

5.8 GHz RFID용 소형 슬롯 안테나

이종익*

Compact Slot Antenna for 5.8 GHz RFID

Jong-Ig Lee*

Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

요약

본 논문에서는 5.8 GHz RFID 대역(5.725 – 5.875 GHz)용 소형 슬롯 안테나 설계방법에 대해 연구하였다. 제안된 슬롯 안테나는 일자형 슬롯의 양쪽 끝 부분을 “ Γ ”형으로 접어서 소형화하고 슬롯 내부에 직사각형 금전폐치를 둔 구조이다. 슬롯의 길이, 금전폐치의 위치, 금전폐치의 폭과 길이 등이 안테나의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 본 논문의 연구 결과들의 타당성을 검증하기 위해 5.8 GHz 대역용으로 최적화된 파라미터값들로 프로토타입 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험하였다. 실험결과 제작된 안테나의 $VSWR < 3$ 인 주파수 대역은 5.72 – 6.13 GHz (대역폭 410 MHz)으로서 시뮬레이션 결과인 5.64 – 5.97 GHz (대역폭 330 MHz)와 비교적 잘 일치하였다. 복사패턴은 슬롯 면에 수직한 양 방향으로 최대복사가 관찰되고 교차편파 레벨이 -20 dB 이하이며, 대역 내 이득은 0 dBi 이상인 양호한 복사특성을 갖는다.

ABSTRACT

In this paper, a design method for a compact slot antenna for 5.8 GHz RFID band (5.725 – 5.875 GHz) is studied. The proposed slot antenna is size-reduced by bending both ends of the straight slot in " Γ "-shape, and a rectangular feed patch is located inside the slot. The effects of slot length, location of feed patch, and width and length of feed patch on the antenna performance are examined. A prototype antenna with optimized parameters for 5.8 GHz band is fabricated on an FR4 substrate and tested experimentally to verify the results of this study. The experimental results show that the frequency band for a $VSWR < 3$ ranges 5.72 – 6.13 GHz (bandwidth 410 MHz), and it corresponds fairly well with the simulated band 5.64 – 5.97 GHz (bandwidth 330 MHz). The fabricated antenna shows good radiation performance such as maximum power density in both directions normal to the slot plane, low cross-polarization level of < -20 dB, and realized gain > 0 dBi within the frequency band.

키워드 : 평면 안테나, 슬롯 안테나, RFID 안테나, 소형 안테나

Key word : planar antenna, slot antenna, RFID antenna, compact antenna

접수일자 : 2013. 08. 12 심사원료일자 : 2013. 09. 16 게재확정일자 : 2013. 09. 30

* Corresponding Author Jong-Ig Lee(E-mail:leegi@gdsu.dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-1761)

Department of Electronics Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.12.2763>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

RFID (Radio Frequency IDentification; 무선인식) 기술은 USN (Ubiquitous Sensor Network)의 핵심기술로서 RF 신호를 사용하여 객체들을 식별하기 위해 사물에 태그(tag)를 부착한다. 태그는 일련번호를 포함한 정보를 담고 있는 칩과 RF 신호를 송수신하기 위한 안테나로 구성된다[1]. RFID용 주파수는 125 kHz, 13.56, 433, 860-960 MHz, 2.45 및 5.8 GHz 등이다.

UHF 대역 안테나들은 적절한 이득과 소형화를 위해 다이폴과 슬롯 안테나를 변형시킨 구조들을 많이 사용하고 있으며, RFID용 안테나에 대한 최근 연구들에서 5.8 GHz 대역 소형 슬롯 안테나를 연구한 일부 사례들이 발표된 바 있다[2-6]. 유전체 기판의 한 면에 안테나 패턴을 구성하고 주로 코플래너 도파관(coplanar waveguide)으로 급전되는 구조이다. 슬롯은 소형화, 각종 대역화를 위해 구부리고 슬롯 내부에 삽입된 정합 스터브의 모양을 적절히 변형시키는 방법들이 주로 사용되었다.

