

함정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안

서형필¹ 이경행^{2*}

- I. 서 론
- II. 함정 레이더 스텔스 개념과 기술
- III. 통합마스트 구현 시스템 분석
- IV. 함정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안
- V. 결 론

요 약

통합마스트는 함정의 레이더단면적을 감소시켜 스텔스 성능 향상을 위한 핵심적인 구현요소이다. 이러한 관점에서 본 연구는 함정에 적용되는 레이더 스텔스 개념과 선진국의 통합마스트 적용 및 연구개발 사례를 기반으로 한국해군에 적합한 통합마스트 적용방안을 도출하였다. 이러한 적용방안은 차기 구축함 도입 시 함 생존성, 경제성, 기술발전 및 능력향상 측면에서 의미있게 적용될 수 있다.

<핵심어> 통합마스트, 레이더단면적, 스텔스, 함 생존성

1 국방기술품질원 연구원
연세대학교 전기전자공학부 석사
2* 해군사관학교 무기체계공학과 교수
국방대학교 무기체계학과 박사
(교신처자 Tel: 055)549-1282 / (HP)010-7623-8990 E-mail: onego778888@gmail.com)

Integrated Mast Applied for Improving Stealth Ship Performance

Seo, Hyeong Pil¹ Lee, Kyoung Haing^{2†}

Abstract

It is a key implementation of the integrated mast for the improvement of the ship's stealth performance by reducing radar cross section. In this regard, this work suggests a method of applying the integrated mast suitable for the ROK Navy by analyzing radar stealth techniques and foreign examples of research and development of integrated mast.

The Application of these next-generation destroyer survivability when new, technological development and technology development and enhancement in terms of meaningful can be applied.

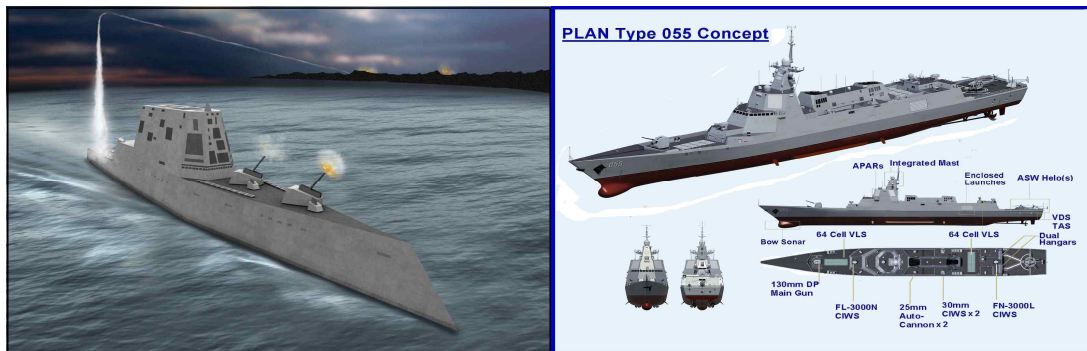
<Keywords> *Integrated Mast, Radar Cross Section, Stealth, Ship Survivability*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 해군 함정은 해상에서 대함·대공·대잠·대지 등의 복합전(Composite Warfare) 개념의 다중 위협에 대한 작전과 해양통제권 확보 및 해상교통로(SLOC: Sea Line of Communications) 보호 등의 다양한 임무를 수행하고 있다. 이에 따라 다른 전력(협동, 합동 및 연합전력 등)과의 원활한 통신을 위해 다수의 다양한 통신전자 시스템을 탑재하고 있다. 특히, 북한의 공격 무기체계가 고도화·정밀화됨에 따라 이에 대한 정밀한 감시, 정찰이 요구되어 레이더, 전자전 및 통신 시스템의 필요성이 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 시스템의 복잡도는 증대되는 반면, 각 시스템의 개별 성능을 극대화하기 위한 RF(Radio Frequency) 기능 통합 기술력은 아직 미비한 단계이다. 또한, 이러한 시스템의 물리적인 요소인 RF 안테나를 함정 외부갑판에 지속적으로 설치하는 것은, 안테나 송·수신으로 인한 전자기 간섭(EMI: Electro Magnetic Interference) 및 함정의 레이더반사면적(RCS: Radar Cross Section)을 증가시키고, 개별 시스템의 성능과 함정의 생존성 감소를 초래한다. 즉 우군 함정의 탐지능력, 통신, 전자전 능력을 향상시키기 위해 각각의 분야에서 발전되어온 RF 장비들을 비계획적으로 무분별하게 탑재하면서 전자기 간섭으로 우군 전자전장비에 의해 통신기나 레이더의 능력이 일부 제한되는 현상을 겪을 수 있고, 함정 외부로 노출된 각종 안테나에 의해 RCS가 증가하여 적에게 쉽게 탐지되어 함 생존성에 위협을 받을 수도 있는 것이다.

EMI 감소를 위해서는 안테나와 센서의 배치 및 수량을 조절하는 방법이 주로 사용되어 왔지만 근본적인 대책이 되지 않는 못하고 있다. 또한, 선체외부에 노출된 안테나들은 형상화 설계 및 흡수체 도장 등의 방법에 의한 일반적인 RCS 감소기술이 효과적이지 않았다.



<그림 1> 미국의 Zumwalt급 구축함과 중국의 Type 55 구축함
(출처: ko.wikipedia.org/wiki, www.pinterest.com/pin)

함정의 통신, 전자 시스템의 목적은 추구하면서, 시스템 및 안테나의 증가에 따른 단점을 최소화하기 위해 세계의 선진 해군에서는 <그림 1>의 예처럼 통합마스트를 빠른 속

도로 개발하여 탑재하기 시작하였다. 최근에 건조된 미 해군의 줌왈트(Zumwalt)급 구축함은 형상 설계 및 각종 안테나를 마스트에 통합시키는 설계를 통해 RCS를 증가시키는 외부 구조물을 최소화하였다. 네덜란드의 Holland급 OPV(Offshore Patrol Vessel: 원양초계함)와 프랑스의 FREMM(European Multi-Mission Frigate: 유럽형 다목적 호위함)이 개발 단계에 있고, 중국도 차기 12,000톤급 유도탄순양함(Type 055) 개념설계에 통합마스트를 적용하였다. 현재 완전한 통합형 마스트라고 할 수 있는 시스템은 미국의 줌왈트급과 네덜란드의 IMM(Integrated Mast Module: 통합마스트 모듈)인데, 한국 해군도 차기 구축함 도입과 더불어 통합마스트를 고려해보아야 한다. 본 연구에서는 한국 해군의 그간의 레이더 스텔스 기술을 살펴보고, 선진 해군의 통합마스트의 연구 및 개발 사례를 토대로 교훈을 도출하여 한국 해군에의 효율적인 적용방안을 제안하고자 한다.

1.2 선행연구 및 연구방향

‘통합마스트’에 대한 개념과 인식은 최근에서야 부각이 되고 있다. 스텔스 성능의 핵심인 통합마스트는 운용개념 및 시나리오에 따른 작전효과와 성능을 평가하는데 있어 매우 중요한 요소로 작용하고 있는 것으로 분석되고 있다. 또한, 앞으로 해군력을 지탱하는 핵심역량 기술 분야로서 역할을 할 개연성이 크다고 본다. 이러한 본 연구의 배경을 뒷받침해주는 측면에서 살펴볼 수 있는 관련 선행연구 자료들을 검토한 사항들을 다음 아래와 같이 소개하고자 한다.

