

## 평면 배열 안테나를 이용한 수신 지역 형태에 적합한 빔 형성 방법에 관한 연구

이 봉 수\* 장 재 철\*\* 안 도 희\*\*\*

### A Study on the Beam forming method suitable receive area shape using planar array antenna

Bong-soo Lee\* Jae-chul Jang\*\* Do-hee An\*\*\*

#### 요 약

본 논문에서는  $N$ 개의 등방성 점원을 수신 지역과 동일한 구조로 배열하고 수신 지역과 동일한 방사 패턴을 갖는 배열 구조에 대하여 연구하였다. 배열된 소자 간격은 그레이팅 로브를 피하면서 최적의 특성을 얻기 위하여 반파장 등간격으로 선택하였고, 각 배열 구조의 어레이 팩터를 유도한 후, 방사패턴을 이론적으로 계산하였다. 계산된 특성으로부터 각 평면 배열 안테나의 방사패턴은 수신 지역의 구조와 유사한 빔 특성을 얻을 수 있었다.

#### Abstract

In this paper, arranged the isotropic point source of  $N$  number with the structure which is identical with the receive area. And against the array structure which has the radiation pattern which is identical with the receive area it researched. The arranged the element space flees grating lobe and in order to get the characteristic of optimum with half-wave equally space it selects. After inducing the array factor of each array structure, it calculated a radiation pattern. As a result of, the radiation pattern of the each planar array antenna with structure of the receive area was similar and the possibility of getting an beam characteristic it was.

---

\*,\*\* 제천기능대학 정보통신과 교수  
\*\*\* 청주기능대학 컴퓨터응용기계과 교수

## I. 서론

최근 이동 통신 환경에서의 전파 특성이 복잡해짐에 따라 전파의 효율성을 증가시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 일정 지역에서만 전파를 차단하거나 방사되도록 하기 위한 기술들이 연구되어지고 있다 [1][2][3]. 이러한 방법들은 전파의 도래 방향과 송신 출력 조절 그리고 주파수 재활용 효과를 얻을 수 있기 때문에 중요하게 대두되고 있다[2][3][4].

특정 지역에서 전파 특성은 임의적인 조절은 몇 개의 안테나를 공간적으로 배열함으로써 얻을 수 있다. 배열 안테나의 주빔(main beam)의 모양을 지역의 형태와 동일하게 형성되도록 함으로써 가능하다. 이와 같은 빔 특성을 얻기 위해서는 평면 배열 안테나(planar array antenna)[5][6][7]가 사용된다. 일반적으로 평면 배열 안테나는 pencil beam과 높은 이득을 얻을 수 있기 때문에 위치 추적용 안테나와 위성 안테나등 사용 목적에 따라 여러 용도로 사용되고 있다. 배열 안테나를 이용한 빔 형성은 빔의 반전력비폭과 SLL을 줄이기 위한 방법 등으로 연구되어졌다[8][9][10]. 이에 본 논문에서는 평면 배열 안테나를 이용하여 임의 수신 지역의 모양과 동일하거나 유사한 모양의 빔을 형성하기 위한 방법을 연구하고자 한다.

수신 지역 형태와 동일한 형태의 빔 형성은 평면 배열 안테나를 이용한다. 따라서, 본 논문에서는 임의의 수신 지역의 모양과 같거나 유사한 빔을 형성하기 위한 평면 배열 안테나의 구조에 대하여 연구하였다. 이를 위하여  $N$ 개의 등방성 점원을 가정된 수신 지역의 구조와 동일한 구조로  $yz$ 평면상에 배열하여 방사패턴을 이론적으로 계산, 분석하여 분석·확인하고자 한다. 수신 지역의 형태는 십자형,  $\pi$ !, 육각형, 정방형, 원형, 이중원형으로 가정하였다. 또한,  $yz$ 평면상에 배열된 평면 배열 안테나의 어레이 팩터(array factor)의 식을 유도한 후, 소자의 개수  $N=16$ , 소자간의 간격은 한파장 미만으로 선택, 등간격(equally space)으로 배열함으로써 가시영역에서 그레이팅 로브(grating lobe)를 피하면서 최적의 특성을

가지도록 얻도록 배열하였다. 위와 같은 조건으로부터 계산된 방사패턴을 분석한 결과, 가정된 수신 지역의 구조와 동일한 구조 배열된 평면 배열 안테나의 방사패턴은 수신 지역의 구조와 매우 유사한 모양의 빔을 형성함을 확인할 수 있었다.

