

# 대칭 슬롯 결합 Back-to-Back 마이크로스트립 배열 안테나의 설계

정회원 김 태 현\*, 전 계 석\*

## Design of Symmetrical Slot-Coupled Back-to-Back Microstrip Array Antenna

Tae-Hyoun Kim\*, Kye-Suk Jun\* *Regular Members*

### 요 약

IMT-2000의 기지국 또는 중계기 안테나에 사용하기 위한 새로운 슬롯 결합 back-to-back 4-소자 마이크로스트립 배열 안테나를 제안한다. 이것의 구조는 대칭 SSAIP(Strip, Slot, Air, Inverted Patch)이며, 수평면에서 양방향성을 갖고 수직면에 주빔이 22.5° 기울어져 지향하도록 설계된다. 안테나는 공동모델을 이용하여 해석하고 앙상블로 설계한다. 방사패턴과 반사손실에 대한 실험결과 측정된 주빔의 방향은 약 21°이며 임피던스 대역폭은 약 22.9%로 제안된 안테나는 IMT-2000의 상, 하향 주파수에 모두 이용이 가능하다.

### ABSTRACT

A new slot-coupled back-to-back microstrip array antenna is proposed for using in the IMT-2000 base station or repeater antenna. This antenna is composed of symmetrical SSAIP(Strip, Slot, Air, Inverted Patch). It has bidirectional radiation pattern in horizontal plane and 22.5° main beam squint in vertical plane. The analysis is based on the cavity model and the design is achieved using Ensemble. Experimental results for the radiation pattern and the return loss have shown that the direction of the main beam is about 21° and the impedance bandwidth is approximately 22.9%. Thus the proposed antenna is able to operate over both uplink and downlink frequencies in IMT-2000.

### I. 서 론

최근 몇 해 동안 이동통신 시스템이 급속히 팽창하면서 상당한 공간을 차지하는 안테나탑 설치에 의해 시각공해를 초래하여왔다. 따라서 기지국과 단말기 사이에 양질의 통신링크를 제공하는 기존의 역할을 유지하면서 작은 공간을 차지하는 평판 안테나가 요구되고 있다. 이러한 안테나는 기존의 기지국 대신 빌딩의 벽면이나 도로 시설물 등에 부착하여 사용할 수 있다<sup>[1],[2]</sup>.

현재 도로를 따라 설치된 이동통신 기지국은 수

평면에 대해서는 양방향성 방사패턴을 갖고, 수직면에 대해서는 도로를 향해 빔을 집중할 수 있는 안테나가 요구된다<sup>[1]</sup>. 이러한 시스템을 위해 Becker<sup>[1]</sup>와 Iwasaki<sup>[2]</sup> 등이 몇 가지 형태의 안테나를 제안, 개발하였다. 그러나 Becker의 안테나 구조는 도로를 향해 빔을 집중할 수 있으나 단방향성이며 Iwasaki의 안테나 구조는 양방향성을 실현하였으나 안테나 구조가 대칭이 아니어서 양쪽 방사패턴이 동일하지 않은 단점이 있다.

본 논문에서는 새로운 슬롯 결합 back-to-back 4-소자 마이크로스트립 배열 안테나의 구성을 제안한다. 이것의 구조는 대칭 SSAIP(Strip, Slot, Air,

\* 경희대학교 전자공학과(taehyoun@hanmail.net)  
논문번호: 00220-0619, 접수일자: 2000년 6월 19일

Inverted Patch)이며, 수평면에서 양방향성을 갖고 접지면에 주빔이 22.5° 기울어져 지향하도록 설계된다. 이는 Pozar가 처음 개발한 슬롯 결합 마이크로스트립 안테나의 단점인 후면방사를 이용할 수 있도록, 급전선 양쪽에 슬롯과 안테나를 대칭시켜 양방향에 동일한 방사패턴을 갖도록 한 것이다.

안테나는 공동모델을 이용하여 해석하였고 이상블로 설계하였다. 방사패턴과 반사손실에 대한 실험결과 측정된 주빔의 방향은 약 21°를 형성하였으며 대역폭은 약 22.9%로 IMT-2000의 상, 하향 주파수에 모두 이용 가능하다.

