

항공기 탑재용 경량화 지지 구조를 갖는 평면 LPDA 안테나 설계

Design of a Planar LPDA Antenna with Light-Weight Supporting Structure for Installing on an Aircraft

박 영 주 · 박 동 철*

Young-Ju Park · Dong-Chul Park*

요 약

본 논문에서는 항공기 탑재용 경량화 지지 구조를 갖는 평면 LPDA(Log-Periodic Dipole Array) 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 항공기 탑재에 적합하도록 가볍고, 구조적 진동에 견딜 수 있는 평면형 골격 지지 구조를 적용하여 설계하였다. 평면형 골격 지지 구조의 재질은 강도와 온도 특성이 우수한 Peek(Polyether ether ketone)를 사용하였으며, 제안된 안테나는 지지 구조 양면에 LPDA 안테나 방사소자를 결합하여 제작되었다. 지지 구조 유전체로 인하여 변화된 입력 임피던스는 일부 방사소자 간격과 길이를 조절하여 매칭시켰다. 설계된 평면 LPDA 안테나의 10-dB 반사손실 대역폭은 시뮬레이션 및 측정 결과, 각각 0.4~3.1 GHz(7.3:1), 0.41~3.5 GHz(8.2:1)로 광대역이었다. 평균 이득은 0.5~3 GHz 대역 내에서 시뮬레이션은 평균 6.77 dBi, 측정은 6.55 dBi이었다. 따라서 설계된 안테나는 가볍고 견고한 구조와 광대역 지향성 방사특성을 가져 항공기 탑재 용도로 적합함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a planar Log-Periodic Dipole Array(LPDA) antenna with light-weight supporting structure for installing on an aircraft. The proposed antenna is designed by applying a planar skeleton supporting structure that has light-weight for an aircraft and is capable of withstanding structural vibration. The material of the planar skeleton supporting structure is a Polyether ether ketone(PEEK) which has excellent characteristics on strength and temperature. The proposed antenna is fabricated by attaching the radiating elements of the LPDA on both sides of the supporting structure. The changed input impedance due to the dielectric material of the supporting structure was compensated for by controlling the distance and length of several radiating elements. The 10-dB return loss bandwidths of the designed planar LPDA antenna with light-weight supporting structure are obtained as 0.4~3.1 GHz(7.3:1) in the simulation and 0.41~3.5 GHz(8.2:1) in the measurement. The average gains in 0.5~3 GHz band are 6.77 dBi in the simulation and 6.55 dBi in the measurement. Therefore, we confirm that the designed antenna is appropriate to be installed on an aircraft due to its light-weight structure and wideband directional radiation characteristics.

Key words: LPDA Antenna, Planar Antenna, Aircraft Installation, Skeleton Supporting Structure

I. 서 론

항공기에 장착되는 안테나로는 HF 대역부터 밀리미터 대역까지 수십 종의 다양한 안테나가 존재한다. UHF 대

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*충남대학교 전파정보통신공학과(Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received December 30, 2015 ; Revised February 23, 2016 ; Accepted March 3, 2016. (ID No. 20151230-101)

· Corresponding Author: Dong-Chul Park (e-mail: dcpark@cnu.ac.kr)

역에서 L 대역까지 광대역 특성을 만족하는 전방향성 항공용 안테나로는 일반적으로 블레이드 형태의 모노폴 안테나가 널리 이용되고 있다. 반면에 광대역이면서 일정 방향의 신호 수신 목적을 위한 지향성 안테나로는 대수 주기형 다이폴 배열(Log-Periodic Dipole Array: LPDA) 안테나가 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 항공기 탑재 안테나의 물리적 요구 사항으로는 무게가 가벼워야 하고, 항공기의 구조적 진동 및 공력 하중을 버틸 수 있도록 견고하게 제작되어야 한다는 것이다.

일반적으로 UHF 대역 이하의 LPDA 안테나는 파장이 길어 3차원 구조 형태^[1]로 제작이 되며, UHF 대역 이상에서는 제작이 용이하도록 평면형^[2], 또한, 프린트형^{[3]~[5]}으로 설계 및 제작된다. 프린트형 LPDA 안테나에서의 급전 구조는 스트립 라인이나 Conductor-Backed Co-Planar Waveguide(CPWG)가 적용된다. 하지만 UHF 대역 LPDA 설계에 있어서 프린트형 기판을 적용하여 안테나를 제작할 경우, 기판의 두께 및 크기가 커져 안테나의 무게를 증가시킬 수 있다. 따라서 이러한 프린트형 LPDA 안테나는 가볍고 견고한 구조를 필요로 하는 항공기 탑재용 LPDA 안테나로는 부적합할 수 있다.