먼저, 수상함정과 같은 복합구조물이 다양한 주파수 대역의 레이더에 의해 노출될 수 있는 위험성을 감소시키기 위해 김국현(2007)²⁾은 넓은 주파수 영역과 넓은 입사각에 대해 우수한 전파흡수능을 보이는 광대역 다층 전파흡수체의 효과적 설계기법 등을 매우 심도 있게 접근하여 다양한 감소방안에 대하여 제시하였다. 또한, Bill Marker(2012)³⁾는 미 해군 함정을 중심으로 전자기 간섭문제 해결을 위한 다양한 레이더 흡수재료의 적용방안을 제시한 바 있다.

최근의 연구내용으로서 길태준(2015)⁴⁾은 적외선 피탐지 기술의 일환으로 함정 표면의 온도를 능동적으로 조절하여 적외선 신호와 동조화된 위장효과를 구현하는 기술에 대한 개념설계 결과를 제시하였다.

앞선 선행연구들은 대표적인 함정 스텔스 기법인 형상화(shaping), 차폐(shielding) 및 전파흡수체(radar absorbing material) 기법 중 하나의 기법에 대한 분석을 통하여 RCS

1) J. P. Hackett, "Composites road to the Fleet-A Collaborative Success Story," *Committee on Naval Engineering in the 21st Century*. 2011. p. 25.

2) 김국현 외, "다중반사 구조를 갖는 복합구조물의 RCS 감소를 위한 광대역 다층 전파흡수체 설계", 「대한조선학회논문집」, 제44권 제4호, 2007.

3) Bill Marker, "Use of Radar-Absorbing Material to Resolve U.S. Navy Electromagnetic Interference Problems", 『*Naval Sea Systems Command*』, Volume 7, Issue No. 1, 2012.

4) 길태준, "능동 표면온도 조절을 통한 적외선 저피탐 개념 설계 연구", 「한국군사과학기술학회 종합학술대회」, 2015.

감소의 필요성을 역설하였고, 실측자료에 대한 비교연구를 중점으로 효율적 최적 설계를 위한 과제를 제시하였다. 하지만, 복합적인 기법 적용을 통한 다양한 효과에 대한 분석이 다소 미비하였고, 실질적으로 함정에 적용할 수 있는 구체적 방안을 제시하는 데는 부족한 측면이 있었다.

이러한 관점에서 본 연구는 한국 함정에 적용할 수 있는 레이더 스텔스 개념과 관련 기술을 체계적으로 분석하고, 복합 스텔스 개념이 구현된 외국의 통합마스트 시스템 사례분석을 통해 도입예정인 차기 구축함정의 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안을 제시하고자 한다.

문헌연구는 레이더 저피탐 기술 관련 국내·외 학술 연구논문 및 학위논문, 단행본, 군사 전문지, 각종 정책서 및 보고서와 세미나 자료를 활용하였다. 또한 관련 연구기관의 전문가 자문과 인터넷에서 일반적으로 공개된 제원 등의 자료를 활용하였다.

2. 함정 레이더 스텔스 개념과 기술

2.1 함정 레이더 스텔스 개념

스텔스는 은밀성을 의미하고, 스스로 전자파(RF), 적외선(IR), 음파를 발생하지 않고, 적의 레이더나 적외선, 광학 및 음향센서에 의해 탐지되기 어렵게 하는 피탐지 감소기술을 총칭하여 스텔스 기술이라 한다. 스텔스 혹은 저 피관측성(low observability)의 개념은 레이더에만 한정되지 않고, 육안 관측을 포함한 모든 탐지수단으로부터 피하는 것을 의미하고 있지만, 실제로는 레이더의 탐지를 피하는 것을 최우선으로 한다. 왜냐하면 레이더 탐지거리가 다른 탐지수단에 비해서 가장 길기 때문이다. 따라서 여러 가지 스텔스 기술 가운데 전자파 스텔스 기술의 비중이 가장 크다. 주야 전천후 운용이 가능하며, 원거리 탐지 능력을 갖는 레이더에 대한 스텔스 성능은 무기체계의 생존성과 적에 대한 상대적 우위 능력을 보유하게 하는 중요한 요인이 된다.

함정의 스텔스화가 필요한 이유를 세부적으로 기술하면 다음과 같다. 현재 운용되고 있는 대함 미사일은 극초음속활공체(HGV: Hypersonic Glide Vehicle)⁵⁾ 기술, 장거리 비행 능력, 초저공 비행 및 열추적 기능 등을 보유하고 있어 탐지 후 약 30초 이내에 대응조치를 취해야만 생존성을 높이거나 손상을 최소화할 수 있다. 또한 미래에 등장하게 될 미사일은 함정에게 대응할 시간을 주지 않도록 한층 더 강화된 성능으로 함정을 위협할 것이다. 따라서 이에 대한 적극적인 대응을 위해 함정 스텔스화를 통한 피탐 거리 감소로 적의 공격시간을 줄이는 반면 자함의 방어 준비시간을 확보함으로써 다양한 전술능력을 발휘할 기회가 제공되어야 한다.

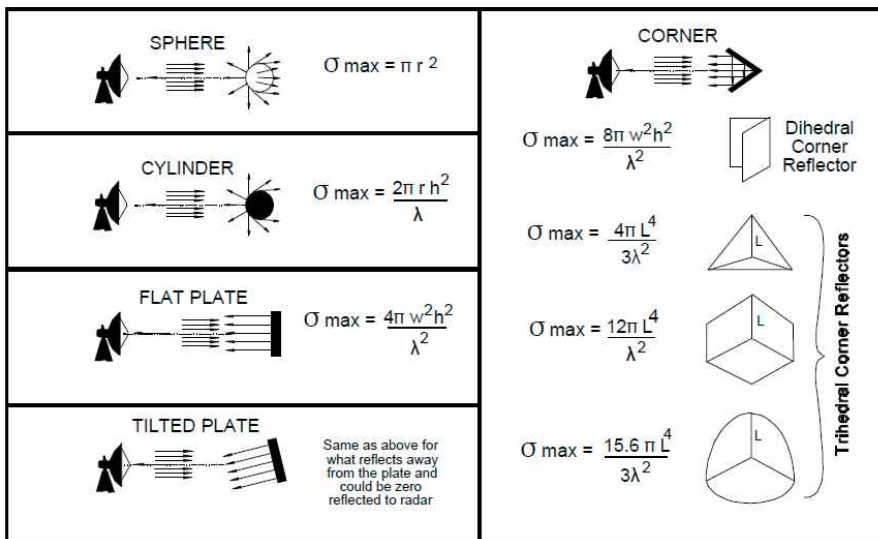
함정에 접근하는 적 미사일의 경우 소프트 킬(soft kill) 등의 기법을 적용하여 미사일의 호밍 목표물은 함정에서 기만기(decoy) 쪽으로 유도시켜야 한다. 만약 함정에서 반사되는 신호준위가 기만기에서 반사되는 신호준위 보다 낮을 경우 미사일은 기만기를 향하여 호밍(homing)하게 되므로 함정의 손상을 피할 수 있다. 만약 미사일이 기만기 신호와 함정 신호를 식별하여 함정으로 호밍 할 경우에도 연돌, 상부구조물 등의 취약한 구조물 이외

5) 미국 항공우주 전문지 '에비에이션위크'(AW) 2014년 2월 27일 보도내용.

의 방향으로 미사일을 유도시켜 손상을 최소화함으로써 복귀효과를 극대화 할 수 있다.

함정의 스텔스화는 전략, 전술적 관점에서 무력투사와 현시의 기능도 갖게 된다. 현대의 함정은 소형화 되면서 다양한 작전을 수행하는 방향으로 발전되어 가고 있으며 여러 함정이 동시에 기동하기 보다는 소수의 함정이 기동하는 방향으로 운용되고 있기 때문에 스스로 방어능력을 갖춰야하며 작전임무 중에는 다중위협에 대처할 수 있는 능력을 가져야 한다. 최첨단 스텔스 기술로 무장한 수상함정은 이러한 위협에 적극적으로 대처할 수 있을 뿐만 아니라 적의 탐지를 회피하여 적의 근거리까지 접근하여 타격할 수 있어 기선제압이 가능하다고 할 수 있다. 즉 최첨단 스텔스 기술로 건조된 수상 함정은 그 스텔스 기술 자체만으로도 강력한 공격과 방어 무기체계의 역할을 동시에 수행할 수 있다.

