

# 도전사를 이용한 UHF RFID 다이폴 태그 안테나 설계

## UHF RFID Dipole Tag Antenna Design Using Flexible Electro-Thread

김 연 호 · 정 유 정

Yeonho Kim · You Chung Chung

### 요 약

전도성의 도전사를 이용해서 UHF 대역의 입을 수 있는 T-정합 다이폴 형태의 RFID Tag 안테나를 디자인하였다. 도전사를 꼬아 만드는 실의 수에 따라 도전율을 측정하여, 그 값을 시뮬레이션에 적용하여 정확한 결과를 유도하였다. 기존의 구리 기판이나 구리 테이프를 사용한 Inlay 형태나 패치 형태의 RFID 태그가 아닌 의류의 특성상 착용감, 구부러짐 변화에도 문제점이 없이 구부러질 수 있는 도전사를 사용하였다. 제작한 RFID 태그 안테나의 성능을 검증하기 위하여 안테나를 제작하고 반사 손실, 인식 거리 패턴 등을 측정하였다. 제작된 태그 안테나의 인식 거리를 측정하였고, 약 2.4 m의 인식 거리를 가지는 것을 확인하였다.

### Abstract

A wearable T-matching dipole UHF RFID tag antenna has been designed using conductive electro-thread. The conductivity of the electro-thread has been measured depending on the number of twisted thread. The measured conductivity has been used for simulation to have accurate simulation results. The flexible electro-thread or fabric has been used for fabricating the antenna instead of using copper tape since the electro-thread is more flexible and wearable than copper tape. The return loss and reading range of the fabricated electro-thread UHF RFID tag antennas have been tested. The reading range is approximately 2.4 m.

Key words : Wearable RFID Tag Antenna, RFID, Electro-thread Antenna, Electro Textile Antenna

### I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 리더, transponder(태그) 그리고 리더에 연결된 컴퓨터로 구성되는 RFID 시스템으로, 사물이나 사람 인식을 하는데 도움이 되고 있다. RFID 시스템에서 태그에는 안테나와 안테나의 급전점에 연결된 RFID IC 칩으로 구성되어 있으며, UHF 리더는 변조된 신호를 리더용 안테나를 통하여 수동형 태그에게 전력을 공급하면서 통신을 하게 된다. 태그는 전자기 역산란(electromagnetic backscattering) 방법으로 리더에게 태그의 데이터를 송신하게 된다. 수동형 RFID 태그는 능동형 RFID 태그와는 달리 내부에 별도의 전원을 가지

고 있지 않다. 그래서 리더로부터 송출된 전자파를 정류하여 태그 동작 전원을 얻는다. 따라서 수동형 RFID 태그 안테나 설계시 태그 칩으로 가능한 최대의 전력을 전달하여야 하고, 그러기 위해서는 태그 안테나와 태그 칩과의 완벽한 정합이 되어야 한다<sup>[2]</sup>.

특히 사람이 입는 옷에 RFID 태그를 붙일 경우, 도전사로 태그 안테나를 디자인하여 옷 자체나 옷의 일부를 RFID 태그를 사용하여 물류 관리를 할 수 있다면 일반적인 태그를 따로 상표에 삽입하는 수고가 덜어질 것이다. 입을 수 있는(wearable) 안테나 관련 논문들이 소개되었는데, 2.4 GHz LAN에 관한 논문들이 많이 소개가 되었다. 직물을 이용한 2.4 GHz의 안테나와 전도성 직물을 이용한 안테나 및 실험들이

대구대학교 정보통신공학과(Dept. of Information and Communication Engineering, Daegu University)

· 논문 번호 : 20070711-072

· 수정완료일자 : 2008년 1월 11일

있다. 참고문헌 [3]에서는 전도성 재료로 FleTron를 사용한 2.4 GHz 단일 급전 직사각형의 링 모양의 직물 안테나를 소개하였고, 참고문헌 [4]에서는 직물 재료와 평면 안테나의 모양을 직물의 특성을 보존하고 옷 안에 부드럽게 붙일 수 있는 2.4 GHz의 직물 패치 안테나를 소개하였다. 참고문헌 [5]에서는 직물의 전기적인 특성과 전도성 직물의 모델링에 관한 연구가 소개되었으며, 4가지 형태로 6 GHz에서 동작할 수 있는 전송 선로를 디자인했다.