본 논문에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 제작이 용이하고, 항공기 탑재에 적합하도록 경량화 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나를 제안한다. 평면형 LPDA 안테나 사이의 유전체 지지 구조는 구조적 강도와 무게를 가볍게 할 수 있는 골격(skeleton) 구조로 설계하였고^[6], 임피던스 매칭을 위해 고대역 끝단 다이폴 간격과 다이폴 방사소자 길이를 조절하였다. 제안된 안테나는 시뮬레이션과 측정을 통해 설계 대역에서 양호한 10-dB 반사손실 특성, 평균 6.5 dBi 이상의 이득과 지향성 방사패턴을 가져 항공기에 장착되는 광대역 수신기 시스템에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 평면형 LPDA 안테나 설계

본 장에서는 먼저 2-1절에 기본형의 평면 LPDA 안테나 설계 방법을 제시한다. 이를 바탕으로 경량이면서 견고한 특성의 유전체 지지 구조를 갖는 새로운 평면 LPDA 안테나를 제안하고, 유전체로 인한 반사손실을 감소시키

기 위해 임피던스 매칭 방안을 제시한다. 2-2절에는 최종 설계된 안테나 제작 및 측정 결과에 대해 기술한다.

2-1 경량화 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나 설계 및 입력 임피던스 매칭

본 절에서는 기본형의 평면 LPDA 안테나 설계 내용을 우선 제시하고자 한다. 항공기 장착을 위해 LPDA 안테나에 주어진 설계 목표 성능은 다음과 같다. 주파수는 0.5~3 GHz로 6:1 광대역이며, 이득은 평균 6.5 dBi 이상으로 설정되었다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해 일반적인 LPDA 안테나 설계 방법을 효과적으로 제시한 Carrel^[7]의 설계 방법을 이용하였다. 목표 주파수와 이득이 정해지면 안테나 다이폴 간격 계수(σ)와 스케일 계수(τ)가 정해지는데, 결과적으로 본 논문에서는 다이폴 개수가 20개인 방사소자와 $\sigma=0.05$, $\tau=0.88$ 인 계수로 안테나를 설계하였다.

그림 1에 설계된 기본형 평면 LPDA 안테나의 구조를 나타내었다. 안테나 설계는 3D EM 시뮬레이션(CST Microwave Studio 2013)을 이용하였다. 여기에서 모든 안테나 방사소자의 폭은 제작의 용이성을 위해 2.5 mm로

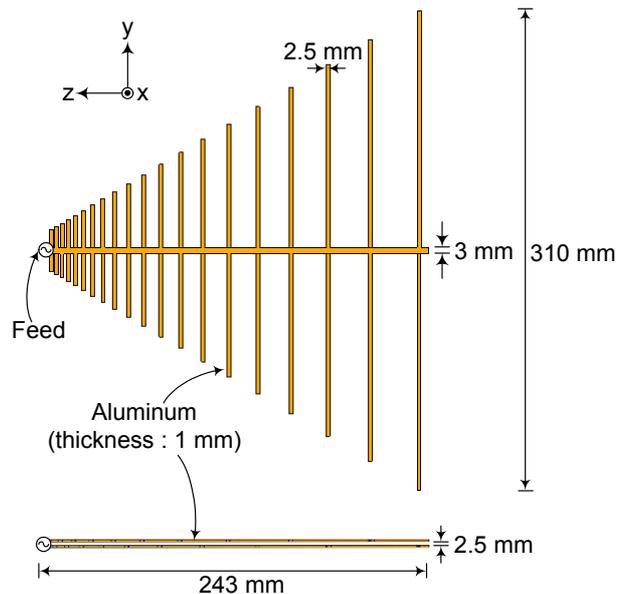


그림 1. 기본형 평면 LPDA 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of the basic planar LPDA antenna.

표 1. 설계된 기본형 LPDA 안테나 특성(시뮬레이션)
Table 1. Characteristics for the designed basic LPDA antenna(simulation).

비교항목		안테나	기본형 평면 LPDA 안테나
대역폭(GHz) (10-dB 반사손실 기준)			0.5~3.37 (6.74:1)
평균이득(dBi)			7.71
평균 HPBW(°)	E-plane		69.6
	H-plane		122.5
크기(mm)			243×310×4.5

통일시켰다. 표 1에는 설계된 기본형 평면 LPDA 안테나 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 목표 대비 양호한 특성을 보여주고 있다.

