

u-City용 금속 부착을 위한 다중 미앤더형 마이크로스트립 패치 안테나 설계

Design of Multi-Meander Microstrip Patch Antenna for Metallic Object in u-City

최 용 석*
(Yong-Seok Choi)

성 현 경**
(Hyeon-Kyeong Seong)

요 약

본 논문에서는 금속 환경에서 사용이 가능한 RFID 국제 규격인 910MHz 대역에서 최상의 성능을 갖는 미앤더 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 안테나에 부착되는 상용 태그 칩과 정합을 위해 사각 형태의 급전부를 본체에 연결하였으며, 사각 형태의 급전부를 본체 안에 위치하였고, 안테나의 복수부인 본체를 효과적으로 축소하기 위하여 패치의 소자를 증가시켜 다중의 미앤더 형태로 설계하였다. 제안된 안테나는 Case 1, Case 2, Case 3로 각각 3 종류의 안테나를 제작하였으며, 안테나의 크기와 접은 횟수에 따른 대역폭, 효율, 인식 거리 등의 특성을 비교·분석하였다. 측정 결과 Case 3 안테나의 성능이 가장 좋은 것으로 나타났다. 또한 안테나의 크기와 미앤더 형태로 접은 횟수에 따른 효율 및 이득 특성 변화가 안테나의 인식 거리에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

핵심어 : 멀티 미앤더, 마이크로스트립 패치 안테나, 금속부착용, UHF, RFID, u-City

ABSTRACT

In this paper, we present a design of meander type microstrip patch antenna which has the best quality in RFID approved international standard of 910MHz broadband, usable in metal environment. In order to be fit into the commercial tag chip on the antenna, a square shaped feeder is installed on the main body as well as in the main body. In addition, a multi meander type patching element was designed in order to reduce the main body effectively. Three antennae, Cases 1, 2 and 3, were designed and compared in the areas of broad band width, effectiveness or recognition distance according to their sizes and number of folds. The measurement result of Case 3 was determined to be the best. It was confirmed that mostly the efficiency and characteristic gain change due to antenna size and number of folds in meander type influenced the antenna recognition distance.

Key words : Multiple Meander, Microstrip Patch Antenna, Metallic Object, UHF, RFID, u-City

* 주저자 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 외래교수, ㈜코스모티어 기술연구소 선임연구원

** 공저자 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

† 논문접수일 : 2014년 02월 18일

† 논문심사일 : 2014년 02월 19일

† 게재확정일 : 2014년 02월 19일

I. 서론

RFID 시스템은 전파 신호, 즉 라디오 주파수를 이용한 무선 인터페이스를 이용하여 사물의 정보를 무선으로 주고받을 수 있는 기술로써, 기존에 사용되던 바코드를 대신하여 인간의 생활방식과 기존의 산업 구조에 혁신적인 변화를 가져 올 최신 기술이다. 또한 최근 RFID 시스템의 응용 분야가 서비스 산업과 구매, 유통, 산업, 생산 회사, 물류 시스템 등 사회 전반적으로 빠르게 확산되면서 막대한 경제적 파급 효과를 창출할 핵심 기술로 각광 받고 있을 뿐 아니라 유비쿼터스 사회 실현의 핵심기술로 인식되고 있다[1-3]. 이러한 RFID 태그 안테나 구현에 있어 가장 큰 어려움이 있는 부분은 전도성(conductivity) 물질에 부착 가능한 태그 형태 개발이다. 특히 알루미늄 캔이나 금속 상자, 그리고 포일(foil)로 포장된 담배 갑과 같은 전도성 물질은 안테나의 지향성(directionality)을 커지게 하고 공진 주파수, 방사 효율 등 안테나의 성능에 아주 크게 영향을 미치기 때문에 RFID 시스템을 구축하는 데 많은 어려움이 있으며, 이런 환경 속에서도 특성의 열화(劣化-절연체가 외부적인 영향이나 내부적인 영향에 따라 화학적 및 물리적 성질이 나빠지는 현상)가 없는 태그 안테나 구현이 무엇보다도 요구되고 있다[4-6].

