THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2016 Jul.; 27(7), 653～659.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.7.653
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

공중 회전 방향탐지 반사판 안테나 급전기용 초광대역 LPDA 안테나 설계

Design of an Ultra-Wideband LPDA Antenna for the Feeder of an Airborne Spinning Direction-Finding Reflector Antenna

박 영 주 · 박 동 철*

Young-Ju Park · Dong-Chul Park*

요 약

본 논문은 공중에서 회전하면서 광대역 신호를 방향 탐지하고 수신하는 반사판 안테나 급전기용 초광대역 LPDA(Log-Periodic Dipole Array) 안테나를 제안한다. S 대역부터 Ka 대역까지 20:1 이상의 초광대역 특성을 확보하기 위해 평면 기판 위에 방사소자를 인쇄하였고, 기판 사이에 견고한 구조의 쐐기형 유전체 지지대를 삽입하였다. 또한, 무게를 줄이기 위해 지지대 중심 부분을 스티로폼 재질로 대체하였다. 설계된 LPDA 안테나의 5-dB 반사손실 대역폭은 시뮬레이션 37.57:1(1.09～40.95 GHz), 측정 33.85:1(1.31～44.35 GHz)로 초광대역 특성을 나타내었다. 동작 대역에서 평균 이득은 시뮬레이션, 측정 각각 5.79 dBi, 5.76 dBi로서 요구하는 이득을 확보하였다. 제안된 견고하고 가벼운 초광대역 LPDA 안테나는 항공용으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an ultra-wideband Log-Periodic Dipole Array(LPDA) antenna for the feeder of a reflector antenna to be used for airborne spinning direction-finding and detecting wideband signals. To obtain the ultra-wideband characteristics over the 20:1 bandwidth from S to Ka band, the radiation elements of the antenna were printed on a substrate and a wedge-typed dielectric supporter with robust structure was inserted between the substrates. Also, the center portion of the supporter was replaced by a styrofoam material to reduce the supporter weight. The 5-dB return loss of the designed LPDA antenna showed ultra-wideband characteristics, which are 37.57:1(1.09～40.95 GHz) in the simulation and 33.85:1(1.31～44.35 GHz) in the measurement. We achieved the required gains of 5.78 dBi in the simulation and 5.76 dBi in the measurement in the operating band. The proposed robust, light-weight, and ultra-wideband LPDA antenna confirmed that it can be applied for airborne applications.

Key words: Ultra-Wideband Antenna, Planar LPDA Antenna, Airborne Antenna, Wedge Structure Supporter

Ⅰ. 서 론

광대역 신호를 회전하면서 탐지하는 회전 방향탐지 안테나는 함정, 항공기, 지상 플랫폼에 다양하게 적용되고 있다. 특히 공중에 탑재되는 경우, 광대역 신호를 수집하고, 수신기의 수신감도를 향상시키기 위해 광대역, 고이

국방과학연구소(Agency for Defense Development)
*충남대학교 전파정보통신공학과(Department of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National University)
· Manuscript received June 14, 2016 ; Revised July 6, 2016 ; Accepted July 9, 2016. (ID No. 20160614-065)
· Corresponding Author: Dong-Chul Park (e-mail: dcpark@cnu.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

득 및 고속 회전에 따른 경량화와 견고성이 요구된다[1].

이러한 특성을 얻기 위해 적합한 안테나는 스파이럴(spiral) 안테나 또는 대수주기 다이폴 배열(Log-Periodic Dipole Array: LPDA) 안테나를 급전기(feeder)로 이용한 반사판(reflector) 안테나[1],[2]가 일반적이다.

