VHF-UHF 대역 블레이드 안테나의 성능 평가 및 분석

Performance Evaluation and Analysis of a VHF-UHF Blade Antenna

고주석 · 변강일* · 김기출** · 주증민** · 추호성

Jooseoc Go · Gangil Byun* · Kichul Kim** · Jeungmin Ju** · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 항공기 안테나로 사용되는 블레이드 안테나의 성능 평가를 위한 항공기 블레이드 안테나의 평가 프로세스를 제안하였다. 평가 프로세스에 사용된 다수의 평가 항목들은 항공기의 비행 시 안정된 통신을 위한 필수 성능 요소들을 고려하여 결정하였다. 제안된 성능 평가 프로세스는 먼저 블레이드 안테나의 그라운드를 설정하고, 정합 성능을 평가하였다. 또한, 항공 시나리오를 고려하여 주 통신 영역을 제한하고, 주파수 대역별 요구되는 최소 복사 이득을 도출하였다. 최종적으로 제안된 성능 평가 프로세스는 실제 항공기에 운용 되는 상용 블레이드 안테나에 적용하였으며, 평가 프로세스의 결과를 바탕으로 항공기 적용 적합도를 도출하였다.

Abstract

In this paper, we propose a performance evaluation process of aircraft blade antennas. The process consists of various sub-processes that should be considered for a stable communication link with the base station. The process begins with the settlement of the ground shape and size to evaluate the impedance matching characteristics of a stand-alone antenna. Next, the main communications area of the antenna is determined by considering a flight scenario, and then the minimum gain requirements of the antenna are derived in the operating frequency band. Finally, the proposed evaluation process is applied for a commercial aircraft blade antenna. The results demonstrate that the proposed process is suitable to be adopted for the evaluation of aircraft blade antennas.

Key words : Blade Antenna, VHF-UHF Antenna, Performance Evaluation of Antenna

I. 서 론

최근 공력 특성 및 내구성을 고려하여 많은 항공기에 블레이드 형상의 통신용 안테나가 도입되어 사용되고 있다^{[1]~[3]}. 블레이드 안테나는 항공기에 장착될 경우 항공기 구조와의 회절/반사에 의해 이득 저감과 패턴 왜곡 등의 성능 열화를 보일 수 있으며,

이는 운항 시 특정 방향에서 통신 링크가 두절되는 심각한 문제를 야기할 수도 있다^[4]. 이러한 항공기용 블레이드 안테나의 성능 예측 및 평가를 위하여 장착 위치에 따른 안테나 성능 분석 및 최적화와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다^{[5]~[8]}. 또한, 안테나 간 간섭을 고려하여 안테나의 성능을 평가하고, 위치 및 형상을 최적화하는 연구도 발표되어지고 있

「본 연구는 국방과학연구소와 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터육성 지원사업의 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-2007).」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronic & Computer Engineering, Hanyang University)

**국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received May 31, 2013 ; Revised August 29, 2013 ; Accepted September 26, 2013. (ID No. 20130531-052)

· Corresponding Author : Hosung Choo (e-mail : hchoo@hongik.ac.kr)

다. 일반적으로 안테나를 주변 안테나 및 돌출 구조물에 최대한 이격하여 배치할 때 성능 열화를 최소화 할 수 있다는 연구 결과가 많은 연구 논문에서 보고되고 있다^[9]. 그러나 이러한 기존 연구들은 실제 항공기의 운항 시나리오를 고려하지 않고, 안테나의 정합 성능과 복사 이득만으로 항공기 안테나의 적용 적합도를 평가하므로, 실질적인 항공기 운용에 근거한 안테나의 성능 평가가 이뤄지기에는 어려움이 있다. 따라서 항공기의 실질적인 운항 시나리오에 근거한 블레이드 안테나의 체계적인 성능 평가 기법에 대한 심도 있는 연구가 시급한 실정이다.

본 논문에서는 항공기용 블레이드 안테나의 성능을 보다 정확하고 체계적으로 평가할 수 있는 항공기용 블레이드 안테나의 성능 평가 프로세스를 제안하였다. 제안된 평가 프로세스는 항공기 운항 시나리오를 고려한 성능 평가 항목으로 정합 성능뿐 아니라, 운항 시 요구되는 주파수별 최소 이득, 안테나 개별 및 탑재 시 안테나 복사 패턴, 주 통신 영역에서의 안테나 이득으로 구성되어 있다. 최종적으로 제안된 평가 프로세스를 이용하여, 상용 VHF-UHF 용 블레이드 안테나가 소형 항공기에 장착되었을 경우 블레이드 안테나의 항공기 적용 적합 여부를 평가하였다. 항공기에 장착 시 안테나의 방사 특성의 도출을 위하여 FEKO Suit 6.2가 사용되었으며^[10], 해석 툴을 이용한 안테나의 복사 특성을 평가 프로세스에 적용하여 블레이드 안테나의 개별 및 탑재 성능을 예측하였다. 또한, 이를 이용하여 항공기 적용 적합 여부를 최종 평가하였다.

