

무인기 탑재용 VHF 대역 형상적응형 안테나 개발

정은태^{*,1)} · 이주현¹⁾ · 박진우¹⁾ · 유병길¹⁾ · 김기철²⁾ · 정재수³⁾

¹⁾ 한화시스템(주) 미래정보통신연구소

²⁾ 국방과학연구소 국방우주기술훈터

³⁾ 국방과학연구소 국방위성체계단

Development of VHF-Band Conformal Antenna for UAV Mounting

Euntae Jung^{*,1)} · Juhyun Lee¹⁾ · Jinwoo Park¹⁾ · Byunggil Yu¹⁾ · Kichul Kim²⁾ · Jaesoo Jung³⁾

¹⁾ Future Information communication R&D Center, Hanwha Systems Co., Ltd., Korea

²⁾ Defense Space Technology Center, Agency for Defense Development, Korea

³⁾ Defense Satellite System Group, Agency for Defense Development, Korea

(Received 4 November 2022 / Revised 27 December 2022 / Accepted 10 January 2023)

Abstract

In this paper, a VHF band conformal antenna for UAV mounting was developed. The proposed antenna was designed as an shape-adaptive structure by minimizing the antenna height to be advantageous in RCS reduction performance. As for the antenna radiator, the outer radiator was arranged around the inner radiator to apply the CRLH zeroth-order resonance structure. With this structure, the height of the antenna was minimized, and it was reduced by about 70 % compared to the existing blade antenna. In addition, for impedance matching, the intermediate frequency bandwidth of the VHF band was improved through the sleeve pin of the inner radiator, and the low frequency bandwidth of the VHF band was improved by applying an EMI shielding gasket to the shorting pin of the outer radiator. The proposed antenna was manufactured and measured to verify the performance of the device and the performance after UAV mounting. As a result, the standard was satisfied for the operating frequency.

Key Words : VHF-band(VHF 대역), Conformal Antenna(형상적응형 안테나), CRLH ZOR(CRLH 0차 공진)

1. 서론

정찰 및 감시, 공격에 대한 임무를 수행하며 적에 대한 생존성 확보를 위해 무인기 피탐 확률 감소의

RCS 저감 기술이 중요하다^[1]. 무인기 플랫폼에 탑재 되는 안테나들에 대해서 RCS 저감 설계가 필요하다. 대부분 무인기에 장착되어 있는 무지향성 방사패턴 성능을 가지는 안테나들은 블레이드 형상의 안테나가 탑재되어 왔다^[2,3]. 블레이드 안테나는 평판 형태로 무인기 플랫폼 외부로 돌출되게 탑재되어 있어 입사되는 레이더 신호가 안테나를 통해 반사되어 되돌아 오

* Corresponding author, E-mail: euntae.jung@hanwha.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

기 때문에 RCS 성능에 매우 취약하다⁴⁾. 최대한 반사된 레이더 신호를 감소하기 위해 낮은 높이의 플랫폼 형상 적응형 안테나 개발이 중요하다. 기존 블레이드 안테나 높이를 소형화 하기 위해서는 패치 형태의 평판형 모노폴 구조 적용이 필요하다. 모노폴 구조는 높이가 줄어든 만큼 넓이가 늘어나는 관계를 가지게 되며⁵⁾, 변화된 형상으로 인하여 임피던스 정합 기술이 매우 중요해진다. 임피던스 정합 성능을 향상 시키기 위해 다양한 연구가 진행되었다. 첫 번째 평판형 모노폴 구조에 단락핀을 추가하여 단락핀 사이에 부하 저항을 이용한 방법으로 임피던스 대역폭은 개선되지만 부하 저항 적용으로 방사효율 및 이득 성능이 저하되는 문제를 가진다⁶⁾. 두 번째 모노폴 구조 주변에 원통형 슬리브를 추가하는 방법으로 임피던스 대역폭을 확장할 수 있다⁷⁾. 하지만 원통형 슬리브 적용으로 인해 안테나 높이가 상대적으로 높아 VHF 대역 컨포멀 안테나에 적용 하기에는 어려울 것으로 생각되며, 마지막으로 CRLH 전송선로 구조의 0차 공진을 이용한 방법으로 추가적인 0차 공진으로 인하여 임피던스 대역폭 확장 가능성을 확인 하였다⁸⁾. 본 논문에서는 VHF 대역 컨포멀 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 평판형 모노폴 구조의 내부 방사체에 슬리브 핀을 적용하였으며, 내부 방사체 주변에 EMI 차폐 가스킷이 포함된 단락 핀이 구성되어 있는 외부 방사체를 배치하여 CRLH 전송선로 구조를 구현하였다. 이를 통해 안테나 높이를 최소화 하였으며, 임피던스 정합 및 이득 성능을 개선하였다. 제안된 안테나는 상용 톨(DASSAULT SYSTEMES 社 CST 2021)을 사용하여 안테나 설계 및 모의실험을 진행하였으며, 분석과 측정을 통해 안테나 전기적 성능을 검증하였다.

2. VHF 대역 컨포멀 안테나 설계

2장에서는 안테나 구성 및 구조에 대한 설명을 한 후 안테나 설계 내용 순으로 기술한다. 안테나 설계 내용은 0차 공진 안테나, 임피던스 정합, 필드분포 및 방사패턴에 대해서 자세히 설명한다.

2.1 안테나 구성 및 구조

제안된 VHF 대역 컨포멀 안테나의 구조 및 형상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)는 제안된 컨포멀 안테나의 등각도 형상이며, Fig. 1(b)는 안테나의 측면부

형상이다. 그리고 Fig. 1(c)는 상부 형상이며, Fig. 1(d)는 하부 형상을 나타낸다. 안테나의 구성은 크게 레이돔 조립체와 안테나 조립체로 결합된 형태로 구성되어 있으며, 안테나의 전체 크기는 1315(W) × 1250(D) × 160(H) mm³이며, 세부적으로 레이돔 조립체 크기는 1315(W) × 1250(D) × 85(H) mm³이며, 안테나 조립체의 크기는 1150(W) × 1140(D) × 87(H) mm³에 해당한다. 제안된 안테나의 전체적인 형상은 저피탐 무인기 플랫폼 내부에 안테나 조립체가 삽입되고 외부 표면에는 레이돔 조립체 상부면만 보이도록 노출되어 있다. 이 형상은 무인기 외부로 돌출되지 않는 형상적응형의 컨포멀 안테나 구조를 나타낸다.