## II. 임의 평면 배열 안테나

평면 배열 안테나로부터 그림 1과 같이  $n$ 개의 안테나가  $yz$ 평면상에 임의로 분포되어 있는 경우 어레이 팩터는

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{\exp(jk R_n)}{4\pi R_n} \quad (1)$$

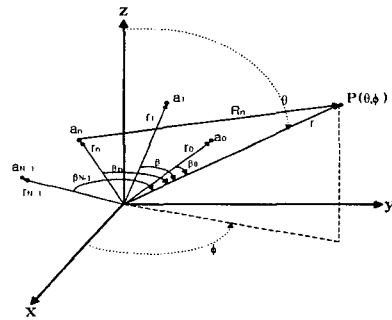


그림 1. 임의 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig 1. Geometry of arbitrary distributed planar array antenna

로 쓰여지며, far-field인 경우  $R_n = r - r_n \cos \beta_n$  이 되어 식(1)은

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \sum_{n=0}^{N-1} \exp(-jkr_n \cos \beta_n) \quad (2)$$

가 된다[7].

그러므로  $n$ 개의 안테나가 임의로 분포된 경우 어레이 팩터는 다음과 같이 쓰여진다.

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \sum_{n=0}^{N-1} \exp[-jk(y_n \sin \theta \sin \phi + z_n \cos \theta)] \quad (3)$$

### III. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 수신 지역을 십자형, 11, 육각형, 정방형, 원형, 이중원형의 6가지의 구조로 가정하고  $N$ 개의 등방성 점원을  $yz$ 평면에 등간격으로 배열하였다. 소자의 간격은 그레이팅 로브를 피하기 위해 한파장 이하에서 결정하였다. 먼저, 임의로 가정된 수신 지역의 모양과 같은 배열 구조에 대하여 살펴본다. 또, 각 구조에 대한 3차원 방사패턴과 등고선도를 이론적으로 계산하여 분석하였다.

#### 1. 방사패턴

##### 3-1. 십자형 분포

그림 2는  $N$ 개의 등방성 점원이  $yz$ 평면에 간격  $d$ 로 배열된 십자형 배열 안테나를 나타낸 것이다. 그림 2에서  $n$ 번째 소자의 위치  $y_n$ 과  $z_n$ 는

$$y_n = \begin{cases} \frac{-\sqrt{N+1}}{2d} + (n-1)d, & n=1, \dots, N-6 \\ 0, & n=N-7, \dots, N \end{cases}$$

$$z_n = \begin{cases} 0, & n=1, \dots, N-6 \\ \frac{\sqrt{N+1}}{2d} - (n-9)d, & n=N-7, \dots, N \end{cases}$$

이다.

따라서, 십자형 분포의 어레이 팩터는 식(3)으로부터 다음과 같이 쓰여진다.

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \left( \sum_{n=1}^{N-6} \exp[-jk((-\frac{\sqrt{N+1}}{2} + (n-1)d) \sin \theta \sin \phi)] + \sum_{n=N-7}^N \exp[-jk((\frac{\sqrt{N+1}}{2} + (n-9)d) \cos \theta)] \right) \quad (4)$$

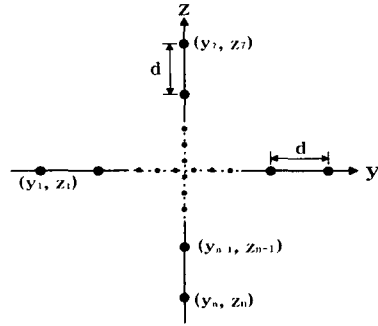


그림 2. 십자형 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 2. Structure of a cross type distributed planar array antenna

