

개방된 리지 도파관을 이용한 이중 선형 편파 방사 소자 설계

Design of the Dual Linear Polarized Radiation Element Using a Open-Ended Ridge Waveguide

고 지 환 · 전 중 훈* · 조 영 기**

Ji-Whan Ko · Jong-Hoon Chun* · Young-Ki Cho**

요 약

이중 편파 특성을 갖는 위상 배열 안테나에 사용될 수 있는 도파관형 방사 소자의 설계 방법을 제시하였다. 소형화를 위하여 리지 형태의 도파관을 사용하였고, 이중 편파를 위해서는 도파관 내에 인쇄된 다이폴 구조의 마이크로스트립 형태를 부가적으로 추가하는 형태를 취하였다. 설계 방법의 타당성 검증을 위하여 1×4 배열 안테나를 제작하여 반사 손실, 인접 채널간 동일 편파 상호 간섭 및 복사 패턴을 측정하여 이론치와 비교하여 잘 일치함을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 구조는 이중 편파 특성을 갖는 위상 배열 안테나의 단위 소자로서 유용한 구조로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract

A design approach for a radiation element of dual polarization, which can be implemented in the waveguide structure, is proposed. For minimization of the radiating element, the ridged waveguide type is used and for dual polarization, the microstrip type of printed dipole structure is additionally installed inside the waveguide. In order to validate the design approach, 1×4 array antenna is fabricated and its performances such as return loss, co-polarization coupling between adjacent channels, and radiation patterns are investigated. Theory and experiment are observed to be in good agreement. The radiating structure is thought to be a useful one in an application to the phased array antenna system, in particular, requiring dual polarization characteristics.

Key words : Phase Array Antenna, Array Antenna, Open-Ended Ridge Waveguide, Printed Dipole

I. 서 론

능동 위상 배열 안테나는 전자적인 빔 스캔(*beam scan*)이 가능하다는 장점 때문에 오래 전부터 레이 다 시스템 또는 통신 시스템에 적용되어 지속적으로 기술 개발이 이루어져 왔다^[1]. 능동 위상 배열 안테나는 그림 1과 같이 소형 방사 소자가 여러 개가 배열되어 있고, 각 방사 소자는 송수신 신호의 위상 및 진폭 조절 기능을 갖는 반도체 송수신 모듈(*Trans-*

mitter/Receiver Module)에 바로 연결된다. 위상 배열 안테나에 주로 사용되는 방사 소자의 종류는 다이 폴, 개방형 도파관(*open ended waveguide*) 또는 도 파관 슬롯 형태 등이 주로 사용되었으며, 최근에는 마이크로스트립 패치 형태도 널리 사용되어오고 있다^{[2]~[8]}.

위상 배열 안테나에서 빔 스캔은 각 방사 소자에 입력되는 신호의 위상차를 제어해줌으로써 가능하게 된다. 그림 1과 같이 평면으로 배열되어 있는 구

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Eng., Kumoh National University of Technology)

*삼성텔레스(주) 레이더시스템그룹 기술연구소(R&D Center, Radar System Group, Samsung Thales Co., Ltd.)

**경북대학교 전자전기컴퓨터공학부(School of Electronic and Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20080812-106

· 수정완료일자 : 2008년 10월 6일

조에서 빔이 최대로 움직일 수 있는 각도 범위를 스캔 각도(scan angle)라 하며, 이 스캔 각도는 배열의 주기(d_x, d_y)와 매우 밀접한 관계가 있다. 스캔 각도를 크게 하려면 가능한 배열 주기를 적게 두어야 한다. 그렇지 않으면 배열 안테나의 성능을 급격히 저하시키는 그레이팅 로브(grating lobe)가 발생하기 때문이다^{[9],[10]}. 그런데 배열 주기가 적어지면 방사 소자는 더욱 소형으로 작게 설계해야 하는데, 이것이 실제 방사 소자를 설계하는데 있어 기술적으로 가장 어려운 점의 하나이다. 여기에 이중 편파가 요구된다면 기술적 어려움은 더욱 가중될 것이다. 이와 같은 이중 편파용 소형 방사 소자에 대한 연구로는 사용 전력의 크기에 따라 마이크로스트립 형태와 도파관 형태를 선택하여 설계하게 된다.

본 논문에서는 레이다용으로 사용될 수 있는 구조의 한 예로서, 개방된 리지 직사각형 도파관(ridge rectangular waveguide)을 사용하여 그림 1과 같이 입력 포트는 2개이고, 각각의 포트는 직교되는 선형 편파를 발생하도록 구성된 소형 방사 소자 구조를 제시하고자 한다. 리지 구조가 없는 일반적인 도파관에서 차단 주파수로 인해 크기를 적게할 수 없지만 도파관 내부에 리지를 두면 차단 주파수를 낮출 수 있기 때문에 보다 적게 설계할 수 있다. 이러한 이유로 리지 도파관 구조를 채택하고, 이중 편파를 발생시키기 위해서는 도파관 내부에 다이폴 안테나가 인쇄된 얇은 기판을 삽입하여 이중 선형 편파를 구현하였다. 이와 같은 구조에 대해 성능을 검토하고 배열 안테나로서 가능성을 분석하기 위해 시험적으로 방사 소자 4개를 일렬로 나란히 배열된 구조를 제작

