

혼합 패치를 이용한 Ku 대역 위성통신용 광대역 배열 안테나 설계

Wideband Array Antenna Design for Ku-Band Satellite Communications Using Mixed Patches

김성훈·고지환*

금오공과대학교 전자공학과

Seong-hun Kim · Ji-hwan Ko*

School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do 39177, Korea

[요 약]

본 논문은 고정위성업무(FSS; Fixed-Satellite Service) 및 방송위성업무(BSS; Broadcasting-Satellite Service)의 다운링크 대역을 통합하는 Ku 대역의 위성통신용 광대역 혼합 패치 배열 안테나의 설계에 관한 것으로서, 제안한 안테나는 FR4 기판 상에 사각 패치를 6 x 2 형태로 배열하여 구현되었다. FSS 다운링크 대역(10.7~10.95 GHz, 11.2~11.45 GHz) 및 BSS 다운링크 대역(11.7~12.5 GHz, 12.2~12.75 GHz, 11.7~12.2 GHz)을 모두 포함하는 광대역(10.7~12.75 GHz) 안테나를 설계하기 위해 11.5 GHz 및 12.5 GHz에서 동작하는 사각 패치를 각각 교대로 배열하였고 이를 통해 중심주파수의 30.8%에 해당하는 광대역을 확보하였다. 안테나의 성능을 확인하기 위해 제안한 안테나를 제작 및 측정하였고 모의시뮬 결과와 유사함을 확인하였으며 따라서 제안된 안테나는 FSS 및 BSS 다운링크를 위한 안테나로 적용이 가능하다.

[Abstract]

This paper proposes a design of a wideband array antenna involving the downlink bands of fixed satellite service (FSS) and broadcasting satellite service (BSS) by applying two mixed patch sets. The proposed antenna is implemented on FR4 substrate by arranging rectangular patches in 6 by 2. To design a wideband antenna (10.7~12.75 GHz) covering both FSS downlink bands (10.7~10.95 GHz, 11.2~11.45 GHz) and BSS downlink bands (11.7~12.5 GHz, 12.2~12.75 GHz, 11.7~12.2 GHz), rectangular patches working at 11.5 GHz and 12.5 GHz are arranged alternately, and thus the proposed antenna can obtain a wide bandwidth equivalent to 30.8% of the center frequency. The proposed antenna was fabricated and measured, and the results are well matched with the simulated ones. From the performances, the proposed antenna can be applied to the receiving antenna for FSS and BSS downlinks.

Key word : FSS and BSS, Mixed patch array antenna, Parallel-series feed, Satellite communications, Wide bandwidth.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.3.281>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 13 May 2023; Revised 2 June 2023

Accepted (Publication) 22 June 2023 (30 June 2023)

*Corresponding Author; Ji-hwan Ko

Tel: +82-54-478-7504

E-mail: kojh@kumoh.ac.kr

I. 서론

위성업무는 크게 고정위성업무, 무선측위 위성업무, 이동위성업무, 방송위성업무의 네가지로 구분된다. 이 중 고정위성업무(FSS; fixed-satellite service)는 1개 이상의 위성이 주어진 위치에 있는 지구국과 무선통신 업무를 수행하는 것을 말하고 방송위성업무(BSS; broadcasting-satellite service)는 일반인들(개인 또는 공동)이 우주국에서 송신된 신호를 직접 수신하는 무선통신 업무를 말한다.

국제전기통신연합의 무선통신부문(ITU-R)의 자료에 따르면 고정위성업무 및 방송위성업무용 다운링크 주파수 대역은 각각 10.7~10.9 GHz, 11.2~11.45 GHz 및 11.7~12.5 GHz(Region 1), 12.2~ 12.75 GHz(Region 2), 11.7~12.2 GHz(Region 3)이다 [1]. 이와 같이 다양한 무선통신 서비스들은 각각의 고유한 주파수 대역에서 제공되는데 이런 서비스를 단일 휴대형 단말기에 구현하고자 한다면 광대역 또는 다중대역 안테나 기술이 필요하다. 앞서 언급한 두 위성 서비스 대역들의 경우 일부 대역이 겹치므로 다중대역 안테나로는 구현이 어렵고 따라서 광대역 안테나 기술로 대역 통합을 구현할 수 있으며 이를 통해 보다 효율적인 휴대형 위성통신 시스템을 설계할 수 있다.