입을 수 있는 태그는 인체와 근접해 있으므로 인체의 유전율과 거리에 많은 영향을 받게 된다. 태그가 부착되는 옷의 인체의 특정 부분에 따라 인체와 태그와의 거리 그리고 인체의 유전율 등이 고려되어야 할 것이다. 도전사 태그 제작을 함에 있어 다이폴 형식이나 패치 형태로 제작하여 몸에 쉽게 부착하거나 삽입할 수 있게끔 하여야 한다<sup>[6]~[8]</sup>.

본 논문에서는 일반 구리 기판이 아닌 도전사(electro-thread)를 사용한다. 이는 도전사나 도전 직물의 전도성(electrically conductivity)을 이용해서 제작 및 실험하였다. 일반적인 형태의 태그나 철강형 태그 등과 같은 특수 태그가 제작, 판매되고 있지만, 도전사나 도전 직물을 이용해서 의류에 부착하거나 의류의 일부를 태그화 할 수 있는 태그는 아직 만들어 지지 않았다. 이는 의류의 특성상 착용감, 구부러짐 문제가 있기 때문에 의류와 동일한 섬유를 이용하여 태그를 만듦으로서 착용감이나 구부러짐 문제를 해결하였다.

II장에서는 태그 안테나의 동작 원리에 관한 내용이고, III장에서는 본 논문이 제안하는 안테나의 설계 방법을, IV장에서는 실제 제작하여 시뮬레이션 결과와 비교하였다. V장에서 결론을 내렸다.

## II. RFID Tag 안테나의 동작 원리

RFID IC 칩의 임피던스는 RFID 칩의 기생 커패시턴스에 의해 실수부와 용량성 허수부를 가진다. 태그 칩은 낮은 저항 성분과 높은 커패시턴스 성분을 가지고 있다. 따라서 태그 안테나 임피던스는 RFID 칩 임피던스와 공역 정합시켜야 한다. 그래서 각 상용 RFID 칩 임피던스에 맞추어서 안테나를 제작하여야 한다<sup>[9]</sup>. 태그 칩과 태그 안테나의 임피던스 매

칭 부분이나 태그 칩을 정전기로부터 보호하기 위한 방법으로 안테나를 루프 모양이나 T-매칭 방법을 사용하여 만든다<sup>[10]</sup>.

일반 공기 중에서의 태그의 최대 인식 거리( $r_{max}$ )는 Friis 자유 공간 공식을 이용하여 식 (1)과 같이 유도할 수 있다<sup>[11]</sup>.  $\lambda$ 는 파장,  $G_r$ 과  $G_t$ 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 이득을 나타내며,  $P_r$ 은 리더 안테나에 공급되는 전력이다. 즉,  $P_r * G_r$ 은 EIRP(Equivalent Isotropic Radiated Power)이며, ISO 18000-6에 따르면 EIRP는 4 W 즉, 약 6 dB보다 작아야 한다. 리더로부터 송출되는 전자파의 세기에 따라 태그 인식 거리가 달라진다.  $P_{th}$ 는 RFID 태그 칩이 동작하기 위해 필요한 최소 문턱 전력이다. 식 (2)는 파워 전송 계수  $\tau$ 를 표현한다.

$$r_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_r G_r G_t \tau}{P_{th}}} \quad (1)$$

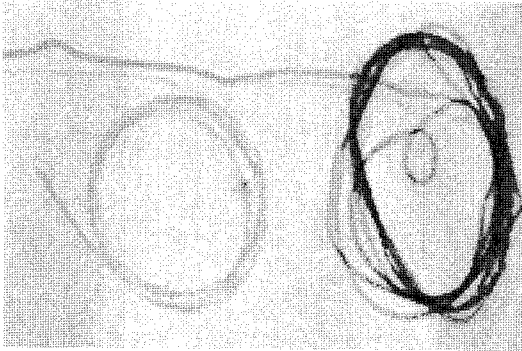
$$\tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|^2}, \quad 0 \leq \tau \leq 1 \quad (2)$$

여기서  $Z_c = R_c + jX_c$ 는 칩 임피던스이고,  $Z_a = R_a + jX_a$ 는 태그 안테나 임피던스이다.