II. 안테나 성능 평가 항목

그림 1은 제안된 성능 평가 프로세스의 순서도를 보여준다. 먼저 평가할 개별 안테나의 전자파 모델링을 수행하며, 이때 안테나의 정규화 된 정합 성능 및 이득 성능을 도출하기 위해 동작주파수를 고려한 안테나의 장착 그라운드를 결정한다. 결정된 그라운드를 포함한 안테나 모델링 해석을 통해 개별 안테나의 정합 성능과 이득 성능을 평가한다. 개별 안테나의 성능이 요구 기준치를 만족시키면 탑재 안테나 성능 평가의 수행을 시작한다. 탑재 안테나 성능 평가를 위해서는 항공기 운항 시나리오를 반드시 고려

그림 1. 안테나 성능 평가 프로세스 순서도

Fig. 1. Flow chart of the proposed antenna evaluation process.

하여야 하며, 이를 근거로 하여 안테나의 주 통신 영역과 각 주파수 대역에 따른 최소 복사 이득을 결정한다. 개별 안테나를 항공기 구조체에 탑재하여 주 통신 영역에서의 이득 성능을 평가한다. 성능이 기준 이하일 경우 개별 안테나의 성능 튜닝 및 위치 최적화를 통해 탑재 시 안테나의 성능이 기준 값을 만족시킬 때까지 제안된 프로세스를 반복한다. 본 논문에서 안테나의 주요 특성인 편파 특성을 평가 항목으로 고려하지 않은 이유는 일반적으로 블레이드 안테나는 지상 기지국과 통신하고 주로 수직 편파를 사용하기 때문에 평가 항목으로 고려하지 않았다. 하지만 항공기용 블레이드에 국한되지 않고 항공기용 안테나 전 분야의 성능 평가 및 분석에서는 편파 특성 항목을 반드시 고려해야 한다.

그림 2는 제안된 프로세스의 항목 중 주 통신 영역을 결정하기 위한 항공 시나리오를 보여준다. 항공기가 이륙 후 $D=20$ km 지점에서 base station과 통신을 시작하며, 항공기의 고도(H)는 h_1 으로 가정하였다. 항공기의 최대 운항 영역은 약 200 km 이내이며, 회항지점에서 r_1 의 선회각(항공기가 진로를 바꿀 시 동체가 기울어지는 각도)을 가지고 선회한 후 base station으로 다시 돌아오는 시나리오로 가정한다. 통신을 시작하는 20 km 지점에서 항공기와 base

그림 2. 항공 시나리오

Fig. 2. Flight scenario.

station의 가시선을 고려할 때 30°의 고각(지상 base station과 항공기 사이의 가시선과 지평선이 이루는 각도)을 가지게 되며, 항공기의 선회각 15°를 반영하면, 통신 가시선 최소 고각(elevation angle: $\theta_{EL,L}$)은 $\theta_{EL,L} = -(30 + 15)^\circ = -45^\circ$ 로 결정된다. 200 km의 선회점에서는 항공기와 base station 사이의 가시선 각도가 0°에 근접하므로 최대 고각(elevation angle: $\theta_{EL,H}$)은 15°로 결정된다.

그림 3은 그림 2의 항공 시나리오를 바탕으로 결정된 주 통신 영역의 고각 분포를 보여주며, 최소 고각과 최대 고각 사이에 포함된 모든 방위각 방향의 이득을 평균하여 항공기 탑재 이득 성능을 평가하였다. 그림 4는 항공기 수신안테나의 최소 수신 신호 레벨 곡선을 보여준다. Base station 안테나는 지상으로부터 20 m 높이에 장착되어 있고, 송신 EIRP는 46 - 100 dBm 이상의 수신 전력을 유지하도록 하는 항공기 탑재 안테나의 최소 복사 이득을 Friis 전송방정식을 이용하여 계산하였다. 수식 1은 최소 수신 신호 레벨을 구하기 위한 공식을 나타낸다. 변수 $G_{min,VHF}$ 는 VHF 대역에 필요한 안테나의 최소 이득을 나타내며, $G_{min,UHF}$ 는 UHF 대역에 필요한 안테나의 최소 이득을 나타낸다. $P_{r,min}$ 은 수신 안테나의 최소 수신전력이며, $P_{t,min}$ 는 송신 안테나의 최소 송신 전

그림 3. 항공시나리오를 반영한 주 통신 영역

Fig. 3. Main communications area according to a flight scenario.