한편, 회전 방향탐지 안테나가 탐지해야 할 주파수 대역이 S 부터 Ka 대역까지 매우 넓은 대역이라면, 2～18 GHz 대역은 스파이럴 안테나 또는 LPDA 안테나를 급전기로 적용한 반사판 안테나를 사용하고, 18～40 GHz 대역은 단일 혼 안테나를 이용하여 대역 분할 형태로 운용되기도 한다[3]. 하지만 대역 확장을 위한 추가적인 혼 안테나 장착은 빠르게 회전하는 회전 방향탐지 안테나에서 구조가 복잡해지고, 무게가 증가되는 단점이 될 수 있다. 또한, 대역이 분리되어 2채널 로터리 조인트 또는 듀플렉서(duplexer)를 적용해야 하기 때문에 전체 안테나의 설계가 복잡해지며, 가격이 상승하게 된다.

따라서 전체 대역을 수용할 수 있는 단일 급전 안테나가 요구되는데, 스파이럴 안테나는 18 GHz 이상의 초광대역 구간에서는 제작이 어려워, 주로 2～18 GHz(9:1) 대역을 수용하는 안테나로 이용된다. 따라서 2～40 GHz (20:1) 대역을 하나의 LPDA 안테나로 탐지할 수 있는 초광대역 급전 안테나가 필요하며, 안테나가 고속으로 회전하기 때문에 경량이면서 견고성까지 확보되어야 한다. 0.5～3 GHz 대역을 탐지하는 항공기용 경량화 지지 구조의 평면 LPDA 안테나가 제안되기도 하였지만[4], 이런 형태로 밀리미터파 대역까지 확장할 경우, 고대역 끝단 안테나 방사소자 크기가 너무 작고, 간격도 좁아져 제작이 어려우며, 견고성을 확보하기에는 한계가 있어 이를 극복할 수 있는 항공용 초광대역 LPDA 안테나가 필요하다.

본 논문에서는 상기의 요구조건을 만족하는 구조적으로 견고한 회전 방향탐지 반사판 안테나용 초광대역(2～40 GHz, 20:1) LPDA 급전 안테나를 제안한다. 설계된 안테나는 고대역의 방사소자를 구현하기 위해 얇은 기판을 이용해 인쇄형으로 제작된다. 구조적 강건성 확보와 무게를 줄이기 위해 인쇄형 LPDA 방사소자 사이에 유전체 쐐기형 지지구조를 삽입하여 설계하였다. 쐐기형 지지구조 내부는 견고성을 유지하고, 안테나의 특성 변화를 최소화하기 위해 foam 재질을 삽입하였다. 시뮬레이션과 측정 결과를 통해 제안된 안테나의 성능을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 초광대역 LPDA 안테나 설계

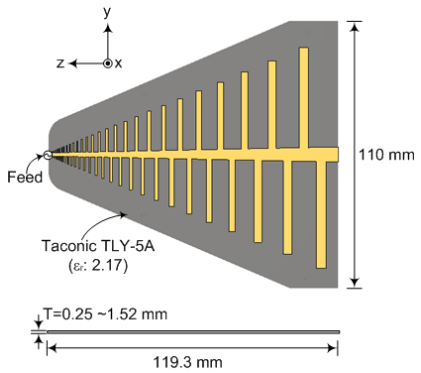
본 장에서는 초광대역 LPDA 안테나 설계 방안을 제시하고자 한다. 최종 설계되는 안테나는 항공기에 탑재되어 20:1 이상의 초광대역 탐지 구간에서 일정한 빔 패턴과 원하는 이득 값을 만족하는 성능을 목표로 한다. 그리고 회전판 위에 기구물 지지대를 통해 설치되므로, 진동이나 충격에 잘 견디면서 무게는 가벼워야 한다. 이를 위한 LPDA 안테나의 목표 성능을 표 1에 나타내었다. 수신 전용의 초광대역 안테나로서 대역폭은 5-dB 반사손실 기준으로 20:1 이상, 이득은 평균 5 dBi 이상으로 설정하였으며, 크기는 장착되는 공간을 고려하여 정하였다. 여기서 제시된 초광대역 LPDA 안테나의 목표 성능은 최종 적용될 반사판 안테나 성능을 충분히 만족하도록 정의되었다.