본 논문에서는 유전체 기판의 한 면에 도체 패턴이 인쇄되는 소형 슬롯 안테나 구조를 제안하고 5.8 GHz 대역 (5.725 - 5.875 GHz) RFID용으로 설계하는 방법에 대해 연구한다. 먼저 여러 가지 파라미터들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 관찰한 후 설계를 위한 주(main) 파라미터들을 선별한다. 5.8 GHz 대역용으로 최적화된 파라미터 값들로 프로토타입 안테나를 제작하고 반사계수, 복사패턴, 이득 등에 대한 성능을 측정하여 연구결과의 타당성을 검증한다.

본 연구에서 제안된 안테나 구조에 대한 시뮬레이션은 상용 전자기 문제 해석 툴인 CST (Computer Simulation Technology)사의 Microwave Studio (MWS)를 이용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1(a)는 본 연구에서 제안된 슬롯 안테나 구조로서, 두께 t_d 인 유전체 기판의 한 면에 도체 패턴이 인쇄된다. RFID용으로 사용되기 위해서는 그림 1(b)와 같이 칩이 장착되므로 시뮬레이션을 위한 급전 포트는 그림 1(a)의 점 a와 점 a'을 두 단자로 하고 포

트 임피던스가 50Ω 인 discrete port 방식을택하였다. 슬롯은 일자형인 부분과 “T” 모양으로 접힌 양 끝부분들로 구성된다. 일자형 슬롯 부분은 폭 w_1 , 길이 $L_x (=4w_0 + 2w_3 + w_c)$ 이다. 슬롯의 총 길이는 공진 주파수를 결정하게 되고 슬롯 내부 직사각형 급전 패치의 폭(w_T), 길이(L_T) 및 위치(g_1, g_2)에 따라 안테나의 입력 임피던스는 변화하게 된다. 유전체 기판은 두께 $t_d = 0.8 \text{ mm}$ 인 RF4 기판 ($\epsilon_r = 4.4$, 손실 탄젠트 = 0.025)으로 가정하고 안테나는 y축에 대해 좌우 대칭인 구조이다.

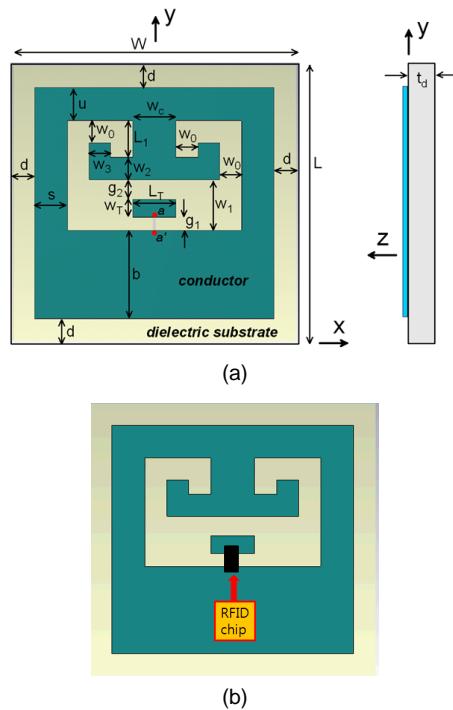


그림 1. 안테나 구조 : (a) 파라미터들 (b) RFID용 안테나
Fig. 1 Antenna geometry : (a) parameters (b) antenna for RFID

시뮬레이션을 통해 5.8 GHz용으로 최적화시킨 안테나의 파라미터 값들은 표 1과 같다.

안테나의 구조적인 파라미터들이 특성에 미치는 영향을 관찰하기 위해 먼저 슬롯의 길이를 변화시켜 가면서 주파수 대역의 변화를 그림 2와 같이 관찰한다. 슬롯의 전체 길이는 “T”형으로 접힌 슬롯 끝부분의 길이 L_1 이 증가됨에 따라 증가되어 공진 주파수가 감소되는 것

을 볼 수 있다.

