

# 서브 어레이를 이용한 Q 대역 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나의 설계

°허 전, 오순수, 성영제, 김영식  
고려대학교 정보통신대학 전파공학과  
johnfive@korea.ac.kr

## The design of series-fed microstrip array antenna using subarray at Q band

°Johns Heo, Soon-Soo Oh, Young-Jae Sung, and Young-Sik Kim  
Dept. of Radio Sciences and Eng., Korea Univ.

### Abstract

In this paper, a series-fed microstrip array antenna utilized a sub-array with a waveguide slot feeding is presented. This sub-array can reduce the feed loss compared with a full microstrip feed network. The sub-array has been designed both for a broad reflection bandwidth and a flat gain bandwidth from 40.5 GHz to 43.5 GHz. The 24×24 array antenna has been implemented with the maximum gain of 32.4 dBi.

### I. 서론

최근에 이동통신과 위성통신의 활성화, 또한 무선 멀티미디어 서비스의 폭발적인 수요로 인하여 높은 정보량과 초고속화에 대한 요구가 절실한 시점이다. 따라서 더 높은 주파수 자원을 활용하기 위한 밀리미터파 대역의 연구를 가속시켰으며 현재 밀리미터파를 활용한 대표적인 고속 무선 멀티미디어 서비스로 미국에서는 LMDS(Local Multipoint Distribution System), 한국에서는 B-WLL(Broad Wireless Local Loop)가 있으며 위의 스펙에 맞는 효율적인 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되어 현재 실용화 이르게 되었다. 그러나 한정된 주파수 자원과 더 높은 고속의 정보량의 요구에

따라 Q 밴드의 주파수 대역을 사용하는 멀티미디어 서비스로 BMWS(Broadband Multi-media Wireless Service)[1]가 연구 중이다. 따라서 본 논문은 위 서비스에 맞는 40.5GHz~43.5GHz의 주파수 대역을 가지며 높은 이득을 얻을 수 있는 안테나 설계에 중점을 두었다.

일반적으로 밀리미터파의 특성상 주파수가 올라갈수록 도체에 의한 손실은 늘어난다. 그러므로 저주파에서 큰 문제가 없었던 일반적인 마이크로스트립 라인에 의한 급전방법은 상당한 손실을 발생하게 되므로 고 이득을 기대할 수 없다[2]. 그러므로 본 논문은 밀리미터파에서 손실이 적은 도파관을 이용하여 슬롯을 통해 급전을 하여 패치로 결합되는 Hybrid coupling[3]구조를 택했다. 또한 안테나의 반사 손실 뿐 아니라

일정한 이득을 얻기 위해서 4×4 서브어레이 (Subarray)의 개념을 도입하였다[4]. 한 개의 서브어레이는 총 6×6의 방사 소자로 이루어져 총 24×24의 배열 안테나를 제작하였다. 측정 결과 최대 이득은 32.4dBi의 높은 이득을 얻을 수 있었다.

## II. 도파관의 설계

그림 1은 T-접합 단일 도파관의 모습을 나타냈다. WR-22의 표준 규격인 5.7mm×2.85mm의 크기를 약간을 변형시켜 4.6mm×2.85mm로 설계를 하여 42GHz일 때의 도파관내의 파장을 9.2mm에서 11.3mm로 늘어남에 따라 제작 공정에서의 공간적 제약을 제거했다. 통상적인 T-정합 도파관을 이용하여 가상 실험한 결과 원하는 주파수 대역에서 -5dB보다 높은 반사 손실을 가지는 것을 볼 수 있었다. 따라서 반사 계수의 특성을 향상시키기 위한 주요 파라미터로 W1, W2, W3를 설정하여 안소프트사의 HFSS로 시뮬레이션 하였다.

실험결과 W1=2.1mm, W2=0.2mm, W3=0.5mm에서 최적의 반사 손실을 가지는 것을 볼 수 있었으며, 원하는 주파수 범위에서 모두 -25dB 내외의 반사 계수 값을 볼 수 있다.