##### 3-2. 근자형 분포

그림 3은  $N$ 개의 등방성 점원이  $yz$ 평면에 간격  $d$ 로 배열된 근자형 배열 안테나를 나타낸 것으로서  $n$ 번째 소자의 위치는  $y_n$ 과  $z_n$ 는

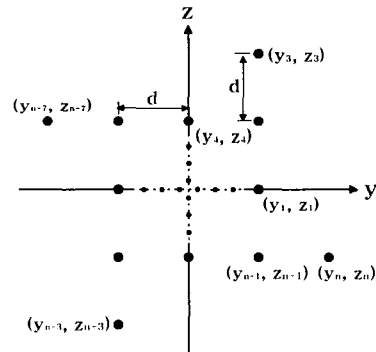


그림 3. 근 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 3. Structure of a near type distributed planar array antenna

$$y_n = \begin{cases} d, & n=1, \dots, N-12 \\ -(n-1)/2, & n=N-11, \dots, N-8 \\ d, & n=N-7, \dots, N-4 \\ d, & n=N-3, \dots, N \end{cases}$$

$$z_n = \begin{cases} (n-1)/2, & n=1, \dots, N-12 \\ d, & n=N-11, \dots, N-8 \\ -(n-1)/2, & n=N-7, \dots, N-4 \\ (n-1)/2, & n=N-3, \dots, N \end{cases}$$

이다.

$n$ 번째 소자의 위치가 결정되면, 어레이 팩터는

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \left( \sum_{n=1}^{N-1} \exp[-jk(1/2 \sin \theta \sin \phi + (n-1)/2 \cos \theta)] \right. \\ + \sum_{n=N-11}^{N-8} \exp[-jk(-(n-1)/2 \sin \theta \sin \phi + 1/2 \cos \theta)] \quad (5) \\ + \sum_{n=N-7}^{N-4} \exp[-jk(1/2 \sin \theta \sin \phi - (n-1)/2 \sin \theta)] \\ \left. + \sum_{n=N-3}^N \exp[-jk(1/2 \sin \theta \sin \phi + (n-1)/2 \cos \theta)] \right)$$

로 쓰여진다.

### 3-3. 육각형 분포

그림 4는  $N$ 개의 등방성 점원이  $yz$ 평면상에 간격  $d$ 로 배열된 육각형 배열 안테나를 나타낸 것이다.

그림 4에서  $r_n = 2d \cos(\pi/6)$ 이고, 각  $\alpha_n$ 은

$$\alpha_n = \begin{cases} \pi/8 + (n-1)\pi/8 & n=1, \dots, N-8, \text{ [radian]} \\ \pi/4 + (n-9)\pi/4, & n=N-9, \dots, N, \text{ [radian]} \end{cases}$$

으로 구해진다.

따라서, 각  $\alpha_n$ 에 의하여  $n$ 번째 소자의 위치가 결정 되면, 어레이 팩터는 다음과 같다.

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \left( \sum_{n=0}^{N-7} \exp[-jk d (\cos \alpha_n \sin \theta \sin \phi + \sin \alpha_n \cos \theta)] \quad (6) \right. \\ \left. + \sum_{m=N-8}^{N-1} \exp[-jk d (\cos \alpha_m \sin \theta \sin \phi + \sin \alpha_m \cos \theta)] \right)$$

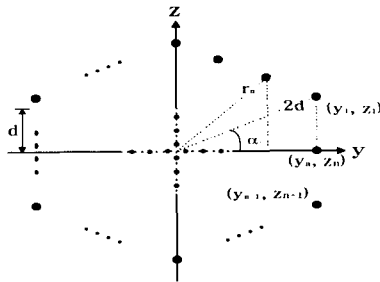


그림 4. 육각형 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 4. Structure of a hexagon distributed planar array antenna

### 3-4. 정방형 분포

그림 5는  $N$ 개의 등방성 점원이  $yz$ 평면상에 간격  $d$ 인 정방형 배열 안테나를 나타낸 것이다[7].