지금까지 금속부착이 가능한 안테나로는 스파이럴 다이폴(dipole), 기생소자가 있는 폴디드(folded)다이폴 구조 등이 연구되었다. 하지만 이들 안테나는 면적이 넓고 공진 길이가 반파장(half-wavelength)이거나 높이가 높다[7]. PIFA 형태의 안테나는 전체 크기를 줄일 수 있지만 1λ 에 비하여 작은 접지면의 크기를 가질 경우 안테나 성능의 차이가 접지면 크기에 따라 다르게 나타나는 단점이 있으며, 금속 물체와 태그 안테나 사이의 기생 커패시턴스 성분으로 인해 공진주파수, 안테나 임피던스, 방사효율 등의 특성이 변하게 되고 안테나 성능의 열화가 발생하는 단점이 있다[8]. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 금속 물체에 부착 가능한 금속 태그 안테나를 설계 및 제작하였다. 안테나 설계 시 중요하게 적용되는 매개변수들의 정확한 값을 적

용하기 위해 먼저 IE3D 시뮬레이터를 이용하였으며, 또한 PSO[9-10] 알고리즘을 적용하여 안테나 제작 시 발생하게 되는 매개변수 검출 오류를 최소화 하였고, 기존 안테나의 단점이었던 안테나의 낮은 입력 저항, 대역폭, 안테나의 이득 등을 개선하였다.

II. u-City용 Multiple Meander형 금속 패치 안테나 설계

1. 실험환경

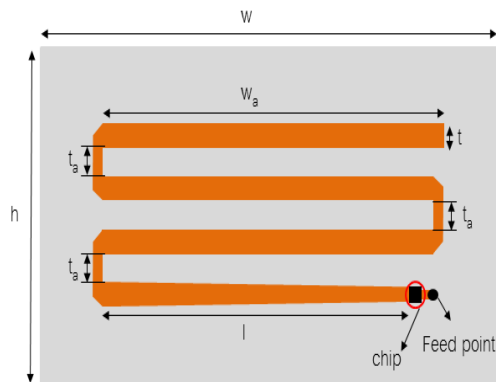
본 논문에서는 금속 환경에서 사용이 가능하고 태그의 크기를 소형화 시키면서 광대역 정합 특성과 다양한 방사패턴을 얻고, 폭넓은 VSWR 및 축비 대역폭을 확보 할 수 있도록 미앤더 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 안테나에 부착되는 상용 태그 칩과 정합을 위해 사각 형태의 급전부를 본체에 연결하였으며, 안테나의 복수부인 본체를 효과적으로 축소하기 위하여 패치의 소자를 증가시켜 다중의 미앤더 형태로 설계하였다. 안테나 설계 시 안테나의 공진주파수, 기판의 유전상수, 유전체 기판의 높이에 대한 매개 변수가 반드시 필요하게 된다.

<표 1>은 안테나 설계에 필요한 설계 매개변수를 나타낸다. 공진주파수의 경우 RFID용으로 사용할 수 있는 전 세계 UHF 표준 대역인 860-960MHz의 범위에서 작동 될 수 있어야하기 때문에 안테나의 기본 공진 주파수인 910MHz를 선택하였다. 안테나 설계에 사용된 유전체 재료는 산화알루미늄이며, 4.4의 유전율을 지니고 있다. 유전체 기판의 높이 즉 안테나의 두께는 0.6mm로 선택하였다. 안테나 설계에 사용된 태그 칩은 Alien의 Higgs 칩으로 915 MHz에서 약 $13 - j111\Omega$ 의 커패시티브한 입력 임피던스 값을 가지며, 사각 형태의 급전부를 소자가 끝나는 지점에 연결하였다. 일반적으로 태그 칩의 입력 리액턴스 성분이 커패시티브한 값을 가지므로, 태그 안테나가 광대역 특성을 갖기 위해서 태그 안테나의 입력 임피던스가 태그 칩과 유사한 낮은 입력 저항 값을 갖고 입력 리액턴스는 인덕티브한 성분을 가져 임피던스 공액 정합이 잘 이루어지도록 하였다.

