

논문 2012-49TC-6-7

메타구조 기반의 흡수체를 이용한 높은 격리도 특성의 WCDMA 맥내형 중계기 안테나 설계

(Design of WCDMA Indoor Repeater Antenna for High Isolation using the Absorber based on Metamaterial Structure)

김형준*, 윤나내*, 서철현**

(Hyoungjun Kim, Nanae Yoon, and Chulhun Seo)

요약

본 논문에서는 안테나 간 격리도 개선을 위해 메타구조 기반의 흡수체를 이용한 WCDMA 맥내형 중계기 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 메타구조 흡수체가 배열된 메인패치와 대역폭을 위한 기생패치로 이루어져 있다. WCDMA 대역폭을 만족하기 위해 메인패치와 기생패치 사이의 커플링을 이용하였다. 메타구조 기반의 흡수체의 크기는 $13\text{ mm} \times 13\text{ mm}$ 이며, 흡수율은 2.18 GHz 대역에서 약 94 %의 특성을 갖고 있다. 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 격리도는 메타구조 기반의 흡수체를 이용하여 개선하였다. 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나는 1.92 GHz부터 2.17 GHz 대역에서 6 dBi 이상의 안테나 이득과 2 이하의 VSWR 특성을 가지고 있으며, 송수신 안테나 사이의 격리도는 85 dB 이하의 특성을 나타내고 있다. 제안된 안테나의 크기는 $75\text{ mm} \times 75\text{ mm}$ 이다.

Abstract

In this paper, WCDMA indoor repeater antenna using an absorber based on metamaterial structure for high isolation is proposed. The proposed antenna consist of the main patch with the absorber based on metamaterial structure and parasitic patch. The WCDMA bandwidth is obtained by utilizing the coupling between the main and parasitic patches. The size of the absorber based on metamaterial structure is $13\text{ mm} \times 13\text{ mm}$, the absorption is about 94 % at 2.18 GHz. The isolation characteristic of proposed WCDMA indoor repeater antenna between the service and donor antennas is improved by using a absorber based on metamaterial. The proposed WCDMA indoor repeater antenna has a gain higher than 6 dBi with a VSWR less than 2, and an isolation between the service and donor antennas greater than 85 dB over the WCDMA band from 1.92 GHz to 2.17 GHz. And size of the proposed antenna is $75\text{ mm} \times 75\text{ mm}$.

Keywords : WCDMA indoor repeater antenna, Metamaterial, Isolation enhancement, Absorber

I. 서론

무선 통신 시스템에서 맥내형 중계기는 신호의 크기

가 작은 음영 지역에서 더 높은 서비스의 질을 제공하기 위해 광범위하게 사용 되어왔다. 중계기는 일반적으로 donor 안테나와 service 안테나로 구성되었는데, donor 안테나는 수신기 역할을, service 안테나는 송신기 역할을 하게 된다, 그래서 송신 안테나와 수신 안테나가 서로 다르게 설치되어 있기 때문에 두 안테나 사이의 격리도를 확인 하게 된다. 안테나 사이의 격리도는 일반적으로 S파라미터에서 S_{21} 을 측정하여 판단한다. 이 두 안테나 사이의 격리도는 중계기 시스템이 스

* 학생회원, ** 정회원, 송실대학교 정보통신전자공학부 (Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ This work was supported by Basic Research Laboratories (BRL) through NRF grant funded by the MEST (No.20110020262).