<그림 2>는 형상에 따른 RCS와 코너(corner)에 따른 RCS의 변화량을 보여준다. 이와 같이 레이더에 대한 방향성을 줄이기 위해서는 함정의 외형에 따른 반사파를 해석하고 예측하여 함 외형설계를 변경해야 한다. 즉 예측하지 못한 반사파가 생기는 것을 방지하기 위해 함 외형을 단순화해야 하며 함의 복잡한 장비를 차폐해야 한다. 이러한 관점에서 함정의 가장 복잡한 부분인 마스트의 형상을 단순화하기 위한 통합마스트가 요구되어지는 것이다.

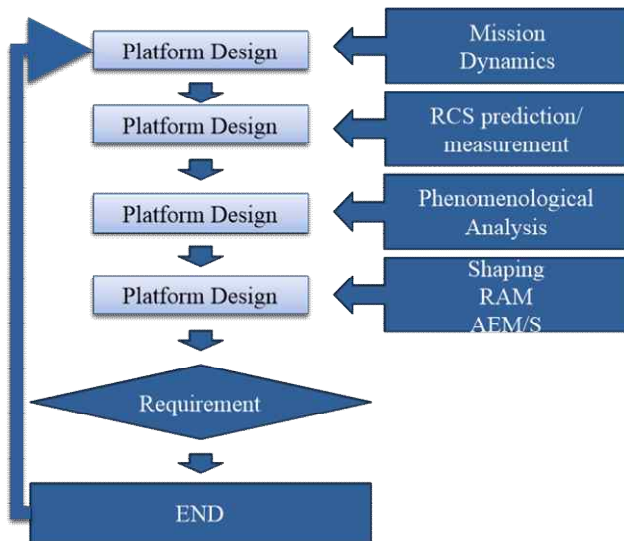


<그림 2> 형상에 따른 RCS와 corner에 따른 RCS
(자료: 국방기술품질원 ‘함정 레이더 반사면적 감소’, 기술동향 보고서, 2010)

함정의 RCS 감소 설계의 기본적인 절차는 <그림 3>과 같다. 먼저 함정의 임무와 운용에 기반을 둔 기본적인 설계를 한다. RCS 감소만 고려하면 함정의 임무와 운용에 맞지 않는 형태가 되므로 우선 건조하려는 함정의 임무와 운용 개념을 정의하고 이에 맞게 RCS 감소를 고려하여 설계를 진행해야 한다. 그 다음 측정이나 예측 프로그램을 통해 설계된 함정의 RCS 특성을 분석한다. 측정은 실제 모델이나 축소 모델을 통해 가능하다. 하

지만 이런 모델을 통한 RCS의 측정은 모델 제작 및 측정 시스템 구성에 막대한 비용이 지출된다. 따라서 많은 국가들은 예측 프로그램을 이용하여 RCS를 해석하고 있으며 여러 용도에 따른 다양한 예측 프로그램 개발의 중요성을 인지하고 연구개발을 계속 해오고 있다. RCS를 해석할 수 있는 프로그램은 미국, 영국, 독일, 스페인 및 이태리 등에서 많이 개발되고 있다.

다음으로 획득된 RCS 데이터를 바탕으로 함정의 주요한 반사원을 추출하는 분석 절차가 이루어진다. 이는 상대적으로 많은 반사파를 발생시키는 원인을 찾아내는 방법으로 신호 처리 기법을 이용하여 찾아낸다. 이런 신호 처리 기법을 통해 주요 반사원이 되는 영역을 찾아내고 이 문제되는 영역을 분석하여 상대적으로 많은 반사가 일어난 원인을 조사한다. 이렇게 파악된 주요 반사원을 바탕으로 RCS 감소 설계 절차를 수행한다. 감소 설계의 최우선 과정은 형상 변경 방법으로 임무와 운용 측면을 고려하여 RCS를 줄일 수 있도록 형상 변경이 이루어진다. 형상 변경을 통해 해결되지 않는 부위는 전자파 흡수 물질을 도포하기도 한다. 마지막으로 설정된 여러 가지 설계 목표치에 대한 적합 판정 절차가 있다. 요구되는 목표치에 부합되지 않은 경우 다시 처음 절차로 돌아가 목표치에 부합할 때까지 반복되게 된다.



<그림 3> RCS 감소 설계 절차도
(자료: 국방기술품질원, 2010)

2.2 한국해군에 적용된 함정 레이더 스텔스 기술현황

함정은 그 크기가 거대하여 항공기와 비교할 수 없이 엄청난 크기의 레이더 반사파를 발생시킨다. 따라서 반사파를 공중으로 보내거나 반사각을 조절하여 정 함수·미와 정 좌·우현의 희생영역⁶⁾(Cardinal Point)으로 집중시키고 있다. 이를 위해 선체를 경사지게 하고

각종 외부감판의 구조물도 마름모 형태로 하는 등의 형상설계(Shaping)를 통해 RCS를 감소시키고 있다. 함정에서는 형상설계 기법 이외에 기존함정에서 외부감판에 부착되었던 어뢰발사관 같은 무장 및 고속단정, 승정사다리 등의 장비들을 실내에 배치시키고 필요 시 도어를 열어서 외부로 노출시켜 운용할 수 있도록 하여 레이더파의 산란 현상으로 인한 RCS 증가를 막았다.

또한 함정 구조물에 의한 자함의 레이더파의 반사로 인한 허위표적 발생을 방지하기 위하여 레이더 마스트 주변의 구조물에 레이더파 흡수재(RAM; Radar Absorbent Material)를 부착하기도 한다. RAM은 레이더파를 흡수하는 형태와 상쇄하는 형태로 구분된다. 흡수형 RAM은 재질의 저항성분, 유전성분 및 자성성분에 의한 손실로서 입사하는 레이더파를 흡수하여 마치 레이더파가 반사하지 않고 그대로 통과시키는 것과 유사한 효과를 얻는다. 상쇄형 RAM은 레이더파를 재질 전면반사와 후면반사의 다중반사에 의한 위상차를 이용한 상쇄효과를 이용하는 것이다. 이때 흡수체의 두께는 대략 파장의 1/4 정도이다. "Salisbury Screen" 등이 있으며 Passive 스텔스로 분류되기도 한다. 이 방법은 주파수 특성이 매우 좁은 대역폭에서만 스텔스성을 가지므로 ECCM 기능을 접목시켜 다양한 주파수를 사용하는 현대의 레이더에는 잘 적용되지 않는다. 최근에는 다층 구조로 구성하여 광대역 특성을 갖도록 하는 다층 흡수체(graded absorber)도 부분적으로 적용되고 있다. 이 상쇄형 RAM은 두께의 제한으로 함정에는 적용이 어려워 사용하지 않고 흡수형 RAM을 사용하고 있다. 위와 같은 RCS를 감소하기 위한 과정에 적용되는 각 기술을 도표로 나타내면 <표 1>과 같다.