## II. 공동법을 이용한 슬롯 결합 마이크로스트립 안테나의 해석

공동모델을 이용하여 현상의 물리적 이해를 유지하면서 간단한 계산을 얻기 위해 그림 1과 같은 구조의 슬롯 결합 마이크로스트립 안테나를 고려한다<sup>[3]</sup>. 주모드는 TM<sub>10</sub> 모드이다.

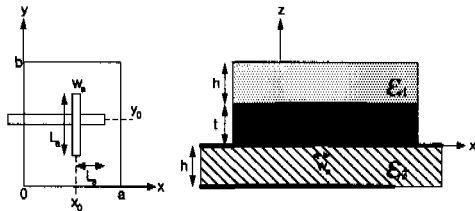


그림 1. 단일 대칭 SSAIP의 한쪽 구조 및 평면도

단일 대칭 SSAIP의 구조는 급전선로를 중심으로 대칭구조를 이루므로 그림 1과 같이 한쪽 면만을 해석한다. 먼저, 그림 1에서 패치의 주변을 따른 네 개의 자기력과 z=0과 t에 있는 두 개의 전기력에 의해 경계를 이룬 공동으로써 마이크로스트립 안테나를 고려한다. 슬롯에 위치한 자기 전류원  $\vec{M}$ 은  $\vec{M} = 2 \vec{E}_a \times \hat{z}$ 라는 등가원리를 이용하여 결정된다<sup>[3]</sup>. 여기서  $\vec{E}_a$ 는 슬롯 개구면의 전장이며 식(1)과 같다.

$$\vec{E}_a = \frac{V_0}{W_a} \frac{\sin k_a(L_a/2 - |y - y_0|)}{\sin(k_a L_a/2)} \hat{x} \quad (1)$$

$$x_0 - W_a/2 \leq x \leq x_0 + W_a/2$$

$$y_0 - L_a/2 \leq y \leq y_0 + L_a/2$$

여기서 슬롯 개구면의 파수  $k_a = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_{r2} + \epsilon_{r1}}{2}}$ 는

근사적으로 개구면에 인접한 두 영역의 파수에 평균을 취하여 구한다. 전체 체적 공동으로 전장의 z 성분을 얻기 위해, 자기 전류원은 슬롯 위의 체적에서 균일하게 분포하는 것으로 가정한다. 등가 자기 전류밀도는 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\vec{J}_m = \frac{2V_0}{tW_a} \frac{\sin k_a(L_a/2 - |y - y_0|)}{\sin(k_a L_a/2)} \hat{y} \quad (2)$$

$$x_0 - W_a/2 \leq x \leq x_0 + W_a/2$$

$$y_0 - L_a/2 \leq y \leq y_0 + L_a/2 \quad 0 \leq z \leq t$$

자기원을 갖는 맥스웰 방정식의 시고조파형은 식(3), (4)와 같다.

$$\nabla \times \vec{E}^i = -j\omega\mu_0 \vec{H}^i - \vec{J}_m \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{H}^i = j\omega\epsilon \vec{E}^i \quad (4)$$

여기서  $\vec{E}^i$ 와  $\vec{H}^i$ 는 공동에서의 전자장을 나타내며, 완전 자기력을 갖는 전파방정식의 해이다.  $\vec{E}^i$ 와  $\vec{H}^i$ 에 대한 간단한 식을 주 모드인 TM<sub>10</sub>에 대해 식(5), (6)과 같이 쓸 수 있다.

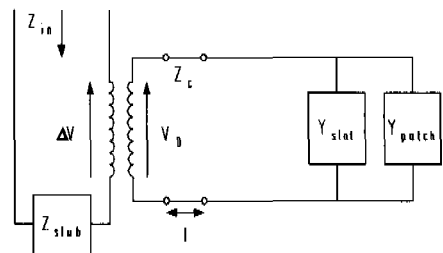
$$\vec{E}^i = A \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \hat{z} \quad (5)$$

$$\vec{H}^i = B \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \hat{y} \quad (6)$$

여기서 A와 B는 식(7), (8)과 같다.

$$A = \frac{8\pi V_0}{k^2 - (\pi/a)^2} \frac{\sin(\pi x_0/a)}{ba^2} \cdot \frac{\text{sinc}(\pi W_a/2a)}{tk_a \sin(k_a L_a/2)} [1 - \cos(k_a L_a/2)] \quad (7)$$

$$B = j\left(\frac{a}{\pi}\right) \omega \epsilon_2 \epsilon_0 A \quad (8)$$



(a)