그림 4. VHF-UHF 대역의 최소 수신 신호 레벨

Fig. 4. Minimum gain requirements for VHF-UHF band.

력을 나타낸다. 또한, G_t 는 송신 안테나의 이득을 나타내며, D_{max} 는 최대 운항거리를 나타낸다. 이 변수들을 이용하여 최소 복사 이득을 계산하였으며, 그 결과, VHF 대역(300 MHz 기준)에서 $G_{min,VHF} = -18$ dBi, UHF 대역(500 MHz 기준)에서 $G_{min,UHF} = -13.6$ dBi일 경우 base station과의 안정적인 송수신이 가능함을 알 수 있다.

$$G_{min,VHF} [dB] = P_{r,min} [dB] - (P_t [dB] + G_t [dB]) + 20 \log \left(\frac{4\pi D_{max}}{\lambda_{300 MHz}} \right) = -18.0 \text{ dBi}$$

$$G_{min,UHF} [dB] = P_{r,min} [dB] - (P_t [dB] + G_t [dB]) + 20 \log \left(\frac{4\pi D_{max}}{\lambda_{500 MHz}} \right) = -13.6 \text{ dBi}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{최소수신전력 : } P_{r,min} [dB] = -100 \text{ dBm} \\ \text{최대운항거리 : } D_{max} = 200 \text{ km} \\ \text{송신 EIRP : } P_t [dB] + G_t [dB] = 46 \text{ dBm} \end{array} \right\}$$

수식 1. 최소 복사 이득을 구하기 위한 공식

Formula 1. The formula for obtaining the minimum radiation gain.

III. 안테나 형상 및 성능 평가

2장에서 정립된 안테나 성능 평가 프로세스를 사용하여, 상용 블레이드 안테나의 항공기 탑재 성능 적합도를 평가하였다. 정립된 안테나 성능 평가를 하기 위해 먼저 사용할 항공기 블레이드 안테나의 전자파 모델링을 수행하였으며, 안테나의 형상을 그림 5(a)와 (b)에 나타내었다. 안테나는 VHF-UHF 대역에서 동작하며, 일반적인 기관 인쇄형 형상을 가진다. 안테나의 급전부는 coaxial cable과 연결되며, 방사부는 유전체 위에 평면형으로 인쇄된다. 방사부

(a) 안테나 수직 단면
(a) Vertical cross section of the antenna

(b) 안테나 수평 단면
(b) Horizontal cross section of the antenna

그림 5. VHF-UHF 대역 안테나 형상
Fig. 5. Geometry of the commercial blade antenna.

의 좌측 하단이 그라운드와 접지되어 inverted-F 구조를 형성하며, 이는 안테나의 크기를 소형화하면서도 대역폭을 넓히는 특성을 보인다. 안테나의 전자파 모델링은 FEKO EM 시뮬레이터(Suit 6.2)를 사용하여 도출하였다. 모델링된 안테나의 정합 성능 평가는 직경 1.2 m의 원형 그라운드 위에서 수행하였으며, 결과를 그림 6에 나타내었다. 안테나의 정합

그림 6. 안테나 정합성
Fig. 6. Reflection coefficient of the antenna.

(a) 개별 안테나 xz-plane 복사 이득 패턴
(a) Radiation patterns of the stand-alone antenna in xz-plane

(b) 개별 안테나 yz-plane 복사 이득 패턴
(b) Radiation patterns of the stand-alone antenna in yz-plane

그림 7. 개별 안테나(400 MHz) 이득 성능 평가
Fig. 7. Gain evaluation of the stand-alone antenna(400 MHz).

성능 측정 또한 동일한 그라운드 위에 장착 후 진행하였으며, 성능 분석 결과, 반사계수가 VHF-UHF 대역인 100~500 MHz에서 약 -5 dB 이하로 항공기 블레이드 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

그림 7과 8은 400 MHz와 500 MHz에서의 xz-plane, yz-plane의 안테나 복사 패턴을 보여준다. 블레이드 안테나는 주 통신 영역에서 약 -5.8 dBi의 평균 이득을 가지며, 이는 제시된 $G_{min,UHF}$ 보다 약 8 dB 정도 높은 것을 알 수 있다. 표 1에서 4는 400 MHz와 500 MHz에서 개별안테나의 최대 이득, 최소 이득, 평균 이득 및 편차를 나타낸다.

