

소형 무인항공기에 이용되는 안테나간의 상호결합 해석 Analysis of Mutual Coupling between Antennas on Small UAV

김 현 경 · 김 태 식 · 이 해 창

Hyoun-kyoung Kim · Tae-sik Kim · Hae-chang Lee

요 약

본 논문에서는 무인항공기에 탑재된 서로 다른 주파수에서 동작하는 안테나간의 상호결합을 계산하여 안테나 간의 효율적인 배치방법을 제안한다. FDTD 기법을 이용하여 계산하였다. 시뮬레이션 파라미터는 안테나간의 거리, 안테나간의 높이차, 접지구조 등으로 제한하였다. 시뮬레이션 결과의 정확도를 검증하기 위해 다른 수치 해석 기법을 이용한 해석결과와 비교하였다. 안테나간의 상대적인 높이차가 안테나 상호결합에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 나타났다.

Abstract

In this paper, mutual coupling effect between antennas mounted on UAV(Unmanned Air Vehicle), operating in different frequency bands, is calculated for supposing efficient arrangement. For the calculation, FDTD method is used, simulation parameters are confined to distance between antennas, height of antennas, types of ground, etc. The simulation data are compared with those of other numerical method to confirm accuracy of the results. It is appeared that the critical factor of mutual coupling is height of an antenna relative to that of the other antenna.

Key words : mutual coupling, UAV, FDTD

I. 서 론

무인항공기 통신시스템에서는 통신성능의 신뢰도를 높이기 위한 수단으로 두개 이상의 안테나를 이용하는 안테나 다이버시티 또는 주파수 다이버시티 기법을 이용한다^{[3],[6]}. 이처럼 좁은 공간에서 여러 안테나가 동작될 때, 안테나간의 상호결합으로 인한 전파특성에 변화를 예측하고 성능 저하를 최소화시키기 위한 안테나의 최적 배치 설계가 필요해진다. 동일한 안테나의 상호결합은 배치에 따른 특성을 배열 요소 계산식에 의해 쉽게 예측할 수 있지만^{[6],[7]}, 주파수와 외형이 서로 다른 안테나를 이

용하는 경우 변화요인에 따른 전파특성을 예측하기란 어렵다. 두 안테나간의 상호결합에 대한 연구결과를 바탕으로^[4], 본 논문에서는 소형무인항공기의 전파특성을 변화시키는 요인을 분석하고, 성능저하를 최소화하기 위한 안테나의 배치형태를 제시하고자 한다. 도체로 제작된 소형 무인항공기에 탑재되는 두 안테나간의 상호결합 영향과 안테나에 대한 항공기의 상호결합 영향으로 인한 전파 특성의 변화를 분석하였다.

II. 안테나간의 상호결합 해석

한국항공우주연구원 비행선연구그룹(Airship Research Department, KARI)

· 논문 번호 : 20011023-148

· 수정완료일자 : 2002년 4월 18일

소형 무인항공기는 크기와 무게 및 이착륙시의 편이성을 위해 크기가 작고 가벼운 안테나를 이용하는 것이 좋다. 크기와 무게를 고려할 때 평판형 안테나 또는 모노폴 안테나가 적당하다. 평판형 안테나는 이득이 크고 이착륙시 비행체와 지면간의 거리가 중요하게 작용하지 않는다는 장점을 가지지만, 방사패턴이 지향성을 가지므로 지상국과의 각도 변화와 자세각의 변화가 큰 무인항공기에는 적합하지 못하기 때문에 안테나 이득이 약간 낮더라도 전방향성의 안테나를 이용하게 된다. 본 논문에서는 437 MHz 대역의 주통신 안테나와, 보조통신으로 이용되는 76 MHz 안테나를 시뮬레이션하였다. 현재 이용되고 있는 437 MHz 주통신 안테나는 길이가 약 49 cm인 안테나로 $\lambda/4$ 길이에 비해 매우 긴데, 이는 안테나의 2차 공진을 이용하기 때문이다. 안테나의 특성 임피던스는 안테나의 길이에 따라 변화되므로, 437 MHz 주파수 대역의 정확한 특성을 분석하기 위하여 $\lambda/4$ 길이의 안테나에 대해서 76 MHz 대역의 안테나와의 상호결합을 추가적으로 분석하였다.

2-1 유한 접지 평면위의 안테나 상호결합 해석

두 안테나간의 상호결합 파라미터를 해석하기 위하여 접지 평면위에 수직으로 부착된 모노폴 안테나를 설계하고, 각각의 S-파라미터를 계산하였다. 그림 1은 접지 평면위의 안테나가 부착된 위치를 보인 것이다.

