치함을 보여 주고 있다. 표 2에서는 제작한 안테나의 인식 거리 및 안테나의 크기를 비교해 놓

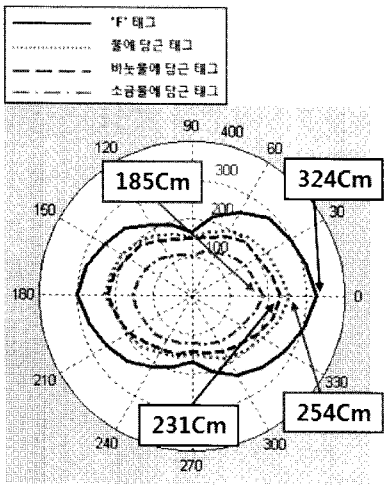


그림 10. 'F' 형태 젖은 태그의 인식 거리 패턴 비교
Fig. 10. Reading range comparison of wet 'F' shape tag.

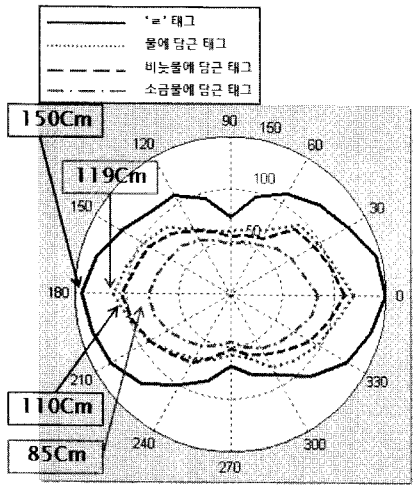


그림 11. 'ㄹ' 형태 젖은 태그의 인식 거리 패턴 비교
Fig. 11. Reading range comparison of wet 'ㄹ' shape tag.

았다.

설계된 'F'와 'ㄹ' 태그는 의류에 부착하기 위해 섬유로 만들어진 태그이므로 옷에 태그가 부착되어 물이나 바닷물에 젖었을 때의 상황을 고려해야 한다. 제작된 태그를 물, 소금물 그리고 비눗물에 담가서 젖었을 때 인식 거리를 측정하고, 또한 비눗물로 씻어서, 또 건조 후에 인식 거리를 측정하였다. 이로 인하여 태그를 간단하게 비눗물로 씻을 수 있는 테스트도 겸하였다. 소금물의 농도는 바닷물의 농도와 같게 하였다. 물, 소금물과 비눗물에 충분히 젖은 각각의 태그의를 가지고 인식 거리를 측정하였다. 측정한 결과, 그림 10에서 'F' 형태의 태그 인식 거리가 서로 비교되었다. 건조시 인식 거리가 그림 8과 같이 324 cm인데, 물에 젖은 것은 254 cm(건조시의 78 %), 비눗물에서 231 cm(건조시 71 %), 소금물에서 185 cm(건조시의 57 %)의 인식 거리를 나타냈다.

그림 11에서 'ㄹ' 형태의 태그의 인식 거리가 서로 비교되었다. 건조시에 인식 거리가 그림 9와 같이 150 cm이며, 물에 젖은 것은 119 cm(건조시의 79 %), 비눗물에서 110 cm(건조시의 73 %), 소금물에서 85 cm(건조시의 56 %)의 인식 거리를 나타냈다.

물, 비눗물, 소금물 순으로 인식 거리가 짧아지긴 했지만 여전히 잘 인식되는 것을 알 수 있었다. 다시 건조 후에는, 물에 담그기 전의 인식 거리와 같게 나온 것을 확인할 수 있었다. 또한, 위의 젖었을 때의 데이터를 통해 보면 두 개의 태그가 물에 젖었을 때 인식 거리가 78~79 % 정도로 감소되었고, 비눗물의 경우는 71~73 %로, 그리고 소금물의 경우는 56~57 %로 비슷한 퍼센테이지로 감소됨을 발견할 수 있었다.

일반적인 구리로 태그를 설계하였을 때와 비교하였다. 설계 Tool에서 제공되는 효율은 'F'자의 경우 도전사는 1.089이고, 구리 태그의 경우는 효율이 1.094로 0.005 차이로 아주 미세하며, 'ㄹ'자의 경우는 0.044 밖에 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 시뮬레이션을 통한 임피던스 값으로 최대 인식 거리를 계산한 결과 'F'자형은 2.21 m이고, 'ㄹ'자는 1.27 m로 계산치가 실제 측정치보다 약간 작은 값이 나왔다.

