

技術論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.10.987>

무인기 탑재 장비 간 상호 EMI를 고려한 효율적인 안테나 배치 방안

김춘원*, 김지훈*, 권경일*, 정덕조*

An efficient Method of Antenna Placement considering EMI
between equipments on UAV

Choon-Won Kim*, Ji-Hoon Kim*, Kyoung-Il Kwon* and Deok-Cho Chung*

ABSTRACT

This paper presents An efficient method of antenna placement considering EMI(Electromagnetic Interference) between equipments which are mounted on the UAV(Unmanned Air Vehicle). The analysis is accomplished for voice communication radio, control datalink, TCAS(Traffic Alert Collision & Avoidance System) and GPS(Global Positioning System) which are vulnerable to EMI because the frequencies are close to each other. There are two steps for analysis procedure : The first one is selecting antenna position on the UAV by monitoring return loss and pattern variation of each antenna. The second one is analyzing EMI via antennas between equipments. In the EMI analysis, spurious level of each transmitter, coupling level between antennas and system noise property are considered. This procedure can be used to predict EMI between equipments in development stage.

초 록

본 논문에서는 무인기에 탑재되는 장비간의 EMI(Electromagnetic Interference)를 고려한 효율적인 안테나의 배치방법을 제안하였다. 분석은 무인기에 사용되는 장비 중에서 인접한 주파수 대역을 사용하는 음성통신 무전기, 제어용 데이터링크, TCAS(Traffic Alert Collision & Avoidance System)와 GPS(Global Positioning System)에 대하여 이루어졌다. 분석 방법은 두 단계로 구성되며, 첫 번째 단계는 안테나 장착 시 무인기 구조물에 의한 안테나 복사패턴과 반사손실 특성 변화를 관찰하여 양호한 특성을 나타내는 지점을 선정하는 것이며, 두 번째 단계는 안테나간의 결합특성과 장비의 송신 스펙트럼을 고려하여 장비간의 간섭 정도를 분석하는 것이다. 이러한 분석 과정은 개발단계에서 장비 간 EMI를 예측하여 대책을 수립할 수 있는 도구로 사용될 수 있다.

Key Words : UAV(무인기), EMI(전자기파 간섭), Antenna(안테나)

1. 서 론

† 2010년 12월 29일 접수 ~ 2011년 9월 22일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소 제 7기술연구본부 3부
교신저자, E-mail : chun602@paran.com,
대전광역시 유성구 수남동 111번지

무인기(Unmanned Air Vehicle, UAV)는 최근 무기체계의 무인화 추세에 맞추어 감시정찰, 전투 등 다양한 분야에서 활용이 점차 늘어나고 있다. 무인기에는 항공관제용음성통신용 무전기,

TCAS(Traffic Alert Collision & Avoidance System), IFF(Interrogation of Friend or Foe), GPS(Global Positioning System) 등의 항공 전자 장비와 임무수행을 위한 영상 레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 그리고 무인기 제어 데이터, 상태정보 및 임무장비 데이터 전송을 위한 데이터링크 등 다양한 종류 및 용도의 전자장비가 장착된다. 이들 장비 중 안테나를 사용하여 신호를 송수신하는 장비의 사용 주파수는 100MHz에서 수 십 GHz까지 다양하게 분포하며, 장비 사용 목적에 따라서 모노폴 안테나, 패치안테나, 반사경 안테나 등 여러 종류의 안테나가 사용된다[1]. 그러나 무인항공기와 같이 제한된 공간에 안테나를 장착하게 되면 항공기 주변 구조물에 의한 안테나 복사패턴 왜곡과 안테나 간 커플링이 발생하게 된다[2][3]. 이러한 안테나 간 커플링은 여러 대의 전자파 방사장비가 동시에 사용될 때 장비 간의 전자기파 간섭(Electromagnetic Interference)의 원인이 된다.

비행체에서 안테나의 특성변화는 안테나를 설계할 때 비행체 구조물에 의한 영향을 고려하지 않기 때문에 주로 발생한다. 비행체에 안테나 장착 시 안테나 접지면의 변화와 비행체 구조물의 일부가 안테나를 가리게 됨으로써 반사손실의 변화와 복사패턴의 왜곡이 발생하게 된다.

따라서 안테나의 설계목적에 적합한 성능을 발휘하려면 비행체 장착조건을 고려하여 사전에 분석을 한 후 안테나의 설계에 반영하는 것이 필요하다.