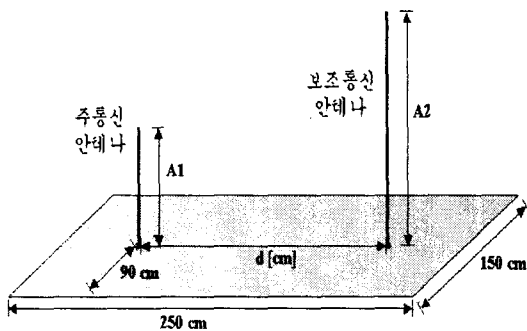


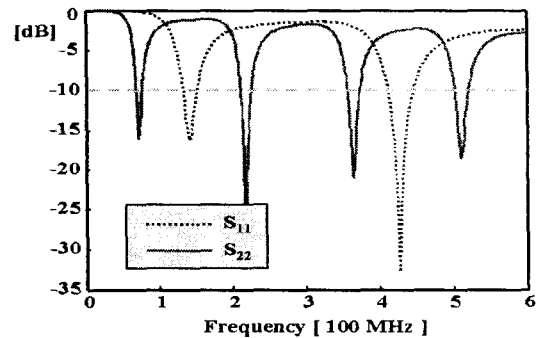
그림 1. 접지 평면위의 두 안테나
Fig. 1. Two antennas on ground plane.

접지 평면의 크기는 GTT의 물체를 펼친 구조의 크기와 동일하게 하였다. 이는 무인항공기와 같이 입체적 구조에 부착된 안테나와 접지 평면위의 안테나의 특성을 비교함에 있어서, 접지공간이 충분히 확보되지 못하여 발생하는 특성의 변화를 동일하게 하기 위함이다.

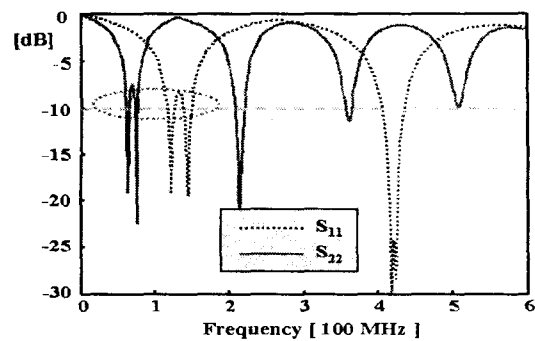
두 안테나의 공진 주파수를 FDTD 기법을 이용하여 분석하였다. FDTD 해석에는 상용툴인 XFDTD를 이용하였고, 식 (1)의 안정화 조건에 따라 셀의 크기는 $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \text{ cm}^3$ 로 결정하였다.^{[1],[2]}

$$\frac{\lambda_{\min}}{20} \leq \delta \leq \frac{\lambda_{\min}}{10} \quad (1)$$

여기서 δ 는 x, y, z 각 방향으로의 격자의 크기이다. 주통신 안테나를 A_1 , 보조통신 안테나를 A_2 로 두었을 때, 그림 2(a)는 $A_1 = 49 \text{ cm}$, $A_2 = 99 \text{ cm}$ 두 안테나가 독립적으로 동작할 때의 공진 주파수를 나



(a) 각 안테나가 독립적으로 동작중일 때



(b) 두 안테나가 모두 동작중일 때

그림 2. 두 안테나의 공진 주파수 ($d=60 \text{ cm}$)
Fig. 2. Resonance frequency of two antennas ($d=60 \text{ cm}$).

타낸 그림이고, 그림 2(b) 안테나간의 거리 d 가 60 cm이고, 두 안테나가 모두 동작중일 때의 반사계수이다. 안테나간의 상호결합으로 인해 그림 2(a)와 그림 2(b)의 S_{11} 과 S_{22} 는 분포의 차이가 보여진다. 그림 2(b)안테나간의 상호결합으로 인해 저주파수 영역에서 이중 공진이 발생함을 알 수 있다.

2-1-1 안테나간의 거리변화에 따른 해석

안테나의 상호결합에 영향을 주는 파라미터는 안테나의 방사특성, 안테나간의 거리, 안테나 급전부의 높이차를 들 수 있다. 안테나의 방사특성은 두 안테나 모두 모노폴 안테나이므로 변화가 없으므로, 두 모노폴 안테나에 대해서 거리와 높이차의 변화가 상호결합에 어떤 영향을 주는지를 비교하였다.