표 1. 5.8 GHz RFID용으로 최적화된 안테나의 파라미터 값들
Table. 1 Parameters of antenna optimized for 5.8 GHz RFID

parameter	value[mm]	parameter	value[mm]
u	1.5	L_T	2
s	1.5	w_T	0.6
b	4	g_1	0.8
d	1	g_2	0.9
w_0	1	L_1	1.7
w_c	2	w_2	1
t_d	0.8	w_3	1

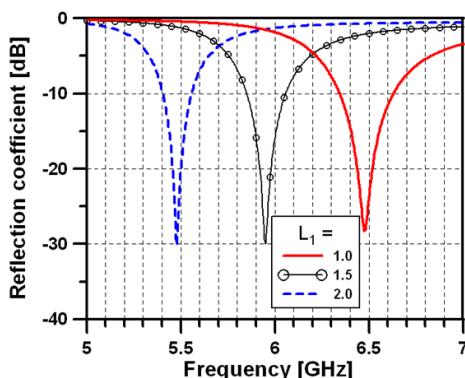


그림 2. L_1 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 2 Effect of L_1 [simulation]

다음으로 직사각형 급전 패치와 슬롯의 아래 부분 사이의 간격 g_1 의 영향을 살펴보기 위해 점 a와 점 a'를 두 단자로 하는 안테나의 급전 포트에서의 입력 임피던스 $Z = R + jX$ 의 변화를 그림 3과 같이 관찰하였으며, 이 때, 다른 파라미터 값들은 표 1과 동일한 값들로 유지하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 5.8 GHz 부근에서, g_1 이 안테나의 입력 임피던스 특성에 미치는 영향은 크지 않다. 실제 태그 칩이 부착될 경우 태그 칩의 크기에 의해 간격 g_1 은 정해지게 된다.

그림 4는 직사각형 급전 패치와 슬롯의 위 부분 사이의 간격 g_2 의 영향을 보여 주는 것으로, 그림 3의 g_1 에

비해, 레지스턴스(resistance, R)와 리액턴스(reactance, X)에 미치는 영향이 크다. 간격 g_2 의 증가에 따라 5.8 GHz 부근에서 볼 때, R 과 X 모두 감소된다.

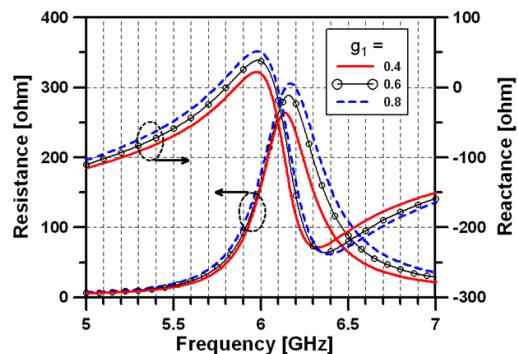


그림 3. g_1 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 3 Effect of g_1 [simulation]

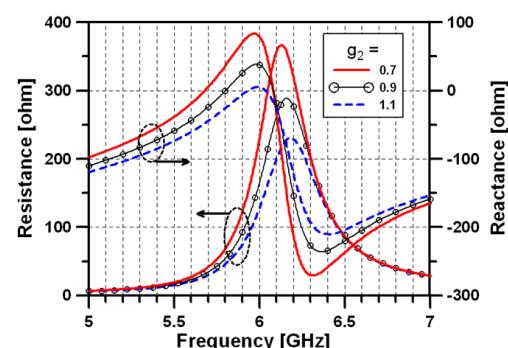


그림 4. g_2 의 영향 [시뮬레이션]
Fig. 4 Effect of g_2 [simulation]

그림 5는 급전 패치의 길이 L_T 의 영향을 나타내며, R 에는 영향을 거의 미치지 않고 X 에만 영향을 주는 것을 볼 수 있다.

그림 6에서 제시된 바와 같이 급전 패치의 폭 w_T 의 영향은, L_T 와 유사하게, R 에는 거의 영향이 없고 X 에만 변화를 일으킨다(단, 이 때, g_1 과 g_2 는 표 1의 값들로 유지하였다). 이상의 결과들을 볼 때, 원하는 대역용으로 제안된 그림 1의 안테나를 설계하기 위한 주된 파라미터들은 L_1 , g_2 및 L_T (혹은 w_T) 3 가지로 정리될 수 있다.