몸에 1 cm 정도 접근 시에 씨뮬레이션 결과 태그의 성능 변화는 두 가지 경우 1 dB 정도 손실이 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 전도성을 띄는 도전사를 이용하여 UHF 대역(840~960 MHz)에서 동작하는 RFID 태그 안테나를 소개하였다. 시뮬레이션 및 제작 시에 필요한 도전사에 대한 도전율 값 계산, 인장 강도 테스트를 하였다. 도전사라는 특징 때문에 일반적으로

의류에 적용하기 위해 심벌로 적용하기 쉬운 영어 알파벳 'F'와 한글 자음 'ㄹ'로 T정합 구조가 없는 글자 모양의 태그를 작게 설계하기 위해서는 T정합을 사용하여 제작하였다. 최적화한 태그로 제작한 태그의 return loss와 대역폭과 인식 거리를 측정하였다. 'F' 형태 태그의 인식 거리가 3.24 m이며, 'ㄹ' 형태 안테나는 1.5 m이다. 인식 거리 패턴은 안테나 방사 패턴과 일치함을 보였다. 또한 물, 소금물, 비눗물에 젖었을 때 인식 거리를 비교하여 보여주었다.

이렇게 디자인한 태그를 의류에 부착하였을 때 의류 관리함에 있어서 상표에 RFID 태그를 따로 부착하지 않고 그대로 자수하여 사용할 수 있다. 이러한 태그는 유치원, 양로원 혹은 각종 행사 등의 출입 관리 혹은 제복을 입는 사람들의 추적, 유아 추적 시스템 등에 응용되어 기존의 시스템 방식을 업그레이드 시킬 수 있게 된다.

참 고 문 헌

[1] 손해원, "UHF RFID 안테나 기술", 한국전자파학회지 전자파기술, 19(6), pp. 40-50, 2008년 11월.

[2] K. Fingenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Elgland, 2003.

[3] Y. Bendavid, S. F. Wamba, and L. A. Lefebvre, "Proof of concept of an RFID-enabled supply chain in a B2B e-commerce environment", in *Proceedings of the 8th International Conference on Electronic Commerce(ICEC'6)*, pp. 564-568, 2006.

[4] 김연호, 정유정, "도전사를 이용한 UHF RFID 다이폴 태그 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 18(1), pp. 1-6, 2008년 1월.

[5] A. Tronquo, H. Rogier, C. Hertleer, and L. Van Langenhove, "Robust planar textile antenna for wireless body LANs operating in 2.45 GHz ISM band", *Electronics Letters 2nd*, vol. 42, no. 3, Feb. 2006,

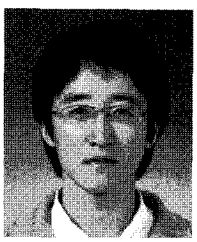
[6] C. Cibin, P. Leuchtmann, M. Gimersky, R. Vahldieck, and S. Moscibroda, "A flexible wearable antenna", *IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, vol. 4, pp. 3589-3592, Jun. 2004.

[7] P. Salonen, Y. Rahmat-Samii, M. Schaffrath, and M. Kivikoski, "Effect of textile materials on wearable antenna performance: a case study of GPS antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society Symp.*, vol. 1, pp. 459-462, 2004.

[8] P. Salonen, Y. Rahmat-Samii, and M. Kivikoski, "Wearable antennas in the vicinity of human body", *IEEE Antennas and Propagation Society Symp.*, vol. 1, pp. 467-470, 2004.

[9] J. Choi, Y. Kim, K. Lee, and Y. C. Chung, "Various wearable embroidery RFID tag antenna using electro-thread", *IEEE Antennas and Propagation Society Symp.*, 2008.

최 재 한



2007년 2월: 대구대학교 통신공학과 (공학사)
2008년 3월~현재: 대구대학교 통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 도전사 안테나, RFID, 태그 안테나

정 유 정

1990년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학사)
1994년 12월: University of Nevada, Reno, 전자공학과 (공학석사)
1999년 12월: University of Nevada, Reno, 전자공학과 (공학박사)
2000년 1월: Utah State University 연구조교수
2003년 5월: University of Utah 연구조교수
2004년~현재: IEEE Senior Member
2006년~2008년: Associate Editor of International Journal of Antenna Propagation (IJAP)
2004년 9월~현재: 대구대학교 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] RFID, 유전자 알고리즘을 이용한 안테나 최적화, 다중밴드 안테나 최적화, 배열 안테나 최적화