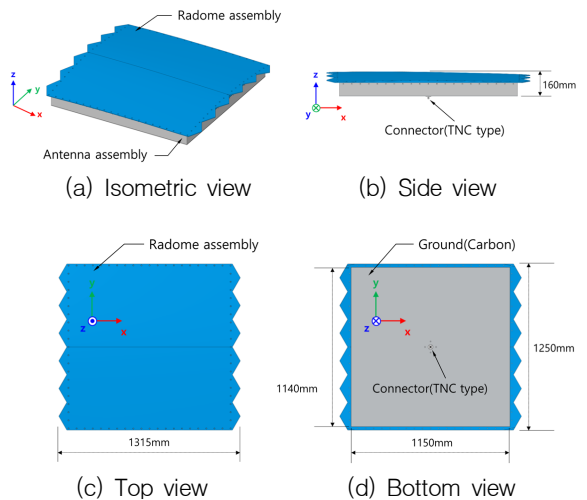


Fig. 1. Structure of the proposed antenna

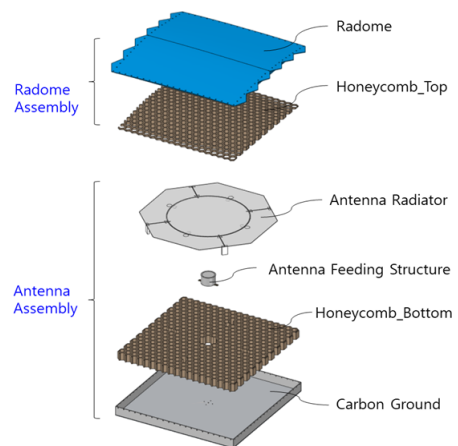


Fig. 2. Exploded view of the proposed antenna

Fig. 2는 제안된 안테나의 분해 조립도를 나타낸다. 제안된 컨포멀 안테나는 크게 레이돔 조립체와 안테나 조립체로 구성된다. 레이돔 조립체는 상부 레이돔과 그 아래쪽의 허니컴 상부로 결합 되어 있으며, 전파 통과에 감쇄가 적고 내부의 안테나 조립체를 외부 환경이나 충격으로부터 보호하기에 충분한 강도를 가지는 FRP 재질로 형성되며 허니컴 상부는 진동/충격 등으로부터 내부 구성품을 보호하는 완충 작용에 적합한 형태와 재질을 가지도록 설계하였다. 레이돔 조립체의 양쪽 끝에 RCS 성능에 유리하도록 저피탐 무인기의 순방향과 역방향의 평면상으로 120° 각도의 틈니형태가 적용되었으며, 저피탐 무인기의 형상에 따라 굴곡이 적용되어 형상 적응형 구조를 이루고 있다. 제안된 안테나의 형상은 외부로 돌출되지 않는 형상 적응형 구조에 해당한다.