하지만 상기와 같은 기본형 평면 LPDA 안테나를 항공용으로 탑재하기 위해서는 진동이나 충격에 견딜 수 있는 구조적인 보강이 필요하다. 이를 위해 유전체 기판 위에 프린트 형태로 LPDA 안테나가 장착되어 사용되기도 한다. 유전체 기판을 사용하여 UHF 대역의 LPDA 안테나를 설계할 경우, 유전체의 무게가 증가하므로 경량화를 위해서는 단점이 될 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 단점을 줄이고, 구조적인 보강을 적용한 경량화 지지 구조의 평면형 LPDA 안테나를 제시하고자 한다. 그림 2와 같이 유전체 기판의 무게를 줄이기 위해 안테나 방사 소자 부분과 feed line을 제외한 유전체는 제거하였고, 결과적으로 안테나 부분인 알루미늄 도체 사이에 골격 구조의 유전체가 안테나를 지지하는 형태가 되었다. 지지 구조는 기계적 강도가 높고, 온도에 대한 변화 특성이 적은 Peek(Polyether ether ketone) 유전체($\epsilon_r=3.3, \tan \delta=0.02$)를 사용하였다. 또한, 구조해석 결과 안테나의 기계적 강도를 유지하기 위해 Peek 유전체의 두께는 3.8 mm로 고정시켰다. 따라서 고정된 전송선로의 간격(G)으로 인해 입력 임피던스는 전송선로의 폭(W)으로만 매칭시켜야 하는데, 본 논문에서는 그림 2와 같이 폭을 4 mm로 최적화하였다.

설계된 평면형 LPDA 안테나의 특성을 확인하기 위해 그림 2의 구조를 적용하여 안테나의 반사손실을 시뮬레이션하였다. 그림 1의 기본형 평면 LPDA 안테나와 비교

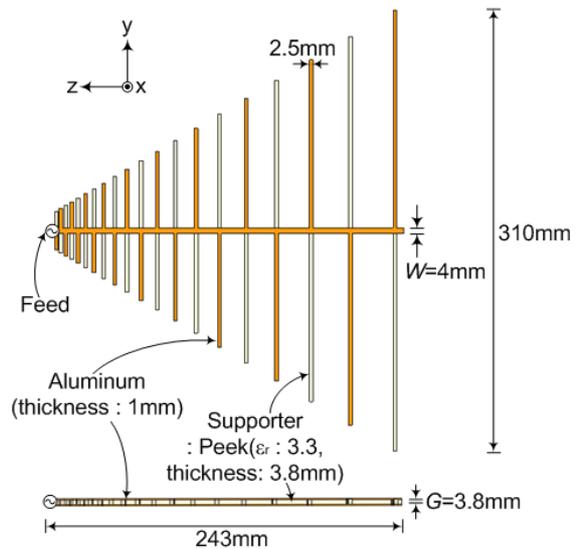
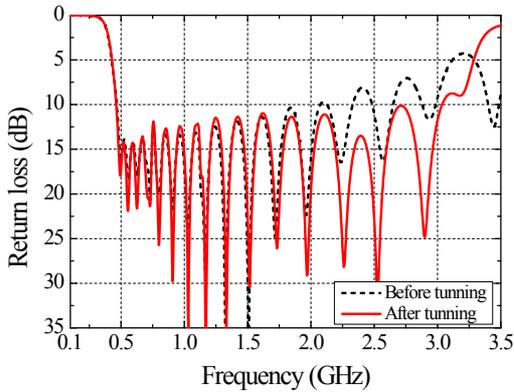


그림 2. 경량화 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나 구조
Fig. 2. Structure of planar LPDA antenna with light-weight supporting structure.

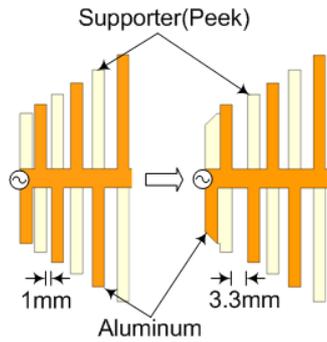
하여 전송선로 사이 간격이 늘고, Peek 유전체가 삽입되어 일부 대역에서 임피던스 매칭 특성이 열화되는 것을 확인하였다.

