

논문 2013-50-9-5

# 무인항공기에 장착된 UHF 모노폴 안테나의 최적 위치 및 형상

(Optimum Placement and Shape of UHF Monopole Antenna Mounted  
on UAV)

최재원\*, 김지훈\*, 정을호\*

(Jaewon Choi<sup>©</sup>, Jihoon Kim, and Eulho Chung)

## 요약

본 논문에는 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치 및 형상이 다양한 위치에서 EM 시뮬레이션을 통하여 분석되어 있다. EM 시뮬레이션을 위하여 FEKO를 이용하였다. 시뮬레이션의 복잡도를 줄이고 분석시간과 메모리 이용도를 최소화하기 위하여 비행체의 복합체 구조를 레이돔 구조를 제외하고 PEC 모델로 간략화 하였다. 시뮬레이션은 무인항공기의 날개와 Ventral Fin 위치에서 수행되어 졌고, 안테나 형상은 모노폴, 다이폴, 굴곡형 모노폴 안테나들을 이용하였다. 모노폴 안테나가 비행체 날개에 장착될 경우, 오른쪽 날개와 왼쪽 날개에 각각 장착되어야 하기 위하여 두 개의 안테나가 필요하고, 이 두 개의 안테나들은 가시선 데이터링크 지상 안테나에 대한 무인항공기 날개 방향에 따라 전환되어야 한다. 모노폴 안테나가 Ventral Fin에 장착될 경우, 가시선 데이터링크 지상 안테나에 대한 무인항공기 날개 방향에 상관없이 하나의 안테나로 운용 가능하다. 또한, 안테나 이득도 비행체에 의한 Blockage 감소로 개선되어진다. 안테나 이득은 굴곡형 모노폴 안테나를 이용하여 더욱 더 개선되어진다. 결론적으로 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치 및 형상은 굴곡형 모노폴 안테나를 Ventral Fin 아래에 장착하는 것이다.

## Abstract

In this paper, the optimum placement and shape of UHF antenna on the unmanned aerial vehicle (UAV) are analyzed by using the electromagnetic (EM) simulation on the various locations. The FEKO was used for the EM-simulation. In order to reduce the complexity of simulation and minimize the runtime and memory usage, the composite aircraft structure is simplified as the PEC model excluding the radome structure. The simulation was performed on the wing and ventral fin of UAV, and the antenna shape used the monopole, dipole, and bent monopole antennas. When the monopole antenna is mounted under the wing, two antennas need to be mounted under the right and left wings, and those antennas have to be switched as the direction of UAV wing to the line of sight (LOS) data-link (DL) ground antenna. In the case of mounting under the ventral fin, one antenna can be used regardless of the direction of UAV wing to the LOS DL ground antenna. Also, the antenna gain is improved by the blockage reduction. The antenna gain is further improved by using the bent monopole antenna. The optimum solution of UHF antenna placement and shape on UAV is to mount the bent monopole antenna under the ventral fin.

**Keywords :** Unmanned aerial vehicle (UAV), antenna gain, ventral fin, bent monopole antenna, blockage

\* 정회원, 국방과학연구소 제 7기술연구본부 UAV 체계개발단

(Agency for Defense Development Unmanned Aerial Vehicle Systems PMO)

<sup>©</sup> Corresponding Author(E-mail: [choijw@add.re.kr](mailto:choijw@add.re.kr))

