

UHF 대역 RFID 태그 안테나의 RCS(Radar Cross Sections) 분석 및 측정

Analysis and Measurement of RCS for UHF Band RFID Tag Antennas

문효상 · 김남훈 · 이종욱 · 이범선

Hyosang Moon · Namhoon Kim · Jongwook Lee · Bomson Lee

요 약

RFID 시스템에서 태그 안테나의 성능을 평가하는 중요한 기준은 우수한 인식 거리라고 할 수 있다. 태그 안테나의 인식 거리를 결정하는 요인 중 가장 중요한 것이 Radar Cross Sections(RCS)이다. 본 논문에서는 수동형 RFID 시스템에서의 태그 안테나의 RCS값을 두 개의 송·수신 리더 안테나와 network analyzer를 가지고 간단하게 측정할 수 있는 방법을 제안한다. Network analyzer로 송신 안테나에서 수신 안테나로 전달되는 S_{21} 값을 측정하고, 이것을 가지고 RCS 식으로 계산하여 RCS 값을 추정할 수 있다. 그리하여 RCS의 측정값, 시뮬레이션 값, 이론값을 서로 비교하였다. 측정에 사용된 태그 안테나는 2개의 다이폴 타입 태그 안테나와 1개의 금속 태그, 1개의 inductively coupled 태그 안테나를 사용하였다. 실험 결과 다이폴 타입 태그에 경우는 측정값, 시뮬레이션 값, 이론값이 거의 일치하고 다른 구조의 태그는 근사적으로 RCS 값을 추정할 수 있다.

Abstract

In the RFID system, one of the important criteria of tag antenna performance is the detection distance. The most important factor determining the detection distance of the tag antenna is the Radar Cross Sections(RCS). In this paper, we propose a method to simply measure the RCS of the RFID tag antenna using two reader antennas(Tx and Rx) and a network analyzer. We estimate RCS' from the RCS equation based on the measured S_{21} using the network analyzer. We compare the measured S_{21} values with the calculated S_{21} values and the simulated S_{21} values using EM simulator. The used tag antennas are two kinds of dipole-type, metal-type, and an inductively-coupled type ones. In case of the dipole type, the measured, simulated and calculated values of the RCS are almost the same. In case of other types, we obtain the measured RCS values with a difference of about 3 dB.

Key words : RFID, RCS, Measurement, Tag, Antenna

I. 서 론

최근 RFID는 인식 거리 확장에 대한 요구가 증대되면서 마이크로파 대역으로 주파수 활용 대역이 높아졌고, 물류, 교통, 기타 자동화 시스템의 응용 가능

성 때문에 그 시스템 개발이 활발하다. RFID 시스템은 RF transponders(tag)와 RF transceivers(Reader, host computer)으로 구성된다^{[1],[2]}. RFID 태그의 성능은 대개 인식 거리를 측정함으로써 평가된다. 하지만, 리더 시스템을 개발하는 업체마다 각각 다른 detection

「본 논문은 한국과학재단의 R01-2005-000-11056-0 과제의 지원에 의한 것임.」
경희대학교 전파공학과(Department of Radio Engineering, Kyunghee University)

· 논문 번호 : 20061009-123

· 수정완료일자 : 2007년 1월 15일

sensitivity를 가지고 있기 때문에 인식 거리로서 RFID 태그의 성능을 평가하는 것은 다소 불확실한 면을 가지고 있다. 그리하여 reader sensitivity와 독립적으로 태그의 성능을 평가할 수 있는 방법이 필요한 것이며, 그 방법 중의 한 가지로서 radar cross sections(RCS)를 분석하여 태그의 성능을 평가할 수 있다^{[3][4]}. 과거 RCS는 레이더와 target 사이에서나 위성 통신에서 사용되던 개념이며, 그것을 측정하기 위한 방법도 많이 시도되어 왔다^{[5]-[7]}. 하지만 수동형 RFID 시스템에서의 RCS 측정은 아직 미비한 편이다. 본 논문에서는 2개의 리더 안테나와 태그, network analyzer를 사용한 간단한 방법으로 RCS를 측정할 수 있는 방법을 제안한다.

