

논문 2005-42TC-1-11

위성 양방향 통신용 이동 안테나 시스템의 저부엽 특성 배열 안테나 설계

(The Low Sidelobe Array Antenna Design of Mobile Antenna System
for Satellite Multimedia Communications)

박 옹 희*, 손 성 호*, 노 행 숙*, 전 순 익*

(Ung Hee Park, Seong Ho Son, Haeng Sook Noh, and Soon Ik Jeon)

요 약

위성을 이용한 양방향 멀티미디어 통신용 이동 안테나 시스템에서, 이동 환경 조건하에 국제적인 안테나 패턴 규격을 만족하는 배열 안테나를 설계 및 제작하였다. 이동 안테나 시스템에서 적용된 배열 안테나는 소파 구조로, 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 저부엽 특성을 갖는 비균등 간격으로 부배열 안테나의 위치를 설정하였다. 부배열 안테나는 송수신 겸용의 3중 적층구조 마이크로스트립 패치 안테나로, 안테나 이득 및 대역폭 특성을 개선하였다. 본 논문에서는 설계된 부배열 안테나 및 유전자 알고리즘이 적용된 부배열 간의 간격 특성과 제작된 부배열 안테나 및 이동 안테나 시스템을 통해 결과를 살펴보았다.

Abstract

In the mobile antenna systems for satellite multimedia communications, the active array antenna having a low sidelobe antenna pattern is described in this paper. This designed and fabricated array antenna is satisfied with international beam pattern regulation on moving states. The subarray of the proposed mobile antenna system is arranged with a stair-planar structure and non-periodic array spacing. This subarray is designed with three-layered microstrip patch as both receiving and transmitting radiator of which are improved with antenna gain and bandwidth. Also, the optimum subarray spacing is designed to make the lowest sidelobe pattern by genetic algorithm. In addition, the characteristics of a GA-perturbed array are investigated from simulated and measured beam pattern results.

Keywords : array antenna, microstrip patch antenna, genetic algorithm

I. 서 론

배열 안테나는 동일한 안테나를 일정 간격으로 배열하여 각각의 부배열에 존재하는 가변 위상 변환기를 이용한 위상 변환으로 안테나의 주 빔을 원하는 방향으로 설정할 수 있어, 이동형 안테나 또는 레이더 시스템에서 많이 사용한다.^{[1][3]} 하지만, 부배열 안테나에서 발생하는 부엽 신호와 안테나 배열 간격에 의해 발생하는 부엽 신호가 결합하여 발생하는 배열 안테나 전체의 부

엽 신호는 원치 않는 신호의 인입 또는 발생으로 통신 성능을 저하시키게 되므로, 배열 안테나 설계 시 중요한 항목으로 고려된다. 특히, 위성을 이용한 양방향 통신 시스템의 지상 단말용 안테나 시스템에 배열 안테나를 적용하는 경우, 지상 단말의 송신 빔 패턴에 존재하는 부엽의 세기는 다른 위성의 성능을 저하시킬 수 있기 때문에 국제적으로 엄격하게 규제하고 있다. Ku대역 고정 위성을 이용한 양방향 통신에 대한 국제적 규격으로는 고정 안테나 형태인 VSAT (Very Small Aperture Terminals)에 대해 ITU-R S.728-1로 규정하였고, 안테나 패턴 범위에 대해서는 ITU-R S.580-5의 내용을 적용할 수 있으나, 이동 단말 안테나의 경우 아직 정확한 규격은 정해지지 않았다. 이동 단말 안테나의 경우 고

* 정회원, 한국전자통신연구원 디지털방송연구단
안테나기술연구팀

(Antenna Technology Research Team, ETRI)

접수일자: 2004년5월17일, 수정완료일: 2005년1월17일

정 안테나의 규격을 동일하게 만족하는 것은 어렵지만, 이를 동일하게 적용하여 설계 및 제작하면 이동 단말 안테나의 경우도 고정 안테나와 동일하게 사용 가능하리라 생각한다.