그림 2에서는 총 세 가지의 T-접합 단일 도파관의 반사 계수를 각각 도식하였다. 첫 번째 도파관은 일반적인 T-접합 단일 도파관으로 -5dB보다 높은 반사 손실을 보여 실질적으로 사용하기 어려웠고 두 번째의 경우는 도파관의 중앙에 W1=2.1mm 폭 0.5mm의 벽을 넣은 경우이다. 위 경우는 반사 계수가 -15dB 미만의 반사 손실을 보여주었다. 그러나 제안된 구조에 비해서는 약 10dB 높은 값을 보여 주었다.

각각의 단위 도파관으로 급전된 파가 전 주파수 범위에서 동일한 위상 및 크기를 가지기 위해서 동시 급전(corporate feeding) 방식을 택하였다. 이 급전의 특징은 각각의 서브어레이가 독립적인 관개로 안테나의 주 빔(main beam)

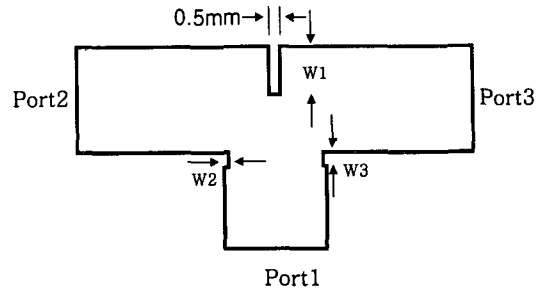


그림 1. T-접합 단일 도파관

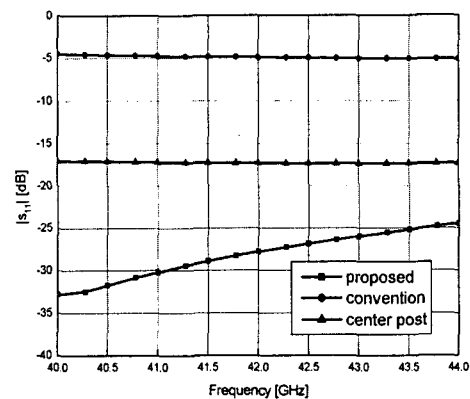


그림 2. 각 도파관의 반사 손실

이 기울어지는(tilt) 것을 막을 수 있는 장점이 있다[5]. T-접합 도파관로 급전된 파가 좌우로 나누어져 진행될 때 폭 D1=5.7mm에서 D2=4.6mm로 줄어든다. 또한 분기된 파는 동일한 거리까지 전달되며 또 다시 다른 T-접합 도파관으로 전달되어 동일한 위상 및 크기의 파를 각 서브어레이에 전달할 수 있다. 그림 3에서는 도파관의 급전 네트워크를 도식하였으며, 급전된 파가 서브어레이에 들어가기 전 각각 16개의 포트를 달아 HFSS로 시뮬레이션 하였다. 그 결과를 그림 4에서 도식하였다. 그림에서 알 수 있듯이 각각의 서브어레이에 전달되는 파의 S파라미터값은 1dB이내로, 위상은 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다. Port1에서의 반사 손실은 전 대역에서 -15dB(VSWR=1.5) 이하의 낮은 반사 손실 값을 가져 급전된 파가 효과적으로 서브어레이에 전달되는 것을 알 수 있다.

