

# 차량용 FM 라디오 수신을 위한 '유리창에 프린트된 안테나'의 개발

## (Development of an Automobile Antenna Printed On-Glass for FM Radio Reception)

沈載鎰\*, 李俊昊\*, 李成信\*, 金孝泰\*

(Jae-Ruen Shim, Joon-Ho Lee, Sung-Shin Lee, and Hyo-Tae Kim)

### 요 약

본 연구는 라디오 수신을 위한 기존의 차량용 pole 안테나를 대체할 수 있는 '유리창에 프린트된 형태의 안테나'를 개발하는 것이다. 안테나의 초기 설계를 위해 모멘트법(Moment Method)의 NEC-2 코드를 이용하여 차체와 안테나를 선조합(wiregrid)으로 모델링하여 해석하였다. 본 연구에서 사용한 안테나의 성능평가 판단 기준은 무지향성의 방사 패턴과 수신세기로 기존의 pole 안테나의 측정 결과와 비교 검토하였다. 수신 세기 측정은 서울 잠실 근처와 남산 근처에서 실시하였다. 잠실 지역은 다중경로 페이딩 현상이 현저한 지역이고 남산 지역은 방송송신탑이 있는 관계로 강전계 영향의 지역이다.

### Abstract

Development of an automobile antenna printed on-glass for FM radio receptions was discussed in this study. NEC-2 code was used as the design tool in this research. An omnidirectional radiation pattern and reception power level of the newly designed antenna were compared with those of the conventional pole antenna for the evaluation of its performance. The test sites for the reception power level measurement were chosen by their signal environmental condition, such as multipath fading, and strong field effect area.

### I. 서 론

차량용 라디오 수신 안테나가 갖추어야 할 기본 조건은 가능한 한 무지향성의 방사 패턴이다<sup>[1, 8]</sup>. 현재 사용되고 있는 막대기 형태의  $\frac{\lambda}{4}$  길이의 pole 안테나가 우수한 성능을 보이지만 기계적인 손상에 약하고 외관상 미적 감각을 충족시키지 못하고 실제 차량의 설계시에 고려된 공기역학적인 외관 설계에 방해를 주

게되는 등의 단점이 있다. 또한, 차체에 pole 안테나를 설치하기 위해 구멍을 뚫는 공정 비용이 상당하다고 알려져 있다. 이러한 단점을 개선 및 제거하기 위하여 '유리창에 프린트된 안테나'가 1970년대 부터 개발되기 시작하였다<sup>[2, 3]</sup>. 이런 형태의 안테나 종류로는 뒷 유리창의 서리제거용 열선을 안테나로 겸용 사용하는 연구가 진행되기도 하였고<sup>[4]</sup> 열선을 제외한 나머지 여백에 안테나를 프린트하는 방법으로 사용하기도 하였다. 현재 미국, 일본, 독일 등을 비롯한 여러 자동차 생산국에서는 몇몇 차종에 대해 '유리창에 프린트된 안테나'를 시범 적용하여 생산 판매하고 있다<sup>[11]</sup>. 그러나, 국내 산업 현장에서는 이에 대한 연구가 극히 미진한 상태로 pole 안테나를 대체하는 안테나의 개발이 요구된다. 본 연구는 장기적인 자동차용 안테나 개

\* 正會員, 浦項工科大學校 電子電氣工學科  
(Dept. of Electronics and Electrical Engineering, POSTECH)

※ 본 연구는 현대자동차주식회사 연구개발본부 차량 전자시험팀의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

接受日字:1997年10月24日, 수정완료일:1998年4月9日

발의 일차적인 연구로 '유리창에 프린트된 안테나'의 독자 모델에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

안테나의 초기 설계는 모멘트법(Moment Method)의 NEC-2 코드를 이용하였고 안테나의 유효면적을 크게 하기 위해 차체를 안테나의 일부로 사용하였다. 본 연구에서 사용한 안테나의 성능평가 판단 기준은 무지향성의 방사 패턴과 수신세기로 기존의 pole 안테나의 측정 결과와 비교 검토하였다. 차체를 안테나의 일부로 사용하였기에 방사 패턴 측정은 주위에 구조물이 없는 넓은 운동장에서 간기로 실험하였다. 주행 중 수신세기에 대한 측정은 서울의 도심지역인 잠실지역과 방송 송신탑이 있는 서울 남산 근처에서 실제 측정하여 그 측정값을 통계 처리한 후 상호 비교하였다.

