

SAR를 위한 X-band 광대역 배열 안테나의 설계 및 제작

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

원 영 진 · 이 영 주* · 공 영 균**

Young-Jin Won · Young-Ju Lee* · Young-Kyun Kong**

요 약

개구 합성 레이더(SAR)는 지형의 고 해상도의 영상을 획득하는데 주로 사용된다. 본 논문은 X-band 주파수 대역의 차량 탑재형 개구 합성 레이더(automobile-based SAR) 시스템에 적용하기 위한 16×16 배열 안테나의 설계 및 제작에 관한 것이다. 본 논문에서 구현된 안테나는 레이돔, 방사체, 슬롯, 급진 구조 그리고 허니콤과 같은 여러 층의 구조로 되어 있으며 각 층들은 구조적인 그리고 전기적인 측면의 설계 요구 조건들을 만족하기 위하여 결합되어 있다. Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch(SSFIP) 구조와 허니콤을 사용하여 넓은 동작 주파수 대역폭과 기구적인 안정성을 만족하였다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였으며 본 논문에서 설계한 안테나는 1.7 GHz의 동작 주파수 대역폭과 20 dB 미만의 side-lobe level, 각각 5°의 빔 폭과 25 dBi의 이득을 가졌으며 측정된 결과는 광대역 SAR 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

Synthetic Aperture Radars(SAR) are used mainly for high-resolution imaging of the terrain. This paper describes the 16×16 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 honeycomb cores, a wide bandwidth and a structural hardness were achieved. Measurement results were compared with simulation results. It was observed that this antenna had a bandwidth of 1.7 GHz, side-lobe levels of less than -20 dB, half-power beamwidth of 5° and 5°, and gains of 25.0 dBi. The observed results show that the designed array antenna will be applicable to the wideband SAR system.

Key words : SAR, SSFIP, Aperture-Coupled, Back Radiation Reduction, Honeycomb

I. 서 론

일반적으로 마이크로스트립 안테나는 가볍고 부피가 작으며 경제적이고 표면 부착력이 탁월한 장점을 가지고 있는 반면, 동작 주파수 대역폭이 좁고 지향성이 낮은 단점을 가지고 있다^[1]. 그러나 현재 마

이크로스트립 안테나와 마이크로파 회로와의 집적화가 가속화되고, 상기의 단점들을 극복하기 위한 많은 시도가 진행되면서 이의 사용 범위도 점차 증가되고 있다.

단일 마이크로스트립 안테나는 지향성이 낮으며, 반파장 다이폴 안테나의 방사 패턴과 유사한 특성을

한국항공우주연구원 위성전자그룹(Satellite Electronics Department, Korea Aerospace Research Institute)

*삼성전자 무선사업부(Mobile Communication Division, Samsung Electronics)

**넥스원퓨처(Nex 1 Future)

· 논문 번호 : 20051105-16S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 6일

갖는다. 따라서 마이크로스트립 안테나를 좁은 빔 폭의 방사 패턴을 요구하는 SAR(Synthetic Aperture Radar)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.

또한 무선 송수신 시스템에서 안테나는 방사되는 송신 전력의 대부분을 수신 지역에도 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, 이때 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 단점을 가지고 있다. 이러한 점을 고려하여 배열의 중앙에서 점차적으로 전력을 감소시키는 tapered 형태의 간단한 비균일 급전 구조를 이용하여 side-lobe level의 감소를 비교적 쉽게 이룰 수 있다^[2].

SAR 시스템의 넓은 동작 주파수 대역폭을 만족하고 항공기나 위성 그리고 자동차와 같은 이동체에 탑재되는 용도의 안테나 자체의 구조적인 안정성을 향상시키기 위하여 다 층의 SSFIP(Strip-Slot-Foam-Inverted-Patch) 구조 형태로 안테나를 설계하였다. 또한 본 논문에서는 개구 결합형(aperture-coupled) 안테나와 같이 SSFIP 안테나의 일반적인 특성인 back radiation을 제거하기 위하여 안테나의 가장 하단부에 shielding plane을 부착하여 안테나의 front-back

ratio를 증가시켰다.