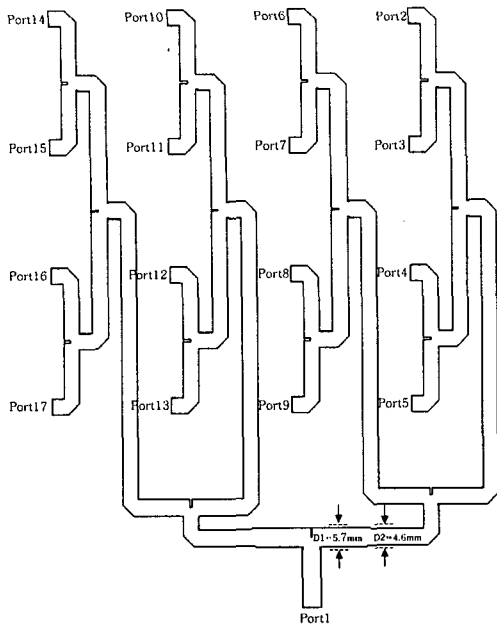


그림 3. 급전 네트워크

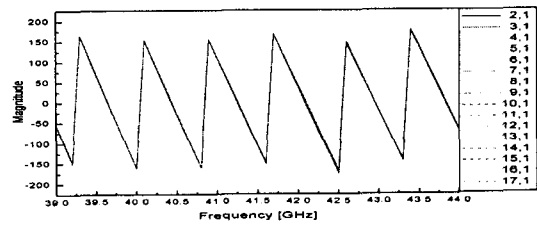
### III. 방사 패치의 설계

직렬 급전은 병렬 급전과 다르게 급전 라인의 길이를 최소화 시킬 수 있다. 따라서 급전라인에서 발생하는 방사와 급전 손실을 최소화 한다.

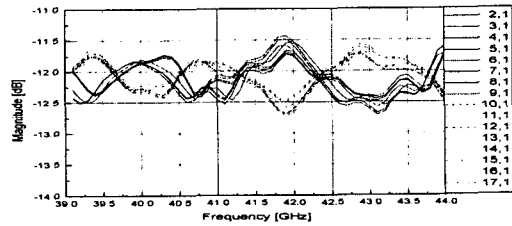
그러나, 직렬 급전은 주파수 대역폭이 좁고 주파수에 따라 주 빔이 기울어지는 단점을 가지고 있다. 이런 단점을 극복하고자 동일평면상에 기생 패치를 넣어 주파수 대역폭의 확장과 주 빔이 기울어지는 것을 방지 할 수 있었다[6].

그림 5는 1×3 패치의 설계를 나타낸 것이다. 주요한 파라미터 값으로 패치의 W2, L2, 각각의 기생 패치의 W1, L1, W3, L3, 패치 사이의 간격 S1, S2, 패치 사이의 간격 L3로 설정하였고 전력 손실을 최소화 하면서 원하는 주파수 대역을 얻기 위해 기판의 두께를 15mil, 비유전율을 2.2로 설정하여 IE3D로 시뮬레이션 하였다. W1=0.9mm, W2=1.6mm, W3=1.5mm, L1=2.13mm, L2=2.18mm, L3=2.15mm, L4=4.8mm에서 최적의 결과를 보여주었다.

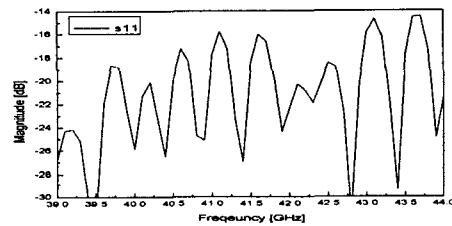
그림 6은 T접합으로 구성된 서브레이어의 전체 모습과 결과를 나타내었다. pcb 인쇄 기술을



(a) 2~17 port의 위상 비교



(b) 2~17 port의 크기 비교



(c) 1 port의 반사 손실

그림 4. 급전 네트워크의 시뮬레이션 결과

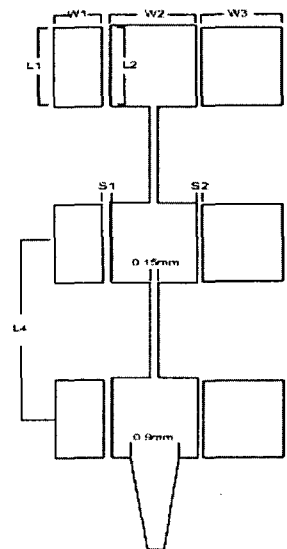
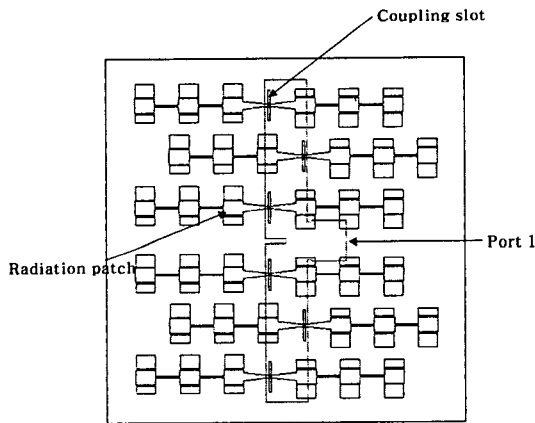
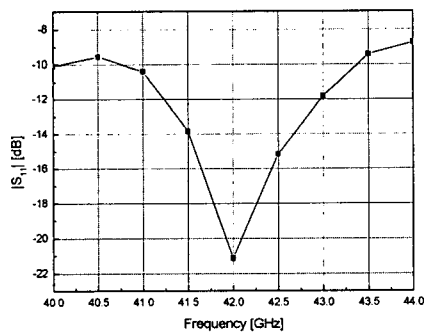


