THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2026 January; 37(1), 18～25.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2026.37.1.18
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

Wi-Fi 2.4/5/6E를 위한 독립적 공진을 가지는 듀얼-와이드밴드 안테나

A Dual-Wideband Antenna with Independent Resonances for Wi-Fi 2.4/5/6E Applications

이 호 승 · 위 석 주 · 김 형 동

Hoseung Lee · Seokju Wi · Hyeongdong Kim

요 약

본 논문에서는 기존 Wi-Fi 대역인 2.4, 5 GHz뿐만 아니라 새롭게 확장된 Wi-Fi 6E 대역(5.925～7.125 GHz)을 모두 커버할 수 있는 광대역 듀얼밴드 안테나를 제안한다. 기본 구조는 2.4 GHz 대역에서 임피던스 매칭을 위해 피딩 루프가 결합된 모노폴 안테나이며, 5 GHz 대역의 고차 공진을 제어하기 위한 추가 구조체가 포함되어 있다. 이러한 요소들을 통합함으로써 제안된 모노폴 안테나는 각 대역에서 상호 간섭을 최소화하면서 독립적으로 동작할 수 있다. 측정 결과, 각각 520 MHz와 2,275 MHz의 대역폭을 가지며, 모든 동작 대역에서 −4 dB 이상의 방사 효율을 달성하여 제안된 안테나가 광대역 및 고효율 성능을 구현함을 확인하였다.

Abstract

In this letter, a dual-wideband antenna capable of covering the existing Wi-Fi bands of 2.4 GHz, 5 GHz, and the newly extended Wi-Fi 6E band (5.925～7.125 GHz) is proposed. The antenna consists of a monopole radiator combined with a feeding loop to achieve impedance matching in the 2.4 GHz band, along with an additional structure element designed to control the higher-order resonance in the 5 GHz band. By integrating these elements, the proposed monopole antenna could operate independently in multiple bands with minimal mutual influence. The measured results demonstrate bandwidths of 520 MHz and 2,275 MHz for the lower and upper bands, respectively, with radiation efficiency exceeding −4 dB across all operating bands, confirming that the antenna achieves wideband and high-efficiency performance.

Key words: Mobile Antenna, 5G, Internet of Things (IoT), Wi-Fi, Wi-Fi6E, Wideband

Ⅰ. 서 론

최근 수년간 다양한 분야에서 기술이 빠르게 발전하였으며, 특히 통신 기술은 5세대(5G) 통신 시스템의 개발로 인해 가속화된 진보를 이루고 있다. 통신 시스템의 발전에 따라 이는 영상 스트리밍, 사물인터넷(IoT), 스마트 홈, 웨어러블 기기와 같은 응용뿐만 아니라 블랙박스 기록장치[1]와 같은 광범위한 데이터 수집 시스템에서도 필수