II. 안테나 사양

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

위성, 비행기 또는 자동차에 측정 장비를 탑재하고 이상적인 경우, 일정한 속도로 직선을 따라 움직이면서 신호를 송수신한다. 수신된 신호는 관측 영역의 역산란 특성을 포함하므로 이를 신호 처리를 통하여 영상으로 만들어내는 것이다. SAR 시스템은 일반적으로 거리 방향으로는 높은 해상도를 얻기 위하여 대역폭이 넓은 신호를 사용한다. 방위각 방향으로 높은 해상도를 얻기 위해서는 SAR 시스템에 장착된 안테나의 크기보다 훨씬 큰 안테나 배열을 합성하기 위한 coherent 신호 처리를 해야 하며 송신 출력을 낮추기 위하여 linear FM(chirp) 신호를 사용한다.

AutoSAR(Automobile-based SAR)란 차량 탑재형 SAR 시스템으로 AWG(Arbitrary Waveform Generator)를 기반으로 한 X-band 시스템이다. 송수신 신호는 linear FM(chirp) pulse이며 주파수 대역폭은 200 MHz를 기본으로 하고 있다. 하지만 분해능을 높이기 위하여 800 MHz의 넓은 대역폭을 갖는 시스템을 구현하였다^[3]. 그림 2와 같이 같은 IF 대역을 공유하면서

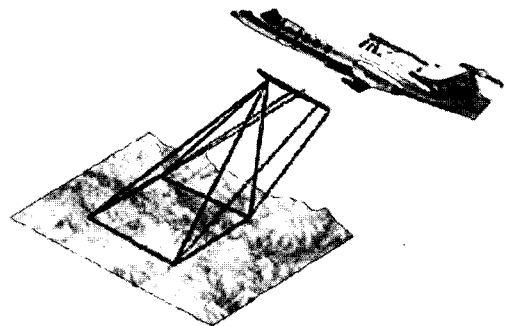


그림 1. SAR 시스템 개요
Fig. 1. Introduction of SAR system.

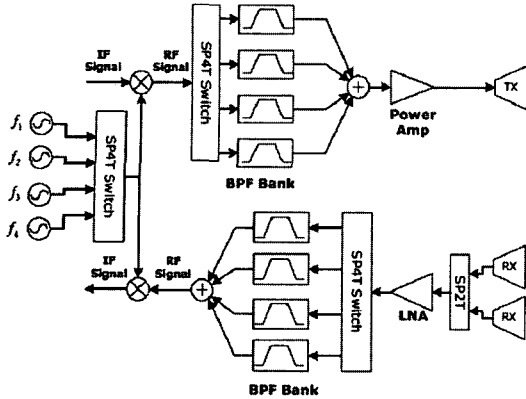


그림 2. AutoSAR RF 시스템의 블록도
Fig. 2. Block diagram of AutoSAR RF system.

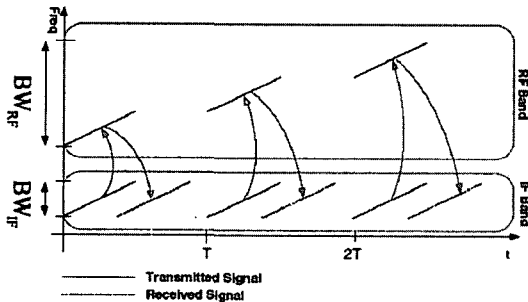


그림 3. AutoSAR 시스템의 주파수 개요
Fig. 3. Frequency scheme of AutoSAR system.

서로 다른 LO를 사용하여 송수신 대역을 달리하는 방법을 사용하였다. 이 때 송수신 대역은 그림 3과 같이 동일 시간에 하나의 대역만을 선택하게 되며 이는 RF 스위치를 제어하여 구현한다. 이러한 방법은 ADC의 샘플링 주파수가 높지 않아도 광대역 시스템을 구현할 수 있다는 장점이 있다.