II. Tag Equations

RCS를 실제 측정에 앞서 이론적으로 유도하여 보았다. 그림 1은 태그의 등가 회로를 나타낸 것이다. 단, 이 등가 회로는 다이폴 타입의 태그 안테나의 경우에 국한하여 사용할 수 있다^[4]. 가운데 점선을 중심으로 왼쪽이 안테나 부분이며, 오른쪽이 칩 부분이다. $Z_A = R_A + jX_A$ 는 안테나 임피던스이고, $Z_L = R_L + jX_L$ 은 칩 임피던스이다. 칩의 reactance 성분인 X_L 은 대개 매우 큰 음의 범위에서 값을 가지기 때문에 안테나의 reactance 값은 그것에 공액 매칭이 되도록 큰 양의 범위에서 값을 가지도록 설계되어야 등가 회로 상에서 최대 전력을 가질 수 있다. V_{oc} 는 리더에서 전자기파가 입사했을 때, 태그의 안테나와 칩 사이가 open되었을 경우의 전압을 나타낸 것이다.

칩으로 전달되는 전력인 P_L 은 등가 회로에서 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 태그의 안테나 임피던스와 칩 임피던스 사이의 공액 매칭 조건에서는

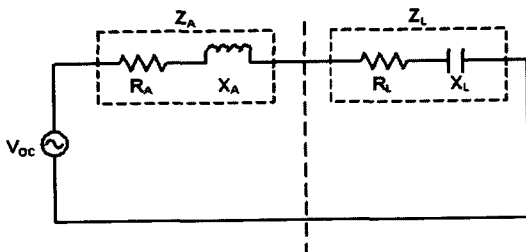


그림 1. 태그의 등가 회로
Fig. 1. Equivalent circuit of the tag.

P_L 은 식 (2)로 나타내어지며, 이것이 실제 이용할 수 있는 최대 전력 P_{AV} 이다.

$$P_L = \frac{1}{2} |I|^2 \operatorname{Re}(Z_L) = \frac{1}{2} \left| \frac{V_{oc}}{Z_A + Z_L} \right|^2 R_L \quad (1)$$

$$P_{AV} = \frac{|V_{oc}|^2}{8R_A} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)를 이용하여 P_L 과 P_{AV} 사이의 관계식을 식 (3)과 같이 유도할 수 있다. 여기서 $\Gamma = \frac{Z_A - Z_L}{Z_A + Z_L}$ 는 안테나와 칩 사이의 반사 손실을 나타내며 공액 매칭을 시켰을 때 P_L 은 P_{AV} 와 같으며 mismatching 조건에서는 반사되는 만큼 P_L 값이 줄어든다.

$$P_L = P_{AV} \cdot \frac{4R_A R_L}{|Z_A + Z_L|^2} = P_{AV} \cdot (1 - |\Gamma|^2) \quad (3)$$

태그에서의 전력 밀도는 식 (4)로 표현되며, 안테나 유효면적은 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$S_{tag} = \frac{P_{in} G_{reader}}{4\pi r^2} = \frac{(EIRP)_{reader}}{4\pi r^2} \quad (4)$$

$$A_e = \frac{\lambda^2 G_{tag}}{4\pi} \quad (5)$$

P_L 은 S_{tag} 와 A_e 의 곱으로 나타낼 수 있으므로 식 (4), (5)를 이용하여 식 (6)과 같이 다시 나타낼 수 있다. 여기서 안테나와 칩 사이의 mismatching 조건과 polarization mismatching 조건을 고려하면 식 (7)과 같이 표현된다. P 는 polarization mismatch factor이다.

$$P_{AV} = S_{tag} \cdot A_e = \frac{P_{in} \lambda^2 G_{reader} G_{tag}}{(4\pi r)^2} \quad (6)$$

$$P_L = \frac{P_{in} \lambda^2 G_{reader} G_{tag}}{(4\pi r)^2} \cdot \frac{4R_A R_L}{|Z_A + Z_L|^2} \cdot p \quad (7)$$

P_{in} 은 리더로부터의 입사 전력이며, G_{tag} 와 G_{reader} 는 polarization matching 조건에서의 태그와 리더의 이득이다. r 은 리더와 태그 사이의 거리를 나타내고 λ 는 911 MHz에서의 파장이다. 식 (8)의 factor는 매칭 정도에 따라 칩으로 전달되는 전력의 크기를 결정해 준다. 그림 2는 태그 안테나의 임피던스에 따라 식 (8)에서 정의하는 impedance mismatch factor(M)의 변화를 나타낸 것이다.