이를 해결하기 위해 본 논문에서는 고대역의 방사 소자 간격을 변경하여 임피던스 매칭을 수행하였다. 그림 3에 매칭 전후의 반사손실 특성과 변경된 방사 소자 간격을 나타내었다. 그림 3(a)의 튜닝 전 반사손실 특성을 보면 특히 2.25~3 GHz 대역에서 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 이러한 고대역의 반사손실 특성을 개선하기 위해 그림 3(b)의 feeder 쪽 고대역 방사소자 간격을 조정하였다. 그림에서 나타난 바와 같이, 18번째 소자와 19번째 소자의 방사소자 간격을 각각 1 mm에서 3.3 mm로 변경하였다. 이렇게 함으로써 2.25~3 GHz 대역에서 반사손실을 10-dB 이하로 낮출 수 있었다. 결과적으로 튜닝 전 고정된 방사소자 간의 높은 임피던스가 간격 조정으로 방사 소자 간의 상호 임피던스로 인해 임피던스가 낮아지도록 보상되기 때문이다.

지금까지 논의된 지지 구조 이외에도 본 논문에서 제안하는 평면 LPDA 안테나를 항공용으로 적용시키기 위해서는 구조 보강이 필요하다. 그림 2의 Peek 유전체 지



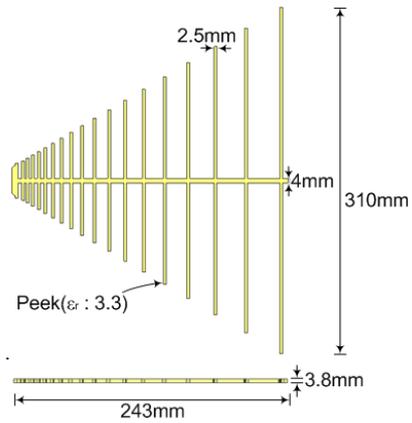
(a) 튜닝 전후의 반사손실
(a) Return loss before and after tuning



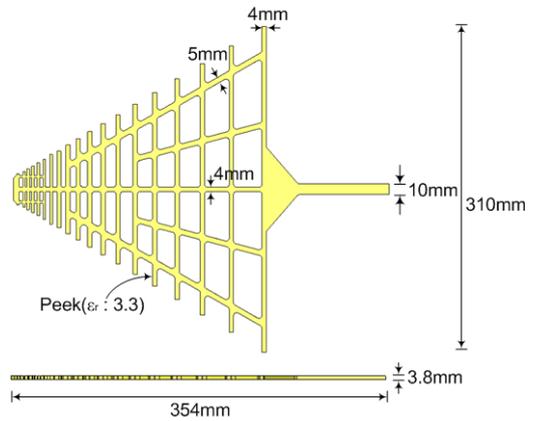
(b) 변경된 방사소자 간격
(b) Modified distance between radiation elements

그림 3. 튜닝 전후의 반사손실 및 변경된 방사소자 간격
Fig. 3. Return loss before and after tuning and modified distance between radiation elements.

지 구조는 z축 및 x축 방향으로 진동에 취약한 구조를 가진다. 따라서 z축 및 x축 방향으로의 진동을 보강할 수 있도록 지지 구조를 변경해야 한다. 따라서 기존 Peek 유전체 지지 구조(이하 지지 구조 1)와 변경된 지지 구조(이하 지지 구조 2)를 그림 4에 나타내었다. 지지 구조 1은 앞서 설명한 바와 같이, z, x축 방향의 진동에 취약한 구조를 가진다. 구조 강도를 보완하기 위해 그림 4(b)에 나타낸 바와 같이, 지지 구조의 폭을 2.5 mm에서 4 mm로 증가시켰다. 다이폴 방사소자 사이의 간격에 사선으로 지지 구조를 연결시켰다. 그리고 가장 긴 방사소자 중앙에 삼각형 형태의 구조를 보강하였고, 동축케이블로 급전할 때 케이블을 안정적으로 지지할 수 있도록 뒤쪽에 지지 구



(a) 지지 구조 1
(a) Supporting structure 1



(b) 지지 구조 2
(b) Supporting structure 2

그림 4. LPDA 안테나 지지 구조
Fig. 4. Supporting structure of the LPDA antenna.

조를 추가하였다. 이와 같이 설계된 지지 구조는 골격 (skeleton) 구조를 가지게 되며, 모든 방향의 진동에 대하여 안정적인 구조를 갖는다.