그림 5. 1×3 직렬 패치

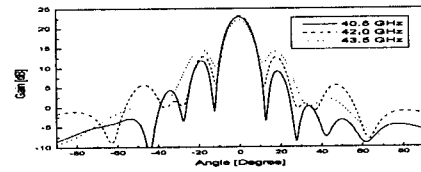
통하여 앞면에는 방사 소자 및 급전 라인을 설계 하였고 아래 기판은 슬롯을 설계하였다. 단락 형식(short-type) 서브어레이를 만들기 위해서 각각의 슬롯 사이의 거리를 중심 주파수의  $\lambda_g/2$  인 5.6mm 서브어레이의 끝단에서에서 첫 번째 슬롯까지의 거리는 중심 주파수의  $\lambda_g/4$ 인 2.8mm으로 설정하여 정현파(standing-wave)를 슬롯 중앙에 위치한 마이크로스트립 라인으로 급전하는 방식이다. 동일한 위상의 파를 급전하기 위해서 슬롯의 위치를 도파관의 중심으로부터 대칭적(alternative)으로 위치시켰다[7]. 슬롯의 폭과 크기는 HFSS로 튜닝을 이용하여 폭 0.25mm, 길이 3.4mm일 때 최적의 결과를 보였다. S11 값은 전 주파수 범위에서 양호한 결과를 나타내었으나 40.5GHz, 43.5GHz에서 -10dB 보다 약간 높은 값이 나왔다.



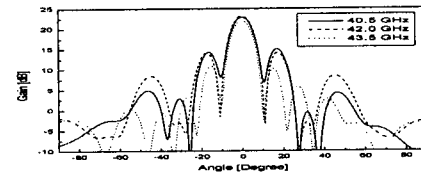
(a) 서브어레이의 구조



(b) 서브어레이의 반사손실



(c) E-plane 이득 패턴



(d) H-plane 이득 패턴

그림 6. 서브어레이의 구조와 시뮬레이션 결과

#### IV. 측정 및 결과

그림 7은 제작된 안테나의 구조를 나타낸다. 도파관을 가공했을 때 기판과 도파관을 연결할 수 있는 나사 구멍을 뚫어 기판과 도파관을 연결하였다. 또한 전기적인 접촉에 의한 이득의 감소를 방지하기 위해서 도파관 주변에 초크를 가공 전기적 접촉면의 불완전성에 의한 이득의 감쇄를 상쇄시켰다[8].

그림 8에서는 안테나의 측정결과를 나타냈다. 그림에서 보듯이 41GHz에서 41.5GHz사이의 반사손실이 -10dB를 넘어가는 것을 볼 수 있으나 원하는 대역 대부분에서 -10dB(VSWR=2)의 반