$$M = 1 - |\Gamma|^2 = \frac{4R_A R_L}{|Z_A + Z_L|^2} \quad (8)$$

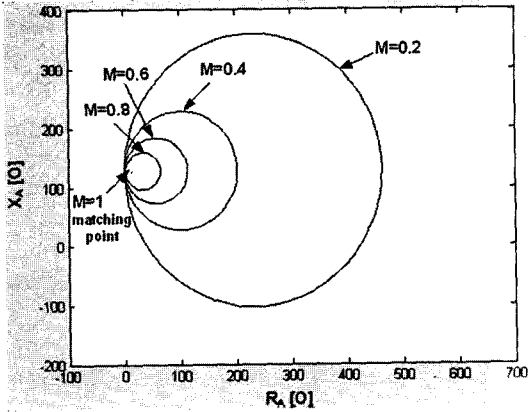


그림 2. 안테나 임피던스 변화에 따른 M이 일정한 궤적

Fig. 2. Loci of constant M's on the antenna impedance plane.

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_L^*}{Z_A + Z_L} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \left(R_A - \frac{1 + \sqrt{1-M}}{1 - \sqrt{1-M}} R_L \right)^2 + (X_A + X_L)^2 \\ & = \left(\frac{2(1-M)^{\frac{1}{4}}}{1 - \sqrt{1-M}} R_L \right)^2 \end{aligned} \quad (10)$$

태그의 RCS는 mismatching 조건에서 식 (11)에 의해 구해질 수 있다. 또한 식 (11)과 (5)에 의해서 식 (12)와 같이 다시 표현된다.

$$\sigma = A_e \cdot G_{tag} \cdot (1 - |\Gamma|^2) \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{\lambda^2 G_{tag}^2 R_A R_L}{\pi |Z_A + Z_L|^2} \quad (12)$$

III. 태그의 RCS 측정

현재 RFID 태그의 RCS 값을 직접 측정할 수 있는 장비는 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 수신(reader ant1), 송신 안테나(reader ant2), network analyzer를 사용하여 송신 안테나에서 수신 안테나로 전달되는 S_{21} 값을 측정하여 이론식을 통해 RCS 값을 간접적으로 얻을 수 있는 방법을 제안한다. 그림 3은 RCS 측정 시스템의 개념도이다. 두 송·수신 안테나 사이의 거리는 0.4 m이며, 리더 안테나와 태그 사이의 거리는 0.5 m이다.

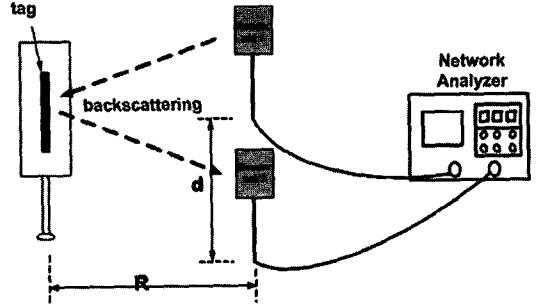


그림 3. 태그의 RCS 측정 시스템

Fig. 3. Measurement system of the RCS values of the tag.

먼저 anechoic chamber안에 태그를 제거하고 송·수신 안테나 사이의 S_{21} 을 측정한다. 이때 calibration 전의 S_{21} 은 그림 4에서 보는 바와 같이 -30 dB 정도를 나타낸다. 이 값은 실제 태그를 놓았을 때의 측정된 S_{21} 값과 거의 차이가 없기 때문에 이 상태로 측정을 한다면 실험의 신뢰성이 떨어진다. 따라서 network analyzer의 calibration을 통해 기준값을 변경해서 두 송·수신 안테나 사이의 격리도를 높이고 실험의 신뢰성을 높인다. 그림 4는 calibration 과정의 전과 후의 S_{21} 값을 나타낸 것이다. 측정에 사용된 리더 안테나는 최대 이득이 7.4 dBi인 선형 편파 안테나를 사용하였다.

태그로부터 리더 안테나로 들어온 전력은 식 (13)을 통해 구할 수 있으며, 안테나 임피던스 매칭과 polarization 매칭 조건에서는 식 (14)와 같이 다시 표현된다.