본 논문에서는 Ku대역 고정 위성인 무궁화 3호 위성을 이용하여, 이동 환경 조건에서 양방향 통신이 가능하도록 설계 및 제작된 능동 위상 배열 안테나 시스템의 부배열 안테나의 특성 및 최적의 부배열 간격 설정에 대해 살펴보려 한다. 이동 단말 안테나는 국제적인 빔 패턴의 규격 만족, 안정적인 통신 환경 제공, 이동체 장착을 위한 소형 및 저전력 안테나 구현 등을 기본 설계 조건으로 하였다. 위의 설계 특성을 만족하기 위해서는 좋은 특성의 부배열 안테나의 설계와 부배열 간격은 매우 중요하다. 부배열 안테나는 수신을 위한 수평 편파와 송신을 위한 수직 편파를 하나의 마이크로스트립 패치 안테나에서 처리할 수 있는 3중 적층 형태의 송수신 겸용으로 설계하였으며, 확률적 접근 방법인 유전자 알고리즘을 이용하여 안테나 패턴에서 최적으로 부엽을 억제하는 부배열 간격을 설정하였다.

II. 본 론

가. 부배열 안테나 설계

무궁화 3호 위성을 이용한 양방향 통신 이동형 단말 안테나는 수신 11.7~12.75 GHz (11.7~12.0 GHz: 방송용(좌회전 편파), 12.25~12.75 GHz: 통신용(수평 편파))와 송신 14.0~14.5 GHz(통신용(수직 편파))으로 설계하였으며, 작은 면적으로의 안테나 구현을 위하여 송수신 겸용 구조의 마이크로스트립 패치 안테나로 설계하였다.

(그림. 1)과 (그림. 2)는 설계된 하나의 패치 안테나의 구조와 부배열 안테나의 구조이다. 일반적으로 단일 패치 안테나는 임피던스 대역폭이 5% 미만이며, 이득은 4~6 dBi로서 패치 소자를 다수 개 배열 하더라도 광대역, 고이득 특성을 동시에 만족시키기는 어려운 문제점을 가지고 있다.^[4] 문제점을 개선하기 위하여, 방사 패치 위에 방사 방향으로 하나의 기생 패치를 쌓아놓은 형태의 적층 구조를 갖는 단일 또는 배열 안테나를 사용하기도 하는데, 이 구조의 대역폭은 10~15% 정도이며, 단일 패치 이득은 7~9 dBi이다. 이러한 단층 혹은 이중 적층 구조를 사용하게 되면 많은 패치 소자를 일정 간격으로 다수 배열하여야만 원하는 이득을 얻을 수 있다. 그런데 이 다수 소자들을 배열하기 위해서는 복

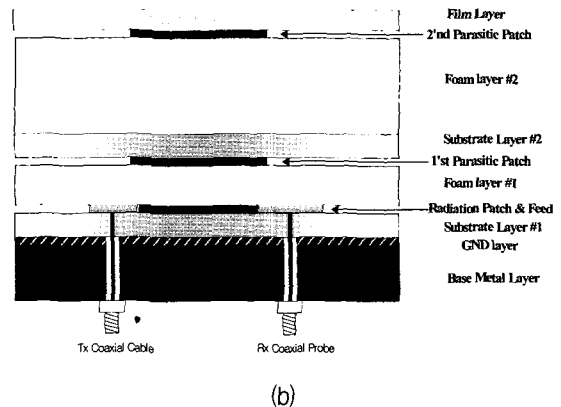
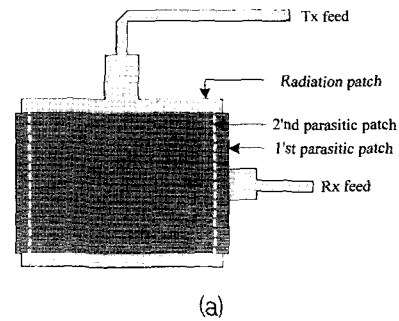


그림 1. 하나의 패치 소자의 구성
Fig. 1. Configuration of the single patch element.

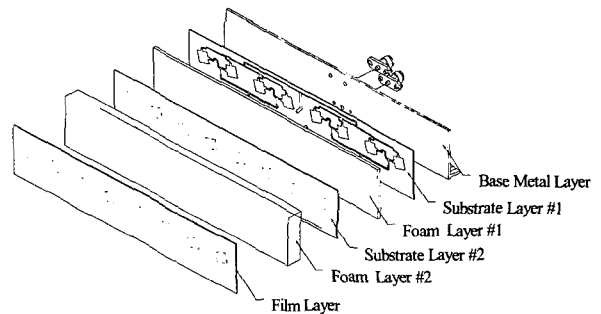


그림 2. 부배열 안테나의 구조
Fig. 2. Configuration of the 8X1 subarray antenna.