마이크로스트립 패치안테나는 공진형 안테나의 하나로써 대역폭이 좁은 단점이 있는데 이를 보완하고자 다양한 구조들이 연구되어 왔다. 대표적인 광대역 안테나 구조로는 슬롯 결합 구조, 적층 구조, 기생 패치 구조, 대수 주기 구조 그리고 U 슬롯 구조가 있다. 슬롯 구조 및 적층 구조는 20~30%의 대역폭 개선 효과가 있지만 수직적인 부피 증가와 대량생산이 어렵다는 단점이 있고, 기생 패치 구조는 대략 20% 정도의 대역폭 개선이 가능하나 안테나 부피 증가 및 배열로 확장이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 대수주기 구조는 패치의 크기를 설계 비율에 맞게 변화시켜 각각의 공진 특성에 의해 광대역이 형성되는 것을 이용한 방법으로 스택 안테나에 비해 대역폭이 1.5배 넓은 장점이 있으나 입력 전력에 대한 효율이 떨어지는 단점이 있다. 마지막으로 U슬롯 구조는 U슬롯 자체의 전류 분포에 따른 공진 특성과 패치 자체의 공진 특성을 이용하므로 단일 기판을 이용하여 대략 40%의 광대역 특성을 얻을 수 있으나 배열로 확장하기는 힘든 구조이다 [2].

본 논문에서는 광대역을 형성하기 위해 11.5 GHz 및 12.5 GHz에서 각각 동작하는 마이크로스트립 패치를 상하 교대로 배열하였고 이를 통해 FSS 및 BSS의 다운링크 대역을 모두 포함하는 광대역 안테나를 구현하였다. 50 Ω 급전선과 패치 간의 임피던스 정합을 위해 직병렬 급전방식을 적용하였고 이를 통해 방사소자 수의 증가에 따른 복잡도 및 선로 손실을 최소화 하였다. 제안한 안테나는 FR4기판 ($\epsilon_r=4.4$, 두께 1.6 mm, $\tan\delta=0.01$)상에 구현되었고 모의시험은 CST사의 MWS를 이용하였으며 최적화된 안테나를 제작 및 측정하여 모의시험 결과와 비교하였다.

II. 안테나 설계

마이크로스트립 패치 안테나는 공진형 안테나의 일종으로 대역폭이 좁은 단점이 있다. 이를 해결하고자 본 논문에서는 각각 서로 다른 주파수에서 동작하는 패치를 혼합 배열하였고 그 특성을 비교하기 위해 3종의 2 × 2 패치 배열 안테나를 모의시험 하였다. 모의시험을 통해 제안한 구조에서 광대역 특성이나 타남을 확인하였고 최종적으로 본 논문에서 제안하고자 하는 6 × 2 혼합 패치 배열안테나를 구현하였다.

2-1 2 × 2 혼합 패치 배열 안테나 설계 및 모의시험

설계의 첫번째 단계는 급전선에 관한 것으로써, 동작 주파수가 서로 다른 두 개의 패치를 연속으로 배열하기 위해 직병렬 구조를 적용하였다. 직병렬 급전 구조는 전력분배 비율 조절이 용이하고 낮은 선로 손실을 가지는 특성이 있다 [3], [4]. 급전선의 경우 그림 1에서 보는바와 같이 50 Ω 선로와 병렬로 연결된 세 개의 100Ω 선로를 매칭시키기 위해 40.8 Ω의 λ/4 임피던스 변환기가 적용되었고 100 Ω 선로와 243 Ω의 사각패치를 연결하기 위해 151.6 Ω의 λ/4 임피던스 변환기를 적용되었으며 이런 방식으로 각각의 패치에 이르는 급전선로가 설계되었다.

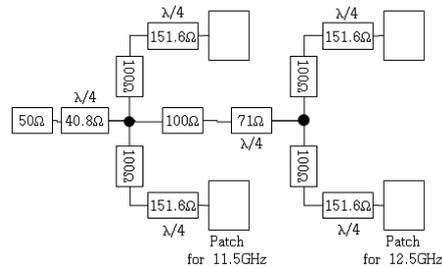


그림 1. 직병렬 급전선 설계
Fig. 1. Design of series-parallel feed line.

두 번째 단계는 마이크로스트립 패치 배열에 관한 것으로써, 방사소자 간의 상하 및 좌우 간격은 상호 결합 ($|S_{21}|$)에 영향을 준다. 예를들어, 패치간 간격이 가까우면 상호결합에 의해 간섭이 발생하고 이는 안테나 이득에 부정적인 영향을 미치지만 [5] 대역폭이 증가하는 효과가 있다 [6].