## III. RFID Tag 안테나 설계 방법

### 3-1 도전사와 도전 직물의 기본적인 성질

본문에서는 안테나 제작 재료로 사용될 도전사와 도전 직물에 대한 기본적인 성질에 대해 알아보겠다. 아직까지 도전사에 대한 자세한 정보가 없어 도전사와 도전 직물에 대한 간략한 설명을 하겠다. 일단, 도전사라 함은 전기적인 성질을 지닌 금속사가 함유된 도전사를 말한다. 스마트 의류에 사용될 목적으로 만들어졌으며, 탄소 미립자를 합성 섬유의 원료 중에 혼합시킨 섬유를 소재로 하는 도전성 소재다. 도전사는 0.03 mm 내지 0.08 mm의 직경을 가진 구리 금속사 및 상기 금속사를 커버링하고 있는 절연성을 가진 섬유를 포함한다. 그리고 도전 직물이라 함은 제조된 도전사, 이 도전사를 이용하여 제조된 정전기 방지성 폴리프로필렌 직물을 말한다. 즉, 도전사(conductive yarn 또는 electro-thread)와 그라운드사(ground yarn)를 함께 제작하면서 제작시 대전 방



(a) 도전사 부품명 100D (b) 도전사 부품명 200DT  
(a) NTD-100-A AG-LINE (b) Article MFT 200DT

그림 1. 도전사  
Fig. 1. Sample electro-thread.

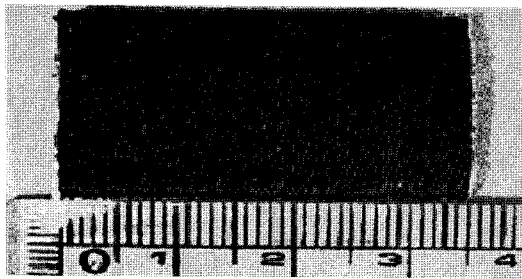


그림 2. 도전사 200D로 짠 도전 직물  
Fig. 2. Electro-textile made with 200D electro-thread.

지 용액으로 처리하여 폴리프로필렌 직물을 제조한 것이다.

그림 1, 2는 도전사(그림 1)와 도전 직물(그림 2)의 사진으로 실제 안테나를 제작할 때 사용되었다. 도전사의 종류는 여러 가지 있으나, 여기서는 저항 측정을 해서 저항이 일정한 도전사를 골라 디자인 및 설계에 사용하였다. 도전사 이름은 각각 NTD-100-A AG-LINE(a)와 Article MFT 200DT(b)이다. 도전 직물은 article MFT 200DT 도전사로 제작해서 만들었다.

### 3-2 RFID Tag 안테나 설계

태그 안테나를 시뮬레이션하기 앞서 도전사의 성질에 따른 전도성의 값을 측정해야 한다. 도전사를 이용한 RFID tag 안테나 설계에서 가장 중요한 것은 일반 구리 기판이나 구리 테이프가 아닌 전기적 인성질을 가지는 도전사를 사용한다는 것이다. 도

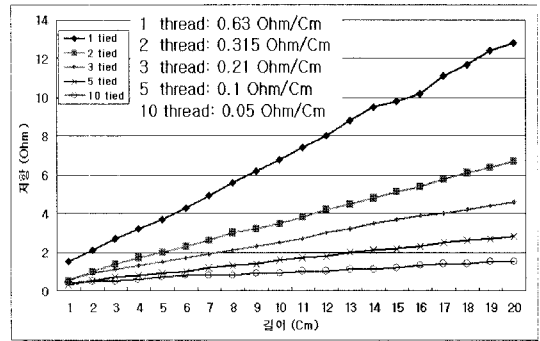


그림 3. 도전사 단위 길이당 저항 측정 표  
Fig. 3. Resistivity of twisted thread vs. length of conducting thread.

전사를 사용함으로 의류에 착용했을 때 착용감은 그대로인 동시에 태그 안테나로서의 역할을 할 수 있는 것이다. 도전사와 도전 직물은 단위 cm당 저항을 가지고 있다. 이를 측정함으로써 시뮬레이션에 필요한  $K$ 값(식 (3))을 알 수 있다.

$$K = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

그림 3은 단위 cm당 저항 측정 표이다. 도전사를 꼬아서 만든 실을 가지고 측정하였다. 실을 많은 수로 꼬을수록 단위 cm당 저항이 작아짐을 그림 3에서 볼 수 있다.