다음으로 안테나를 항공기 구조체에 장착한 후 주 통신 영역에서 복사 이득을 평가하였다. 이 때 안테나의 위치는 그라운드 확보에 용이한 항공기 배면 중앙에 위치하도록 하였다. 그림 8은 항공기에 장착

(a) 개별 안테나 xz-plane 복사 이득 패턴
(a) Radiation patterns of the stand-alone antenna in xz-plane

(b) 개별 안테나 yz-plane 복사 이득 패턴
(b) Radiation patterns of the stand-alone antenna in yz-plane

그림 8. 개별 안테나(500 MHz) 이득 성능 평가
Fig. 8. Gain evaluation of the stand-alone antenna(500 MHz).

된 블레이드 안테나의 xz-평면, yz-평면 복사 패턴 (500 MHz)을 보여주며, 항공기 구조체의 영향으로 하단 방향의 이득이 상단 방향의 이득보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 표 5는 그림 8에 제시된 항공기 탑재 패턴의 최대 이득, 최소 이득, 평균 이득 및 편차를 나타낸다. 탑재된 안테나는 UHF 대

표 1. 개별 안테나(400 MHz) xz-plane 이득
Table 1. Gain of the stand-alone antenna in xz-plane.

	Max. gain (dBi)	Min. gain (dBi)	Avg. gain (dBi)	Dev. (dBi)
Meas.	-1.16	-6.24	-3.09	5.08
Simu.	-1.16	-5.67	-2.54	4.51

표 2. 개별 안테나(400 MHz) yz-plane 이득
Table 2. Gain of the stand-alone antenna in yz-plane.

	Max. gain (dBi)	Min. gain (dBi)	Avg. gain (dBi)	Dev. (dBi)
Meas.	2.30	-8.94	-4.39	11.24
Simu.	0.76	-8.01	-3.69	8.77

표 3. 개별 안테나(500 MHz) xz-plane 이득
Table 3. Gain of the stand-alone antenna in xz-plane.

	Max. gain (dBi)	Min. gain (dBi)	Avg. gain (dBi)	Dev. (dBi)
Meas.	-1.94	-13.69	-5.81	11.75
Simu.	-3.81	-12.33	-6.96	8.52

표 4. 개별 안테나(500 MHz) yz-plane 이득
Table 4. Gain of the stand-alone antenna in yz-plane.

	Max. gain (dBi)	Min. gain (dBi)	Avg. gain (dBi)	Dev. (dBi)
Meas.	0.91	-17.99	-5.82	18.90
imu.	-1.31	-14.68	-7.93	13.37

역인 500 MHz에서 -6.2 dBi 이상의 평균 복사 이득을 가지며, 이는 $G_{min,UHF}$ 보다 8 dB 이상 높으므로 항공기 안테나로 적합함을 확인하였다. 수식 2는 표 1~3의 주 통신 영역 내에서의 평균 이득, 최소 이득, 최대 이득, 표준 편차를 도출하는 방법을 나타낸다. 변수 G_{Avg} 는 주 통신 영역 내의 평균 이득을 나타내며, 변수 G_{dev} 는 주 통신 영역 내의 이득의 표준 편

$$G_{Avg} = \frac{1}{N} \sum_{\theta_{EL}} \left[\frac{1}{M} \sum_{\phi_{AZ}} G(\theta_{EL}, \phi_{AZ}) \right]$$

$$G_{Dev} = \frac{1}{N} \sum_{\theta_{EL}} [\max\{G_{AZ}(\theta_{EL})\} - \min\{G_{AZ}(\theta_{EL})\}]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_1(^{\circ}) \leq \theta_{EL} \leq \theta_2(^{\circ}) \\ 0^{\circ} \leq \phi_{AZ} \leq 360^{\circ} \\ N: \text{a number of } \theta_{EL} \text{ points} \\ M: \text{a number of } \phi_{AZ} \text{ points} \\ G(\theta_{EL}, \phi_{AZ}): \text{gain at } (\theta_{EL}, \phi_{AZ}) \\ G_{AZ}(\theta_{EL}): \text{azimuth gain at } \theta_{EL} \end{array} \right.$$

수식 2. 주 통신 영역 내 이득 도출 공식
Formula 2. The formula for gain in communication area.

표 5. 항공기 장착 안테나 이득
Table 5. Gain of the antenna mounted on aircraft.