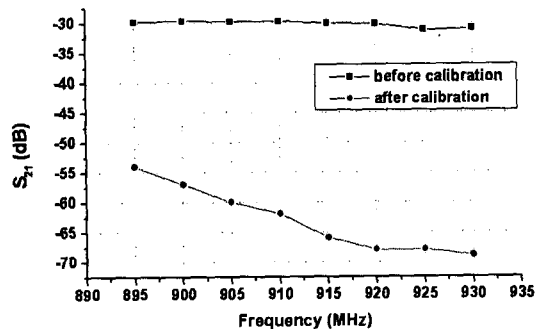


그림 4. Network analyzer의 calibration 전후의 격리도의 비교

Fig. 4. Comparison of the isolation values between before and after calibration.

$$P_{rec} = (1 - |\Gamma|^2)^2 \cdot p^2 \cdot \frac{P_{in} G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (13)$$

$$P_{rec} = \frac{P_{in} G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (14)$$

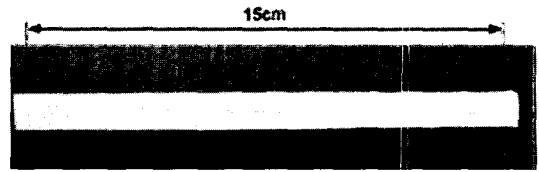
P_{in} 은 리더로부터의 입사 전력이며, G_{reader} 는 실제 측정에 사용된 리더 안테나의 이득이다. 두 송·수신 안테나와 태그 사이의 위치를 고려하면 G_{reader} 값은 안테나의 최대 이득 방향이 아니기 때문에 그 영향을 고려해서 이득값을 6.2 dBi 값으로 사용하였다. 태그를 놓았을 때 측정된 S_{21} 은 이론상으로 송신 리더 안테나의 입사 전력(P_{in})과 태그로부터 수신 리더 안테나로 돌아오는 전력(P_{rec})의 비로 구할 수 있으며, 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다. 역으로 S_{21} 값이 측정되면 식 (16)에 의해서 RCS(σ) 값을 계산할 수 있다.

$$|S_{21}|^2 \approx \frac{P_{rec}}{P_{in}} = \frac{G_{reader}^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \quad (15)$$

$$\sigma = |S_{21}|^2 \frac{(4\pi)^3 r^4}{G_{reader}^2 \lambda^2} \quad (16)$$

본 논문에서 측정에 사용된 태그 안테나는 2개의 다이폴 타입 태그와 1개의 금속 태그, 1개의 Inductively coupled 태그를 사용하여 각각의 경우 RCS의 이론값, 시뮬레이션 값과 측정값을 비교하였다. 그림 5는 측정에 사용된 태그 안테나들의 사진이다.

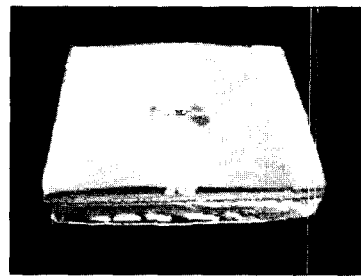
그림 5(a)와 (b)는 다이폴 타입의 태그 안테나이다. (a)는 길이가 15 cm이며 안테나 임피던스는 911 MHz에서 $89.08 + j53.54$ [ohm]이다. (b)는 길이가 12 cm이며 안테나 임피던스는 911 MHz에서 $92.54 + j125.2$ [ohm]이다. (c)는 금속체에 부착이 가능한 태그 안테나이다. 가장 윗부분부터 일반적인 0.0005 mm의 얇은 유전율 3.2의 PET에 라인을 입힌 안테나 구조, 두께 1 mm의 form, 두께 1.6 mm이며 유전율 4.6의 FR-4, 그라운드, 두께 5 mm의 form, 그라운드의 순으로 층 구조를 가지고 있는 태그 안테나이다. 총 크기는 $41 \times 46 \times 7.6$ mm이며, 안테나 임피던스는 $7.8 + j124.7$ [ohm]이다. 마지막으로 (d)는 Inductively coupled 태그 안테나이다. 전체 크기는 37.5×44 mm이며 안테나 임피던스는 $11 + j127$ [ohm]이다. 그림 5(a), (b), (c)는 칩 대신 각각의 안테나 임피던스에 공액 매칭되는 R, C를 부착하였다. 그리고 (d)는 칩 임피던스가



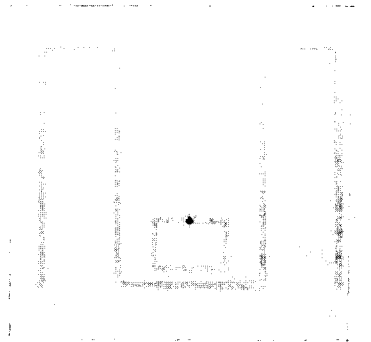
(a) 다이폴 타입 태그 안테나 1
(a) Dipole type tag antenna 1