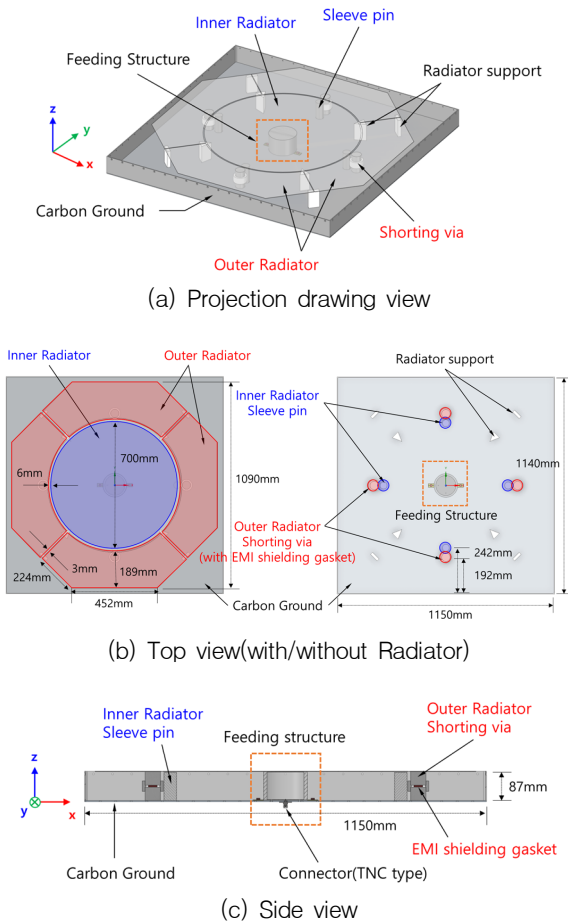


Fig. 3. Structure of the antenna assembly

안테나 조립체는 Fig. 3을 통해 확인할 수 있다. Fig. 3(a)는 투영도이며, Fig. 3(b)는 상부 평면도를 나타내며, Fig. 3(c)는 측면부 형상을 나타낸다. 안테나 조립체는 세부적으로 안테나 복사부, 안테나 급전부, 허니컴 하부, 카본 그라운드로 구성되어 있다. 안테나 복사부는 내부 방사체와 외부 방사체로 이루어진다. 내부 방사체는 본체가 원형으로 이루어지고, 이 원형의 내부 방사체 본체의 주변부에는 같은 간격으로 4개의 지지대가 구비되어 내부 방사체 본체를 받치는 형태를 이룬다. 이와 비슷하게 내부 방사체 본체의 주변부 아래쪽으로는 같은 간격으로 4개의 도체 재질의 슬리브 핀이 추가적으로 설치되어 있다. 슬리브 핀과 내부 방사체 사이에는 특정 간격이 존재하며, 슬리브 핀의 하단 부분은 카본 그라운드와 접촉되어 있다. 카본 그라운드는 안테나의 접지의 역할을 하며, 카본 재질 위에 전도체의 메쉬 형태의 금속망을 포함하고 있다. 안테나 복사부의 외부 방사체는 평면적으로 볼 때 내부 방사체 주변에 특정 간격으로 원형 배열되어 있으며, 방사패턴 왜곡 현상이 없이 전방향 모두 균일한 패턴 성능을 유지하도록 4개의 방사체로 이루어져 있다. 외부 방사체 형상은 캐비티 형태의 제한된 그라운드 크기에서 원형보다는 팔각형의 구조가 면적이 넓어 전기적인 성능 측면에서 유리하기 때문에 팔각형 구조로 선정하였다. 그리고 외부 방사체 지지대와 단락 핀이 부가적으로 설치되어 외부 방사체를 이룬다. 단락 핀의 위로는 외부 방사체와 접촉되고 아래로는 카본 그라운드와 접촉되어 외부 방사체와 카본 그라운드를 연결하게 된다. 단락 핀 중간에는 EMI(전파 방해 잡음) 차폐 개스킷이 포함되어 있다. 슬리브 핀과 단락 핀의 용어를 구분한 이유는 내부 방사체와 외부 방사체 연관성을 구분하기 위함이며, 관련 방사체와 전기적으로 개방 또는 단락이 되어있는지 구분이 필요하여 사용하였다.

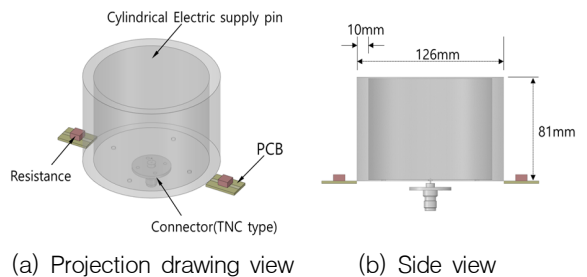


Fig. 4. Feeding Structure of the antenna

Fig. 4는 안테나 급전부를 상세히 나타낸다. Fig. 4(a)는 투영도 형상이며, Fig. 4(b)는 측면부 형상을 나타낸다. 안테나 급전부는 급전핀, 저항, 지지용 기판, 급전 커넥터로 구성된다. 안테나 급전부의 급전핀은 원통형 구조이며, 내부 방사체 본체와 접촉하도록 연결되어 있다. 저항은 150 Ω의 수동소자로 지지용 기판 위에 고정되어 있으며 급전핀과 카본 그라운드에 병렬로 구성되어 있다. 급전부에 적용된 병렬 저항은 안테나 특성 임피던스에 맞는 부하 저항을 적절히 사용하여 안테나 대역폭을 넓히는 방법^{9,10}으로 적용하였다.

2.2 안테나 설계

안테나 시뮬레이션 결과들은 레이돔이 적용된 상태로, 레이돔 재질은 FR-4(유전율 4.3)로, 카본 그라운드는 메쉬 형태의 금속망을 포함하고 있어 PEC로 설정하여 분석을 진행 하였다.

2.2.1 0차 공진 안테나

Fig. 5는 CRLH 전송선로의 등가회로를 나타낸다. CRLH 전송선로는 직렬 L_R 성분과 병렬 C_R 성분을 가지는 일반적인 RH(Right-Handed) 구조에 직렬 C_L 성분과 병렬 L_L 성분의 LH(Left-Handed) 구조를 추가하여 구현이 가능하다. CRLH 전송선로는 직렬 L_R 과 C_L 성분의 임피던스와 병렬 C_R 과 L_L 성분의 어드미턴스로 구성되어 있으며, 이에 관계된 직렬공진(ω_{sc})과 병렬공진(ω_{sh})을 식 (1)에 나타내었다.

$$Z'(\omega) = j\left(\omega L'_R - \frac{1}{\omega C'_L}\right), \quad Y'(\omega) = j\left(\omega C'_R - \frac{1}{\omega L'_L}\right) \quad (1)$$

주기적 경계 조건을 Bloch-Floquet 이론을 적용하게 되면, CRLH 전송선로 단위 셀 분산 특성은 다음 식 (2)에 의해 정해지며, β 는 위상속도이며, p 는 단위 셀의 길이에 해당한다.

$$\beta(\omega) = \frac{1}{p} \cos^{-1} \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_L^2}{\omega^2} + \frac{\omega^2}{\omega_R^2} - \frac{\omega_L^2}{\omega_{sc}^2} - \frac{\omega_L^2}{\omega_{sh}^2} \right) \right) \quad (2)$$

$$\omega_L = \frac{1}{\sqrt{C_L L_L}}, \quad \omega_R = \frac{1}{\sqrt{C_R L_R}}$$

$$\omega_{sc} = \frac{1}{\sqrt{C_L L_R}}, \quad \omega_{sh} = \frac{1}{\sqrt{C_R L_L}}$$

영차 공진 주파수는 중단 개방 경계 조건과 공진기의

병렬 임피던스 값을 도입하면 식 (3)과 같은 영차 공진 주파수를 얻어낼 수 있다.

$$\omega_{ZOR} = \omega_{sh} = \frac{1}{\sqrt{C_R L_L}} \quad (3)$$

0차 공진 특성은 파장이 무한대와 같아지게 되어 물리적인 길이와 상관없이 구현할 수 있어 소형화가 가능해 진다¹¹. 또한 접지면을 기준으로 수직방향의 전계와 수평방향의 자계가 형성되어 무지향성 방사패턴을 형성하는 장점을 가질 수 있다¹². 제안된 안테나는 소형화 설계가 가능하도록 CRLH 전송선로 구조를 이용하여 0차 공진 안테나 설계를 진행 하였다. CRLH 전송선로는 일반적인 RH 구조에 추가적으로 LH 구조의 직렬 커패시턴스 C_L 와 병렬 인덕턴스 L_L 를 구현하는 것이 매우 중요하다. 제안된 안테나는 내부 방사체와 외부 방사체의 특정 간격으로 직렬 커패시턴스 C_L 를 유도하였으며, 외부 방사체와 카본 그라운드에 접속된 단락 핀을 통해 병렬 인덕턴스 L_L 를 구현하였다. 이는 Fig. 3의 안테나 조립체 구조를 통해 확인할 수 있으며, 중심을 기준으로 CRLH 전송선로 구조를 4개 원형 배열한 형태로 구성되어 있다.