EMI는 불필요한 전자파신호에 의해 원하는 신호의 탐지 및 해석에 간섭을 초래하거나 장비의 성능을 저하시키는 현상으로 전자장비 사용 시 항상 고려하여야 한다. 특히 안테나를 사용하는 탑재장비간의 EMI는 한 장비에서 발생한 불요파가 다른 장비에 들어가서 영향을 미치는 경우이다. 이를 막기 위해서는 일차적으로 사용 주파수를 서로 다르게 하고 주파수 간격을 충분히 이격함으로써 억제 가능하다. 또한 민간 또는 군용 장비에 적용되는 EMI, EMC(Electromagnetic Compatibility) 규격에 따라서 전자파 상호 간섭은 일정 수준 이하로 관리될 수 있다. 일반적으로 무인기와 같이 한정된 플랫폼에서도 이러한 EMI를 해결하기 위하여 장비 간 주파수 분리 혹은 안테나 이격 등을 통하여 EMI 발생을 예방하고 EMI 발생시 장비 성능 개선을 통하여 EMI를 해결하였다. 그러나 무인기에 더욱더 많은 전자 장비와 통신장비가 좁은 공간에 배치되면서 주파수 분리 및 범용 규격의 적용만으로 EMI를 완전

히 배제할 수 없게 되었다. 특히 안테나를 통한 EMI는 장비의 밀폐, 흡수체 부착 등의 방법만으로는 해결될 수 없다. 또한, EMI 발생 시 송신 장비의 성능을 개선하는 방식은 비용 및 무게 증가가 필연적이고 추가 부품 설치를 위한 공간이 필요하기 때문에, 장비의 설계단계에서 EMI를 예측하여 해결방법을 모색 후 무인기에 장비를 장착하는 것이 비용적, 성능적 측면에서 효율적이다.

본 논문에서는 무인항공기에 많이 사용되는 항공관제용 무전기, 데이터링크, TCAS와 GPS에 사용되는 안테나의 비행체 장착에 따른 특성 변화와 장비간의 안테나를 통한 EMI를 분석하였다. 안테나 특성 변화와 안테나 간의 결합해석은 전자기 해석 소프트웨어인 FEKO를 사용하여 분석되었다. FEKO의 해석 기법은 MOM(Method of Moment), MLFMM(Multilevel fast multipole method), PO(Physical Optics), GO(Geometric Optics) 등 다양한데 본 논문에서는 한국형 기동헬기의 FM 라디오 송수신기용 안테나 설계에 적용되어 그 정확성이 입증된 MLFMM(Multilevel fast multipole method) 해석 기법을 사용하여 이루어졌다[4]. 각 장비 간 안테나를 통한 EMI의 분석은 각 장비의 송수신 특성분석을 고려하여 이루어졌으며 EMI 수준예측과 완화 방안이 제시되었다.

II. 본 론

본 논문에서 분석에 사용된 무인항공기는 그림 1과 같이 동체 길이 12.4m, 동체 너비 1.34m, 동체 높이 1.69m, 날개 폭 25.3m로 단순화된 무인항공기 CAD 모델이다.

안테나 배치 및 EMI 분석 과정은 개별 안테나의 모델링, 안테나 초기 위치 선정, 안테나 특성 변화 분석, 안테나 간 결합분석과 장비 간 EMI 분석 순서로 진행되며 그림 2에 주어진 바와 같다.

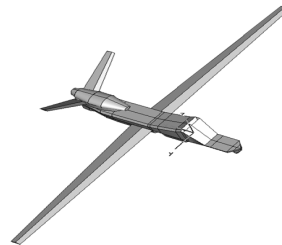


그림 1. 분석용 무인항공기 모델

표 1. 탑재 통신 장비 특성

구분	무전기	데이터링크	TCAS	GPS
주파수 (MHz)	108-399	400-460	Tx:1030 Rx:1090	1575.42
구분	송수신	송수신	송수신	수신
출력(dBm)	41.7	40	57.3	n/a
비고조파 잡음(dBm)	-34	-100	-72	n/a
최저수신감도(dBm)	-103	-105	-77	-130
수신기 잡음(dBm)	-123	-125	-97	-150
안테나 종류	모노폴	모노폴	모노폴	패치

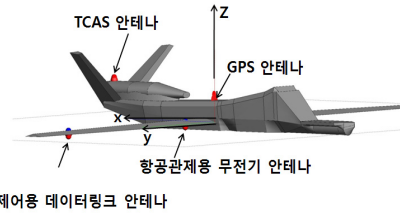


그림 3. 무인항공기 안테나 배치 위치

를 위하여 TCAS 안테나는 상부 1개소에 대해서만 분석하였다.