한양대학교 융합전자공학부(Department of Electronic Engineering, Hanyang University)
· Manuscript received October 14, 2025 ; Revised October 26, 2025 ; Accepted November 5, 2025. (ID No. 20251014-123)
· Corresponding Author: Hyeongdong Kim (e-mail: hdkim@hanyang.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적인 요소가 되었다. 이 가운데 영상 스트리밍 서비스는 점점 더 높은 해상도를 요구하고, IoT 관련 기술은 대규모 데이터 송수신을 필요로 하고 있어서 이러한 요구를 충족하기 위해 통신 시스템은 전송 용량을 높이고자 기존의 2.4 GHz 대역을 넘어 5 GHz 대역과 같은 더 높은 주파수 대역을 활용하거나 여러 개의 안테나를 이용하여 무선 통신 용량을 확장하는 MIMO(multiple-input multiple-output) 안테나 기법[2]~[4]도 널리 채택되고 있다. 그러나 다양한 기기에 안테나가 통합되고 Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee와 같은 무선 시스템이 급격히 확산되고 있고 전자레인지[5]와 같은 통신은 하지 않지만 전자기파를 방출하는 가전제품[6]들도 늘어감에 따라 최근에는 2.4 GHz 대역뿐만 아니라 5 GHz 대역에서도 혼잡 현상이 발생하고 있다. 이로 인해 시스템 성능이 저하되어 전송 속도 감소, 잦은 연결 끊김 및 지연, 신호대잡음비(SNR) 감소, 장치 간 충돌 증가와 같은 문제가 발생한다. 따라서 기존 2.4 GHz 및 5 GHz Wi-Fi 대역의 혼잡 문제를 해결하기 위해 5.925 GHz에서 7.125 GHz에 이르는 새로운 주파수 대역을 사용하는 Wi-Fi 6E가 도입되었다[7],[8]. 이와 함께, 넓어진 동작 대역을 효율적으로 활용하기 위해 듀얼밴드 안테나 설계를 위한 다양한 접근법이 제안되어 왔다. 대표적인 방법은 두 개의 독립적인 방사체를 사용하여 각각의 공진을 생성하고 서로 다른 주파수 대역을 커버하는 방식이다[9]. 다른 방법은 급전 구조를 수정하는 방법[10]이나, 칩 소자나 특정 패턴 구성을 통해 기존 안테나의 고차 공진을 활용하는 방식[11]이 있다. 그러나 이러한 접근법들은 특히 5 GHz와 같이 높은 주파수 대역에서 공진 간 상호 결합 문제에 취약하다는 점과 임피던스 매칭을 위해 캐패시터와 인덕터를 과도하게 사용할 경우 추가 손실이 발생하여 안테나 성능이 저하될 수 있다[12]. 따라서 집중소자의 사용을 최소화하면서 각 공진을 독립적으로 조정할 수 있고, 대역 간 간섭을 최소화하는 듀얼밴드 안테나의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 기존의 모노폴 구조에 새로운 방사체(추가 구조체)를 도입하여 기존 Wi-Fi 대역(2.4 GHz 및 5 GHz)과 새롭게 등장한 Wi-Fi 6E 대역을 동시에 커버할 수 있는 안테나 설계를 제안한다. 제안된 안테나는 각 대역이 서로 독립적으로 동작하기 때문에 특정 대역의 주파수 조정 및 임피던스 매칭이 다른 대역에 거의 영향을 미치지 않으며, 이를 통해 모든 목표 대역을 아우르는 고효율 안테나를 구현할 수 있다.

Ⅱ. 안테나 설계 및 시뮬레이션 결과

그림 1은 제안된 안테나의 형상을 보여주며, 본 안테나는 2.4~2.5 GHz와 5~7 GHz Wi-Fi 대역에서 동작한다. 접지면은 100×60 mm^{2}의 크기와 1 mm의 두께를 가지며, FR-4 기판(유전율 εr=4.4, 손실탄젠트 tan δ=0.02) 위에 에칭되어 있다. 안테나 자체는 6×60 mm^{2}의 클리어런스 영역을 차지한다. 제안된 구조는 피딩 라인에 연결된 두 개의 추가 구조를 결합한 모노폴 안테나를 기반으로 한다. 모노폴은 수직으로 6 mm 연장된 뒤, 수평으로 24 mm 굽어 있다. 그 끝단에서는 고차 공진을 조절하기 위해 3 mm 안쪽에 직렬 인덕터(Lr)가 삽입되어 있다. 부가된 두 개의 구조는 모두 루프형 요소이며, 피딩 구조에는 임피던스 정합을 위해 안테나 패턴과 직렬로 연결된(신호원과는 병렬) 커패시터(Cf)가 포함되어 있다. 두 루프 구조의 치수 및 칩 캐패시터 Cf와 칩인덕터 Lr의 값은 표 1에 요약되어 있다.

그림 2는 제안된 안테나의 반사 계수(reflection coefficient)를 나타낸다. 그림에서 보이듯이, S11 곡선은 저대역에서 610 MHz(2.03~2.64 GHz)의 3:1 VSWR 대역폭을 보여주며, 이는 비교적 넓은 동작 범위를 제공한다. 반면, 고주파 영역에서는 중간 및 고대역에서 두 개의 공진이 결합되어 2.16 GHz(4.97~7.13 GHz)의 초광대역 대역폭을 형성한다. 따라서 제안된 안테나는 기존의 모든 Wi-Fi 대역

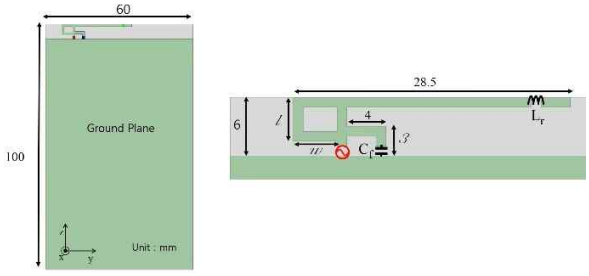


그림 1. 제안된 안테나의 기하 구조
Fig. 1. Geometry of proposed antenna.