접수일자: 2013년4월24일, 수정완료일: 2013년8월20일

## I. 서론

무인항공기는 작전반경, 운용고도, 체공시간 등에 따라 근거리, 단거리, 중거리, 장거리 무인항공기 혹은 저

고도, 중고도, 고고도 무인항공기 등으로 분류한다. 군사적 용도로는 전술, 전략, 특수임무 무인항공기로 구분한다. 본 논문에서 분석된 무인항공기는 Predator와 Pioneer와 같은 전술급 이상의 대형 무인항공기이다. 최근 무인항공기들은 수많은 감시, 정찰, 통신 장비들을 장착하고 있고, 그 외에도 항법, 통신링크, 데이터링크, 이외의 다른 응용분야들을 위한 더 많은 안테나들을 요구한다. 특히, 데이터링크는 비행체의 상태정보 및 영상정보와 비행체 제어명령 등을 송수신하는 역할을 수행하여 무인항공기의 생존성과 큰 연관성을 갖고 있기 때문에 더욱 더 중요하다. 하지만 무인항공기들은 종종 안테나가 최적 성능을 낼 수 있는 매우 제한된 면적을 제공한다. 즉, 가시선 데이터링크 지상 안테나에 관한 방사 패턴 방향이 무인항공기에 장착된 안테나의 위치 때문에 최적일 아닐 수도 있다. 그러므로 Blockage 최소화를 통한 안정된 안테나 방사 패턴과 커버리지, 그리고 안테나들 사이의 충분한 감결합을 보장하기 위하여 최적의 안테나 배치가 요구되어 진다. 기존의 무인항공기들에는 두 개의 UHF 안테나들이 오른쪽 날개와 왼쪽 날개에 장착되어져 있고, 각각의 안테나는 가시선 데이터링크 지상 안테나에 대한 무인항공기 날개 방향에 따라 수동 혹은 자동으로 전환되어져야만 한다. 예를 들면, 무인항공기의 좌측이 가시선 데이터링크 지상 안테나를 지향할 경우, 만약 오른쪽 날개에 장착된 UHF 안테나가 작동하고 있다면, 안테나 이득과 방사 패턴은 Blockage에 의해 악화되어 진다. 그러므로 이 경우에는 왼쪽 날개에 장착된 UHF 안테나가 작동되어져야 한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여, UHF 안테나는 기체에 의한 Blockage를 줄이고 오직 하나의 UHF 안테나를 이용하여 동작할 수 있는 곳에 위치되어져야 한다<sup>[1~3]</sup>.

본 논문에는 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치 및 형상이 다양한 위치에서 EM 시뮬레이션을 통하여 분석되어져 있다. 안테나의 평균 이득, 편차, 방사패턴들이 무인항공기의 날개와 Ventral Fin에 장착된 모노폴, 다이폴, 굴곡형 모노폴 안테나들 사이에 비교되어져 있다.

## II. 무인항공기의 UHF 안테나 최적 위치와 형상에 관한 분석

### 1. UHF 안테나 위치에 따른 비교

분석을 위한 무인항공기 전체 모델이 그림 1에 나와 있다. 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 위치에 따른 안테나 이득, 편차, 방사 패턴과 같은 동작 특성들을 분석하였다. UHF 안테나 위치 관련 다양한 형상이 그림 2에 나와 있다. 그림 2 (a), (b), (c)는 날개 아래에 장착된 모노폴 안테나, Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나, Ventral Fin에 장착된 다이폴 안테나를 보여준다. EM 시뮬레이션을 위하여 FEKO를 이용하였다. 시뮬레이션의 복잡도를 줄이고 분석시간과 메모리 이용도를 최소화하기 위하여 비행체의 복합체 구조를 레이더 구조를 제외하고 PEC 모델로 간략화 하였다<sup>[4]</sup>. 무인항

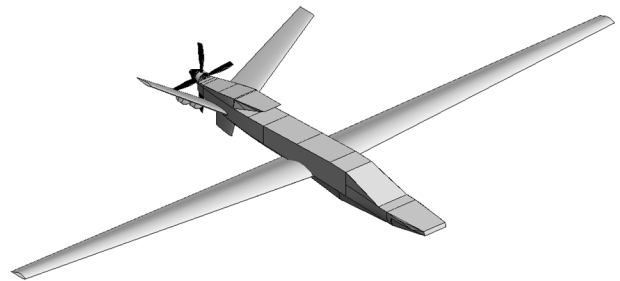


그림 1. 분석을 위한 무인항공기 전체 모델  
Fig. 1. Unmanned aerial vehicle (UAV) full model for analysis.