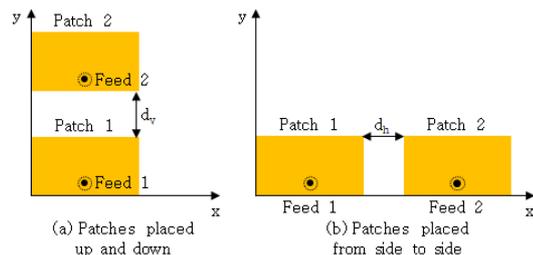


그림 2. 패치 배열에 따른 상호결합 모의시험
Fig. 2. Simulation of mutual coupling based on patch arrangement.

그림 2는 사각 패치의 상하 및 좌우 배열에 따른 상호 커플링을 확인하기 위한 모의시험 모델이다. 패치간의 간격은 배열 안테나의 성능 및 크기와 관련이 있는데 모의시험을 통해 확인한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 패치 간격에 따른 상호 커플링 모의시험 결과
Table 1. Simulation results for mutual coupling between patches.

distance [mm] ($d_v = d_h$)	mutual coupling [dB]	
	S_{21_dv}	S_{21_dh}
4	-11.2	-15.4
6	-15.1	-19.2
8	-16.6	-22.5
10	-17.6	-24.9

패치 간격에 따른 상호 커플링 모의시험은 11.5 GHz에서 동작하는 패치로 수행하였다. 동일한 간격 증가에 대해 상하로 배치된 패치보다는 좌우로 배치된 패치의 상호 커플링이 상대적으로 급격하게 감소하는 것을 확인하였고 이는 기존의 연구 결과 [7]에서도 확인이 된다. 모의시험 결과 및 기존 연구 결과를 근거로 본 연구에서는 상하 및 좌우 패치 간격을 대략 $0.3\lambda_0$ 로 적용하였다.

마지막 단계는 사각 패치 설계에 관한 것으로서, 패치의 길이, 폭, 임피던스 등은 참고문헌 [8]를 통해 각각 구할 수 있다. 계산을 통해 설계 주파수인 11.5 GHz 및 12.5 GHz 패치의 크기는 각각 $7.93 \times 5.46 \text{ mm}^2$ 및 $7.3 \times 4.94 \text{ mm}^2$ 가 되고 임피던스는 대략 243 Ω 으로 확인된다.

상기 연구를 통해 2×2 혼합 패치 배열 안테나 설계를 위한 파라미터들을 확인하였고 이를 통해 설계된 안테나의 형상은 그림 3과 같다. 제안된 안테나의 광대역 특성을 비교하기 위해 11.5 GHz (그림 3의 (a)) 및 12.5 GHz (그림 3의 (c))의 패치들로 이루어진 배열 안테나를 비교군으로 모델링 하였다.

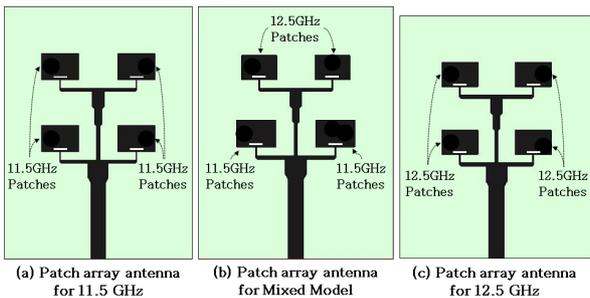
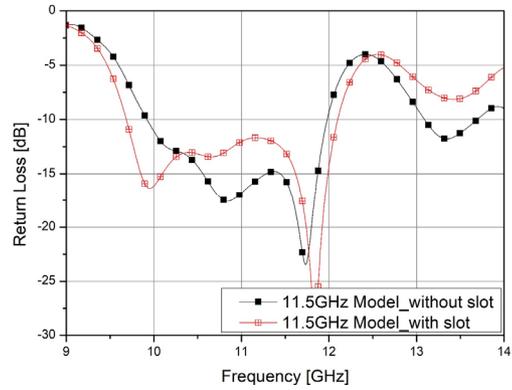


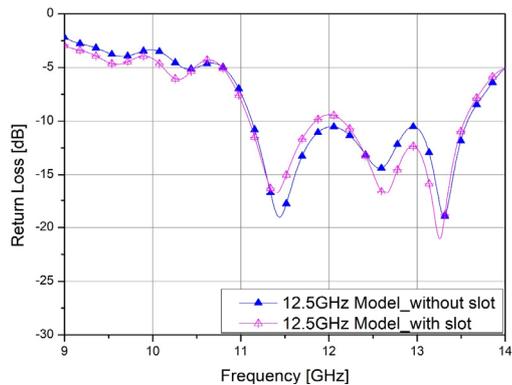
그림 3. 2×2 혼합 패치 배열 안테나 및 비교군 모델링
Fig. 3. Modeling of 2×2 mixed patch array and comparative array antennas.