하지만 변경된 유전체 지지 구조로 인하여 입력 임피던스의 변화가 추가적으로 발생하였다. 그림 5의 안테나 반사손실 시뮬레이션 결과와 같이 특정 주파수 대역에서 반사손실 값이 감소하였다. 지지 구조 2는 지지 구조 1에 비해 지지 구조의 폭이 두꺼워져 반사손실 시뮬레이션 결과, 1.6 GHz에서 7 dB로 특성이 열화되었다. 따라서 반사손실 특성을 개선하기 위해 1.6 GHz 근처에서 동작하

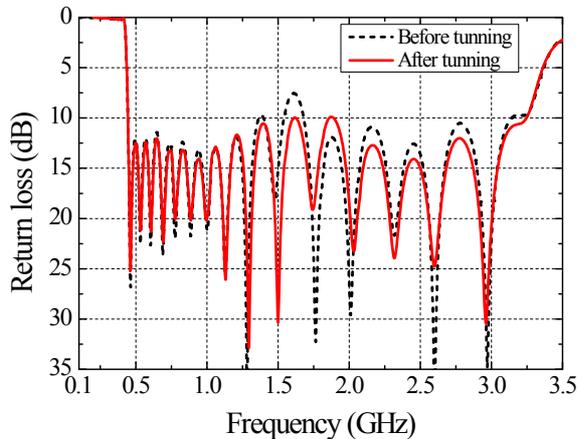


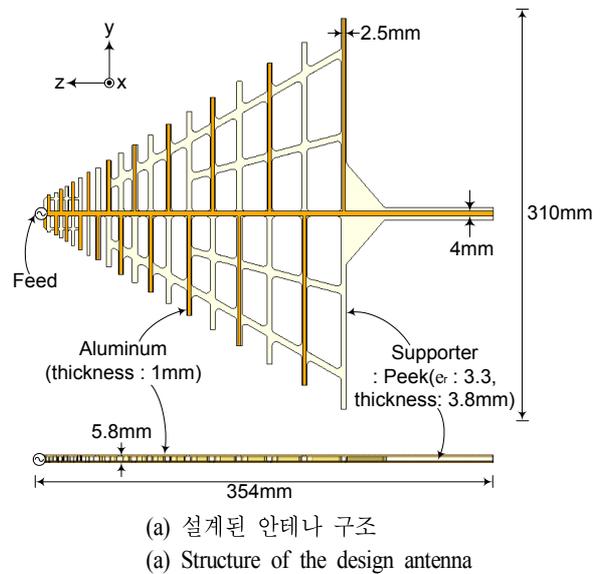
그림 5. LPDA 안테나 지지 구조 2 튜닝 전후 반사손실
Fig. 5. Return loss before and after tuning of LPDA antenna supporting structure 2.

는 다이폴 방사소자의 길이를 튜닝함으로써 반사손실 특성을 개선시켰다. 방사소자 길이 튜닝은 12번째 다이폴 방사소자를 0.6 mm 줄이고, 13번째 방사소자의 길이를 0.6 mm 늘렸다. 이와 같이 방사소자의 길이를 조절한 이유는 12번째 방사소자의 공진주파수를 높이고, 13번째 방사소자의 공진 주파수를 낮춰 1.6 GHz 대역의 반사손실 값을 높이기 위해서이다.

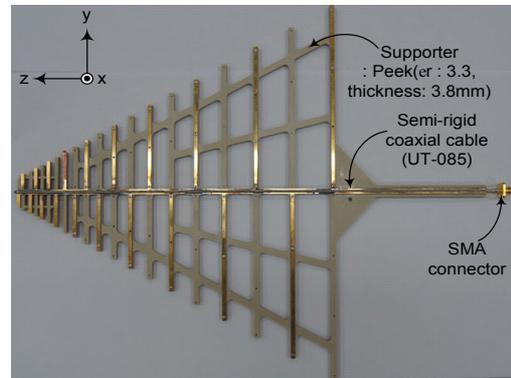
2-2 경량화 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나 제작 및 측정

본 절에서는 지금까지 설명된 경량화 유전체 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나 최종 제작 형상과 측정 결과를 기술한다.

경량화 유전체 지지 구조 2가 적용된 최종 평면 LPDA 안테나를 그림 6에 나타내었다. 제작된 안테나의 유전체 지지 구조는 Peek 유전체를 골격 구조 모양으로 가공하여 적용하였다. 안테나의 재질은 경량화를 위해 알루미늄을 이용하였다. 안테나 방사소자와 골격구조 유전체와의 접합은 견고하게 접합시키기 위해 나사 결합구조를 적용하였다. 안테나의 급전은 semi-rigid 동축케이블(UT-085)을 이용하여 LPDA 안테나의 끝단에 급전을 하였다. LPDA 안테나는 354 mm×310 mm×5.8 mm의 크기로 제작되었다.