표 1. 제안된 안테나의 여러 매개변수 값과 치수
Table 1. Various parametric value, and dimensions of proposed antenna.

Parameter	Value
Cf	0.6 pF
Lr	3 nH
l	4.5 mm
w	4.5 mm

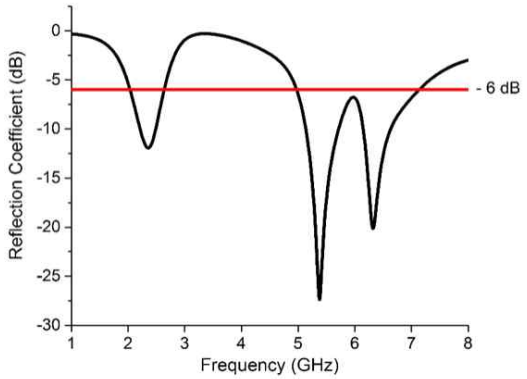


그림 2. 제안된 안테나의 시뮬레이션된 반사계수
Fig. 2. Simulated reflection coefficient of proposed antenna.

은 물론, 새로 할당된 Wi-Fi 6E 대역까지 포괄함으로써, 광대역 안테나 솔루션으로서의 기능을 성공적으로 수행한다.

Ⅲ. 동작원리

3-1 Low Band

그림 3은 2.35 GHz에서의 전류 분포를 나타낸다. 좌측의 추가 구조에서는 약한 전류만이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 주파수 대역에서는 모노폴 구조가 안테나 동작에 지배적인 역할을 하기 때문에 추가 구조는 안테나 저주파 공진 형성에 기여를 거의 하지 않는다.

그림 4는 피딩 루프에 직렬로 연결된 커패시터 Cf의 값 변화에 따른 임피던스 변화를 보여준다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이, Cf의 값이 작아질수록 전류 경로와 결합 정도가 달라지기 때문에 2.4 GHz 대역의 공진 및 5.5 GHz 대

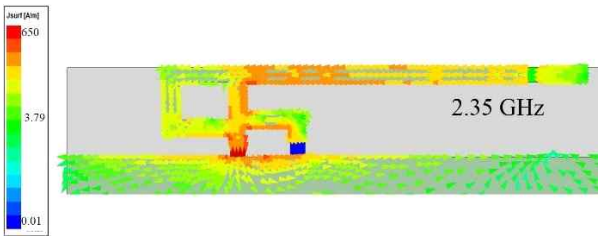
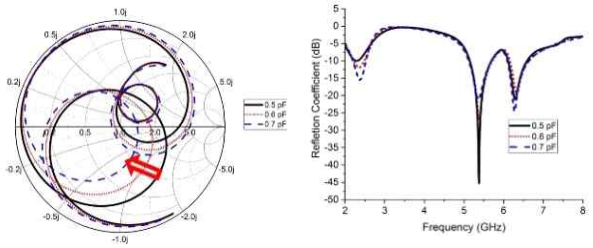


그림 3. 제안된 안테나의 2.35 GHz에서의 전류분포
Fig. 3. Current distribution of proposed antenna at 2.35 GHz.



(a) 스미스 차트 (b) 반사계수
(a) Smith chart (b) Reflection coefficient

그림 4. 직렬 커패시터 Cf에 대한 변화
Fig. 4. Variation of the series capacitor Cf.

역의 임피던스 매칭이 함께 변화한다. 그러나 그림 4(b)에서 확인할 수 있듯이, Cf의 변화는 주로 저주파 대역의 공진 위치에 영향을 미치며, 고주파 대역에서는 임피던스 특성 변화가 매우 작다. 이는 고주파 공진이 추가 구조에 의해 독립적으로 형성되기 때문이다.