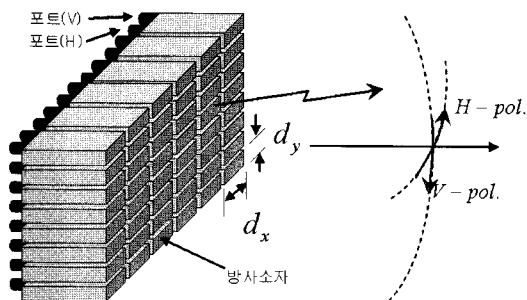


그림 1. 이중 선형 편파 위상 배열 안테나 예
Fig. 1. Example of phase array antenna with dual linear polarization.

하였으며, 측정된 결과를 계산 결과와 비교 검토하였다.

II. 설 계

본 논문에서 제시한 방사 소자의 구조는 그림 2(a)와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 개방된 리지 도파관에 다이폴 안테나가 인쇄된 기판이 삽입된 형태이다. 결합된 구조를 각각 분리하여 보면, 그림 2(b)는 리지 도파관으로 오른쪽은 개방되어 있고, 왼쪽은 SMA 콘넥터가 부착되어 있다. 그리고 그림 2(c)는 매우 얇은 기판으로 오른쪽 끝에 다이폴 안테나가 인쇄되어 있으며, 마이크로스트립 선로는 SMA 콘넥터와 연결된다.

그림 2에서 보여준 방사 소자에 대해 입력된 신호들이 어떻게 자유 공간으로 방사되는지 살펴보자. 먼저 입력 포트(V)로 들어간 신호는 매우 짧은 마이

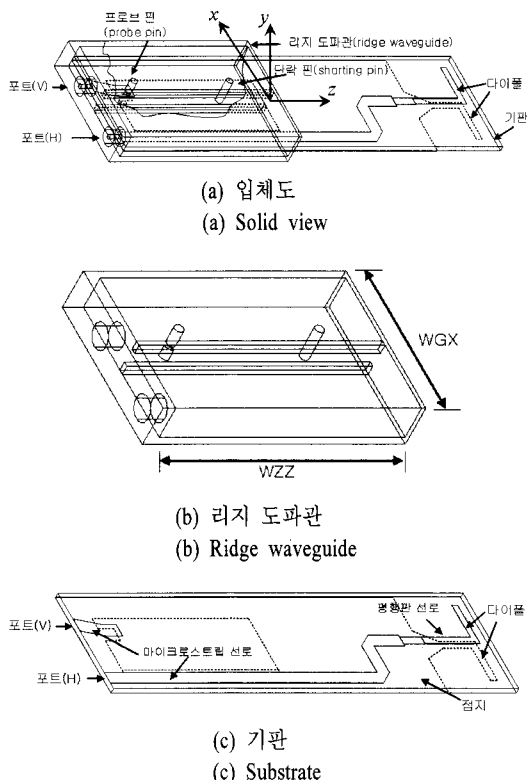


그림 2. 개방형 리지 도파관을 이용한 이중 선형 편파 방사 소자 구조

Fig. 2. Structure of the dual linear polarized radiation element using an open-ended ridge waveguide.

크로스스트립 선로를 거쳐 도파관 내의 윗벽과 아랫벽에 단락된 프로브(probe)에 의해 파를 여기하고 이렇게 여기된 파가 도파관의 개방된 부분에서 자유 공간으로 방사된다. 이때 전파는 그림 1에서 보여준 V 편파가 발생하게 된다. 그리고 입력 포트(H)로 들어간 신호는 마이크로스트립 선로를 거쳐 평행판 선로를 통과한 후에 다이폴에 의해 자유 공간으로 방사되며 H 편파가 된다. 전파를 수신하는 경우에는 이와 반대 방향으로 거쳐 각 포트에서 출력하게 된다.

이와 같이 편파를 달리하는 방사 소자가 함께 공존하는 형태이므로 서로 간에 상호 결합은 다소 있지만 매우 미약하므로 각 방사 소자는 거의 독립적으로 동작되는 것으로 근사적으로 볼 수 있다. 다음은 각 복사 소자의 설계 방법을 간략히 언급하고자 한다. V 편파를 발생시키는 그림 2(b)의 리지 도파관의 입체도를 정면도, 측면도, 옆면도 등의 세부 도면으로 나타내면 그림 3과 같다. 도파관 내부의 단면 크기는 폭 WGX 와 높이 WGY 로 표시되고, 도파관 폭은 배열 주기가 정해지면 도파관의 도체 두께를 고려하여 바로 결정되며, 도파관 높이는 폭에 비해 여유가 있지만 도파관 내부가 공진기 역할을 할 수 있도록 좀 작게 정해야 한다. 도파관 내부의 위, 아래에 있는 리지간의 간격이 적을수록 즉 리지의 높이 GGY 가 클수록, 그리고 폭 GGX 가 넓을수록 도파관의 차단 주파수를 낮아지게 하는 역할을 하므로 설계하고자 하는 동작 주파수 범위에서 고차 모드는 발생하지 않고 기본 모드만 잘 통과하면서 가능한 도파관의 크기를 적게 결정해야 한다. 또한, 그림 2(b)의 리지 도파관을 보면 입력 포트 쪽에 파를 여기시키는 급전 프로브가 있으며, 급전 프로브로부터 오픈 엔드쪽에 단락 핀이 있다. 단락 핀이 없는 경우에는 도파관의 길이 WZZ 에 의해 공진이 한 번 발생하여 주파수 대역폭이 비교적 좁게 나타난다. 좀 더 넓은 대역폭을 원하는 경우에는 그림에서 주어진 구조와 같이 단락 핀을 두어 이중 공진을 발생시킴으로써 대역폭을 넓힐 수 있다. 그림 3의 설계 과정에서 그런 이중 공진 모습을 확인하게 될 것이다.