그림 3의 측정치를 가지고 도전사에 대한 저항을 측정하였다. 꼬아진 수별로 측정된 저항을 가지고 식 (4)에 대입해서  $\rho$  값을 구한다. 저항은 도전사 10줄을 꼬아서 만든 저항이 안정적이고 길이에 비해 변화가 적으므로 저항 값은 10줄을 꼬아서 만든 도전사의 저항 값을 가지고 계산하였다. 도전사 10줄 이상이면 길이가 늘어남에 따른 저항이 작아지므로  $\rho$  값이 일정해진다. 여기서  $l$ 은 도전사의 단위 길이이고,  $S$ 는 도전사의 면적이다.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

식 (3)을 이용해서  $\rho$  값의 역수인  $K$ 값(전도율)을 구한다.  $K$ 값을 구하면 약 0.025가 나온다.  $K$ 값을 디자인할 안테나의 전도율 값으로 사용하여 시뮬레이션 하였다.

## IV. RFID Tag 안테나 디자인

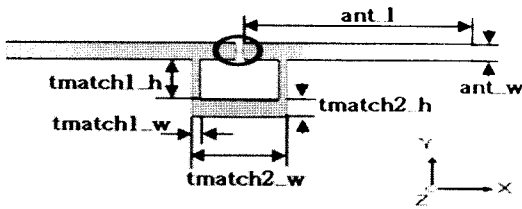


그림 4. 도전사로 디자인한 다이폴 RFID tag 안테나  
Fig. 4. A dipole RFID tag antenna using electro-thread.

도전사와 도전 직물의 전기적인 성질을 이용해서 RFID tag 안테나를 만들려면 기본적인 다이폴 안테나를 만들어서 설계 및 측정을 하였다. ISO 18000-6에 따르면 UHF 대역의 RFID 주파수 범위는 860 ~ 960 MHz이다. 따라서 중심 주파수는 910 MHz로 정하여 설계하였다. 안테나 설계 및 제작할 때 쓰인 RFID 칩은 Alien사의 Gen1 칩을 사용하였다. 그림 4는 도전사로 시뮬레이션 된 RFID tag 안테나이다. 표 1은 안테나의 각 파라미터 값이다. 태그의 기본적인 디자인 형태는 T-매칭을 사용한 다이폴 안테나이다. T-매칭은 안테나 양단의 길이를 줄이고자 사용하였다. 안테나를 시뮬레이션할 때 구리 기판이 아닌 도전사로 설정했다. 그리고 위 식에서 구한  $K$ 값(전도율)을 시뮬레이션할 때 사용하였다.

그림 5는 실제 제작한 도전사 RFID 태그 안테나이다. 초기 단계로서 가장 간단한 T-매칭 구조를 갖는 다이폴 형태의 안테나를 디자인하였다. 반사 계수 측정은 제작한 안테나의 안테나를 반으로 잘라 한 쪽 부분을 급전한다. 급전 부분 아래쪽에  $1 \times 1$  m의 그라운드 판을 두었다. 태그 안테나의 미러 효과를 이용하여 반사 계수를 측정하였다.

표 1. 도전사 RFID tag 안테나의 변수  
Table 1. Parameters of RFID tag antenna using electro-thread.

Parameters	Value
ant_l	60 mm
ant_w	2 mm
tmatch1_w	2 mm
tmatch1_h	5 mm
tmatch2_w	20 mm
tmatch2_h	2 mm

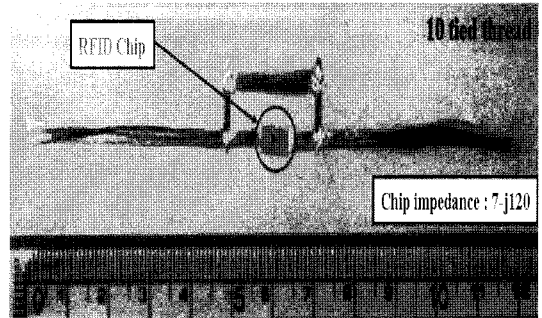


그림 5. 도전사로 만든 RFID 태그 안테나  
Fig. 5. Fabricated tag antenna with electro-thread.