〈표 1〉 안테나의 설계 매개변수
 〈Table 1〉 Design parameter of antenna

| Parameter | Value |
|-------------------------------------|--------|
| Resonance Frequency(f_o) | 915MHz |
| Dielectric Constant(ϵ_o) | 4.4 |
| Height of Substrate(h) | 0.6mm |

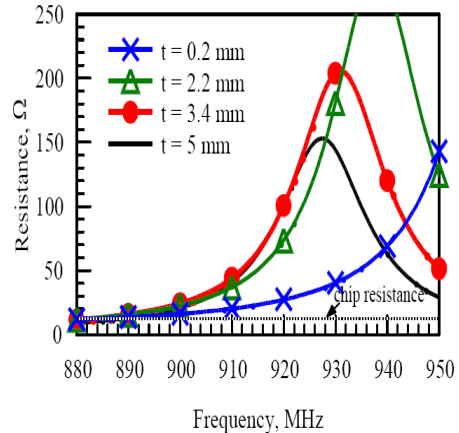
〈그림 1〉은 설계된 안테나의 구조를 나타낸다. 안테나 설계 시 그라운드 너비는 100mm로 고정하였으며, 폭의 경우 패치의 소자가 증가할수록 10mm 씩 증가시켰다. 모든 패치의 소자는 선형 변 단면으로 되어 있으며, 폭 t 와 길이 l 은 안테나와 태그 칩 간의 복잡한 임피던스 정합이 이루어질 수 있도록 선택하였다.



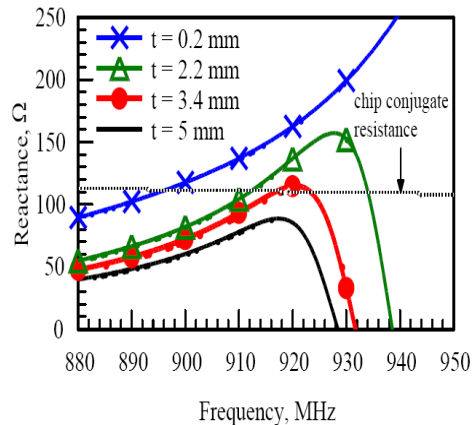
〈그림 1〉 설계된 안테나의 구조
 〈Fig. 1〉 Structure of design antenna

또한 소자와 소자를 연결하게 되는 folded patch의 폭을 모두 915MHz에서 약 0.5파장의 효과적인 길이를 갖도록 설계되어 있다. 각 소자의 경로가 0.5파장이고 180°의 위상 변이를 일으키기 때문에, 모든 소자의 전류 흐름은 동일한 방향이며, $\theta = 0$ 방향에서 안테나의 이득이 향상된다. 태그 칩은 패치의 소자가 끝나는 부분에 위치하였으며, 패치의 끝 부분을 급전점으로 하였다. 〈그림 2〉는 폭 t 의 변화에 따른 입력 임피던스를 나타낸다. 원하는 임피던스 값을 얻기 위해 조절 가능한 두 변수는 폭 t 와 길이 l 이다.

먼저, $t = 5 \text{ mm}$ 일 때 리액턴스 곡선은 111 Ω 을 초과하지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 $t = 5 \text{ mm}$ 일 때는 정합 목표를 달성할 수가 없는 것을 뜻한다. 폭 t 를 감소시키면 입력 리액턴스가 증가한다. 폭 t 가 0.2 mm로 감소하면 14 + j111 Ω 의 입력 임피던스를 얻을 수 있지만 이 때 주파수는 895 MHz이다. 따라서 폭 t 를 3.4mm로 선정하였다.



(a) Input resistance

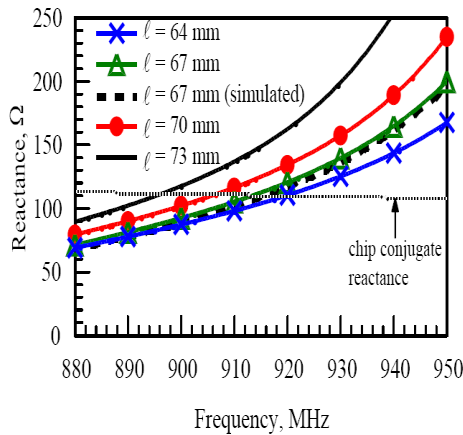
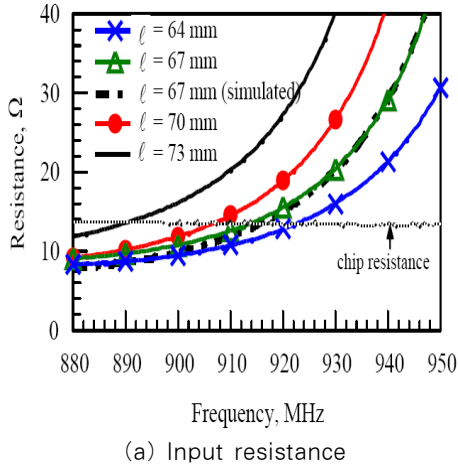


