

논문 2006-43TC-9-12

ETCS 신호 간섭 개선을 위한 3-D 공진기 설계

(Design of 3-D resonator for improvement of interference in ETCS)

김 호 용*, 이 홍 민**

(Hoyong Kim and Hongmin Lee)

요 약

본 논문에서는 기존의 2차원적 metamaterial 구조의 교차 편파 효과에 의한 차폐 특성의 열화를 개선하기 위하여 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic) 공정을 이용한 3-D 공진기 구조를 제안하였다. 제안된 3-D 공진기 구조는 X축, Y축, Z축 방향을 갖는 두 개의 평판과 하나의 비아로 구성된 2차원적 병렬 공진기들로 구성되어 있다. 제안된 3-D 공진기 구조의 공진 주파수는 5.024GHz, 차단 대역폭은 19MHz를 나타내었다. 교차 편파에서 3-D 공진기 구조의 공진 주파수는 4.825GHz, 차단 대역폭은 19MHz를 나타내었다. 제안된 3-D 공진기 구조는 교차 편파 효과에 따른 차폐 특성의 열화를 개선하였다. 향후 콘크리트 구조물에 흡수재와 함께 적용하므로 ETCS(Electric Toll Collection System)의 신호 간섭 현상을 차단할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, the conventional 2 dimensional metamaterial structure has degeneration of shielding characteristic in cross polarization effect. The proposed 3-D resonator is designed for reduction of cross polarization effect. The proposed 3-D resonator using LTCC consists of 2-D parallel resonators on X-axis, Y-axis and Z-axis. The 2-D parallel resonator consists of two plate and one via. When the co-polarization electric field is excited, the resonance frequency of 3-D resonator is 5.024GHz. The stop bandwidth is 19MHz. When the cross-polarization electric field is excited, the resonance frequency of 3-D resonator is 4.825GHz. The stop bandwidth is 19MHz. The proposed 3-D resonator achieve reduction of cross-polarization effect. The concrete consists of proposed 3-D resonator and absorption materials. The concrete will be applied for reduction of interference signal of ETCS(Electric Toll Collection System)

Keywords : metamaterial, LTCC, 3-D resonator, Cross polarization effect, ETCS, Concrete

I. 서 론

최근에 전 세계적인 교통수요의 급증에 따라 교통체계의 효율적 운용을 위하여 지능형 교통 시스템인 ITS (Intelligent Transportation System)가 대두되고 있다. ITS는 첨단 교통 관리 시스템(ATMS: Advanced Traffic Management System), 첨단 교통정보 시스템(ATIS: Advanced Traveler Information System), 첨단 차량 및 도로 시스템(AVHS: Advanced Vehicle and

Highway System), 첨단 대중교통 시스템 (APTS: Advanced Public Transportation System), 화물운송 서비스 CVO (Commercial Vehicle Operation)로 크게 5개의 서브시스템을 구성되어진다.

교통 흐름의 효율적 관리를 하기 위해서는 ITS 서브시스템 중 ATMS 서브시스템의 기반 시설이 기본적으로 구성 되어 있어야하며 ATMS 서브시스템의 구성 요소 중 자동요금 징수 시스템(ETCS: Electronic Toll Collection System)의 구현은 원활한 교통 흐름 및 관리를 위해 필수적인 요소이다. ETCS는 고속도로 톨게이트 등과 같은 요금 징수 지역의 혼잡도를 덜어 주는 시스템으로 통행하는 자동차와 정보를 양방향 통신함으로써 요금 자동 징수 및 정보제공 서비스 등을 제공한다.^[1]

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering, Kyonggi University)

※ 본 연구는 2006년 건설기술 연구 개발 지원 사업에 의하여 수행되었음

접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년9월11일

ETCS 시스템에서 각 라인 별로 통행하는 자동차와 시스템 간에 전달되는 신호가 각각의 독립성을 요구하게 된다. 최근에 신호간의 격리 특성을 높이기 위해 배열 안테나를 이용하여 방사패턴의 빔 폭을 조절하는 방법이 연구되었다. 그러나 차량에 전달되는 신호는 도로 노면에 의한 반사파 및 차량 자체 내의 전자파 또는 multi-path에 의해 격리 특성을 유지하기 어려워 ETCS 시스템의 오작동을 유발하는 단점을 나타내었다. 본 논문에서는 ETCS 시스템 부설 지역의 건축물 구현 시 사용되는 콘크리트 내의 인공골재에 차폐 특성을 갖는 전자기적 이점을 갖는 공진기 구조를 적용하므로 각각의 신호간의 격리특성을 향상할 수 있도록 하였다.

