

## 함정 마스트 장착 레이더용 회전 중형 안테나의 외부 형상 설계

조기대<sup>\*†</sup>, 김기완<sup>\*</sup>, 권민상<sup>\*</sup>, 홍성일<sup>\*</sup>

\* 국방과학연구소

### Outer Shape Design of Rotating Medium Antenna Installed on Ship Mast

Ki Dae Cho<sup>\*†</sup>, Ki Wan Kim<sup>\*</sup>, Min Sang Kwon<sup>\*</sup> and Seong IL Hong<sup>\*</sup>

\* Agency for Defense Development

(Received September 28, 2011 ; Revised May 21, 2012 ; Accepted May 25, 2012)

**Key Words:** Rotating Antenna(회전 안테나), Wind Load(풍 하중), Low RCS(저피탐 레이더 반사면적), Surveillance Radar(탐색 레이더), Ship Mast(함정 마스트)

**초록:** 함정 전투체계의 운용개념 및 탐색 레이더의 운용성능을 고려하여 설계된 안테나는 반도체형 송수신기들로 구성된 능동배열안테나 시스템이다. 안테나 시스템을 구성하는 전자장비들을 배치하면, 전체 형상은 상당히 큰 크기의 박스 형태가 된다. 함정 마스트에 장착되어 기계적으로 회전하는 안테나 시스템은 가혹한 외부 환경으로부터 내부 장비를 보호하기 위해 밀폐된 하우징을 사용한다. 하우징의 외부형상을 결정할 때, 기존 설계는 강풍이 존재하더라도 정상 회전 유지가 중요한 설계 고려 요소이다. 최근에 함정의 생존성을 증대시키기 위해 저피탐 설계가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 저피탐 설계 요소를 추가하여 제안된 4 가지 모델에 대해서 외부 형상 설계를 분석하였다.

**Abstract:** To satisfy the operational requirements of surveillance radar and the operational concept of a ship combat system, an active-array-type antenna was designed using solid-state transmitters and receivers. The arrangement of the constituent electronic components of the antenna system, considerably large in size, and therefore, the antenna needs to be housed in a box. The rotational antenna system installed on a ship mast is installed in a sealed housing to protect the interior equipment from environmental conditions. The outer shape of the housing is that the antenna should be capable of rotating normally despite strong winds. Furthermore, in recent times, designs with low radar cross section (RCS) have attracted attention from the viewpoint of improving the stealth of the ship. In this light, four types of models are proposed for the outer shape design of the antenna system, and they are investigated from the viewpoint of low RCS design as well as wind load.

### 1. 서 론

함정용 중거리급 탐색 레이더는 적의 전자전 위협과 다양한 해상 클러터 환경하에서 대함/대공 표적을 탐지 및 추적하여 삼차원 탐색정보(거리, 방위, 고각)를 함정 전투체계에 제공하는 핵심 센서이다. 표적에 관한 정보 처리, 통제 및 운용에 관련된 탐색 레이더의 장비들은 함정 내부에 설치되지만, 레이더 전파를 자유 공간으로 내보내고 표적으로부터 반사되어 들어오는 전파를 수신하는 안테나부(Antenna System)는 함정 상층부에 해당하

는 마스트에 장착된다.

가혹한 외부 환경(바람, 온도, 습도, 강우, 결빙, 염수, 진동, 충격, 전자기 간섭, 등)에 노출되는 안테나부는 레이더 요구수명 기간 동안 내구성을 가지기 위해서 많은 설계 요소가 고려되어야 하고 설계 제작된 안테나부는 관련 국방규격에 의거하여 평가되어야 한다.<sup>(1~5)</sup> 함정 전투체계의 작전 운용 성능을 만족할 수 있도록 레이더 성능에 관련된 안테나부의 전자파적 설계가 선행되고 이를 기반으로 전자장비들의 점유 공간 분석, 전자장비들을 연결하는 각종 케이블 연결 용이성을 고려한 이들의 최적배치, 하중 지지구조 방식, 조립성, 그리고 정비성을 고려하여 개략적인 안테나부의 크기가 결정된다. 전자파적 상세설계에 의해 전자장

† Corresponding Author, [adckd@gmail.com](mailto:adckd@gmail.com)

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

비들의 중량과 발열 특성이 구체화되면, 이를 근간으로 가혹한 외부 환경으로부터 안테나부를 보호하기 위한 하중지지 내부 구조물 강건성 설계, 내부 열적 안전성 설계, 그리고 기계적/전기적 기밀/차폐 설계가 진행된다.

본 연구에서 다루는 안테나부는 반도체송수신기가 적용된 능동위상배열안테나로서 회전하는 안테나장치(Antenna Unit)와 구동장치(Drive Unit)로 구분된다. 마스트의 경량, 슬림화 그리고 안테나부의 외부 노출 최소화를 위해 구동장치를 Fig. 1 과 같이 마스트에 삽입되는 형태(Mast Incorporated Type)의 설계를 채택하였다.

탐색 레이더 운용 성능을 고려하여 전자과적으로 개념 설계된 안테나장치는 박스형태가 되며 개략적인 외부 크기는 가로×세로×높이가 4m×1.7m×1.7m 로 상당한 크기를 가진다. 앞서 언급한 외부 환경조건 중에서 안테나장치의 외부 형상을 결정하는데 있어서 풍하중(Wind load)이 중요한 설계 요소가 된다. 강풍 조건에서 안테나장치가 정속 구동을 할 때, 회전하는 안테나장치가 최소 토크 값을 갖도록 외부 형상이 최적화되어야만 구동장치의 구동 부하를 최소화할 수 있다. 외부 형상관련 유동해석은 유도무기의 공력해석이나 건축물의 풍하중 계산이 주를 이루고 있다.<sup>(6,7)</sup> 공력 해석은 압축성 유동을, 건축물의 풍하중은 비압축성 유동을 고려하며, 대부분 정지한 영역에서 계산을 하게 되고, 회전하는 구조물에 대한 유동해석은 거의 없는 실정이다.

또한 최근 함정의 생존성을 증대시키기 위해, 해군에서 중요시 하는 항목이 함정의 피탐지 확률을 줄이는 것이다. 함정에 대한 레이더 반사면적(Radar Cross Section: RCS) 계산에 의하면, 주요 반사체가 선미와 상부 구조물로 나타난다.<sup>(8)</sup> 상부 구조물에 장착되는 탐색 레이더는 적군 표적을 탐지하는 장비이지만, 위협체(레이더, 유도탄 전자과 탐색기) 입장에서는 탐지 대상이 된다. 따라서 함정의 생존성을 증대시키기 위해 외부에 노출되는 안테나장치의 RCS 을 줄이는 것이 중요하다.

이중반사를 유발하는데 관련한 함정 외부각도 7 부위를 선정하여 실험 계획법에 의한 함정의 RCS 저감 형상설계에 관한 연구<sup>(9)</sup>와 항공기 및 유도탄의 공력해석과 RCS 해석을 통합한 연구<sup>(7,10)</sup>가 기존 연구로 보고되었다. 이러한 기존의 연구는 형상이 복잡한 함정의 경우는 RCS 저감 측면만 고려하였고 공력 및 RCS 저감이란 2 가지 측면을 고려한 경우에는 비행체 날개와 유도탄 침두 형상

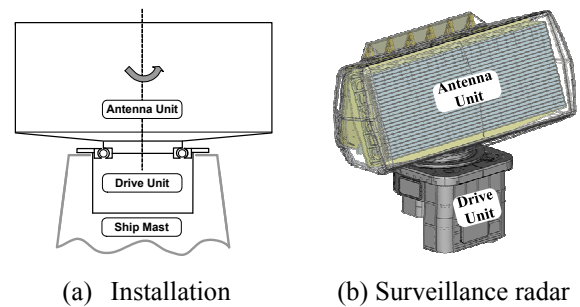


Fig. 1 Rotating antenna system installed on ship mast

이 정형화 되어 있어 통합 설계가 원활히 진행 될 수 있었다.

본 연구에서는 레이더 전자장비의 내부 탑재를 고려한 기본 형상을 도출하고 이를 기반으로 회전하는 유동장을 고려한 엄밀 풍하중 최소화 형상과 RCS 저감 형상 설계 기법을 통합한 연구가 수행되었다.

## 2. 설계요소 분석 및 형상 모델

마스트 상부에 노출된 안테나장치 내부에는 배열안테나조립체(Array Antenna Assembly), 송수신조립체(Transmitter/Receiver Assembly), 전원공급조립체(Power Supply Assembly), 그리고 이를 상호 연결하는 각종 케이블로 배치된다. 배열안테나조립체는 송수신조립체로부터 전자과 에너지를 전달받아 자유공간으로 방사하고, 표적으로부터 반사된 전자과 에너지를 수신하여 이를 송수신조립체로 전달하는 역할을 한다. 송수신조립체는 레이더 기준 신호를 고풍력으로 증폭하여 배열안테나조립체로 보내고, 송수신빔 조향 및 고각 빔 안정화, 그리고 수신 신호를 저잡음(low noise)으로 증폭하는 기능을 수행한다. 방위각 방향은 구동장치의 기계적 회전으로 구현되지만 고각 방향은 배열안테나조립체의 개별 배열소자(Array Element)에 적용된 신호 위상을 적절히 변화시킴으로써 전자적으로 매우 빠르게 조향된다.<sup>(11)</sup>

전자과 설계에 의해 샌드위치 판형 구조의 배열소자 수량 및 간격을 설정하고 이를 수직 방향으로 적층하면 배열안테나조립체의 높이가 결정된다. 레이더 운용조건에 의해 Fig. 2 와 같이 고각 빔 운용 범위가 상향, 하향방향에 대해  $\alpha, \beta$  값으로 각각 정의된다. 그런데 거친 해상 상태(sea state)에 의한 함정 요동에도 고각 빔의 운용 범위를 만족하기 위해 배열안테나조립체는  $\theta$  만큼 기울이게 된다. A 영역은 마스트가 해수면 방향, B 영역은 해

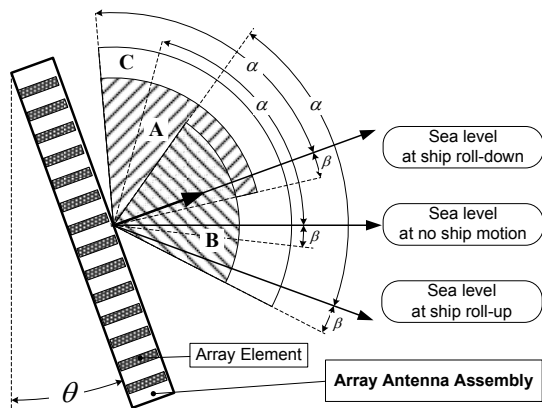
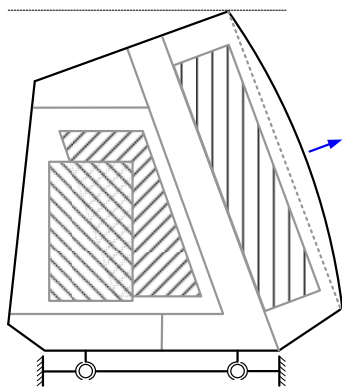
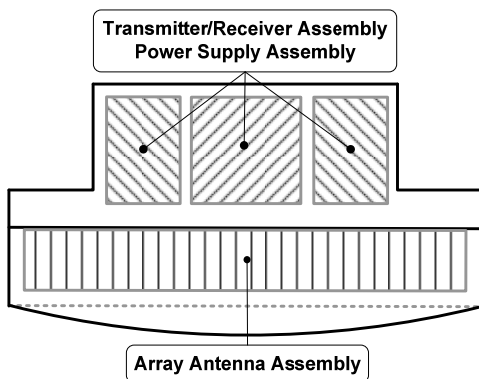


Fig. 2 Elevation beam coverage considering ship motion



(a) Layout of antenna unit (side view)



(b) Layout of antenna unit (top view)

Fig. 3 Configuration for Antenna Unit

수면 반대방향으로 기울어질 때의 고각 범위를 각각 표시하고 C 영역은 함 요동을 고려한 레이더 전자파가 투과되는 전체 영역을 의미한다.

전자파 설계조건, 조립성, 그리고 정비성을 고려한 전자장비들의 내부 배치 형상 및 이를 기준으로 한 안테나장치의 외부 기본형상은 Fig. 3 과 같

Table 1 Several types of making the outer shape

Model	Outer Shape (Front, Side Top view)		
A			
B			
C			
D			

다. 외부 형상은 안테나 하우징, 레이돔 그리고 피아식별 안테나에 의해 결정된다. 하우징은 안테나 장치 전체 중량을 지지하면서 외형을 유지시키는 메인 구조물로서 구동장치와 수평으로 하우징 바닥 면에 체결된다. 배열안테나조립체 전면에 위치하고 하우징에 부착되는 레이돔은 외부 환경으로부터 안테나장치 내부를 보호하면서 전자파가 투과되는 창문 역할을 수행한다. 부 구조물로서의 기본 구조 역할과 전자파 성능을 유지하면서 공기저항을 줄일 수 있는 곡면형으로 확정하였다. 외부 형상을 결정하는 마지막 요소인 피아식별 안테나는 탐색 레이더용 안테나와 별개의 기능을 담당하는 장비로써, 장착 위치 선정이 중요하다. 피아식별 안테나의 전자파적 성능을 고려하여 결정된 개략 형상은 안테나장치 폭을 벗어나지 않고 삼각기둥 형태이다. 이러한 형상의 피아식별 안테나는 Fig. 3(a)의 점선 높이 이상으로 벗어나지 않는 범위에서 경사진 상부면 또는 후면 부에 장착 가능하다.

외부 형상 결정을 위한 외형 모델로 Table 1 과 같이 4 가지 모델이 제시되었다. 모델 “A”는 전자장비들의 내부 배치에 따른 점유 공간만 고려한 기본 형상이며 피아식별 안테나는 장착이 용이한 후면에 배치하였다. 모델 “B”는 내부 구조 설계 영향성 및 안테나장치 정비 용이성을 추가 고려하여 제작상 다소 중량 증가가 예상되지만 함몰 부위를 제거한 형상이다. 모델 “C”는 추가 중량 증가 및 제작상의 어려움이 예상되지만 저피탐성을 위해 측면에 일정각도의 단각을 적용한 형상이다. 피아식별안테나는 상부의 하중 경로를 추가 고려한 내부 구조 설계를 전제로 하여 상부면 장착을 고려하였다. 모델 “D”는 측면에 일정 각도의 양각

을 적용한 형상이다. 모델 “D”는 안테나장치의 측면을 구성하는 여러 면이 복합 각도로 이루어지기 때문에 설계, 특히 제작상에 많은 어려움이 예상되지만 저피탐성을 우선적으로 고려하였다. 기본 형상에 추가된 3 가지 형상 모델에 대해서 내풍속 및 저피탐성에 미치는 영향을 상세히 분석하고 이를 기반으로 설계 확정이 필요하다.

### 3. 저피탐 외부형상 해석

#### 3.1 스텔스 기술

레이더 전파를 이용하여 적을 탐지하는 기술을 식별 기술이라 하면, 이에 대응하여 적에게 탐지되지 않는 기술을 스텔스 기술이라 한다. 본 연구에서 언급된 탐색 레이더는 식별 기술을 적용한 것이다. 최신 함정의 생존 가능 여부는 피탐지 확률과 직접적으로 관련되어 있기 때문에 함정의 최상층부에 노출되는 탐색 레이더 또한 스텔스 기술이 적용될 필요가 있다. 전파는 일반적으로 어떤 물체와 부딪히면 반사되는 특성을 갖는다. 이를 물체의 RCS로 정의하는데, RCS 감소 기술은 전파에 대한 스텔스 기술의 하나로 볼 수 있다.

자유 공간에서 레이더의 수신 신호는 다음과 같이 레이더 방정식으로 표시된다.<sup>(12)</sup>

$$P_r = \left( \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \right) \left( \frac{\sigma}{4\pi R^2} \right) A_r \quad (1)$$

여기서  $P_r$ 는 레이더의 수신 전력,  $P_t$ 는 레이더의 송신 전력,  $G_t$ 는 송신 안테나의 이득,  $R$ 는 레이더와 표적 사이의 거리,  $\sigma$ 는 RCS,  $A_r$ 는 수신 안테나의 실효 개구 면적을 각각 의미한다.

식 (1)에서 우변의 첫 번째 항은 표적 방향에 송신된 전력 밀도를 의미하고 두 번째 항은 표적에 부딪혀 산란하는 에너지 일부가 수신기로 되돌아가는 전력비를 의미한다. 표적 입장에서 되돌아가는 레이더 전력을 최소화하면 RCS가 줄어든다. 복잡한 형상으로 구성된 복합 구조물에 적용될 수 있는 RCS 저감 기법으로는 형상화(Shaping), 레이더 흡수물질(RAM, RAP 등) 적용, 능/수동 레이더 신호 상쇄 기법 등을 들 수 있다.<sup>(13)</sup> 형상화를 제외한 다른 기법은 적용하는데 비용이 많이 들고 중량 증가 등으로 인해 작전 범위가 제한되거나 유지 보수의 어려움 등의 부작용이 초래될 수 있기 때문에 형상화가 현재 적용 가능한 가장 효율적이고 경제적인 기법으로 평가 받고 있다.<sup>(9)</sup>

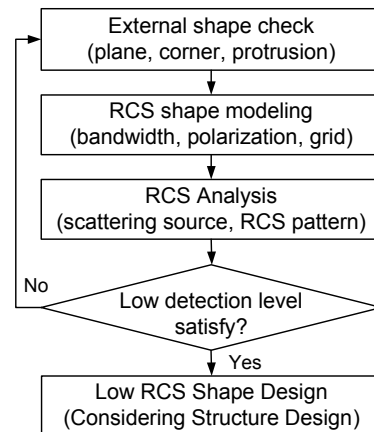


Fig. 4 Flow chart to analyze RCS

기하학적 형상을 변형시키는 형상 설계(Shaping Design) 기법은 표적물의 RCS 해석을 통해 주된 산란 부위와 산란 메커니즘을 분석하고 표적물의 형상을 적절히 변화시킴으로써 전자파가 산란되지 않거나 산란된다 하더라도 탐지 방향이 아닌 다른 방향으로 산란시켜 표적물을 탐지하지 못하도록 하는 기법이다. 이러한 형상 설계 흐름도는 Fig. 4와 같다.

#### 3.2 RCS 해석

RCS는 일반적으로 표적물의 외형, 송신 주파수, 송신 편파 종류, 송신파에 대한 표적물 각도에 의해 결정된다. 이중에서 RCS는 표적물의 형상에 의해 가장 크게 변화한다. RCS를 예측하는 기법에는 변수분리, 저주파 산란, 고주파 산란 해석 기법 등이 있다. 군사 표적의 경우에는 표적의 구조가 변수 분리되지 않고, 표적의 크기가 파장에 비해 매우 커서 저주파 산란 해석 기법을 적용하기가 곤란하다. 또한 일반적으로 표적물을 모델링하는 과정에서 표적물의 기하학적 구조의 복잡성으로 인해 흔히 간략화하여 모델링하게 된다. 이러한 이유에서 군사 표적물의 RCS 예측에는 고주파 해석기법을 적용하는 것이 가장 적합하다.<sup>(14)</sup>

따라서 본 연구에서는 Table 1에 제안된 4 가지 형상에 대하여 고주파 해석 기법을 이용한 RCS 예측을 수행하였다. 모델링 및 해석은 상용 소프트웨어인 SHIP-EDF-RCS<sup>(15)</sup>를 사용하였다. 위협체(유도탄, 레이더)에서 널리 사용되는 송신 주파수는 Fig. 5와 같이 주파수 대역에 따라 L, S, C, X, Ku 밴드로 나뉜다. 주파수 밴드별 대표 주파수와 표적물 각도에 따른 RCS 예측 결과를 Fig. 6에 표

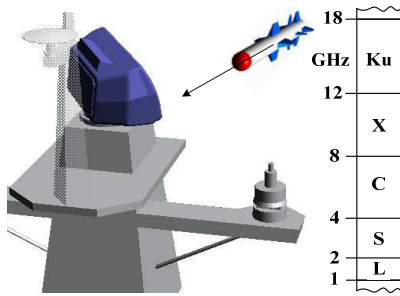


Fig. 5 Frequency bands commonly used for radar and missile seeker application

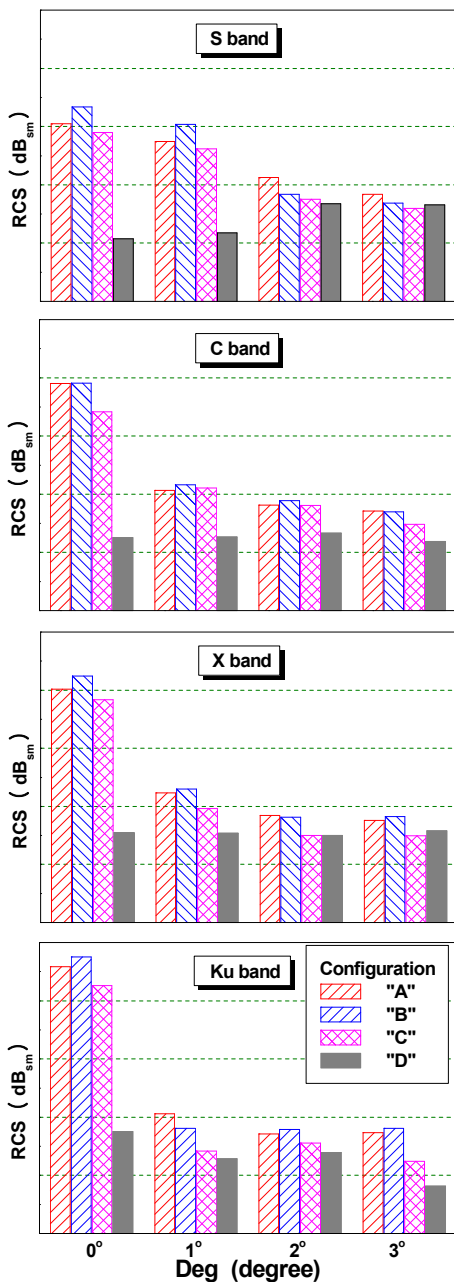


Fig. 6 Comparison of RCS for four models

시하였다. 함정용 무기 체계에 적용된 RCS 값(단위: dBsm)은 비밀로 분류된 특수 성능에 해당하므로 본 논문에서는 실제 수치를 표시하지 않았다. 편파는 수직, 수평과 모두에 대해서 해석을 하였으나 유사한 결과를 보이므로, 수직 편파에 대한 결과만을 표시하였다. 또한 송신파에 대한 표적물 각도는 위협체의 송신 방향과 표적 기준면이 직각을 이루는 고각 0° 조건 (예: 해수면과 평행하게 낮은 고도로 접근하는 대함 유도탄)이 가장 위협적이다. 그러므로 고각은 3° 까지, 방위각은 360° 전 방향을 각각 고려한 선형 평균(linear mean) 값으로 결과를 비교하였다.

고각 0° 조건에서 위협체 송신 주파수가 증가할수록 RCS 가 모든 모델에 대해 약간 증가하는 특성을 가지나, 모든 주파수 밴드에 대해 모델 “D”가 가장 낮은 RCS 형상임을 알 수 있다. 기본 형상인 모델 “A”에 단순히 함몰 부위를 제거한 모델 “B”는 전파 반사를 크게 유발하여 RCS 가 가장 크게 증가하였다. 측면에 일정 각도의 양각을 적용하여 입사파의 대칭 방향으로 반사파를 산란시켜 되돌아 가는 전파를 억제시킨 모델 “D”는 고각이 증가할수록 나머지 모델과의 RCS 차이가 크지 않으나 전체적으로 저피탐 RCS 형상으로 판단된다.

#### 4. 내풍속 외부형상 해석

##### 4.1 구동 부하 해석

구동 메커니즘이 감당해야 하는 전체 구동 토크는 안테나장치의 가속/감속에 따른 관성 기동부하 토크, 구동 메커니즘에서 발생하는 각종 마찰 저항 토크, 그리고 강풍에 의해 유기된 토크로 분류할 수 있다. 관성 기동 부하는 안테나 장치의 질량 관성 모멘트와 레이더 기동 요구조건에서 설정한 각가속도 값의 곱으로 정의되고 마찰 저항은 구동 메커니즘에 사용된 구성품들의 마찰 특성에 의해 결정되는 사항이다. 따라서 이 두 항목은 안테나장치의 내부 설계에 의해 결정된다. 이전 개발사업의 경험에 의하면, 일반적으로 관성 기동 부하에 비해 강풍에 의한 부하가 약 3.5 배 크다. 따라서 강풍에 의한 토크가 구동 메커니즘 설계에 큰 영향을 미치는데, 이는 풍속에 대한 관련 국방규격<sup>(4)</sup>에 따르면 75 knot 에서 정속 구동을 요구하기 때문이다.

일반적으로 초기 설계 단계에서는 회전 안테나에 대한 풍압 계산을 유동장내에 놓인 회전 평판에 대해 유도된 간단한 수식을 활용한다. 즉 평판



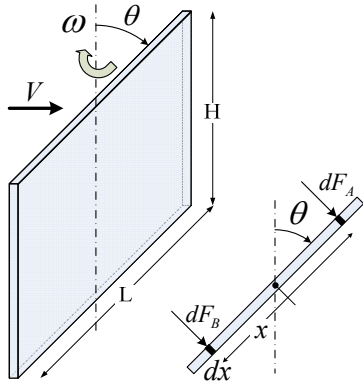


Fig. 7 Rotating antenna in wind stream

회전축에 대한 미소 풍력을 고려한 Fig. 7 에서 회전 각도 위치에 따른 토크는 식 (2)과 같고 풍압에 의한 최대 토크는 식 (2)을 미분하여 값이 0 되는  $\theta$  값에서 구할 수 있다.<sup>(16)</sup>

$$T(\theta) \cong -\frac{1}{8}C_D\rho LAV^2 \cos^2 \theta \sin \theta + \frac{1}{12}C_D\rho L^2 AV\omega \cos^2 \theta \quad (2)$$

여기서  $C_D$ 는 공기저항계수,  $\rho$ 는 공기밀도(1.413 kg/m<sup>3</sup>),  $L$ 는 평판 길이,  $A$ 는 평판 면적( $L \times H$ ),  $V$ 는 풍속(75 knot),  $\omega$ 는 회전 각속도를 의미한다.

안테나장치의 레이돔 전면부를 유효 단면적으로 가정할 때 강풍에 의해 유기되는 최대 토크는 4,000 Nm 이다. 이 값은 구동장치의 초기설계를 진행하기 위한 유용한 정보를 제공하지만, 과도 설계를 유발할 수 있고 본 연구에서 언급된 4 가지 모델의 비교에는 활용할 수 없다. 따라서 상세한 전산유체해석(Computed Fluid Dynamics: CFD)이 요구된다. 즉 유동장내에서 상세한 삼차원 형상으로 구현된 안테나장치의 회전에 따른 토크 해석 모델을 통해 성능 비교가 가능한 CFD 가 도입될 필요가 있다.

4.2 CFD 에 의한 내풍속 외부형상 해석

안테나장치의 삼차원적 형상에 대한 강풍 하중 해석을 수행하기 위해, 공기 격자는 상용 소프트웨어인 GAMBIT<sup>(17)</sup>를 이용하여 구성하였고 전산수치해석은 FLUENT<sup>(18)</sup>를 사용하였다. 상대 풍속 75 knot 조건에서 안테나장치의 회전 각속도는 레이더 운용 모드 중 각속도를 가장 크게 요구하는 근거리 모드의 27 rpm 을 적용하였다. FLUENT 의

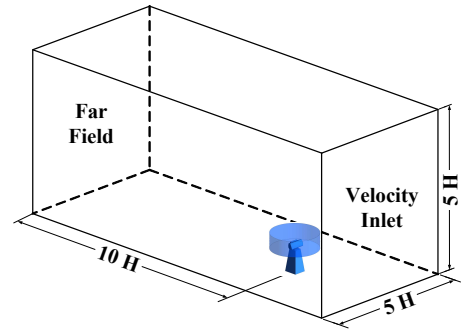


Fig. 8 Computational domain for wind stream

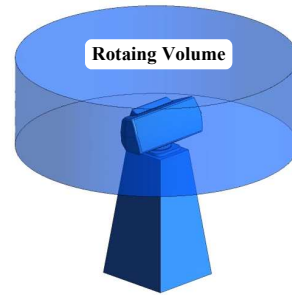


Fig. 9 Interface treatment for moving mesh implemented in Fluent solver.

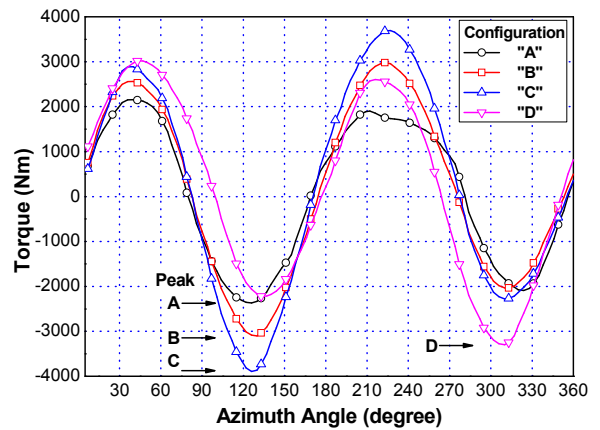


Fig. 10 Wind torque for four models

moving mesh 기능을 이용하여 안테나장치의 회전 효과를 고려하고 비정상 해석을 수행하여 1 회전 (360 도) 동안 안테나장치에 가해지는 압력 분포를 구하고 이를 회전축에 대한 토크로 계산하였다. Fig. 8 은 풍하중을 고려한 수치 해석 모델을 보여 준다. 해석 영역의 경계가 해석결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 참고문헌<sup>(6)</sup>에서 제시한 영역(5H x 5H x 10H, H: building height)을 전체 해석 영역으로 고려하였다. 해석에 있어서 중요한 형상

인 안테나장치와 마스트 형상을 Fig. 9 에 확대하여 나타내었다. Moving mesh 를 구현하기 위해서 안테나장치를 포함한 회전하는 체적을 생성하고 외부 영역과는 인터페이스 처리하였다.

제안된 4 가지 모델에 대한 1 회전 동안 풍압 토크 결과는 Fig. 10 에 나타내었다. 안테나장치가 반시계 방향으로 회전하기 때문에 토크가 (+)인 영역은 모터가 안테나장치를 회전시키는 구간이고 (-)인 영역은 바람이 안테나장치를 회전시키는 구간이다. 상대적으로 대칭성이 깨지는 45 도, 135 도, 225 도, 그리고, 315 도에서 피크 값이 나타났으며, 이는 모델 각각의 형상적 특징에 의한 것이다. 모델 “B”와 “C”가 135 도와 225 도에서 상대적으로 큰 값을 보이는 이유는 그 각도에서 바람과 90 도 각을 이루는 평면을 갖기 때문이다. 모델 “A”는 45 도의 각을 갖는 평면을, 모델 “D”는 90 도 각을 갖지만 측면의 위아래 면에 적용된 각도로 인해 상대적으로 작은 토크 값을 보인다.

강풍 하중에 의한 토크 값은 식 (2)와 같이 공기저항 계수에 비례하며, 이로 인해 공기의 저항이 큰 넓은 면을 포함하는 모델이 큰 토크 값을 갖는다. 전체 회전 동안 강풍에 견디기 위해 요구되는 RMS 토크의 크기는 “C” (2300 Nm) > “D” (2003 Nm) > “B” (1914 Nm) > “A” (1542 Nm) 순이었고, 최대 토크 크기 역시 “C” (3889 Nm) > “D” (3297 Nm) > “B” (3099 Nm) > “A” (2365 Nm)로 같은 순이었다. 최대 토크는 4 가지 모델 모두 식 (2)로 계산한 값인 4,000Nm 보다 작은 값을 보였다. 2 차원 단면적 만을 고려한 식 (2)은 최대 토크 값만 의미 있는 결과로 활용될 수 있고 회전 각도 별 제어해야 할 토크 값을 알 수 없기 때문에 이러한 CFD 결과는 구동장치의 과설계(over design)를 방지할 수 있다.

### 5. 결과 분석

앞 절에서 제시한 풍하중과 RCS 해석 결과를 통합적으로 분석하였다. 측면에 단각을 적용한 모델 “C”가 강풍 조건에서 추가적으로 요구되는 토크가 가장 크다. 구동장치의 소요 토크를 최소화하는 강풍조건에서 가장 유리한 형상은 모델 “A”이고 그 다음은 “B” 그리고 “D” 순이다. 내풍속 조건만을 고려하여 모델 “A”로 설계를 확정하면, 내부 구조설계 및 정비 접근성 문제를 극복하여야 한다. 또한 상세 설계단계에서 “B,” “D”로 설계를 변경하고자 할 경우, RMS 토크 기준으로 구동장치가 각각 24%, 30% 이상의 설계 여유를 가지고

있어야 구동장치의 설계 변경 없이 안테나장치의 외형 형상 변경이 가능하다. 그러나 모델 “B”를 풍하중을 고려한 외형 형상으로 결정하면 구조, 정비 문제를 용이하게 해결할 수 있고 모델 “D”로의 전환에 4.7%의 RMS 구동토크 여유만 있으면 된다. 일반적으로 10%의 설계 여유를 가지고 구동장치 설계를 진행하기 때문에 외형 형상 모델 전환을 고려할 경우에도 용이하다.

구조설계 및 정비성을 고려한 내풍속 조건에서 선택된 모델 “B”는 저피탐 형상이 아니다. 가장 위협적인 적의 탐지 조건에서 가장 취약한 형상이다. 그런데 모델 “D”는 가장 좋은 저피탐 형상이다. 내풍속 측면에서 모델 “B,” 저피탐 측면에서 모델 “D”가 각각 선택될 수 있다. 다행히도 형상에 따른 추가 소요 토크가 10% 이내에 있기 때문에 앞서 언급한 것과 같이 구동장치와 무관하게 모델 전환이 용이하다. 따라서 설계된 전자과적 레이더 성능을 우선적으로 검증하는 최초 개발품은 모델 “B”로, 가혹한 외부 환경에 대해서 시험 평가 되는 후속 제작품은 모델 “D”로 단계적 개발 진행이 가능하다. 이 후속 제작품은 실제 함정에 장착되는 전력화 안테나장치에 해당한다. 설계 및 제작상에 많은 어려움이 예상되는 모델 “D”를 최초 개발품부터 적용하기 보다는 모델 “B”를 통해 내부 설계/제작/시험에 관한 기술을 축적한 후, 이를 기반으로 모델 “D”를 순차적으로 개발하는 것이 기술적 위험도를 줄일 수 있을 것으로 판단 된다.

### 6. 결 론

본 연구에서는 안테나장치의 외부 형상을 결정하는데 기존의 내풍속 조건에 저피탐성을 추가로 고려하여 통합 분석하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강풍 조건에서 구동장치의 소요 토크를 최소화하는 모델은 “A,” “B,” “D,” “C”의 순이지만 내부 구조 설계 및 정비 용이성을 고려하면 구현 가능한 우선 순위는 “B” 이고 다음 순위는 “D” 이다.
- (2) 현존 함정의 생존성 및 저피탐성이 향상될 향후 개발 함정에 레이더 탑재를 고려하면, 저피탐 형상에 우선 순위를 두어야 한다. 따라서 강풍 조건에서 2 순위이지만, 저피탐성이 우수한 모델 “D”가 최종 형상으로 결정된다.
- (3) 정형화된 형상이 없는 상태에서 레이더 성능을 만족하는 전자과적 설계와 기계적 설계를 융합하고 지금까지 레이더 기계 분야에서 고려되지

않았던 저피탐 설계 요소를 도입하면서 기존 설계 요소들과 통합 분석하는 체계적인 설계 및 개발 진행 접근법을 제시하였다.

향후 연구에서는 안테나장치 내부 구조설계에 대해 다루고자 한다.

## 후 기

본 연구는 국방과학연구소 기술연구본부 레이더 부서의 정부주도 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 사업책임자 및 관련 연구원들의 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) MIL-STD-810F, 2000, "Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests."
- (2) MIL-STD-167-1A, 2005, "Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment."
- (3) MIL-S-901D, 1989, "Shock Test, H.I.(high-impact) Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for."
- (4) MIL-HDBK-2036, 1999, "Preparation of Electronic Equipment Specification."
- (5) MIL-STD-461E, 1999, "Req' for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment."
- (6) Tominaga, Y., Mochida, A., Yohie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M. and Shirawawa, T., 2008, "AIJ Guideline for Practical Applications of CFD to Pedestrian Wind Environment Around Buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 96, pp. 1749~1761.
- (7) Bae, H. G., Lee, K. G., Jeong, J. O., San, D. K. and Kwon, J. H., 2012, "500 lbs-Class Air-to-Surface Missile Design by Integration of Aerodynamics and RCS," *The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 40, No. 2, pp. 184~191.
- (8) Cho, S. W. and Boo, S. Y., 2000, "Computation of Radar Cross Section of Ship's Structure Using a Physical Optics Method," *The Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 37, No. 42, pp. 82~91.
- (9) Park, C. S., Cho, Y. G., Park, D. H. and Ahn, J. W., 2006, "A Study on Ship Shape Design Optimization for RCS Reduction Using Taguchi Method," *The Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 46, No. 6, pp. 693~699.
- (10) Park, M. J., Lee, D. H., Myong, R. S. and Cho, T. H., 2008, "An Integrated System for Aerodynamic, Structural and RF Stealth Analysis of Flying Vehicles," *The Korean Society for Aeronautical & Space Science*, Vol. 36, No. 1, pp. 86~91.
- (11) Skolnik, M. I., 2000, *Introduction to Radar System*, McGraw-Hill, New York.
- (12) Knott, E. F., Shaeffer, J. F. and Tulle, M. T., 1985, *Radar Cross Section: Its prediction, Measurement and Reduction*, Book-mart Press, North Bergen, N. J.
- (13) Knott, E. F., Shaeffer, J. F. and Tulle, M. T., 1990, *Radar Cross Section*, Artech House, Boston.
- (14) Michaeli, A., 1984, "Equivalent Edge Currents for Arbitrary Aspects of Observation," *IEEE Trans. On AP*, Vol. AP-32, No. 3, pp. 252~258
- (15) Ship-EDF-RCS Section User's Manual, Version 6.0, 2009, Ingegneria Dei Sistemi S.P.A.
- (16) Richards, C. J., 1969, *An Introduction to Mechanical Engineering in Radar and Communications*, D. Van Nostrand Reinhold Company
- (17) GAMBIT User's Guide, Version 2.3, 2006, Fluent Inc.
- (18) FLUENT User's Guide, Version 6.3, 2006, Fluent Inc.