표 1. 삼중 패치 안테나의 기판 특성
Table 1. Characteristics of the substrate layers of 3-stacked patch antenna.

| Item | Permittivity | Thickness [mm] |
|--------------------|--------------|----------------|
| Film layer | 2.25 | 0.04 |
| Foam layer #2 | 1 | 10 |
| Substrate layer #2 | 2.17 | 0.508 |
| Foam layer #1 | 1 | 2.5 |
| Substrate layer #1 | 2.17 | 0.508 |

잡한 급진회로가 사용되기 때문에 이 과정에서 손실이 발생하고, 이 손실에 의해 안테나 효율이 떨어지므로 원하는 이득을 얻기 위해서 안테나 크기가 커지게 되는 문제점이 있다. 따라서 위성을 이용한 양방향 멀티미디어 통신에 사용 가능한 이동형 배열 안테나 시스템에

마이크로스트립 패치 배열 안테나를 적용하기 위해서는 양방향 통신이 가능하도록 송/수신 급전회로를 동시에 가지면서 광대역 특성을 가지고, 이동환경에 용이하도록 시스템의 부피를 최소한으로 줄일 수 있는 좀 더 개선된 이득 특성을 갖는 마이크로스트립 패치 소자가 요구된다.

본 설계에서는 상기 요구조건을 만족시키기 위하여 동일 평면에 구현된 송수신 직접 급전 형태를 갖는 3중 적층 구조를 도입하였다. 이러한 패치 구조가 적용된 부배열 안테나는 송신과 수신 신호가 직접 신호 공급 방식으로 연결된 방사 패치, 임피던스 정합 특성 개선을 위한 1-st 기생 패치와 안테나 유효면적을 늘려 안테나 이득을 증가시키기 위한 2-nd 기생 패치로 구성되어 있으며, 여기서 방사 패치와 기생 패치들의 크기, Foam층의 두께, 각 유전체의 유전율 및 두께 등은 시뮬레이션을 통하여 [표. 1]과 [표. 2]와 같이 최적화할 수 있다.

나. 유전자 알고리즘을 통한 저부엽 배열 설계

일반적인 소파 구조의 위상 배열 안테나의 구조는 (그림. 3)과 같다. 무궁화 3호 위성은 국내에서 바라볼 경우 약 45도 근처에 존재하고 있어, 소파 구조의 위상 배열 안테나로 제작하면 소형의 크기로 위성 통신 안테나 시스템이 구현 가능하다. (그림. 3)과 같이 소파 구조의 위상 배열 안테나에서 각각의 안테나의 간격이 일정한 경우, 위상 배열 안테나의 빔 패턴은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.^[5]

$$E(\theta, \phi) = f(\theta, \phi) \sum a_i \exp\{jk\bar{r}_i \cdot \hat{r}\} \quad (1)$$

$E(\theta, \phi)$: Array antenna beam pattern,
 $f(\theta, \phi)$: Array elements pattern,
 a_i : Amplitude of each element,
 k : wave number ($= 2\pi / \lambda$),
 \bar{r}_i : position vector of each element,

$$\bar{r}'_i = \bar{r}_i + \delta_i \quad (2)$$

(그림. 3)에서 배열 안테나의 간격을 비균등 간격으로 임의로 설정하게 되면, 식 (1)의 각각의 부배열 안테나의 위치 벡터는 식 (2)로 변경하게 된다. 식 (2)에서의 δ_i 는 부배열 위치에 의해 다른 값을 가지는 배열 간격의 변화량으로, 낮은 부엽 특성을 가지는 최적의 안테나 배열 간격을 설정하기 위하여 유전자 알고리즘을

표 2. 삼중 패치 안테나의 패치 크기
 Table 2. Dimension of the patches of 3-stacked patch antenna.

| Item | Width [mm] | Length [mm] |
|-----------------|------------|-------------|
| Radiation Patch | 7.86 | 6.56 |
| 1'st patch | 8.02 | 5.88 |
| 2'st patch | 7.46 | 6.24 |