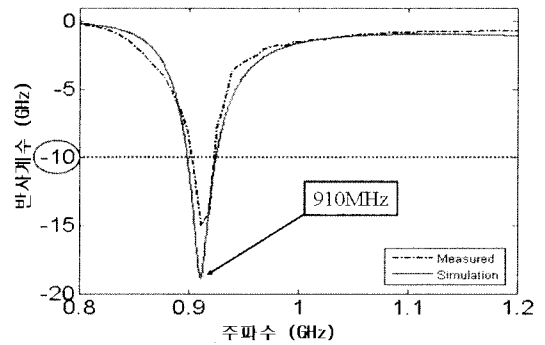


그림 6. 도전사 다이폴 태그 안테나의 반사 계수  
Fig. 6. Return loss of dipole tag antenna with electro-thread.

그림 6은 시뮬레이션 값 반사 계수 값과 실제 측정된 반사 계수 값을 서로 비교한 그림이다.

그림 6에서 시뮬레이션한 안테나의 중심 주파수는 910 MHz일 때, 반사 계수는 약 -19 dB이고, 대역폭(bandwidth)은 약 27 MHz로 나타났다. 측정치는 반사 계수는 약 -15 dB이고, 대역폭은 약 23 MHz로 나타났다. 이로써 구리가 아닌 전기적인 성질을 가지는 도전사를 써도 일반 태그와 비교하여 반사 계수가 작으나, 성능에는 차이가 없다는 사실을 알 수 있다.

그림 7은 실제 제작한 안테나의 인식 거리 패턴을 보여주고 있다. 안테나의 인식 거리 측정을 위해 Alien사의 ALR-9800 리더기를 사용하였고, 리더용 안테나는 역시 Alien사의 원형 편파에 6 dBi의 이득을 가지는 ALR-9610-BC 모델의 안테나를 사용하였다. 제작한 도전사 안테나의 최대 인식 거리는 약 2.4 m 정도이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역에서 동작하는 RFID tag 안테나를 도전사를 사용하여 디자인하였다. 기본적인 T-매칭을 사용한 다이폴 안테나를 도전사를 사용하여 설계하고 측정하였다. 도전사는 전도성을 가지고 일반 금속과 같은 성질을 나타내는 것을 알 수 있었다. 그리고 도전사 저항을 측정하여 수식적으로 계산하여 도전율을 측정하여 안테나 설계시 시뮬레이션에 필요한 도전율 값을 사용하여 사용하였다. 그래서 시뮬레이션 값과 측정값이 비슷함을 알 수 있었다.

본 태그는 의류에 부착 또는 의류의 일부를 자수화한 상태에서 자유롭게 활동할 수 있는 장점이 있다.

도전사를 사용해 문자 모양으로 태그 안테나를 설계 중이며, 도전사를 옷에 직접 적용하여 설계하는 것이 향후의 해야할 과제이다. 태그의 구부러짐에 대한 실험도 시뮬레이션이 아닌 직접 몸에 부착하여 실험할 것이다. 향후 스마트 의류가 많이 나오기 때문에 RFID 태그 안테나를 이용한 사용자 위치 인식이나 출입 관리, 유아 추적 시스템 등 기존의 시스템을 한 단계 업그레이드시킬 수 있다. 향후, Alien사의 Gen1 칩이 아닌 Gen2 칩을 사용하여 인식 거리를 향상시킬 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, England, 2003.
- [2] 손해원, 최원규, 표철식, "UHF RFID 태그 안테나 기술", 한국전자과학회 전자과학기술지, 16(2), pp. 55-63, 2005년 4월.
- [3] 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*, vol. 42, pp. 142-143, 2006.
- [4] I. Locher, M. Klemm, T. Kirstein, and G. Trster, "Design and characterization of purely textile patch antennas", *IEEE Transactions*, vol. 29, Issue 4, pp. 777-788, 2006.
- [5] D. Cottet, J. Grzyb, T. Kirstein, and G. Troster,

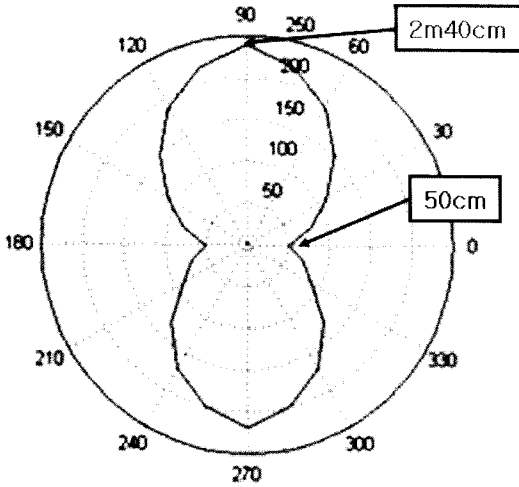


그림 7. 도전사로 만든 RFID tag의 인식 거리  
Fig. 7. Reading range of RFID tag using electro-thread.