우선 기본적인 평면형 LPDA 안테나 설계를 위해 Carrel이 제시한 LPDA 안테나 설계 방법을 이용하였다[5],[6]. 초광대역 LPDA 안테나 방사소자는 33개, 간격 계수(σ)는 0.035, 스케일 계수(τ)는 0.937로 설정하였다. 설계 안테나의 밀리미터파 대역인 고대역 부분은 방사소자 간격이 매우 좁고 크기가 작아서 제작이 매우 어렵다. 따라서 초광대역 LPDA 안테나를 기판의 양면에 인쇄형으로 설계하여 구현이 가능하게 하였다. 또한, 전 대역에 걸쳐 안테나의 반사손실이 최소가 되도록 안테나의 입력 임피던스 매칭을 해야 하는데, LPDA 안테나의 입력 임피던스매칭은 주로 전송선로의 간격과 폭에 따라 결정되므로 인쇄형 LPDA 안테나의 전송선로 간격인 기판의 두께를 가변함으로써 임피던스를 매칭하였다[7].

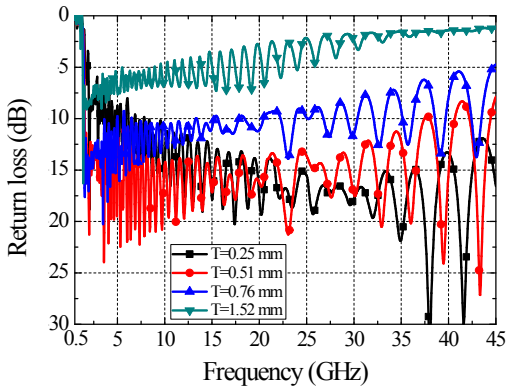
표 1. 초광대역 LPDA 안테나의 설계 사양
Table 1. Design specification of ultra-wideband LPDA antenna.

항목		설계 사양
5-dB 대역폭(GHz)		2～40(20:1 이상)
평균이득(dBi)		5 이상
평균 HPBW(°)	E-plane	55 이상
	H-plane	55 이상
크기(mm)		150(폭)×150(길이) 이내

그림 1(a)에 인쇄형 LPDA 안테나의 구조와 그림 1(b)에 기판 두께 변화에 대한 안테나 반사손실 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 안테나 시뮬레이션은 CST사의 Microwave Studio 2013 3D EM 시뮬레이션을 사용하였다. 시뮬레이션 시 기판의 두께는 제조사인 Taconic사에서 제공하는 TLY-5A 기본 두께 0.25 mm, 0.51 mm, 0.76 mm, 1.52 mm의 4가지에 대하여 고려하였다. 그림 1(b)와 같이 10-dB 반사손실을 기준으로 기판의 두께가 0.51 mm인 경우에 임피던스 매칭이 잘 이루어지며, 전반적으로 기판의 두께가 커지면 임피던스가 증가하여 반사손실이 열화되는 것을 알 수 있다. 하지만 0.51 mm 기판인 경우에도 두께가 얇아서 진동이나 충격이 심한 항공 회전 탐지에 적용하기에는 부적합하다.