2.2 안테나 특성변화 분석

안테나 특성변화 분석은 두 가지 관점에서 이루어져야한다. 첫 번째 분석은 비행체 구조가 제공하는 불완전한 접지면에 의한 반사손실의 열화이다. 표 2는 각 개별안테나의 비행체 장착에 따른 반사손실 변화를 나타낸다. 반사 손실이 이상적인 조건(접지면 반경 1λ 이상)에 비하여 다소 변화되었지만 안테나 정상 동작 기준인 -6dB 보다 나빠지는 경우는 없는 것으로 분석되었다. 분석에서 비행체의 표면은 금속으로 가정되었으나, 보다 정확한 해석을 위해서는 비행체 동체의 재질 특성과 안테나 접지를 위한 금속 접지면의 크기를 반영하여 분석되어야한다.

두 번째 분석은 비행체 구조에 의한 안테나 복사패턴의 변화이다. 통상적으로 비행체 운용시에 비행체와 지상통제소간의 상대적 위치와 비행체의 기동에 따른 자세변화에 따라서 탑재안테나와 지상안테나의 상호지향 각도는 일정범위 내에서 변화한다. 만약 이러한 운용각도 범위 내에서 안테나 패턴에 공백구간이나 심한 변동이 존재하면 장비의 성능에 장애를 초래할 수 있다. 따라서 안테나는 안테나 운영각도 범위 내에서 공백구간과 변동이 최소화되는 위치에 배치되어

표 2. 비행체 장착 전후의 안테나의 반사손실 비교

분류		음성통신 무전기	제어용 데이터 링크	TCAS	GPS
중심 주파수 반사손실 [dB]	전	-17.3	-15.9	-11.7	-8.2
	후	-12.9	-17.6	-12.7	-11.1
-6dB 대역폭 [MHz]	전	78	84	312	40
	후	64	100.6	310	30

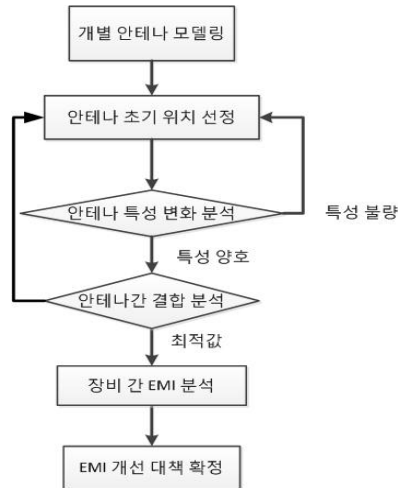


그림 2. 안테나 배치 및 EMI 분석 방법

2.1 안테나 초기 위치 선정

안테나 초기 위치는 장비의 용도를 고려하고 동체하부에 SAR와 같은 임무장비의 탑재를 고려하여 윗면과 아랫면에 그림 3과 같이 선정되었다. 항공관제용 무전기는 항공교통관제소와 무인항공기의 지상통제소 간의 음성통화를 위한 것이며, 데이터링크는 비행체의 제어명령, 상태 정보 등의 송수신을 위한 것이다. 이 두 장비의 안테나는 지상과의 통신을 위하여 비행체의 날개 하단에 배치되었다. 이 안테나들이 비행체의 앞쪽 하단부에 배치되지 않은 것은 임무 목적 상 무인기의 앞쪽 하단부에는 SAR, EO/IR 등의 임무장비가 배치되기 때문이다.

GPS 안테나는 GPS위성으로부터 데이터 수신에 용이하여야하므로 비행체 상부에 배치되었다. 신호 송수신이 가능하여야하기 때문에 안테나는 비행체 상, 하부에 배치하였다. 그러나 이 논문의 주요 관심사항은 EMI분석이기 때문에 유사 주파수 대역을 사용하는 GPS안테나와의 영향성 검토

야한다. 그림 4는 무전기 안테나의 비행체 장착에 따른 복사패턴의 변화를 비교한 것이다. 각각의 그래프는 안테나 자체 설계 결과와 안테나가 날개 아래면에서 동체 쪽에 상대적으로 가까운 위치에 장착 됐을 때 그리고 상대적으로 동체로부터 먼 위치에 장착 됐을 때의 복사패턴을 비교한 것이다. 각도는 180도 방향이 지상을 향하도록 정의 되었다. 두 경우 모두 모노폴 안테나의 특성에 의하여 비행체 하부 수직방향에서 공백영역이 생기는 것을 알 수 있다. 안테나가 비행체에 장착되었을 때는 접지면의 형상 변화에 따라서 고각 방향(0°~±90°)의 안테나 복사패턴은 변화가 심하지만, 주요 운용 각도인 고각 90°~150°, 210°~270°방향과 방위각 방향은 비행체 구조물에 의한 복사패턴의 변화는 통신에 지장을 초래할 정도는 아닌 것을 알 수 있다. 특히 안테나가 날개의 바깥쪽에 위치한 경우 주요 관심각도에서 안테나 이득 변화가 증가한 것이 관측되었으나, 안테나 변화 폭이 약 ±3dB 내이므로 두 위치 모두는 안테나 배치에 적합한 것으로 분석되었다.