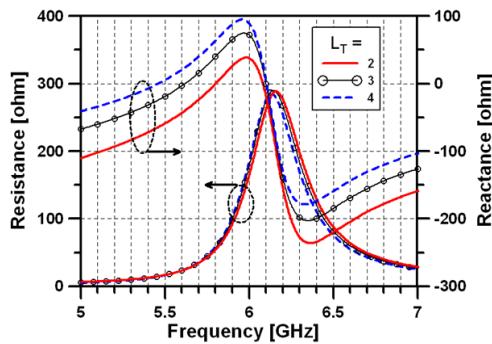


그림 5. L_T 의 영향 [시뮬레이션]

Fig. 5 Effect of L_T [simulation]

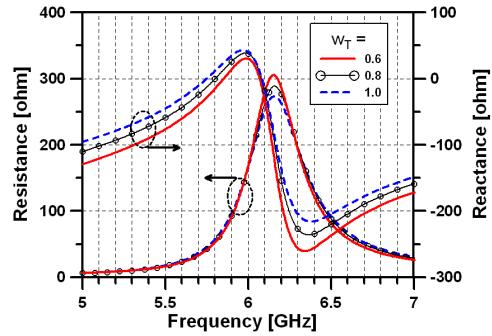


그림 6. w_T 의 영향 [시뮬레이션]

Fig. 6 Effect of w_T [simulation]

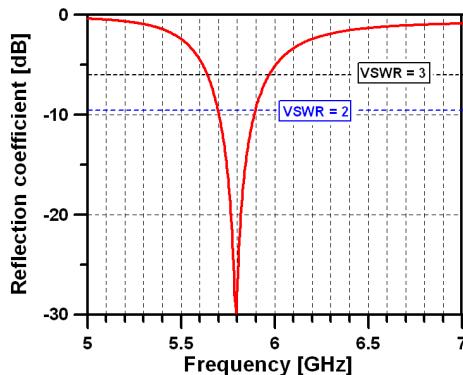


그림 7. 최적화된 안테나의 반사계수 [시뮬레이션]

Fig. 7 Reflection coefficient of optimized antenna [simulation]

그림 7은 5.8 GHz RFID용으로 최적화된 안테나의 반사계수를 계산한 것이다. VSWR < 3인 대역은 5.64-5.97 GHz (대역폭 330 MHz)이고 VSWR < 2인 대역은

5.7-5.9 GHz (대역폭 200 MHz)으로서 원하는 대역 (5.725-5.875 GHz; 대역폭 150 MHz)을 포함한다.

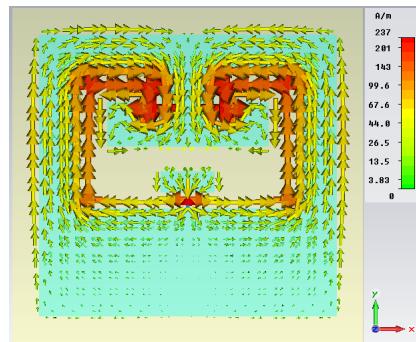
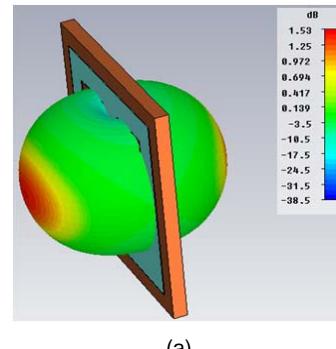
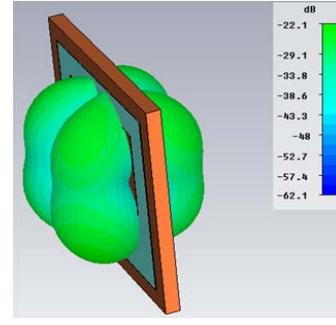


그림 8. 최적화된 안테나의 5.8 GHz에서 표면전류분포 [시뮬레이션]

Fig. 8 Surface current distribution at 5.8 GHz of optimized antenna [simulation]



(a)



(b)

그림 9. 최적화된 안테나의 복사파턴 [시뮬레이션] : (a) 동일 편파 성분 (b) 교차 편파 성분

Fig. 9 Radiation patterns of optimized antenna [simulation] : (a) co-polarization component (b) cross-polarization component