(a) 안테나 구조
(a) Structure of antenna

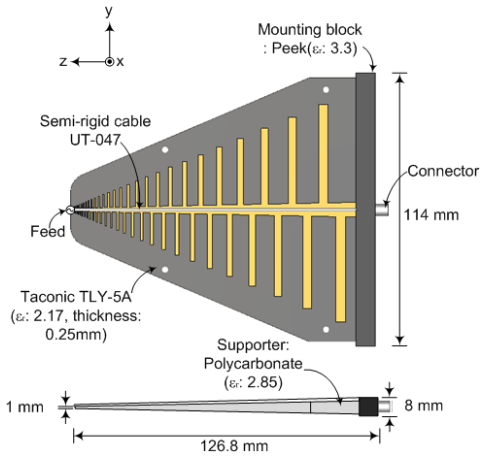


(b) 반사손실
(b) Return loss

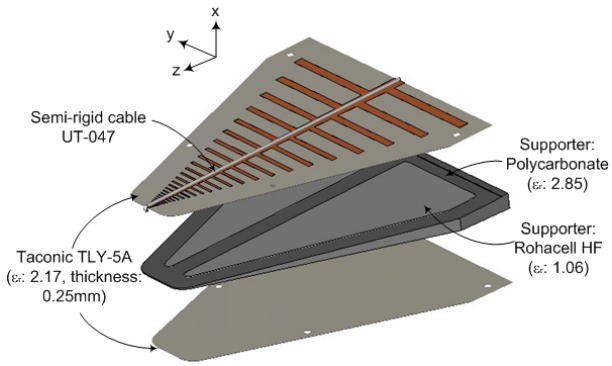
그림 1. 인쇄형 LPDA 안테나의 구조 및 반사손실
Fig. 1. Structure and return loss of printed-type LPDA antenna.

이를 보완하기 위해서 쐐기형 지지구조를 삽입한 초광대역 LPDA 안테나를 제안하였으며, 그림 2(a)에 안테나의 구조를 나타내었다. 상대적으로 고대역에서 기판 두께에 대한 임피던스 변화가 커지므로 고대역 기판 두께를 0.51 mm로 고정하고, 저대역을 담당하는 부분인 커넥터 단자 쪽으로 갈수록 두꺼워지는 쐐기형 지지대를 제안하였다. 또한, 경량화를 위해 그림 2(b)와 같이 기판을 유전체 지지대로 대체하고, 지지대의 중간 부분에는 가벼운 스티로폼인 Evonik industries사의 Rohacell HF를 삽입하였으며, 시뮬레이션 시 스티로폼 유전율도 반영하여 계산하였다.

최종적으로 설계된 초광대역 평면 LPDA 안테나는



(a) 안테나 구조
(a) Structure of antenna



(b) 쐐기형 지지대
(b) Wedge-type supporter

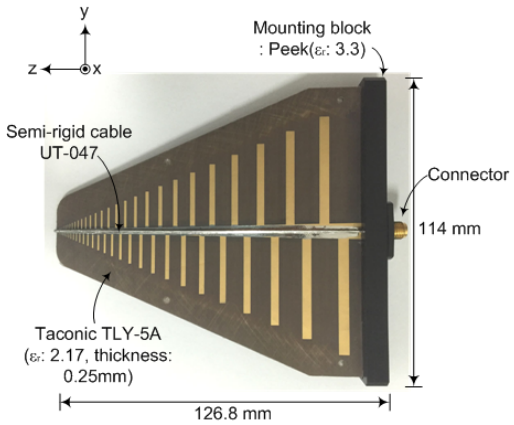
그림 2. 제안된 LPDA 안테나의 구조
Fig. 2. Structure of the proposed LPDA antenna.

0.25 mm의 얇은 유전체 기판 위에 방사소자를 인쇄형으로 배치하여 제작과 정비가 용이하며, 두 개의 기판 사이에 쐐기형 유전체 지지대를 삽입하여 구조적으로 견고하면서도 경량으로 설계되었다.