선형 시스템에서 S_{21} 과 S_{12} 는 같은 값을 가지므로, 다음 식을 이용하여 S_{12} 을 계산한다^[4].

$$S_{12} = \frac{-2 Y_{12} Y_0}{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) - Y_{12} Y_{21}}$$

그림 3과 5는 안테나간의 거리 변화에 따른 S_{12} 를 계산한 결과이다. $d = 60$ cm일 때 S_{12} 는 대부분의 주파수 영역에서 -30 dB에서 -20 dB 사이의 값을 가지며, 그 값은 주파수에 따라 다르다. 안테나간의 거리 d 가 커짐에 따라 안테나간의 상호 결합 파라미터 S_{12} 값은 작아지는데, 그 변화량은 0~500 MHz의 주파수 범위에서 거의 일정하다. 해석하고자 하는 두 안테나의 중심 주파수는 76 MHz와 437 MHz 이므로 이 주파수에서의 S_{12} 값을 계산하여 거리에 따른 분포를 그림 4에 나타내었다.

그림 3에서 안테나간의 거리가 멀어짐에 따라 두 안테나간의 상호 결합은 적어지지만 최대값을 나타내는 지점과 급격히 저하되는 부분의 주파수가 일정함을 알 수 있다. 이는 안테나의 거리와는 상관없이 두 안테나 고유의 특성에 따라 상호결합이 최대가 되는 주파수와 최소가 되는 주파수가 결정됨을 의미한다.

FDTD 계산 결과의 정확성을 검증하기 위한 방법으로 동일한 구조에 대한 CST 시뮬레이션을 수행하였다. 이 결과는 그림 4에 보여지며, 두 계산 결과가 잘 일치한다. 모노폴 안테나와 도체 구조물에 대한 FDTD 해석 결과가 측정치와 잘 일치함을 축소

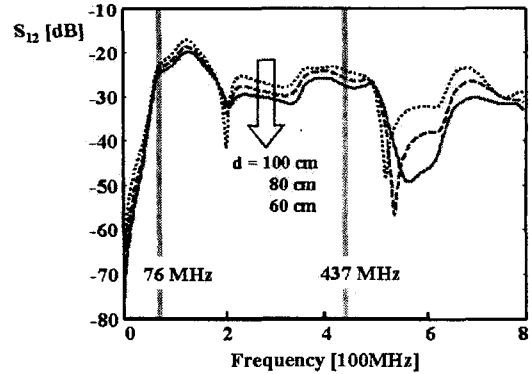


그림 3. 거리 d 에 따른 S_{12} - 주파수 분포
Fig. 3. S_{12} with variety of distance, d - frequency distribution.

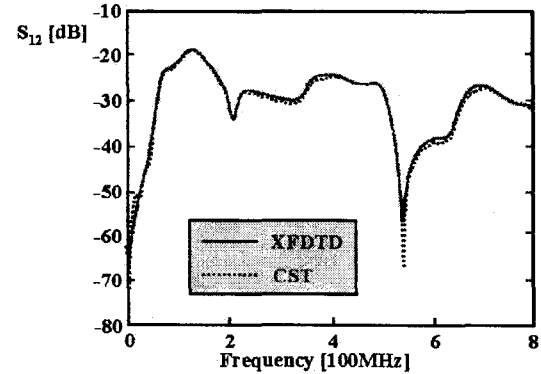


그림 4. CST 시뮬레이션 결과와의 비교
Fig. 4. Comparison with the result of CST simulation.

형 모델에 대한 여러 논문 결과에서 보여진 바 있다.^[5]

그림 5에 보여지는 것처럼 거리 변화에 따른 각 주파수에서의 S_{12} 값은 선형성을 가진다. 76 MHz의 주파수를 갖는 보조통신 안테나의 S_{12} 값은 거리가 10 cm 증가함에 따라 약 0.45 dB 씩 감소하고, 주통신 안테나의 중심주파수에서의 변화량은 약 0.9 dB로 보조통신의 2배로 변화된다. 거리에 따른 변화가 선형성을 가지므로 해석하지 않은 거리차에 대해서도 변화량을 예측할 수 있을 뿐 아니라, 요구되는 S_{12} 값을 얻기 위한 최소한의 거리차를 결정할 수 있다. 이로부터 $50 \leq d \leq 110$ 의 조건에서, d 가 증가함에 따라, 안테나간의 상호결합은 줄어들며, 그 값

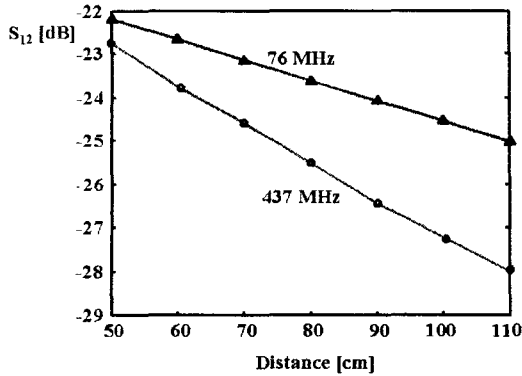


그림 5. 거리 d 에 따른 S_{12} ($A_1 = 49$ cm)

Fig. 5. S_{12} with variety of distance, d .