## II. 안테나 설계

### 1. 차체 모델링

우리나라의 FM 라디오 방송주파수는 88 MHz에서 108 MHz로 한 파장의 범위가 3.4m에서 2.8m이다. 방송 송신안테나의 편파는 지역별로 다소 차이가 있으나 원형 편파가 대부분이고 지역별로 수직이나 수평 편파를 사용하는 곳도 있다. 대상차량인 현대자동차의 뉴그랜저의 길이는 약 4.5m로 방송주파수의  $1\lambda$  (3.4m - 2.8m) 보다 조금 크기 때문에 차체를 포함한 안테나의 설계 및 해석에 있어서 모멘트법(Moment Method)이 적절하다. 1980년대 중반까지는 여러 반복적인 실험과 경험적인 바탕 위에 유리창에 프린트된 안테나를 설계 하였으나 최근에는 컴퓨터의 기억용량과 계산속도의 발달과 더불어 수치해석적인 방법이 시도되었다. 가장 대표적인 예가 NEC-2 코드를 이용한 연구 결과<sup>[5, 6]</sup> 이고 본 연구도 모멘트법에 의한 해석을 위해 평판 구조의 차체를 선의 조합(wire-grid)으로 모델링하여 NEC-2 코드를 사용하였다. 한 세그먼트(segment)의 길이는  $0.1\lambda$ 가 되도록 하였고 선의 반지름은 '선 조합의 전체 표면적이 실제 평판 면적의 2배'가 되도록 하는 "same surface area rule"을 적용하였다<sup>[7]</sup>.

그림 1은 대상차량인 뉴그랜저의 실제 외형을 나타낸 것이고 NEC-2 코드에 입력하기 위한 대상차량의 선조합 결과를 그림 2에 나타내었다. 실제 NEC-2 코드를 돌리기 위해서는 "same surface area rule"에 의해 좀 더 조밀한 모델링이 필요하지만 그림 2는 전

체적인 모델링의 윤곽만을 보여준다. 그림 2에서 보듯이 차량의 미세한 곡면 변화와 유리창 등의 작으면서 복잡한 구조나 차체와 전기적 성질이 다른 몇몇 부분에 대한 자세한 모델링은 생략하였다. 이러한 국부적인 생략과 단순화는 차량용 안테나와 같이 복잡한 환경에서의 모델링에서는 피할 수 없는 것이고 이러한 국부적인 생략과 단순화로 인한 방사 패턴의 오차는 복잡한 전파환경이나 측정에서 생기는 다른 오차에 비해 상대적으로 작기 때문에 모델링을 간단하게 하였다.

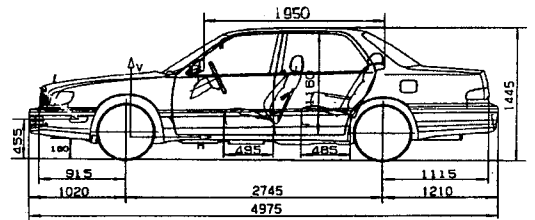


그림 1. 대상차량의 실제 외형 구조 및 크기  
Fig. 1. Geometry and dimension of test automobile.

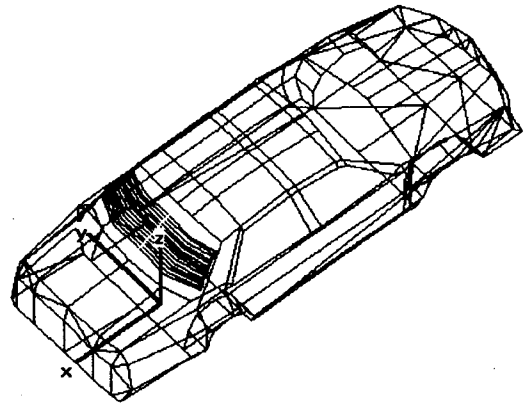


그림 2. 대상차량을 선 조합으로 모델링한 결과  
Fig. 2. Wiregrid model of test automobile.