(a) 설계된 안테나 구조
(a) Structure of the design antenna



(b) 제작된 안테나
(b) Fabricated antenna

그림 6. 경량화 지지 구조를 갖는 LPDA 안테나
Fig. 6. LPDA antenna with light-weight supporting structure.

그림 7은 시뮬레이션 및 측정된 LPDA 안테나의 반사손실을 나타내고 있다. 시뮬레이션 및 측정 결과, 모두 10 dB 이하의 양호한 임피던스 매칭 특성을 보였으며, 시뮬레이션 및 측정 결과가 대체적으로 일치하는 것을 볼 수 있다. 3.25 GHz에서 시뮬레이션과 측정 결과가 다른 이유는 시뮬레이션의 경우 해석 속도를 고려하여 급전을 위한 동축케이블을 모의하지 않고, LPDA 안테나의 앞단에 discrete port를 이용하여 급전을 하였고, 제작된 안테나는 동축 케이블로 급전하여 측정된 결과로서 급전 구조의 차이 때문이라 판단된다. 또한, 저대역에서는 시뮬레이션

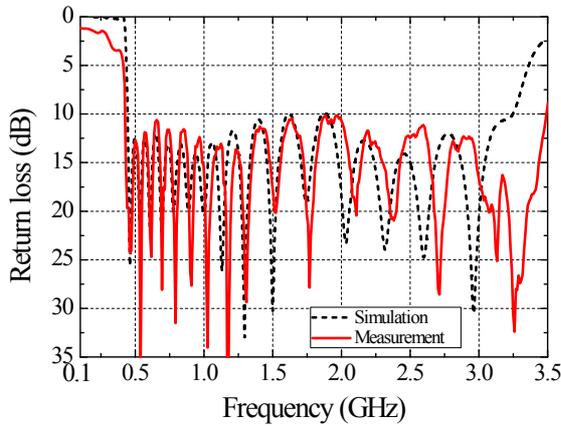


그림 7. 제작된 LPDA 안테나 반사손실
Fig. 7. Return loss of the fabricated LPDA antenna.

과 유사한 특성을 가지지만, 고대역으로 갈수록 파장이 작아져 측정 시 동축케이블 급전구조가 반사손실에 영향을 준 것이라 사료된다.

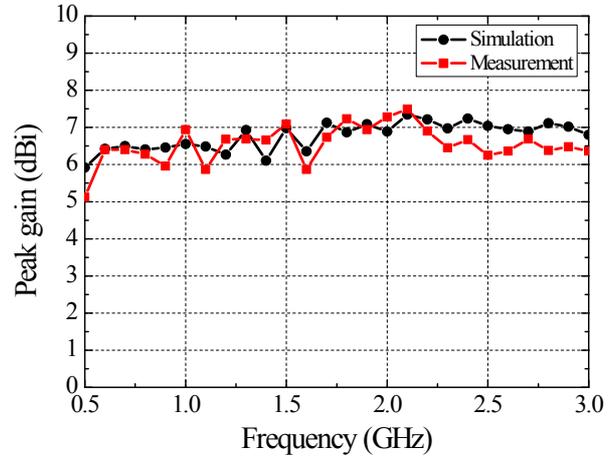
시뮬레이션 및 측정된 10-dB 대역폭은 각각 0.4~3.1 GHz(7.3:1), 0.41~3.5 GHz(8.2:1)으로 광대역 특성을 얻었다.

제안된 안테나의 최대이득과 반전력 빍폭 특성을 시뮬레이션과 측정 결과를 비교하여 그림 8에 나타내었다. 시뮬레이션과 측정 결과는 잘 일치하였고, 0.5~3 GHz 목표 대역 내에서 최대이득(그림 8(a))은 시뮬레이션 평균 6.77 dBi, 측정 평균 6.55 dBi로 나타났다. 또한, 반전력 빍폭 특성은 그림 8(b)에 나타낸 바와 같이, E-면에서 시뮬레이션 평균 62.6°, 측정 63.3°의 특성을 얻었으며, H-면에서는 시뮬레이션 평균 118.8°, 측정 120.3°의 특성을 얻었다.