최종 송수신되는 주파수 대역은 9.33~10.13 GHz이며 중심 주파수는 각각 9.43 GHz, 9.63 GHz, 9.83 GHz, 10.03 GHz이다. AutoSAR는 차량 탑재형으로 airborne이나 spaceborne SAR 시스템과 달리 탑재체의 고도가 매우 낮으며 motion error의 영향에 더 민감하다. 근본적 해결책은 아니지만 이러한 문제점의 영향을 완화시킬 수 있는 방법은 안테나를 상황에 맞게 설계하는 것이다. 탑재체의 고도가 낮아 근거리의 반사 신호에 비해 원거리의 반사 신호가 매우 작아지는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기

표 1. 안테나 설계 목표 사양
Table 1. Specification of antenna design.

파라미터	설계 목표 사양
Freq. band	9.33~10.13 GHz(800 MHz)
Az. beamwidth	5°
El. beamwidth	5°
Gain	>> 20 dBi
Side-lobe level	< -20 dB

위하여 elevation 방향의 빔 폭을 가능한 작게 5°로 설계한다. 또한 motion error의 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 level은 20 dB 미만을 목표로 하였으며 이득은 20 dBi 이상으로 하였다.

이상을 정리하여 안테나의 설계 목표 사양을 정리하면 표 1과 같다.

Ⅲ. 안테나 설계

3-1 단일 안테나의 설계

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

그림 4는 설계한 단일 안테나의 적층 구조이다. 위 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 유전율을 가지고 있어 표면파를 방지할 뿐만 아니라 quality factor가 작아 대역폭을 증가시키는 역할도 한다. 또한 폼이 두꺼우면 대역폭이 증가되지만 너무 두꺼울

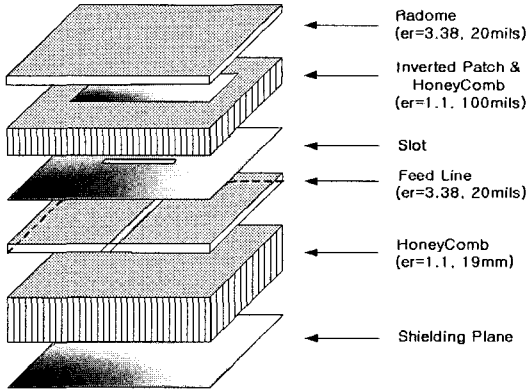


그림 4. SSFIP 안테나의 구조
Fig. 4. Structure of SSFIP antenna.

경우, 방사 소자로 전달되는 에너지가 작아져 임피던스 정합이 어렵게 되므로 이를 적절히 고려하여야 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 양 방향으로 방사함으로써 back radiation이 발생하여 front-back-ratio가 비교적 낮다. 따라서 신호의 안테나 뒤 부분으로의 방사를 원치 않을 경우 이를 제거하기 위한 기법이 필요하다. Back radiation reduction 방법으로는 슬롯 뒤 부분에 enclosed cavity를 부착시키는 방법과 안테나 밑 부분에 reflector로 방사 소자를 부착시키는 방법, shielding plane을 부착시키는 방법 등이 있다^[5]. 따라서 본 논문에서는 back radiation reduction 방법으로 안테나의 밑 부분에 shielding plane을 부착하는 방법을 이용하여 안테나의 front-back-ratio를 높이고자 한다. 그러나 이 방법 또한 parallel plate waveguide mode가 형성되어 안테나의 전체적인 성능을 저하시킬 수 있으므로 안테나의 설계 시 이를 감안하여 설계하여야 한다.

안테나의 각 층의 특성은 다음과 같다. 방사 소자와 급전기 위 부분의 유전체 층은 $\epsilon_r=3.38$ 이고 두께가 $h=0.508$ mm인 Rogers사의 RO4003 기판을 사용하였으며 이는 woven glass reinforced hydrocarbon/ceramic laminates로써 높은 주파수나 온도에서도 비교적 일정한 유전율을 유지하며 삽입 손실이 작은

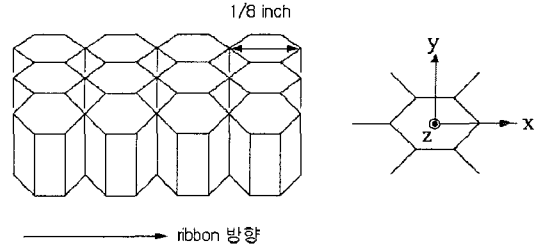


그림 5. 허니콤의 구조
Fig. 5. Structure of honeycomb.