<표 1> RCS 감소기술(자료: 국방기술품질원, 2010)

기술명		기술 명세	목표 성능	주요 요소기술/ 핵심기술 식별
중분류	소분류			
신호 관리 기술		함정의 임무와 운용 계획과 그에 대응하는 위협 세력 및 위협에 대한 회피, 기만 등의 효과를 수치적으로 분석하여 RCS의 필요 수준을 분석하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> 위협 세력을 정량적으로 분석 대응 방법을 정량적으로 분석 임무와 운용에 맞는 기준치 수립 	<ul style="list-style-type: none"> 위협 및 효과도 분석 임무와 운용에 맞는 기준치 수립
RCS 해석 기술		함정 구조의 레이더파의 산란 현상을 수학적으로 계산하고 해석하여 방위와 고각에 대해 반사파 크기 및 형태를 예측하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> RCS 해석의 정확도 및 계산 속도 향상 여러 가지 상황에서의 RCS의 예측 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> RCS 해석 및 해석틀 제작 기술
RCS 감소 설계	방향성 감소 기술	함정의 표면이나 모서리 각도를 변경하여 입사한 레이더파를 진입 방향과	<ul style="list-style-type: none"> RCS를 기준치에 맞게 외형 설계 	<ul style="list-style-type: none"> RCS 형상 설계기술 (Shaping) RCS 감소 탑재장비

6) 정함수 정좌우현 기준 $\pm 4.5^\circ$ 의 각으로 구성된 영역으로 이 영역의 RCS는 워낙 커서 RCS 감소기술로도 줄일 수가 없어 희생영역으로 정의

함정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안

		다른 방향으로 반사시켜 RCS를 감소하는 기술		제작 기술 ▪ 통합패위형 마스트 제작기술
및 적용 기술	반사파 감소 기술	전자파 흡수 물질의 유전체 또는 전자기적 특성을 이용하여 저항, 유전, 자성 등의 손실 작용을 통해 열이나 다른 에너지로 변환하여 레이더 파를 흡수하거나 전자파 특성을 이용하여 위상을 반대로 만들어 전자파를 감쇠하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 여러 주파수 대역의 전자파를 흡수 ▪ 전자파 흡수량 증대 ▪ 실제 해상조건에서도 신뢰성 보장 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전자파 흡수 물질 ▪ 능동신호 감쇄 기술 ▪ 수동신호 감쇄 기술
RCS 측정 기술		실제 함정의 RCS를 측정하고 분석하는 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RCS 측정의 정확도 향상 ▪ 측정 방법 및 분석 방법 설정 	▪ RCS 측정 기술

한국해군 함정의 레이더 스텔스 설계 기술 수준은 아직 선진국의 수준에 미치지 못해 해외 기술용역 설계를 의뢰하고 건조는 국내기술로 하고 있다. 국내에는 2011년에 연세대학교에 국방 피탐지 감소기술 특화센터가 설립되면서 스텔스에 대한 본격적인 연구가 진행되고 있다. 앞 장에서 설명한 여러가지의 레이더 스텔스 기술에 대한 연구가 진행되고 있지만 아직 기초연구 수준으로 응용연구 단계로 가려면 국방과학연구소 등의 연구 관리기관의 많은 연구지원과 방위사업청 등의 관리 기관의 예산지원으로 대학교에서의 연구가 활성화 될 수 있도록 군학연의 많은 노력이 필요하다.

현재 작전운용 중인 한국 해군함정에 적용된 스텔스 기술을 살펴보면 <표 27>와 같다. 광개토대왕급의 설계 및 건조를 통하여 단편적이거나 선진 스텔스 기술을 접목하여 국내 스텔스 기술 발전의 기초를 마련하였고 DDH-II, DDG, LPH 설계를 통하여 종합적인 스텔스 기술의 함정 반영이 이루어진 상태이며 최근에 건조된 FFG(인천급) 부터는 운용요구성능(ROC)에 피탐지 저감설계에 대한 목표를 명확히 제시하면서 스텔스 기술에 대한 함정 적용이 설계 및 건조단계에서부터 체계적으로 진행되고 있다. 또한 해군에서는 국방과학연구소의 지원을 받아 함형별로 주기적인 RCS측정을 통해서 저피탐 성능 관리를 꾸준히 하고 있다. 하지만 미국의 Zumwalt급 구축함이나 중국의 Type 55 순양함을 비롯한 선진해군의 최신에 스텔스 함이 꾸준히 건조되어 나오고 있는 상황에서미래의 해양 안보 환경에 대비해야하는 한국해군으로서는 세종대왕급 DDG에 적용된 기술에 정체해 있을 수가 없을 것이다. 따라서 과연 차기 구축함에 어떠한 스텔스 기술을 적용시켜야 할 것인지에 대한 논의를 피할 수 없다. 현재 스텔스 탐지기술 발전이 스텔스 기술 못지않게 빠르게 진행되고 있어 이에 대한 시급한 대비가 필요하다.

7) 임길혁, “함정 스텔스 기술 및 발전방향” 「전투발전연구지」 제9호. 2002. p. 315.
「함 건조 사양서(세종대왕함)」(2008), p. 000-89-91.

기존의 함정 마스트는 다수의 탐지/추적센서와 통신기 안테나가 외부에 설치되어 있어 전자파 반사로 인한 레이더 단면적 증가, 전자파간섭 현상(EMX), 함 자체 구조물에 의한 음영각 발생, 반사표적이거나 허위표적 발생, 센서의 외부갑판 노출로 인한 정비와 유지 소

<표 2> 한국 해군함정에 적용된 레이더 스텔스 기술

DDH-I (광개토대왕급)	DDH-II (충무공이순신급)	DDG (세종대왕급)	LPH (독도급)
<ul style="list-style-type: none"> • 국내기술로 설계 • 주선체경사: 2° • 트러스트형 마스트 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외기술용역 설계 • 주선체 및 상부 구조물 경사: 10° • 주갑판 실내통로 설치 • 입체형 사각형 마스트 • 장비 및 안테나 받침대 사각형 설계 • 현측사다리 선체 내부 격납 • SAM 받침대 레이더파 흡수재료 부착 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외기술용역 설계 • 주선체 및 상부 구조물 경사 : 10° • 주갑판 실내통로 설치 • 입체형 사각형 마스트 • 장비 및 안테나 받침대 사각형 설계 • 현측사다리 선체 내부 격납 • 단정, 어뢰발사대 내부 격납 	<ul style="list-style-type: none"> • 해외 기술용역 설계 • 주선체 및 상부 구조물 형상화 • 갑판 의장품 단순화 및 차폐 • 부분적인 RAM 사용 • 상부구조물 최적 설계

요까지 많은 문제점을 안고 있다. 또한 장비가 독립 설치되어 있어 여러 종류, 다량의 케이블이 포설되고 처리장치 설치공간이 많이 필요하여 적재 공간이 감소되고 함상공정이 증가하게 된다. 새로운 세대의 마스트는 이러한 단점들을 극복해야만 한다.

3. 통합마스트 구현 시스템 분석

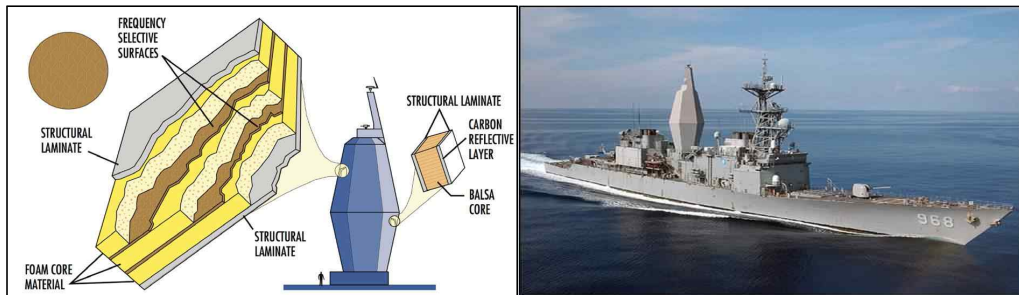
3.1 폐위형 마스트

앞장에서 언급한 레이더 스텔스 기술 중 통합마스트 설계를 통한 레이더 스텔스 기술에 대해 분석해보고자 한다. 작전 상황에 있어서 수평선 너머의 적함 레이더에 의해 최초로 탐지되는 부분이 함정의 상부구조물이기 때문에 그 부분의 RCS를 감소시키는 것은 레이더 스텔스에서 매우 중요하다.