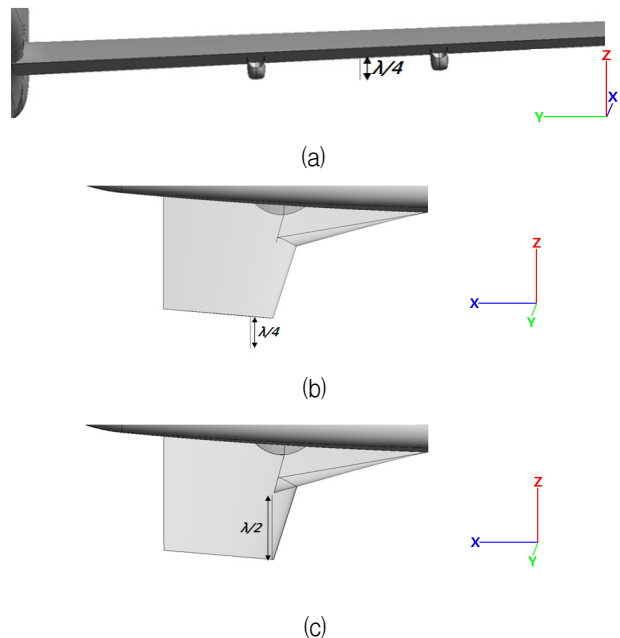
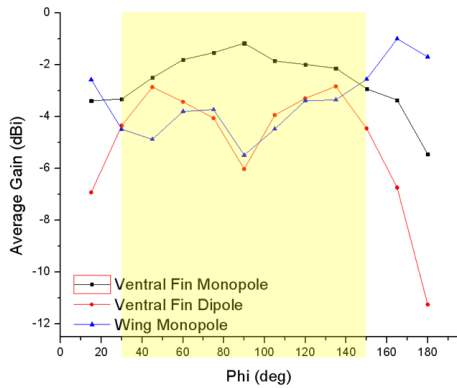
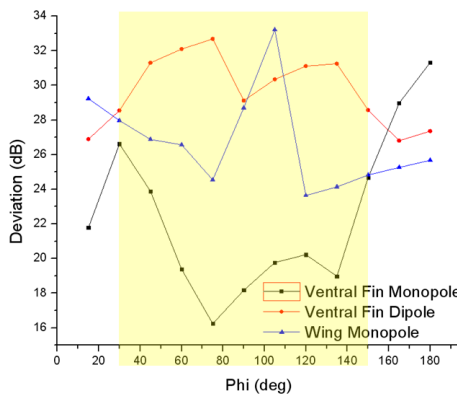


그림 2. UHF 안테나 위치의 다양한 형상 (a) 날개 아래에 장착된 모노폴 안테나, (b) Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나, (c) Ventral Fin에 장착된 다이폴 안테나

Fig. 2. Various cases of UHF antenna locations (a) Monopole antenna mounted under wing, (b) Monopole antenna mounted under ventral fin, (c) Dipole antenna mounted on ventral fin.



(a)



(b)

그림 3. 안테나 동작 특성 (a) 평균 이득, (b) 편차  
Fig. 3. Performances (a) Average gain, (b) Deviation.