접수일자: 2012년4월30일, 수정완료일: 2012년6월14일

스로 발전하는 것을 피하기 때문에 중요한 파라미터이다^[1~2]. 맥내형 중계기 안테나 설계에서 가장 중요한 사항은 어떻게 가깝게 붙인 두 안테나 사이의 격리도를 높게 얻는 것인가 하는 것인데, 전형적으로 맥내형 중계기 시스템에서 두 안테나는 등을 마주하고 서있고 공통의 접지면을 공유한다. 그렇기 때문에 이렇게 낮은 격리도의 원인은 안테나 사이에서 원하지 않은 상호간의 coupling으로 이어지는 접지면 위의 surface wave 때문이다^[3]. 안테나 사이의 격리도를 개선시키는 가장 일반적인 방법은 송수신 안테나 사이의 이격 거리를 물리적으로 늘리거나 각각의 안테나에 wall을 설치함으로써 격리도를 개선할 수 있다^[4~5]. 하지만, 이 방법은 중계기 시스템의 제한적인 크기 문제에 봉착하게 된다. 또한, FSS (Frequency Selective Surface) 구조를 안테나에 추가함으로써 격리도를 개선시킬 수 있다^[6]. 하지만, 이는 reflector 와 FSS 구조를 추가하는 방법이기 때문에 제작 상의 어려움이 존재한다. 최근 들어 메타구조 기반의 흡수체에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다^[7~9].

본 논문에서는 기존의 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 송수신 안테나 사이의 격리도 개선을 위해 기존의 송수신 안테나 표면의 빈 공간에 흡수체를 이용함으로써 동일한 각각의 안테나의 크기를 유지하면서 제작하기 용이하게 설계하였으며, 메타구조를 이용하여 흡수체의 크기를 소형화 하였다.

II. 메타구조 기반의 흡수체

본 논문에서는 중계기 안테나의 격리도 개선을 위해 누설되는 안테나의 옆으로 유기되는 표면전류를 감소시키는 메타구조 기반의 흡수체를 제안하였다. 송수신 안테나의 main patch에 흡수체를 배치함으로써 안테나 옆으로 빠지는 표면전류를 막아주는 역할을 하게 된다. 그림 1은 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 격리도 개선을 위해 제안된 메타구조 기반의 흡수체 구조를 나타낸다. 제안된 흡수체는 메타구조의 특성을 위한 직렬 커패시턴스를 위해 각기 다른 크기의 사각형으로 이루어진 구조의 커플링 형태로 이루어져 있다. 각각의 사각형 루프들 사이의 커플링에 의한 커패시턴스가 존재한다. 또한, 대각선 모양으로 이루어진 화살표 구조는 안테나 표면에 흐르는 표면 전류를 흡수체의 가운데로 모아주기 위한 구조이다. 또한, 접지면에는 병렬 인덕턴

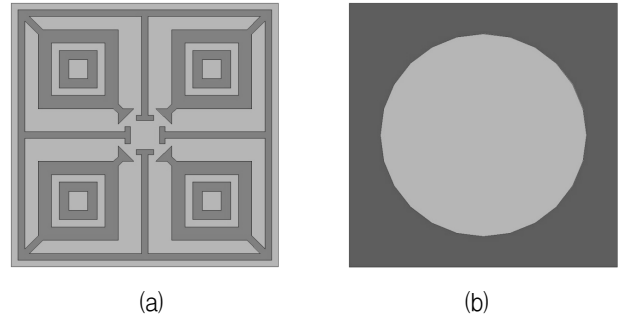


그림 1. 제안된 메타구조 기반의 흡수체 (a) 윗면 (b) 아랫면

Fig. 1. Proposed absorber based on metamaterial. (a) top view (b) bottom view

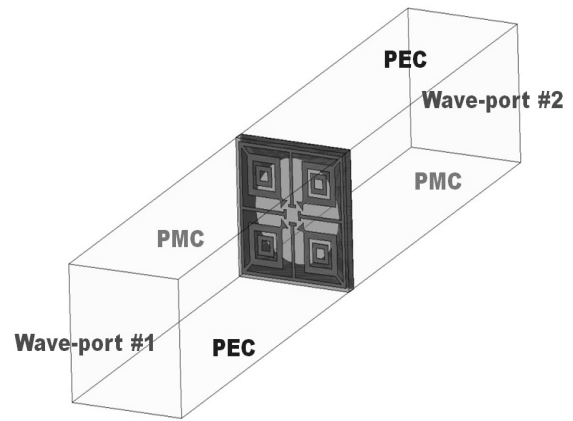


그림 2. 제안된 메타구조 기반의 흡수체의 시뮬레이션
Fig. 2. Simulation of proposed absorber based on metamaterial.