개선 폐위형 마스트센서(AEM/S: Advanced Enclosed Mast/Sensor) 시스템은 마스트 구조물에 평면형으로 센서가 부착되어 있어 RCS를 감소시켜줄 뿐만 아니라 센서가 내부에 위치하여 기상이나 태양광에 의한 부식 또는 연돌에서 배출되는 고온의 부식성 가스로부터 센서를 보호하여 안정적인 센서 운용이 가능하게 해준다. 이를 위해서 마스트 구조물은 각 센서가 사용하는 주파수의 전자파가 마스트 구조를 통과할 때 굴절이나 흡수, 반사 없이 잘 투과하고 사용하지 않는 주파수의 전자파는 모두 반사되도록 설계되어야 하므로 표면을 주파수 선택 표면⁸⁾(FSS: Frequency Selective Surface)으로 처리한다.

합정 스틸스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안

미 해군연구구청(ONR ; Office of Naval Research)은 개선 폐위형 마스트센서의 개발 실패 위험을 감수하고 지원하여, <그림 4>와 같은 시험용 모델인 ATD(Advanced Technology Demonstration)를 1996년에 제작하였으며, 87피트의 높이와 35피트의 직경의 크기로 그 당시 미국 Ingalls 조선소에서 제작한 가장 큰 센서용 구조물이었다. 이 모델은 1997년 USS Arthur W. Radford 함(DD-968)에 설치되어 최초 시험만을 위해 6개월간 함에 부착하려고 했지만 함장의 요구로 아직까지 함에 부착하여 사용 중에 있다. 음영각을 최소화 하여 레이더의 성능은 완벽히 발휘되었으며, 승조원이 정비를 위해 외부 마스트에 사다리를 이용해 오르내리던 기존의 방법에 비해 훨씬 안전했다. 시험용 모델은 1999년 미 동부의 노퍽(Norfolk) 연안에서의 야간 작전 중 뜻하지 않게 상선 Saudi Riyadh와의 충돌하게 된다. 하지만 선체는 심각하게 손상된 반면, ATD는 손상을 입지 않았으므로 견고함이 입증되었다. 2000년에는 <그림 5>의 USS San Antonio 함(LPD-17)에 탑재할 AEM/S 제작에 들어갔고 2005년에 시운전을 거쳐 취역하였다.



<그림 4> AEM/S 설계재질과 AEM/S가 적용된 USS DD-968 Radford 함
(출처: J. P. Hackett. 2011. p.12.)



<그림 5> USS LPD-17 San Antonio함에 폐위형 AEM/S를 설치하는 장면과
기동장면(출처: J. P. Hackett(2011), p.13-14.)

이러한 폐위형 마스트는 내부에 회전형 및 원형 안테나 장비 탑재가 가능하여 기존의 안테나를 사용할 수 있고 RCS 감소를 가져와 통합 전투성능 및 통합 생존성을 보장한다. 하지만 광대역의 탐지 및 추적 센서와 통신체계 적용을 위해서는 광대역 FSS 개발

8) 특성 주파수 대역의 전자기파만을 통과시키는 표면

이 필요하나 현재로서는 기술 개발에 대한 실패 위험성이 큰 편이며, FSS가 손상되었을 경우 안테나 왜곡으로 인한 센서 성능 저하의 우려와 해양 환경에서의 유지보수 비용 증대 문제 또한 폐위형 마스트를 탑재할 경우 해결하여야 할 과제이다.

3.2 통합마스트

이러한 단점을 극복하고자 최근에는 <그림 6>, <그림 7>와 같은 통합 마스트를 사용하고 있다. 통합마스트는 FSS를 적용하지 않고 금속 소재의 마스트 외벽에 센서 및 통신 안테나를 부착하여 안테나 왜곡현상 또는 유지 보수 소요를 최소화 하면서 RCS 감소를 가져와 통합 전투성능 보장 및 통합 생존성을 보장할 수 있다. 또한 <그림 6>에서 보듯이 통합마스트를 육상에서 제작하여 작동검사 및 연동시험을 검증 후에 함정에 탑재하기 때문에 함상 공정이 단축되고 기존 마스트에서 개별장비 연동 시 함외에 설치된 센서부와 함내 개별 장비 캐비닛 및 연동단 간의 다중 다량의 케이블 포설 소요가 발생하나 통합형은 통합마스트 내부공간에 장비 캐비닛 및 연동단을 바로 설치하기 때문에 케이블 포설 소요가 줄어들어 장비가 차지하는 공간이 줄어드는 장점이 있다.

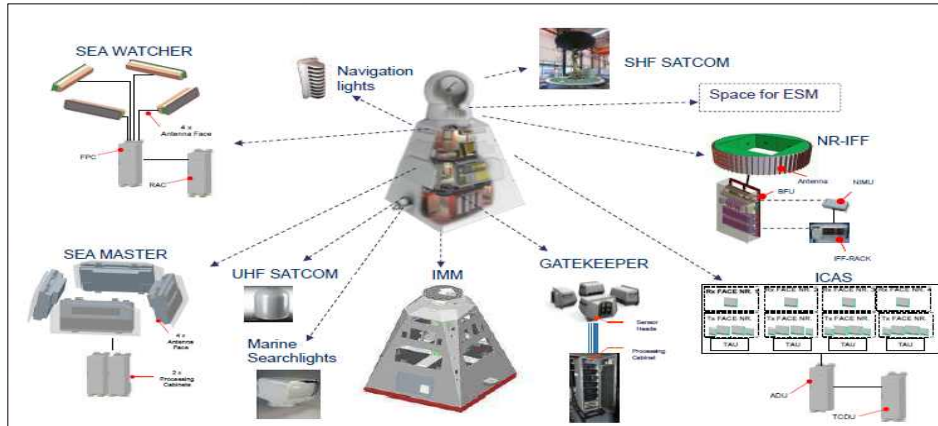
또한 Holland급에 장착된 I-MAST 400은 <그림 7>에서 보듯이 마스트 상층부부터 SHF 대역 위성안테나와 비회전식 적아식별기(IFF: Identification Friend or Foe) 안테나, Sea Watcher 비회전식 X 대역 능동 위상배열 레이더, VHF·UHF 대역 통신 및 데이터 링크용 안테나, Sea Master S 대역 레이더, 전방위 파노라마식 전자광학 감시, 경보시스템인 Gatekeeper가 탑재되어 통신기와 레이더가 하나의 마스트에 장착되어 스텔스 성능을 높일 수 있다.

하지만 통합 마스트도 몇가지 단점이 있다. 기존의 회전형 또는 원형 안테나 장비 탑재가 제한되어 <그림 7>의 상단에 위치한 위성안테나 등은 마스트 내부로 이동이 불가하여 상단에 설치하였으며, 안테나 재설계를 통해 마스트 내부로 이동이 가능한 센서들에 대한 Conformal⁹⁾ 안테나 설계 적용이 필요하다.



<그림 6> 미 DDG-21 Zumwalt급(Zumwalt class) 구축함에 적용된 통합마스트와 엔지니어들(출처: J. P. Hackett. 2011. p.25.)