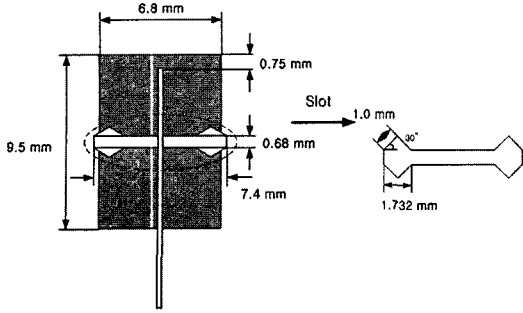
장점이 있다. 안테나의 각 층 사이에는 폼으로 Hexel사의 HRH-10-1/8-5.0 허니콤을 삽입하였는데 이의 구조는 그림 5와 같다. 허니콤의 유전율은 1.1로 매우 낮으며 무게가 가벼울 뿐만 아니라 외부 충격에도 잘 견디고 높은 인장 강도를 지니는 등 기계적인 특성이 우수하다. 급전기와 shielding plane 사이의 폼으로 역시 Hexel사의 유전율이 1.1이고 두꺼운 19 mm의 허니콤을 삽입하였다.

그림 6은 설계한 X-band 대역의 단일 안테나의 구조와 반사 계수 및 방사 패턴의 시뮬레이션 결과이다. 일반적으로 SSFIP형 안테나를 설계할 경우, 동작 대역폭을 증가시키기 위하여 방사 소자와 슬롯 사이에 유전율이 낮으면서 두께가 두꺼운 폼을 위치시킨다. 그러나 두꺼운 폼으로 인하여 급전기로부터 방사 소자에 커플링 되는 필드량이 감소하므로 안테나 전체 정합 특성이 저하된다. 이를 향상시키기 위하여 슬롯의 크기를 크게 설계하지만 큰 크기의 슬롯은 안테나의 뒤 부분으로의 방사량을 증가시킨다. 따라서 본 논문에서는 그림 6(a)와 같이 슬롯의 크기를 크게 하지 않으면서 커플링 양을 증가시킬 수 있는 dogbone 형태의 슬롯을 사용하였다.

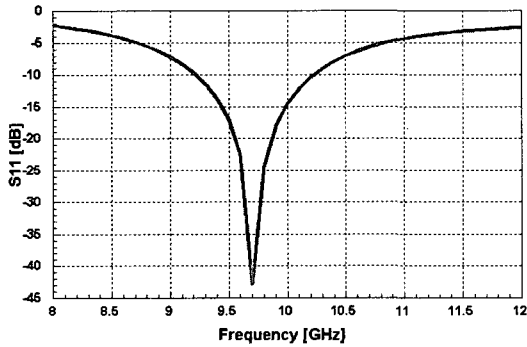
안테나의 시뮬레이션은 Ansoft사의 Ensemble과 HFSS를 사용하였으며 시뮬레이션 결과에서 반사 손실 특성을 보면 VSWR 2를 기준으로 약 1 GHz의 광대역 특성을 나타내며 방사 패턴의 경우 일반적인 마이크로스트립 안테나의 방사 패턴 특성을 가지며 shielding plane의 사용으로 back radiation이 제거되었음을 알 수 있다.

3-2 배열 안테나의 설계

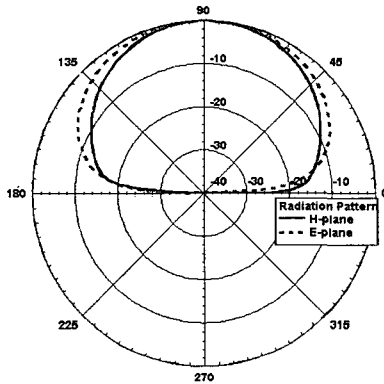
배열 안테나의 크기를 결정하기 위하여 array



(a) 설계된 단일 안테나의 구조
(a) Structure of designed single antenna



(b) 설계된 단일 안테나의 반사 손실
(b) Return loss of designed single antenna



(c) 설계된 단일 안테나의 방사 패턴
(c) Radiation pattern of designed single antenna

그림 6. 단일 안테나의 구조 및 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Structure and simulation result of designed single antenna.