RFID 태그 안테나는 용도의 특성상 항상 특정 물체에 부착되어 사용되므로, 태그의 부착 물체의 특성 및 동작 환경에 따른 최적화가 필요하다. 그림 8은 도전사로 만들어진 태그와 인체의 거리에 따른 반사계수 변화를 나타낸 그림이다. 인체에 있는 근육의 유전율을 50.6으로 사용하여 태그의 거리 별로 반사계수를 시뮬레이션을 통해 변화를 보았다. 거리에 따른 반사계수 변화는 저주파 대역으로 옮겨졌다<sup>[12]</sup>. 그리고 태그의 구부러짐에 관한 실험을 하였으나, 태그의 특성상 태그 양 끝을 어깨나 가슴 근처 착용시 구부러지는 정도의 실험이라 구부러짐 전과 인식 거리가 별 차이가 없음을 알 수 있었다.

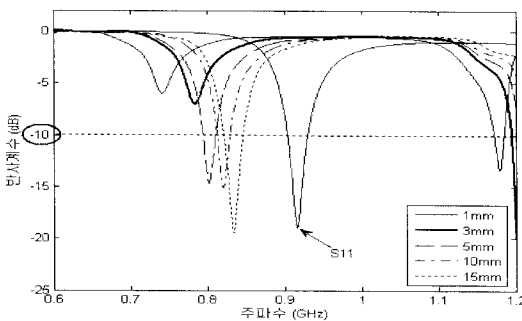
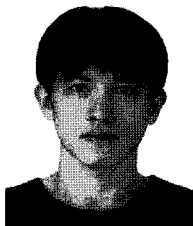


그림 8. 태그와 인체 거리에 따른 반사계수 변화  
Fig. 8. Return loss changes vs. distance between tag and human body.

- "Electrical characterization of textile transmission lines", *IEEE Transactions*, vol. 26, Issue 2, pp. 182-190, 2003.
- [6] Ouyang Yuehui, W. J. Chappell, and W. L. Stutzman, "Diversity characterization of body-worn textile antenna system at 2.4 GHz", *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, vol. 3, pp. 2117-2120, 2006.
- [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 Symposium*, vol. 2, 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 Symposium*, vol. 2, pp. 467-470, 2004.
- [9] 김구조, 김신환, 정유정, "UHF 대역의 원형 RFID 태그 안테나 설계", *한국전자과학회논문지*, 18(3), pp. 282-287, 2007년 3월.
- [10] X. Qing, N. Yang, "A folded dipole antenna for RFID", *Antennas and Propagation Society Symposium, IEEE*, vol. 1, pp. 97-100, Jun. 2004.
- [11] R. Redemske, R. Fletcher, "Design of UHF RFID emulators with applications to RFID testing and data transport", *Automatic Identification Advanced Technologies*, pp. 193-198, Oct. 2005.
- [12] P. Salonen, Y. Rahmat-Samii, M. Schaffrath, and M. Kivikoski, "Effect of textile materials on wearable antenna performance: A case study of GPS antennas", *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE* vol. 1, pp. 459-462, Jun. 2004.

김 연 호



2006년 2월: 대구대학교 통신공학과 (공학사)  
 2006년 3월~현재: 대구대학교 통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RFID, 초소형 태그 안테나 및 리더 안테나

정 유 정



1990년 2월: 인하대학교 전기공학과 (공학사)  
 1994년 12월: University of Nevada 전기전자공학과 (공학석사)  
 1999년 12월: University of Nevada 전기전자공학과 (공학박사)  
 2000년 1월~2003년 4월: Utah State University 연구조교수  
 2003년 5월~2004년 8월: University of Utah 연구조교수  
 2004년 9월~현재: 대구대학교 정보통신공학과 교수  
 [주 관심분야] RFID, 유전자 알고리즘을 이용한 안테나 최적화, 다중밴드 안테나 최적화, 배열안테나 최적화