스를 위해 원형 구조로 이루어져 있다. 직렬 커패시턴스와 병렬 인덕턴스의 등가회로를 통한 메타구조 기반의 흡수체는 1.2 mm의 두께를 갖는 비유전율 4.4의 FR-4 기판에 형성되어 있으며, 흡수체는 패치 안테나의 좌우 방면에 위치하고 있으며 각각 13 mm x 13 mm의 크기를 갖고 있다.

그림 2는 메타구조 기반 흡수체의 흡수율과 반사 특성을 측정하기 위한 조건이다. EM waveguide 조건을 이용하여 설계하게 된다. PEC 경계조건은 윗면과 아랫면에 설정을 하게 되며, PMC 경계조건은 옆면에 설정한다. 또한 각각의 포트는 De-embedding 을 이용하여 흡수체의 면에서 S-parameter를 추출한다. 흡수체의 reflection coefficient 와 transmission coefficient는 아래의 식과 같이 정의된다.

$$R = S_{11}^2 \tag{1}$$

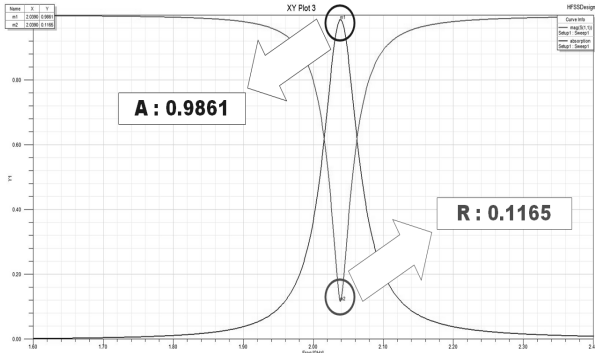


그림 3. 제안된 메타구조 기반의 흡수체의 특성
Fig. 3. Simulation result of proposed absorber based on metamaterial.

$$T = S_{21}^2 \quad (2)$$

따라서 흡수체에 흡수되는 비율은 다음과 같다

$$A = 1 - R - T = 1 - S_{11}^2 - S_{21}^2 \quad (3)$$

그림 3은 제안된 메타구조 기반의 흡수체는 그림 2와 같은 조건에서 추출된 S-parameter로부터 식 (3)에 의해 흡수율 특성을 나타내고 있다.

그림 3은 최종 제안된 메타구조 기반의 흡수체의 흡수율 및 반사 특성 값을 나타내며 각각 빨간색은 반사 특성이며, 파란색은 흡수율을 나타내고 있다. 제안된 흡수체는 2.18 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 특성을 가지고 있으며, 식 (3)에 의해서 약 94 %의 흡수율을 갖는다.

III. 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나

그림 4는 제안된 메타구조 기반의 흡수체를 배열한 main patch 안테나를 보여주고 있다. 송수신 안테나의 main patch 는 두께 1.2 mm 의 FR-4 기판으로 설계되었다. 메타구조 기반의 흡수체는 main patch 옆면에 1 × 5 형태로 배열되어 있으며, 양 옆으로만 배열되어 있는 이유는 main patch 의 표면전류가 가장 크게 분포하는 방향이기 때문이다. 송수신 안테나의 main patch 는 open stub 의 폭과 길이를 조정함으로써 WCDMA 대역에서 1 : 2 이하의 VSWR 특성을 얻으며 임피던스를 정합하였다.

그림 5는 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 단면도를 보여주고 있다. 그림 6은 최종 제안된

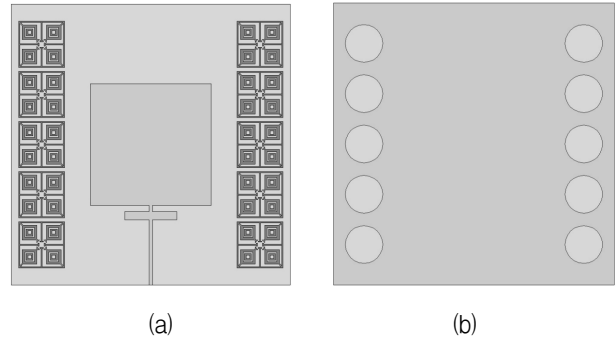


그림 4. 제안된 메타구조 기반 안테나의 main patch
(a) 윗면 (b) 아랫면
Fig. 4. Main patch of proposed antenna.
(a) top view (b) bottom view