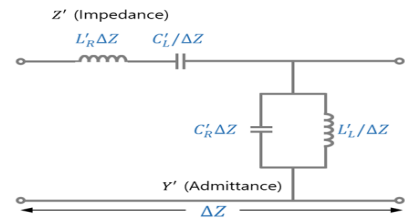


Fig. 5. Equivalent circuit of the CRLH-TL

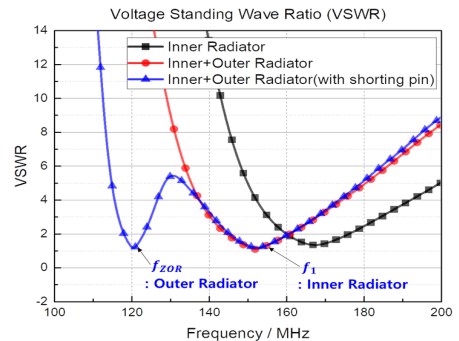
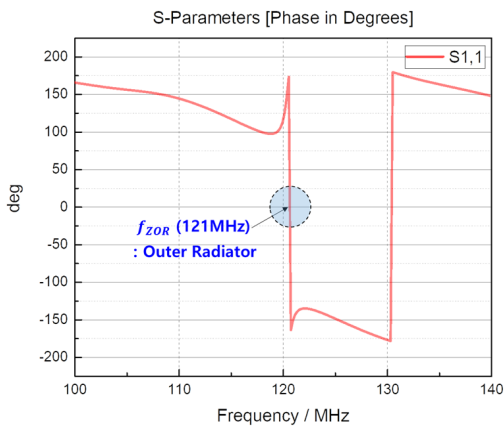
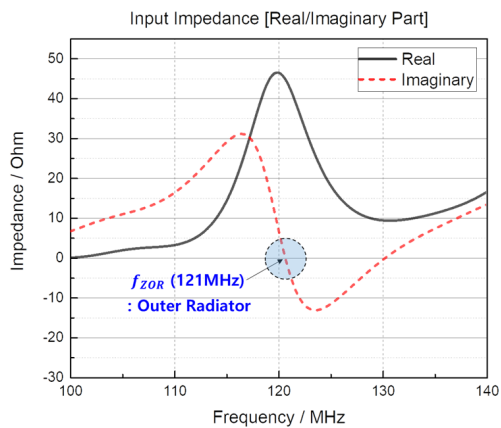


Fig. 6. Simulated VSWR results of the proposed antenna radiator

제안된 안테나의 0차 공진 특성을 확인하기 위해 CRLH 전송선로 구조에 해당하는 내부 방사체와 외부 방사체에 대한 정재파비 특성을 Fig. 6에 나타내었다. 내부 방사체와 외부 방사체 구조를 적용했을 경우 150 MHz 대역에서 공진이 형성되며, 내부 방사체와 단락 핀을 포함한 외부 방사체 구조를 적용했을 경우 기존 150 MHz 대역의 공진이 유지되고 120 MHz 대역의 추가적인 공진이 형성됨을 볼 수 있다. 이는 상대적으로 높은 주파수에서 내부 방사체가 공진하고 상대적으로 낮은 주파수에서는 외부 방사체가 공진됨을 의미한다.



(a) Phase characteristics

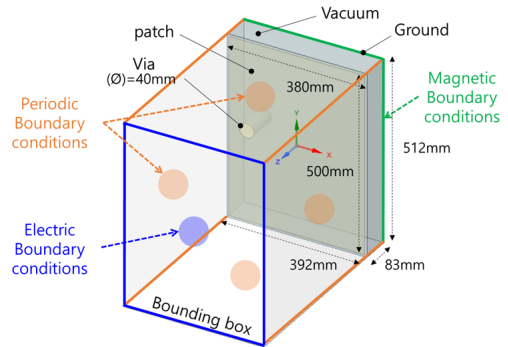


(b) Input impedance

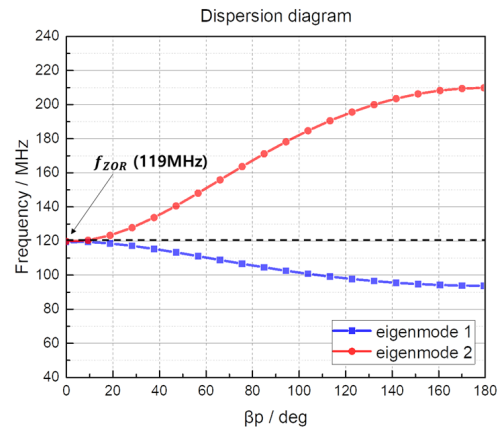
Fig. 7. Simulated results of the ZOR Characteristics

제안된 안테나의 0차 공진 특성을 구체적으로 확인하기 위해 주파수에 대한 위상 특성과 입력 임피던스

특성을 확인 하였다. Fig. 7(a)은 위상 특성을 나타낸다. 그래프를 보면 121 MHz 대역에서 위상이 0을 나타냈으며 비선형적인 위상 특성을 확인 하였다. 그리고 Fig. 7(b)는 입력 임피던스 특성을 나타낸다. 그래프를 보면 Imaginary 데이터에서 임피던스가 0인 지점의 주파수가 121 MHz 대역임을 확인하였다.