그림 8은 최적화된 안테나의 5.8 GHz에서 표면전류 분포이며 x축 방향의 성분들은 상쇄되어 안테나 표면에 수직한 방향으로의 복사에 기여할 수 없고, y축 방향의 전류성분들이 주된 기여를 하게 된다. 그림 9는 최적화된 안테나의 5.8 GHz에서 3 차원 복사패턴을 도시한 것으로서 교차 편파(cross-polarization)가 동일 편파(co-polarization)에 비해 매우 낮고 슬롯면(x-y 면)에 수직한 z-방향으로 최대 복사가 관찰되는 양호한 특성을 보인다. VSWR < 3인 주파수 대역 내에서 이득 0-1.53 dBi, 안테나 효율 50-71.1 %, 복사 효율 65.3-75.8 % 및 공진 주파수 5.79 GHz이다.

III. 안테나 제작 및 실험 결과

그림 10은 시뮬레이션을 통해 최적화된 파라미터값들을 이용하여 FR4 기판 상에 제작된 안테나의 사진이다. 내부 도체의 직경이 0.3 mm이고 특성 임피던스 50 Ω 인 동축 케이블을 급전 포트에 연결하였다. 제작된 안테나의 크기($12.5 \times 13 \text{ mm}^2$)는 기존 연구들[2-4]에서의 소형 안테나 크기들($13 \times 11 \text{ mm}^2$, $15 \times 16 \text{ mm}^2$, $15 \times 10 \text{ mm}^2$)에 비해 근접하거나 약간 소형화된 것이다.

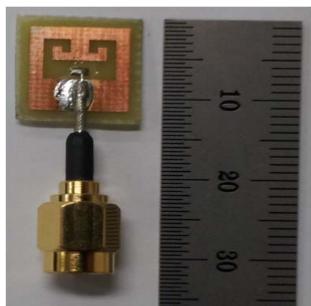


그림 10. 제작된 안테나
Fig. 10 Fabricated antenna

그림 11은 제작된 안테나의 반사계수 측정결과를 시뮬레이션 결과와 비교한 것이다. 측정결과 VSWR < 3인 주파수 대역은 5.72-6.13 GHz (대역폭 410 MHz)이고 VSWR < 2인 주파수 대역은 5.80-6.05 GHz (대역폭 250 MHz)으로서 시뮬레이션 결과와 잘 일치하며, 주파수 대역 측정치가 시뮬레이션에 비해 고주파 영역으로 약간 이동하였고 대역폭이 증가된 것을 볼 수 있다.

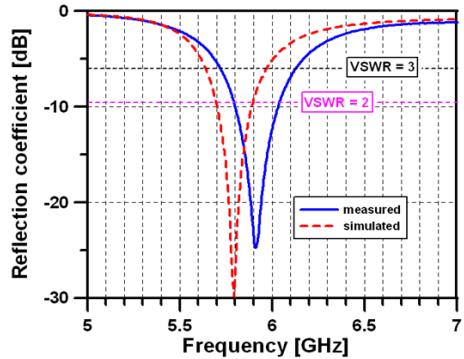


그림 11. 측정된 반사계수
Fig. 11 Measured reflection coefficient

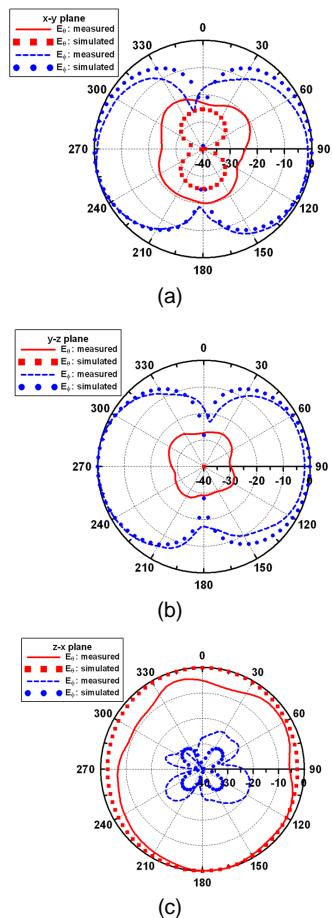


그림 12. 측정된 복사패턴 ($f=5.8 \text{ GHz}$): (a) x-y 평면 (b) y-z 평면 (c) z-x 평면
Fig. 12 Measured radiation pattern ($f=5.8 \text{ GHz}$) : (a) x-y plane (b) y-z plane (c) z-x plane

이것은 실험조건에서 고려되지 않았던 급전 케이블의 영향에 의한 것으로 생각된다. 대역폭의 감소와 주파수에 대해 민감한 특성은 소형화에 의해 열화된 안테나의 성능 중의 하나이며, 안테나의 크기를 증가시켜서 대역폭과 정합특성을 개선할 수 있다.