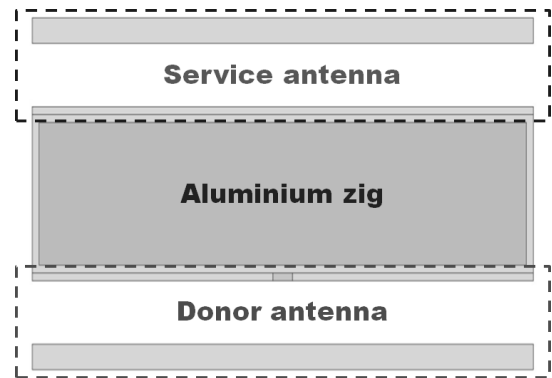


그림 5. 제안된 메타구조 기반 안테나의 parasitic patch
Fig. 5. Parasitic patch of proposed antenna.

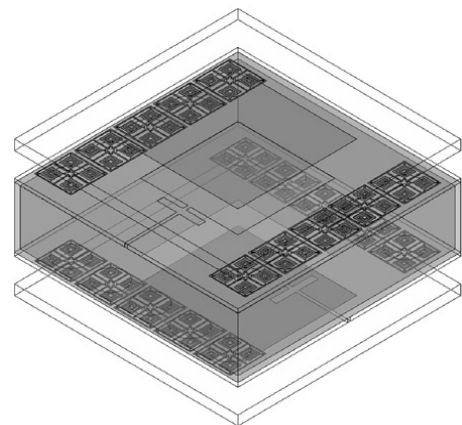


그림 6. 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나
Fig. 6. Proposed WCDMA indoor repeater antenna.

WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 구조를 보여주고 있다. 송수신 안테나는 각각 접지면, main patch, parasitic patch, 메타구조 기반의 흡수체로 이루어져 있으며, 서로 다른 두께의 FR-4 유전체로 구성되어 있다. 제안된 안테나의 접지면은 1.2 mm 의 두께를 갖는 sub #1 아

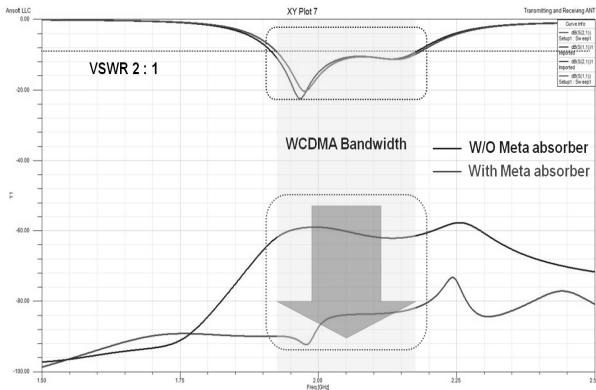


그림 7. 제안된 메타구조 기반 안테나의 특성
Fig. 7. Simulation result of proposed antenna.

랫면에 형성되어 있으며, main patch 및 메타구조 기반의 흡수체는 sub #1의 윗면에 형성되어 있다. 이 때, main patch 는 32.5 mm × 32.5 mm의 크기를 갖는다. main patch 와 메타구조 기반의 흡수체 간의 간격은 양 옆으로 각각 10 mm 이다. 또한 메타구조 기반의 흡수체는 sub #1 주위에 둘러싸고 있다. 또한, parasitic patch는 40 mm × 40 mm 의 크기를 갖고 3.2 mm 두께의 sub #2에 형성되며, main patch 와는 8 mm 의 공기층을 갖고 형성되어 있다. 각각의 송수신 안테나는 알루미늄 지그를 기준으로 상하에 서로 직교하여 배치되어 있으며, 알루미늄 지그는 75 mm × 75 mm × 19 mm 의 크기를 갖는다.