다음은 그림 2(c)에서 보여준 바와 같이 다이폴이 인쇄된 기판에 대해 위에서 바라본 앞면과 뒷면을 구분하여 세부 설계도를 그림 4에 나타내었다. 여기에서 주의할 점은 마이크로스트립 선로와 평행판 선

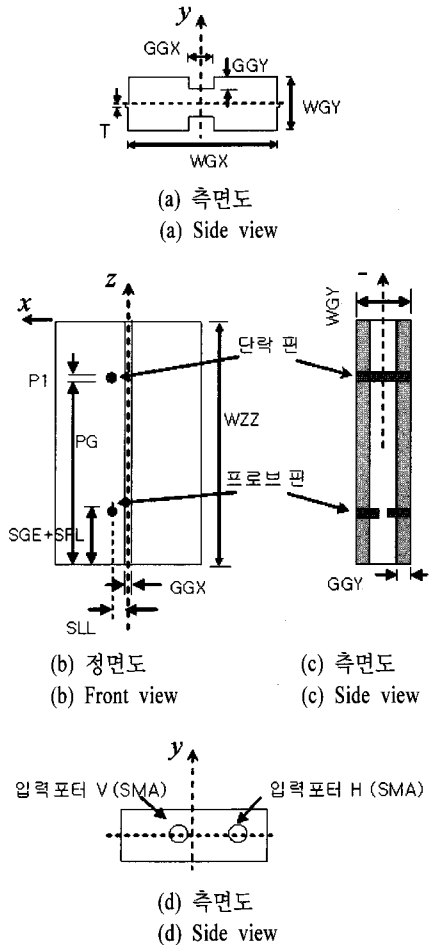
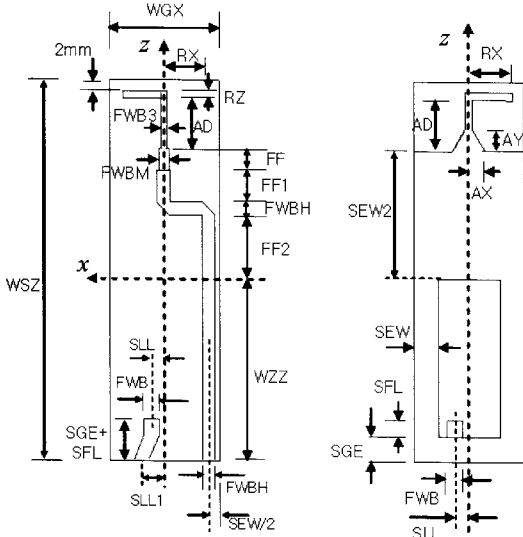


그림 3. 개방형 리지 도파관 설계
Fig. 3. Design of the open-ended ridge waveguide.

로 간에 서로 다른 특성 임피던스가 연결되어 있으므로 매칭이 잘 되게 설계해야 한다는 것이다. 이러한 목적으로 본 설계에서는 단일 스텝을 두었고, 접지면은 천천히 변화하도록 경사지게 설계하였다.

앞에서 언급한 설계 방법으로 주파수 범위가 9.0 ~ 10.2 GHz(대역폭 1.2 GHz)이고 스캔 각도가 약 60°인 배열 안테나에 사용될 수 있는 방사 소자를 설계하고자 한다. 그레이팅 로브(*grating lobe*)를 피하면서 요구 스캔 각도를 구현하기 위해서는 배열 간격대 파장 비는 $d/\lambda_0 < 0.66$ 의 조건을 만족해야 한다^[10]. 이를 만족하는 배열 주기로는 20 mm 정도가 적절하며, 또한 도파관의 도체 두께를 2 mm로 고려할 때 도파관 내부의 폭은 18 mm가 된다. 도파관의 높이는 비교적 여유가 있지만 공진기 역할을 하고 소형으로



(a) 앞면도 (a) Front view
(b) 뒷면도 (b) Back view

그림 4. 다이폴이 인쇄된 기판 설계
Fig. 4. Design of the substrate etched the dipole.

만들기 위해 4 mm로 정하였다. 그리고 도파관에 삽입될 기판은 비유전율이 $\epsilon_r=2.32$, 두께는 $t=0.787$ mm 인 테프론 기판을 사용하였다. 이와 같은 도파관과 기판을 가지고 전자파 수치 해석 S/W Tool인 CST사의 MWS로 설계하였으며, 최적화 과정을 거친 설계 수치는 아래와 같다.