그림 5는 데이터링크 안테나의 비행체 장착에 따른 복사패턴 특성을 나타낸다. 무전기 안테나와 마찬가지로 비행체 날개 아래쪽에 2개소에 배치를 가정하여 복사특성이 비교되었다. 두 위치에서 특성변화는 모두 무전기의 경향과 유사하며, 주요 관심각도 범위에서 복사패턴에 공백영역, 굴곡 등이 발생하지 않아 비행체 장착에 따른 문제는 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

그림 6은 TCAS 안테나의 비행체 장착 전후의 복사패턴을 비교한 것이다. TCAS는 비행체 상/

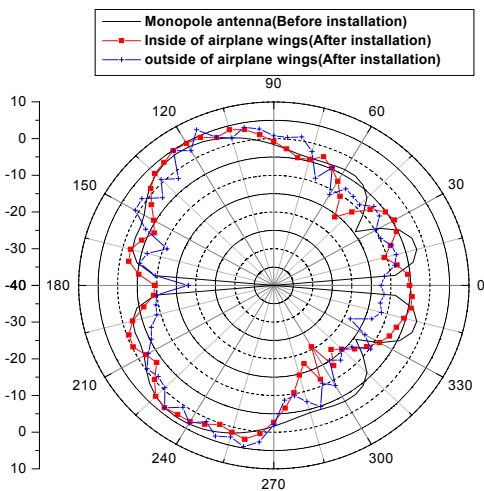


그림 4. 음성통신 무전기 안테나 전계면(날개 방향) 복사패턴

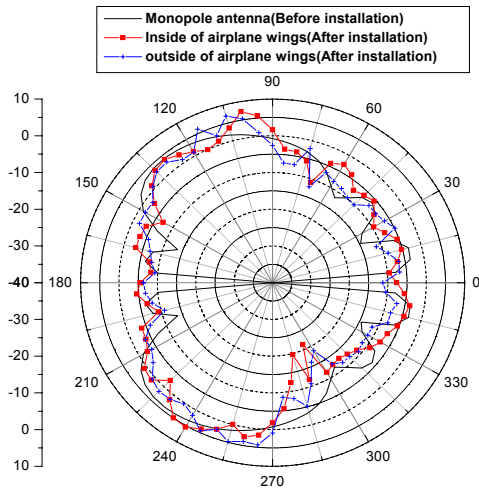


그림 5. 제어용 데이터링크 안테나 전계면(날개 방향) 복사패턴

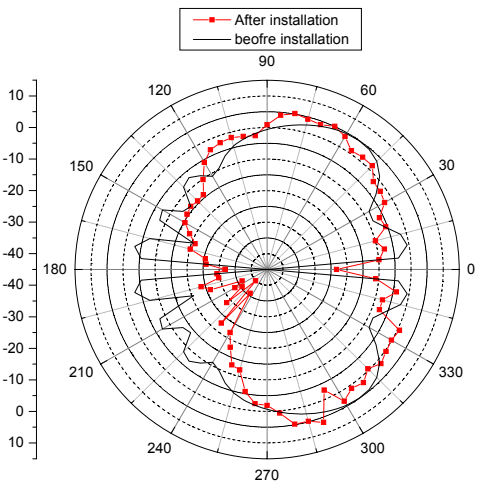


그림 6. TCAS안테나 전계면(동체 방향) 복사패턴

하부에 장착되어 근접 항공기와의 충돌을 방지하는 역할을 하기 때문에 안테나 복사특성은 가급적 전 방향에 대하여 균일한 특성을 유지하여야 한다. 분석된 TCAS 상부 안테나의 복사특성은 고각 30° ~ 90°, 270° ~ 330° 방향의 복사패턴은 장착 전 안테나 패턴과 비교하여 변화 폭이 약 ±3dB내외로 비교적 균일하다고 볼 수 있으며, 비행체의 상부 방향을 제외하면 이득이 0dBi 이상을 유지함을 알 수 있다.