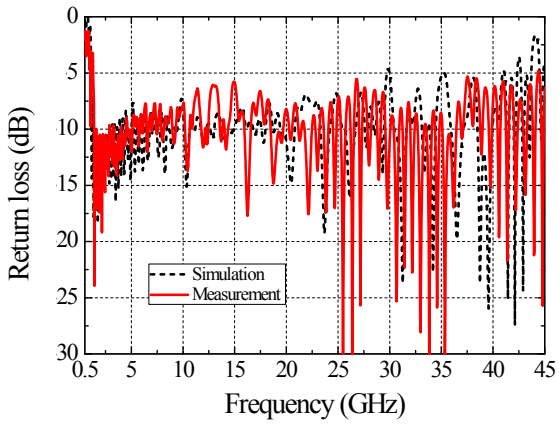
Ⅲ. 시뮬레이션 및 측정 결과

본 장에서는 설계된 LPDA 안테나의 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 측정 결과를 제시한다. 그림 3(a)에 최종 제작된 LPDA 안테나의 형상을 나타내었다. 안테나 방사소자가 인쇄된 기판으로는 얇은 0.25 mm 두께의 Taconic사 TLY-5A를 사용하였으며, semi-rigid 케이블인 UT-047을 이용하여 커넥터와 안테나 급전부를 연결하였다. 회전판 위에 제안된 LPDA 안테나를 독립적으로 고정하기 위해 그림 3(a)에 보인 바와 같이 고정 블록(mounting block)을 적용하였다.

그림 3(b)는 제안된 LPDA 안테나 반사손실에 대해 시뮬레이션과 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 5-dB 반사손실 대역폭 기준으로 시뮬레이션은 1.09~40.95 GHz (37.57:1), 측정 결과는 1.31~44.35 GHz(33.85:1)의 대역폭을 보여주고 있어 요구된 초광대역 특성을 충족한다.

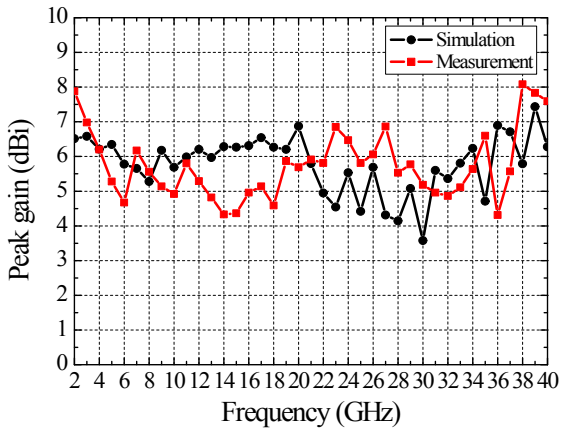


(a) 안테나 형상
(a) Shape of antenna

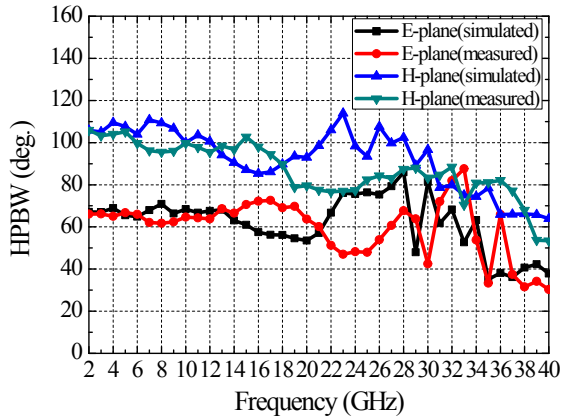


(b) 반사손실
(b) Return loss

그림 3. 제작된 LPDA 안테나의 형상 및 반사손실
Fig. 3. Shape and return loss of the fabricated LPDA antenna.