(b) 다이폴 타입 태그 안테나 2
(b) Dipole type tag antenna 2



(c) 금속 태그 안테나
(c) Metal tag antenna

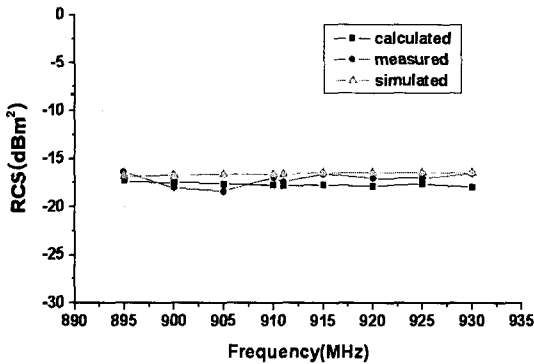


(d) Inductively coupled 태그 안테나
(d) Inductively coupled tag antenna

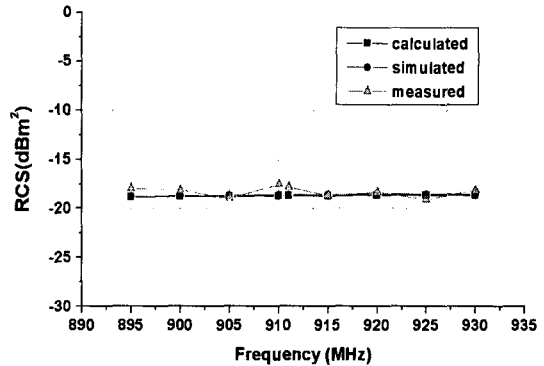
그림 5. 측정에 사용된 태그 안테나
Fig. 5. Tag antennas for measurement.

$11 - j127$ [ohm]인 Impinj사의 gen2 칩을 부착하였다.

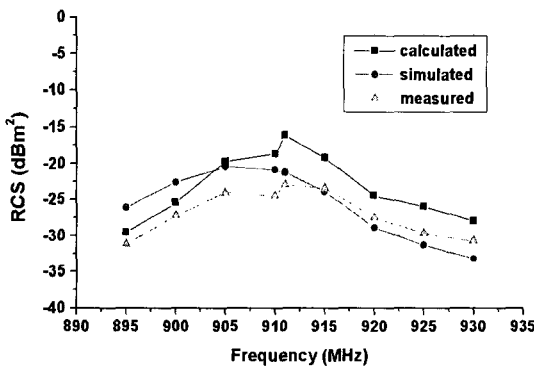
그림 6은 각각의 태그 안테나의 RCS의 이론값, 시뮬레이션 값, 측정값을 비교한 것이다. 이론값은 식 (12)를 이용했으며 시뮬레이션 값은 EM 시뮬레이션을 통해서 얻은 값이며, 측정값은 식 (16)을 사용해서 구했다. 또 각 안테나의 위치적 특성을 고려 EM 시



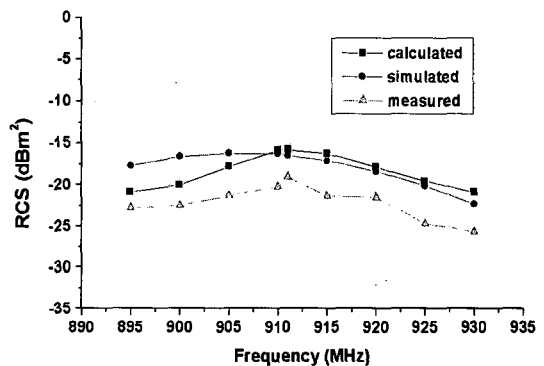
(a) 다이폴 타입 태그 안테나 1
(a) Dipole type tag antenna 1



(b) 다이폴 타입 태그 안테나 2
(b) Dipole type tag antenna 2



(c) 금속 태그 안테나
(c) Metal tag antenna



(d) Inductively coupled 태그 안테나
(d) Inductively coupled tag antenna

그림 6. RFID 태그 안테나의 RCS(match일 때)의 이론값, 측정값과 시뮬레이션 값의 비교
Fig. 6. Comparison of the RCS' calculated, measured and simulated values of the tag antenna.