그림 7은 GPS 안테나의 비행체 장착 전후의 복사패턴을 비교한 그래프이다. 앞서 분석된 다른 안테나와 마찬가지로 GPS 안테나 역시 비행

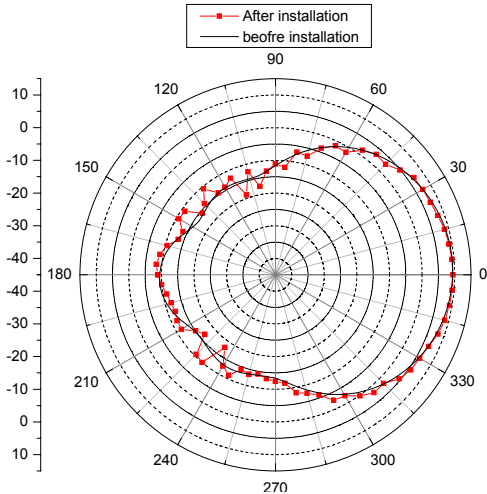


그림 7. GPS 안테나 전계면(동체 방향) 복사패턴

체 장착에 따라서 동체의 영향에 의하여 복사패턴에 문제가 발생하지 않음을 알 수 있다.

2.3 안테나간 결합(Coupling) 분석

안테나 간 결합은 인접한 안테나에서 방출된 에너지가 상대방 안테나에 간접 혹은 직접적으로 유입되는 에너지 교류현상을 말하며 결합계수로 표현된다. 안테나 결합계수는 안테나 간 이격 거리가 원거리 조건을 만족하고 자유공간일 경우에 송신 대 수신 출력 비에 의해서 식 (1)과 같이 Friis 전송 방정식으로 나타낼 수 있다[5][6].

$$S_{21} = \frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r G_t \quad (1)$$

즉, 안테나 간 전력 전달 비는 안테나 간 이격 거리와 안테나 이득에 의하여 달라질 수 있다.

본 논문에서 안테나 간의 결합계수는 전자기장 수치해석 소프트웨어 FEKO를 이용하여 예측되었으며 실험을 통하여 수치해석 소프트웨어의 예측정확도를 확인하였다. 확인시험은 그림 8과 같이 금속면으로 제작된 직육면체 금속 상자(가로 60cm, 세로 20cm, 두께 60cm) 위에 1.5GHz 주파수에서 동작하는 동일한 복사패턴을 갖는 모노폴 안테나 2개를 이용하여 이루어졌다. 실험을 통한 측정값은 소프트웨어를 이용한 예측 값과 그리고 Friis전송 공식에 의하여 산출된 값과 비교되었다. 이 때, 안테나 간 거리는 모노폴 안테나의 원거리 조건인 $\lambda/8$ 이상인 $2\lambda(40cm)$ 를 이격하였으며 접지 반경은 $1\lambda(10cm)$ 이상을 확보

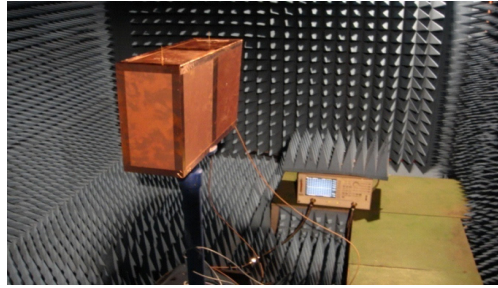


그림 8. 안테나 결합계수 정확도 검증시험

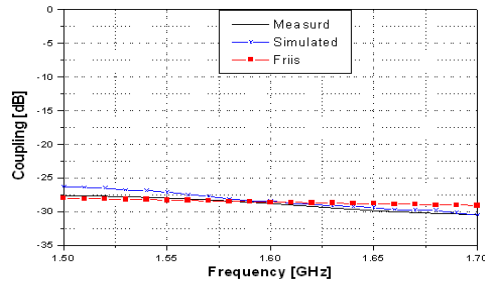


그림 9. 안테나 결합계수와 Friis 전달공식의 비교

하였다. 두 안테나 간 결합 특성은 회로망 분석기로 측정되었으며 결과는 그림 9에 보인 바와 같다. 3가지 값을 비교하면 결합계수의 측정값은 예측 값과 약 2dB 정도의 차이 내에서 잘 일치하는 것을 알 수 있으며, Friis 전달 공식과도 잘 일치함을 알 수 있다. 그러나 비행체와 같이 한정된 공간에서는 주변 구조물과 접지면적에 따라 안테나 복사패턴이 장착 위치에 따라서 변하기 때문에 식 (1)을 이용하여 안테나 간 결합계수를 정확히 예측 할 수 없다. 따라서 비행체 장착에 따른 안테나 특성 변화를 반영하기 위해서는 전자장 수치해석 기법을 이용한 결합계수 분석이 필요하다.