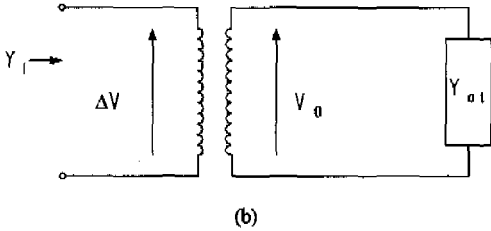


그림 2. 단일 대칭 SSAIP 한쪽 구조에 대한 등가회로 (a) 전체 등가회로 (b) 개구면을 바라본 등가회로

다음 단계로 공동의 가장자리에서 자기전류원  $\bar{K}(x, y) = t \bar{E}'(x, y) \times \bar{I}$ 의 방사를 다룬다. 만약 마이크로스트립 안테나가 단지 공동으로만 간주한다면 공동내의 매질은 무손실로 취급되어 안테나는 방사하지 않으므로 손실 메커니즘이 도입되어야 한다. 공동의 유효 손실탄젠트  $\delta_{eff}$ 는 식(9)와 같이 Q 팩터의 역으로 취해진다.

$$\delta_{eff} = \frac{1}{Q} = \frac{P_r + P_c + P_d}{2\omega W_e} \quad (9)$$

여기서  $P_r$ 은 방사손실,  $P_c$ 는 도체손실,  $P_d$ 는 유전체 손실이며  $W_e$ 는 저장된 전기 에너지이다. 그림 2(a)의 등가회로를 참조하면 슬롯 개구면에서 안테나의 어드미턴스는 식(10)과 같이 주어진다.

$$Y_{ant} = [P_r + P_c + P_d + 2j\omega(W_e - W_m)] [V_0]^{-2} \quad (10)$$

슬롯 근처에 있는 국부장의 저장 에너지로 인한 서셉턴스 성분은(적절한 특성임피던스  $Z_{ca}$ 와 파수  $k_a$ 를 갖는) 두 개의 단락회로 슬롯선로부터 식(11)과 같이 간단히 얻어질 수 있다.

$$Y_{ap} = -\frac{2j}{Z_{ca}} \cot\left(k_a \frac{L_a}{2}\right) \quad (11)$$

따라서 개구면에서 총 어드미턴스는 다음과 같다.

$$Y_{ai} = Y_{ap} + Y_{ant} \quad (12)$$

그리고 접지면에서 슬롯 절단으로 인한 마이크로스트립 선로의 모달 전압의 불연속  $\Delta V$ 는 식(13)과 같이 결정될 수 있다.

$$\Delta V = \int_{slot} \bar{E}_a \times \bar{h}_l \, ds \quad (13)$$

여기서  $\bar{h}_l$ 은 마이크로스트립 선로에 대한 정규

화 자장이다. 따라서 그림 2(b)에서 개구면을 바라보았을 때  $Y_i = Z_i^{-1} = Y_{ai} \frac{V_0^2}{\Delta V^2}$ 이며 입력 임피던스는 식(14)와 같이 쓸 수 있다.

$$Z_{in} = Z_i + Z_s = Z_i - jZ_c \cot(k_i L_s) \quad (14)$$

여기서  $L_s$ 는 개방회로 스텔브 길이이며  $k_i$ 은 마이크로스트립 선로의 파수이다.

### III. 대칭 SSAIP 배열 안테나 설계

IMT-2000 디지털 통신표준은 상향 링크에서 1.885~2.025GHz, 하향 링크에서 2.110~2.200 GHz의 주파수 범위를 사용할 예정이다. 상향 링크와 하향 링크를 포함하기 위해 안테나는 15.4% 이상의 대역폭에서 동작해야 한다.

기존의 마이크로스트립 패치 안테나는 3% 이하의 비교적 좁은 동작 대역폭을 갖고 한 기판 위에서 급전선로와 함께 제작되었다. Pozar<sup>[5]</sup>에 의해 제안된 슬롯 결합 마이크로스트립 안테나는 방사소자가 급전선로와 다른 평면에 제작됨으로써 방사패턴을 개선시켰으며, Zurcher는 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭 성능을 증가시키는 SSAIP 또는 SSFIP의 새로운 개념을 제안하였다. 그는 이 기술이 900MHz에서 20% 이상의 대역폭을 얻을 수 있음을 증명하였다. 본 논문에서는 2GHz에 대해 유사한 접근을 할 것이다.