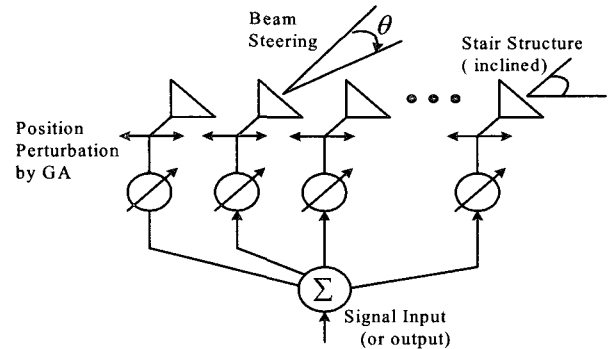


그림 3. 위상 배열 안테나의 최적 저부엽 설계 개념
 Fig. 3. The optimizing scheme for low sidelobe pattern design of phased array antenna.

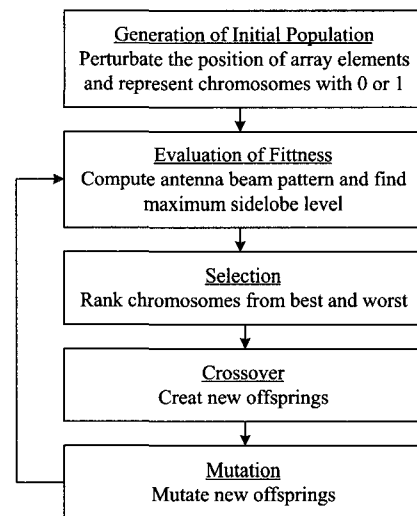


그림 4. 유전자 알고리즘을 이용한 부배열 간격 설정 알고리즘
 Fig. 4. The position perturbation algorithm of array elements based on genetic algorithm.

이용하였다.^{[5][6]}

(그림. 4)는 본 안테나 설계에 적용된 유전자 알고리즘으로, 먼저 부배열 안테나가 위치 될 수 있는 허용 범위 내에서 임의로 초기 위치를 생성 시킨다. 그 생성된 배열 간격을 0과 1의 2진수로 표현되는 하나의 염색체 모집단을 생성하고, 생성된 모집단에 대한 안테나 패턴을 계산하고 그 각각의 패턴에 대한 최대 부엽 레벨을

찾는다. 그리고 최대 부엽 레벨을 이용하여 각 개체의 안테나 패턴 적합도를 평가한다. 평가된 적합도를 바탕으로 각 염색체에 대한 확률적 개체 선택에 의해 교배 및 돌연변이를 생성하여 새로운 개체를 생성한다. 위의 개체 생성을 반복 수행하여 안테나 패턴이 최적의 값으로 수렴되도록 하여 부배열 간의 최적의 간격을 설정하게 된다. 이 때, 적합도 함수는 원하는 안테나 패턴에 따라 틀려지게 되며, 설계된 안테나 시스템에서는 배열 안테나의 부엽 특성에 대한 고려를 위해 최적 함수 계수 5로 설정한 식 (3)의 함수를 세대 적합도로 설정하였다. (그림. 5)는 본 논문에서 적용한 유전자 알고리즘의 유전자 세대수에 따른 각 세대의 적합도와 각 세대에서의 최적의 부엽 특성을 가지는 유전자에 대한 특성을 나타낸 것이다.

$$F = \left\{ 1 - 10 \frac{SLL}{20} \right\}^\alpha \tag{3}$$

F : 본 논문에서 정의한 유전자 세대적합도

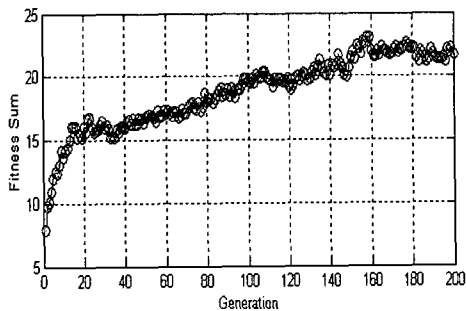
SLL : Side Lobe Level (dB)

α : Optimum function coefficient

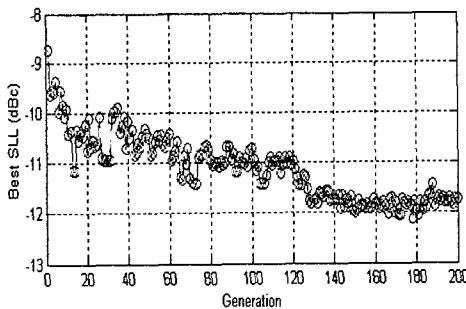
[표. 3]은 배열 안테나에서 부배열 개수를 달리 하였을 경우에, 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 부배열 간격에 따른 배열 안테나의 총 제작 길이와 안테나 패턴의 3 dB 빔 폭, 최적의 부엽 크기에 대한 관계에 대한 시뮬레이션 결과이다. [표. 3]의 값을 이용하여 원하는 안테나 크기와 부엽 레벨에 대한 안테나 부배열 개수를 설정할 수 있다.