(a) Boundary conditions of Unit cell structure



(b) Dispersion diagram results

Fig. 8. Dispersion diagram of unit cell structure

단위 셀 구조의 0차 공진 특성을 확인하기 위해 제안된 안테나의 외부 방사체 비선형 구조를 주기적으로 분석하기에는 해석이 어려워 선형성 구조의 직사각형 패치로 단순화하여 Brillouin zone 기법으로 모의실험을 진행 하였다. 이때 직사각형 패치 구조의 크기는 외부 방사체와 유사하게 설정하였다. Fig. 8(a)는 단위 셀 구조의 형상과 경계 조건을 나타내며, 단위 셀 구조의 크기는 380(W) × 512(D) × 83(H) mm³이다. 상세 경계 조건은 측면 4면을 주기적 경계 조건, 윗면을

전계 조건, 아랫면을 자계 조건으로 설정하였다. Fig. 8(b)의 모의실험의 분산 곡선을 확인한 결과 0차 공진 주파수는 119 MHz 대역임을 확인할 수 있다. 단위 셀 구조의 0차 공진 주파수는 Fig. 7(a)의 위상 특성과 Fig. 7(b)의 입력 임피던스 해당 주파수 대역과 유사함을 알 수 있다. 0차 공진 주파수가 정확하게 일치하지 않는 것은 모의실험을 위한 단순화 구조적용으로 인하여 약간의 오차가 있는 것으로 판단된다.

2.2.2 임피던스 정합

일반적으로 고주파(RF)에서 전기적 공진은 기본적으로 LC 공진으로 형성된다. 인덕턴스 성분 L과 커패시턴스 성분 C로 특성을 잘 조절하여 동작주파수를 선택적으로 막거나 통하게 하는 공진 특성을 만들 수 있다. 이러한 특성으로 인하여 해당주파수의 임피던스 정합 성능을 개선시킬 수 있는 장점을 가진다. 제안된 안테나는 임피던스 정합 개선을 위한 첫 번째 방법으로 내부 방사체 아래에 특정 간격으로 슬리브 핀을 적용 하였으며, 두 번째 방법으로 단락핀 사이에 부하 저항을 이용한 방법으로 단락 핀 중앙 부분에 EMI 차폐 개스킷을 적용 하였다. EMI 차폐 개스킷은 부도체 플레이트 표면에 도체 박막을 밴드를 두르듯이 형성되어 있으며, EMI 차폐 개스킷이 포함된 단락 핀은 외부 방사체와 카본 그라운드와 직접적으로 연결되어 있다.

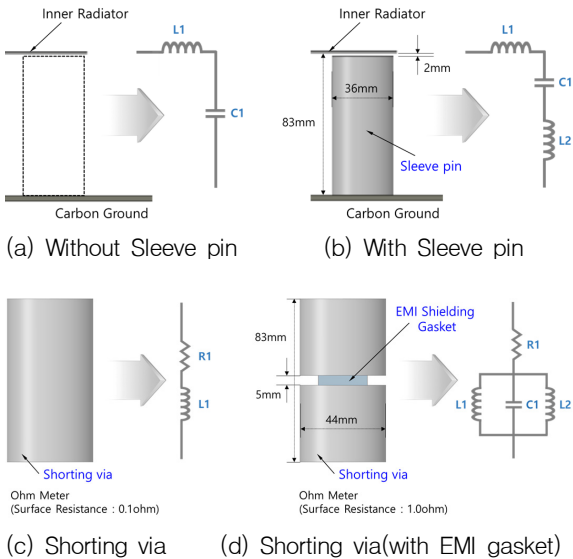
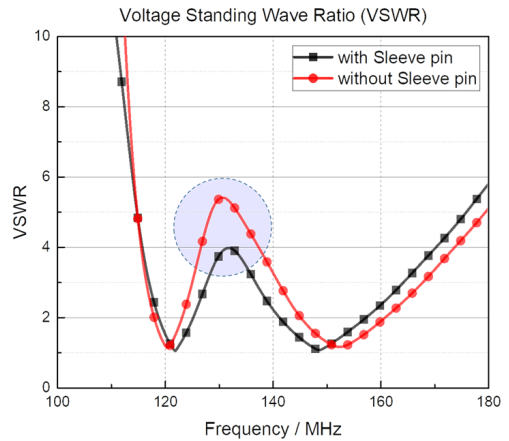
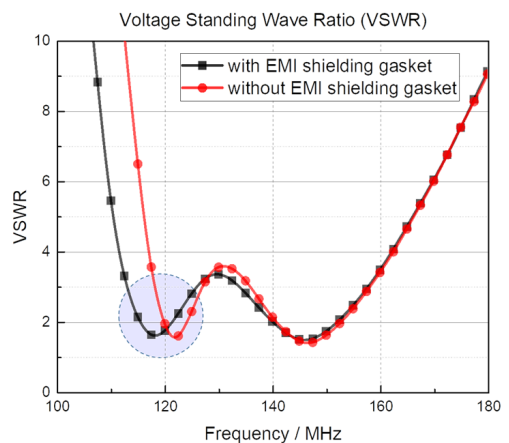


Fig. 9. Equivalent circuit of the sleeve pin and shorting via

Fig. 9(a)와 Fig. 9(b)는 내부 방사체를 포함한 슬리브 핀 적용 여부에 대한 비교 형상을 나타낸다. Fig. 9(a)와 같이 슬리브 핀을 적용했을 경우 등가회로는 직렬 L1과 병렬 C1로 구성되며, Fig. 9(b)와 같이 슬리브 핀을 적용하지 않았을 경우 직렬 L1, 병렬 C1과 L2로 구성된다. 이에 대한 시뮬레이션 비교 분석 결과는 Fig. 10(a)에 나타내었다. 분석 결과 슬리브 핀의 병렬 L2로 인하여 VHF 대역의 중간 대역인 130 MHz에서 임피던스 매칭 성능이 개선됨을 확인하였다. 슬리브 핀의 직경 Φ 과 높이 H에 따른 내부 방사체와의 간격에 의해 주파수 조절이 가능하다. VHF 대역에 최적화된 슬리브 핀의 치수는 $36(\Phi) \times 81(H)$ mm² 이다.