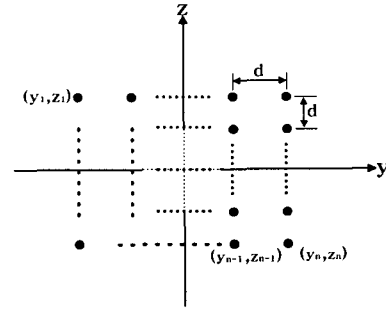


그림 5. 정방형 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 5. Structure of a square distributed planar array antenna

그림 5에서 어레이 팩터는

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \sum_{n=0}^{N-1} \exp[-jk((N_y + (n-1))d \sin \theta \sin \phi) \\ + (N_z - (n-1))d \cos \theta]$$

로 결정된다. 이때 각  $N$ 에 대하여

$$N_y = N_z = (-\sqrt{N} + 1)/2 \text{이다}$$

### 3-5. 원형 분포

그림 6은  $N$ 개의 등방성 점원이  $yz$ 평면상에 반지름  $r$ 인 원주를 따라 간격  $d$ 로 배열된 원형 배열 안테나를 나타낸 것이다. 그림 6의 어레이 팩터는

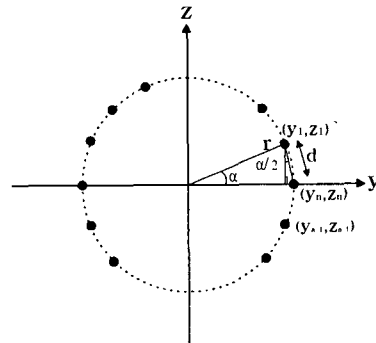


그림 6. 원형 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 6. Structure of circular array antenna

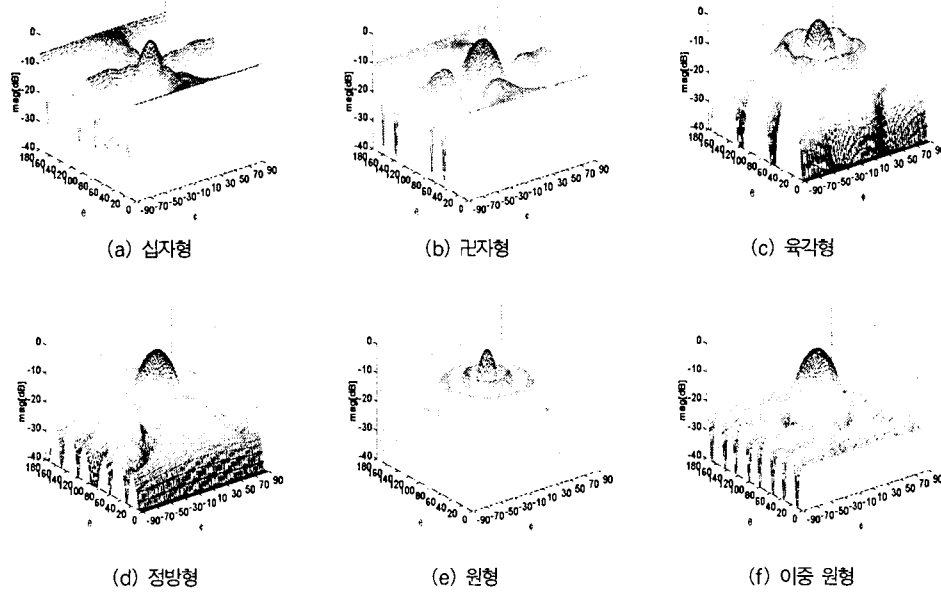


그림 8. 각 평면 배열 안테나의 3차원 방사패턴  
 Fig. 8. 3-D radiation pattern of each array structure