다. 제작 결과

(그림. 6)은 삼중 패치 구조로 제작된 부배열 안테나 형상이고, (그림. 7)은 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 부엽 억제를 위한 부배열 간격으로 제작한 이동형 능동 위상 배열 안테나 시스템이다. 제작된 부배열 안테나의 유전층 #1과 #2는 비유전율 2.17, 두께 0.508 mm인 기판을 이용하였으며, 필름층은 비유전율 2.25, 두께 0.04 mm인 매질을 이용하여 제작하였다. 제작된



(a) 유전자 세대의 평균 세대 적합도



(b) 유전자 세대에서의 최소 부엽 레벨

그림 5. 유전자 알고리즘의 세대수에 따른 특성
Fig. 5. The optimizing process according to generation.

표 3. 배열 개수에 따른 유전자 알고리즘 적용 특성
Table 3. The characteristics of GA-optimized beam pattern.

| | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Total array elements (ea) | 10 | 14 | 18 | 22 |
| Total array distance (mm) | 398 | 555 | 775 | 943 |
| 3dB beamwidth (deg) | 4.04 | 2.90 | 2.06 | 1.70 |
| Best Sidelobe level (dB) | -11.1 | -12.1 | -12.8 | -13.3 |

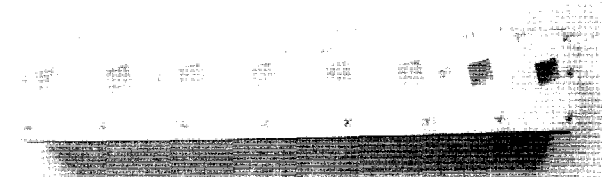


그림 6. 제작된 부배열 안테나
Fig. 6. Photograph of the fabricated 8x1 subarray antenna.

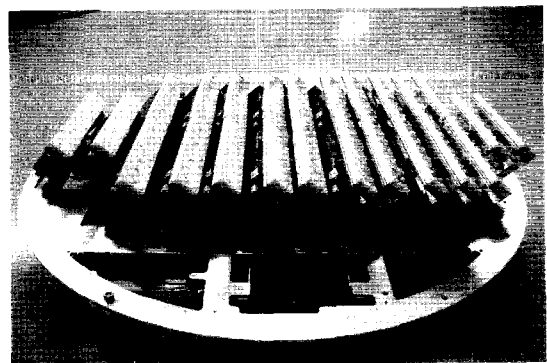


그림 7. 유전자 알고리즘을 적용하여 제작된 소파 구조의 배열 안테나
Fig. 7. The fabricated stair-planar array antenna optimized by GA.

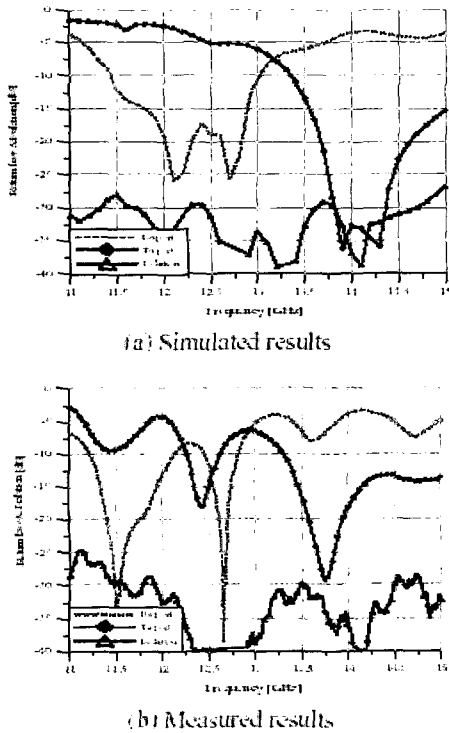


그림 8. 제작된 부배열 안테나의 특성
 Fig. 8. The fabricated subarray antenna characteristic.

위성 통신용 이동 단말 안테나는 14개의 비균일 간격으로 배치된 총 24개의 부배열 안테나를 이용하여 소파 구조 형태로 제작하였다. (그림. 8)은 3중 적층 구조로 제작된 부배열 안테나의 반사 특성과 격리 특성으로 (a)는 설계 전의 시뮬레이션 값이고, (b)는 제작된 부배열 안테나의 측정된 값이다. 제작된 송수신 겸용 부배열 안테나의 격리 특성은 -25 dB 이하이고, -10 dB 이하 반사손실을 가지는 송신 대역 대역폭은 11 %이며, 수신 대역내 대역폭은 10 % 이상이다. 제작된 안테나의 송신과 수신 모두 교차편파 분리도는 -22 dB 이하, 부엽 레벨은 -9.4 dB 이하의 값을 가졌다. 또한, 부배열 안테나는 수신 이득 17.1~18.1 dBi와 송신 이득 17.5~17.8 dBi를 가져, 안테나 유효 면적 대비 수신 효율은 약 50 %, 송신 효율은 약 40 % 값을 가졌다.

(그림. 9)는 유전자 알고리즘 기법을 이용하여 시뮬레이션 한 배열 안테나 특성으로, 사용된 유전자 알고리즘의 파라미터는 한 세대의 개체 수가 50개, 부배열 간격을 6-bits의 이진수로 설정하여 총 부배열 간격에 따른 염색체를 84-bits로 설정하였다. 유전자 알고리즘 내의 교배율은 90 %. 돌연변이율은 0.5 %로 하였으며, 검사 세대는 부엽 특성이 어느 정도 수렴되는 200세대 까지 살펴보았다. (그림. 9)에서 점선은 부배열 안테나

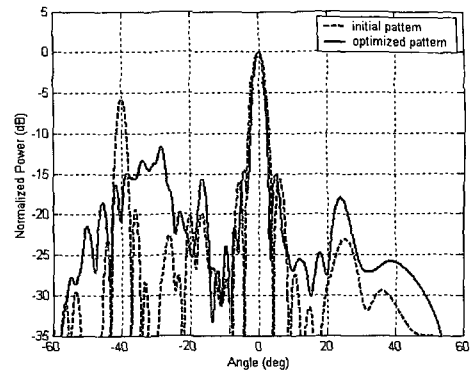


그림 9. 유전자 알고리즘을 적용한 배열 안테나 시뮬레이션 빔 패턴
 Fig. 9. The antenna simulated beam pattern optimized by GA.

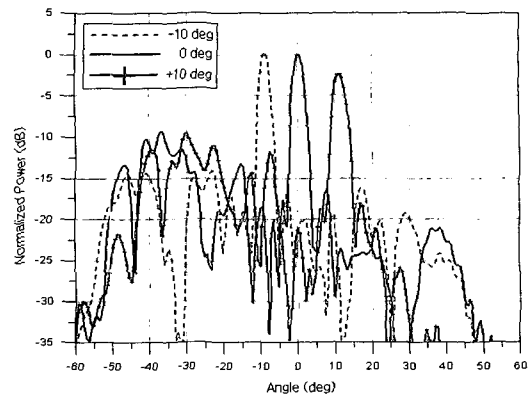


그림 10. 유전자 알고리즘을 적용한 배열 안테나 측정 빔 패턴
 Fig. 10. The measured antenna beam pattern optimized by position perturbation.

가 등간격일 경우의 특성을 나타낸 것으로 안테나의 정방향에 대해 40°에서 5.6 dB의 부엽 레벨이 발생함을 알 수 있다. (그림. 9)의 실선은 유전자 알고리즘을 적용한 부배열 간격을 시뮬레이션 결과로서, 배열 안테나의 부엽 레벨이 12.1 dB가 됨을 볼 수 있다. 유전자 알고리즘이 적용된 배열 안테나의 거리는 [표. 2]에서 살펴 보았듯이 555 mm로, 동일 간격으로 제작할 수 있는 최소한의 배열 안테나 크기보다 약 110 mm 정도 증가하였다. (그림. 10)은 제작된 배열 안테나의 송신 방사 패턴으로, 각각의 부배열 안테나에 연결되어 있는 가변 위상 변환기의 위상 변환을 이용하여 배열 안테나의 주빔의 방향을 전자적으로 조향하는 경우의 빔 패턴이다. 전자적인 빔 조향에 따른 주빔의 특성 변화는 배열 안테나가 소파 구조로 제작되어 발생한 것으로, 배열 안테나가 일정 각도 이상으로 아래로 지향하게 되면 앞의 부배열에 의해 주빔의 이득이 급격히 감소하게 된다.