AD=6.0, AX=2.0, AY=3.4, FF=3.5, FF1=11.0, FF2=15.0, FWB=2.278, FWB3=1.2, FWBH=2.0, FWBM=1.35, GGX=0.6, GGY=1.1, P1=1.0, PG=22.2, RX=6.4, RZ=1.0, SEW=4.0, SFL=2.5, SGE=4.0, SLL=2.0, WGx=18.0, WGY=4, WZZ=29.3 [단위 mm]

다음은 주요 설계 파라미터가 성능 특성에 미치는 영향을 알아보려고 한다. 먼저 도파관에서 단락 핀을 제거하고 도파관의 길이 WZZ의 변화에 따른 포트(V)의 반사 손실(return loss)을 계산하여 그림 5에 나타내었다. 여기서 사용된 설계 파라미터는 앞에서 언급된 설계 수치와 동일하다. 그림 5의 계산된 결과를 보면 8~12 GHz 대역에 한 번의 공진이 관찰되며, 도파관의 길이 WZZ가 증가할수록 공진 주파수는 낮아지는 모습을 볼 수 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이 단락 핀이 없는 구조에서는 설계 파라미터를 최적화하여도 주파수 대역폭

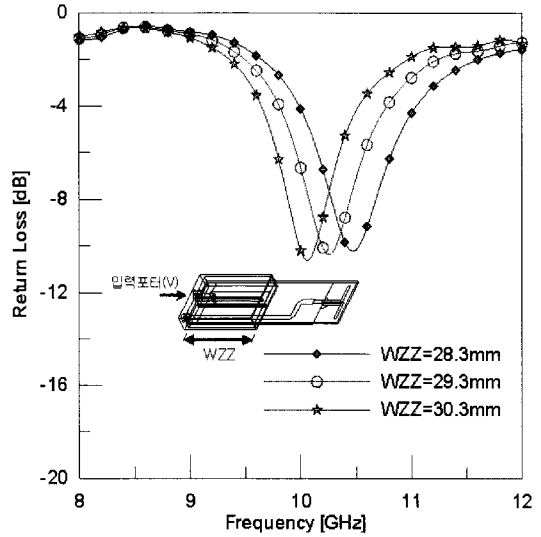


그림 5. 단락 핀이 없는 경우, 도파관 길이에 따른 포트(V)의 반사 손실
Fig. 5. Return loss at the port(V) versus waveguide length without shorting pin.

은 협대역일 수밖에 없다. 이런 좁은 대역폭을 개선하기 위하여 그림 2에서 보여준 바와 같이 도파관 내부에 단락 핀을 두므로 공진이 한 번 더 일어나게 만들어 대역폭을 증대시킬 수 있다. 그림 6을 보면

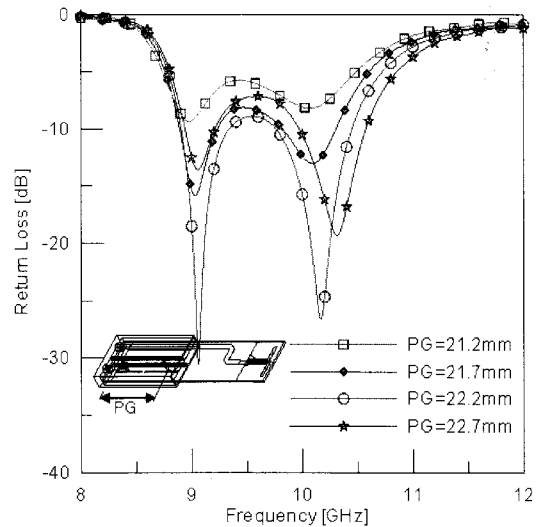
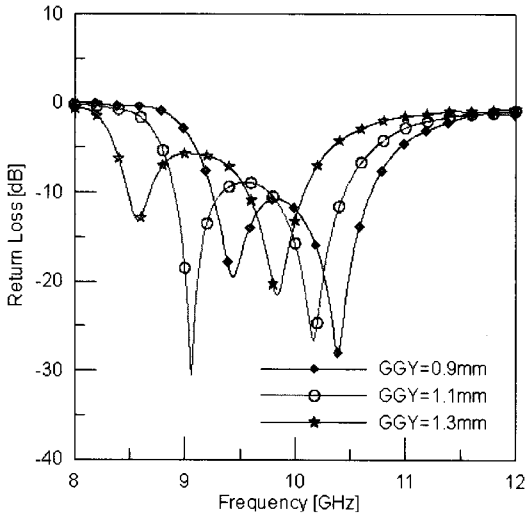


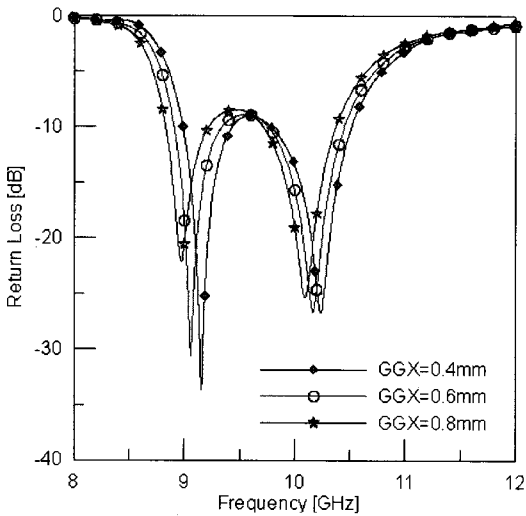
그림 6. 단락 핀의 위치 PG에 따른 port(V)의 반사 손실
Fig. 6. Return loss at the port(V) versus the location PG of the shorting pin.