II. 본 론

2-1. 제안된 2-D 공진기 구조

유전율과 투자율이 음의 값을 갖는 경우에 기존에 일반적인 매질에서의 전파의 전력 전달 방향과는 반대로 전력이 이동한다. 음의 유전율과 음의 투자율을 갖는 물질은 자연계에 없어 인공적으로 구현하게 되는데 이를 Metamaterial 이라 부른다. 최근에 얇은 금속 막대와 split-ring resonators(SRR)를 주기적으로 배열하므로 Metamaterial을 구현하므로 음의 유전율과 음의 투자율을 구현하는 전자기적 구조의 연구가 활발히 진행되고 있으나 이는 2차원적 구조로서 Cross-pole 효과 및 구조적 단점에 의하여 3차원적 구조물에 적용하기에 어려운 단점이 있다.^[2~6] 이에 제안된 구조는 3차원적 환경에 적용 할 수 있는 공진기 구조를 제안하였다.

그림 1에 LTCC 공정을 이용한 제안된 공진기를 나타내었다. 콘크리트 내에 적용될 수 있는 인공 골재를 형성하기 위하여 LTCC(Low Temperature Cofiring Ceramic) 공정을 이용하였다.

콘크리트에서 인공골재에 적용된 공진기 구조가 일정한 간격을 유지하며 혼합되기 위해서 요구되는 물리적 요구사항으로 비중은 2.5, 강도는 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이다. LTCC 공정은 물리적 요구 사항을 충족하는 그린시트를 구현하기 위해 제조과정에서 그린시트의 조성비를 조절이 가능하여 적합하다. 제안된 2-D 공진기는 콘크리트 내부에 혼합되었을 때 부식을 방지하기 위해 LTCC-body 내부에 두 개의 평판 구조에 하나의 비아(Via)를 이용하여 병렬 공진기를 구현하였으며 세라믹의 비유전율은 7.8이다.

콘크리트제안된 공진기의 차폐특성을 알아보기 위해

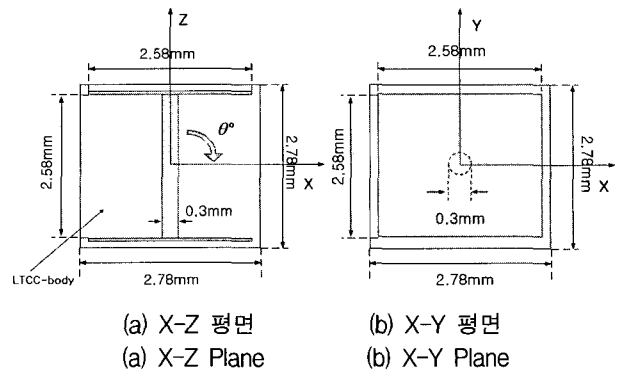


그림 1. LTCC 공정을 이용한 제안된 2-D 공진기
Fig. 1. Proposed 2-D resonator using LTCC process.

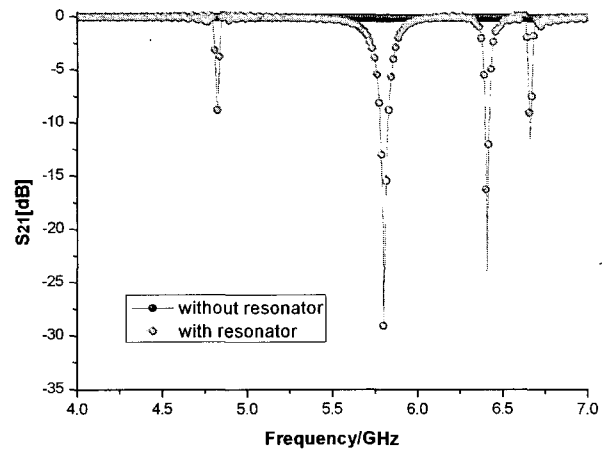


그림 2. 공진기 유무에 따른 투과계수
Fig. 2. Transmission coefficient with/without resonator.