그림 10은 비행체의 날개 위에서 안테나의 이동 가능 범위에 대하여 무전기 안테나와 데이터 링크 안테나의 이격 거리에 따른 결합계수를 예측한 것이다. Friis의 전달공식에 의하면 결합계수는 동일 주파수에서 거리가 2배 늘어남에 따라 -6dB가 감소되어야한다. 하지만 FEKO 분석 결과 그림 10과 같이 안테나 간의 이격 거리가 2m에서 4m로 증가함에 따라 약 -7.5dB이하로 대폭 감소하며, 4m이상은 유사한 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 거리증가에 따라서 안테나 간의 결합이 Friis의 전달 공식과 달리 크게 변화하지 않는 것은 비행체의 날개의 면적이 좁아져 안테나

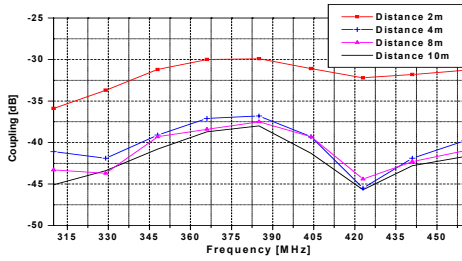


그림 10. 음성통신무전기와 데이터링크 안테나간 거리 이격에 따른 결합계수

표 3. TCAS와 GPS 안테나 간 거리 이격에 따른 결합계수 변화

이격거리	3m	4m	5m
결합계수	-63.6dB	-67.6dB	-73.8dB
Friis 전달공식	-45.9dB	-48.4dB	-50.4dB

접지면적이 작아지기 때문에 일어나는 현상으로 추정된다. 이 분석을 바탕으로 안테나 간 결합을 최소화하고 제한된 비행체 공간을 효과적으로 활용하기 위하여 안테나 간 이격 거리는 8m로 선정되었고, 이 때 결합계수는 310MHz에서 -43dB, 430MHz에서 -43.8dB이다.

표 3은 TCAS와 GPS안테나 간 이격거리에 따른 결합특성 분석결과이다. GPS장비는 수신전용 장비이므로 다른 장비에 전파 간섭을 발생시키지 않는다. 따라서 TCAS가 GPS장비에 미치는 EMI를 분석하기 위하여 안테나 간 결합계수를 분석하였다. 앞서 분석한 것과 마찬가지로 안테나의 이동 가능 범위 내에서 결합계수를 분석하였다. 두 안테나 간의 최적 이격거리는 5m로 분석되었으며 이때의 안테나 결합계수는 -73.8dB를 갖는 것으로 분석되었다.

표 4는 각 장비 상호간의 안테나 결합 계수를 보여준다. 이 표에서 가까운 거리에서 근접 주파수를 사용하는 무전기와 데이터링크 그리고 TCAS와 GPS안테나 간의 안테나 결합계수가 큰 것으로 분석되었다. 그리고 TCAS와 무전기와 같이 비행체 상부와 하부에 분리 장착된 안테나 간의 결합계수는 비행체 구조물에 의한 차폐 영향으로 비교적 작은 것을 알 수 있다.

2.4 장비 간 EMI간섭 분석 및 개선 대책

항공기와 같이 제한된 공간에서 많은 전자파 방사장비가 사용될 경우 장비 간에 안테나를 통한 전자파 간섭이 발생할 수 있다. 안테나를 통

표 4. 안테나 결합 계수 테이블[단위 : dB]

수신	수신	음성통신 무전기	제어용 데이터 링크	TCAS	GPS
송신	음성통신 무전기		-43.8	-82.5	-66.3
	제어용 데이터링크	-43		-67.9	-77.9
	TCAS	-79	-75		-73.8

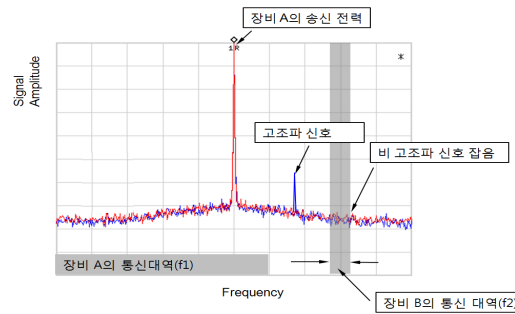


그림 11. 전자파 방사 장비의 출력 특성

한 EMI는 송신측 증폭기의 특성, 안테나 간 결합과 수신측 장비의 수신 특성이 복합적으로 작용한다. 특히 안테나 간 결합특성은 안테나 자체 뿐만 아니라 거리와 플랫폼의 형상에 영향을 받기 때문에 전자기와 분석을 통하여 분석이 가능하다.

그림 11은 전자파 방사 장비의 전형적인 출력 특성을 보여주는 그래프이다. 대부분의 레이더나 통신장비는 출력 단에 증폭기가 포함하며 이 증폭기는 자신이 사용하는 주파수 성분뿐만 아니라 잡음을 동시에 증폭하게 된다. 또 증폭기 자체의 비선형 특성은 입력신호 주파수의 배수에 해당하는 주파수에 고조파(harmonics) 성분을 발생한다.