(b) Input reactance

〈그림 2〉 패치 소자의 폭 t 의 변화에 따른 임피던스 특성
 〈Fig. 2〉 Impedance characteristics by change of patch element width t

〈그림 3〉은 패치 소자의 폭 $t = 3.4\text{mm}$ 로 일정할 때, 길이의 변화가 입력 임피던스에 미치는 영향을 나타낸다. 길이 l 이 감소하면 임피던스 곡선이 거의

변하지 않고 높은 주파수로 이동함을 알 수 있었다. 길이 $l = 67 \text{ mm}$ 일 때 915 MHz 에서 안테나의 입력 임피던스가 $13 + j112\Omega$ 나타나, 이 때, 안테나와 칩 사이에는 공액 임피던스 정합(Conjugate Impedance Matching)이 이루어지는 것을 알 수 있었다.



(b) Input reactance
 <그림 3> 패치 소자의 길이 l 의 변화에 따른 임피던스 특성
 <Fig. 3> Impedance characteristics by change of patch element length l

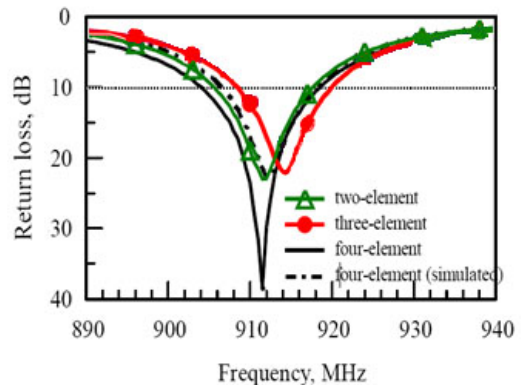
<표 2>는 설계된 안테나의 설계 변수를 나타낸 것이다. 설계된 안테나의 성능을 비교하기 위하여 앞서 측정된 값을 각각의 안테나에 고정시켜 적용하였으며, 그라운드 높이만 변경하여 설계하였다.

<표 2> 안테나의 설계변수
 <Table 2> Parameter of antenna

| Parameter | Case 3 |
|-----------|--------|
| w | 80 |
| h | 40 |
| w_a | 71 |
| t | 3.4 |
| l | 67 |