입력 포트로부터 거리 PG만큼 떨어진 지점에 단락 편을 둔 경우로 한 번 더 공진이 생성되어 대역폭이 증대되는 모습을 볼 수 있다.

다음은 도파관 내의 아래면 위면에 있는 리지의 높이와 폭에 따른 반사 손실을 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 리지의 높이 GGY에 따른 반사 손실로 높이가 증가할수록, 즉 위, 아래 리지 간의 간격이



(a) 리지의 높이
(a) Ridge height



(b) 리지의 폭
(b) Ridge width

그림 7. 리지의 높이와 폭에 따른 port(V)의 반사 손실
Fig. 7. Return loss at port(V) versus the ridge height and width.

좁을수록 공진 주파수가 급격히 낮아지는 모습을 볼 수 있다. 그림 7(b)는 리지의 폭 GGX에 따른 변화를 보여주고 있는데, 리지의 높이의 변화에 의한 영향 보다는 조금 덜 변화되지만, 폭이 넓을수록 공진 주파수는 약간씩 낮아지는 모습을 볼 수 있다.

그리고 입력 포트(H)로 인가되는 신호는 기판에 인쇄된 다이폴 안테나에 의해 방사되는데, 여기에서 다이폴 길이는 약 반 파장 정도로 선택하여 설계된다. 이와 같이 최적 설계된 방사 소자의 포트별 반사 손실과 포트간의 격리도(isolation)를 그림 8에 나타내었다. 요구 주파수 범위(9.0~10.2 GHz)에서 포트(V)와 포트(H) 모두 반사 손실을 충분히 만족하였고, 포트간의 격리도는 동작 주파수 범위에서 25 dB 이하를 보여주고 있다. 그러나 본 논문의 방사 소자는 편파가 다른 두 입력 포트에 대해 동시에 동일 주파수를 사용하지 않고 번갈아 사용되는 배열 안테나 시스템에 적용하기 위한 것이므로 포트간의 격리도는 상대적으로 중요하지 않다.

설계된 단일 방사 소자에 대한 방사 패턴의 특성은 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)는 포트(V)에 입력된 신호가 개방된 도파관에서 방사되는 패턴을 보여준 것으로 이득은 5.3 dBi이고, 예상되는 바와 같이 xz-평면 패턴은 팔자 모양이고, yz-평면 패턴은 원의 형태임을 확인할 수 있다. 그리고 그림 9(b)는 포트(H)에서 입력된 신호가 다이폴에서 방사될 때의 패

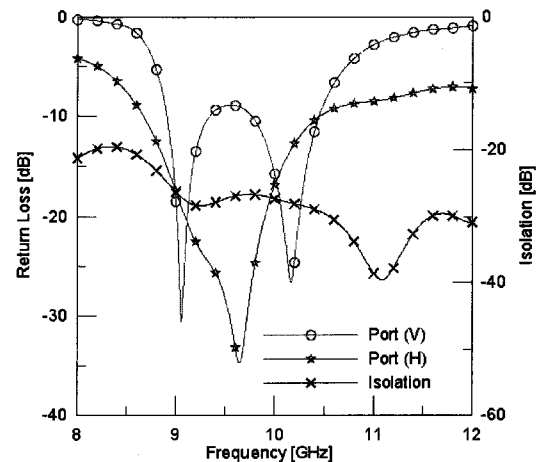


그림 8. 설계된 방사 소자의 반사 손실과 격리도
Fig. 8. Return loss and isolation of the designed radiation element.

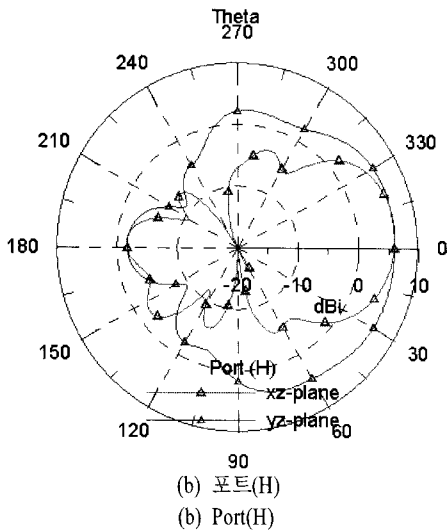
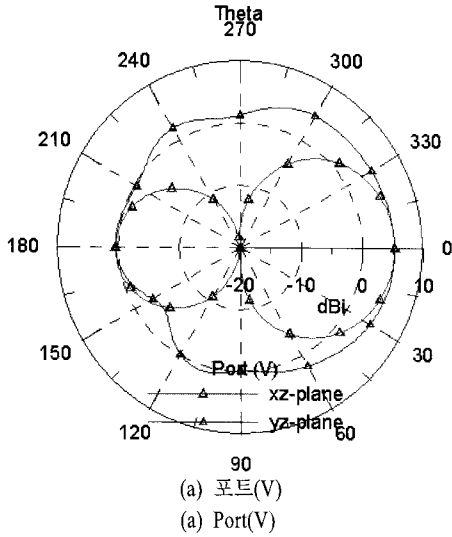


그림 9. 설계된 방사 소자의 방사 패턴
Fig. 9. Radiation pattern of the designed radiation element.