(a) 최대 이득
(a) Peak gain



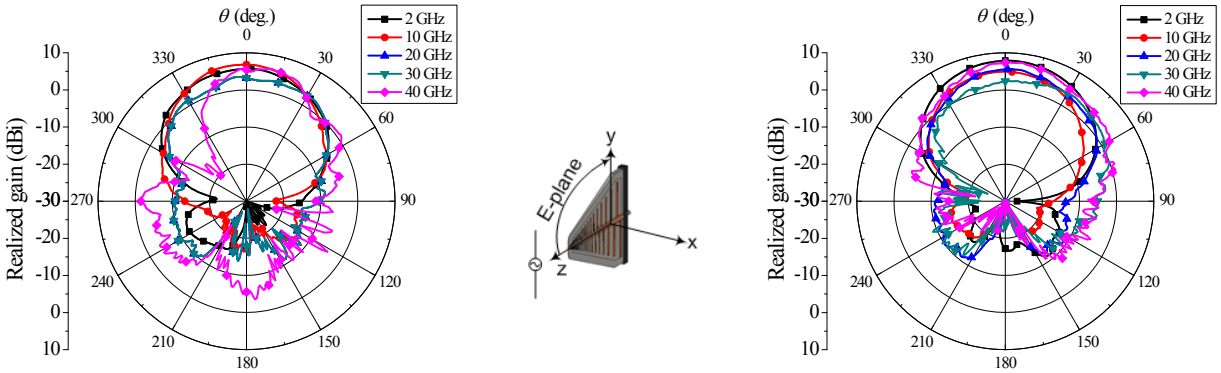
(b) 반전력 빔폭
(b) Half power beamwidth

그림 4. LPDA 안테나의 최대 이득 및 반전력 빔폭
Fig. 4. Peak gain and half-power beamwidth of LPDA antenna.

그림 4는 제안된 안테나의 최대 이득과 반전력 빔폭에 대한 결과를 보이고 있다. 그림 4(a)의 요구대역 내 평균 최대 이득은 시뮬레이션의 경우 5.79 dBi, 측정은 5.76 dBi로 목표치인 대역 내 평균 5 dBi를 만족하는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 몇몇 주파수에서 상이한 부분은 특히 고대역 방사소자가 밀집된 안테나 급전부가 안테나 제작 시 동축케이블 끝단에서 납땜으로 처리가 되는데, 이를 시뮬레이션 시 정확히 모사하기가 어렵기 때문이라 판단된다. 동일한 이유로 그림 4(b)의 반전력 빔폭도 고대역 일부분에서 상이하지만, 나머지 시뮬레이션과 측정 결과가 유사함을 확인할 수 있다.

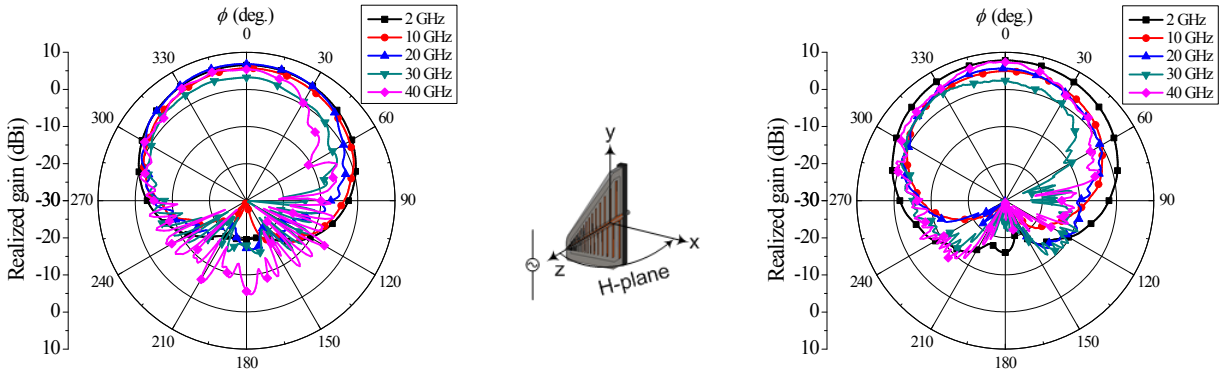
그림 5는 요구 대역 내에서 2, 10, 20, 30, 40 GHz 주파수에 대한 E-와 H-면 방사패턴 시뮬레이션과 측정 결과를 비교하여 보이고 있다. 시뮬레이션 및 측정 모두 일반적인 LPDA 안테나의 지향성 방사패턴을 나타내고 있으며, 서로 유사한 것을 알 수 있으나, 주파수가 높아지면서 부분적으로 리플 및 비대칭 패턴이 발생하는데, 이는 지지대 유전체와 급전 케이블의 영향 때문이라 판단된다.