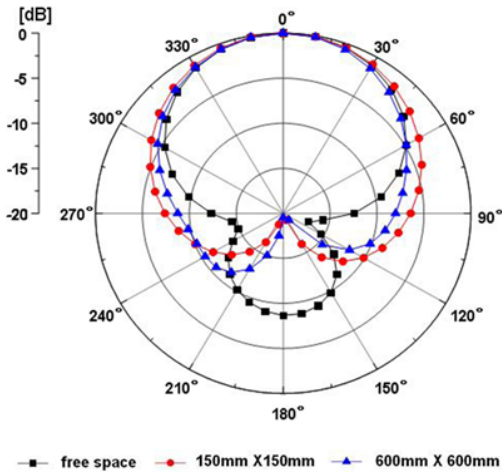
2. 실험결과

안테나 설계에 사용된 태그 칩은 915 MHz 주파수에서 임피던스가 $13 - j111 \Omega$ 인 스트랩 패키지로 된 Alien Higgs이다. 칩과 안테나 사이에 최대 전력을 전달하기 위해 안테나의 입력 임피던스는 915 MHz 에서 $13 + j111\Omega$ 이 되어야 한다. 설계된 안테나의 대역폭 측정 결과 Case 1의 경우 자유공간에서 $908\sim 916\text{MHz}$, 금속면에서 $904\sim 918\text{MHz}$, Case 2의 경우 자유공간에서 $906\sim 922\text{MHz}$, 금속면에서 $909\sim 921\text{MHz}$, Case 3의 경우 자유 공간에서 $909\sim 929\text{MHz}$, 금속면에서 $908\sim 92\text{MHz}$ 로 나타나 모든 안테나가 칩 임피던스와 잘 정합된다는 것을 알 수 있었으며, 국제 RFID 표준 규격을 만족하는 것으로 나타났다. <그림 4>는 설계된 안테나의 반사손실을 나타낸다. 측정결과 910MHz 에서 약 -10dB 로 태그 안테나의 특성이 양호한 것으로 나타났으며, Case 2의 반사손실이 가장 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

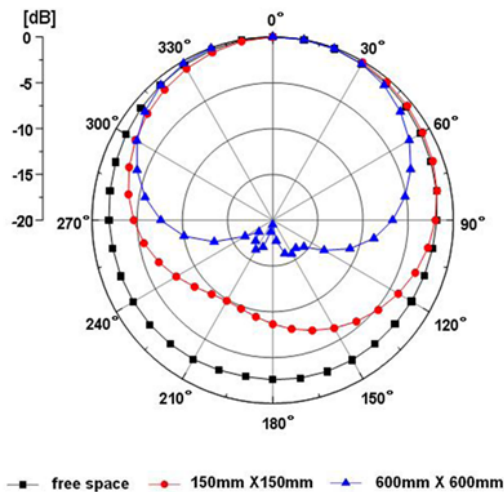


<그림 4> 설계된 안테나의 반사손실
 <Fig. 4> Return loss of design antenna

위의 반사손실 결과를 바탕으로 case3의 안테나를 선택하여 방사패턴을 실험하였다. <그림 5>는 설계된 안테나의 방사패턴을 나타낸 결과이다. 시뮬레이션 결과, 공기 중에서 2.6dBi의 약 70% 효율을 보였으며, 약 81.6° 3dB angular width의 특성을 보였다.



(a) E-field



(b) H-field

<그림 5> 설계된 안테나의 방사패턴
<Fig. 5> Radiation pattern of antenna

설계된 안테나는 동작 주파수 902 ~ 928 MHz,

출력 30.0 dBm, 원편광(circular polarized) 안테나 이득 6.0 dBi인 상용 RFID 리더(기호 XR440)를 이용하여 측정하였다. <표 3>과 <표 4>는 설계된 안테나를 자유 공간과 400 x 400 mm²의 금속판 위에서 측정한 안테나 성능을 나타낸 것으로, 모든 안테나에 대해 약 910 MHz에서 발생하는 최대 유도 안테나 이득을 보여 준다. 유도 결과에 따라 안테나 프로파일이 감소하므로 안테나 이득이 낮아지는 것을 확인 할 수 있었다.

<표 3> 설계된 안테나의 대역폭
<Table 3> Bandwidth of design antenna

| | Bandwidth(MHz) | |
|--------|----------------|-------------|
| | Free space | Metal plate |
| Case 1 | 908~916 | 904~918 |
| Case 2 | 906~922 | 909~921 |
| Case 3 | 909~929 | 908~929 |

<표 4> 설계된 안테나의 이득
<Table 4> Gain of design antenna

| | Maximum Gain(dBi) | |
|--------|-------------------|-------------|
| | Free space | Metal plate |
| Case 1 | 1.8 | 2.1 |
| Case 2 | 2.1 | 3.3 |
| Case 3 | 2.7 | 4.2 |

안테나의 인식거리는 안테나의 방향에 따라 태그 칩이 구동되는 최소복사 전력을 측정 한 후, Friis 전송 방정식(2)를 통하여 주파수에 따른 인식 거리를 산출하였다[11].

$$Readable\ range = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{reader} G_{reader} G_{tag}}{P_{tag}}} \quad (1)$$

P_{reader} = 리더 안테나의 출력 포트 전력,

G_{reader} = 리더 안테나의 이득,

P_{tag} = 태그 칩에 전달되는 최소 문턱전력,

G_{tag} = 태그 안테나의 이득,

$\lambda/4\pi$ = 1m의 자유 공간에서 갖는 손실 계수이다.