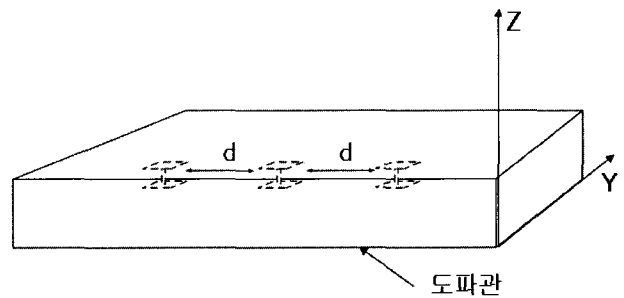


그림 3. X축 방향의 공진기 배열
Fig. 3. The arrangement of resonators on X-axis.

여 $34\text{mm} \times 17\text{mm} \times 100\text{mm}$ 인 도파관 내에 콘크리트의 비유전율을 고려하여 비유전율이 7.8인 매질을 채우고 공진기를 도파관 내에 부설하였다. 그림 2에 공진기 유무에 따른 투과계수를 나타내었다.

공진기와 Port에서 입사되는 전계의 방향을 일치 하였을 때 공진 주파수는 5.8GHz, 차단 대역폭 ($VSWR \leq 2$)은 43MHz를 나타내었다.

그림 3에 X축 방향의 공진기 배열 을 나타내었다. 3

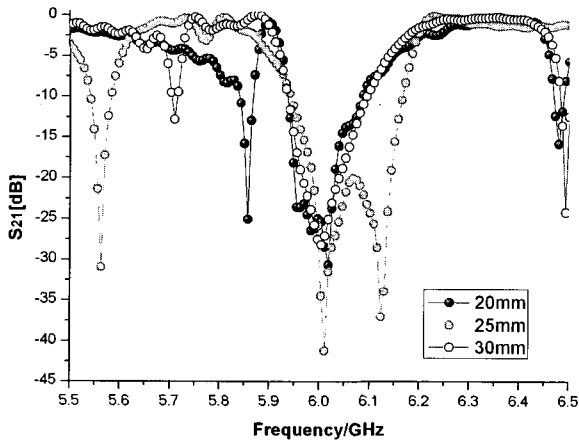


그림 4. d의 변화에 따른 투과계수
Fig. 4. Transmission coefficients against parameter d.

표 1. d의 변화에 따른 투과계수 특성
Table 1. Transmission coefficients against parameter d

d	공진 주파수	차단 대역폭
20 mm	6.00 GHz	161 MHz
25 mm	6.07 GHz	232 MHz
30 mm	6.00 GHz	161 MHz

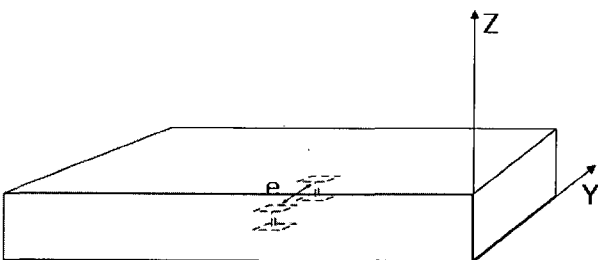


그림 5. Y축 방향의 공진기 배열
Fig. 5. The arrangement of resonators on Y-axis.

개의 공진기를 이용하여 간격 d 를 갖도록 배열 하였으며 그림 4에 d의 변화에 따른 투과계수를 나타내었다.

X축 방향으로 공진기가 증가함에 따라 양호한 차단 대역 특성을 나타내며 각각의 공진기의 결합으로 인하여 20mm에서 30mm의 간격을 가질 때 양호한 차폐 특성을 나타내었으며 특히 25mm 간격을 갖을 때 매우 넓은 차단 대역폭을 나타내었다.

그림 5에 Y축 방향의 공진기 배열을 나타내었다. Y축 배열에 따른 특성을 비교하기 위하여 도파관의 폭을 2배로 확장하였으며 도파관 내부에 2개의 공진기를 부설하였다. 그림 6에 e의 변화 따른 투과계수를 나타내었다.

단일 공진기만을 부설하였을 때와 2개의 공진기를 부설하였을 때 10mm일 때를 제외하고 차단 대역폭의

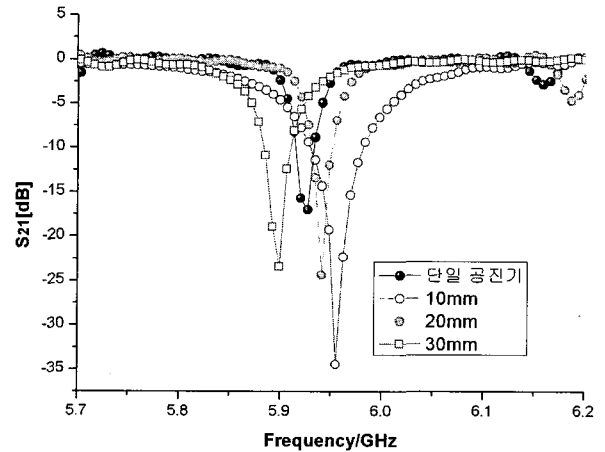


그림 6. e의 변화에 따른 투과계수
Fig. 6. Transmission coefficients against parameter e.

표 2. e의 변화에 따른 투과계수 특성
Table 2. Transmission coefficients against parameter d.

d	공진 주파수	차단 대역폭
단일	5.92 GHz	22 MHz
10 mm	5.95 GHz	60 MHz
20 mm	5.94 GHz	21 MHz
30 mm	5.89 GHz	27 MHz

증가는 크게 없었지만 공진 주파수에서 단일 공진기 일 때 보다 양호한 차단 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 공진기의 세로 축 배열이 차단대역폭을 결정하는 주요 변수임을 알 수 있으며 가로 축 배열은 투과계수의 차단 특성을 결정하는 주요 변수임을 알 수 있다. 제안된 구조에 평면파를 입사하여 공진기를 부설한 콘크리트와 부설하지 않은 콘크리트의 통과된 전계를 모의실험으로 비교하였다.

50mm×40mm×70mm의 콘크리트 블록 내에 공진기 간의 배열 간격을 13mm로 3×3×4 배열을 하였다. 그림 6에 공진기 유무에 따른 전계를 나타내었다.

도파관 환경뿐만 아니라 공간상에서도 양호한 차폐 성능을 보임을 알 수 있다. 도파관 내에서 공진기와 Port에서 입사되는 전계의 방향을 불일치 시켰을 때의 특성을 알아보려고 θ° 에 따른 투과계수를 모의실험을 통하여 확인하였다. 그림 6에 θ° 에 따른 투과계수를 나타내었다.

0° 일 때는 양호한 차단 특성을 나타내고 있으나 입사되는 전계와 공진기 교차형태일 때는 전혀 차단 대역 특성을 나타내지 않음을 알 수 있다. 따라서 콘크리트 내부에 혼합을 하였을 경우 임의의 공진기 배열에 따른 차단대역 특성의 열화를 가져올 수 있음을 예상할 수

있다. 따라서 교차편파로 인한 열화를 줄일 수 있는 3-D 구조의 공진기를 구현하고자 한다.

2-2. 제안된 3-D 공진기 구조

그림 7에 제안된 3-D 공진기 구조를 나타내었다. 제안된 3-D 공진기 구조는 교차편파일 때 차단 특성이 나타나지 않으므로 각각의 X축, Y축, Z축 방향으로 2-D 공진기를 각각 결합하고 비유전율이 7.8인 세라믹 내부에 부설하므로 각기 입사되는 파에 독립적으로 동작하여 공진 주파수의 큰 변화 없이 교차 편파에 의한 차폐 특성의 열화를 방지할 수 있음을 착안하였다.

그러나 2-D 공진기 구조를 결합한 구조는 실제 공정 상에서 구현하기 어렵다. 도체 평판을 구현하기 위해서 Faraday-Cage 구조를 이용하여 등가적인 도체 평판을 구성하여 LTCC 공정을 이용하여 구현하도록 하였다.

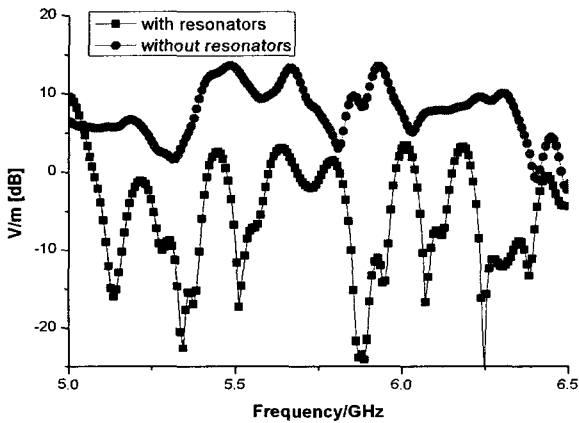


그림 7. 공진기 유무에 따른 전계
Fig. 7. Electric field with/without resonators.