3-2 Middle Band

그림 5는 5.37 GHz에서의 전류 분포를 나타낸다. 5.5 GHz에서 좌측 추가 구조의 코너 부분에 전류의 영점(null point)이 형성되며, 이 추가 구조가 피딩 구조와 결합되면 모노폴과 독립적인 모드를 생성한다. 이 모드는 모노폴 방사체의 영향을 거의 받지 않고, 주로 추가 구조와 피딩 루프의 영향을 받는다. 또한 피딩 루프에 연결된 직렬 커패시터 Cf는 저주파에서는 낮은 전류가 흐르지만 고주파 대역 전류가 강하게 흐르는 위치에 배치되어 있기 때문에, 높은 전류분포보다는 낮은 전류분포에서 전압분포가 크기 때문에 Cf 값의 변화로 인한 임피던스 매칭의 변화는 그림 4에서 본 바와 같이 매우 미미하다. 즉 이 대역의

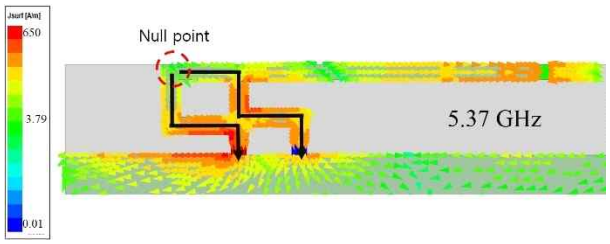
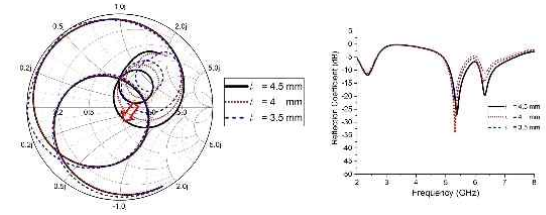


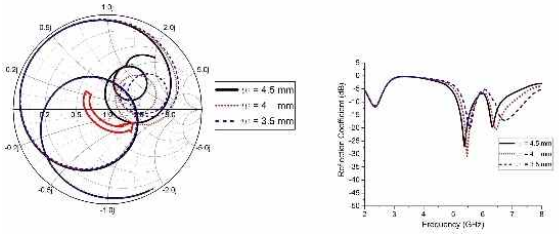
그림 5. 제안된 안테나의 5.37 GHz에서의 전류분포
Fig. 5. Current distribution of proposed antenna at 5.37 GHz.

공진은 모노폴 방사체의 전류 분포나 저주파 공진에 영향을 거의 받지 않는다.

그림 6은 추가 구조의 길이(l)와 폭(w)의 스미스 차트 및 반사계수의 변화를 보여준다. 길이(l)이 증가함에 추가 구조의 전류 경로가 길어지면서 피딩 루프와의 결합이 강해지기 때문에 중간 대역의 공진의 크기가 커진다. 또한 폭(w)이 변할 경우에는 추가 구조의 유효 길이가 늘어나는 효과로 인해서 공진 주파수가 더 낮은 주파수 쪽으로 이동한다. 저주파 공진이 주로 모노폴 방사체에 의해서 형성되기 때문에 추가 구조의 길이와 폭의 변화는 저주파 대역에 미치지 않는다.



(a) 길이 (l)의 변화
(a) Different values of length l



(b) 폭 (w)의 변화
(b) Different values of length w

그림 6. 추가 구조의 치수 변화에 따른 스미스 차트 및 반사 계수 변화
Fig. 6. Effect of dimensional variation of the additional structure on the Smith chart and reflection coefficient.

3-3 High Band

그림 7은 6.29 GHz에서의 전류 분포를 보여준다. 7 GHz 공진은 모노폴의 고차 공진(high-order resonance)을 제어함으로써 형성된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 이 주파수에서의 전류 분포는 비교적 약하지만, 고차 전류가 강하게 흐르는 위치에 직렬 인덕터가 연결되어 있기 때문에 전류 분포가 강한 곳에 영향을 많이 받는 인덕터 때문에 모노폴의 고차 모드만이 선택적 영향을 받는다. 또한 6.29 GHz 공진은 5.37 GHz 공진과 공통의 전류 경로를 공유하므로, 두 공진은 상쇄 없이 공존할 수 있으며, 두 공진 사이에서 모드 결합이 자연스럽게 이루어진다.

그림 8은 모노폴에 직렬로 연결된 인덕터(Lr) 값의 변화를 보여준다. Lr의 값이 증가함에 따라 모노폴의 유효 길이가 길어지는 효과 때문에 고주파 대역의 공진은 낮

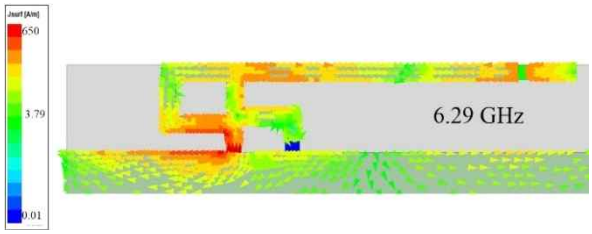
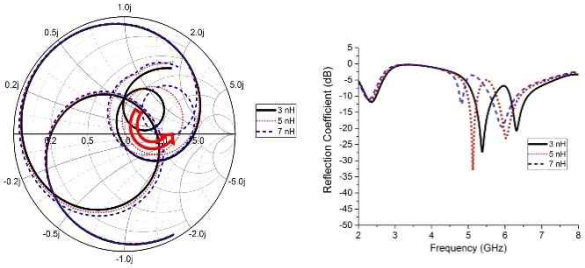


그림 7. 제안된 안테나의 6.29 GHz에서의 전류분포
Fig. 7. Current distribution of proposed antenna at 6.29 GHz.



(a) (b)

(a) 스미스 차트 (b) 반사계수
(a) Smith chart (b) Reflection coefficient

그림 8. 직렬 인덕터 Lr에 대한 변화
Fig. 8. Variation of the series inductor Lr.

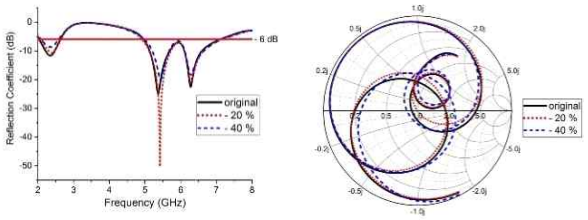
은 주파수로 이동한다. 고주파 대역의 공진이 중간 대역의 공진에 근접하게 되면 두 공진 간의 결합이 강해져, 고주파 대역의 공진이 더욱 강화되지만 중간 대역의 공진에서 멀어지면 두 공진 간의 결합이 약해져서 공진이 작아진다. 반면 저주파 공진은 인덕터가 위치한 영역에서 전류의 세기가 약한 곳에 위치해 있다. 인덕터는 전류의 세기가 강한 곳에 영향이 있고 전류가 약하면 영향이 미미해지는 특성이 있다. 따라서 Lr 값의 변화에 따른 임피던스 매칭이나 공진 주파수의 변동에 매우 미미하다.

그림 9는 그라운드 면적 비율에 감소에 따른 변화를 보여준다. 그라운드 면적이 20 %, 40 % 감소하더라도 반사계수와 스미스 차트에 큰 변화가 없다. 이는 제안된 안테나가 소형 그라운드 환경에서도 안정적인 성능을 유지할 수 있다는 것을 의미한다.

Ⅳ. 측정결과

그림 10은 제작된 안테나와 측정 중인 제안된 안테나의 사진을 보여준다. 제작된 시제품은 6×3×3 m^3 크기의 3D CTIA(cellular telecommunications industry association) OTA 무반사실 내에서 Keysight E5071C 네트워크 분석기를 사용하여 측정되었다. 설계에는 직렬 커패시터(Cf=0.6 pF)와 직렬 인덕터(Lr=2.7 nH)가 사용되었다.

그림 11은 제안된 안테나의 측정된 반사계수를 보여준다. 2.4 GHz 대역에서의 측정된 대역폭은 520 MHz(2.02～2.54 GHz)이며, 5 GHz 대역에서는 2.275 GHz(4.94～7.22 GHz)의 광대역 특성을 나타낸다. 이러한 결과는 제안된 안테나가 기존의 5G Wi-Fi 대역(5.15～5.875 GHz)뿐만 아



(a) 스미스 차트 (b) 반사계수
(a) Reflection coefficient (b) Smith chart

그림 9. 그라운드 면적 비율 감소에 따른 변화
Fig. 9. Effect of ground plane area reduction ratio.

(a) 제작된 제안 안테나
(a) Fabricated proposed antenna

(b) 측정 환경
(b) Measurement environment

그림 10. 제작된 제안 안테나 및 측정 환경
Fig. 10. Fabricated proposed antenna and measurement environment.

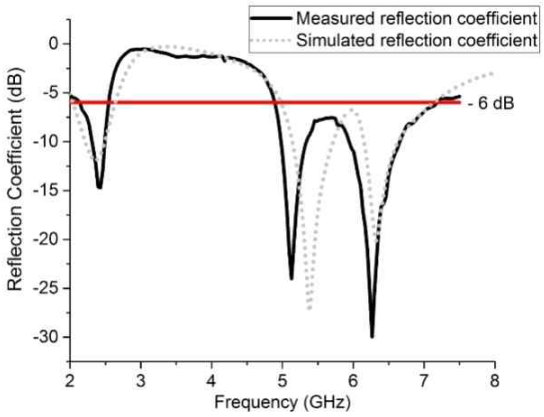
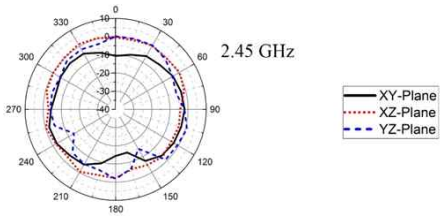


그림 11. 제안된 안테나의 측정된 반사계수와 시뮬레이션 된 반사계수
Fig. 11. Measured, and simulated reflection coefficient of proposed antenna.

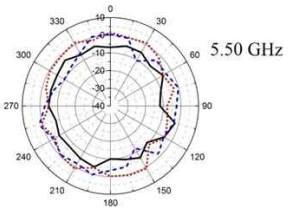
니라 새롭게 할당된 Wi-Fi 6E 대역(5.925～7.125 GHz)까지 모두 커버함을 확인시켜주며, 광대역 성능을 입증한다.

그림 12는 각 동작 대역의 중심 주파수에서 측정된 방사 패턴을 나타낸다. 모든 대역이 모노폴 또는 변형된 모노폴 형태로 방사하기 때문에, 전 대역에서 방사 패턴은 거의 전방향성(omni-directional) 형태를 보인다. 그러나 중간 및 고주파 대역에서는 저주파 대역보다 더 복잡한 전류 분포를 통해 방사가 이루어지므로, 방사 패턴에 뚜렷한 굴곡(wrinkle)이 나타난다.

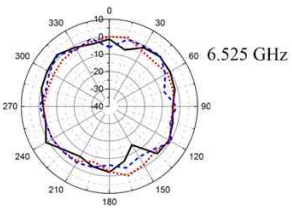
그림 13은 제안된 안테나의 측정된 방사 효율을 나타



(a) 2.45 GHz에서의 방사 패턴
(a) Radiation pattern at 2.45 GHz

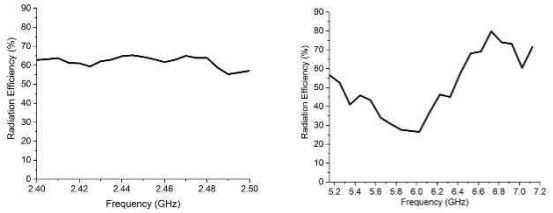


(b) 5.50 GHz에서의 방사 패턴
(b) Radiation pattern at 5.50 GHz



(c) 6.525 GHz에서의 방사 패턴
(c) Radiation pattern at 6.525 GHz

그림 12. 제안된 안테나의 측정된 방사 패턴
Fig. 12. Measured radiation patterns of proposed antenna.



(a) 2.4～2.5 GHz (b) 5.2～7 GHz

그림 13. 제안된 안테나의 측정된 방사 효율
Fig. 13. Measured radiation efficiency of proposed antenna.

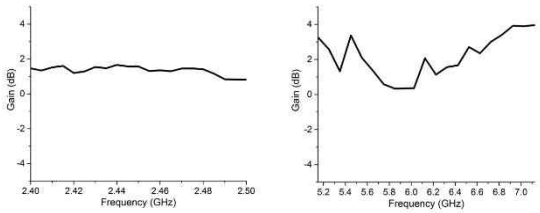
낸다. 방사 효율은 3차원 무반사 챔버에서 측정되었고 송신용 혼 안테나와 제안된 안테나의 간의 전송 손실을 이용해서 측정한다[13]. 2.4～2.5 GHz 대역에서 효율은 지속적으로 −3 dB 이상을 유지하여 저주파 대역에서 안정적이고 신뢰할 수 있는 성능을 확인할 수 있다. 고주파 대역의 경우, 각 공진점에서 방사 효율은 −4 dB를 초과한다. 그러나 두 공진이 결합되는 주파수 영역에서는 공진점에 비해 효율이 다소 감소하는데, 이는 고차 모드의 복잡한 전류 경로 형성과 금속면 재결합 손실로 인한 것이다. 그럼에도 불구하고 전체적인 방사 효율은 동작 주파수에서 40～70 %의 높은 수준이 유지되어 광대역 동작을 보장하며, 제안된 안테나가 기존 Wi-Fi 대역과 새롭게 할당된 Wi-Fi 6E 대역 모두에서 실용적인 효율을 달성함을 입증한다.

그림 14는 제안된 안테나의 측정된 안테나 이득을 보여준다. 모든 대역에서 모두 0 dB 이상의 안정적인 안테나 이득을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 안테나가 Wi-Fi 2.4 GHz 및 Wi-Fi 5/6E 대역에서 사용하기 적합한 방사 성능을 가진 듀얼밴드 안테나이다.

표 2는 Wi-Fi용 이중 대역 안테나의 성능을 비교한 표이다. 제안된 안테나는 기존 연구들의 이중 대역 안테나와 유사한 효율 및 방사 특성을 보이지만, 구조가 단순하여 제작이 용이하고 복잡성이 낮다는 장점을 가진다. 따라서 제안된 안테나는 소형화 및 대량 생산 측면에서 실용적인 이점을 제공한다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 추가 구조에서 생성된 새로운 모드와 모노폴의 고차 공진(high-order resonance)을 결합하여 Wi-Fi 6E 대역을 커버하는 듀얼 광대역 안테나를 제안하였다. 2.4 GHz 대역은 1차 모노폴 모드에 의해 커버되며, Wi-Fi 5G 및 6E 대역은 추가 구조와 피딩 루프에서 생성된 새로운 모드가 모노폴의 고차 공진과 결합함으로써 형성된다. 세 개의 공진은 서로 간섭 없이 거의 독립적으로 동작하므로, 각 대역에 대해 독립적인 임피던스 매칭이 가능하다. 제작된 안테나는 저주파 대역에서 520 MHz, 고주파 대역에서 2.275 GHz의 측정된 S11 대역폭을



(a) 2.4～2.5 GHz (b) 5.2～7 GHz

그림 14. 제안된 안테나의 측정된 안테나 이득
Fig. 14. Measured antenna gain of proposed antenna.

표 2. Wi-Fi용 듀얼밴드 안테나 성능 비교표
Table 2. Comparison table of dual band antenna for Wi-Fi application.

Ref	Antenna type	Size (mm^3)	Bandwidth (MHz)	Radiation efficiency (%)	Complexity
[14]	LDS antenna	180×310×1	Cover 2.4～2.5 GHz and 5～6 GHz	≥38, ≥60	Complex
[15]	Loop	100×50×1	120, 1,260	69, 61	Complex
[16]	Monopole	45×20×1	700, 1,000	≥68, ≥55	Medium
[17]	Loop	40×80×1	450, 2,640	60.7, 53.4	Complex
This work	Monopole	100×60×1	520, 2,275	62.2, 58	Simple

보여 광대역 특성을 입증하였다. 방사 효율은 저주파 대역 전체에서 −3 dB 이상을 유지하였으며, 두 고주파 대역 공진이 겹치는 구간에서는 효율이 다소 감소하지만 공진 주파수에서는 −3 dB 이상을 유지한다. 따라서 본 연구는 독립적으로 매칭된 공진을 갖는 광대역·고효율 안테나 설계를 위한 유용한 접근 방식을 제시한다.

References

[1] W. Luo, W. Chen, Y. Feng, and Y. Yang, "A novel automobile antenna for vehicles communication of IoT systems in 5G network," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2020, p. 218, Oct. 2020.

[2] L. Qu, H. Piao, and H. Kim, "Compact wideband MIMO mobile-antenna system design using modebased decoupling techniques," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 29, no. 8, Aug. 2019.