턴을 나타낸 것으로 이득은 6.1 dBi이다.

III. 제작 및 측정

앞에서 언급된 바와 같이 설계된 방사 소자는 배열 안테나에 사용되어야 하므로 성능 분석을 위해 시험적으로 4개의 방사 소자를 20 mm 간격으로 배열된 안테나를 제작하였다. 도파관 제작은 알루미늄 재질로 wire cutting 방법으로 도파관 내부를 가공하였으며, 포트 측면은 SMA 콘넥터를 조립한 후 볼트로 도파관에 연결하였다. 제작 완료된 모습은 그림

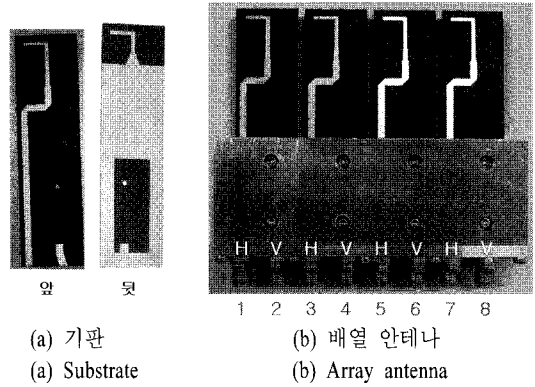
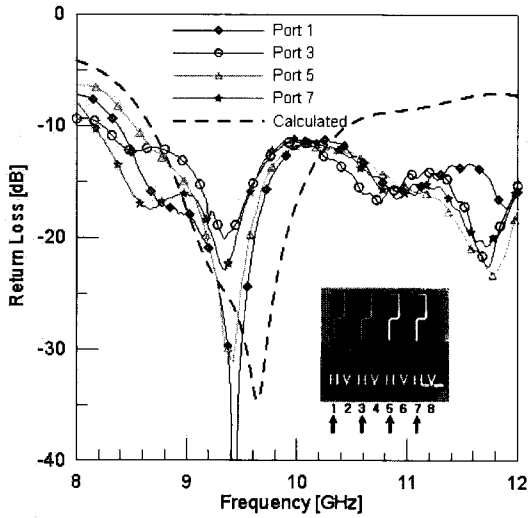


그림 10. 제작된 배열 안테나와 기관 사진
Fig. 10. Photograph of the fabricated array antenna and substrate.

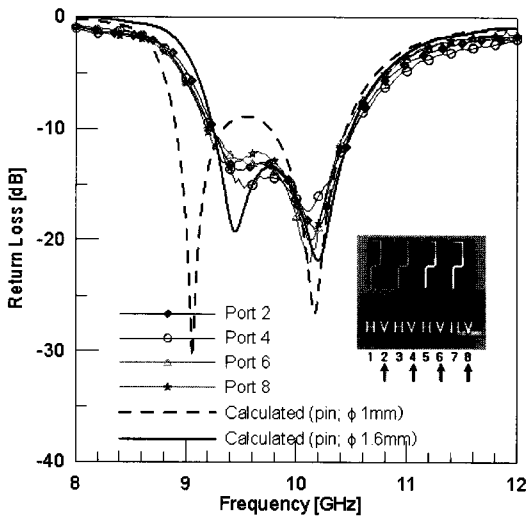
10에서 보여주고 있다.

그림 10에서 본 바와 같이 4개의 방사 소자가 배열된 안테나에 대하여 먼저 VNA(Vector Network Analyzer)로 반사 손실을 측정하였다. 측정시 입력 포트가 많아 편의상 좌측부터 번호를 1번부터 8번까지 부여하였다. 홀수인 1, 3, 5, 7번은 기관에 인쇄된 다이폴의 입력 포트이며, 짝수인 2, 4, 6, 8번은 리지 도파관의 입력 포트에 해당된다. 본 측정에서는 입력 포트 모두에 대해 반사 손실을 측정하여 계산 결과와 비교하여 그림 11에 나타내었다. 그림 11(a)는 홀수 번호 포트의 반사 손실로서 요구 주파수 범위에 대해 10 dB 이하로 만족하였다. 각 포트간의 반사 손실이 균일하지 못하고 약간씩 다른 것은 이미 언급한 바와 같이 조립시 콘넥터와 기관간의 연결 문제와 도파관 삽입시 평행을 유지하지 못한 것으로 여겨진다. 그림 11(b)는 짝수 번호 포트의 반사 손실을 나타낸 것으로 9 GHz대에서 성능이 예상보다 좀 못미치지만 두 번 공진되는 경향은 볼 수 있다. 9 GHz대에서 성능이 저하된 이유는 당초 직경 1 mm인 단락 핀과 프로브 핀이 사용되는 것으로 설계하였으나, 불가피하게 1.6 mm인 렌치 볼트를 사용되는 것으로 변경 제작되어 이로 인한 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위해 다시 계산하여 그림 11(b)에 함께 제시하였으며, 측정 결과 비교적 일치함을 확인할 수 있었다.