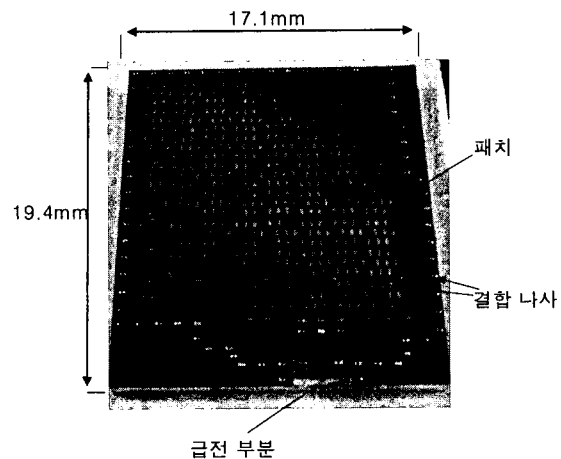
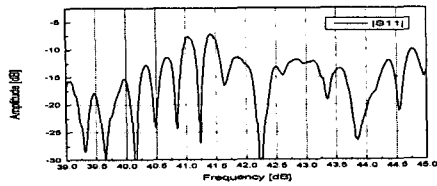
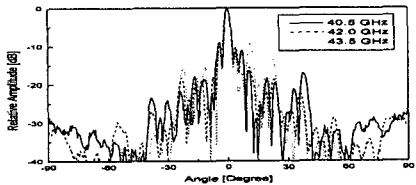


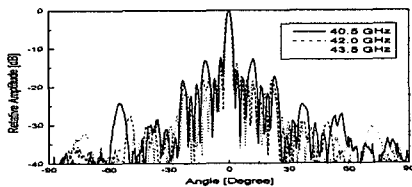
그림 7. 안테나의 전체 구조



(a) 안테나의 반사손실



(b) E-plane 패턴



(c) H-plane 패턴

그림 8. 안테나의 측정 결과

사 손실을 보여주었다. E-plane에서는 -9dB의 다소 높은 SLL(side lobe level)을 보였는데, 이는 서브어레이간의 간격이 넓은 까닭에 패치와 패치 사이의 간격이 반 파장을 넘어서는 부분으로 인해서 발생하는 현상으로 추측된다. H-plane에서는 -12dB 정도로 양호한 SLL을 나타내었다. 표 1에서 주파수별 이득 값을 나타냈다. 주파수 전 대역에서 높은 이득 값을 갖는 것을 볼 수 있었으며 특히 43GHz에서 32.4dB의 최대 이득을 가져 50% 이상의 고효율을 얻을 수 있었다.

### V. 결론

밀리미터파 대역에서 넓은 주파수 대역과 높은 이득을 얻고자 4x4 서브어레이를 이용한 도파관을 사용하여 설계 주파수 범위에서 -10dB 내외의 반사 손실과 최대 32.4dBi의 높은 이득을 얻을 수 있었다. 따라서, 제안된 안테나는 Q

표1. 주파수별 이득

Frequency(GHz)	Gain(dBi)
40.5	30.1
41	28.9
41.5	31.3
42	30.7
42.5	31.6
43	32.4
43.5	31.3

밴드용 무선 서비스인 BMWS의 상업용 통신 시스템의 가입자용 안테나로 이용이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] E. B. Kim, "Future Prospect of Broadband Wireless Access Loop," in *Proc. of the 3rd Workshop on B-WLL Technology*, Seoul, Korea, 2001.
- [2] M. Weiss, "Microstrip Antennas for Millimeter Waves," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 29, pp. 171-174, Jan. 1981.
- [3] F. P. Van Der Wilt and J. H. M. Strijbos, "A 40 Ghz Planar Array Antenna Using Hybrid Coupling," *Proc. of the Conference at the Astro Institute*, pp. 12-14, April 1999.
- [4] P. N. Richardson and H. Y. Yee, "Design and Analysis of Slotted Waveguide Antenna Arrays," *Microwave J.* pp. 109-125, June 1988.
- [5] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [6] C. Y. Oh, S. H. Seo, S. S. Oh, M. K. Yoon, Y. S. Kim, "B-WLL용 광대역 마이크로 스트립 안테나," *한국전자파 종합학술발표회 논문집*, vol. 10, pp. 381-384, Nov. 2001.
- [7] R. S. Elliott, *Antenna Theory and Design: Revised Edition*, New York: Wiley, 2003.
- [8] Y. Kimura, T. Hirano, J. Hirokawa, and M. Ando, "Alternating-phase Fed Single-layer Slotted Waveguide Arrays with Chokes Dispensing with Narrow Wall Contacts," *IEE Proc.-Microw. Antennas and Propagation*, vol. 148, pp. 295-301, Oct. 2001.