synthesis를 한 결과는 그림 7과 같으며 5°의 3 dB 빔 폭을 만족하기 위하여 16×16 배열을 사용하였고 20 dB 미만의 side-lobe level을 얻기 위하여 tapered 형태의 비균일 급전 방식을 사용하였으며 800 MHz의

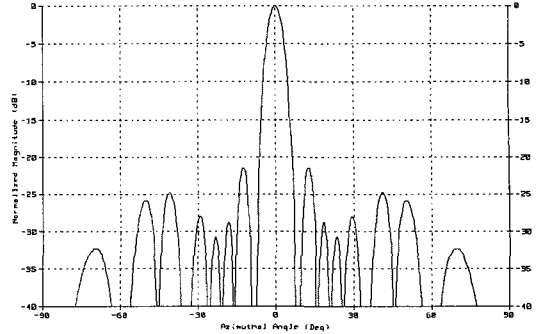
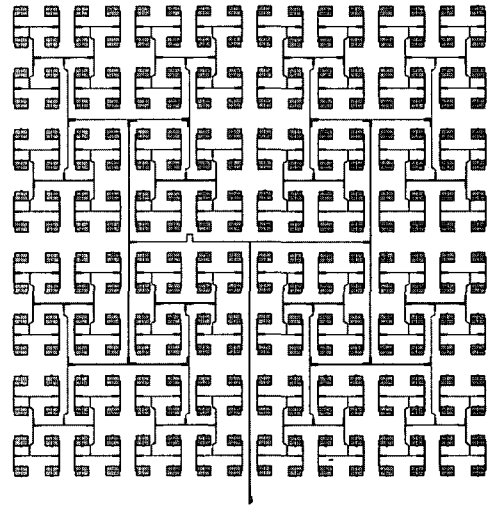
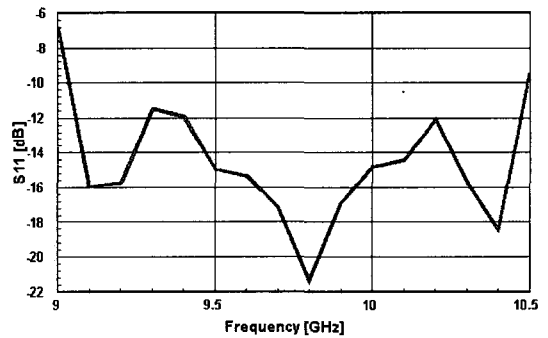


그림 7. 배열 합성 결과
Fig. 7. Result of array synthesis.



(a) 16×16 배열 안테나의 구조
(a) Structure of 16×16 designed array antenna



(b) 16×16 배열 안테나의 반사 손실
(b) Return loss of 16×16 designed array antenna

그림 8. 16×16 배열 안테나의 구조 및 시뮬레이션 결과

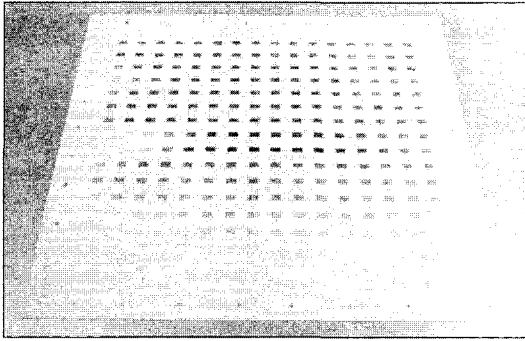
Fig. 8. Structure and simulation result of designed 16×16 array antenna.

동작 주파수 대역폭 내에서 빔 패턴이 일정하도록 하기 위해 corporate 급전 방식을 사용하였다.