(a) with/without Sleeve pin



(b) Shorting via(with/without EMI sheilding gasket)

Fig. 10. VSWR simulation results for sleeve pin and shorting via

Fig. 9(c)와 Fig. 9(d)는 외부 방사체와 카본 그라운드 에 연결되어 있는 단락 핀에 EMI 차폐 개스킷 적용 여부에 대한 비교 형상을 나타낸다. Fig. 9(c)와 같이 단락 핀만 있을 경우 등가회로는 인덕턴스 L1과 저항R1으로 구성되며, Fig. 9(d)와 같이 단락 핀에 EMI 차폐 개스킷을 적용한 등가회로를 확인하면 인덕턴스 성분 L1, L2와 커패시턴스 성분 C1이 병렬로 형성됨을 볼 수 있다. 이러한 LC 병렬 공진은 대역저지 형태의 공진 특성으로 동작 주파수 신호를 억제할 수 있는 저항 특성을 구현할 수 있다. 전자파 차폐 기술에 사용되고 있는 EMI 차폐 개스킷은 대표적으로 절연층, 금속층, 도전성 점착층 총 3층으로 구성되어 있으며, 이중 도전성 점착층은 접지에 대한 수직 접촉 저항을 결정하여 전자파 차폐에 가장 중요한 역할을 하게 된다. 제안된 안테나의 단락 핀은 EMI 차폐 개스킷에서 중요한 수직 접촉 저항을 이용하여 설계를 진행하였다. Fig. 9(c, d)에 실제적으로 멀티미터를 이용하여 단락 핀에 표면 저항을 측정한 결과 단락 핀만 있을 경우 0.1 Ω, 단락 핀에 EMI 차폐 개스킷을 적용했을 경우 1.0 Ω 표면 저항 값을 확인하였다. 이에 대한 시뮬레이션 비교 분석 결과는 Fig. 10(b)에 나타내었다. 정재파비 비교 분석 결과 EMI 차폐 개스킷의 표면 저항으로 인하여 VHF 대역의 낮은 대역인 115 MHz에서 임피던스 매칭 성능이 개선되었다. 단락 핀의 직경(ϕ)과 EMI 차폐 개스킷의 크기에 의해 주파수 조절이 가능하며, VHF 대역에 최적화된 단락 핀의 직경 치수는 44(Φ) mm이고 EMI 차폐 개스킷 크기는 25(W) × 25(D) × 5(H) mm³이다.

2.2.3 방사패턴 및 필드분포

제안된 안테나의 방사패턴은 Fig. 11에 전자계 필드 분포 결과는 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 11은 EMI 차폐 개스킷 유무에 따른 안테나 방사 특성 비교 결과를 나타낸다. Fig. 11(a)는 118 MHz, (b)는 136.5 MHz, (c)는 155 MHz로 각 주파수 별 2D 수직 방사패턴 분석 결과를 나타내며, 확인 결과 해당 주파수 모두 수직 패턴의 $\Phi = 90^\circ$ 기준으로 $\Theta = 0^\circ$ 에서 null이 형성됨을 확인하여 무지향성 방사패턴 성능을 검증 하였다. EMI 차폐 개스킷 유무에 대한 안테나 이득 비교는 118 MHz에서 EMI 차폐 개스킷 미 적용 시 -4.96 dBi 이상이며, 적용할 경우 -5.65 dBi 이상의 결과를 나타내어 약 0.6 dB 차이가 발생함을 확인 하였다. 그 나머지 주파수 대역인 136.5 MHz와 155 MHz에서의 안테나 이득은 거의 유사함을 나타내었다.

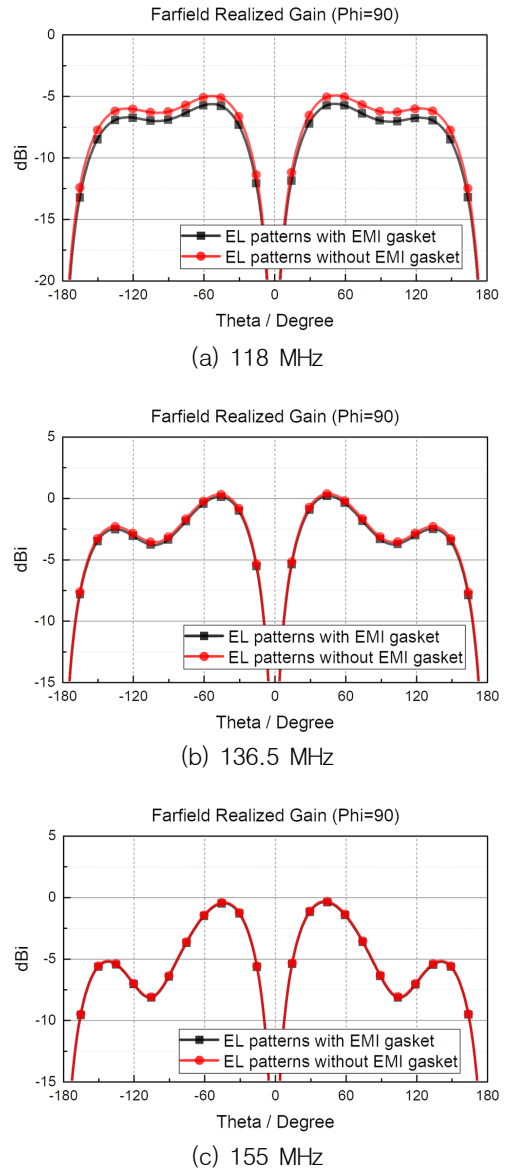
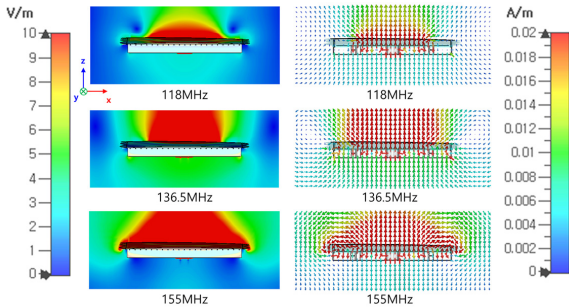


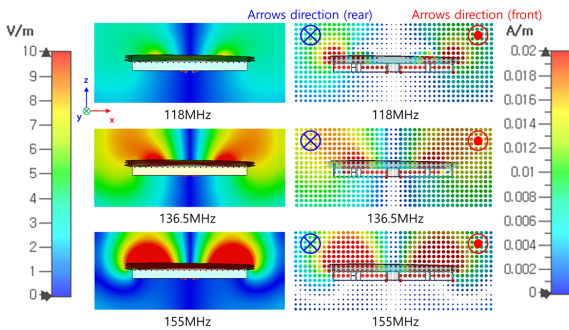
Fig. 11. Simulated 2D radiation pattern results (with/without EMI shielding gasket)