그림 12는 제작된 안테나의 복사패턴 측정 결과를 나타낸다. x-y 평면과 y-z 평면에서는 동일 편파 성분이 8자형 패턴을 보이고 z-x 평면 상에서는 무지향성과 유사한 복사패턴을 보인다. 시뮬레이션에서 예상된 바와 같이 교차 편파 성분은 -20 dB 이하로 유지되고 대역 내 이득은 0 dBi 이상으로 유지되었다. 이상의 결과들을 볼 때, 제안된 구조의 안테나가 5.8 GHz 대역 RFID용으로 사용하기에 적합한 특성을 갖는 것과 본 연구에서 제시된 결과들의 타당성을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 5.8 GHz 대역 RFID용 소형 슬롯 안테나 구조를 제안하고 설계 방법에 대해 연구하였다. 제안된 안테나는 일자형 슬롯 양끝을 “ Γ ”형으로 접어서 소형화하고 슬롯 내부에 급전용 직사각형 패치를 둔 형태이다. 여러 가지 파라미터들이 안테나의 특성에 미치는 영향을 점검하고 원하는 특성을 갖도록 안테나를 설계하는데 필요한 주된 파라미터들을 선별하였다. 제안된 구조의 안테나를 5.8 GHz 대역용으로 최적화 (VSWR < 3인 대역 5.64-5.97 GHz; 대역폭 330 MHz)하고 FR4 기판에 제작하여 특성을 실험하였다.

제작된 안테나의 특성을 측정한 결과 VSWR < 3인 주파수 대역은 5.72-6.13 GHz (대역폭 410 MHz), 대역 내 이득이 0 dBi 이상으로서 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 복사패턴은 안테나 면에 수직한 방향으로 최대 복사가 관찰되고 동일 편파에 비해 교차 편파 레벨이 -20 dB 이하로 유지되는 양호한 특성을 보였다. 위와

같은 특성들을 볼 때, 제안된 안테나가 RFID용 태그로의 응용이 유망하고, 제안된 설계방법으로 다른 주파수 대역용 소형 슬롯 안테나로의 주파수 변환 설계가 용이 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 동서대학교 “Dongseo Frontier Project” 지원에 의하여 이루어진 것임

REFERENCES

- [1] K. Finkenzeller, *RFID handbook*, Chichester: UK: Wiley, 2003.
- [2] W.-C. Liu and Z.-K. Hu, "Broadband CPW-fed folded-slot monopole antenna for 5.8 GHz RFID application," *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 17, pp. 937-939, Aug. 2005.
- [3] D. Ma and W.X. Zhang, "Broadband CPW-fed RFID antenna at 5.8 GHz," *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 22, pp. 1258-1259, Oct. 2006.
- [4] W.-C Liu, "A coplanar waveguide-fed folded-slot monopole antenna for 5.8 GHz radio frequency identification application," *Microw. & Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 1, pp. 71-74, Jan. 2007.
- [5] M. Ojaroudi and N. Ojaroudi, "Dual-band coplanar waveguide-fed monopole antenna for 2.4/5.8 GHz radio frequency identification applications," *Microw. & Opt. Technol. Lett.*, vol. 54, no. 10, pp. 2426-2429, Oct. 2012.
- [6] N. Ojaroudi and M. Ojaroudi, "Compact h-ring antenna with dual-band operation for wireless sensors and RFID tag systems in ISM frequency bands," *Microw. & Opt. Technol. Lett.*, vol. 55, no. 4, pp. 697-700, Apr. 2013.

이종익(Jong-Ig Lee)

동서대학교 전자공학과 교수
한국정보통신학회 논문지 제 17권 제 10호 참조