#### 1. 단일 대칭 SSAIP 소자

단일 대칭 SSAIP 소자의 구조는 그림 3과 같다. 이 소자는 마이크로스트립 급전선로를 중심으로 양쪽 유전체 기판의 접지면에 슬롯, 저 손실 저 유전율을 갖는 공기층, 그리고 유전체 기판의 다른 부분의 아래에 역 방사 패치를 대칭시킨다. 양쪽의 방사 패치는 접지면의 슬롯을 통해 급전선로에 대해 개구면 결합되어 양쪽에 동일한 방사패턴을 발생시킨다. 그리고 역 패치는 기판에 의해 약천후로부터 보호되며 기계적 구조가 아주 평탄하다. 단일 소자는 공동법에 의해 구한 값을 기초로 이상불을 이용하여 수정 조정되어 설계되었으며 2GHz에서 다음과 같은 재료가 선택되었다.

- 마이크로스트립 급전선로와 패치 기판 : TACONIC사의 TLX-9-0620, 유전율  $\epsilon_r = 2.5$ , 두께  $h = 1.5875\text{mm}$ .

- Air 층 : 두께  $t=11\text{mm}$ .  
공동법을 적용하여 구한 초기값에 의해 반사손실을 구하면 10dB 대역폭이 설계하고자하는 주파수 대역을 만족하지 않아 패치 및 슬롯의 폭과 길이에 대해 양상불을 사용함으로써, 다음과 같이 단일 대칭 SSAIP를 위한 파라미터를 수정하였다.
- 50Ω 전송선로 스테브 길이(슬롯 중심에서)  
 $L_s=17.6\text{mm}$
- 50Ω 전송선로 스테브 폭  $W_s=2.4\text{mm}$
- 슬롯 개구면 폭  $W_a=4\text{mm}$
- 슬롯 개구면 길이  $L_a=48.4\text{mm}$
- 패치 폭  $W_p=60.0\text{mm}$
- 패치 길이  $L_p=50.0\text{mm}$

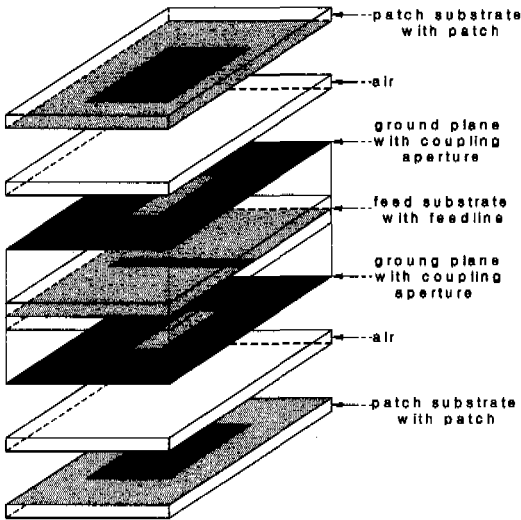
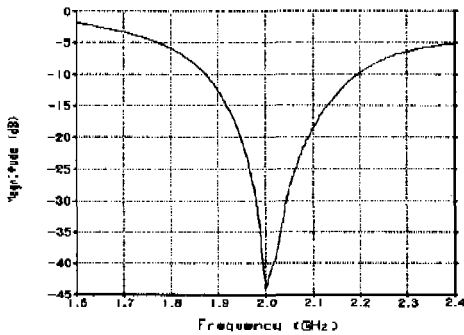
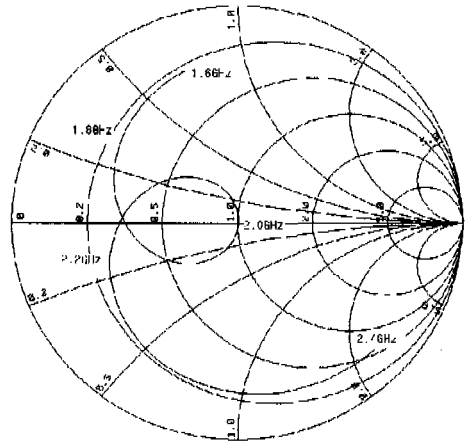


그림 3. 단일 대칭 SSAIP 안테나 소자의 분해 조립도



(a)



(b)

그림 4. 단일 대칭 SSAIP 안테나에 대해 계산된 반사 손실 및 입력 임피던스 (a) 반사손실 (b) 입력 임피던스

그림 4는 단일 대칭 SSAIP 안테나 소자에 대한 반사손실과 입력 임피던스를 보인다. 안테나는 2 GHz에서 정합되어 있으며, 10dB 반사손실의 하단과 상단점은 근사적으로 각각 1.88GHz와 2.2GHz로 약 15.6%의 임피던스 대역폭을 제공한다. 이것은 만족스러운 결과이므로 단일 소자는 계획된 4-소자 선형 배열로 조합될 수 있다.