	Max. gain (dBi)	Min. gain (dBi)	Avg. gain (dBi)	Dev. (dBi)
xz-plane	1.29	-25.53	-6.2	26.82
yz-plane	0.86	-11.11	-2.49	11.97

그림 9. 항공기 장착 안테나의 이득 성능
Fig. 9. Gain of the antenna mounted on aircraft.

차를 나타낸다. 변수 N 과 M 은 θ_{EL} 과 ϕ_{AZ} 의 각도의 수를 나타내며, $G(\theta_{EL}, \phi_{AZ})$ 과 $G_{AZ}(\theta_{EL})$ 는 θ_{EL} , ϕ_{AZ} 각도의 이득을 나타낸다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공기용 블레이드 안테나 성능 평가 프로세스와 프로세스에 필요한 항목들을 제안하였다. 제안된 프로세스의 항목들은 항공기용 블레이드 안테나의 성능을 정확하게 평가하기 위한 안테나의 그라운드 설정, 정합 성능 평가, 주 통신 영역 결정, 주파수에 따른 최소 복사 이득의 항목들로 이루어져 있다. 제안된 평가 프로세스의 검증을 위해 상용 VHF-UHF 대역 항공기용 블레이드 안테나에 적용하였으며, 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 이용하여 안테나의 정합 성능 및 이득 성능을 평가하였다. 또한, 항공기 구조물에 장착하여 항공 시나리오에 따른 주 통신 영역에서의 이득 성능을 평가하였으며, 그 결과, 대상 안테나가 항공기용 블레이드 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

References

[1] G. Byun, C. Seo, B. -J. Jang, and H. Choo, "Design

of aircraft on-glass antennas using a coupled feed structure", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 4, pp. 2088-2093, Apr. 2012.

- [2] W. A. Cumming, "A nonresonant endfire array for VHF and UHF", *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol. 3, no. 2, pp. 52-58, Apr. 1955.
- [3] L. Rufail, J. Laurin, "Aircraft cavity-backed non protruding wideband antenna", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 1108-1111, 2012.
- [4] 변강일, 한원근, 추호성, "항공기용 양면 인쇄형 글래스 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 22 (2), pp. 131-139, 2011년 2월.
- [5] T. Namiki, Y. Murayama, and K. Ito, "Improving radiation-pattern distortion of a patch antenna having a finite ground plane", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 3, pp. 478-482, Mar. 2003.
- [6] O. E. Allen, W. Wasylkiwskyj, "Comparison of mutual coupling of blade antennas with predictions based on minimum-scattering antenna theory", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 42, no. 4, pp. 326-329, Nov. 2000.
- [7] L. Low, R. Langley, R. Breden, and P. Callaghan, "Hidden automotive antenna performance and simulation", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 12, pp. 3707-3712, Dec. 2006.
- [8] L. Marin, J. P. Castill, and K. S. H. Lee, "Broadband analysis of VLF/LF aircraft wire antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 26, no. 1, pp. 141-145, Jan. 1978.
- [9] W. Sichak, J. Nail, "UHF omnidirectional antenna systems for large aircraft", *IRE Trans. Antennas Propag.*, vol. 2, no. 1, pp. 6-15, Jan. 1954.
- [10] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 6.2".

고 주 석

2012년 3월: 가천대학교 정보통신학과 (공학사)
2012년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 항공기 안테나, GPS 안테나, 차량 안테나

주 증 민

1999년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
2005년 2월: 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
2005년 2월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 통신/전자정보 신호처리, 안테나

변 강 일

2010년 2월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학사)
2012년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학석사)
2012년 9월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
[주 관심분야] 안테나설계 및 위치최적화, 차량 및 항공기용 안테나, 방향 탐지 및 항재밍 배열 안테나

추 호 성

1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~2003년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 부교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

김 기 출

1999년 8월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 8월: University of Colorado at Boulder 전기전산 및 에너지공학과 (공학석사)
2011년 5월: University of Colorado at Boulder 전기전산 및 에너지공학과 (공학박사)
1999년 10월~2001년 7월: 노키아티엠씨 근무
2001년 8월~2003년 4월: 에이스테크놀로지 주임연구원
2003년 12월~2005년 6월: 스카이크로스 코리아 선임연구원
2006년 6월~2010년 12월: University of Colorado at Boulder 연구조교
2008년 3월~2011년 1월: National Institute of Standards and Technology 객원연구원
2011년 5월~2011년 10월: 영남대학교 공업기술연구소 연구원
2011년 11월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] 안테나, 응용전자기학, 나노 물질의 모델링 및 측정