[3] J. Ryu, H. Kim, "Compact MIMO antenna for application to smart glasses using T-shaped ground plane," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 60, no. 8, pp. 2010-2013, Jun. 2018.

[4] J. Kim, L. Qu, H. Jo, R. Zhang, and H. Kim, "A MIMO antenna design based on the characteristic mode," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 4, Feb. 2017.

[5] E. Petroff, E. F. Keane, E. D. Barr, J. E. Reynolds, J. Sarkissian, and P. G. Edwards, et al., "Identifying the source of perytons at the Parkes radio telescope," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 451, no. 4, pp. 3933-3940, Aug. 2015.

[6] C. Lameiro, Ó. González, J. A. García-Naya, I. Santamaría, and L. Castedo, "Experimental evaluation of interference alignment for broadband WLAN systems," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2015, p. 180, 2015.

[7] M. A. Alim, G. Berardinelli, T. B. Sørensen, P. E. Mogensen, and J. Kaagaard, "Extended spectrum access: A game changer for WiFi-6E," in *2024 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking(MeditCom)*, Madrid, Jul. 2024, pp. 347-352.

[8] E. Mozaffariahrar, F. Theoleyre, and M. Menth, "A survey of Wi-Fi 6: Technologies, advances, and challenges," *Future Internet*, vol. 14, no. 10, p. 293, Oct. 2022.

[9] J. Lee, Y. Liu, and H. Kim, "Miniaturized dual-band antenna for wireless local area network," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 4, pp. 850-852, Feb. 2013.

[10] S. Jeon, S. Oh, H. H. Kim, and H. Kim, "Mobile handset antenna with double planar inverted-E(PIE) feed structure," *Electronics Letters*, vol. 48, no. 11, pp. 612-614, May 2012.

[11] I. B. Sharma, P. Joshi, S. Shrimal, B. Kalra, and M. M. Sharma, "The design of multi band antenna with improved higher order mode radiation using CMA for

L5-band, L1-band, and S-band application," *Scientia Iranica*, vol. 27, Nov. 2023.

[12] M. G. Kim, H. Kim, "Miniaturized dual-band looptype ground radiation antenna with enhanced bandwidth for mobile devices," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 62, no. 1, pp. 239-243, Aug. 2020.

[13] Z. Zhang, *Antenna Design for Mobile Devices*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2011.

[14] P. H. Juan, S. W. Su, "EMC hybrid loop/monopole LDS antenna with three-sided ground walls for 2.4/5/6 GHz WLAN operation," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 22, no. 9, pp. 2200-2204, Sep. 2023.

[15] W. Zhang, Y. Li, K. Wei, and Z. Zhang, "A twoport microstrip antenna with high isolation for Wi-Fi 6 and Wi-Fi 6E applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 7, pp. 5227-5234, Jul. 2022.

[16] J. Yu, R. Zhang, Y. Liu, H. H. Kim, and H. Kim, "Dual-band WLAN antenna design by controlling higher order mode characteristic," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 8, pp. 1897-1902, May 2013.

[17] R. Li, L. Qu, J. Kim, H. Ren, H. H. Kim, and H. Kim, "Miniaturized antenna design for dual-band Wi-Fi 6/6E applications using the ground radiation technique," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 2, pp. 202-204, Mar. 2025.

이 호 승 [한양대학교/박사과정]
https://orcid.org/0000-0002-4570-5720

2018년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)
2020년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 (공학석사)
2022년 3월～현재: 한양대학교 융합전자공학부 박사과정
[주 관심분야] 안테나 설계

위 석 주 [한양대학교/석・박사통합과정]
https://orcid.org/0009-0003-8546-0435

2020년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2020년 9월～현재: 한양대학교 융합전자공학부 석・박사통합과정
[주 관심분야] 안테나 설계

김 형 동 [한양대학교/정교수]
https://orcid.org/0000-0003-4540-9451

1984년 2월: 서울대학교 전기전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 서울대학교 전기전자공학과 (공학석사)
1992년 2월: 미국 University of Texas at Austin (공학박사)
1992년 3월～1993년 2월: 미국 University of Texas at Austin 연구교수
1993년 3월～현재: 한양대학교 융합전자공학부 정교수
[주 관심분야] 안테나 설계