고조파 성분은 통상 주파수 스펙트럼 상에서 불연속적으로 발생하는 잡음 신호로 나타나며, 증폭된 잡음은 특정 주파수에 국한되지 않고 상당히 넓은 대역에 걸쳐서 분포한다. 따라서 간섭 분석은 두 가지 성분 모두를 고려하여야한다.

그림 12는 통신 장비간의 안테나를 통한 전자파 간섭 문제 발생을 설명하기 위한 그림이다. 앞에서 설명한 바와 같이 장비 A의 출력증폭기는 사용주파수 f_1 의 신호뿐만 아니라 잡음을 동시에 증폭하기 때문에 안테나를 통한 출력신호에는 장비 B의 주파수 f_2 성분이 포함되어 있다. 장

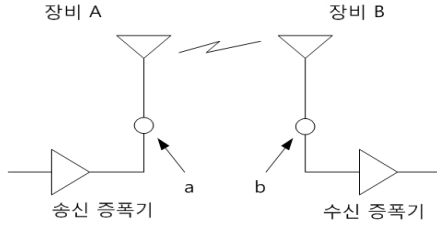


그림 12. 통신 장비간의 안테나를 통한 전파간섭 발생 개념도

비 A에서 발생한 f_2 주파수 성분은 그림 12와 같이 두 장비의 안테나를 거쳐 장비 B의 수신 단으로 입력된다. 이러한 간섭은 장비 A의 송신증폭기 출력특성, 장비 A-B간의 안테나 결합특성 및 장비 B의 수신기의 특성으로 예측될 수 있다. 표 5은 장비 A의 송신 증폭기 출력특성과 장비 B의 수신기 잡음을 나타낸 표이다. 장비 B의 수신기 잡음은 EMI가 없을 때의 수신기 잡음이다.

장비간의 EMI 발생여부는 그림 12와 같이 장비 B에 유입된 장비 A의 비교조파 잡음 신호를 장비 B의 시스템 잡음과 비교되어 판단될 수 있다[7]. 표 6은 표 1의 탑재장비의 비교조파 잡음 세기를 표 5의 안테나 결합 계수를 반영하여 수신기에 입력되는 비교조파 신호 잡음 세기를 나타낸 표이다. 즉, 표 6의 수신된 신호 세기가 각 장비의 수신기 고유의 시스템 잡음 수준에 비하여 작다면 수신기는 영향을 받지 않겠지만, 그렇지 않을 경우 수신신호의 신호대잡음비가 감소하여 장비가 정상적인 작동을 하지 않는 EMI가 발생하는 것을 의미한다. 예를 들어 -123dBm의 시스템 잡음을 갖는 무전기는 제어용 데이터링크 및 TCAS로부터 -123dBm 이하의 신호가 유입되므로 EMI가 발생하지 않는다. 반면, 데이터링크는 시스템 잡음의 수준이 -125dBm인데 반해 무전기로부터 -77.8dBm의 신호가 들어오게 되므로 EMI 발생한다고 예측될 수 있다. 마지막으로 GPS 역시 시스템 잡음의 세기가 -150dBm인 것에 반하여 음성통신무전기와 TCAS에서 입력되는 비교조파잡음에 의한 간섭신호의 세기가 -150dBm 보다 크므로 EMI 발생 가능성이 있다고 볼 수 있다.

장비 간 안테나를 통한 EMI는 송신 단에 필터를 적용하거나, 안테나와 고풍출력증폭기 등의 주파수 특성을 개선하거나, 변복조 방법의 변경을 통한 신호처리이득(processing gain)을 확보하는 방법으로 제거될 수 있다. 즉 무전기와 데이터링크 간의 EMI는 무전기의 비교조파 출력신호의 세기를 -47.2dB 감쇠시키면 제거될 수 있다.

표 5. 통신 장비 간 간섭 분석을 위한 송수신기 성능 비교

구분	항목	규격
장비 A	송신전력	40dBm(10W)
	고조파 잡음	2nd ≤ -57 dBc 3rd ≤ -60 dBc
	비고조파 잡음	≤ -34 dBm
장비 B	시스템 잡음	-121 dBm

표 6. 수신기에 입력되는 비교조파 신호 잡음 세기[단위 : dBm]

수신 송신	음성통신 무전기	제어용 데이터 링크	TCAS	GPS
음성통신 무전기		-77.8	-116.5	-100.3
제어용 데이터 링크	-143		-167.9	-177.9
TCAS	-151	-147		-145.8

-47.2dB의 감쇠는 송신증폭기와 안테나 사이에 필터 적용, 증폭기 재설계 등의 방법으로 구현가능하며, 이 경우 데이터링크로 들어오는 신호가 -125dBm 이하이므로 무전기는 데이터링크에 영향을 주지 않게 된다.