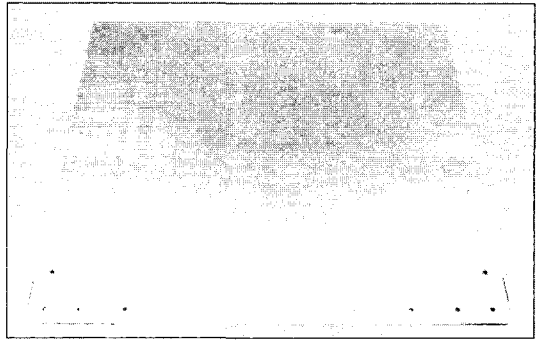
전체 16×16 배열 안테나를 설계하기 위하여 각 패치 간의 간격은 $0.7 \lambda_0$ 로 하였으며 8×4 배열 안테나를 4배 배열로 하여 azimuth 방향으로 4배, elevation

방향으로는 2배 확장하여 설계하였으며 8×4 배열 안테나의 각 소자에 분배되는 전력은 azimuth 방향으로 1:1:2:2이며 elevation 방향으로 1:1:2:2:4:4:8:8의 비율로 전력 분배를 하였다.

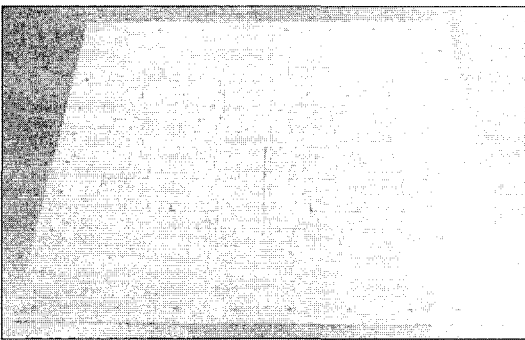
그림 8은 16×16 전체 배열 안테나의 구조와 반사



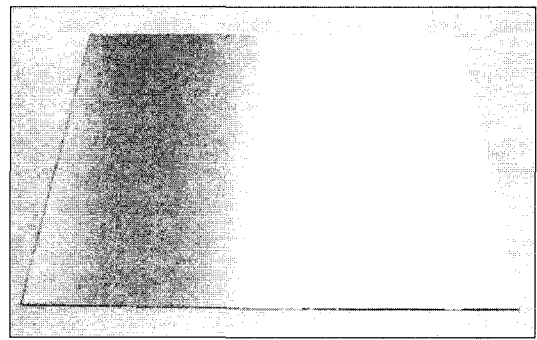
(a) 방사 소자와 레이돔
(a) Radiators and radome



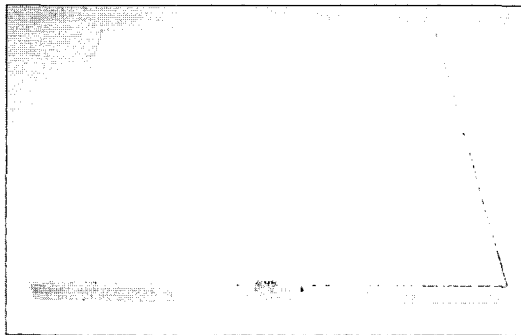
(b) 슬롯
(b) Slots



(c) 급전기
(c) Feed network



(d) 차폐 판
(d) Shielding plane

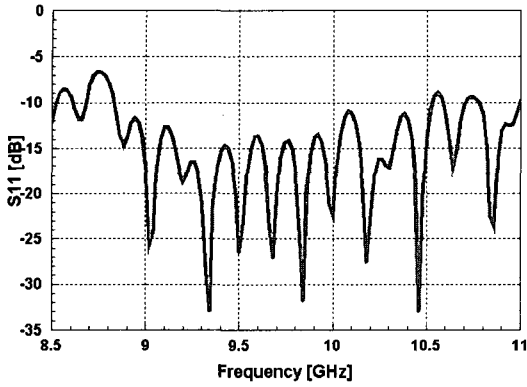


(e) 조립된 안테나
(e) Assembled antenna

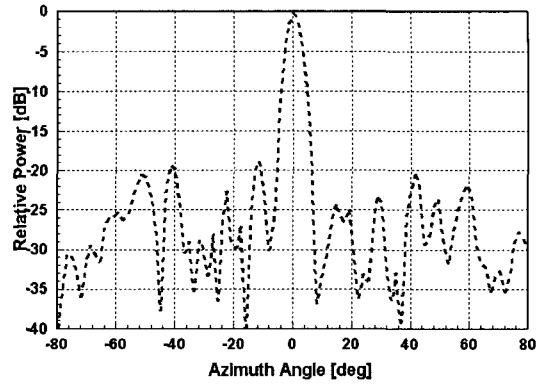
그림 9. 제작된 안테나의 구조
Fig. 9. Structure of fabricated antenna.