9) 3차원으로 기체나 선체의 다른 특성(공력, 유선형 선체 등)을 위해 설계한 임의 형태의 표면에 맞도록 설계한 것



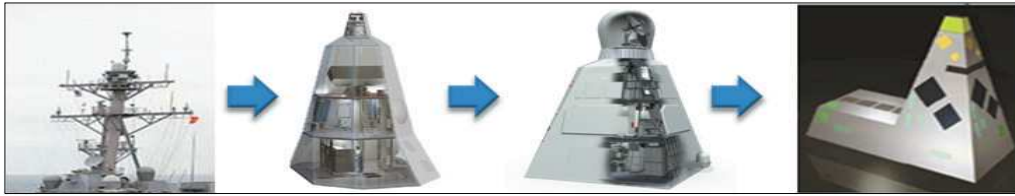
<그림 7> Holland급 OPV의 I-Mast 400(출처: Thales Nederland, "Sensor Solutions for Naval Combatants". 2012. pp.39.)

3.3 통합마스트 체계 발전방향

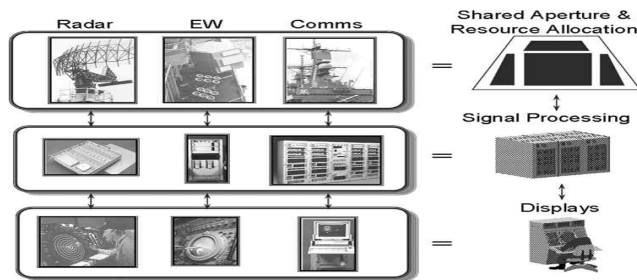
폐위 마스트나 통합 마스트 모두 마스트 외부로 드러나 있는 안테나를 마스트에 내장하여 외부 형태를 단순화함으로써 레이더 반사 면적을 감소시키는 기술이다. 그러므로 레이더 반사 면적의 감소라는 측면에서 봤을 때 크게 다르지는 않지만 합정의 건조나 운영 관점에서 레이더가 차폐막을 통과하지 않는 통합 마스트가 레이더 수신율, 비용 등의 장점이 있어 <그림 8>처럼 폐위마스트를 거쳐 통합 마스트 형태로 발전되고 있는 추세이다. 레이더는 20세기 초 개발된 이후로 회전형, 위상배열, 다기능 안테나로 기술이 발전하였고, 이를 합정에 탑재하는 과정에서 구형 안테나 마스트, Aegis함의 Aegis Tower와 같은 선체고정형 안테나, 줌왈트급과 같은 통합마스트, 미래의 다기능 RF 통합안테나 개념으로 발전하여 스텔스 성능과 안테나 성능 보장을 동시에 추구하고 있다. 현재 세종대왕급이 위상배열의 단계이고 줌왈트급이나 홀란드급이 통합마스트의 단계에 있다.

현재 미국은 동일한 안테나 면에 레이더, 통신, 전자전 기능을 동시에 수행하는 <그림 9>의 AMRFC(Advanced Multifunton RF Concept)¹⁰⁾ 다기능 RF 통합 안테나 연구를 하고 있고, 미 동부 연안의 Chesapeake Bay에 시험시설을 구축하여 실험 중이지만 아직 줌왈트급 구축함에도 적용하지는 못한 것으로 보인다. 이를 구현하기 위해서는 안테나의 평면화, 소형화와 광대역화가 필요하다. 또한 레이더와 전자전, 통신의 모든 기능을 한번에 구현하기 위한 신호 제어체계, 고풍력의 광대역 펄스 발생기가 구비되어야 한다. 이를 통해 합정 전력을 효율적으로 사용하고 전파방사를 통제(Emission control)하여 적에게 위치지출을 방지할 수 있다. 즉, 이를 통해 적의 레이더에 의한 피탐 뿐만 아니라 우군의 전파방사로 인한 적의 전자전 장비에의 노출까지 최소화할 수 있는 것이다.

10) G. C. Tavik 외, "The Advanced Multifunton RF Concept," *Trans. on Microwave Theory and Technique*, vol. 53, No. 3, Mar. 2005. pp. 1009-1020.



<그림 8> 마스트의 발전추세(자료: 국방기술품질원, 2010)



<그림 9> AMRFC 개념도(출처: G. C. Tavik 외, "The Advanced Multifunton RF Concept," Trans. on Microwave Theory and Technique, vol. 53, No. 3, Mar. 2005. pp. 1009-1020.)

4. 함정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안

함정의 수명주기를 30여년으로 본다면 기술발전 속도가 빠른 안테나 등의 RF 기술은 퇴역까지 최소한 1~2회의 성능개량이 필요하다. 따라서 장기적인 측면으로 볼 때 작전 공백을 최소화하고 모듈화 및 평면형 배열 안테나가 탑재되어 개조가 용이한 통합마스트로 설계되어야 한다. 또한 동일한 안테나면을 활용한 다기능 RF 통합안테나로 발전이 되는 선진국의 통합마스트 설계방향을 고려하여 한반도 전장환경에 적합한 함정 통합마스트를 구현해야 한다. 이를 위해서는 기술적, 경제적 및 생존성 측면 등이 고려하여 적용되어야 한다.

4.1 기술적 측면

현재 한국해군 구축함(DDH-I, II)에서 운용중인 탐지센서용 안테나로는 대공, 대함 탐색레이더와 항해, 사격통제 및 추적 레이더 등의 회전형 안테나가 있다. 통신용으로는 MF, HF, VHF, UHF 고정형 안테나와 UHF 위성통신 안테나, TACAN이 있고 전자전 장비용으로는 전방위 수신안테나, 방탐 안테나, 재밍용 안테나 등으로 구성되어 있다. 이

합정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안

지스 구축함(DDG)에는 이지스 시스템의 핵심인 탐색·추적용 위상배열 레이더(AN/SPY-1(D))를 포함하여 위상배열 IFF 등의 선체 고정형 안테나가 탑재되어 기존 구축함의 대공탐색/사격통제 레이더를 대체하였으나 통신용, 전자전용 안테나에는 큰 변화가 없었다.

현재 세종대왕급에 탑재된 SPY-1D(V)는 곧 단종될 예정이며, 차기 미국 이지스함¹¹⁾에는 <그림 10>¹²⁾과 같은 AMDR-S¹³⁾가 2016년에 설계 완료되어 시험평가를 거쳐 2023년에 배치될 예정이다. 이를 탑재할 경우 세종대왕급의 SPY-1D(V)와 3개의 사격통제용 조사기를 통합할 수 있다. 단파인 VHF, UHF안테나의 경우 소형화하여 평면형의 패치형태로 마스트에 통합될 수 있지만 장파의 MF, HF 통신용 안테나와 대함 및 항해용 회전형 안테나는 긴 형상을 소형화하여 임무목적을 달성하기에는 기술개발에 따른 많은 비용 및 장기간의 일정이 소요되므로 대체가 불가능할 것으로 예상된다. 또한, 전자전 장비의 경우 규격화된 기존 장비를 그대로 통합마스트에 탑재할 순 없고 결국 AMDR-S가 탑재된 하나의 통합마스트에 장착을 위해 새로운 체계를 개발해야 한다. 따라서 최첨단 소형화 기술이 집약되어지는 이지스 체계의 경우에는 비용, 일정 및 성능을 고려하면 미 이지스함이 획득할 예정인 AMDR-S과 같은 유사한 시스템을 획득하는 것이 합리적인 대안이 될 수 있다.