공기가 전기적으로 매우 큰 모델이기 때문에 Multilevel Fast Multipole Method (MLFMM) 방식을 사용하여 분석하였다. 안테나의 평균 이득과 편차가 그림 3에 나와 있다. 안테나의 평균 이득과 편차는 특정 방위각에서 1° 간격을 갖는 전체 고각 범위에서의 안테나 이득 정보를 통하여 계산하였다. 그림 3에 나와 있는 것처럼, Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나의 평균 이득과 편차가 15° 간격을 갖는 30°~150° 범위의 방위각에서 세 가지 경우 중 제일 우수하다. 이 방위각은 안테나가 날개 아래에 장착되어진 경우에 안테나 특성이 기체 Blockage에 의해 악화되어지는 범위이다. 이는 안테나가 Ventral Fin 아래에 장착되어진 경우에 기체에 의한 Blockage가 감소되었기 때문이다. 방위각 90°에서의 방사 패턴이 그림 4에 나와 있다. 위의 방사 패턴에서 보면, Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나는 명확히 전체적으로 가장 높은 이득을 갖고 있고, 0°~90°와 270°~360°의 고각 범위에서도 전방향성의 방사 패턴을 유지한다. 그러므로 Ventral Fin 위치는 roll, pitch, yaw 와 같은 UAV의 기동과 무관하게 향상된 동작 특성을

표 1. UHF 안테나 위치에 따른 비교  
Table 1. Comparison as UHF antenna locations.

안테나 위치	평균 편차	평균 이득
모노폴 안테나 (날개)	26.7 dB	-3.45 dBi
모노폴 안테나 (Ventral Fin)	22.5 dB	-2.62 dBi
다이폴 안테나 (Ventral Fin)	29.7 dB	-5.01 dBi

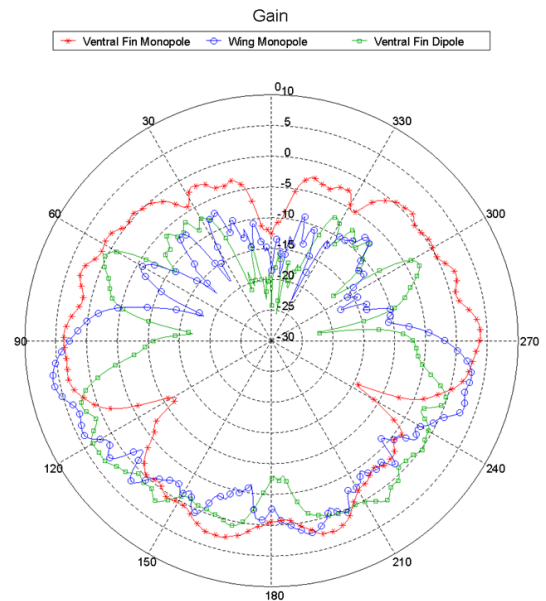


그림 4. 방위각 90°에서의 방사 패턴  
Fig. 4. Radiation pattern at azimuth of 90°.

제공할 것이다. 날개 아래에 장착된 모노폴 안테나와 비교했을 때, Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나의 평균 이득과 편차는 방위각 90°에서 각각 4.31 dB와 10.54 dB 개선되어진다. 표 1은 3차원 방사 패턴에서의 평균 이득과 편차를 보여준다. 날개 아래에 장착된 모노폴 안테나와 비교했을 때, Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나의 평균 이득과 편차는 각각 0.83 dB와 4.2 dB 개선되어진다. 이와 같은 분석 결과를 통하여, 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치는 Ventral Fin 아래에 장착하는 것이다 [5].

2. UHF 안테나 형상에 따른 비교

이전 장에서 분석한 Ventral Fin 아래에 장착된 모노폴 안테나는 안테나 이득이 120°와 240°의 고각에서 악화되는 문제점을 갖고 있다. 이번 장에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 Ventral Fin 아래에 장착된