일반적으로 차량이 도로상에 위치하므로 지면반사 효과(ground effect)를 고려한 안테나 설계가 이루어져야 한다. 지표면인 흙(clay soil)의 전기적 성질인 비유전율  $\epsilon_r=14$ 와 전도율  $\sigma=0.005$  S/m를 NEC-2 코드에 입력하여 지면반사 효과를 고려하였다<sup>[5]</sup>. 실제 방사 패턴의 측정에서도 지표면의 효과가 고려되었다.

### 2. 안테나 패턴 설계

본 연구에서 목표로 삼은 것은 뒷유리창의 열선을 제외한 윗부분에 안테나를 프린트한 '수동형(passive

type) 안테나이다. 즉, 열선을 건드리지 않아 열선에 공급되는 직류 전류와 라디오 방송전파를 구별해 내는 별도의 회로가 필요 없고 수신 전파를 증폭하기 위한 추가적인 증폭회로가 없는 수동형 안테나이다.

다음은 본 연구에서 정한 안테나 패턴 설계의 기본 규칙이다.

가. 가능한 한 무지향성의 방사 패턴을 가져야 한다.

나. 미(美)적인 디자인 측면에서 기존의 열선과 보기 좋게 어울려야 한다.

특히, 미적인 감각을 유지하기 위해 '유리창에 프린트된 안테나'의 급전(feeding) 위치를 뒷유리창의 중심선에 위치하도록 하였고 안테나의 폭을 열선의 폭과 같은 1mm 내외로 하였다. 또한 안테나의 선 간격을 열선의 선 간격과 비슷하도록 하였다. 실제 안테나의 설계에 있어서 급전점의 위치 변화에 따라 방사 패턴의 변화가 심하지만 본 연구에서는 중심선에 위치시켜 안테나를 설계 하였다. 급전점이 중심선에 위치해서도 방사 패턴은 어느 정도 만족스러운 결과를 보여 주었으며 급전점의 위치 변화에 따른 최적의 급전점을 찾는 연구는 계속 진행 중에 있다.

그림 3은 이러한 안테나 패턴 설계의 기본 규칙이 고려된 여러 안테나 패턴 중의 하나로 어느 정도 이상의 안테나 성능을 보인 안테나 패턴이다. 설계된 안테나 패턴의 자세한 세부 길이 등은 생략하고 외형의 주요 부분의 길이만 표기하였다.

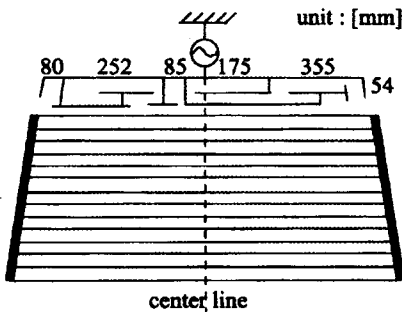


그림 3. 설계된 안테나 패턴  
Fig. 3. The designed antenna pattern.

### III. 실험 측정 결과

#### 1. 입력 임피던스 측정 결과

회로망 분석기(모델명 : HP-8753C)를 이용하여 그림 3과 같이 설계된 안테나의 입력 임피던스를 측정

하였다. 현재 사용되고 있는 FM 라디오의 입력 임피던스는 기존의  $\frac{\lambda}{4}$  길이의 pole 안테나의 입력 임피던스인  $50 \Omega$  근처에서 정합되어 있다. 따라서 기존의 라디오 수신기를 계속 사용하기 위해 새로 개발되는 안테나의 입력 임피던스를 가능한 한  $50 \Omega$  근처에 맞추어야 한다. 일반적으로 AM 라디오 수신감도를 보상하기 위해 다소 FM 라디오 수신감도의 저하에도 불구하고  $75 \Omega$ 이나  $125 \Omega$ 의 동축선(coaxial cable)을 사용하고 있다. 그림 4는 설계된 안테나의 입력 임피던스의 궤적으로  $50 \Omega$ 으로 정규화(normalized)된 값이다.

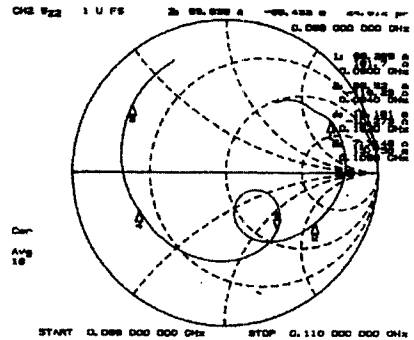


그림 4. 입력 임피던스 측정 결과  
Fig. 4. Input impedance locus on Smith chart.