배열 안테나는 매우 인접하게 방사 소자가 배열되어 있으므로 불가피하게 각 방사 소자간의 상호



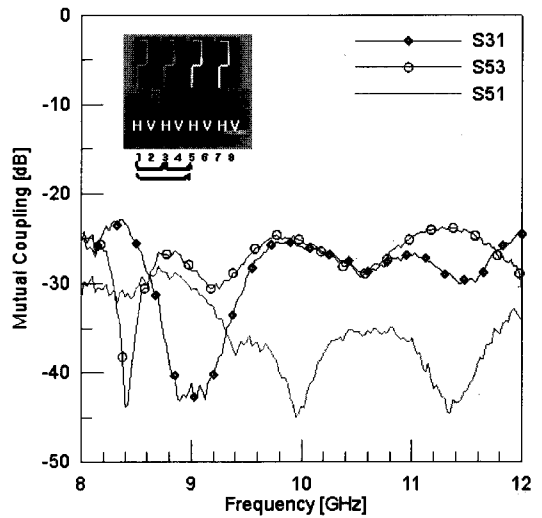
(a) 포트(V)
(a) Port(V)



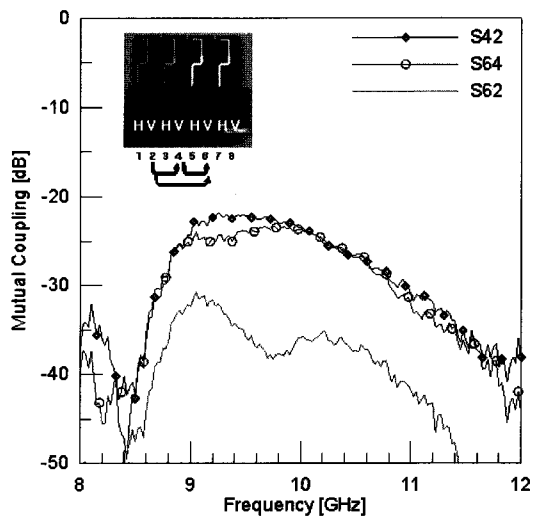
(b) 포트(H)
(b) Port(H)

그림 11. 배열 안테나의 반사 손실 측정 결과
Fig. 11. Measured results of the return loss for the array antenna.

결합이 생길 수밖에 없다. 이를 확인하기 위해 VNA 로 S-파라미터를 측정하였으며, 그림 12에 나타내었다. 이미 언급한 바와 같이 본 배열 안테나에서는 동시에 교차 편파를 사용하지 않고 번갈아 사용할 예정이므로 본 논문에서는 인접 채널간 동일 편파의 측정 결과를 제시하였다. 그림 12(a)는 H 편파에 대해 인접 채널간의 상호 결합을 보여주고 있으며, 그림 12(b)는 V 편파에 대해 인접 채널간의 상호 결합



(a) H 편파
(a) H-polarization



(b) V 편파
(b) V-polarization

그림 12. 배열 안테나의 인접 채널간 상호 결합 측정 결과
Fig. 12. Measured results of the mutual coupling for the array antenna.

을 보여주는 것으로 약 22 dB 이상이 되었다.

마지막으로 4개의 방사 소자가 배열된 그림 10의 안테나에 대하여 1:4 분배기를 연결한 후 방사 패턴을 측정하였다. 패턴 측정은 실내에서 NSI사의 Near field 측정 장비(XY scanner 5' wide by 5' high)를 사용하였다. 측정 결과는 계산 결과와 비교하여 xz-평면 패턴과 yz-평면 패턴에 대해 그림 13에 나타내었

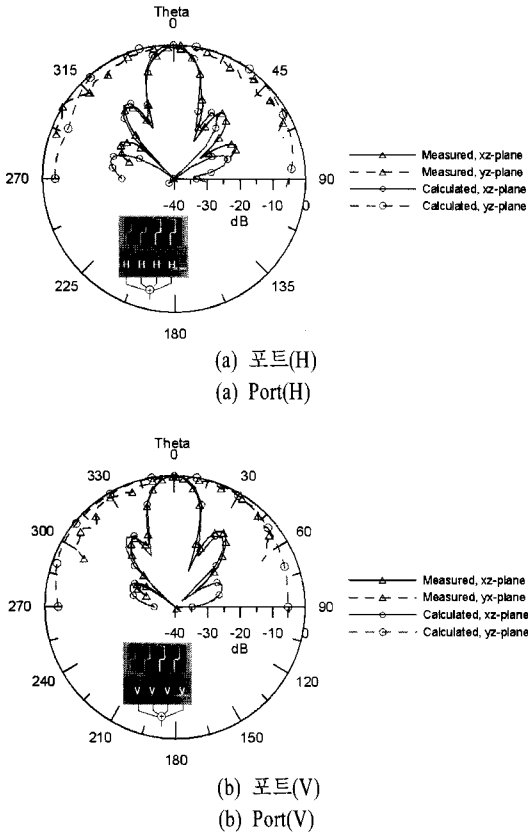


그림 13. 배열 안테나의 방사 패턴 측정 결과
Fig. 13. Measured results of the radiation pattern for the array antenna.