측정결과 Case1의 경우 자유 공간에서 9.9m, 금속면에서 5.8m, Case2의 경우 자유공간에서 10.4m, 금속면에서 6.1m, Case3의 경우 자유공간에서 11.5m, 금속면에서 7.3m의 높은 인식 거리를 확인 할 수 있었다.

〈표 5〉 설계된 안테나의 인식거리
〈Table 5〉 Recognition Distance of design antenna

| | Recognition Distance(m) | |
|--------|-------------------------|-------------|
| | Free space | Metal plate |
| Case 1 | 9.9 | 5.8 |
| Case 2 | 10.4 | 6.1 |
| Case 3 | 11.5 | 7.3 |

Ⅲ. 결 론

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 미앤더 형태의 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 안테나에 부착되는 상용 태그 칩과 정합을 위해 사각 형태의 급전부를 본체에 연결하였으며, 패치의 소자를 증가시켜 다중의 미앤더 형태로 설계하였고, 3가지 유형의 안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 동일 환경에서 패치의 소자가 증가하는 것에 따른 성능을 비교하여 최적의 안테나를 찾는 것이기 때문에 안테나의 설계변수는 동일하게 설정하였으며, 단 그라운드의 높이만 변경하여 설계하였다. 설계된 각각의 안테나의 대역폭은 Case 1의 경우 904~918MHz, Case 2의 경우 909~921MHz, Case 3의 경우 908~92MHz로 나타나 모든 안테나가 칩 임피던스와 정합된다는 것을 알 수 있었으며, 국제 RFID 표준 규격을 만족하는 것으로 나타났다. 안테나의 이득은 각각 2.1, 3.3, 4.2로 나타나 현재 상용 중인 금속용 안테나와의 별 차이는 없었으나 인식 거리를 비교해보면, 기존의 안테나의 경우 금속면에서 사용 시 최대 4m로 나타나는데, 본 논문에서

설계된 안테나는 최대 7.3m에서 최소 5.8m로 나타나 인식거리의 측면에서 성능이 우수하게 나타난 것을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook", 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, England, Dec. 2003.
- [2] I. Lier and K. R. Jakobsen, "Rectangular Microstrip Patch Antennas with Infinite and Finite Ground-Plane Dimension," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. AP-31, no. 6, pp.978-984, Nov. 1983.
- [3] C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [4] 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.
- [5] Pasi Raunonen, Lauri Sydanheimo, Leena Ukkonen, and Markku Kivikoski, "Folded dipole antenna near metal plate," *IEEE AP-S*. pp.848-851. 2003.
- [6] Leena Ukkonen, Daniel Engels. "Planar wire-type inverted F RFID tag antenna mountable on metallic objects," *IEEE AP-S*. pp.101-104. 2004.
- [7] 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 Antennas and Wireless Propagation Lett.*, vol. 4, pp. 410-413, Oct. 2005.
- [8] M. Huynh and W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna performance," *IEEE Porceedings. Microwaves, Antenna and Propagation.*, vol. 150, pp.209-213, Aug. 2003.
- [9] P. S. Shelokar "Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization", *Applied Mathematics and Computation* 188, pp.129 - 142, Jul. 2007.

- [10] James Kennedy and Russell Eberhart, "Article Swarm Optimization", *Proceeding of the IEEE International Conference on Neural Networks*, pp.1942-1948, 1995.
- [11] H. T. Friis, "A note on a simple transmission formula," *Proc. IRE*, pp.254-256, 1946.

저자소개



최 용 석 (Choi, Yong-Seok)

2002년 : 상지대학교 전자계산학과 이학사
2007년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정보공학부 공학석사
2012년 : 상지대학교 대학원 컴퓨터정보공학부 공학박사
2012년~현재 : (주) 코스모티어 기술연구소
2008년~현재: 상지대학교 컴퓨터공학과 외래교수
e-mail : cys0736@hanmail.net
연락처 : 010)8586-0736



성 현 경 (Seong, Hyeon-Kyeong)

1982년 : 인하대학교 전자공학과 공학사
1984년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1991년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 공학박사
2005년~2006년 : 미국 Naval Postgraduate School 방문교수
1991년~현재: 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수
e-mail : hkseong@sangji.ac.kr
연락처 : 010)5470-3087