#### 2. 방사 패턴의 측정 결과

설계된 안테나의 중요한 평가요소 중의 하나인 방사 패턴의 측정을 위해 주위에 구조물이 없는 넓은 운동장에서 야외실험을 하였다. 야외 실험 하게 된 이유는 차체까지 고려하여 실험할 실내 측정 장소가 마땅치 않고 또한 차량이 운행하는 실제 도로 환경과 비슷하게 설정하여 방사 패턴을 측정하는 것이 의미 있기 때문이다. 측정 방법은 반경 30m의 원을 그린 후 그 중심에 차량이 위치하도록 하고 신호발생기(모델명 : HP-8657B)를 측정주파수에 공진된 반파장 다이폴(dipole) 안테나에 연결한 후 다이폴 안테나를 지면과 수직 혹은 지면과 수평이 되도록 하여 원주(圓周)를 따라 3° 간격마다 측정하였다. 30m의 반경으로 설정한 이유는 안테나 방사 패턴 측정시 필요로 하는 평면파의 원거리 조건 (far field condition)을 만족시켜 주기 위함이다.

$$L \geq \frac{2D^2}{\lambda} \tag{1}$$

$$L \gg \lambda \tag{2}$$

L은 안테나 측정 거리이고 D는 안테나의 최대 길이이다. 즉 차체를 안테나의 일부로 하였으므로 D가 약 4.5m 정도 된다. 따라서 FM 대역의 방사 패턴을 측정하기 위해서는 30m의 반경이면 충분하다. 송신 다이폴 안테나는 지면에서 2m 높이로 하여 지면과 수직 혹은 지면과 수평의 모양으로 두고 측정하였다. 그림 5는 주파수가 102 MHz에서의 설계된 안테나의 방사 패턴으로 지면과 수직인 성분과 수평인 성분으로서 보완되어 무지향성의 방사 패턴을 보인다. 그림에서 보듯이 전체적인 윤곽에서 측정 결과가 NEC-2 코드로 예측된 결과와 유사함을 알 수 있다.

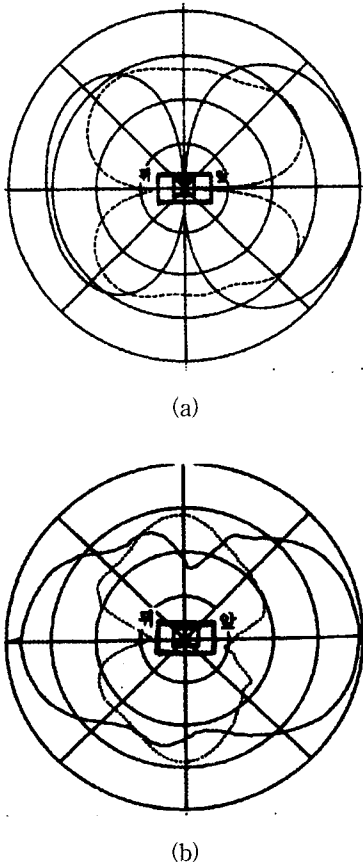


그림 5. 방사 패턴 결과 ( $f=102$  MHz,  $\theta=86.2^\circ$ )  
 (— 지면과 수직, ---- 지면과 수평)  
 (a) NEC-2에 의해 예측된 방사 패턴 (b) 측정된 방사 패턴

Fig. 5. The radiation pattern ( $f=102$  MHz,  $\theta=86.2^\circ$ ). (— perpendicular to ground, ---- parallel to ground)  
 (a) The predicted radiation pattern by NEC-2 (b) The measured radiation pattern

방사 패턴의 한칸의 간격은 10dB이고  $\theta=86.2^\circ$  는 z-축으로 부터의 각도로  $\theta=90^\circ - \tan^{-1} \frac{2}{30}$  이다. z-축은 지표면과 수직을 이루는 축이다.

3. 수신 세기 측정 결과

수신세기를 측정하기 위해 안테나의 입력 임피던스가 스펙트럼 분석기의 입력 임피던스와 가능한 한 정합이 되도록 하는 정합 관련 작업을 사전에 한 후에 수신세기를 측정하였다. 측정 방법은 대상차량을 특정 지역의 1~2km 정도를 운행하면서 매 3m 정도의 간격마다 수신세기를 스펙트럼 분석기 (모델명 : HP-8595E)로 측정한 후 측정 데이터의 후처리 작업을 위해 컴퓨터에 저장하여 통계 처리하였다.