의 변화는 높은 주파수 대역을 이용하는 주통신 안테나에서 더 크게 나타난다는 것을 알 수 있다.

동일한 주파수 대역을 이용한다 하더라도 안테나의 길이가 다르면 안테나의 임피던스가 변화되고, 안테나가 방사하는 유효 길이가 변하기 때문에, 437 MHz 주파수의 $\lambda/4$ 길이에 해당되는 모노폴 안테나에 대해 해석할 필요가 있다. 주통신 안테나로 $\lambda/4$ 길이의 모노폴 안테나를 이용하는 경우 안테나 간의 상호결합은 그림 6과 같다. 그림 6의 오른쪽 눈금은 보조통신 안테나의 S_{12} 값에 대응되고, 왼쪽은 주통신 안테나에 대응되는 값이다. 주통신 안테나의 길이가 보조통신 안테나에 비해 매우 짧으므로 보조통신 안테나는 상호결합의 영향을 거의 받지 때문에 해석범위에 대해서 -45 dB 이하의 값을

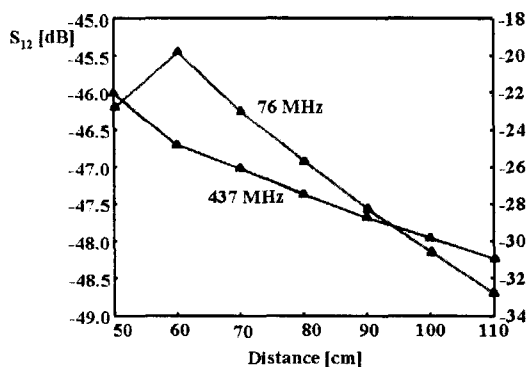


그림 6. 거리 d 에 따른 S_{12} ($A_1 = 12$ cm)

Fig. 6. S_{12} with variety of distance, d .

가지며, 거리에 따른 변화폭도 작다. 반면, 주통신 안테나 주파수에서의 S_{12} 값은 그림 5의 경우와 유사한 값을 가지며, 거리가 10 cm 증가함에 따라 -1.1 dB 씩 감소하고, 보조통신 안테나에 비해 많은 영향을 받는다. 거리증가에 따른 결과를 그림 4와 비교해 볼 때, $50 \text{ cm} \leq d \leq 110 \text{ cm}$ 의 범위에서, 437 MHz 주파수에서의 S_{12} 의 변화량과 값의 범위는 그림 5의 49 cm 길이의 안테나와 매우 유사함을 알 수 있다. 보조통신 주파수인 76 MHz에서의 S_{12} 값은 주통신 안테나의 길이에 매우 큰 영향을 받으므로, 거리에 따른 변화량에는 큰 차이가 없으나 그 값이 전체적으로 약 23 dB의 낮은 값을 가진다.

주통신 안테나의 길이에 따른 각 주파수에서의 상호결합 파라미터 값은 다르게 나타나지만, 거리에 따른 변화가 일정하다는 것을 알 수 있다. 주통신 안테나의 길이가 다르더라도 두 안테나 모두 특정 주파수(437 MHz)에서 공진이 일어나므로, 상호결합 파라미터는 크게 변화되지 않았다.