## 2. 4-소자 선형 배열의 설계

본 연구에서는 대칭 SSAIP 배열을 이용하여, 수직 편파의 4-소자 선형 배열이 제작된다. 설계목표는 인접 소자 사이에서 균일 위상 천이를 유도하여 22.5° 빔 틸트를 얻고 주빔보다 -10~-12dB 범위 이하에서 부엽 레벨을 갖도록 하는 것이다. 그림 5는 본 연구에서 설계한 급전 회로망을 포함한 배열의 구조를 보인다.

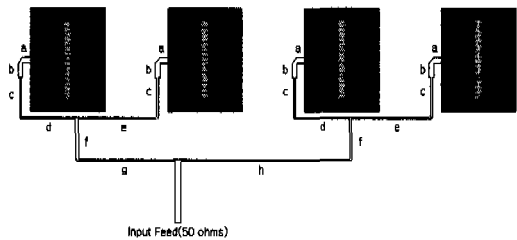


그림 5. 인접 소자 사이에서 진행형 위상 천이를 갖는 4소자 대칭 SSAIP 배열

소자의 중심 사이의 간격은 그레이팅 로브가 발생되지 않도록  $0.6 \lambda_0$ 로 설계하였다. 전력분배기를 이용하여  $\theta_0 = 22.5^\circ$ 의 빔 틸트를 얻기 위한, 위상천이의 양은  $\beta = 2\pi/\lambda_0 \sin\theta_0 = -82.8^\circ$ 에 의해 주어진다. 이것은  $0^\circ$ 의 기준 위상을 갖는 첫 번째 소자에 대해  $-82.8^\circ$ ,  $-165.6^\circ$ , 그리고  $-248.4^\circ$ 의 상대적 위상천이를 발생시킨다. 입력 임피던스 정합을 얻고 요구된 위상 천이를 제공하기 위해, 병렬 위상 급전 회로망 소자는 표 1에서 보인 것과 같이 선택되었다.

표 1. 병렬 급전 회로망의 차원

구간	a	b	c	d	e	f	g	h
기능	T line	T line	1/4 transf	T line	T line	1/4 transf	T line	T line
Zohm	50	50	70.7	100	100	70.7	100	100
Lmm	8.5	8.4	23.4	31.7	55.7	23.1	64.1	112.2
Wmm	2.41	2.41	1.31	0.59	0.59	1.31	0.59	0.59

IV. 실험 결과

제작된 대칭 SSAIP 배열 안테나의 구조는 그림 6과 같다. 폭은 188mm이고 길이는 371mm이다. 이것은 기판 사이 유전체로 공기를 사용하기 위해 기판 사이를 11mm 띄운 후 나사로 고정되며 안테나의 전체 두께는 28.35mm이다.

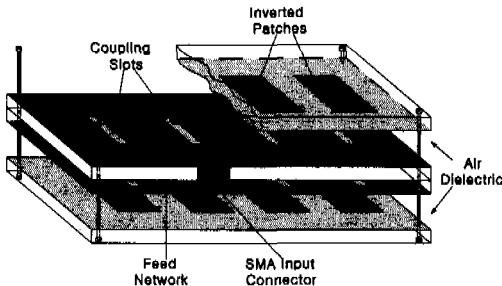
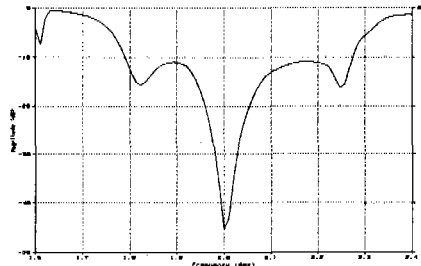
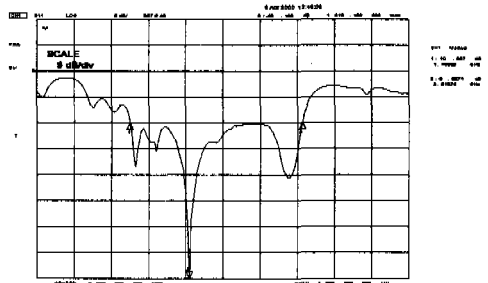