손실 특성의 시뮬레이션 결과이다. 안테나의 급전 구조를 보면 중앙으로부터 tapered 급전 구조를 위하여 quarter wave transformer를 튜닝하여 원하는 전력

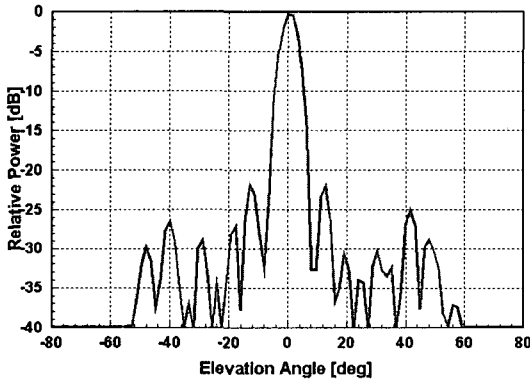
분배비가 되도록 하였음을 알 수 있다. 반사 손실 특성을 보면 AutoSAR의 동작 주파수 대역(9.33 GHz~10.13 GHz)을 잘 만족하며 약 1.4 GHz의 광대역 특



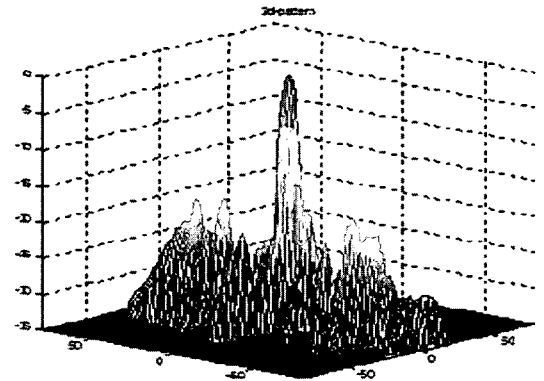
(a) 반사 손실
(a) Return loss



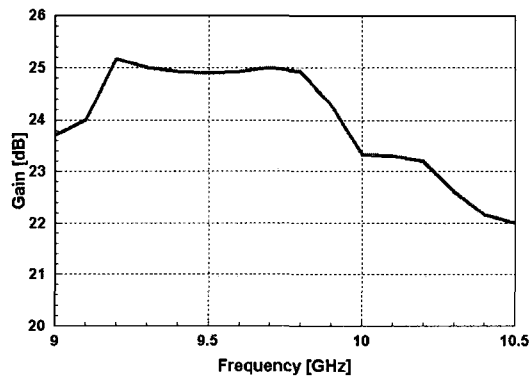
(b) 방사 패턴(azimuth)
(b) Radiation pattern(azimuth)



(c) 방사 패턴(elevation)
(c) Radiation pattern(elevation)



(d) 방사 패턴(3D)
(d) Radiation pattern(3D)



(e) 이득
(e) Gain

그림 10. 제작된 안테나의 측정 결과
Fig. 10. Measured results of fabricated antenna.

표 2. 측정 결과 요약

Table 2. Summary of measured result.

파라미터	설계 결과 (설계 목표)
Freq. band	8.85~10.55 GHz (800 MHz)
Az. beamwidth	5° (5°)
El. beamwidth	5° (5°)
Gain	25 dBi (\gg 20 dBi)
Side-lobe level	-18 dB ($<$ -20 dB)

성을 나타냄을 알 수 있다.

IV. 배열 안테나의 제작

그림 9는 AutoSAR 시스템을 위한 안테나의 제작된 모습이다. 전체 안테나의 크기는 414.6×431.6 mm 이고 두께는 24.5 mm이다. 레이돔과 방사 소자에 20 mils 두께의 Rogers사의 RO4003 기판을 사용하였으며 동일한 기판의 슬롯, 급전기 그리고 1.5 mm 두께의 shielding plane을 순서대로 놓고 각 층 사이에 허니콤을 삽입하여 플라스틱 나사를 고정하여 전체 안테나를 체결하여 제작하였다.