시뮬레이션에서 각 방향의 이득값을 얻어서 사용했다. 그림 6(a), (b)와 같이 다이폴 타입의 태그 안테나의 경우는 이론값, 시뮬레이션 값, 측정값이 모두 거의 정확히 일치함을 알 수 있다. 하지만 그림 6(c), (d)와 같이 다이폴 타입이 아닌 금속 태그나 Inductively coupled 구조의 태그 안테나는 모든 값이 정확히 일치하지 않는다. 그림 6(c)의 금속 태그에 경우, 시뮬레이션 값과 측정값에 비해 이론값에서 차이를 보이는 이유는 실제 제작된 태그에 부착한 R, C값과 시뮬레이션의 안테나 임피던스의 값에 차이가 있기 때문이다. 특히 앞부분에서 언급한 바와 같이 태그의 등가회로는 다이폴 타입의 경우에 가장 잘 적합하기 때문에 다른 구조에서는 이론, 시뮬레이션, 측정값 사이에 약간의 차이가 있다. 하지만 이와 같은 다이폴 타입이 아닌 구조에서도 3~4 dBm²의 차이를 가지고

RCS 값을 추정할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2개의 리더 안테나와 network analyzer를 이용하여 간단하게 태그 안테나의 RCS 값을 얻을 수 있는 방법을 제안하였다. 태그 등가회로로부터 유도된 RCS 식을 통해 계산된 S_{21} 값과 측정된 S_{21} 값을 비교하였고, 약간의 오차가 발생하였으나 어느 정도 가깝게 RCS 값을 추정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이번 실험은 다이폴 타입의 태그 안테나에 경우에는 잘 적용이 되며 인덕티브 커플링 구조나 금속 태그에 경우에는 3~4 dB의 차이를 가지고 RCS 값을 추정할 수 있다. 앞으로 임의의 타입의 태그 안테나에 경우에도 적용할 수 있

는 측정 방법에 관한 연구를 진행할 것이다.

참고 문헌

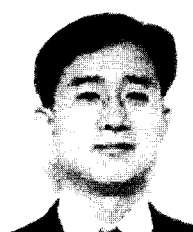
- [1] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "A novel tag design using inverted-F antenna for radio frequency identification of metallic objects", *IEEE/Sarnoff Symposium*, pp. 91-94, Apr. 2004.
- [2] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Effects of metallic plate size on the performance of microstrip patch-type tag antennas for passive RFID", *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letter*, vol. 4, 2004.
- [3] K. Penttilä, M. Keskilampi, L. Sydänheimo, and M. Kivikoski, "Radar cross-section analysis for passive RFID systems", *IEEE Proc.*, vol. 153, issue 1, pp. 103-109, Feb. 2006.
- [4] D. K. John, *ANTENNAS*, McGraw Hill Inc., N.Y., U.S.A., 1988.
- [5] Dau Chyrh Chang, Min-Che Tsai, "Far field RCS prediction by near field RCS measurement", *IEEE 2002*, vol. 2, pp. 106-109, Jun. 2002.
- [6] Weidong Hu, Houjun Sun, Xin Lv, and Ciping Deng, "Research on RCS measurement under non-far field condition", *IEEE 2003*, pp. 392-395, Oct. 2003.
- [7] C. G. Bachman, "Some recent developments in RCS measurement techniques", *IEEE Proc.*, vol. 53, issue 8, pp. 962-972, Aug. 1965.

문 호 상



2006년 8월: 경희대학교 전파통신 공학과 (공학사)
 2006년 9월~현재: 경희대학교 전 파공학과 석사과정
 [주 관심분야] RFID 태그 안테나, MIMO 안테나 및 환경분석

이 중 욱



1993년 2월: 서울대학교 전기공학 과 (공학사)
 1997년 2월: 서울대학교 전기공학 과 (공학석사)
 2003년 1월: Purdue University at West Lafayette (공학박사)
 2003년 1월~2004년 2월: University of Illinois at Urbana-Champaign (Postdoc research associate)
 2004년 3월~2006년 2월: 경희대학교 전파통신공학과 전 임강사
 2006년 3월~현재: 경희대학교 전파통신공학과 조교수
 [주 관심분야] RF 소자 모델링, RFID, CMOS RFIC 설계

김 남 훈



2005년 2월: 경희대학교 전파통신 공학과 (공학사)
 2005년 3월~현재: 경희대학교 전 파공학과 석사과정
 [주 관심분야] RFID 태그 안테나, 소형 안테나 및 수동소자

이 범 선



1982년 2월: 서울대학교 전기공학 과 (공학사)
 1991년 8월: 미국 네브래스카 주립 대 전자공학과 (공학석사)
 1995년 5월: 미국 네브래스카 주립 대 전자공학과 (공학박사)
 1995년 5월~1995년 8월: 미국 네 브래스카 주립대 포닥 (Post Doctor)
 1995년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 교수
 [주 관심분야] 소형 안테나(RFID 태그 안테나 등), 초고주 파 수동소자(Meta-material)