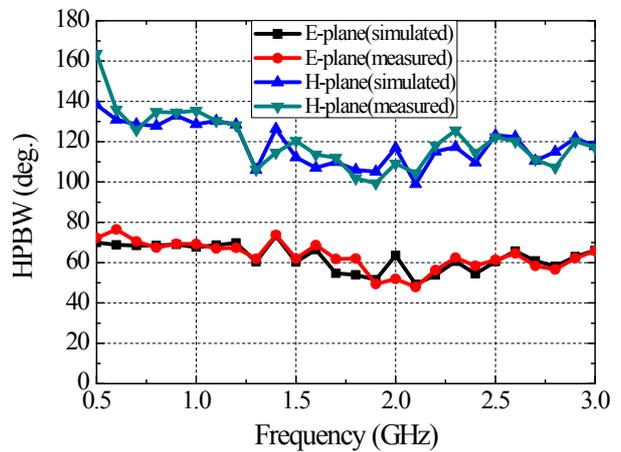
그림 9에는 0.5, 1.3, 2.2, 3 GHz 주파수에 대한 시뮬레

표 2. 설계된 LPDA 안테나 특성
Table 2. Characteristics for the designed LPDA antenna.

비교항목 \ 안테나		시뮬레이션	측정
대역폭(GHz)		2.8(7.3:1)	3.06(8.2:1)
평균이득(dBi)		6.77	6.55
평균 HPBW(°)	E-plane	62.6	63.3
	H-plane	118.8	120.3
크기(mm)		354×310×5.8	



(a) 최대이득
(a) Peak gain



(b) 반전력 빍폭
(b) Half power beamwidth

그림 8. 제작된 LPDA 안테나 최대이득 및 반전력 빍폭
Fig. 8. Peak gain and half-power beamwidth of the fabricated LPDA antenna.

이션 및 측정된 방사패턴을 나타내었다. E, H-면 모두 지향성 방사특성을 얻었으며, E-면 빍폭이 H-면 빍폭보다 좁은 전형적인 LPDA 안테나의 방사특성을 나타내었다.

표 2에는 새롭게 제안된 LPDA 안테나의 특성을 나타내었다. 표 1의 기본형 LPDA 안테나와 특성을 비교해 볼 때 경량화 지지 구조를 갖는 LPDA 안테나 특성에는 큰 차이가 없었으며, 지지 구조 보강으로 설계된 LPDA 안테나가 항공기 탑재용으로 적합함을 알 수 있다.