신호처리 이득을 이용한 EMI 완화방법의 대표적인 예는 GPS 수신신호 처리와 같은 통신방식을 사용하는 것이다. GPS에서 이용되는 변복조 방식은 대역확산 방식이기 때문에 수신기에서 신호처리 이득을 추가로 확보할 수 있다[8]. 대역확산 처리기에서 추가로 확보되는 처리 이득은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$G_p = \frac{BW_{RF}}{R} \tag{2}$$

여기서 BW_{RF} 는 전송된 대역확산 신호의 RF 대역폭이고, R 은 기저대역(baseband)에서 전송속도이다. GPS의 경우 R 은 $\pm 50\text{Hz}$ 의 값을 가지며, BW_{RF} 는 C/A코드(Coarse/Acquisition Code)와 P코드(Precise Code)에 대해서 각각 $\pm 1.023\text{MHz}$ 와 $\pm 10.23\text{MHz}$ 이다. 따라서 C/A코드와 P코드에 대한 신호처리이득은 43.1dB와 53.1dB이다. 신호처리이득 발생 시 GPS 수신 신호에 대한 재밍마진이 발생한다. 재밍마진(M_j)은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_j = G_p - \left[L_{sys} + \left(\frac{S}{N} \right)_{out} \right] \quad (3)$$

여기서 G_p 는 신호처리이득이고, L_{sys} 는 송수신기의 손실, $\left(\frac{S}{N} \right)_{out}$ 은 수신기의 신호대잡음비이다. 본 논문에서 GPS의 신호대잡음비는 20dB, 송수신기의 손실을 0dB로 가정하였고, 이때 C/A코드와 P코드에 대한 재밍마진은 각각 23.1dB와 33.1dB의 값을 갖는다. 따라서 GPS의 최저수신신호세기 -130dBm에 대하여 재밍마진을 고려할 경우, 주변 신호에 의한 간섭은 C/A코드와 P코드 이용시 최대 -106.9dBm, -96.9dBm 이하의 신호에서는 발생하지 않는다.

III. 결 론

본 논문은 항공기나 함정과 같이 제한된 공간을 갖는 플랫폼에서 다양한 전자파 방사장비가 사용될 경우에 발생할 수 있는 항공기 구조물에 의한 안테나 복사패턴 왜곡과 안테나를 통한 장비 간의 EMI를 사전에 예측하고 해결하는 방법을 제안하였다. 안테나 복사패턴 분석은 각 장비의 용도를 감안한 안테나 초기 위치에서 복사특성과 반사손실의 분석을 우선 수행하였다. 또 비행체의 안테나가 장착 가능한 범위에서 비행체구조물과 접지면 변화에 따른 안테나 복사패턴과 반사손실의 변화를 분석하였다. 복사패턴 및 반사손실의 분석으로 안테나의 위치를 결정한 후 각 장비 간의 안테나 커플링을 통한 EMI를 예측하였다. 분석결과 항공관제용 무전기와 데이터링

크 장비는 안테나를 통한 EMI의 발생이 예측되었으며, EMI 해결을 위한 몇 가지 방안이 제시되었다. 이러한 일련의 분석 방법은 무인항공기와 같이 한정된 공간에 안테나를 배치하고, 안테나를 통한 장비 간의 EMI를 안테나 장착 이전에 분석하여, EMI 개선 및 대책 수립에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) Alfredo Ramirez, "A Discussion On System Design And Operations", *NTSB Forum on Safety Of Unmanned Aircraft Systems*, pp. 6-23, April 2008.
- 2) I. Walter, E. Arnold, "Antenna Coupling on Electromagnetic Large Objects", *GeMiC*, pp. 172-175, 2005.
- 3) Hou Yanchun, "Analyzing and calculating Isolation between Antenna on Airplane Wireless System", *Electromagnetic Compatibility, 2007. EMC 2007. IEEE International Symposium on*, pp. 378-381, Oct. 2007
- 4) 강우준, 추호성, 김영기, 강호원, "항공기용 내장형 온-글래스 안테나 설계", *전자공학회 논문지*, 제46권, 제 12호, pp.65-71, 2009년 12월
- 5) 이문수 외, *안테나 이론*, 미래컴, 2002
- 6) 김인석 외, *초고주파공학*, 청문각, 2003
- 7) 박상규 외 4, *디지털 통신공학*, 교보문고, 2003
- 8) 남윤권, 박범준, "GPS 재밍 시험 보고서", 국방과학연구소 연구보고서(IEDC-417-030865), 2003.9