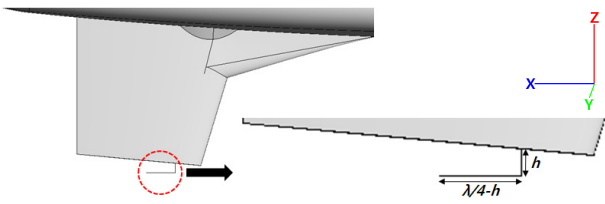
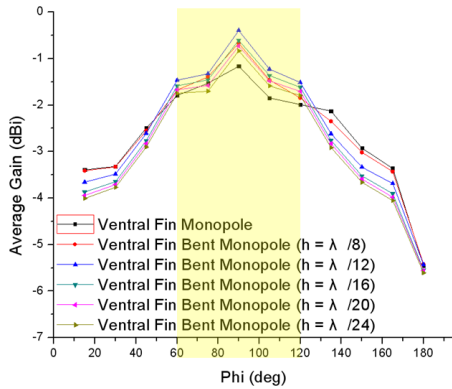
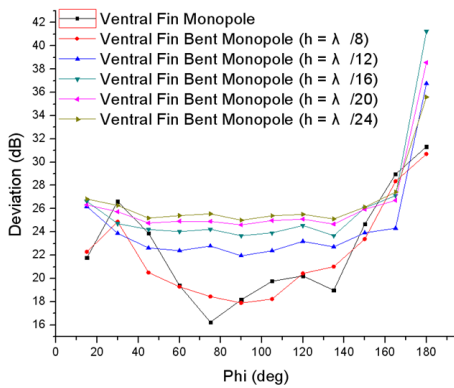


그림 5. Ventral Fin 아래에 장착된 굴곡형 모노폴 안테나 형상  
Fig. 5. Shapes of bent monopole antenna mounted under ventral fin.



(a)



(b)

그림 6. 안테나 동작 특성 (a) 평균 이득, (b) 편차  
Fig. 6. Performances (a) Average gain, (b) Deviation.

모노폴 안테나와 굴곡형 모노폴 안테나 사이에 특성들을 비교/분석하였다. 굴곡형 모노폴 안테나의 형상은 그림 5에 나와 있다. 그림 5에서 보는 것과 같이  $h$ 가  $\lambda/8, \lambda/12, \lambda/16, \lambda/20, \lambda/24$ 인 경우에 동작 특성들을 분석하였다. 평균 이득과 편차는 그림 6에 나와 있다. 그림 6 (a)에 나와 있는 것처럼,  $h$ 가  $\lambda/8$ 인 굴곡형 모노폴 안테나와 일반적인 모노폴 안테나의 평균 이득은  $15^\circ$  간격을 갖는  $15^\circ \sim 45^\circ$ 와  $135^\circ \sim 180^\circ$  범위의 방위각에서 다른 굴곡형 모노폴 안테나들보다 더 높다.  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 평균 이득은  $15^\circ$  간격을 갖는

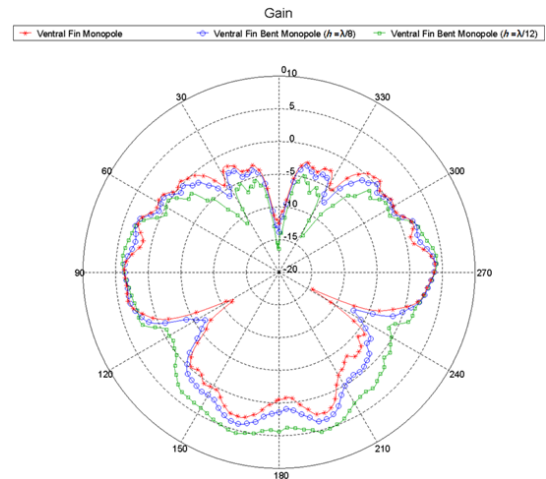


그림 7. 방위각  $90^\circ$ 에서의 방사 패턴  
Fig. 7. Radiation pattern at azimuth of  $90^\circ$ .

표 2. UHF 안테나 형상에 따른 비교  
Table 2. Comparison as UHF antenna shapes.