그림 7은 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 7에서 파란색 라인은 메타구조 기반의 흡수체가 없는 일반적인 패치 안테나의 S-parameter 특성을 보여주고 있다. 본 논문에서 목표로 잡은 WCDMA 대역인 1.92 GHz 대역부터 2.17 GHz 대역까지 VSWR 특성은 2 : 1 이하의 특성을 만족하고 있으며, 격리도 특성은 약 60 dB 정도의 특성을 보여주고 있다. 반면에, 빨간색 라인은 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 S-parameter 결과를 보여주고 있다. 기존의 일반 안테나와 비교했을 때, 반사특성과 VSWR 특성은 거의 변함이 없는 반면에, 송수신 안테나 사이의 격리도 특성은 85 dB에서 94 dB의 특성을 보여주고 있으며, 메타구조 기반의 흡수체에 의해서 격리도 특성이 25 dB 이상 개선된 것을 확인할 수 있다. 또한, 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 메타구조 기반 흡수체의 유·무에 따른 전류분포를 확인해보면, 메타구조 기반의 흡수체가 없을 때는 방사

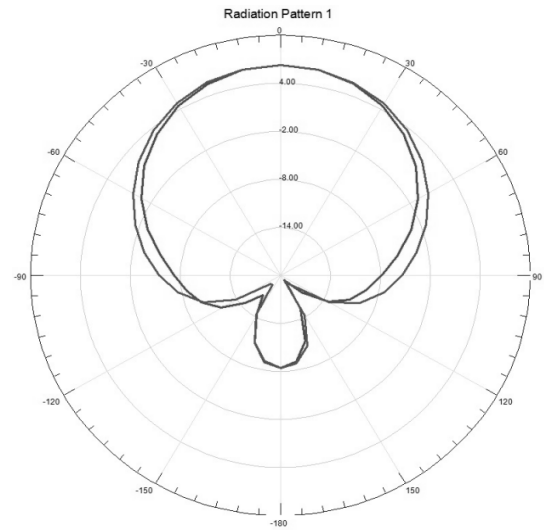


그림 8. 제안된 메타구조 기반 안테나의 방사 특성
Fig. 8. Radiation result of proposed antenna.

표 1. 제안된 안테나와 기존 안테나와의 비교
Table 1. Comparison of the proposed antenna.

	unit	Conventional antenna without absorber	Proposed antenna with absorber
Frequency	GHz	19.2 ~ 2.17	19.2 ~ 2.17
Gain	dBi	6.31	6.53
VSWR	.	2 : 1 이하	2 : 1 이하
Isolation	dB	59 ~ 62	85 ~ 94
Beam width	°	60°±10	60°±10