<그림 10> AMDR-S 형상(출처:
<http://news.usni.org/2013/10/10>)

차기 구축함의 경우에는 SPY-1D(V) 레이더를 사용하는 이지스함보다 통합마스트를 탑재하기 용이한 편이다. 탑재를 위한 대안으로 첫 번째는 IM-400과 유럽에서 운용 중인 통합마스트를 도입하여 탑재 후 체계통합 하는 것이고, 두 번째는 기존 구축함의 관도급 장비에 대한 신형 안테나와 통합마스트 개발을 병행하여 통합마스트에 장착하는 방안이 있다. 첫 번째 대안은 이미 유럽에서 시행되었기 때문에 성능검증이 용이한 다양한 규격의 통합마스트를 한국 해군이 원하는 함형에 맞는 크기로 선택하면 되므로 도입하는

11) 미해군도 예산문제로 줌왈트급 소요량이 감소되었으며, DDG-51 FlightIII를 추가 도입할 계획임.

12) <http://raytheon.com>(검색일: 2015년 2월 10일)

13) AMDR-S: Air and Missile Defense Radar-S band, S대역은 탄도탄 방어기능은 물론이고, 골프공을 1,200km 밖에서도 탐지가 가능할 정도로 성능이 뛰어나며 사각형 안테나인 X대역의 경우 수평선 탐지와 정밀추적이 가능한 3차원 다기능 대함/대공 레이더임.

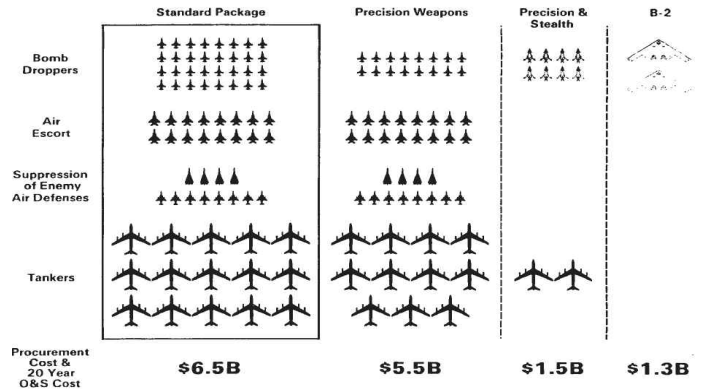
데 큰 어려움은 없다. 하지만 국내 기술축적이 어려워 국내 연구개발과 대비 후속군수지원에 많은 예산이 소요될 것으로 예상되며, 수출에 따른 경제적 파급효과도 기대하기는 어렵다. 또한 다른 언어를 사용하는 기존의 무기체계들과의 호환성(compatability), 상호운용성(interoperability) 및 연동 프로토콜(protocol) 문제가 발생할 수 있다. 두 번째 대안은 사업상의 위험(programmatic risk)이 계획적으로 관리된다면 중장기적으로 첫 번째 대안의 단점을 보완할 수 있는 합리적인 방법으로 선택될 수 있다. 북한의 탄도미사일 탐지 및 요격을 위한 철매-II용 다기능 위상배열 레이더의 연구개발을 통해 축적된 통합기술과 전투기용 AESA(Active Electronically Scanned Array: 능동 전자주사식 위상배열) 개발기술을 접목하여 국내 연구개발로 획득할 수 있다. 하지만, 구축함용 통합마스트를 위해서는 고풍력의 능동 송·수신 모듈과 복합 신호처리 기술이 필요하며, 4면 선체 고정형 위상배열 레이더의 경우에는 개발 경험이 없어 실패의 위험성이 크게 존재한다.

4.2 경제적 측면

함정의 레이더 반사 면적을 감소하여 얻게 되는 경제적인 이득은 사실 계산하기가 매우 힘들다. 하지만 획득 비용이 1조원이상 소요되는 구축함이 1,000분의 1 이하 가격인 대함 미사일 한 발에 기능이 정지된다는 사실은 함정의 피탐지 감소 기능이 경제적으로도 중요한 요소임을 간접적으로 말해준다. 만약 함정이 탐지가 쉽게 된다면 각종 위협 무기로부터 방어를 하기 위해 수많은 방어체계를 갖추거나 방어가 가능한 다른 함정과 함대를 편성하여 운용해야만 한다. 이에 대한 소요 비용이나 수명주기 동안의 비용은 피탐지 감소 기능이 적용된 함정을 획득하는데 드는 비용보다 직관적으로 훨씬 더 많이 소요될 것으로 예상된다. <그림 11>¹⁴⁾은 미국 스텔스 항공기의 경제적인 효과를 나타낸다. 정밀 타격을 위해 폭격기가 20대, 호위 전투기가 20대, 대공 방어체계를 무력화하기 위한 항공기 14대, 공중 급유기 11대가 필요하다. 하지만 스텔스 성능을 강화한 F-117 전폭기의 경우 F-117기 8대와 공중 급유기 2대만으로도 정밀 타격이 가능하다. 그리고 폭격을 목적으로 만든 스텔스 폭격기인 B-2의 경우 단 2대만 있으면 임무 수행이 가능하다. 물론 F-117와 B-2의 경우 처음 획득하는데 필요한 비용은 다른 전투기에 비해 매우 높지만 20년의 수명 주기 동안 운영유지비를 고려한다면 70% 이상의 비용 절감이 가능한 것을 확인할 수 있다.

14) 국방기술품질원 '함정 레이더 반사면적 감소', 기술동향 보고서, 2010

합정 스텔스 성능향상을 위한 통합마스트 적용방안



〈그림 11〉 미국 스텔스 항공기의 경제적 효과
(자료: 국방기술품질원, 2010)

항공기와 함정의 운용 개념에 큰 차이가 있어 비용 분석의 수치적인 비율을 그대로 함정에 적용하는 것은 매우 힘들지만 스텔스 성능을 높임으로써 총 수명 주기 동안의 비용을 감소할 수 있는 좋은 비교대상이 될 수는 있다. 최근 세계적인 전력 발전 추세는 인력 및 부대의 크기를 줄이면서 효과적으로 목표물을 정밀 타격하거나 운용을 효율적으로 하는 방향으로 바뀌고 있다. 이런 측면에서 목표물에 근접하거나 독립적으로 함을 운용하기 위해 함정의 통합마스트 등의 형상발전과 피격성 감소 기술을 통한 함정의 스텔스화는 앞으로 계속 발전할 것이다. 수명주기비용을 고려하였을 때 스텔스 기능을 극대화한 경우가 그렇지 않은 경우보다 많은 비용절감이 가능할 것이다.

4.3 생존성 측면

7,000톤 이하의 배수량을 갖는 함정은 엑조세(Exocet)¹⁵⁾급 대함 미사일 한 발을 맞게 되면 함의 기능을 수행할 수 없다고 한다.¹⁶⁾ 대부분의 구축함이 7,000톤 정도의 배수량을 갖는 것을 고려해 볼 때 구축함에게 대함 미사일은 치명적인 위협 세력이다.

〈그림 12〉는 적함이 공격을 하는 단계를 도식화한 생존성 체인(chain)이다. 우선 적함은 대상을 탐지(detection)하고 추적(tracking)하면서 대상의 특징을 분석하고 식별(classification)한다. 그 결과 위협 세력으로 판단이 되면 무기를 발사(fire)한다. 대함미사일을 사용하면 미사일은 자함의 유도 및 자체 센서를 통해 목표물로 비행(weapon guidance)하게 된다. 목표물은 우선적으로 미사일을 회피하기 위해 간접공격(soft kill) 수

15) 1980년 프랑스가 개발한 공대함 미사일로 수면 위로 1~3m의 거리를 두고 스치며 날아가 전함의 중앙부를 공격한다. 제원은 길이 4.69m, 지름 35cm, 무게 650kg, 속도 마하 0.93, 사정거리 40~65km이다. 관성항법장치와 고도추정계로 고도를 유지하면서 탄두에 내장된 자동유도장치로 목표물을 탐지하는데, 특히 기관실이나 선체의 가장 중요한 부분을 찾아 파괴할 수 있다는 장점이 있다.