소파 구조의 위상 배열 안테나는 전자적 빔 조향 범위를 부배열 안테나의 전면부에 대한 양각의 상향과 하향 각도의 대칭 범위로 이용하는 것보다는 상향 각도의 범위가 약간 큰 비대칭으로 이용하는 것이 바람직하다.

제작된 안테나의 전자적 조향 범위를 +8° (하향)~ -14° (상향)으로 설정할 경우, 최대 부엽 세기는 9.2 dB 이하의 값을 갖는다.

III. 결 론

무궁화 3호 위성을 이용한 이동 환경에서의 양방향 통신이 가능한 안테나 시스템을 배열 안테나를 기술을 이용하여 소파 구조로 제작하였다. 위성을 이용한 통신은 주변 위성의 안정적인 동작 보장을 위해 엄격하게 빔 패턴을 국제적으로 규제하고 있다. 국제적 규격에 맞는 소형의 안테나 제작을 위해 적용된 3중 적층형 부배열 안테나의 특성과 유전자 알고리즘 방식을 이용한 비균등 간격의 부배열 배치를 통한 부엽 억제에 대해 앞서 살펴보았다.

송신과 수신 겸용으로 제작된 3중 적층 구조의 부배열 안테나는 넓은 수신 대역에서 50 %, 송신 대역에서 40 % 정도의 안테나 효율을 가졌다. 부엽 세기를 감소시키기 위해 적용한 유전자 알고리즘 방식을 이용한 배열 안테나의 비균등 배치에 의해, 배열 안테나의 주 빔의 성능 감소 없이 6.5 dB의 부엽 세기를 감소시킬 수 있었다. 유전자 알고리즘 기법의 이용으로 배열 개수에 따른 배열 안테나의 길이 및 발생 가능한 부엽 세기를 사전에 알 수 있었으며, 부배열 간의 최적의 간격을 설정할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto, et al., *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech House Press, 2001.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis Design*, John Wiley & Sons, 1982.
- [3] S. Y. Eom, et al., "Active Phased Array Antenna for a Vehicle DBS system of Ku-band", *Proc. of the XXVIII Moscow Int. Conf. on Antenna Theory and Technol.*, pp. 257-260, Sep. 1998.
- [4] Shigeru Egashira, et al., "Stacked microstrip antenna with wide band and high gain", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, no. 11, Nov. 1996.
- [5] S. H. Son, et al., "Theoretical Analysis for Beam

Pointing Accuracy of Stair-Planar Phased Array Antenna with Tracking Beam", *IEEE proc. of Antennas and Propagation Symposium*, vol. 4, pp. 204-207, June 2003.

- [6] J. Michael Johnson, et al., "Genetic Algorithms in Engineering Electromagnetics", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 39, no. 4, pp. 7-21, August 1997.

저 자 소 개



박 응 희(정회원)
 1994년 서강대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1996년 서강대학교 전자공학과
 석사 졸업
 2000년 서강대학교 전자공학과
 박사 졸업

2004년 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 <주관심분야: 초고주파 회로 설계>



노 행 속(정회원)
 1995년 단국대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1999년 단국대학교 전자공학과
 석사 졸업
 2004년 현재 한국전자통신연구원
 연구원

<주관심분야: 마이크로스트립 패치 안테나, 위상
 배열안테나>



손 성 호(정회원)
 1997년 부산대학교 제어기계
 공학과 학사 졸업
 1999년 포항공과대학교
 기계공학과 석사 졸업
 2004년 현재 한국전자통신연구원
 연구원

<주관심분야: 위성통신 안테나 및 제어 시스템>



전 순 익(정회원)
 1984년 고려대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1996년 고려대학교 전자공학과
 석사 졸업
 2003년 충남대학교 전자공학과
 박사 졸업

2004년 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 <주관심분야: 초고주파 수동/능동 부품 설계, 위
 성통신 RF 시스템 설계, 위상배열 안테나 시스템
 설계>