안테나 형상	평균 편차	평균 이득
모노폴 안테나 (Ventral Fin)	22.5 dB	-2.62 dBi
굴곡형 모노폴 안테나 ( $h = \lambda/8$ , Ventral Fin)	22.1 dB	-2.55 dBi
굴곡형 모노폴 안테나 ( $h = \lambda/12$ , Ventral Fin)	24.4 dB	-2.56 dBi
굴곡형 모노폴 안테나 ( $h = \lambda/16$ , Ventral Fin)	26.2 dB	-2.72 dBi
굴곡형 모노폴 안테나 ( $h = \lambda/20$ , Ventral Fin)	26.4 dB	-2.80 dBi
굴곡형 모노폴 안테나 ( $h = \lambda/24$ , Ventral Fin)	26.6 dB	-2.88 dBi

$60^\circ \sim 120^\circ$  범위의 방위각에서 일반적인 모노폴 안테나와 다른 굴곡형 모노폴 안테나들 보다 더 높다. 결론적으로  $h$ 가  $\lambda/8, \lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 평균 이득은 비슷하고, 다른 안테나들 보다 높다. 그림 6 (b)에 나와 있는 것처럼,  $h$ 가  $\lambda/8$ 인 굴곡형 모노폴 안테나와 일반적인 모노폴 안테나의 편차는 비슷하고, 대부분의 방위각에서 다른 안테나들 보다 더 작다. 표 2는 3차원 방사 패턴에서의 평균 이득과 편차를 보여준다. 표 2에 나와 있는 것처럼,  $h$ 가  $\lambda/8$ 인 굴곡형 모노폴 안테나는 일반적인 모노폴 안테나와 다른 굴곡형 모노폴 안테나들 보다 더 좋은 동작 특성들을 갖는다. 방위각  $90^\circ$ 에서의 방사 패턴은 그림 7에 나와 있다. 위의 방사 패턴에서 보면,  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 이득은

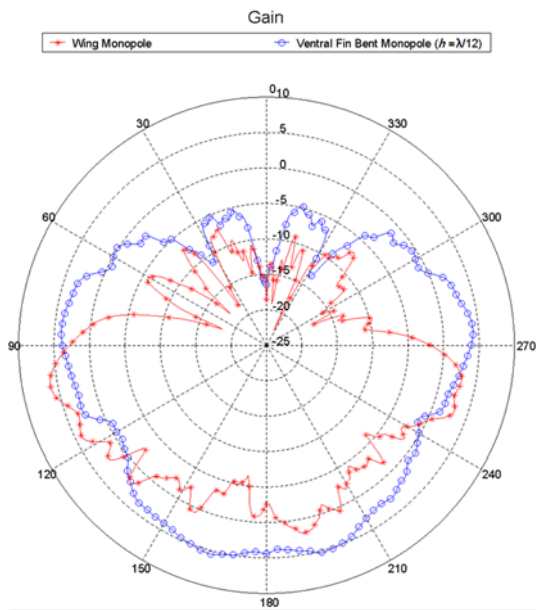


그림 8. 방위각 90°에서의 방사 패턴  
Fig. 8. Radiation pattern at azimuth of 90°.

110°~250°의 고각 범위에서 개선되어졌다. 특히 120°와 240°의 고각에서의 안테나 이득은  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나를 이용하여 획기적으로 개선되어졌다. 비록  $h$ 가  $\lambda/8$ 인 굴곡형 모노폴 안테나가 다른 안테나들보다 더 좋은 동작 특성을 갖고 있지만, 안테나 이득이 120°와 240°의 고각에서 악화되는 문제점은  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나를 이용하여 해결될 수 있다. 그림 6, 7과 표 2의 결과들을 통하여,  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나는 roll, pitch, yaw와 같은 UAV의 기동과 무관하게 가장 좋은 동작 특성을 제공할 것이다. 일반적인 모노폴 안테나와 비교했을 때,  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 이득은 방위각이 90°인 경우에 120°와 240°의 고각에서 각각 11.38 dB와 13.23 dB 개선되어진다. 날개에 장착된 모노폴 안테나와 Ventral Fin에 장착된  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 방사 패턴은 그림 8에 나와 있다. 그림 8에 나와 있는 것처럼, Ventral Fin에 장착된  $h$ 가  $\lambda/12$ 인 굴곡형 모노폴 안테나의 동작 특성들은 날개에 장착된 모노폴 안테나보다 더 우수하다. 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 배치와 형상과 관련된 이와 같은 분석을 통하여 Ventral Fin에 장착된 굴곡형 모노폴 UHF 안테나가 무인항공기의 2차 가시선 데이터링크에서 최적의 위치와 형상이다.