Fig. 12는 안테나 Z-X 평면의 필드 분포 시뮬레이션 결과를 보여준다. Fig. 12(a)의 주파수 별 E-field 분포 확인 결과 안테나 Z축 방향으로 전계 에너지 분포가 강하게 형성됨을 볼 수 있으며, 전계 방향은 Z축 위 아래로 형성되어 수직편파를 발생시킨다. Fig. 12(b)는 주파수 별 자계 에너지 분포를 나타낸다. 전계 에너지 분포와 다르게 자계 에너지 분포는 Z축 방향으로 에너

지 분포가 거의 없으며, 안테나 중심을 기준으로 측면에서 분포가 가장 강하게 형성되며, 자계 방향은 Z축 기준으로 X-Y 평면에 대해 회전하며 형성한다. 전계 분포와 자계 분포의 결과를 바탕으로 제안된 안테나는 수직편파에 해당하며, 안테나 Z축 방향에서 null이 형성되어 무지향성 방사패턴 성능임을 확인할 수 있다.



(a) E-field distribution(Z-X plane)



(b) H-field distribution(Z-X plane)

Fig. 12. Analysis results of E/H field distribution

3. 안테나 제작 및 측정

안테나 시뮬레이션 수행 시 실제 측정 조건과 최대한 일치하도록 무인기 플랫폼에 일치하는 곡면형 구조의 레이돔을 포함하여 분석하였으며, 분석 결과를 바탕으로 제안된 안테나를 제작하여 레이돔 적용 후 전기적 성능 실험을 진행하였다. 성능 실험은 회로망 분석기와 측정 프로그램을 이용하여 전자파 무반사실에서 성능 측정을 수행하였다. Fig. 13은 제작된 안테나 사진을 나타내며 안테나 전체 형상사진과 안테나 조립체의 사진을 보여준다. 그리고 Fig. 14는 제작된 안테나의 전기적 성능시험을 위한 측정 구성 사진을

나타낸다. 시험구성은 필드 조건에 만족하도록 소스 안테나와 VHF 대역 안테나가 서로 이격 되어 있으며, 안테나 성능을 측정하기 위해 수직으로 설치하여 시험을 진행하였다. 제작된 안테나의 전기적 성능에 대한 상세 시험 결과는 Table 1에서 확인할 수 있다.

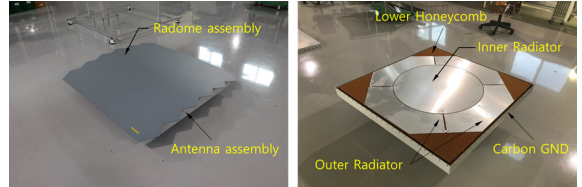


Fig. 13. The Photograph of the fabricated antenna

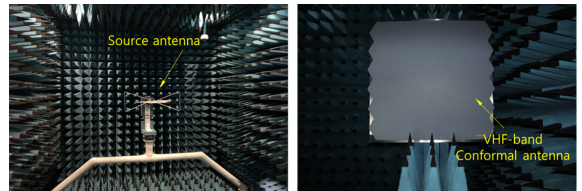


Fig. 14. Measurement electrical performance of the fabricated antenna

Table 1. Specifications of the fabricated antenna

Item	specification
Antenna shape	Conformal
Frequency	VHF-Band
VSWR	Below 3.5:1
Gain (peak)	Above -3.85 dBi
Polarization	Vertical polarization
Radiation pattern	Omni-directional

Fig. 15는 제작된 안테나의 정제과비 측정 결과를 나타낸다. 제작된 안테나는 운용주파수에서 3.5:1 이하의 성능을 가지며, 측정 결과와 시뮬레이션 비교 결과 거의 유사함을 확인하였다. 그리고 Fig. 16은 제작된 안테나의 주파수 별 2D 방사패턴 및 이득 측정 결과로 Fig. 16(a)는 수직 방사패턴에 해당하며, Fig. 16(b)는 수평 방사패턴을 보여준다. 수직 방사패턴 측정 결과에서는 0°, 180°에 null이 형성되며, 수평 방사패턴 측정 결과에서는 X-Y 평면상에서 전방향으로 방사되

는 특성을 확인하였다. 측정 결과를 바탕으로 해당 주파수 대역에서 안테나 방사패턴/이득 등 규격에 만족함을 확인하였다.