그림 6. 대칭 SSAIP 4-소자 배열의 구조

그림 7(a)는 대칭 SSAIP 배열에 대해 앙상블에서 모의실험한 반사손실이고, 그림 7(b)은 측정된 반사손실을 보인다. 그림 7(a)와 (b)에서 보는 바와 같이, 모의실험 결과와 실험 결과는 유사하지만 중심 주파수가 실제 측정했을 때 1.912GHz로 모의실험



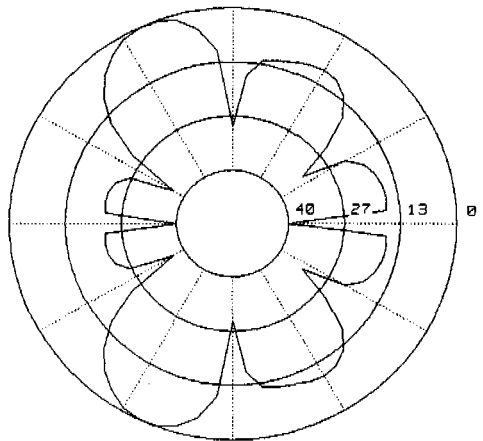
(a)



(b)

그림 7. 대칭 SSAIP 배열에 대한 반사손실 (a) 모의실험 (b) 측정

결과와 88MHz 오차가 발생했다. 중심주파수는 패치의 길이를 줄여서 상향 천이시킬 수 있지만 10dB 대역을 함께 이동시켜 안테나의 성능에 영향을 주므로 여기서는 변경시키지 않는다. 10dB 반사손실 대역폭은 모의실험의 경우 480MHz(1.79~2.27GHz)이고 측정 결과는 470MHz(1.75~2.22 GHz) 즉, 22.9%로 양호하게 일치하였다.



(a)

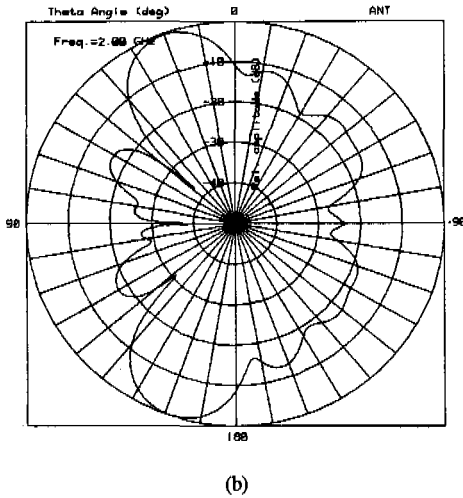


그림 8. 2GHz에서 대칭 SSAIP 배열의 방사패턴 (a) 모의실험 (b) 측정

그림 8은 2GHz에서 얻은 모의실험과 측정된 방사패턴 사이의 비교를 보인다. 실험결과에서 방사패턴은 양방향에 거의 동일하였으며 주빔이 약 21° 방향을 지향하여 설계값 22.5° 와 1.5° 차로 일치하며 부엽 레벨은 측정결과와 주빔과 약 12dB 차가 발생하여 설계 목표를 만족하였다. 모의실험과 측정결과 사이의 방사패턴 오차에 대한 큰 이유는 실험으로 측정된 배열은 접지면이 유한한 크기인 반면에 이상물 모의실험의 경우는 무한 접지면이기 때문이다. 특히 본 실험에서는 접지면 평면에서도 어느 정도 값을 같도록 접지면의 폭을 작게 설계하였다.

### V. 결론

본 논문은 IMT-2000 기지국 및 중계기 안테나에서 사용할 수 있는 대칭 SSAIP 배열 안테나를 설계, 제작하였다. 이것은 Pozar가 개발한 슬롯 결합 마이크로스트립 안테나의 단점인 후면방사를 이용할 수 있도록 급전선 양쪽에 슬롯과 안테나를 대칭시켜 양방향에 동일한 방사패턴을 갖도록 한 것이다. 먼저, 단일 대칭 SSAIP 소자의 임피던스 대역폭이 IMT-2000의 상, 하향 주파수를 포함하도록 설계한 후 대칭 SSAIP 4-소자 배열로 구성되었다.