또한, 고대역 방사소자 끝단에 연결된 안테나의 급전부 케이블을 모의한 시뮬레이션 모델은 실제 제작된 급



(시뮬레이션) (측정)

(a) E-면 패턴
(a) E-plane pattern



(시뮬레이션) (측정)

(b) H-면 패턴
(b) H-plane pattern

그림 5. 제작된 LPDA 안테나의 방사패턴
Fig. 5. Radiation pattern of the fabricated LPDA antenna.

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

비교항목 \ 안테나		시뮬레이션	측정
5-dB 대역폭(GHz)		1.09～40.95 (37.57:1)	1.31～44.35 (33.85:1)
평균이득(dBi)		5.79	5.76
평균 HPBW(°)	E-plane	61.78	59.82
	H-plane	92.38	87.02
크기(mm)		126.8(폭)×114(길이)×8(두께)	

전부를 유사하게 모의하기 어렵기 때문에, 그림 5(a) E-면 패턴과 같이 제일 높은 주파수 대역인 40 GHz 시뮬레이션 방사 패턴이 측정 패턴과 다른 이유라 사료된다. 하지만 빔폭이 넓어 반사판 안테나의 급전기로 충분히 적용 가능하리라 사료된다.

표 2에는 최종 설계된 LPDA 안테나의 주요 특성을 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 표 1에 요구된 주요 성능을 대부분 만족하고 있어, 항공용 회전 방향탐지 반사판 안테나의 급전기로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 항공용 회전 방향탐지 반사판 안테나의 급전기인 초광대역 LPDA 안테나를 제안하고, 설계 및 제작된 결과를 제시하였다. 안테나의 방사소자는 고대역 방사소자 제작이 용이하도록 인쇄형으로 설계되었으며, 초광대역 특성을 확보하였고, 회전이나 진동 등에 강건한 안테나 구조를 위해 쐐기형 지지대를 적용하였다. 또한, 추가적인 무게를 줄이기 위해 지지대 중간 부분을 스티로폼 재질로 대체하였다.

제안된 안테나의 성능 측정 결과, 이득은 평균 5.76 dBi, 대역폭은 반사손실 5-dB 기준으로 목표로 삼은 20:1 이상을 확보하였다. 최종 제작된 초광대역 LPDA 안테나는 원하는 빔 패턴과 목표 성능을 만족하여 항공기 배면에 장착되는 반사판 안테나의 급전기로 적용 가능하리라 판단된다.

References

[1] S. E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, Scitech publishing, Inc., pp. 93-99, 2004.

[2] R. H. DuHamel, F. R. Ore, "Log periodic feeds for lens and reflectors", *IRE National Convention Record,* vol. 7, pp. 128-137, 1959.

[3] https://www.rockwellcollins.com/Data/Products/EW_and_ Intelligence/SIGINT/ANT-1040_Spinning_DF_Antenna.aspx, ANT- 1040 Spinning DF Antenna, 2016년 5월.

[4] 박영주, 박동철, "항공기 탑재용 경량화 지지 구조를 갖는 평면 LPDA 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 27(3), pp. 253-260, 2016년 3월.

[5] R. Carrel, "Analysis and design of the log-periodic dipole antennas", Ph. D. dissertation, University of Illinois, Urbana, IL, USA, 1961.

[6] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 259-270, 1998.

[7] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed., Wiley Interscience, pp. 619-637, 2005.

박 영 주

1993년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
1997년 2월: 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
1997년 2월~현재: 국방과학연구소 책임연구원
2009년 3월~현재: 충남대학교 전파정보통신공학과 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: 한국전자파학회 회장
2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장
1976년~현재: 충남대학교 전파정보통신공학과 교수
[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC