

## SAR 를 위한 X-band 광대역 배열 안테나의 설계 및 제작

°원영진\*, 이영주\*\*, 공영균\*\*\*, 김영수\*  
\*한국항공우주연구원,  
\*\*삼성전자, \*\*\*넥스원퓨처, + 포항공과대학교  
E-mail : yjwon@kari.re.kr

### Design and Fabrication of X-band Broadband Array Antenna for SAR Applications

°Young-Jin Won\*, Young-Ju Lee\*\*, Young-Kyun Kong\*\*\*, Young-Soo Kim\*  
\* Korea Aerospace Research Institute,  
\*\* Samsung Electronics, \*\*\* NEX1 Future,  
+ Department of Electronic and Electrical Engineering  
Pohang University of Science and Technology  
E-mail : yjwon@kari.re.kr

#### Abstract

Synthetic Aperture Radars(SAR) are used mainly for high-resolution imaging of the terrain. This paper describes the  $16 \times 16$  array antenna designed for an X-band, automobile-based SAR(AutoSAR) system. This antenna has the structure of several layers such as radome, radiators, slots, feed network, and honeycomb cores. Each layer is adhesively bonded to meet different combination of structural and electrical design requirements. Using the Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch(SSFIP) structure and dogbone slots, a wide bandwidth and a structural hardness were achieved. Measurement results were compared with simulation results. It was observed that the SAR antenna had a bandwidth of 1.7 GHz, side-lobe levels of less than -20 dB, half-power beamwidth of  $5^\circ$ , and gains of 25.0 dBi. The observed results show that the designed array antenna is suitable for the broadband AutoSAR system.

Key words : SAR, SSFIP, aperture-coupled, back radiation reduction, honeycomb

#### I. 서 론

일반적으로 마이크로스트립 안테나는 가볍고 부피가 작으며, 경제적이고, 표면부착력이 탁월한 장점을 가지고 있는 반면, 동작 주파수 대역이 좁고 지향성이 낮은 단점을 갖고 있다[1]. 그리고 단일 마이크로스트립 안테나는 지향성이 낮으며, 반파장 다이폴 안테나의 방사 패턴과 유사한 특성을 갖는다. 따라서 마이크로스트립 안테나를 좁은 빔폭의 방사 패턴을 요구하는 SAR(Synthetic Aperture Radars)용 안테나로 사용하기 위해서는 배열 형태의 안테나로 설계되어야 한다.

배열 안테나의 급전 구조는 직렬 형태(series feed)와 병렬 형태(corporate feed)로 나눌 수 있다. 일반적으로 병렬 형태의 급전 구조는 주파수에 따라 방사 패턴의 형태가 일정한 반면, 배열 수가 증가함에 따라 삽입 손실이 커지는 단점이 있다. 또한 배열 수가 2의 지수 승이 아닌 경우,

급전 방식의 구현이 어렵게 된다. 이에 비해 직렬 형태의 급전 구조는 삽입 손실이 작으며 배열 수에 큰 구애를 받지 않는다. 그러나 주파수에 따라 방사 패턴의 형태가 변하게 되는 단점이 있다.

무선 송수신 시스템에서 안테나는 방사되는 송신 전력의 대부분을 수신 지역에 도달시켜 송신 효율을 증가시켜야 하는 중요한 기능을 갖고 있다. 하지만 일반적인 균일 급전 배열 안테나에서 안테나의 빔 폭을 좁혀 송신 전력을 한 곳으로 모을 수는 있지만, 이 때 원치 않는 신호의 level인 side-lobe level은 증가하게 된다. 이러한 원치 않는 신호인 side-lobe level을 줄이는 방법으로 일반적으로 Dolph-Tschebyscheff 배열이나 binomial 배열과 같은 비균일 급전 배열 안테나를 설계하게 된다. 하지만 이런 방식의 급전 배열 구조를 형성시키기 위해서는 안테나의 급전 구조가 복잡해지며, 이로 인해 안테나의 반사 계수 특성이나 삽입 손실 특성이 저하되고, 심지어 높은 주파수 대역에서 너무 큰 특성 임피던스의 전송 선로를 사용해야 되는 경우 제작이 불가능해지는 단

점을 가지고 있다. 이러한 점을 고려하여 배열의 중앙에서 점차적으로 전력을 감소시키는 tapered 형태의 간단한 비균일 급전 구조를 이용하여 side-lobe level 의 감소를 비교적 쉽게 이룰 수 있다[2].

본 논문에서는 차량 탑재형 SAR 시스템인 AutoSAR(Automobile-based SAR) 시스템의 넓은 동작 주파수 대역폭을 만족하고 항공기나 위성 그리고 자동차와 같은 이동체에 탑재되는 용도의 특수성을 고려한 안테나 자체의 구조적인 안정성을 향상시키기 위하여 다층의 SSFIP(Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch) 형태로 안테나를 설계하였다. 그리고 SSFIP 안테나의 일반적인 특성인 back radiation 을 제거하기 위하여 안테나의 밀부분에 shielding plane 을 부착하여 안테나의 front-back ratio 를 증가시켰다.

## II. 안테나 사양

SAR(Synthetic Aperture Radars)란 그림 1 과 같이 관측 지역을 마이크로웨이브를 이용하여 지형이나 물체의 영상을 얻기 위한 원격 탐사 시스템으로써 마치 거대한 안테나가 경로를 따라 진행함으로써 안테나의 aperture 크기보다 큰 지형을 스캔한 것과 같은 효과를 내는 시스템이라는 의미에서 붙여진 이름이다.

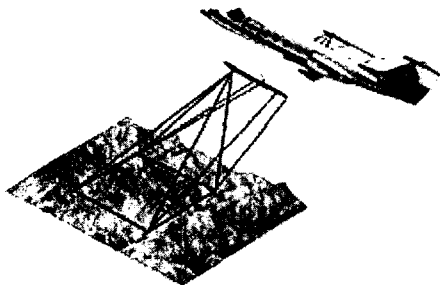


그림 1. SAR 시스템 개요

AutoSAR(Automobile-based SAR)란 차량 탑재형 SAR 시스템으로 AWG(Arbitrary Waveform Generator)를 기반으로 한 X-band 시스템이다. 송 수신 신호는 Linear FM(Chirp) pulse 이며 주파수 대역폭은 200MHz 이며 거리 분해능은 0.75m 이다. 하지만 분해능을 높이기 위하여 그림 2 와 같이 800MHz 대역폭을 갖는 시스템을 구현하였다[3].

최종 송수신되는 주파수 대역은 9.33GHz~10.13GHz 이며 중심 주파수는 각각 9.43, 9.63, 9.83, 10.03GHz 이다. AutoSAR 는 차량 탑재형으로 airborne 이나 spaceborne SAR 시스템과 달리 탑재체의 고도가 매우 낮으며 motion error 의 영향에 더 민감하다. 근본적 해결책은 아니지만 이러한 문제점의 영향을 완화시킬 수 있는 방법은 안테나를 상황에 맞게 설계하는 것이다.

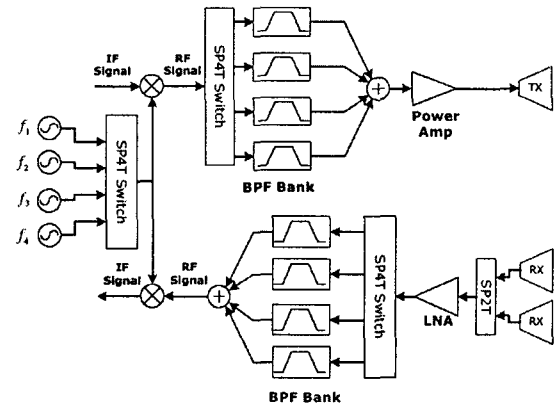


그림 2. AutoSAR 시스템의 RF Block Diagram

탑재체의 고도가 낮아 근거리의 반사 신호에 비해 원거리의 반사 신호가 매우 작아지는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 elevation 방향의 빔 폭을 가능한 작게 5°로 설계한다. 또한 motion error 의 영향을 줄이기 위해서 표적의 합성 개구간의 길이(Synthetic Aperture Length)를 가능한 줄이는 것이다. 즉 azimuth 방향으로의 빔 폭도 5°로 작은 빔 폭을 갖도록 설계한다. 그리고 가까운 지면으로부터의 불필요한 간섭 신호를 없애기 위하여 side-lobe level 은 20dB 미만을 목표로 하였으며 이득은 20dBi 이상으로 하였다.

이상을 정리하여 안테나의 설계 목표 사양을 정리하면 표 1 과 같다.

표 1. 안테나 설계 목표 사양

Parameter	Specification
Freq. Band	9.33GHz~10.13GHz(800MHz)
Az. Beamwidth	5°
El. Beamwidth	5°
Gain	>> 20dBi
Sidelobe level(SLL)	< -20dB

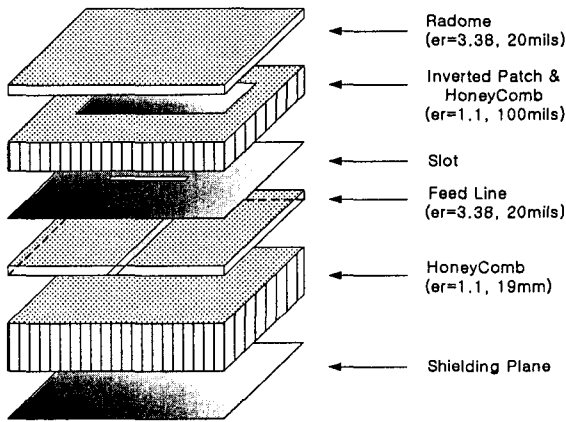
## III. 안테나 설계

### 3-1 단일 안테나의 설계

AutoSAR 시스템용 안테나는 그 응용의 특수함으로 전기적인 특성과 기계적인 특성을 함께 지녀야 한다. 전기적 특성으로는 안테나의 운용 주파수 대역폭, 방사패턴, 이득 등을 기계적인 특성으로는 구조적 안정성과 강도 등을 설계 시 고려하여야 한다. 따라서 동작 대역폭이 넓고 다층적인 구조로써 구조적인 안정성을 지닌 SSFIP(Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch)형 구조가 AutoSAR 용 안테나로 적합하다고 하겠다[4].

그림 3 은 설계한 단일 안테나의 적층 구조이다. 윗 부분의 얇은 유전체 층은 안테나의 레이돔 역할을 하며 그 아래에 방사 소자인 패치가 위치하게 된다. 패치와 슬롯을 포함한 접지면 사이에는 폼이 위치하는데 이는 낮은 삽입 손실과 낮은 유

전율을 가지고 있어 표면파를 방지할 뿐만 아니라 quality factor 가 작아 대역폭을 증가시키는 역할도 한다. 이러한 폼의 아래 부분에 슬롯을 포함한 접지면과 얇은 유전체 층이 있고 그 아래 부분에 급전기가 위치하게 된다. 방사 소자의 필드 여기 (excitation)는 급전기로부터 슬롯으로의 커플링으로 이루어진다. 일반적인 개구 결합형 (aperture-coupled) 안테나의 경우 슬롯이 필드를 양방향으로 방사함으로써 back radiation 이 발생하여 front-back-ratio 가 비교적 낮다. 본 논문에서는 back radiation reduction 방법으로 여러 가지 방법이 있지만 [5] 밑부분에 shielding plane 을 부착하는 방법을 이용하여 안테나의 front-back ratio 를 높이고자 한다.



SSFIP (Strip Slot Foam Inverted Patch) Antenna  
그림 3. Shielded microstrip feed SSFIP 안테나

안테나의 각 층의 특성은 다음과 같다. 방사 소자와 급전기 위 부분의 유전체 층은  $\epsilon_r = 3.38$  이고 두께가  $h=0.508mm$  인 Rogers 사의 RO4003 기판을 사용하였으며 이는 woven glass reinforced hydrocarbon/ceramic laminates 로써 높은 주파수나 높은 온도에서도 비교적 일정한 유전율을 유지하며 삽입 손실이 작은 장점이 있다. 안테나의 각 층 사이에는 폼으로 Hexel 사의 HRH-10-1/8-5.0 허니콤을 삽입하였는데 이의 구조는 그림 4 와 같다. 허니콤의 유전율은 1.1 로 매우 낮으며 무게가 가벼울 뿐만 아니라 외부 충격에도 잘 견디고 높은 인장 강도를 지니는 등 기계적 특성이 우수하다. 급전기와 shielding plane 사이의 폼으로 역시 Hexel 사의 유전율이 1.1 이고 두꺼운 19mm 의 허니콤을 삽입하였다.

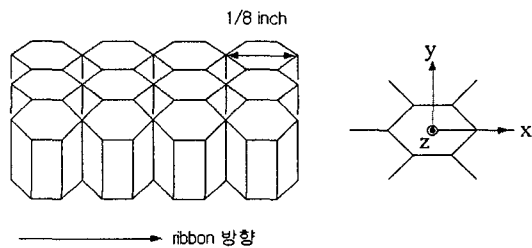
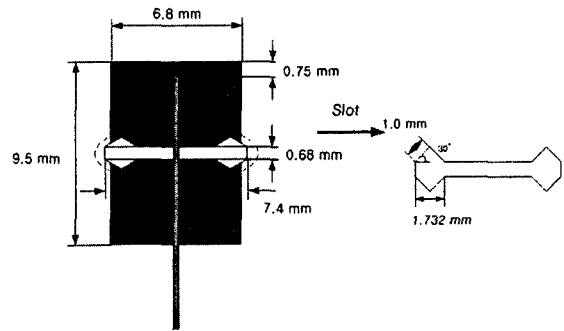
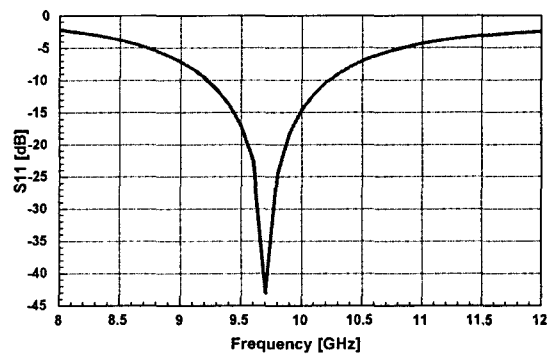


그림 4. 허니콤의 구조

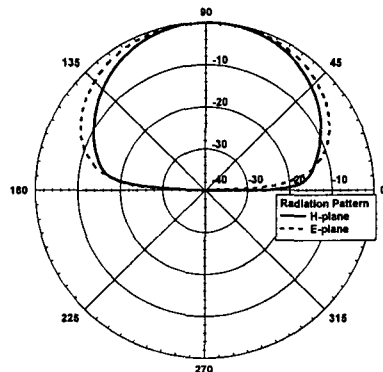
그림 5 는 설계한 X-band 대역의 단일 안테나의 구조와 반사 계수 및 방사 패턴 시뮬레이션 결과이다. 일반적으로 SSFIP 형 안테나를 설계할 경우, 동작 대역폭을 증가시키기 위하여 방사 소자와 슬롯 사이에 유전율이 낮으면서 두께가 두꺼운 폼을 위치시킨다. 그러나 두꺼운 폼으로 인하여 급전기로부터 방사 소자에 커플링되는 필드량이 감소하므로 안테나의 전체 정합 특성이 저하된다. 이를 향상 시키기 위하여 슬롯의 크기를 크게 설계하지만, 큰 크기의 슬롯은 안테나 뒷부분으로의 방사량을 증가시킨다. 따라서 본 논문에서는 그림 5-(a)와 같이 슬롯의 크기를 크게 하지 않으면서 커플링 양을 증가시킬 수 있는 dogbone 형태의 슬롯을 사용하였다.



(a) 단일 안테나의 사이즈



(b) 단일 안테나의 반사 계수



(c) 단일 안테나의 방사 패턴

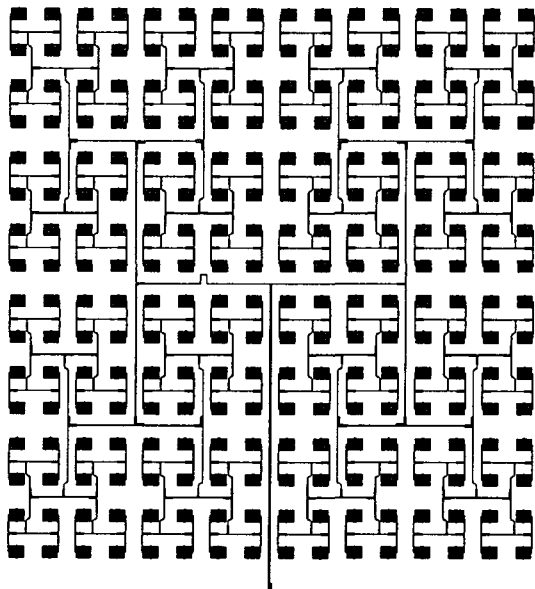
그림 5. 단일 안테나의 구조 및 시뮬레이션 결과

안테나의 시뮬레이션은 Ansoft 사의 Ensemble 과 HFSS 를 사용하였으며 시뮬레이션 결과에서 반사계수 특성을 보면 VSWR 2 를 기준으로 약 1 GHz 의 광대역 특성을 나타내며 방사 패턴의 경우 일반적인 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴

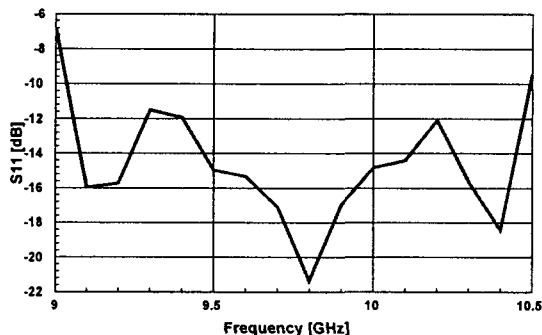
특성을 가지며 shielding plane 의 사용으로 back radiation 이 제거되었음을 알 수 있다.

### 3-2 배열 안테나의 설계

배열 안테나의 배열수를 결정하기 위하여 array synthesis 한 결과  $5^\circ$  의 3-dB 빔 폭을 만족하기 위하여  $16 \times 16$  배열을 사용하였으며 20dB 미만의 side-lobe level 을 얻기 위하여 tapered 형태의 비균일 급전 방식을 사용하였으며 800MHz 의 사용 주파수 대역 내에서 빔 패턴이 일정하도록 하기 위해 corporate 급전 방식을 사용하였다. 전체  $16 \times 16$  배열 안테나를 설계하기 위하여 각각 패치 간의 간격은  $0.7 \lambda_0$  로 하였으며  $8 \times 4$  배열 안테나를 부 배열로 하여 azimuth 방향으로 4 배, 그리고 elevation 방향으로 2 배 확장하여 설계하였으며  $8 \times 4$  부 배열 안테나의 각 소자에 분배되는 전력은 azimuth 방향으로는 1:1:2:2 이며 elevation 방향으로는 1:1:2:2:4:4:8:8 의 비율로 전력 분배를 하였다. 그림 6 은  $16 \times 16$  전체 배열 안테나의 구조와 반사 계수 특성의 시뮬레이션 결과이다. 반사 계수 특성을 보면 AutoSAR 의 동작 주파수 대역(9.33GHz~10.13GHz)을 잘 만족하며 약 1.4GHz 정도의 광대역 특성을 나타냄을 알 수 있다.



(a)  $16 \times 16$  배열 안테나의 전체 구조



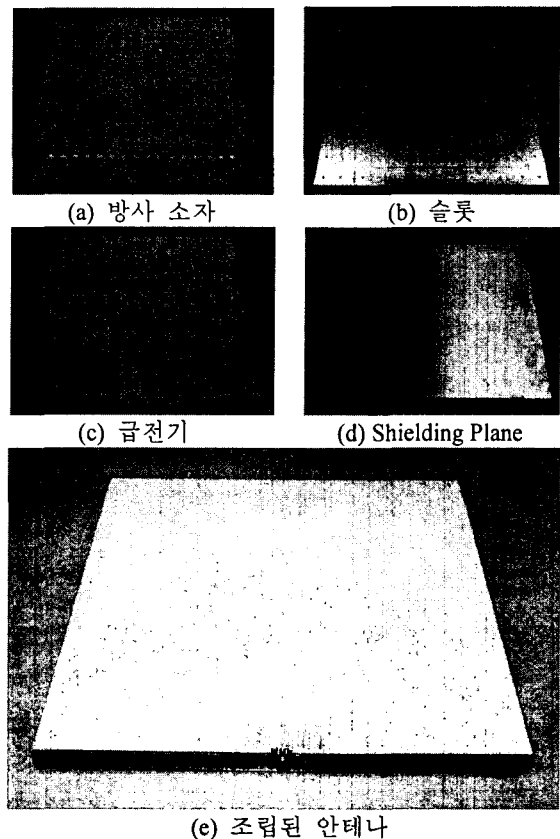
(b)  $16 \times 16$  배열 안테나의 반사 계수 특성

그림 6.  $16 \times 16$  배열 안테나의 구조 및 반사 계수

### IV. 배열 안테나의 제작

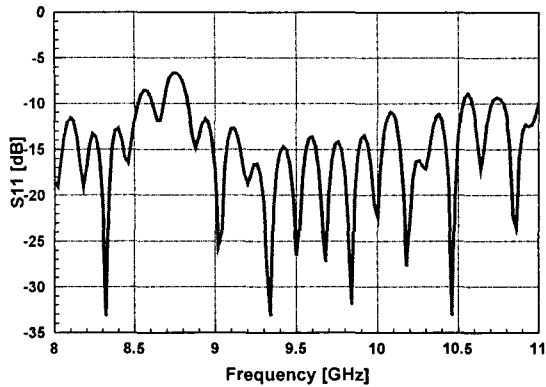
그림 7 은 AutoSAR 시스템용 안테나의 제작된 모습이다. 전체 안테나의 크기는  $414.6mm \times 431.6mm$  이고 두께는  $24.5mm$  이다. 레이돔과 방사 소자에 20mils 두께의 Rogers 사의 RO4003 기판을 사용하였으며 동일한 기판의 슬롯, 급전기, 그리고  $1.5mm$  두께의 shielding plane 을 순서대로 놓고, 각 층 사이에 허니콤을 삽입하여 플라스틱 나사로 고정하여 전체 안테나를 제작하였다.

그림 8 은 제작된 안테나의 최종 측정 결과이다. 안테나의 측정은 Agilent 사의 8722ES vector network analyzer 를 이용하여 입력 반사계수와 입력 임피던스 및 VSWR 을 측정하였으며 방사 패턴과 이득은 포항공대의 compact range 를 이용하였다. 결과를 보면 8.85GHz~10.55GHz 의 약 1.7GHz 의 광대역 특성을 나타내며 사용 주파수 대역을 잘 만족한다. 중심 주파수인 9.7GHz 에서의 방사 패턴 결과를 보면 azimuth 방향과 elevation 방향 모두  $5^\circ$  의 빔 폭을 잘 만족하고 있으며 side-lobe level 역시 azimuth 방향으로 약간 높으나 20dB 미만을 잘 만족함을 알 수 있다. 안테나의 이득은 standard gain horn 안테나를 기준으로 약 25.0dBi 의 값을 가짐으로써 역시 설계 목표를 잘 만족하였다. 최종 측정 결과를 요약하면 표 2 와 같다.

