방향탐지 정확도 개선을 위한 안테나 전면판 설계에 관한 연구

A Study on the Antenna Front Plate Design for the Improvement of DF Accuracy

김 인 선* 신 임 섭*
In-Seon Kim Im-Seob Shin

Abstract

In this paper, we present the AFP(antenna front plate)s which were designed to reduce the reflection for the sake of the improvement of DF(direction finding) accuracy. The AFP consists of front plate, absorber and radome. The AFPs were optimized respectively by real test and we performed the DF test using our AFPs in laboratory. The DF test shows that the DF accuracy is about 2 times better than the requirement capability. Then, the DF field test was executed using the AFPs, which were installed in helicopter in consideration of the reflection by platform. The result of the DF field test is superior to the requirement capability also, which shows the validity of our design method.

Keywords : Antenna Front Plate, Radome, Absorber, Amplitude Comparison DF, DF Accuracy

1. 서 론

우리 해군은 작전 헬기 도입 당시, Fig. 1과 같이 영국 전자전장비(AWARE-4)의 6개 안테나(수신기 포함) 장착공간을 외부만 막은 빈 공간인 상태로 헬기를 도입하였다. 그러나 점진적으로 전자전장비의 부재에 따른 문제점을 인식하면서 해군에서 헬기 조종사 생존성 증강 및 전투력 향상을 위해 작전헬기용 전자전장비 국내개발의 소요가 제기되었고, 본 연구는 이 일환

으로 헬기용 전자전장비의 방탐정확도 증강을 위해 빔 패턴 왜곡이 적은 최적의 안테나 전면판 설계에 관한 것이다.

헬기의 긴 체공시간 확보를 위해 헬기 탑재 전자전장비는 고주파 수신기(안테나 포함)의 소형·경량화 설계와 더불어, 기존 6개의 장착공간 중 4개의 공간(Fig. 1의 ①~③, ⑥)만을 이용하여 해외 유사장비 이상의 방향탐지(이하, ‘방탐’) 정확도를 얻고자 하였다. 일반적으로 진폭비교 방탐방식에서는 보다 많은 안테나(수신기 포함)를 조밀하게 배열하는 것이 안테나를 적게 배열하는 것보다 우수한 방탐정확도 구현이 가능하다. 따라서 본 연구와 같이 안테나 수를 4개로 하면서 안테나 6개를 사용한 장비와 동등 수준의 방탐 성

† 2011년 3월 15일 접수~2011년 5월 27일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김인선(naechon@add.re.kr)

능을 얻기 위해서는, 우수한 성능을 갖는 수신기 개발과 함께 안테나 리플이 적은 안정적인 빔 패턴을 형성하는 것이 매우 중요하다. 따라서 우수한 방탐정확도를 위해 안정적인 빔 패턴을 형성할 수 있는 반사파저감 구조의 안테나 전면판 설계가 절실히 요구된다.

Fig. 1. 안테나 장착위치

Fig. 2 (a)는 Fig. 1의 안테나 배열을 등간격으로 형상화한 것으로서, 플랫폼의 법선(Normal) 방향으로 안테나가 그대로 배치되고, 360° 전방향에 대해 60°씩 고르게 등각을 형성할 수 있도록 되어 있다. Fig. 2의 각 안테나 번호는 Fig. 1의 헬기 장착 안테나 번호로서 ①, ②는 전방 $\pm 30^\circ$ 를, ③, ⑥은 후방 $\pm 30^\circ$ 를, ④, ⑤는 0° 와 270° 를 각각 지향한다. 이 경우 대체로 안정적인 빔 패턴을 형성하는 부분(지향각 $\leq \pm 60^\circ$)만을 진폭비교 방탐에 적용할 수 있기 때문에 비교적 정확한 방탐 성능을 구현할 수 있다. 반면, Fig. 2 (b)는 4개 장착공간만을 사용할 경우 안테나의 전방향을 커버하기 위해 전면판을 일부 변형(15° 조정)해야 함을 보여준다. 이렇게 함으로서 360° 전방향에 대해 90°씩 등각을 형성시킬 수 있다. 그러나 이 경우 비교적 큰 리플을 갖는 영역(지향각 $\leq \pm 90^\circ$)까지를 진폭비교 방탐에 적용하기 때문에 6개의 경우보다 다소 방탐정확도가 떨어진다. 또한 (b)의 구조는 (a)의 구조에 비해 플랫폼 주변 구조물의 반사에 더 취약한 조건이므로 안테나 내각(지향각 $\leq \pm 45^\circ$)에서 뿐 아니라, 지향각에서 떨어진 외각($45^\circ \leq \text{지향각} \leq 90^\circ$, $-90^\circ \leq \text{지향각} \leq -45^\circ$)의 빔 패턴에도 왜곡을 초래하여 방탐정확도를 더욱 저하시킬 수 있다.