그림 10은 제작된 안테나의 최종 측정 결과이다. 안테나의 측정은 Agilent사의 8722ES vector network analyzer를 이용하여 입력 반사 손실과 입력 임피던스 및 VSWR을 측정하였으며 방사 패턴과 이득은 포항공대의 compact range와 near field measurement 장비를 이용하였다. 결과를 보면 8.85~10.55 GHz의 약 1.7 GHz의 광대역 특성을 나타내며 사용주파수 대역을 잘 만족한다. 중심 주파수인 9.7 GHz에서의 방사 패턴 측정 결과를 보면 azimuth 방향과 elevation 방향 모두 5°의 3 dB 빔 폭을 잘 만족하고 있으며 side-lobe level 역시 azimuth 방향의 결과가 조금 높으나 20 dB 미만을 잘 만족함을 알 수 있다. 안테나의 이득은 standard gain horn 안테나를 기준으로 약 25.0 dBi의 값을 가짐으로써 20 dBi 이상의 설계 목표를 잘 만족하였다. 최종 측정 결과를 요약하면 표 2와 같다.

V. 결 론

본 논문에서는 SAR 시스템 용도의 넓은 대역폭과 좁은 빔 폭 그리고 기구적인 안정성을 위하여 기

본적인 SSFIP 구조에 back radiation을 제거하기 위한 shielding plane을 덧붙이고, 안테나 각 층 사이에는 삽입 손실과 유전율이 작고 기계적인 특성이 강한 허니콤을 삽입한 광대역 배열 안테나를 설계 및 제작하였다. SSFIP형 구조를 사용하여 1.7 GHz의 광대역 특성과 동작 주파수 대역을 잘 만족하였으며 16×16 배열을 사용하여 5°의 좁은 빔 폭의 방사 패턴을 잘 만족하였다. 이득은 25 dBi(max)로 측정되었으며 설계 목표를 잘 만족하였으나 배열의 수가 많아짐에 의해 이득이 감소함을 알 수 있었다. 또한 간단하게 구현할 수 있는 tapered 방식의 비균일 급전 구조를 사용하여 20 dB 미만의 side-lobe level 역시 잘 만족함을 알 수 있었다. 따라서 광대역 SAR 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

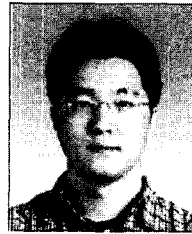
- [1] Keith R. Carver, James W. Mink, "Microstrip antenna technology", *IEEE Trans. AP-29*, no. 1, pp. 2-24, Jan. 1981.
- [2] John Huang, Sembian Rengarajan, and Juan Mosig, *Workshops on CAD of Printed Antennas and Arrays*, Boulder Microwave Technologies Inc., 1995.
- [3] Young-Kyun Kong, Byung-Lae Cho, and Young-Soo Kim, "An experimental automobile based SAR/InSAR", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Jul. 2005.
- [4] J. F. Zúcher, "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, R. B. Waterhouse, and D. M. Pozar, "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 Inc., 1981.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Wiley Inc., 1997.
- [8] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley Inc., 1998.

원 영 진



2001년 2월: 경북대학교 전자전기 공학부 (공학사)
2003년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
2003년 2월~2005년 7월: LG전자 단말연구소 주임연구원
2005년 8월~현재: 한국항공우주연구원 위성총괄사업단 위성기술실 위성전자그룹 연구원
[주 관심분야] 안테나 설계, RF 시스템 설계

공 영 균



1998년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학사)
2000년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
2005년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학박사)
2005년 2월~현재: 넥스원퓨처 선임연구원
[주 관심분야] 레이더 시스템, SAR 시스템, SAR 신호처리

이 영 주



1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
2005년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학박사)
2005년 3월~현재: 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부 선행 Lab. 책임연구원
[주 관심분야] 마이크로스트립 안테나 설계, 공간 필터 설계(EBG, FSS), 이동통신용 소형 안테나 설계, RF 시스템 설계