그림 4는 세가지 모델의 임피던스 대역폭을 보여주는 것으로서 11.5 GHz 패치 배열 모델(9.18~12.1 GHz) 및 12.5 GHz 패치 배열 모델(11.09~13.54 GHz) 보다는 두 패치가 혼합된 모델에서 광대역(9.89~13.48 GHz)이 형성됨을 알 수 있다. 패치에

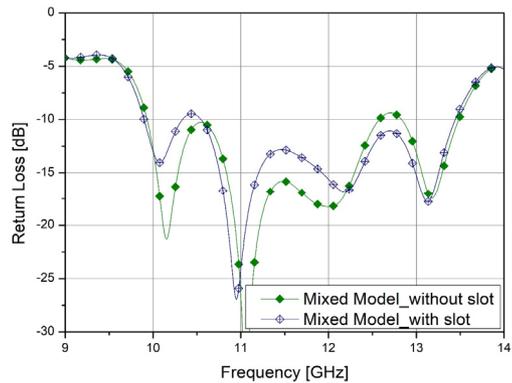
슬롯을 삽입할 경우 임피던스 매칭 소자로 작동하여 광대역 특성을 확보 할 수 있고 [9], 따라서 본 연구에도 슬롯을 적용하였으며 11.5 GHz 모델에서 그 효과를 확인할 수 있었다. 그림 4의 (c)에서 보여주는 것과 같이 본 시뮬레이션을 통해 제안된 혼합 패치 모델이 광대역 배열 안테나 구현을 위한 새로운 방안이 될 수 있음을 확인하였다.



(a) Patch array model for 11.5GHz



(b) Patch array model for 12.5GHz



(c) Mixed patch array model

그림 4. 3종의 2×2 패치 배열 안테나 모의시험 결과
Fig. 4. Simulation results of the three 2×2 patch antenna array.

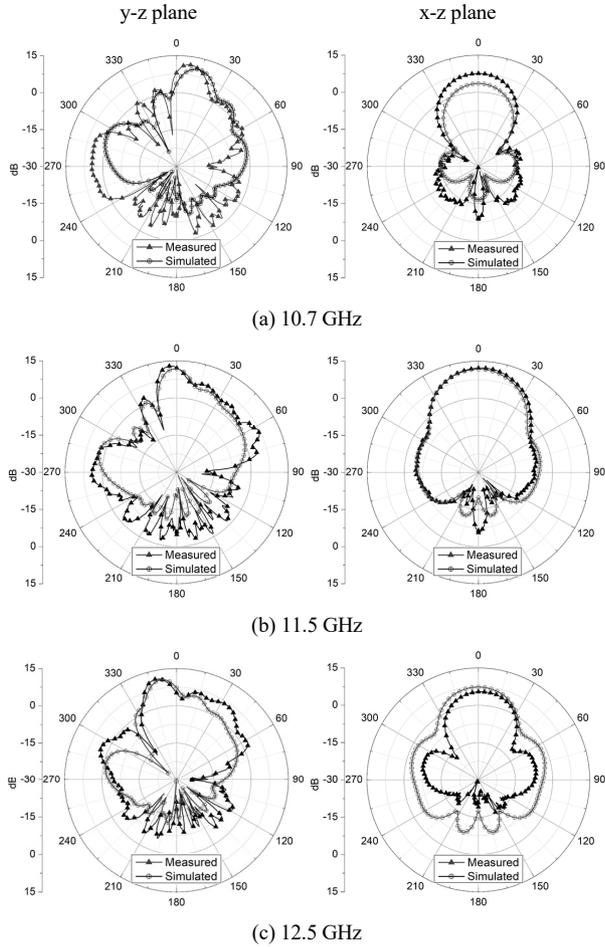


그림 8. 측정된 방사패턴
Fig. 8. Measured radiation patterns.

측정된 방사 패턴은 그림 8을 통해 확인할 수 있고 관심 주파수인 10.7 GHz, 11.5 GHz 및 12.5 GHz에서의 이득은 각각 11.7 dBi, 13.0 dBi 및 11.6 dBi 으로 확인된다. 마지막으로 제안한 안테나와 이미 발표된 Ku 대역 사각패치 배열안테나들의 특성을 비교하였고 그 결과를 표 3에 나타내었다. 패치 배열 방식 및 개수의 차이를 감안하더라도 제안된 안테나가 광대역에 강점이 있는 것으로 확인된다.