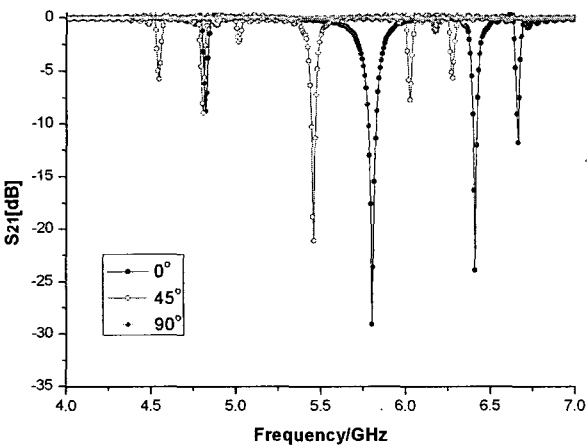


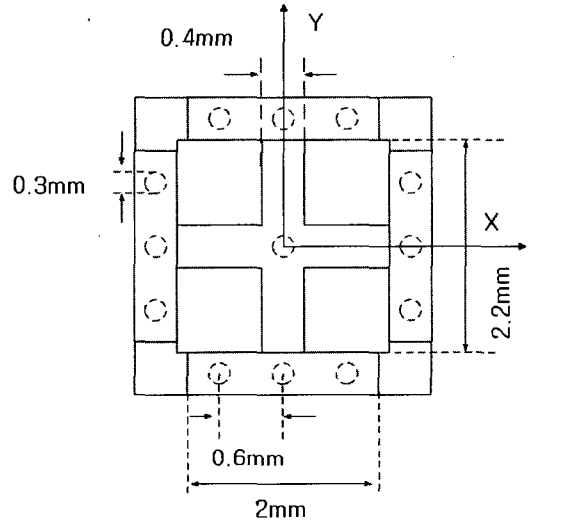
그림 8. θ° 의 변화에 따른 투과계수
Fig. 8. Transmission coefficients against parameter θ° .

제안된 3-D 공진기 구조를 도파관 내에 부설 하여 투과 계수를 확인하였다. 그림 8에 3-D 공진기 유무에 따른 투과계수를 나타내었다.

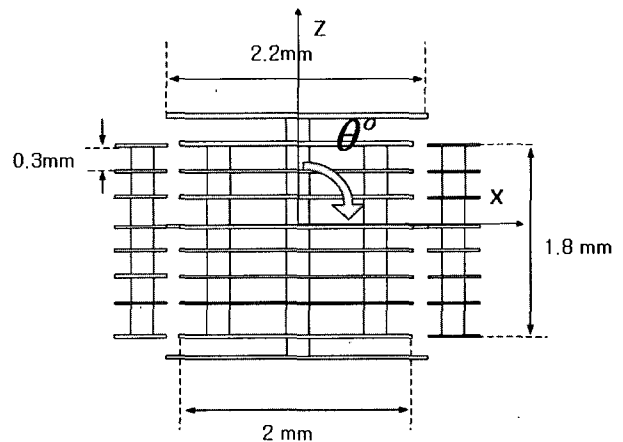
제안된 3-D 공진기는 공진 주파수는 5.024 GHz를 갖으며 차단 대역폭은 19MHz를 갖는다. 비교적 양호한 차폐 특성을 나타냄을 알 수 있다.

제안된 3-D 공진기의 교차편파일 때의 특성을 확인하고자 도파관 내에 부설된 3-D 공진기를 θ° 에 따라 회전 시키면서 투과계수를 확인 하였다.

그림 9에 θ° 에 따른 투과 계수를 나타내었다. X 축 방향과 Y축 방향의 공진기 구조에 도체 평판을 사용하지 못하므로 Faraday-Cage 구조를 이용한 등가적인 도체 평면에 의한 차이로 공진 주파수의 변화는 있었으



(a) X-Y 평면
(a) X-Y Plane



(b) Y-Z 평면
(b) Y-Z Plane

그림 9. LTCC 공정을 이용한 제안된 3-D 공진기
Fig. 9. Proposed 3-D resonator using LTCC process.