2-1-2 안테나간의 높이차에 따른 해석

안테나간의 거리 변화에 따른 상호결합 파라미터는 선형성을 가진다는 것을 2-1-1절에서 확인하였다. 안테나간의 거리를 변화시키는 방법은 좁은 공간을 갖는 구조에서는 한계가 있다. 또한, 거리 변화에 따라서 상호결합 파라미터의 감소폭은 매우 적기 때문에, 상호결합에 의한 영향이 안테나 성능을 크게 저하시키지 않을 정도의 충분한 값을 얻기가 힘들다. 이 절에서는 안테나간의 거리가 일정할 때, 두 안테나의 급전부의 높이차 h 에 따른 영향을 분석하였다. 안테나간의 거리 d 는 1미터로 고정시키고, 주통신 안테나의 급전부를 높여가며 결과를 얻었다. 모노폴 안테나는 급전부에서 끝부분에 이르기까지의 전류분포가 균일하지 않기 때문에 급전부의 위치에 따라 인접한 안테나가 받는 영향이 변화된다. 또한, 항공기는 폐쇄된 구조를 가져야 하므로, 급전부를 높이기 위해 접지판을 높이는 방법을 이용해야 하기 때문에 이에 따른 간섭효과도 무시할 수 없다. h 에 따른 변화는 d 의 변화에 따른 결과보다 훨씬 변화가 큰 것으로 나타났으며, 두 안테나간의 상호결합을 최소화하기 위한 적정 높이차가

소형 무인항공기에 이용되는 안테나간의 상호결합 해석

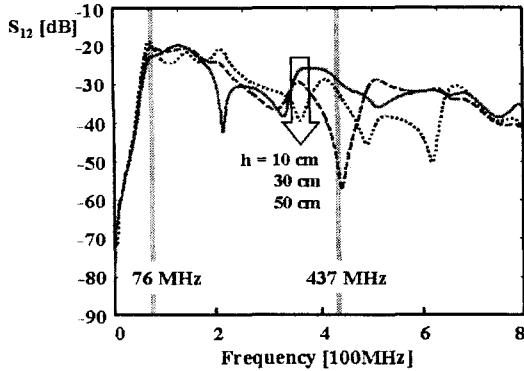


그림 7. 높이차 h 에 따른 S_{12} - 주파수 분포
 Fig. 7. S_{12} with variety of height, h - frequency distribution.

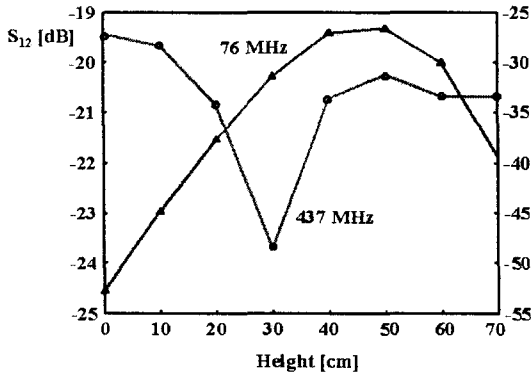


그림 8. 높이차 h 에 따른 S_{12}
 Fig. 8. S_{12} variety of height, h .

존재하는 것으로 분석되었다. 그림 7과 8은 h 에 따른 변화를 나타낸 그림이다. 그림 8의 오른쪽 눈금은 437 MHz 주파수에서의 결과에 대한 눈금이며, 76 MHz 주파수에 대한 수치는 왼쪽 눈금과 대응된다.

h 에 따른 변화는 주통신 안테나에서 특히 크게 나타나며, 두 주파수 모두에서 변화가 일정치 않으므로 높이차에 따른 상호결합을 예측하기는 어렵다. $h=30$ 일 때 437 MHz에서의 S_{12} 는 -48.47 dB의 최저 값을 가지며, 이때의 76 MHz 주파수에서의 S_{12} 는 -20.28 dB의 값을 가진다. 76 MHz 주파수에서의 상호결합 파라미터 값은 높이차가 50 cm가 될 때까지 점차 커지다가 50 cm에서 최대값을 갖고 다시 작아지며, 437 MHz에서도 50 cm에서 높은 값을 가진다.

다. 높이차가 50 cm일 때, 두 안테나의 끝의 높이는 같아지므로, 두 안테나의 간섭이 가장 큰 것으로 분석된다. h 가 40~60의 범위를 가질 때, 안테나간의 상호결합은 두 주파수 모두에서 매우 높은 값을 가지는데, 이는 안테나의 전계 분포가 최대가 되는 두 지점의 높이가 가깝기 때문이다. 그러므로 안테나간의 높이차를 변화할 때, 두 안테나의 전계 분포를 고려하여야 한다.

2-2 무인항공기에 탑재된 안테나의 상호결합 해석

무인 항공기에 부착되는 안테나를 해석하기 위해 한국항공우주연구원에서 제작한 무인기인 GTT를 이용하였다. 실제 모델에 근접한 FDTD상의 GTT 모델을 구현하여 안테나의 상호결합을 계산하였다. FDTD로 구현된 가상의 GTT 모델은 각 부분의 길이를 측정하여 얻어진 구조이며, 물질은 알루미늄이므로 완전도체로 가정하였다. 안테나간의 거리는 60 cm로 설정하였으며, 이때의 S -파라미터를 계산하였다.