다. 그림 13(a)는 H 편파에 대한 측정 결과로 지향성 (directivity)은 약 14.6 dBi이며, 그림 13(b)는 V 편파에 대한 측정 결과로 지향성은 약 14 dBi로 측정되었다. 그리고 측정된 패턴 형태를 계산 결과와 비교하여 보면 주빔은 상당히 일치하지만 상대적으로 큰 각도에 있는 측엽에서 약간의 오차가 있는데, 이는 Near field 측정 장비의 특성상 측정 한계에 의한 것으로 사료된다.

IV. 결론

능동 위상 배열 안테나의 주요 잇점은 빔을 스캔할 수 있다는 것으로 스캔 각도를 크게 하려면 보다 적은 배열 간격이 요구되므로 방사 소자의 소형화는 필수적이다. 본 논문에서는 능동 레이더용 배열 안테나에 사용되기 위하여 입력 포트는 2개이고, 각각의 포트는 직교되는 선형 편파를 발생시키는 방사

소자를 구현하기 위한 소형 방사 구조를 제시하였다. 제시된 구조는 개방형 리지 도파관을 이용하여 소형화하였고, 리지 도파관 내부에 다이폴 안테나가 인쇄된 얇은 기판을 삽입하여 이중 선형 편파를 구현하였다. 이와 같은 구조에 대해 성능을 확인하고자 9.0~10.2 GHz대 방사 소자를 설계하였고, 실제 위상 배열 안테나에 적용하기 위해 미리 시험적으로 4개의 방사 소자를 20 mm 간격으로 배열된 안테나를 제작하여 측정하였다. 제작된 배열 안테나의 방사 손실, 인접 채널간 동일 편파 상호 간섭 및 방사 패턴을 측정하였고, 그 결과를 조사해 보았으며, 계산 결과와 비교 검토하여 상당히 일치한 것으로 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 구조는 이중 편파 특성을 갖는 위상 배열 안테나의 방사 소자로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Arthur A. Oliner, George H. Knittel, "Phased array antennas", *Proceedings of the 1970 Phased Array Antenna Symposium*.
- [2] 고지환, 이철수, 김광욱, 조영기, "V/UHF 대역 소형다이폴 원형 배열 능동 안테나 설계 분석", *군사과학기술학회 종합학술대회논문지*, 1, pp. 522-525, 2007년.
- [3] G. N. Tsandoulas, G. H. Knittel, "The analysis and design of dual-polarization square-waveguide phased array", *IEEE Trans.*, vol. AP-21, no. 6, pp. 796-808, Nov. 1973.
- [4] 고지환, 조영기, "무한한 플랜지가 장착된 개방형 직사각형 도파관 구조에 대한 산란 행렬 해석", *해양정보통신학회지*, 12(3), pp. 407-413, 2008년.
- [5] L. Habib, G. Kossivas, and A. Papiernik, "Cross-shaped patch with etched bars for dual polarization", *Electronics Letters*, vol. 29, no. 10, pp. 916-918, May 1993.
- [6] J. M. Baracco, A. Roederer, and P. Brachat, "Dual-polarization gridded microstrip radiation element", *Electronics Letters*, vol. 31, no. 6, pp. 419-421, Mar. 1995.
- [7] E. Lee, P. S. Hall, and P. Gardner, "Compact dual-

band dual-polarization microstrip patch antenna", *Electronics Letters*, vol. 35, no. 13, pp. 1034-1036, Jun. 1999.

- [8] Kin-Lu Wong, Hao-Chun Tung, and Tzung-Wern Chiou, "Broadband dual-polarized aperture-coupled patch antenna with modified H-shaped coupling sl-

ots", *IEEE Trans.*, vol. AP-50, no. 2, pp. 188-191, Feb. 2002.

- [9] J. D. Kraus, R. J. Marhefka, *Antennas for All Applications*, New York: McGraw-Hill, 2002.
 [10] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, 1998.

고 지 환



1982년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 8월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년~2000년: 한국전자통신연구원 연구원

2000년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계, 초고주파 도파관 및 부품 설계, 전자파 산란, 위성 통신

조 영 기



1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1981년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 교수

1992년~현재: 국제전파연합(URSI) 한국대표
 2000년~현재: 한국전자과학회 학술이사
 2002년~현재: 경북대학교 공과대학 BK사업 단장
 2008년~현재: 한국전자과학회 회장
 [주 관심분야] 전자기 산란 및 복사, 주기 구조, 안테나 이론

전 중 훈



1981년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1985년 1월~2002년 9월: 엘지이노텍(주)

2002년 10월~2004년 10월: 단암시스템즈(주)
 2004년 11월~현재: 삼성텔레즈(주)
 [주 관심분야] 레이더 시스템 설계 및 위상 배열 신호 처리