배열은 도로를 향해 주빔을 22.5° 틸트하기 위한 부가적 위상 천이를 갖는 급전 회로망을 사용한다. 실험 결과 안테나는 임피던스 대역폭이 22.9%였으며, 방사패턴은 양방향에 동일하게 약 21° 빔 틸트를 보여 설계값과 1.5° 의 오차를 나타냈다. 그리고

부엽 레벨은 주빔과 약 12dB 차를 보여 설계목표를 만족하였다. 따라서, 제안된 안테나는 IMT-2000의 상, 하향 주파수에서 모두 이용 가능하며 도로를 따라 설치하는 이동통신 기지국용으로 적합할 것이다.

### 참고 문헌

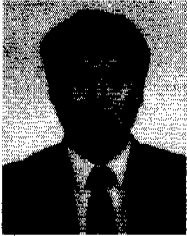
- [1] M. E. Becker, M. E. Bialkowski, and M. J. Rydstrom, "Design of Microstrip Sub-Array for a DCS1800 Base Station Flat Panel Antenna", *Proc. APCC98*, pp. 428-432, 1998.
- [2] H. Iwasaki, "A Back-to-Back Rectangular Patch Antenna Fed by a CPW", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. 46, No. 10, pp. 1527-1530, Oct. 1998.
- [3] M. Himd, O. Lafond, S. Laignier, and J. P. Daniel, "Extension of Cavity Method to Analyse Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna with Thick Ground Plane", *Electron. Lett.*, Vol. 34, No. 16, Aug. 1998.
- [4] P. L. Sullivan, and D. H. Schaubert, "Analysis of an Aperture Coupled Microstrip Antenna", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. AP-34, No. 8, pp. 977-984, Aug. 1986.
- [5] D. M. Pozar, "Analysis of an Infinite Phased Array of Aperture Coupled Microstrip Patches", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. 37, No. 4, pp. 418-425, Apr. 1989.
- [6] T. M. Au, K. F. Tong, K. M. Luk, and K. F. Lee, "Analysis of Aperture-Coupled Microstrip Antenna and Array with an Airgap", *IEE Proc. Microw. Antennas Propagat.*, Vol. 142, No. 6, Dec. 1995.
- [7] A. Ittipiboon, Y. M. Antar, and M. Cuhaci, "A Modal Expansion Method of Analysis and Measurement on Aperture-Coupled Microstrip Antenna", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. 39, No. 11, pp. 1567-1573, Nov. 1991.
- [8] D. M. Pozar, "A Reciprocity Method of Analysis for Printed Slot and Slot-Coupled Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, Vol. AP-34, No. 12, pp. 1439-1446, Dec. 1986.
- [9] D. M. Pozar, "Microstrip Antenna Aperture-

Coupled to a Microstripline”, *Electron. Lett.*,  
Vol. 21, No. 2, Jan. 1985.

- [10] M. Himdi, J. P. Daniel, and C. Terret,  
“Analysis of Aperture-Coupled Microstrip  
Antenna Using Cavity Method”, *Electron. Lett.*,  
Vol. 25, No. 6, pp. 391-392, Mar. 1989.

김 태 현(Tae-Hyoun Kim)

준회원



1992년 2월: 경희대학교

전자공학과 졸업

1994년 2월: 경희대학교

전자공학과 공학석사

1994년 3월~현재: 경희대학교

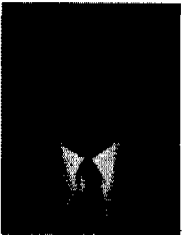
전자공학과 박사과정

1999년 3월~현재: 세림정보기술(주) 연구원

<주관심 분야> 위상배열 안테나, 이동통신

전 계 석(Kye-Suk Jun)

정회원



1983년 8월: 연세대학교

전자공학과 박사

1988년 1월~1991년 12월:

경희대학교 학생처장

1979년 3월~현재: 경희대학교

전자정보학부 정교수

1998년 12월~현재: 경희대학교 공과대학장

2000년 1월~현재: 한국통신학회 부회장

<주관심 분야> 위상배열 안테나, 이동통신, NDT,  
초음파 신호처리