본 논문에서는 전면판 구조를 최적 설계함으로써 반사저감 효과를 극대화할 수 있는 전면판 설계에 대해 기술한다. 연구 범주는 크게 네 가지로 분류하였으며 그 각각은 다음과 같다. 첫째는 4개의 비 등각 스파이럴 안테나 장착 공간을 갖는 플랫폼 구조에서 빔 왜곡을 최소화하면서 4개 안테나가 90°의 등각을 유지하도

록 안테나 전면판을 최적 형상화하는 설계 기술이다. 둘째는 플랫폼에 반사 또는 표면을 타고 인입되는 전자파에 의한 빔 왜곡을 최소화하기 위해 전면판 주변 구조물에 대한 흡수체 적용 기술이다. 셋째는 안테나와 흡수체를 외부 환경으로부터 보호 및 고정하고 광대역 운용 주파수에서 양호한 전력전달 특성을 갖는 평면형 레이돔 설계 기술이다. 그리고 마지막으로 각각의 기술이 적용된 전면판 조립체를 구성하여 전자파 무반사 실험실 및 실제 환경에서 수행한 방탐정확도 시험결과로부터 연구의 타당성을 보이고자 한다.

Fig. 2. 안테나 장착에 따른 빔 배열

2. 본 론

가. 전면판

4개의 안테나를 이용한 진폭비교 방탐에서 이상적인 안테나 장착 형태는 Fig. 3의 A1~A4와 같이 4개의 안테나가 플랫폼에 법선 방향으로 장착되어 90° 등각을 형성하는 것이다. 그러나 B1~B6와 같이 이미 결정된 플랫폼의 안테나 장착 공간에서 4개의 안테나 공간만을 그대로 적용할 경우, 안테나는 90° 등각을 유지할 수 없으며 360° 전방향에 대해 진폭비교 방탐이 불가능하게 된다.

만약 플랫폼 구조를 임의로 변환하여 안테나를 A1~A4에 장착할 수 있다면 가장 이상적인 특성을 얻을 수 있겠지만, 대부분의 경우 플랫폼의 구조변경은 항공 역학적 문제 등에 직면하게 된다. 이것을 해결하기 위해서는 헬기 제작업체나 헬기 전문 개조장업체와 협업을 통해서만 가능하다. 하지만 이 또한 고가의 개

조장착비용과 개조를 위해 장시간 해외업체로 헬기를 내보내야 됨에 따른 전력 공백 등의 문제로 현실적 어려움이 있다. 따라서 본 연구는 국내 개조장착이 가능한 범위내에서 무게 중심을 크게 변화시키지 않으며 최대한 주어진 장착 공간을 활용해 B2, B3, B5, B6의 안테나 지향각을 각각 15°로 조정하여 C1~C4와 같이 전방향에 대해 4개의 안테나가 각각 90°씩 등각을 이루도록 하였다. 이에 따라 안테나가 플랫폼에 경사지도록 장착되는 형태로서 스파이럴 안테나 외각 쪽의 빔이 A1~A4에 비해 주변 구조물에 반사되기 쉬운 형태가 된다. 일반적으로 안테나 지향각을 조정하는 방법에는 Fig. 4와 같은 두 가지 방법을 고려해 볼 수 있다. 먼저 Fig. 4 (a)와 같이 안테나를 일부 외부로 도출시켜 안테나 자체를 원하는 각도만큼 조정하는 방법과 (b)와 같이 안테나 전면판 전체를 일정각도 조정하고 그 면의 법선 방향으로 안테나가 장착되도록 하는 방법이 있다.

Fig. 3. 안테나 지향각 변경

Fig. 4. 안테나 지향각 조정

두 방법 중 반사에 의한 영향이 적은 구조를 찾기 위해 다양한 형상의 전면판 모형을 만들고 안테나 빔 패턴을 측정하였다. Fig. 5는 Fig. 4 (a)의 경우와 (b)의 구조 중 찾은 최적 형상의 경우에 대해 중심 주파수에서 측정한 시험결과를 보여준다. 안테나만을 15° 경사지도록 한 (a)의 경우 빔 폭이 대체로 좁아지고 지향각이 약간 편향되며, 빔의 왜곡이 전면판 전체를 15°를 경사지도록 한 (b)의 경우보다 심해짐을 확인할 수 있다.

Fig. 5. 지향각 조정 시험결과

Fig. 6. 실제 안테나 장착

특히 헬기의 부주(Sponson, Fig. 1의 ③과 ⑥ 위치)에 위치한 후방 안테나 장착부에는 바로 인접하여 동일 평면상으로 넓은 도체판이 존재하기 때문에(Fig. 6의 아래 좌측 점선), 전방 안테나 장착부에 비해 직접 반사파에 의한 영향을 훨씬 많이 받을 수 있는 구조이다. 그래서 그 면을 직접 반사파에 의한 유입이 없는 선까지 뒤쪽으로 밀고 유선형으로 구성하여 반사조건이 개선되도록 약간의 플랫폼 형상변경을 수행하

였다. Fig. 6의 좌측은 Fig. 4 (a)의 형태이고 Fig. 6의 우측은 Fig. 4 (b)의 형태로 실제 헬기에 장착된 모습을 보여주며 후방의 경우 흰 점선은 플랫폼 형상이 변경된 부분이다.

나. 흡수체

Fig. 5에서 보는 바와 같이 안테나 전면판과 일부 플랫폼 형상변경을 수행하였음에도 불구하고 안테나 주변의 반사(직접반사 또는 표면전류)에 기인하여 여전히 빔 패턴이 진폭비교 방탐을 수행하기에 양호한 상태라고는 할 수 없다. 추가적인 헬기 주변 구조물 형상변경을 통한 빔 패턴 개선은 전술한 바와 같이 매우 많은 제약이 따르기 때문에, 그 차선택으로 흡수체 사용을 고려하였다.

광대역에서 흡수체를 구성하는 재료에 대한 정확한 세부 정보를 획득할 수 없었기 때문에, 전자파 시뮬레이션이 사실상 어려워 사전 성능 예측을 할 수 없었다. 따라서 크기와 모양을 달리한 다양한 종류의 흡수체를 안테나 주변에 붙여가며 전자파 무반사실에서 다수의 시험을 통해 양호한 특성을 제공하는 흡수체를 찾는 방법을 선택하였다. 따라서 이 과정은 많은 시간과 노력이 소요되며 경험적인 노하우가 매우 중요하다. Fig. 7은 시험에 사용된 다양한 형태(foam/honeycomb/rubber)의 흡수체를 보여준다. 시험결과 고무형태(Rubber Type)의 흡수체가 가장 양호한 결과를 주었다. 따라서 최종 Cumming MW사의 C-RAM GDSS 흡수체^[1]를 적용하였다.

Fig. 7. 사용된 흡수체

Fig. 8은 전면판에 흡수체를 부착한 형상을 보여준다. 안테나 주변 면에는 두께 3mm 흡수체를 사용하였고, 플랫폼 장착면은 반사파에 의한 영향이 안테나 주변에 비해 훨씬 덜 민감하기 때문에 무게를 고려하여 1.5mm 흡수체를 적용하였다.

Fig. 8. 흡수체 부착 형상

Fig. 9는 Fig. 5의 시험조건에서 전면판에 흡수체를 부착한 후의 중심 주파수에서 빔 패턴 시험결과를 보여준다. Fig. 5의 전면판에 흡수체를 부착하기 전의 빔 패턴과 비교하여 흡수체 부착시 빔 특성이 상당히 양호해졌음을 확인할 수 있다. 이로 인해 진폭비교 방탐 방식에서 방탐정확도가 상당부분 개선될 수 있을 것으로 예상된다.

Fig. 9. 흡수체 부착 시험결과

다. 레이돔

레이돔^[2~5]은 안테나 및 흡수체가 외부환경에 장시간 노출되었을 경우 부식되는 것을 방지하기 위한 용도로 사용된다.

레이돔은 광대역 조건에서 수신감도에 미치는 영향을 고려해 적은 투과손실과 방탐정확도를 고려한 적은 리플 특성이 요구된다. 이런 요구조건을 만족시키기 위해 본 연구에서는 평면형 단층 thin wall 구조로서 S-2 glass 섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Polymeric Composite)가 사용되었다. Fig. 10은 제작된

레이돔 내·외면을 보여준다. 전기적 특성을 고려한 0.5mm 두께의 레이돔 부분과 외부 환경으로부터 밀폐를 위한 3mm 두께의 고정 구조물로 구성된다.

Fig. 10. 제작 레이돔

(a) 수평편파

(b) 수직편파

Fig. 11. 레이돔 측정결과

다양한 재질, 두께 및 형상을 갖는 다수의 시편을 제작하여 시험을 통해 성능을 입증하였다. Fig. 11은 제작된 레이돔에 대해 중심 주파수에서 수직/수평 빔 패턴을 그린 것이다. 보는 바와 같이 낮은 손실(-1dB 이하)과 리플 특성도 매우 양호함을 확인하였다.

라. 조립시험

Fig. 12는 상기한 전면판, 레이돔, 흡수체의 분해/조립도이다. 조립 시 레이돔과 안테나 개구면 사이의 거리가 빔 패턴에 상당한 영향을 주게 되는데 본 경우에 있어 간격이 최대 밀착되었을 경우 양호한 빔 패턴을 얻을 수 있었기 때문에 조립 시 이 조건을 고려하여 반영하였다.

Fig. 12. 분해/조립형상

플랫폼(헬기)의 전자파 산란이 빔 패턴에 주는 영향을 예측하기 위해, 조립된 전면판 조립체를 장착할 플랫폼의 장착부를 모의한 실물 크기의 모형을 Fig. 13과 같이 제작하고 전자파 무반사실에서 빔 패턴 및 방향탐지 정확도 시험을 수행하였다.

Fig. 13. 실물크기 플랫폼 모형 장착

Fig. 14는 회전장착대를 360° 회전하면서 4개 안테나에 대해 측정한 수직, 수평편파에 대한 빔 패턴을 도

시한 것이다. 보는 바와 같이 각 빔은 정확히 90° 등각을 유지하며 플랫폼의 영향을 고려한 빔도 대체로 양호하여 진폭비교 방탐^[6-8] 적용이 충분히 가능한 수준임을 확인할 수 있다.

Fig. 14. 실물장착 4개 수신채널의 측정값

전면판 조립체를 수신기에 부착하고 전체 주파수 대역에서 수신기 채널보정 및 빔 패턴보정 과정을 통해 보정 데이터를 추출하여 장비에 탑재한 후 실험실에서 방탐 정확도 시험을 실행하였다. Fig. 15는 그 결과를 보여 준다.

Fig. 15. 방탐정확도 시험결과(실험실 조건)

이는 요구규격 보다 약 2배 더 양호한 결과이다. 이런 결과를 토대로 Fig. 16과 같이 실장비를 플랫폼(헬기)에 장착하고 헬기를 해상에서 제자리 채공하면서 360° 를 회전하게 한 다음 시험소에서 모의 위협신호를 헬기로 방사하였다. 본 전면판이 적용된 헬기의 전자전장비로 측정된 위협의 방위값을 시험소로 전송하여 진방위를 연산하는 과정으로 방탐정확도를 산출하였다. 이렇게 하여 얻은 방탐정확도는 실험실 조건 결과 보다는 약간 저조하지만, 요구규격보다는 훨씬 우수한

결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 16. 야외 방탐정확도 시험

이런 결과는 복잡한 플랫폼에 의한 반사 등 모든 실제 환경에서 발생할 수 있는 오차 요인을 포함한 방탐 정확도로서 안테나 전면판이 양호하게 설계되었음을 최종 입증하는 결과이다.

3. 결 론

본 논문은 해군 작전헬기용 전자전장비에서 4개의 안테나 배열만으로 6개의 안테나 배열시와 동등 이상의 방탐정확도 성능을 얻기 위한 반사 저감 구조 안테나 전면판 조립체 설계를 목적으로 하였다. 단계별로 최적의 전면판 형상 설계, 흡수체 사용, 레이돔 설계 과정을 수행하였다. 또한 전면판 조립체를 실물 형상의 모형에 장착하고 실험실 조건에서 방탐시험을 수행하여 성능을 입증하였으며, 최종 실제 헬기에 장착하여 야외시험을 통해 요구규격 이상의 결과를 얻음으로써 반사 저감을 위한 안테나 전면판 조립체의 설계 과정에 대한 본 연구의 타당성을 최종 확인하였다.

References

- [1] "Microwave Absorber Data Sheet", www.cum-ingmw.com
- [2] J. D. Walton, Jr., "Radome Engineering Handbook : Design and Principles", Marcel Dekker, Inc. New York 1970.
- [3] "Airborne Radome Data Sheet", www.cobham-des.com
- [4] "Polyimide & Quartz Data Sheet", www.nurad.com

- [5] 이철수, 소준호, “광대역 레이돔 설계에 관한 연구”, 국방과학연구소, CESD-417-961059, 1996.
- [6] R. S. Andrews, “Antenna and Other Systematic Effects on Amplitude Comparison Monopulse System”, Electronic Circuit and Systems, Vol. 3, No. 3, pp. 103~108, 1979.
- [7] 이규송 외 3인, “진폭비교 방향탐지 장치의 성능 (방탐정확도) 결정요소 해석”, 국방과학연구소, CESD-517-960451, 1996.
- [8] Stephen E. Lipsky, “Understanding DF Accuracy of Radar Warning Receivers”, Defense Electronics Technology, 1978.