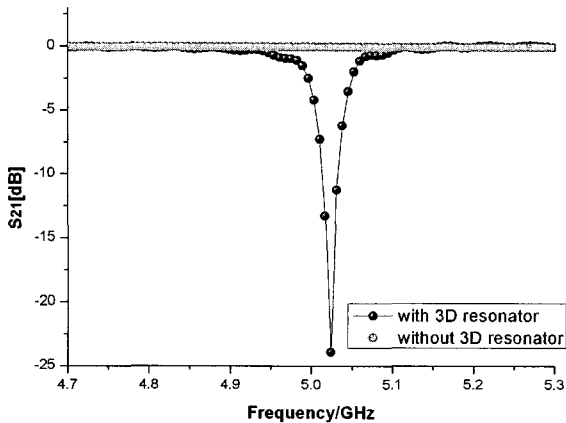


그림 10. 3-D 공진기 유무에 따른 투과계수
Fig. 10. Transmission coefficient with/without 3-D resonator.

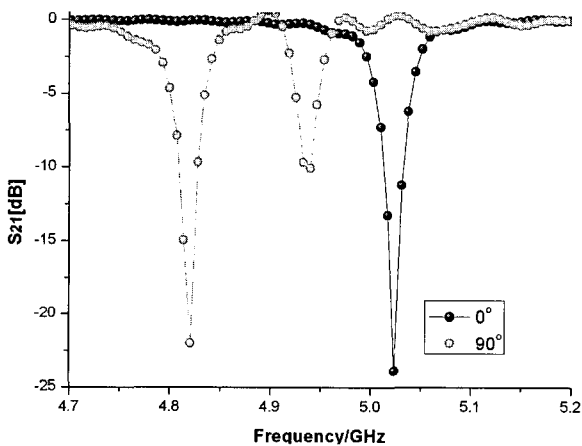


그림 11. θ° 의 변화에 따른 투과계수
Fig. 11. Transmission coefficients against parameter θ° .

나 2-D 공진기가 갖는 교차편파에 의한 차폐 특성의 열화를 크게 개선 시켰음을 알 수 있다.

IV. 결 론

기존의 콘크리트 내에 차폐 성능을 향상시키기 위하여 재료적 측면에서 접근을 하였으나 차폐에 있어 전자기적 이점을 갖는 metamaterial을 구조를 구현하므로 차폐특성을 구현하고자 하였다.

기존의 2차원적 metamaterial 구조를 탈피하고 3차원적인 공진기 구조를 구현하므로 다양한 구조에 접목할 수 있도록 3-D 공진기 구조를 제안하였다.

현재 ETCS의 요금징수 시스템 라인간의 간섭에 의한 오작동이 일본에서 문제점으로 대두되고 있는 상황

에서 제안된 3-D 공진기 구조를 이용한 기능성 콘크리트를 이용하여 라인 간에 발생하는 간섭 신호를 차단하고 향후 제안된 3-D 공진기 구조와 흡수체를 콘크리트에 혼용하여 적용한다면 양질의 차폐 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 제안된 3-D 공진기 구조는 편파 불일치에 따른 전자기적 기능 열화를 개선하므로 ETCS의 요금징수 시스템뿐만 아니라 다양한 분야에서 접목이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] "ITS 기술 동향", 대한전자공학회, 28권 5호, 5월 2001.
- [2] R. W. Ziolkowski, N. Engheta, *Metamaterial Special Issue IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 10, part 1, Oct. 2003.
- [3] P. -S. Kildal, A. A. Kishk, and S. Maci, "Ed. special issue on artificial magnetic conductors, soft hard surfaces, and other complex surfaces", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, no. 1, part 1, Jan. 2005.
- [4] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2075-2084, Nov. 1999.
- [5] C. Caloz, H. Okabe, T. Iwai, and T. Itoh, "Transmission line approach of left-handed(LH) materials", in *USNC/URSI Nat. Radio Science Meeting*, vol. 1, pp. 39, Jun. 2002.
- [6] A. K. Iyer, G. V. Eleftheriades, "Negative refractive index metamaterials supporting 2-D waves", in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 1067-1070, Jun. 2002.
- [7] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp.34-50, Sep. 2004.

저 자 소 개



김 호 용(학생회원)
 2003년 경기대학교
 전자공학과 학사 졸업
 2005년 경기대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2005년~현재 경기대학교
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자>



이 흥 민(정회원)
 1972년 연세대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1974년 연세대학교
 전자공학과 석사 졸업.
 1990년 연세대학교
 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF 수동소자>