표 3. 제안한 안테나와 유사한 배열 안테나들의 특성 비교
Table 3. Comparison of proposed work with similar works.

division	array element	frequency range [GHz]	bandwidth [MHz]
[10]	4 × 4	13.6 – 14.5	880
[11]	1 × 8	14.0 – 14.5	500
[12]	8 × 2	11.5 – 12.9	1,400
[13]	4 × 4	13.7 – 14.2	500
proposed	6 × 2	9.6 – 13.1	3,500

IV. 결론

본 논문에서는 고정위성업무(FSS) 및 방송위성업무(BSS)의 다운링크 대역을 통합한 광대역 혼합 패치 배열 안테나를 제안하였다. 광대역 특성을 확보하기 위해 11.5 GHz 및 12.5 GHz의 사각 패치를 교대로 배열하였고 패치 간의 간격 조정을 통해 최적화된 결과를 얻을 수 있었으며, 연구를 통해 패치를 혼합 배열하는 것이 광대역 안테나 구현의 한가지 방안이 될 수 있음을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 근거로 안테나를 제작 및 측정하였고 두 결과의 유사성을 확인하였다. 측정된 대역폭은 3.5 GHz (9.6~13.1 GHz)로써 이는 고정 및 방송 위성 업무의 다운링크 대역인 10.7~ 12.75 GHz를 충분히 포함한다. 제작된 안테나의 크기는 40 × 105 mm² 이고 경량 및 박형이므로 휴대형 위성통신 장비에 적용이 가능하다.

Acknowledgments

본 연구는 금오공과대학교 대학 연구과제비(2022-2023)의 지원을 받았다.

References

- [1] J. Wang, "Introduction to BSS & FSS plans," *29th World Radiocommunication Seminar, ITUWRS, Geneva, Switzerland, Oct. 2020.*
- [2] Y. J. Yun, and Y. J. Kim, "광대역 안테나 기술," *Korean Institute of communications and Information Sciences, Vol. 16, Iss. 9, pp. 58~69, Sep. 1999.*
- [3] K. Ding, X. Fang, A. Chen and Y. Wang, "A novel parallel-series feeding network based on three-way power divider for microstrip antenna array," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., Vol. 12, pp. 757-760, Jun. 2013.*
- [4] H. Wang, K. E. Kedze and I. Park, "Microstrip patch array antenna using a parallel and series combination feed network," *International Symposium on Antennas and Propagation, Oct. 2018.*
- [5] H. J. Lee and H. C. Kim, "Design of K-band array antenna for satellite communications," *Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE), Vol. 60P, pp. 167-171, Dec. 2011.*
- [6] K. Kaboutari, A. Zabihi, B. Virdee and M. P. Salmasi, "Microstrip patch antenna array with cosecant-squared radiation pattern profile," *AEU-International Journal of Electronics and Communications, Vol. 106, pp. 82-88, Jul. 2019.*
- [7] A. Benalla, and K. C. Gupta, "Multiport network approach for modeling mutual coupling effects in microstrip patch

- antennas and arrays," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. AP-37, pp. 148-152, 1989.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [9] S. H. Kim and J. H. Ko, "CPW-fed super-wideband in-building repeater antenna design for wireless communication bands," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 32, No. 8, pp. 681-689, Aug. 2021.
- [10] D. Biswas, B. K. Priya, B. Nataraj, V. Ramachandra and V. N. Dabade, "Design & development of a Ku-band microstrip array antenna," *9th International Radar Symposium India-2013 (IRSI-13)*, Bangalore, India, pp. 1-4, Dec. 2013.
- [11] S. H. Noh, J. S. Yun, J. M. Kim and S. -I. Jeon, "Microstrip patch array antenna with high gain and wideband for Tx / Rx dual operation at Ku-band," *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, Vol. 3, pp. 2480-2483, Jun. 2004.
- [12] J. S. Yun, S. I. Jeon, J. I. Choi and J. S. Chae, "Satellite communication microstrip 8 x 2 array antenna for Tx / Rx dual operation at Ku-band," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 13, No. 6, pp. 574-581, 2002.
- [13] Y. Zhang, Z. Song, W. Hong and R. Mittra, "Wideband high-gain $\pm 45^\circ$ dual-polarized stacked patch antenna array for Ku-band back-haul services," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 14, Iss. 1, pp. 53-59, 2020.



김 성 훈 (Seong-Hun Kim)

2004년 8월 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 8월 : 고려대학교 전파통신공학과 (공학석사)
2020년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : 안테나 설계, 전자파 산란 등



고 지 환 (Ji-Hwan Ko)

1982년 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1985년 ~ 2000년 : 한국전자통신연구원 연구원
2000년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
※ 관심분야 : 안테나 설계, 초고주파 도파관 및 수동부품 설계, 전자파 산란, 위성통신 등