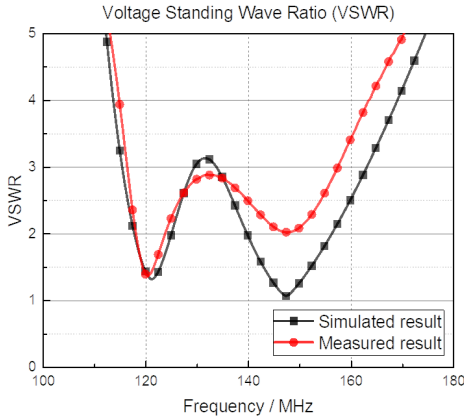


Fig. 15. Measured VSWR result of the fabricated antenna

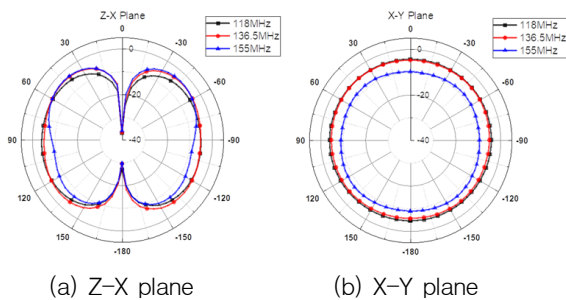


Fig. 16. Measured 2D radiation pattern results of the fabricated antenna

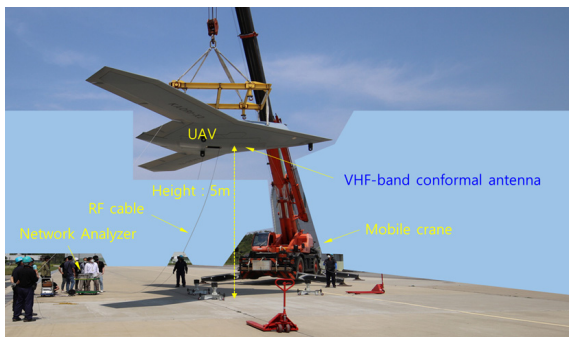


Fig. 17. Test setup for measurement after mounting the antenna on the UAV

Fig. 17은 무인기 탑재 영향성 확인을 위해 실 제작된 안테나를 무인기에 장착한 후 정재파비 측정을 위한 시험구성을 보여준다. 상세한 시험 구성은 VHF 안테나는 무인기 동체 하부에 장착한 후 이동식 크레인을 이용하여 지상과의 높이 5 m를 유지한 채 RF 케이블을 연결한 후 회로망 분석기를 통해 정재파비 시험을 진행하였다. Fig. 18은 무인기에 안테나를 장착한 후 정재파비 시험 측정 결과를 보여준다. VHF 대역에서 3.5:1 이하의 성능을 만족하여 무인기에 적용가능함을 확인하였다.

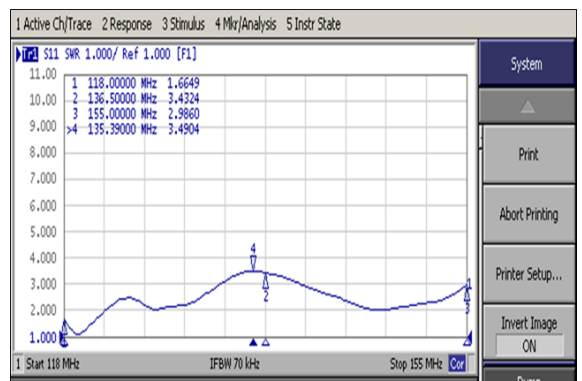


Fig. 18. Measurement results after mounting the antenna on the UAV

4. 결론

본 논문에서는 블레이드 안테나의 높이를 최소화한 무인기 탑재용 VHF대역 권포형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 카본 그라운드 중앙 부분에 모노폴 구조의 내부 방사체에 슬리브 핀을 적용하여 VHF대역의 중간 대역인 130 MHz의 임피던스 성능을 개선하였고, 내부 방사체 주변에 외부 방사체를 배치하여 CRLH 0차 공진에 해당하는 추가 공진 특성을 구현하여 임피던스 대역폭을 확장 하였다. 특히 외부 방사체의 단락 핀에 EMI 차폐 가스킷의 수직 접촉 저항 특성을 이용하여 115 MHz의 임피던스 성능을 개선하였다. 분석 결과를 바탕으로 제안된 안테나를 제작한 후 성능 검증을 수행한 결과 운용주파수 성능과 방사패턴 성능이 유사함을 확인하였다. 안테나 단품 성능 확인 후 제작된 안테나의 무인기 탑재 영향성을 확인하기 위해 실제 무인기 하부에 장착하여 성능시험을 진

행 한 결과 운용주파수에 대해 성능 규격을 만족하여 무인기 탑재 가능성을 확인하였다. 향후 스틸스 무기 체계에 적용 가능할 것으로 판단되지만 스틸스 플랫폼에 다양한 운용주파수의 안테나들이 장착되기 때문에 장착 공간 확보 및 저피탐 성능 향상을 위해 본 연구의 컨포멀 안테나 기술을 활용하여 안테나 통합 또는 소형화 연구를 추가로 진행할 계획이다.

후 기

이 논문은 2017년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구결과이다. (UC170018ED)

References

- [1] Merrill I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems: 3rd Edition," McGraw-Hill, pp. 32-64, Dec. 2000.
- [2] L. Scorrano, A. D. Rosa, B. Orobello, A. Manna, F. Trotta, "Experimental Investigations of a Novel Lightweight Blade Antenna for UAV Applications," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 59, No. 2, pp. 108-114, 2017.
- [3] C. Y. Rhee, J. H. Kim, W. J. Jung, T. J. Park, B. J. Lee, C. W. jung, "Frequency-Reconfigurable Antenna for Broadband Airborne Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 13, pp. 189-192, 2014.
- [4] V. D. Charris, J. M. G. Torres, "Analysis of Radar Cross Section Assessment Methods and Parameters Affecting It for Surface Ships," *Ship Science & Technology*, Vol. 6, No. 11, pp. 91-106, 2012.
- [5] K. -L. Lau, P. Li, K. -M. Luk, "A Monopolar Patch Antenna with Very Wide Impedance Bandwidth," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 3, pp. 1001-1010, 2005.
- [6] Y. K. Yu, J. Li, "Analysis of Electrically Small Size Conical Antennas," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 1, pp. 85-92, 2008.
- [7] Y. S. Li, X. D. Yang, C. Y. Liu, T. Jiang, "A Sleeve Monopole Antenna with Wide Impedance Bandwidth for Indoor Base Station Applications," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 16, pp. 223-232, 2010.
- [8] X. -W. Dai, T. Zhou, G. -F. Cui, "Dual-Band Microstrip Circular Patch Antenna with Monopolar Radiation Pattern," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 15, pp. 1004-1007, 2016.
- [9] Yingqing. Xia, Jia. Luo, Huan. Ye, "A Standard Shielded Loop Antenna with Load Resistor," 2009 3rd IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 405-407, 2009.
- [10] Chao. Deng, Yong-jun. Xie, "Design of Resistive Loading Vivaldi Antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 8, pp. 240-343, 2009.
- [11] Anthony. Lai, Tatsuo. Itoh, C. Caloz, "Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterials," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 5, No. 3, pp. 34-50, 2004.
- [12] Anthony. Lai, Kevin M. K. H. Leong, Tatsuo. Itoh, "Infinite Wavelength Resonant Antennas with Monopolar Radiation Pattern Based on Periodic Structures," *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 55, No. 3, pp. 868-876, 2007.