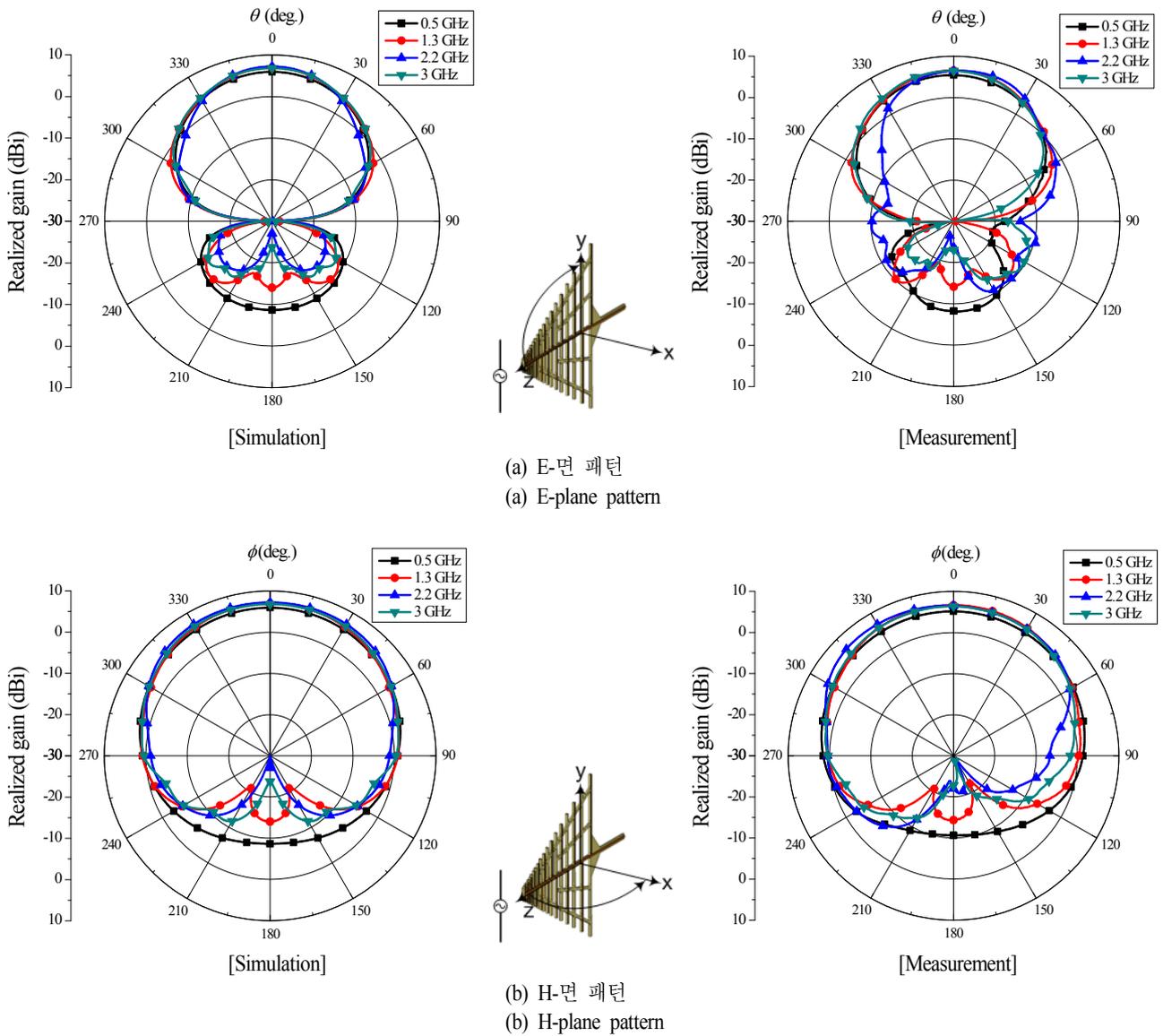


그림 9. 제작된 LPDA 안테나 방사패턴
Fig. 9. Radiation pattern of the fabricated LPDA antenna.

III. 결 론

본 논문에서는 경량화 지지 구조를 갖는 평면형 LPDA 안테나 설계 내용을 제시하였다. 제안된 안테나는 일반적인 LPDA 안테나와 비교하여 제작이 용이하도록 평면형의 알루미늄 플레이트를 이용하였으며, 안테나 소자를 지지하는 구조는 무게를 줄이기 위해 골격 형태의 유전체

를 사용하였다. 또한, 유전체 지지 구조로 인하여 변화하는 입력 임피던스를 방사소자의 간격과 길이 조절을 통하여 매칭시켰다. 기본형 평면 LPDA 안테나와 설계된 안테나와의 성능 측정 결과, 특성은 대체로 일치함을 확인하였다. 설계된 LPDA 안테나는 경량이며, 견고한 지지 구조를 가지고 있어 항공용 안테나로 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

References

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design 3rd Ed.*, Wiley Interscience, pp. 619-637, 2005.
- [2] R. Pantoja, A. Sapienza, and F. M. Filho, "A microwave planar log-periodic dipole array antenna", *IEEE Trans. on Antennas Propag.* vol. 35, no. 10, pp. 1176-1178, Oct. 1987.
- [3] 최학근, 김선표, 임성빈, "대수 주기 벤트 다이폴 안테나의 복사특성", *한국전자과학회논문지*, 14(11), pp. 1207-1215, 2003년 11월.
- [4] 임선용, 최학근, "대수 주기 칸토어 다이폴 안테나의 복사특성", *한국전자과학회논문지*, 19(3), pp. 321-328, 2008년 3월.
- [5] Ga A. Casula, P. Maxia, Gmontisci, G. Mazzarella, and F. Gaudiomonte, "A printed LPDA fed by a coplanar waveguide for broadband applications", *IEEE Antennas and Wireless Proga. Lett.*, vol. 12, pp. 1232-1235, 2013.
- [6] 박영주, 박동철, "평면형 광대역 LPDA 안테나 설계", *한국군사과학기술학회 종합학술대회*, pp. 937-938, 2014년 6월.
- [7] R. Carrel, "Analysis and design of the log-periodic dipole antennas", Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana, IL, USA, 1961.
- [8] 함형준, 유흥균, 박범준, 박영주, 이규송, 우종명, "대수주기 다이폴 배열 안테나의 소형화 연구", *한국전자과학회논문지*, 25(7), pp. 709-720, 2014년 7월.

박 영 주



1993년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
 1997년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
 1997년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임 연구원
 2009년 3월 ~ 현재: 충남대학교 전파정보

통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 안테나 설계, 전자전 송수신 시스템 설계

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
 1984년 12월: University of California, Santa Barbara (공학박사)
 1977년 ~ 1978년: Ruhr University, Bochum,

Germany 방문교수

1994년 ~ 1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairman

1998년 ~ 2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairman

2000년 ~ 2001년: 한국전자과학회 회장

2005년 ~ 2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장

1976년 ~ 현재: 충남대학교 전파정보통신공학과 교수

[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC