



RCS와 EMI를 동시에 최소화하는 통합마스트의 최적 설계

최영재*, 최인식**, 정용환***

Optimum Design of Integrated Mast Minimizing Both RCS and EMI

Young-Jae Choi*, In-Sik Choi**, and Yong-Hwan Jung***

본 연구는 국방과학연구소의 지원(계약번호:UD170002DD)을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

요 약

본 논문에서는 RCS(Radar Cross Section)와 EMI(ElectroMagnetic Interference) 측면에서 통합마스트의 최적 설계를 위한 성능을 평가하는 방법을 제안한다. 적의 정찰기에 의하여 탐지되는 상황을 가정하여 RCS를 줄여야 하는 각도를 선정 하였고 이것을 이용하여 피탐회피점수를 정의하였다. 통합마스트와 함정에 배치된 센서들 사이의 S21으로부터 EMI 방호점수를 정의하였다. 두 점수를 종합하여 종합성능평가점수를 정의 하였다. 본 논문에서 제안한 성능 평가 점수를 사용하여 모서리의 형상이 다른 세 종류의 통합마스트 형상을 평가하였다. 평가된 점수를 비교하여 curved edge 형태의 마스트가 RCS와 EMI 모두에서 가장 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다. RCS의 계산에는 기하광학법을 사용하였고, EMI의 계산에는 MLFMM(Multi-Level Fast Multipole Method)을 사용하였다.

Abstract

In this paper, we propose a method to evaluate the performance of the integrated mast in terms of radar cross section (RCS) and electromagnetic interference (EMI). Considering a situation detected by the enemy's reconnaissance aircraft, the angle at which the RCS should be reduced was selected and used to define the counter-detection score. EMI shielding score were defined from S21 among sensors placed in the integrated mast. The combined performance score was defined by combining the two scores. The performance evaluation scores proposed in this paper were used to evaluate three types of integrated mast shapes with different corner shapes. Comparison result for evaluated scores shows that the curved edge mast has the best performance in both RCS and EMI. The geometric optics was used for the calculation of RCS, and multi-level fast multipole method (MLFMM) was used for EMI calculation.

Keywords

mast design, radar cross section, integrated mast, electromagnetic interference

* 한남대학교 전기전자공학과
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8632-5265>
** 한남대학교 전기전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-0843>
*** 국방과학연구소
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8440-3904>

• Received: Jun. 03, 2019, Revised: Aug. 05, 2019, Accepted: Aug. 08, 2019
• Corresponding Author: In-Sik Choi
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Hannam University, 70
Hannam-ro, Daeduk-gu, Daejeon, 34430, Korea
Tel.+82-42-629-8568, Email: recog@hnu.kr

1. 서 론

최근의 무기 체계는 생존성을 높이기 위하여 높은 스텔스 성능이 요구되고 있다[1]. 전투함 또한 스텔스 성능이 생존성에 중요한 영향을 미치므로 우수한 스텔스 성능을 갖는 최적의 형상을 찾기 위한 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다[2]-[9]. 함정의 스텔스 형상 설계에 있어서 가장 큰 문제가 되는 부분은 마스트이다. 마스트는 센서의 감시거리를 늘리기 위해 구조물이 높으며 각종 안테나와 센서들이 복잡하게 설치되어 다중반사를 일으킨다. 이러한 이유로 마스트는 적의 감시체계에 가장 먼저 노출됨에도 불구하고 스텔스 형상으로 만들기가 매우 어렵다. 통합마스트는 이러한 요구를 만족시키기 위하여 기존의 마스트에서 RCS(Radar Cross Section)의 증가를 일으킬 수 있는 다중반사 구조를 모두 제거한 형태의 마스트이다[6]. 기존의 스텔스 함정 형상에 대한 연구들은 통합마스트가 설치된 함정 전체의 스텔스 성능에 주된 관심을 가지고 있었으나 최근에는 통합마스트 자체의 스텔스 성능을 집중적으로 연구한 논문이 나오기 시작하였다[6]. 함정의 스텔스 형상은 특정 방위각으로 RCS가 강한 희생각을 설정하고 희생각을 제외한 나머지 방위각에 대하여 RCS를 감소시키는 방식으로 설계된다[4]. 통합마스트는 방위각 방향의 형상에 큰 제약에 없으므로 방위각에 대한 희생각을 설정할 필요가 없다. 고도각 방향의 RCS는 통합마스트 벽면의 기울임각을 크게 함으로써 작게 만들 수 있지만 통합마스트 벽면의 기울임 각은 표면과 상부의 넓이와 장비가 적재될 내부 공간의 감소 및 마스트 구조물의 중량 증가를 초래하므로 통합마스트 벽면의 기울임각은 통합마스트의 스텔스 성능을 보장하는 한도에서 최대한 작게 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 통합마스트의 스텔스 성능을 평가하는 기준으로써 피탐회피점수를 제안하였다.

통합마스트에는 레이더를 포함한 다수의 센서 및 통신체계가 마스트의 벽면과 상부에 밀집하여 설치된다. 이러한 설계는 크게 두 가지 문제를 불러올 수 있다. 하나는 다른 장비에서 방사된 전자기파가 다른 장비에 유입되어 오작동을 일으키는 EMI(ElectroMagnetic Interference)문제가 일어날 가능성이

높다는 것이고 다른 하나는 일단 마스트가 제작되고 나면 설계 단계에서 결정된 센서의 위치를 바꾸는 것이 매우 어려울 수 있다는 점이다. 이러한 이유로 통합마스트는 설계단계에서 EMI 문제를 고려하여 마스트의 형상과 센서의 위치를 결정할 필요가 있다[10]-[14]. 따라서 본 논문에서는 통합마스트의 EMI 방호 성능을 평가하는 기준으로써 EMI 방호 점수를 제안하였다. 또한 이 두 가지의 요소를 함께 평가할 수 있는 종합성능평가점수를 제안하였다.

마지막으로 다양한 통합마스트 형상에 대하여 전자파 수치해석을 수행하고 본 논문에서 제안한 기준에 맞추어 성능을 평가하였다.

II. 통합마스트의 피탐 회피 점수

전투함이 원거리에서 적의 전투함이나 항공기에 의하여 피탐 되는 상황을 가정하였을 때 전투함이 탐지될 수 있는 최대 탐지거리는 레이더 방정식과 전파의 최대 가시거리에 의하여 결정된다[4][15]. 레이더 방정식에 의한 최대 탐지거리는 식 (1)과 같다[15][16].

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G_t A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{\min}} \right]^{1/4} \quad (1)$$

여기서 P_t 는 송신전력(W), G_t 는 안테나 이득, A_e 는 안테나의 유효단면적 (m^2), S_{\min} 는 탐지 가능한 최소신호(W) 그리고 $\sigma(m^2)$ 는 표적의 RCS이다. 이때 σ 를 제외한 나머지 변수들은 적 레이더의 성능에 의하여 결정되는 부분이므로 전투함의 최대 피탐 거리를 줄이기 위해서는 함정의 RCS를 줄여야 한다. 전투함의 최대피탐거리는 전파의 최대가시거리에 의해서도 영향을 받는다. 전파의 최대가시거리는 그림 1과 같이 안테나와 표적의 높이와 지구의 곡률에 의하여 결정된다. 그림 1에서 h_1 , h_2 는 양측 전투함의 높이, H 는 지구의 반경이며 이때의 최대 전파가시거리는 $r_{\max} = r_1 + r_2$ 이다. 만약 정찰기에 의한 피탐을 고려할 경우 h_2 는 정찰기의 고도이며 r_1 과 r_2 는 식 (2)와 같이 계산한다.

$$r_n = \sqrt{h_n(2H + h_n)} \quad \text{for } n = 1, 2 \quad (2)$$

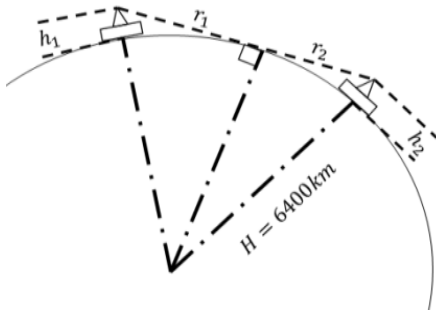


그림 1. 최대전파가시거리의 기하
Fig. 1. Geometry of maximum transmission distance

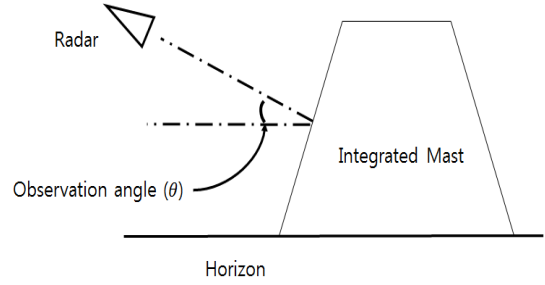


그림 2. 수평선 근처에서 관측되는 통합마스트
Fig. 2. Integrated mast observed near the horizon

표 1. 최대전파가시거리
Table 1. Maximum propagation distance

h_1 [m]	15			25			35		
h_2 [m]	15	25	35	15	25	35	15	25	35
r_{max} [km]	27.7	31.7	35.5	31.7	35.7	39.0	35.0	39.0	42.3
h_1 [m]	15			25			35		
h_2 [m]	5,000	30,000	5,000	30,000	5,000	30,000	5,000	30,000	
r_{max} [km]	266.8	634.2	270.9	638.2	274.1	641.1			

표 1은 상대의 레이더가 임의의 고도에 있을 때의 최대전파가시거리를 계산한 것이다. 상단의 h_2 는 전투함의 마스트의 높이를 가정한 것이고 하단의 h_2 는 항공기의 고도를 가정한 것이다. 상대 레이더의 최대탐지거리가 r_{max} 보다 길다고 가정하였을 때, 표 1의 결과로부터 전투함에 의한 최초의 피탐은 대략 30km ~ 40km 정도의 거리에서 이루어지며, 항공기에 의한 최초의 피탐은 대략 250km ~ 650km 정도의 거리에서 발생할 것으로 추정할 수 있다. 최대전파가시거리 근방에서는 그림 2와 같이 전투함 선체의 대부분이 수평선 아래에 감추어지므로 상대의 레이더가 포착할 수 있는 구조물은 전투함 상부의 통합마스트 뿐이다. 따라서 전투함의 RCS인 σ 가 통합마스트의 RCS와 동일하므로 식 (1)의 레이더방정식에 의하여 통합마스트의 RCS를 감소시키는 것만으로도 함정의 최대피탐거리가 줄어든다고 볼 수 있다.

전투함의 높이와 피탐각 그리고 상대의 레이더의 고도가 주어졌을 때, 상대의 레이더와 전투함 사이의 거리는 식 (3)의 방정식의 근을 구하여 계산할 수 있다.

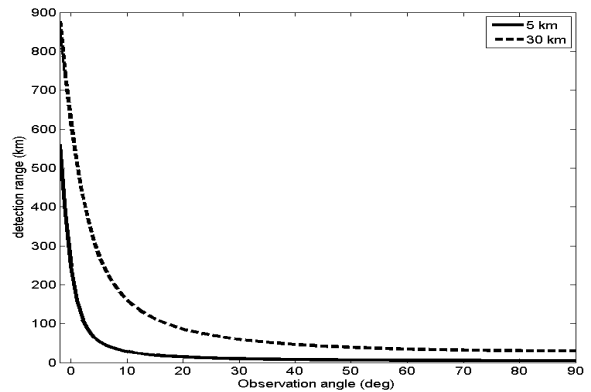


그림 3. 통합마스트의 관측각과 피탐거리의 관계
Fig. 3. Relationship between the observation angle and detection range

$$r_{\theta}^2 - 2br_{\theta}\cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) - a^2 + b^2 = 0 \quad (3)$$

여기서 $a = H + h_2$, $b = H + h_1$ 이고 r_{θ} 은 상대의 레이더와 전투함 사이의 거리이다.

그림 3은 통합마스트의 높이가 25m일 때, 식 (3)을 이용하여 계산한 통합마스트의 관측각과 피탐거리의 관계이다. 상대의 레이더가 5km 상공에 있음을 가정할 때, 상대의 레이더가 통합마스트를 $\theta = 15^\circ$ 에서 관측하기 위해서는 20km 이내로 접근해야 한다.

본 논문에서는 통합마스트가 항공기에 대한 스텔스 성능을 포기하기에 충분히 가까운 거리를 20km로 가정하였다. 이것은 임의의 값으로써 통합마스트가 설치된 함정의 임무나 설계 방식에 따라 다른 값이 요구될 수 있다. 이러한 가정에 따라 원거리에서의 피탐율을 줄이기 위해 RCS를 줄여야 하는 피탐 각도를 $0^\circ \sim 15^\circ$ 의 범위로 결정하였다.

이러한 조건으로부터 통합마스트의 피탐 회피 성능 점수를 식 (4)와 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 J_{RCS}^1 &= \sum_{\theta} \max(\vec{\sigma}_{\theta}) \\
 J_{RCS}^2 &= \sum_{\theta} \text{mean}(\vec{\sigma}_{\theta}) \\
 J_{RCS}^3 &= \sum_{\theta} \frac{r_{\theta}}{r_{\max}} \max(\vec{\sigma}_{\theta}) \\
 J_{RCS}^4 &= \sum_{\theta} \frac{r_{\theta}}{r_{\max}} \text{mean}(\vec{\sigma}_{\theta})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

여기서 $-0.2^{\circ} \leq \theta \leq 15^{\circ}$, $0^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$ 이며, $\vec{\sigma}_{\theta} = [\sigma_{\theta, \phi 1} \sigma_{\theta, \phi 2} \sigma_{\theta, \phi p} \dots \sigma_{\theta, \phi P}]$ 이고, $p = 1, 2, \dots, P$ 는 방위각 샘플링 인덱스이다. $\sigma_{\theta, \phi p}$ 는 고도각 θ , 방위각 ϕ_p 에서 관측한 통합마스트의 RCS이다. P 는 방위각 샘플의 총 개수이고 $\max(\cdot)$ 는 주어진 벡터의 최대값이며 $\text{mean}(\cdot)$ 주어진 벡터의 평균값이다.

III. 통합마스트의 EMI 방호 점수

통합마스트에서 EMI에 의하여 발생할 수 있는 문제는 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 하나는 특정 장비에서 발신된 전자파가 다른 장비의 전자회로, 전력선, 안테나, 통신선 등에 유입되어 다른 장

비의 오동작을 일으키는 것이며, 다른 하나는 전자파가 승무원들의 신체에 피해를 주는 것이다 [10]-[12]. 전자파에 의한 장비의 오동작은 장비들과 전력선 및 통신선 등을 차폐하고 EMI 필터를 장치함으로써 예방이 가능하다[13][14]. 그러나 안테나는 전자파를 받아들이기 위한 부품이므로 차폐가 어려우며 안테나의 운용주파수에 해당하는 전파가 유입되는 경우 EMI 필터에 의한 보호도 어렵다. 따라서 안테나의 경우 EMI 방호를 위하여 전파 도달 경로의 차단과 같은 추가적인 대책이 필요할 수 있다. 전파 도달 경로는 마스트와 전투함의 형상의 영향을 크게 받으므로 마스트와 전투함의 형상을 설계할 때는 EMI의 영향을 고려할 필요가 있다. 그림 4는 전투함에서의 전파 도달 경로에 대한 간단한 모식도이다. 그림 4의 각 지점과 경로에 대한 설명은 표 2와 같다.

표 2. 그림 4의 레이블
Table 2. Label in Fig. 4

Label	Description
L1	Sensors on the mast top
L2	Radar on the mast side1
L3	Human on the deck
L4	Radar on the mast side2
L5	Long range communication antenna

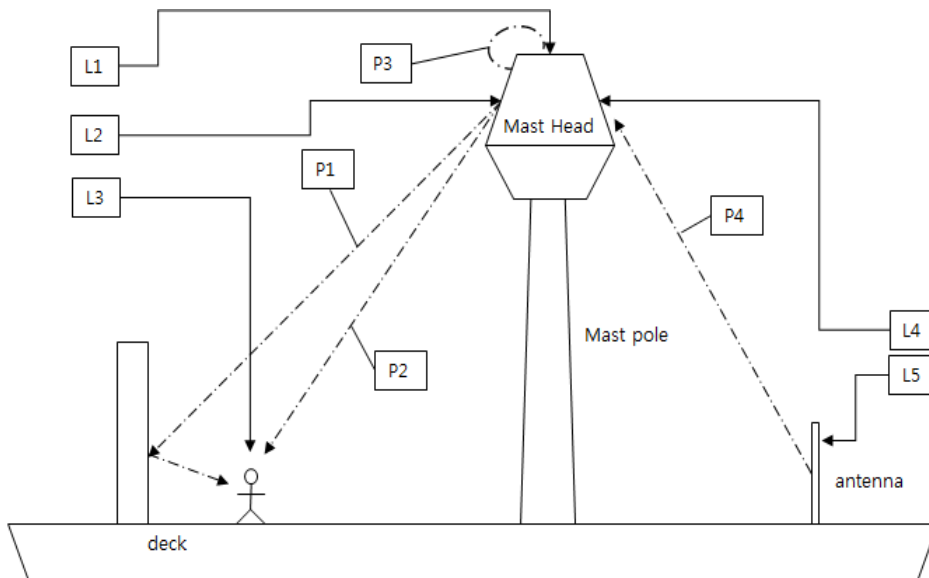


그림 4. 전투함의 전파 도달 경로
Fig. 4. Propagation path of the battle ship

그림 4에서 가장 강한 전자기파가 방사될 수 있는 장비는 L2, L4의 레이더와 L5의 장거리 통신 안테나로 가정한다. P2와 P4는 송신원에서 방사된 전자기파가 수신점에 직접 도달하는 직접경로(Direct path)이다. P1은 L2에서 방사된 전자기파가 장애물에 반사되어 L3에 도달하는 반사경로(Reflection path)이다. P3는 L2에서 방사된 전자기파가 마스트의 모서리에서 회절 되어 L1에 도달하는 경로(Diffraction path)이다. 서로 다른 장소에 설치된 두 안테나 사이의 전파 도달 강도는 S 파라미터를 이용하여 구할 수 있다. S 파라미터의 정의는 식 (5)와 같다.

$$S_{ab} = \frac{V_a}{V_b} \quad (5)$$

여기서 V_b 는 안테나 b 에 입력되는 전압을 의미하고 V_a 는 안테나 a 로 유입되는 전압을 의미한다. 본 논문에서는 안테나에 최대 허용치보다 많은 전압이 유입 되었을 때 EMI에 의한 문제가 발생한다고 가정하였다. 이러한 가정으로부터 한 쌍의 안테나에 대한 EMI 방호 성능점수를 식 (6)과 같이 정의하였다.

$$e = 1 - \frac{V_a}{V_{\max}} = 1 - \frac{S_{ab} V_b}{V_{\max}} \quad (6)$$

if $e < 0$, $e = 0$

여기서 V_{\max} 는 해당 수신기가 허용할 수 있는 최대 유입 전압으로 설계자의 필요에 따라 결정한다. S_{ab} 는 안테나의 이득 패턴, 위치 및 통합마스트와 함정의 형상에 의하여 결정되는 값이므로 전자파 수치해석 방법을 사용하여 구한다. 함정에 존재하는 K 개의 안테나 쌍에 대한 e 를 구하여 $\vec{e} = [e_1 e_2 e_k \dots e_K]$ 와 같이 정리할 수 있으며, 이를 바탕으로 통합마스트의 EMI 방호성능점수를 식 (7)과 같이 정의하였다.

$$J_{EMI} = \min(\vec{e}) \quad (7)$$

식 (4)에서 피탐 회피 성능 점수는 값이 작을수록 성능이 좋다. 반면 식 (7)의 EMI 방호 성능점수는

값이 클수록 성능이 좋다. 이와 같은 관계로부터 RCS와 EMI를 동시에 고려하는 종합성능평가점수를 식 (8)과 같이 정의하였다. 이때 J_{total} 이 클수록 통합마스트의 종합성능이 우수하다고 볼 수 있다.

$$J_{total} = \log_{10} \left(\frac{J_{EMI}}{J_{RCS}} \right) \quad (8)$$

IV. 시뮬레이션

통합마스트의 RCS 및 EMI 성능 평가를 위하여 그림 5와 같은 간단한 형태의 마스트 3종을 해석하였다. 여기서 그림 (b)는 마스트(a)의 모서리를 절삭한 것이며, 그림 (c)는 마스트 (a)의 모서리를 둥글게 처리한 구조이다. 기하광학법을 사용하여 3GHz 주파수에 대한 마스트의 RCS를 계산하였다[17]. 관측을 위한 고도각 θ 은 $0^\circ \sim 15^\circ$ 를 1° 간격으로 계산하였고 측면각 ϕ 는 $0^\circ \sim 90^\circ$ 를 1° 간격으로 계산하였으며, 반사 횟수는 10회로 설정하였다. 기하광학법의 계산은 상용 전자파 수치해석 소프트웨어인 FEKO를 사용하여 수행하였다[18]. 이와 같이 계산한 RCS를 식 (4)에 대입하여 통합마스트의 피탐 회피 점수 J_{RCS} 를 구하였다.

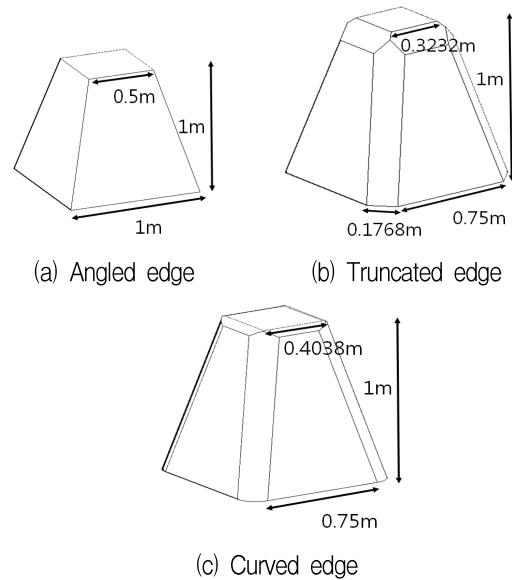


그림 5. 시뮬레이션을 위한 3종의 마스트
Fig. 5. Three types of mast used in simulation

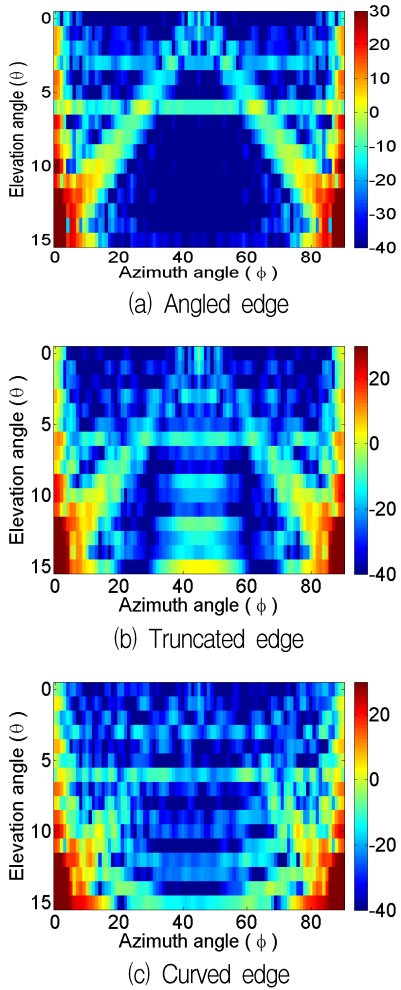


그림 6. 3종의 마스트의 2차원 RCS
Fig. 6. 2-D RCS for three types of mast

그림 6은 이러한 마스트의 RCS 계산 결과를 보여준다. 그림 6에서 (a), (b), (c)는 $\theta = 13^\circ$ 근방에서 강한 RCS가 나타나며 이것은 마스트 측면의 정반사에 의한 영향이다. (b), (c)는 $\phi = 0^\circ$, $\phi = 90^\circ$ 에서의 RCS가 (a)에 비하여 작다. 이것은 모서리를 절삭하여 마스트 정면에서 보이는 반사 면적이 작아졌기 때문으로 판단된다. (b)는 모서리를 절삭함으로써 $\phi = 45^\circ$ 근방에서의 RCS가 크게 증가하였다. 모서리를 둥글게 처리한 (c)는 $\phi = 45^\circ$ 근방에서의 RCS를 경감시키는 대신 다른 각도들 ($10^\circ \leq \phi \leq 30^\circ$, $60^\circ \leq \phi \leq 80^\circ$)에서의 RCS가 소폭 증가하였다.

표 3은 3종의 마스트에 대한 피탐회피점수를 보여준다. 모든 종류의 피탐회피점수에서 angled edge 타입은 가장 나쁜 성능을 보였다. truncated edge와

curved edge는 피탐회피점수의 종류에 따라 성능의 우위가 바뀌었는데 방위각 방향의 RCS를 평균값으로 처리한 J_{RCS}^2 와 J_{RCS}^4 에서는 truncated edge가 가장 우수한 성능을 보였고 방위각 방향의 RCS를 최대값으로 처리한 J_{RCS}^1 와 J_{RCS}^3 은 curved edge가 가장 우수한 성능을 보였다.

표 3. 3종의 마스트에 대한 피탐 회피 점수
Table 3. Counter-detection score for three types of mast

Type of mast	Angled edge	Truncated edge	Curved edge
J_{RCS}^1	1916	842.7	803.5
J_{RCS}^2	98.73	55.42	59.33
J_{RCS}^3	21128	9235	8808
J_{RCS}^4	1080	602	649

식 (7)에 주어진 통합마스트의 형상에 따른 EMI 방호성능점수 J_{EMI} 를 계산하기 위해서는 통합마스트에 설치되는 안테나의 이득 패턴, 송수신기의 위치, 임피던스, 송신전압 및 수신기의 수신허용전압이 필요하다. 본 논문에서는 테스트 안테나로써 주파수 3GHz, 임피던스 50옴의 반파장 다이폴 안테나를 가정하였다. 식 (6)의 S_{ab} 을 MLFMM(Multi-Level Fast Multipole Method)을 사용하여 계산하였다[19]. LFMM의 계산을 위하여 FEKO를 사용하였다[18]. 그림 7과 같이 송신 안테나는 마스트의 측면에 설치하며 테스트 안테나는 마스트의 다른 측면, 마스트 상부, 그리고 마스트 하단의 갑판에 해당하는 위치에 설치하였다. 이러한 방법으로 계산한 3종의 통합마스트의 S21은 표 4와 같이 나타낼 수 있다.

표 4. 3종의 마스트에 대한 S21 계산 결과
Table 4. S21 calculation result for three types of mast

	Test1	Test2	Test3
Angled edge	-52.08	-49.16	-101.76
Truncated edge	-47.98	-51.40	-97.44
Curved edge	-49.85	-52.89	-104.06

송신 안테나의 전압을 $V_b = 1000$ 로 가정하고 각 수신 안테나에 대한 유입 허용 전압을 $V_{max} = 10$ 라고 가정하였을 때, 식 (6)과 (7)에 대입하여 EMI 방호점수 J_{EMI} 를 표 5와 같이 구할 수 있다.

표 5. J_{EMI} 계산 결과Table 5. J_{EMI} calculation result

	Angled edge	Truncated edge	Curved edge
J_{EMI}	0.6452	0.6010	0.6783

표 6. J_{total} 계산 결과Table 6. J_{total} calculation result

	Angled edge	Truncated edge	Curved edge
$J_{total}^1 (J_{EMI}, J_{RCS}^1)$	-3.472	-3.1468	-3.073
$J_{total}^2 (J_{EMI}, J_{RCS}^2)$	-2.1847	-1.9647	-1.9418
$J_{total}^3 (J_{EMI}, J_{RCS}^3)$	-4.515	-4.186	-4.113
$J_{total}^4 (J_{EMI}, J_{RCS}^4)$	-3.223	-3.000	-2.980

표 5의 결과를 바탕으로 종합성능평가점수 J_{total} 를 표 6과 같이 구할 수 있다. 표 6은 모든 종류의 종합성능평가점수에서 curved edge가 가장 우수한 성능을 보임을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 피탐 회피 능력과 EMI 방호 능력의 측면에서 통합마스트의 성능을 평가하기 위하여 ‘피탐 회피 점수’와 ‘EMI 방호 점수’ 그리고 두 능력을 종합적으로 평가할 수 있는 ‘종합 성능 점수’를 정의하였다. 정의한 점수들을 모서리의 형상이 다른 3종의 마스트에 대한 시뮬레이션에 적용하여 각 마스트 형상의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션 결과 통합마스트의 모서리를 곡면 처리한 경우에 가장 종합적으로 가장 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

References

- [1] I. P. Hong, "Analysis of Radar Cross Section Characteristics for Camouflage Net with Stealth", The Journal of KIIT, Vol. 13, No. 4, pp. 53-60, Apr. 2015.
- [2] J. T. Hwang and S. Y. Hong, H. W. Kwon, and J. H. Song, "Analysis of stealth design for naval vessels with wide band metamaterials", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 21, No. 11, pp. 2206-2212, Nov. 2017.
- [3] C. S. Park, Y. J. Cho, D. H. Park, and J. W. Ahn "A Study on Ship Shape Design Optimization for RCS Reduction Using Taguchi Method", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 6, pp. 693-699, Dec. 2006.
- [4] B. An and S. Seo, "A Study on the Setting Procedure of Standard Value and Design Target Value for the RCS Reduced Design for Naval Ships", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 26, No. 6, pp. 581-588, Jun. 2015.
- [5] S. H. Suk, T. I. Seo, S. M. Jun, H. S. Park, and H. T. Kim, "RCS Prediction of Complex Targets", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 11, No. 6, pp. 929-938, Jul. 2000.
- [6] H. K. Shin et al., "Analysis of Radar Cross Section of the Integrated Mast Module for Battleship", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 28, No. 7, pp. 584-587, Jul. 2017.
- [7] X. Cheng, H. Yan, and Y. Hu, "Electromagnetic interference analysis of integrated radar antennas on stealth mast", in 2015 7th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM), Hangzhou, China, pp. 304-308, Nov. 2015.
- [8] G. Zhang, W. Huo, W. Jiang, Y. Huang, J. Yang, and J. Wu, "RCS model of ship based on FEKO", in 2013 International Conference on Computational Problem-Solving (ICCP), Jiuzhai, China, pp. 419-422, Oct. 2013.
- [9] B. Tibbitts and N. Baron, "Topside Design of Warships: A 100 Year Perspective", Naval Engineers Journal, Vol. 111, No. 2, pp. 27-44, Mar. 1999.

[10] R. J. Grich and R. E. Bruninga, "Electromagnetic environment engineering - a solution to the EMI pandemic", Naval Engineers Journal, Vol. 99, No. 3, pp. 202-209, May 1987.

[11] S. B. Jeon et al., "Investigation of Occupational EMF Exposure Assessment System", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 28, No. 11, pp. 843-852, Nov. 2017.

[12] C. W. Kim, J. H. Kim, K. I. Kwon, and D. C. Chung, "An efficient Method of Antenna Placement considering EMI between equipments on UAV", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 39, No. 10, pp. 987-994, Oct. 2011.

[13] S. Wang, F. C. Lee, D. Y. Chen, and W. G. Odendaal, "Effects of Parasitic Parameters on EMI Filter Performance", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, No. 3, pp. 869-877, May 2004.

[14] R. Lee Ozenbaugh, "EMI Filter Design" CRC Press, pp. 17-19, Nov. 2000.

[15] Skolnik, "Radar Handbook, 2nd Edition", McGraw-Hill, pp. 2.4-2.11, Jan. 1990.

[16] Kwan-Hyeong Lee, "On Analysis Performance for Target Range Detection Estimation of Radar Cross Section using Swerling Case", Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 14, No. 6, pp. 113-117, Dec. 2014.

[17] R. G. Kouyoumjian, L. Peters, and D. T. Thomas, "A modified geometrical optics method for the scattering by dielectric bodies", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 11, No. 6, pp. 690-703, Nov. 1963.

[18] X. Wang, C. Wang, and Y. Liu, "RCS computation and Analysis of target using FEKO", in Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, Harbin, China, pp. 822-825, Jul. 2014.

[19] J. M. Song and W. C. Chew, "Multilevel fast-multipole algorithm for solving combined field integral equations of electromagnetic scattering", Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 10, No. 1, pp. 14-19, Sep. 1995.

저자소개

최 영 재 (Young-Jae Choi)



2013년 2월 : 한남대학교
전자공학과(공학사)
2018년 2월 : 한남대학교
전자공학과(공학석사)
2018년 3월 ~ 현재 : 한남대학교
전기전자공학과 박사과정
관심분야 : 레이더 신호처리

최 인 식 (In-Sik Choi)



1998년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
2000년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과 (공학석사)
2003년 2월 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사)
2003년 ~ 2004년 : LG전자기술원

선임연구원

2004년 ~ 2007년 : 국방과학연구소 선임연구원
2007년 ~ 현재 : 한남대학교 전기전자공학과 교수
관심분야 : 레이더 신호처리, RCS 해석 및 분석, 레이더 시스템 설계

정 용 환 (Yong-Hwan Jung)



2004년 2월 : 경북대학교
전자전기공학부(공학사)
2006년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과(공학석사)
2006년 2월 ~ 현재 :
국방과학연구소 연구원
관심분야 : 레이더시스템,

통합마스트 설계