체 주위 및 접지면 주위에 전류가 유기되었을 때, 유기된 전류는 알루미늄 지그를 통해서 흐르며 이에 따라 다른 안테나로 유입되는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 메타구조 기반의 흡수체가 배열된 안테나 구조의 전류 분포를 확인해보면, 메타구조 기반의 흡수체에 전류가 강하게 유기되며, 이에 따라 알루미늄을 통해서 다른 안테나로 넘어가는 전류가 감소한 것을 확인할 수 있다. 이러한 전류 분포에 따라 메타구조 기반의 흡수체에 의해서 맥내형 중계기 안테나의 격리도가 향상된다는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 제안된 WCDMA 맥내형 중계기 안테나의 방사패턴을 보여주고 있으며 고른 방사패턴을 나타내고 있다. 본 논문에서 제안된 안테나의 이득은 E-plane과 H-plane에서 각각 6 dBi 이상이며, 60°±10의 beam width를 갖고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 안테나 간 격리도 개선을 위해 메타구조 기반의 흡수체를 이용한 WCDMA 대내형 중계기 안테나를 제안하였다. 기존의 안테나에서 적용했던 FSS 구조나 aluminium wall 등의 구조를 사용하지 않으면서 기존 안테나 대비 크기를 소형화 할 수 있었다. 제안된 안테나는 메타구조 흡수체 기반의 main patch 와 parasitic patch 로 이루어져 있다. WCDMA 대역폭을 만족하기 위해 main patch 의 open stub 의 길이와 폭을 이용하였고 main patch 와 parasitic patch 사이의 커플링을 이용하였다. 각각의 patch 들은 유전율 4.4 의 FR-4 기판을 사용하였다. 메타구조 기반의 흡수체는 라인 사이의 커플링을 이용하여 직렬 캐패시턴스를 구현하였으며, 접지면에 원형 형태의 패턴을 이용하여 병렬 인덕턴스를 구현하였다. 제안된 흡수체의 크기는 13 mm × 13 mm 이며, 각각 반사 특성은 -10 dB, 흡수율은 2.18 GHz 대역에서 약 94 % 의 특성을 갖고 있다. 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 격리도는 메타구조 기반의 흡수체를 이용하여 개선하였다. 제안된 WCDMA 대내형 중계기 안테나는 1.92 GHz부터 2.17 GHz 대역에서 6 dBi 이상의 안테나 이득과 2 이하의 VSWR 특성을 가지고 있으며, 송수신 안테나 사이의 격리도는 WCDMA 대역에서 85 dB ~ 94 dB 의 특성을 나타내고 있다. 제안된 안테나의 크기는 75 mm × 75 mm 이며 이는 기존의 WCDMA 대역 안테나보다 작은 크기이다. 격리도 특성은 기존 안테나에 비해 25 dB 이상의 개선 특성을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. S. Mohd Marzuki, A. R. Abd Rahim, B. Mohmd, K. Khalil, A. Naemat, A. Tee, "Antenna Isolation Considerations in WCDMA Repeater Deployment", International RF and Microwave Conference Proceedings, Putrajaya, Malaysia, Sep. 2006, pp. 347-350.
- [2] T. Maeyama, T. Inoue, "Development of Cellular Repeater System with Radio Echo Suppressor", Electronics and Communications in Japan, vol. 89, no. 4, Apr. 2006, pp.32-41.
- [3] W.T. Slingsby and J.P. Mcgeehan, Antenna isolation measurements for on-frequency radio repeaters, IEEE International Conference Antennas Propagation, pp. 239 - 243, 1995.
- [4] B. Lee and F. J. Harackiewicz, "Miniature microstrip antenna with a partially filled high permittivity substrate", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 50, No. 8, pp. 1160-1162, Aug. 2002.
- [5] M. Nakano and T. Inoue, "Compact repeater antenna system with extremely high isolation in the 800 MHz band", International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP2008), Oct. 2008.
- [6] Sung-Joo Kim, Frances J., Myun-Joo Park, Taekun Kim, Woojae Jung, Jeongkwan Lee, Buungje Lee "Isolation Enhancement Between Two Closely Mounted Antennas For Indoor Repeater Systems", MOTL. Vol. 53, No. 3, pp. 697- 700, 2011.
- [7] J. Lee and S. Lim, "Bandwidth-enhanced and polarization-insensitive metamaterial absorber using double resonance", Electronics Letters, vol.47, no.1, January 2011, pp.8-9.
- [8] Qi-wei Ye, Hai Lin, Xiao-qin Chen, He-lin Yang, "A Tunable Metamaterial Absorber Made by Micro-gap Structures", Cross Strait Quad Regional Science and Wireless Technology Conference, vol.1, 2011, pp. 234-237.
- [9] Youngki Lee, Deuk Hyeon Ga, Taeho Song, and Jaehoon Choi, "Design of an Indoor Repeater Antenna with the Improved Isolation Using Metamaterial Absorber", 2012 IEEE International Workshop on antenna Technology, Mar. 5-7, 2012.

저 자 소 개



김 형 준(학생회원)
2005년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 (공학사)
2007년 2월 숭실대학교 정보통신
공학과 (공학석사)
2007년 3월~현재 숭실대학교
정보통신공학과 박사과정

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, RF Power Amplifier, RFIC, VCO, 무선 전력 전송>



윤 나 내(학생회원)
2011년 2월 강남대학교
전자공학과 (공학사)
2011년 3월~현재 숭실대학교
정보통신공학과 석사과정
<주관심분야 : 초고주파 회로 설
계, RF Power Amplifier, 안테나,
무선 전력 전송>

서 철 헌(정회원)
대한전자공학회 논문지
vol.31, no. 6 참조