### III. 결 론

본 논문에는 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치와 형상이 EM 시뮬레이션을 통하여 분석되어져 있다. 무인항공기의 날개와 Ventral Fin에 장착된 모노폴, 다이폴, 굴곡형 모노폴 안테나들이 분석되어져 있다. 모노폴 안테나가 날개 아래에 장착된 경우에는 기체에 의한 Blockage 때문에 오른쪽 날개와 왼쪽 날개 아래에 장착되어 지기 위해서 두 개의 안테나가 필요하다. 이와 같은 경우에는 각각의 안테나가 가시선 데이터링크 지상 안테나에 대한 무인항공기 날개의 방향에 따라 수동 혹은 자동으로 전환되어야만 한다. 모노폴 안테나가 Ventral Fin 아래에 장착되어진 경우에는 가시선 데이터링크 지상 안테나에 대한 무인항공기 날개의 방향과 상관없이 하나의 안테나만으로도 운용 가능하다. 그러므로 자동 혹은 수동의 안테나 전환이 필요하지 않고, 안테나 이득은 Blockage 감소로 개선되어진다. 안테나 이득은 굴곡형 모노폴 안테나를 사용하여 더욱 더 개선되어진다. 결론적으로 무인항공기에 장착된 UHF 안테나의 최적 위치 및 형상은 굴곡형 모노폴 안테나를 Ventral Fin 아래에 장착하는 것이다.

### REFERENCES

- [1] A. Patrovsky and R. Sekora, "Structural integration of a thin conformal annular slot antenna for UAV applications," *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp. 229–232, November 2010.
- [2] B. T. Strojny and R. G. Rojas, "Integration of conformal GPS and VHF/UHF communication antennas for small UAV applications," *European Conference on Antennas and Propagation*, pp. 2488–2492, 2009.
- [3] R. C. Hansen, "Fundamental limitations in antennas," *Proceedings of the IEEE*, vol. 69, no. 2, pp. 170–182, February 1981.
- [4] S. D. Keller, W. O. Coburn, S. J. Weiss, "Efficient electromagnetic modeling of bent monopole antenna on aircraft wing using FEKO," *European Conference on Antenna and Propagation*, pp. 2226–2228, 2009.
- [5] M. S. Sharawi, O. A. Rawashdeh, and D. N. Aloi, "Performance of an embedded monopole antenna array in a UAV wing structure," *IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, pp. 835–838, 2010.

저 자 소 개



최 재 원(정회원)  
2006년 숭실대학교 정보통신  
전자공학부 학사 졸업.  
2008년 숭실대학교 정보통신  
공학과 석사 졸업.  
2011년 숭실대학교 전자공학과  
박사 졸업.

2012년~현재 국방과학연구소 선임연구원.  
<주관심분야 : UAV 데이터링크, RF 회로, 안테  
나, 메타물질, 무선 전력 전송>



김 지 훈(정회원)  
1996년 숭실대학교 정보통신  
공학과 학사 졸업.  
1998년 숭실대학교 전기공학과  
석사 졸업.  
2001년~현재 국방과학연구소  
선임연구원.

<주관심분야 : UAV 데이터링크, 안테나, 네트워  
크>



정 을 호(정회원)  
1989년 광운대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
1991년 광운대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
2006년 충남대학교 전자공학과  
박사과정 수료.

<주관심분야 : UAV 지상통제 및 데이터링크, 제어>