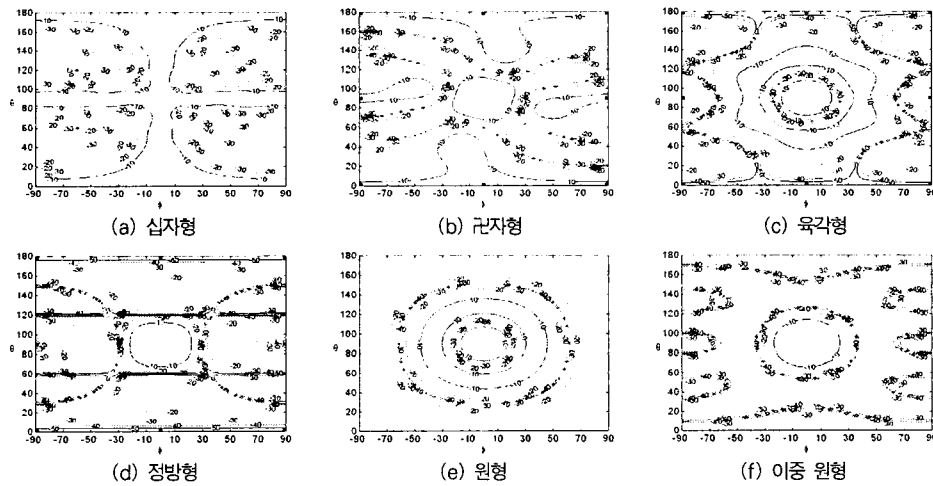


그림 9. 각 배열 구조의 등고선도  
 Fig. 9. Contour map of each array structure

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \sum_{n=0}^{N-1} \exp[-jk(r \cos \alpha_n \sin \theta \sin \phi + r \sin \alpha_n \cos \theta)]$$

로 결정된다.

### 3-6. 이중원형 분포

그림 7은 yz평면상에 N개의 등방성 점원중 반지름이  $r_i$ 인 내부 원에  $n_i$ 개, 반지름이  $r_o$ 인 외부 원을 따라  $n_o (= N - n_i)$ 개를 배열한 이중 원형 분포 평면 배열 안테나의 구조를 나타낸 것이다. 이때 내부 원과 외부

원의 각  $\alpha_n$  및 내부 원의 반지름을  $r_i$ 와 외부 원의 반지름을  $r_o$ 를 [7]에 의하여 다음과 같이 결정하였다.

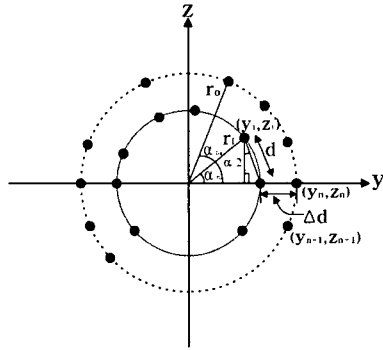


그림 7. 이중 원형 분포 평면 배열 안테나의 구조  
Fig. 7. Structure of double circular array antenna

$$r_o = 2 r_i \quad (9)$$

따라서, 어레이 팩터는

$$AF(\theta, \phi) = \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \left( \sum_{n=0}^{n-1} \exp[-jk(r_i \cos \alpha_n \sin \theta \sin \phi + r_i \sin \alpha_n \cos \theta)] + \sum_{m=n_i+1}^N \exp[-jk(r_o \cos \alpha_m \sin \theta \sin \phi + r_o \sin \alpha_m \cos \theta)] \right) \quad (10)$$

로 결정된다.

이제, 각 평면 배열 안테나의 방사패턴을 계산, 평면 배열 안테나의 구조가 수신 지역 형태에 맞는 빔을 형성하는지 확인하고자 한다. 먼저, 각 배열 구조의 최적화된 방사패턴을 얻기 위하여 각 배열 구조의 방사패턴 식의 소자 간격  $d$ 를  $0.5\lambda, 0.1\lambda, \dots, 1\lambda$ 까지 조정, 소자 간격  $0.5\lambda$ 에서 최적의 특성을 얻고 등방성 점원  $N=16$ 으로 하여 가정된 수신 지역의 형태로 배열한 후, 식(4), 식(5), 식(6), 식(7), 식(8), 식(10)으로 3차원 방사패턴을 이론적으로 계산하여 그림 8에 나타내었다. 이때 분포된 소자의 간격만을 조절함으로써 최적의 특성을 갖도록 하였다. 그림 8에 나타난 것처럼 가정된 수신 지역의 형태와 동일하게 배열된 평면 배열 안테나는 수신 지역의

형태와 매우 유사한 방사패턴 모양을 나타내었으며 일반적인 평면 배열 안테나의 특징인 pencil beam의 특성을 얻을 수 있었다.