그림 10의 두 결과에서의 S_{11} 과 S_{22} 은 접지평면에서 해석한 각각의 공진 특성과 약간의 차를 보인다. 중심주파수는 약간 낮아졌으며, GTT와 안테나간의 상호결합으로 인해 주통신 안테나 주파수 영역에서 이중 공진이 발생하였다. 안테나가 GTT 구조에 부착된 경우의 S -파라미터는 평면위의 안테나의 결과와 약간의 차이를 보인다. 주통신 안테나의 공진 특성은 대역폭이 5 MHz 정도 넓어졌으나, 상호 결합도는 높아졌다. 이로부터 소형 무인비행기의 구조적 특성이 안테나에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

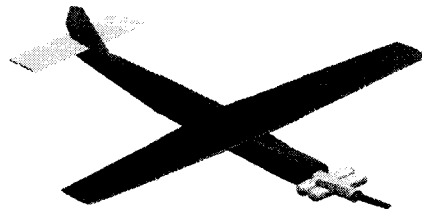
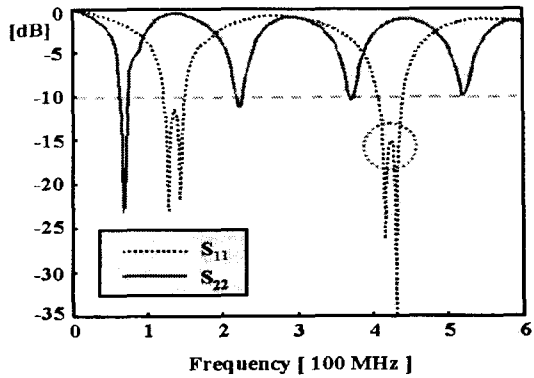
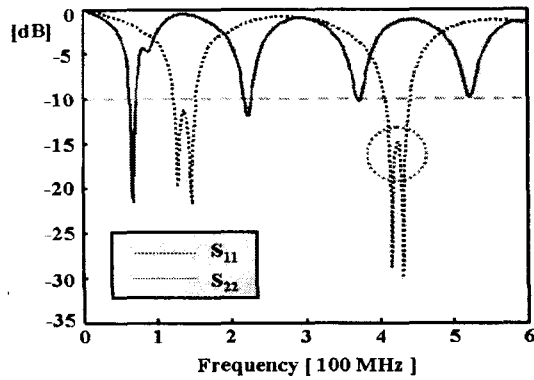


그림 9. GTT 모델
 Fig. 9. GTT model.



(a) 날개를 포함하지 않은 구조
(a) GTT without wings.



(b) 날개를 포함한 구조
(b) GTT with wings.

그림 10. GTT에 부착된 두 안테나의 공진 주파수
Fig. 10. Resonance Frequency of two antennas on GTT.

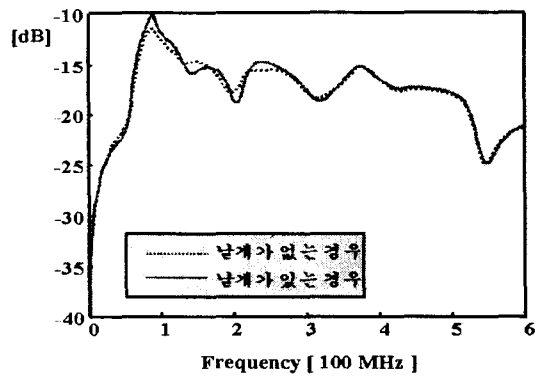
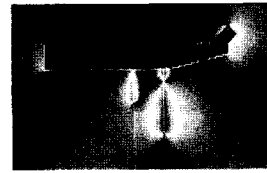
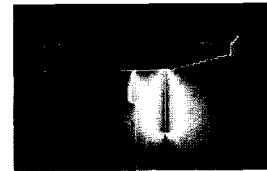


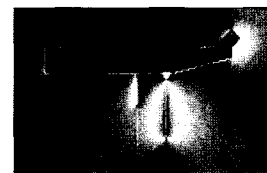
그림 11. GTT의 구조에 따른 S_{12}
Fig. 11. S_{12} according to GTT structure.



(a) $t = 400$ ts



(b) $t = 1000$ ts



(c) $t = 1800$ ts

그림 12. 주통신 안테나에 의한 전계 분포
Fig. 12. Electric field distribution caused by primary antenna.



(a) $t = 400$ ts



(b) $t = 1000$ ts



(c) $t = 1800$ ts

그림 13. 보조통신 안테나에 의한 전계 분포
Fig. 13. Electric field distribution caused by secondary antenna.

표 1. GTT 구조에 따른 대역폭과 S_{12}

	안테나 배치	대역폭		S_{12}	
		S_{11} (437 MHz)	S_{22} (76 MHz)	73 MHz	437 MHz
날개를 포함하지 않은 구조	동일평면일 때	33 MHz	9 MHz	-17.9	-23.8
	동일평면이 아닐 때	33 MHz	9 MHz	-29.3	-35.9
날개를 포함한 구조	동일평면일 때	33 MHz	7 MHz	-16.7	-23.6
	동일평면이 아닐 때	32 MHz	8 MHz	-24.2	-35.7

안테나의 부착 위치에 따른 상호결합을 비교하기 위하여 무인항공기의 몸체 아래 위쪽으로 안테나가 부착되는 경우에 대해 해석하였다. 표 1은 안테나의 부착위치와 무인항공기의 구조에 따른 상호결합 파라미터와 대역폭을 비교한 것이다. 안테나의 대역폭은 부착위치와 항공기 구조에 큰 영향을 받지 않지만, 구조와 부착위치에 의해 공진 주파수는 약간씩 이동되었다. GTT의 구조와 상관없이 주통신 안테나의 공진 주파수 영역에서의 S_{12} 값의 변화는 없었지만, 보조통신 안테나는 날개를 포함한 구조에서 S_{12} 값이 높아짐을 알 수 있다.

두 안테나의 시간에 따른 전계 분포를 그림 12와 13에 나타내었다. 그림 13은 부통신 안테나에 의해 주통신 안테나가 받는 영향을 나타낸 그림이고, 그림 13은 주통신 안테나에 의해 부통신 안테나가 받는 영향을 나타낸 것이다. t_5 는 전파가 한 셀을 진행하는 시간간격으로, 48 ps이다. 중심의 밝은 부분에서 밖으로 갈수록 전계 강도는 낮다.

그림 14는 두 안테나 각각의 방사모양이다. 그림

15는 $\lambda/4$ 길이의 주통신 안테나의 방사모양이다. 실선은 주통신 안테나의 방사모양, 점선은 부통신 안테나의 방사모양을 표시한 것이다. 중심 주파수가 76 MHz인 부통신 안테나는 길이가 상대적으로 매우 길기 때문에 GTT로부터 방사특성에는 영향을 적게 받는다. 그렇기 때문에 방사모양이 접지 평면 위의 모노폴 안테나와 거의 일치한다. 반면, 주통신 안테나의 길이는 GTT 몸체에 비해 짧기 때문에 GTT의 구조적인 영향을 많이 받으며, 이로 인해 많은 일그러짐을 보인다. 두 안테나에 대한 방사모양은 GTT의 머리와 꼬리 부분으로 비대칭 구조를 보인다. 이는 GTT의 앞쪽 날개가 매우 크기 때문에 방사모양에 영향을 주고, 꼬리날개는 작아 상대적으로 영향이 적기 때문이다. 그림 14(a)와 그림 15(a)에서 몸체 위쪽으로는 도체에 의한 간섭으로 인해 방사모양의 null 영역이 많이 발생한다.

III. 결 론

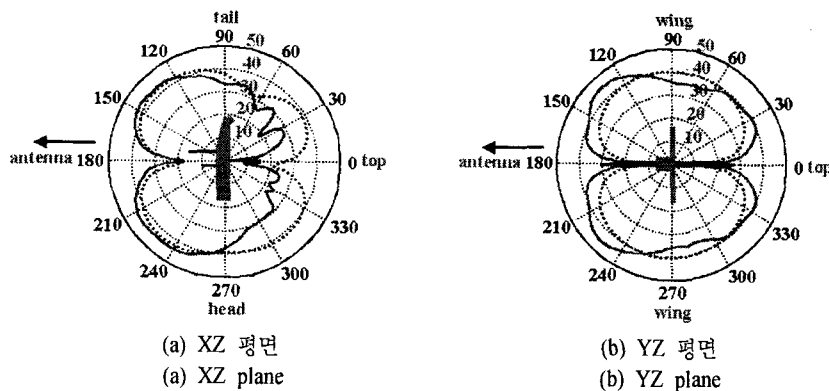


그림 14. GTT에 부착된 안테나의 방사모양

Fig. 14. Radiation patterns of antennas on GTT.

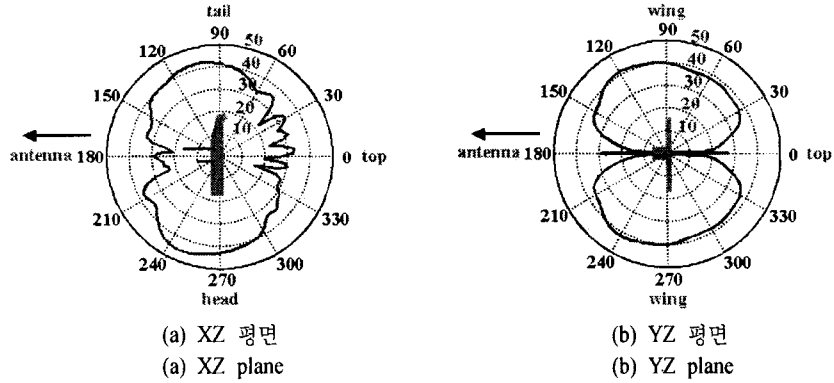


그림 15. $\lambda/4$ 길이 안테나의 방사모양
 Fig. 15. Radiation patterns of $\lambda/4$ long antenna.

원거리에서 송신되는 미약한 신호에 대해 인접한 곳에서의 RF 방사는 큰 간섭원으로 작용할 수 있으므로 인접한 안테나의 영향을 최소화하기 위한 안테나 상호결합 분석이 요구된다. 안테나의 상호결합에 영향을 주는 두 가지 요인 - 거리차와 높이차 - 에 대해 분석한 결과, 거리가 멀어질수록 상호결합도는 낮으며, 그 결과는 각 주파수에 대해 선형적인 특성을 가지는 것으로 나타났다. 두 가지 다른 주파수의 안테나를 이용하는 시스템에서 주파수가 높을수록, 즉 길이가 파장에 비례하는 모노폴 안테나의 길이가 짧을수록 거리에 따른 상호결합 파라미터 값이 크게 변화된다. 안테나의 높이차가 변화됨에 의해서도 큰 변화를 보이는데, 이 값의 변화는 선형성이 없으며, 두 안테나간의 상호결합을 최소화하기 위한 적정 높이차가 존재하는 것으로 보인다. 두 파라미터에 대한 해석을 통하여, 요구되는 상호결합을 만족시키기 위한 최소한의 거리와 급전점의 높이차를 예측할 수 있다.

소형 무인항공기에 부착된 안테나의 특성이 접지 평면과 차이를 보이는 것을 통해, 안테나간의 상호결합 뿐 아니라, 도체로 이루어진 소형 비행체에 의해서도 전파특성에 영향을 받으며, 설계 및 안테나 배치시 이를 고려하여야 한다는 것을 알 수 있다.

안테나간의 상호결합 및 소형 무인항공기에 부착되는 안테나의 특성을 해석함으로써 향후 개발할 무인 비행체에서의 안테나 배치를 최적화하여 무선 링크 송수신 특성을 최대화 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] K. S. Kunz and R. J. Ruebbers, *The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics*, CRC Press, 1993.
- [2] A. Taflove, *Computational Electrodynamics*, Artech House, Boston · London, 1995.
- [3] A. Balanis, *Antenna Theory*, Wiley Interscience Publication, 1997.
- [4] S. V. Georgakopoulos, C. A. Balanis, and C. R. Birtcher, "Cosite Interference between Wire Antennas using the Finite-Difference Time-domain Method", *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 33, no. 2, pp. 1014-1017, 1997.
- [5] W. V. Andrew, C. A. Balanis, P. A. Tirkas, J. Peng, and C. R. Birtcher, "Finite-Difference Time-Domain Analysis of HF Antennas on Helicopter Airframes", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 39, no. 2, pp. 100-113, May 1997.
- [6] A. W. Scott, *Understanding Microwaves*, Wiley Interscience Publication, 1993.
- [7] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw Hill Press, 1993.

김 현 경



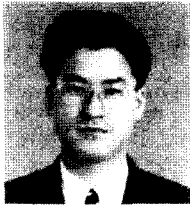
1999년 2월: 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2001년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2000년 12월~현재: 한국항공우주연구원 연구원

이 해 창



1988년 2월: 인하대학교 항공공학과 (공학사)
1990년 2월: 인하대학교 항공공학과 (공학석사)
2002년 2월: 인하대학교 항공공학과 (공학박사)
1990년 2월~현재: 한국항공우주연구원 책임연구원

김 태 식



1989년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월~2001년 2월: 국방과학연구소
2001년 3월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

연구원 선임연구원