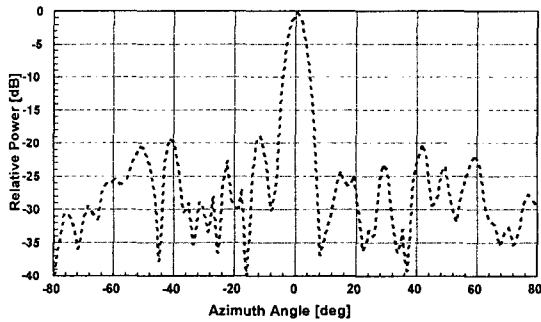


(e) 조립된 안테나

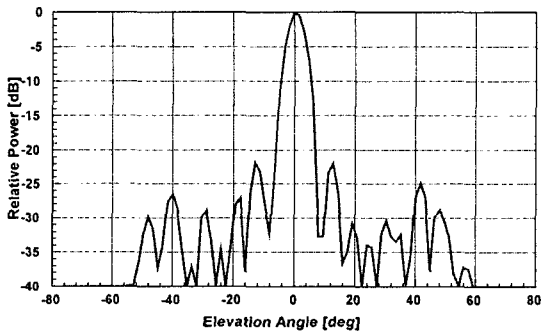
그림 7. 조립된 AutoSAR 시스템용 안테나의 구조



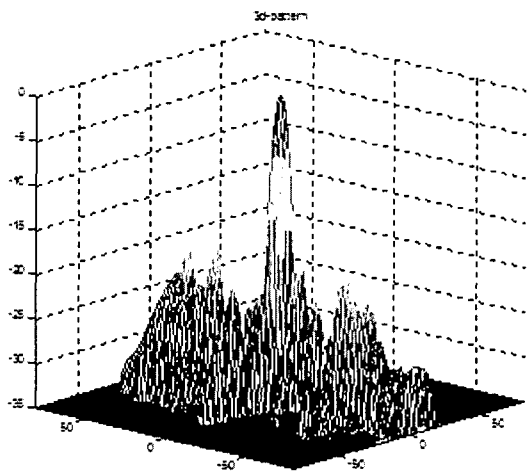
(a) 반사 계수 측정 결과



(b) 방사 패턴(Azimuth)



(c) 방사 패턴(Elevation)



(d) 방사 패턴(3D)

그림 8. 제작 안테나의 최종 측정 결과

표 2. 최종 측정 결과 요약(괄호 안은 목표 사양)

Parameter	Result (Design target)
Freq. Band	8.85GHz~10.55GHz (800MHz)
Az. Beamwidth	5° (5°)
El. Beamwidth	5° (5°)
Gain	25dBi (>> 20dBi)
Sidelobe level(SLL)	-18dB (< -20dB)

## V. 결 론

본 논문에서는 SAR 시스템 용도의 넓은 대역폭과 기구적인 안정성을 위하여 기본적인 SSFIP 구조에 back radiation 을 제거하기 위한 shielding plane 을 덧붙이고, 안테나 각 층 사이에는 삽입 손실과 유전율이 작고 기계적인 특성이 강한 허니콤을 삽입한 광대역 배열 안테나를 설계 제작하였다. SSFIP 형 구조를 사용하여 1.7GHz 의 광대역 특성과 동작 주파수 대역을 잘 만족하였으며 16×16 배열을 사용하여 5° 의 좁은 빔 폭의 방사 패턴을 잘 만족하였다. 이득은 25 dBi 로 측정되었으며 설계 목표를 잘 만족하였으나 배열의 수가 많아짐에 의한 손실이 커짐에 의해 이득이 많이 감소함을 알 수 있었다. 또한 간단하게 구현할 수 있는 tapered 방식의 비균일 급전 구조를 사용하여 20dB 미만의 side-lobe level 역시 잘 만족함을 알 수 있었다. 따라서 향후 AutoSAR 시스템과 같은 SAR 시스템에 적합한 안테나 구조라 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Keith R. Carver, et al., "Microstrip Antenna Technology", *IEEE Trans. AP-29*, no.1, pp2-24, Jan.1981.
- [2] John Huang, et al., "Workshops on CAD of printed antennas and arrays", Boulder Microwave Technologies, Inc, 1995.
- [3] Y.K. Kong, et al., "An Experimental Automobile-based SAR/InSAR", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Jul.2005.
- [4] J. F. Zücher, "The SSFIP: A Global Concept for High Performance Broadband Planar Antennas", *Electronics letters*, vol.24, no.23, pp 1433-1435, Nov. 1988.
- [5] S.D. Targonski, et al., "Wideband aperture coupled microstrip patch array with backlobe reduction", *Electronics Letters*, vol. 33, no. 24, pp 2005-2006, Nov. 1997.
- [6] M.I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 1981.
- [7] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Wiley, 1997.
- [8] W.L. Stutzman, G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, 1998.

M E M O