그림 9는 각 배열 구조의 등고선도를 계산하여 나타낸 것으로 임의로 가정한 수신 지역 형태와 매우 유사한 빔 특성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 8과 9로부터 각 배열 안테나는 평면 배열 안테나의 특징인 pencil beam과 높은 지향성 등의 특징을 얻을 수 있었다. 이러한 특징은 이동 통신 환경 하에서 일정 지역 및 특정 지역 내에서의 전파의 효율적인 운용 및 조절에 이용될 수 있을 것이며, 위치 추적용 안테나에 응용되어 정확한 전자파의 도래방향 예측 시스템에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 수신 지역의 형태와 동일한 방사패턴을 제공할 수 있는 평면 배열 안테나의 구조에 대하여 연구하였다. 수신 지역의 형태를 십자형, L, 육각형, 정방형, 원형, 이중원형으로 가정한 후, 16개의 등방성 점원을 그레이팅 로브를 피하면서 최적화된 특성을 갖도록  $0.5\lambda$  간격으로 균일하게 배열하여 특성을 계산·분석하였다. 분석결과, 각 배열 구조의 방사패턴은 수신 지역의 형태와 유사한 특성을 나타내고 있음을 확인하였다. 또한, 안테나의 물리적인 변형을 가하지 않고 배열 구조의 적절한 변화를 통하여 원하는 특성을 얻을 수 있었다. 이러한 특징은 이동 통신 환경에서 일정 지역 및 특정 지역 내에서의 전파의 효율적인 운용 및 조절에 이용될 수 있을 것이며, pencil beam의 특성과 예리한 빔폭 특성은 위치 추적용 안테나에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] T.S.Rappaport, J.H.Reed, B.D.Woemer, "Position Location Using Wireless Communication on Highway of th Future",IEEE Communication Magazine, pp.33~41, Octobar, 1996
- [2] Hiroto Morizance, Hiroshi Takenage, Yoshiki Kobayashi and Kouzou Nakamura, "Cut-In Vehicle Recognition System, IEEE Proceeding, 1999
- [3] C.U.padmini, P.S.Naidu, "Circular array and estimation of direction of arrival of broadband source", EURASIP, vol.37,No2, pp.243~254, 1994
- [4] 이봉수, 반원형 십자 배열 안테나를 이용한 3차원 이동 신호원 위치추적 시스템 구현, 2002. 청주대학교 박사학위 논문
- [5] WARREN L. STUTZMAN, GRAY A. THIELE, ANTENNA THEORY AND DESIGN, John Wiley & Sons, Inc. 1983
- [6] S. Dravowitch, A. Papiernik, MODERN ANTENNAS, Chapman&Hall, 1998
- [7] 이봉수, 송우영, "이중 원형 배열 안테나의 성능 분석", 한국오에이학회, 제6권, 제1호, 2001
- [8] R. S. Elliott, "Beamwidth and Directivity of Large Scanning Arrays",First of Two Parts, The Microwave Journal, pp.53~60.December 1963.
- [9] Barton. P, "Digital Beamforming for Rader",IEEE Proc.,127, August 1980
- [10] 신정록, 송우영, "Grating Lobe를 이용한 선형 배열 안테나의 Beam-forming에 관한 연구", 한국전자과학회, 제11권 제5호,2000.8,pp.806-812

## 저자소개



**이 봉 수**  
제천기능대학 정보통신과 교수



**장 재 철**  
1990년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학학사)  
1995년 동아대학교 대학원 졸업(공학석사)  
2000년 한국해양대학교 대학원 졸업(공학박사)  
2001. 8 ~ 현재 제천기능대학 정보통신과 전임강사  
관심분야 : 위성통신, 전파통신, 컴퓨터제어

**안 도 희**  
2002. 3. 제7권 제1호 참조  
2003. 3 현재, 청주기능대학 컴퓨터응용기계과 교수  
관심분야 : CAD/CAM, CNC, 기계재료