안테나의 성능을 수신세기에 의해 평가하기 위해서는 가능한 한 많은 지역에 대한 측정이 이루어져야 하지만, 본 연구에서는 건물이 밀집된 서울의 도심지역인 잠실지역과 방송 송신탑이 있는 서울 남산 근처로 한정하였다. 전파 환경 특성상 잠실지역은 밀집된 고층 건물로 인한 다중경로 페이딩(fading) 영향지역이고 남산지역은 강전계 영향지역이라고 볼 수 있다.

그림 6은 측정된 수신세기의 통계 처리의 결과인 상자 그림(box plot)을 보는 법을 설명한다. 각 상자의 중간이 그 주파수의 평균 수신세기를 나타내고 최고점과 최저점이 각 수신된 수신세기의 최대값과 최소값을 나타낸다. 설계된 안테나와 pole 안테나의 수신세기를 해당 지역의 수신세기에 대한 평균값을 구한 후에 비교한 이유는 비슷한 전파환경을 가진 지역에 분포된 수신세기를 비교하여야 보다 타당하기 때문이다.

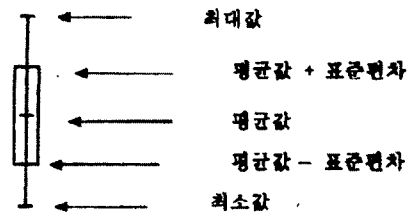


그림 6. 상자 그림 보는 법  
 Fig. 6. Box plot.

그림 7은 서울 도심지역의 수신세기 측정 결과로 기존의 pole 안테나와 비교한 것이고 그림 8은 서울 남산 근처의 측정 결과를 기존의 pole 안테나와 비교한 것이다. 결과에서 보듯이 '유리창에 프린트된 안테

나의 수신세기는 기존의 pole 안테나에 비해 주파수에 따라 약 7~10 dB 정도 떨어진다. 이러한 수신세기 저하는 수동형 안테나의 한계치라고 보여진다. 이러한 한계치가 생기는 원인으로는 안테나의 배치 위치, 재질, 설계 패턴, 주위 전파 환경 등 여러 가지가 있을 수 있다.

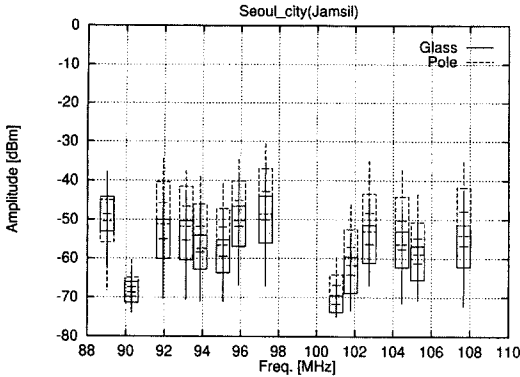


그림 7. 수신세기 측정 결과 : 다중경로 영향 지역 ( — 설계된 안테나, ---- Pole 안테나 )  
 Fig. 7. The reception power level : Multipath effect area. ( — The designed antenna, ---- Pole antenna)

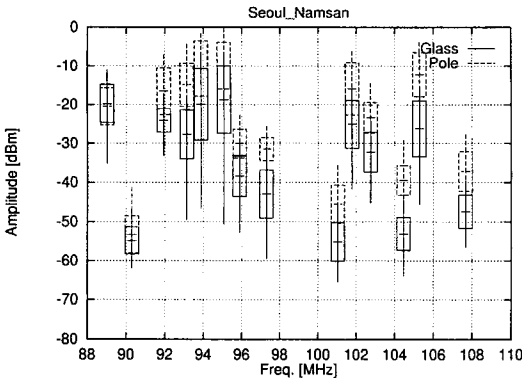


그림 8. 수신세기 측정 결과 : 서울 남산 근처 ( — 설계된 안테나, ---- Pole 안테나 )  
 Fig. 8. The reception power level : Strong field effect area. ( — The designed antenna, ---- Pole antenna)