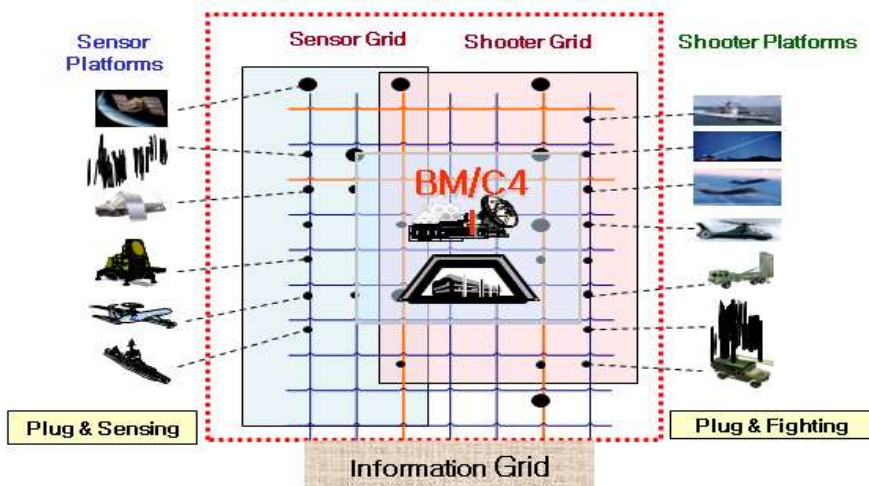
16) Wayne P. Hughes Jr, "Fleet Tactics and Coastal Combat", Naval Institute Press, 2000.

단인 디코이(decoy)나 채프(chaff)를 사용하고 그래도 미사일을 다른 방향으로 유인하지 못했다면 대함미사일을 격추하기 위해 직접공격(hard kill) 수단인 함포나 근접방어무기 체계(CIWS: Close In Weapon Systems)를 사용한다. 대함 미사일이 이와 같은 방어를 뚫게 된다면 목표물에 타격(hit)을 주게 된다.



<그림 12> 생존성 chain(자료: 국방기술품질원, 2010)

이런 위협적인 대함 미사일을 회피하기 위해서는 앞서 말한 생존성 체인에서 타격 이전의 각 단계에서 다음 단계로 넘어가지 못하도록 해야 한다. 즉 발사이전단계에서는 탐지, 추적, 식별을 어렵게 만들고 발사이후에는 유도 및 센서 탐지를 어렵게 하고 기만기 및 방어체계를 통해 타격을 받지 않도록 해야 하는 것이다. 이와 같은 각 단계 간의 체인을 끊기 위해서는 탐지가 되지 않게 하거나 적이 쉽게 자함의 정보를 알아내지 못하도록 신호를 줄이거나 레이더 반사 면적 등을 줄이는 것이 중요하다. 신호를 감소하게 되면 신호를 제어하여 적함을 기만하거나 미사일을 기만하는 것이 용이해진다. 통합마스트 체계는 <그림 13>¹⁷⁾과 같이 센서격자(sensor grid)와 슈터격자(shooter grid)를 구성되는 정보격자(information grid)를 통한 센서와 슈터의 통합된 정보프로세스에 기반을 두어야 한다. 이러한 격자구조를 통해 전장 내의 전투원에게 적시적소에 공통상황인지(common situational awareness)를 가능하게 함으로써 지휘속도를 증가시켜야 한다.



<그림 13> 정보격자를 통한 정보프로세스

17) Yongsoo Kwon, *Systems Engineering Fundamental(Workbook)*, 2012. version 2.0. p.6.

5. 결 론

레이더는 현대의 전장에서 원거리에서 적을 파악할 수 있는 눈과 같은 역할을 하는 장치다. RCS는 이 눈에 의해 발견된 확률을 나타내는 것이고 RCS를 감소하는 기술은 발견될 확률을 낮춰주는 기술이다. 이를 통해 함정은 전장에서 좀 더 적에게 다가가 많은 정보를 얻을 수 있고 전략적인 우위를 점할 수 있는 여러 장점을 가질 수 있게 된다. F117 전투기 한 대가 걸프전에서 수백 배에 달하는 피해를 입혔던 것처럼 RCS를 효과적으로 줄인 함정을 보유하게 되면 해군 전력 향상에 큰 도움이 될 것이다.

현재 선진국에서는 함정의 생존성 향상을 목표로 조선, 기계, 전자, 전기 등의 기술 개발에 박차를 가하고 있으며 이를 위해 대학 및 연구기관과 함정을 건조하는 조선소 외에 탑재장비를 개발하는 장비 업체에도 투자를 아끼지 않고 있다. 국내의 경우 많은 부분이 연구 초기 단계로 대학 및 연구기관에 투자를 하고 있으며 이후에는 투자한 연구 결과를 바탕으로 RCS 감소를 극대화하기 위한 통합마스트 체계 개발이 이루어질 것으로 예상된다. 이제는 위상배열레이더 기술을 이용하여 회전형이 아닌 선체 고정형으로 발전시켜야 하고, 레이더 이외의 HF 통신기, 전자전 장비 등의 안테나를 평면화 또는 소형화기술을 개발해야한다. 그다음 단계로 안테나를 광대역화 시켜야하며 광대역 안테나로 다양한 기능의 RF를 제어할 수 있는 Queuing개념의 신호처리기술 개발을 병행해야한다.

본 연구는 새로운 함정시스템 설계의 핵심사항으로 대두되었으나 기존의 연구에서 고려되지 못했던 통합마스트를 대상으로 기반기술 연구를 통해 분석적인 새로운 시각을 제시하고 한국군이 적용할 수 있는 획득대안별 체계 제한사항을 논의 했다는 것에 의의를 둘 수 있다. 본 연구의 한계점으로는 실제 적 미사일이나 적 함정이 우군 함정에 근거리로 다가왔을 때 통합마스트 구현에 따라 우군함정에 대한 RCS가 어떻게 변화하는지에 대한 소프트웨어 해석도구를 고찰하지 못하였으며, 통합마스트를 적용함으로써 RCS 감소 외에 정비용이성, 성능개량의 용이성 등의 분야에 대한 분석이 부족한 점이 있다. 향후 연구에서는 이러한 부분을 고려할 필요가 있다.

참고문헌

○ 저서 및 논문

- [1] 김국현 외, “다중반사 구조를 갖는 복합구조물의 RCS 감소를 위한 광대역 다층 전파흡수체 설계”, 『대한조선학회논문집』, 제44권 제4호, 2007.
- [2] 길태준, “능동 표면온도 조절을 통한 적외선 저피탐 개념 설계 연구”, 『한국군사과학기술학회 종합학술대회』, 2015.
- [3] 국방기술품질원 ‘함정 레이더 반사면적 감소’, 기술동향 보고서, 2010.
- [4] 임길혁, “함정 스텔스 기술 및 발전방향” 『전투발전연구지』 제9호, 2002.
- [5] 『함 건조 사양서(세종대왕함)』, 2008.

○ 일반 잡지 및 신문기사

- [1] 미국 항공우주 전문지 ‘에비에이션위크’(AW) 2014년 2월 27일 보도내용.

○ 외국문헌

- [1] J. P. Hackett, “Composites road to the Fleet-A Collaborative Success Story,” Committee on Naval Engineering in the 21st Century, 2011.
- [2] Bill Marker, “Use of Radar-Absorbing Material to Resolve U.S. Navy Electromagnetic Interference Problems”, 『*Naval Sea Systems Command*』, Volume 7, Issue No. 1, 2012.
- [3] Thales Nederland, “Sensor Solutions for Naval Combatants”, 2012.
- [4] G. C. Tavik 외, “The Advanced Multifuntion RF Concept,” *Trans. on Microwave Theory and Technique*, vol. 53, No. 3, Mar. 2005.