IV. 결론

FM 라디오 수신을 위한 기존의 pole 안테나를 대체할 수 있는 '유리창에 프린트된 안테나'를 설계 개발하고 그 성능을 평가하였다. 설계 도구로 NEC-2 코

드를 이용하였고 안테나의 유효 면적을 넓히기 위해 차체를 안테나의 일부분으로 사용하였다. NEC-2 코드에 의해 예측된 방사 패턴은 실제로 측정된 방사 패턴의 결과와 유사하였고 서울을 중심으로 특정지역의 수신세기를 측정한 결과, 개발된 '유리창에 프린트된 안테나'의 수신세기가 기존의 pole 안테나에 비해 약 7~10 dB 정도 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 한계치는 수동형 안테나(passive type)의 한계치이다.

앞으로의 연구는 '수동형 안테나'의 수신세기 저하를 보상하기 위한 방안인 '능동형(active type) 안테나'에 대한 것과 가능한 한 무지향성의 방사 패턴을 갖도록 두 개 이상의 안테나로 공간 다이버시티(space diversity)를 구성하는 것이다. 또한 유리창에 프린트된 안테나의 적용 범위를 차량에서도 텔레비전을 수신할 수 있는 안테나 등으로 확장하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto and J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech House, 1994.
- [2] M. Sugano, *Antenna System for Vehicles*, Japanese Patent Application no. 132005, 1973.
- [3] G. Sauer, *Combined Window Heater and Antenna*, U.S. Patent no. 3928748, 1975.
- [4] J. D. Last, B. Easter and K. Duffy, "A Broadband Heated Backlite Antenna for a Production Vehicle," *Society of Automotive Engineers (Int'nl Congress)*, P-142 Audio System, pp. 205-215, 1984.
- [5] B. A. Austin and R. K. Najm, "Wire-grid Modelling of Vehicles with Flush-Mounted Window Antennas," *IEE Int'nl Conference on Antennas and Propagat.*, York, Publ. no. 333, vol. 2, pp. 950-953, 1991.
- [6] P. J. Tittensor and P. R. Sharples, "Mathematical Modelling of Heated Rear-Window Antennas," *Seventh Int'nl Conf. on AP-ICAP 91 (Conf. Publ. No. 333)*, pp. 954-956, 1991.
- [7] A. C. Ludwig, "Wire-grid Modelling of Surfaces," *IEEE Trans. on Antenna and*

Propagat. vol. AP-35, no. 9, pp. 1045-1048, Sept., 1987.

계 방법,” 전자공학회지, 제 24권, 제 1호, pp. 86-105, 1997년, 1월

[8] 조 영기, “이동 통신용 안테나의 동작원리 및 설

저 자 소 개



沈 載 鎭(正會員)

1967년 11월 18일생. 1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사. 1992년 2월 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 공학석사. 1992년 ~ 현재 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 박사과정 중. 1992년

10월 ~ 1995년 6월 육군사관학교 전자공학과 전임강사. 주관심분야는 전자파 산란 해석, 전자장 수치 해석, 이동체용 안테나, 위성 배열 안테나 등임



李 俊 昊(正會員)

1971년 7월 14일생. 1994년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사. 1996년 2월 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 공학석사. 1996년 3월 ~ 현재 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 박사과정 중. 주관심

분야는 레이더 표적물 인식 기법, 이동체용 안테나, 전자파 수치 해석 등임



李 成 信(正會員)

1968년 9월 13일생. 1996년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사. 1998년 2월 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 공학석사. 1998년 3월 ~ 현재 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 박사과정 중. 주관심

분야는 위성 배열 안테나, 전자장 수치 해석

金 孝 泰(正會員)

1951년 2월 15일생. 1978년 서울대학교 전자공학과 공학사. 1982년 서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1986년 미국 The Ohio State University 공학박사. 1977년 ~ 1979년 금성통신(주) 전자통신연구소 연구원. 1983년 ~ 1986년 The Ohio State University, ElectroScience Lab. 연구원. 1988년 ~ 1989년 The Ohio State University, Visiting Professor. 1986년 12월 ~ 현재 포항공과대학교 전자전기공학과 조교수/부교수. 주관심분야는 전자파 수치해석 기법, 레이더 영상 및 표적물 인식 기법, 각종 안테나 설계 및 해석, 이동통신에서의 전파 모델에 관련된 연구, EMC/EMI 연구 등임