

함정 RCS/IR 연구개발 현황 및 발전방향

김영주, 김정호, 정희인(국방과학연구소)

1. 서론

현대 수상함 스텔스 기술의 기본 개념이 군사 항공분야의 스텔스 기술에 기반을 두고 있지만 실제 적용 목적은 다소 차이가 있다. 항공분야의 목표는 최대한 전파, 적외선, 소음 및 자기 신호형상 등을 감소시켜 항공기를 보이지 않도록 하는 것이다. 반면, 수상함은 급진적인 설계 변경이나 막대한 비용을 투입해도 완전히 "투명(Invincible)"하게 할 수는 없다. 그러한 변화 또는 변경을 시도하더라도 요구에 따른 비용 대 효과를 기대할 수도 없다. 수상함의 스텔스 기술 중 RCS/IR 감소의 주 목적은 능동 레이더나 대함 유도탄의 중간 또는 종말단계에서 탐색기로부터 함정을 보다 작게(Chaff 및 IR decoy 보다 작게) 보이도록 하는 "soft kill" 능력을 증가하는데 초점을 맞추고 있다.

수상함의 RCS/IR 감소기술은 90년대초 미국의 스텔스 시험정 Sea Shadow의 존재가 세상에 알려지고, 프랑스 스텔스 함정 La Fayette급 Frigate와 스웨덴의 Visby 급 Corvette 함정이 취역하면서 알려지기 시작했다. 이때부터 수상함의 함형 설계개념은 크게 변화되어 왔고, 대부분의 군사 선진국 해군들은 신조 함정 설계시 RCS/IR 신호형상을 기본 성능처럼 요구하고 있다. 특히, 미국은 90년대 초반 Arsenal Ship에 이어 98년부터 DD-21(또는 DDX) 등 기존 함정 함형과는 완전히 다른 차세대 함형에 대한 개념연구와 관련 기술개발을 지속적으로 수행해 왔다. 이러한 노력들의 결과는 미해군이 2005년 및 2006년에 건조한 연안전투함 LCS-1(Freedom 급) 및 LCS-2(Independence 급)와 이를 보다 발전시켜 2016년에 건조한 차세대 구축함 DDG-1000(Zumwalt 급)을 통해 볼 수 있다. DDG-1000은 기존 함정의 함형이나 구조 및 탑재체계의 형상 개념을 완전히 새롭게 설계한 함정으로 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다.

이 시점에서 북한과 마주하고 있고, 미/중/러 군사대국과 막강한 해군력을 보유한 일본을 이웃으로 두고 있는 국내의 함정 RCS/IR 기술개발현황과 발전방향에 대해 살펴 볼 필요가 있다. 본고에서는 그동안 국내에서 추진되어 왔던 RCS 및 IR 분야의 기술개발현황과 앞으로 더욱 발전시켜야 할 방향에 대해 논의 한다.

2. 국내 연구개발 현황

2.1 함정 RCS/IR 감소기술 국내적용현황

국내 전투 함정에 RCS/IR 감소 기술을 적용하기 시작한 것은 96년에 진수하여 98년에 전력화된 KDX-1급 함정인 광개토대왕함부터이다. KDX-1에서는 원양 작전능력과 동시에 전투 능력을 갖춘 함정 건조와 기술 획득이 목표였지만, 당시 국내 관련 기술능력을 고려, 최소한의 RCS 및 방사소음 감소기술만 적용되었고, IR 감소기술은 적용되지 않았다. 본격적인 RCS/IR 감소기술 적용의 시작은 2003년 12월부터 2008년 9월까지 전력화된 KDX-2(충무공 이순신함급)부터라고 보면 된다. 이후 국내 건조된 대부분의 함정(KDX-2/3, LPX-1/2, PKX-A/B, FFX-1/2/3, LPX #1/#2 등)에는 RCS/IR 감소기술이 적용되어 있다.

2.2 함정 RCS/IR 형상통제절차

함정 RCS 및 IR에 대한 신호형상을 통제하고 운용 및 전술 상에 요구되는 성능을 달성하기 위해서는 함정 설계 단계별로 다양한 기술들이 필요하다. 즉, 그림 1처럼 군 요구성능 분석부터 설계목표 설정, RCS/IR 저감 설계 및 RCS/IR 신호형상 예측 및 분석, 그리고 시험평가까지 전 과정에 여러 가지 기술들을 적용하고 분석해야만 원하는 목표성능을 달성할 수 있다.

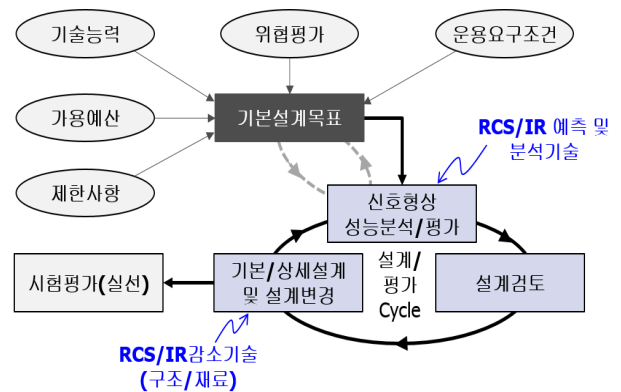


그림 1 함정의 RCS/IR 감소 형상통제 절차

2.3 함정 RCS/IR 감소기술 국내개발현황

함정 RCS/IR 형상통제를 위한 기술은 크게 대별하여 4가지로 나눌 수 있다. 첫째, 함정의 운용 및 전술개념을 분석하고, 함정 탑재무장의 방어능력을 분석하여 목표치를 설정하는 것이다. 둘째, 정해진 목표치에 따라 감소형상/구조 설계, RCS 감소/흡수 소재 적용, IR 복사 억제 및 선체 냉각 등 함정의 RCS/IR를 감소시키는 설계기술이다. 셋째, 설계된 결과에 대해 M&S 프로그램을 이용하여 신호수준을 예측하고 분석하는 기술이다. 그리고 마지막은 건조된 함정에 대한 RCS/IR 신호수준을 측정하고 분석하여 설계 목표치 달성여부를 확인하는 기술이다.

지금부터 각 기술에 대한 주요 내용과 국내 기술개발현황에 대해 기술한다. 함정의 설계 목표치 설정은 "함을 전술적으로 어떻게 운용할 것인가" 라는 군의 요구능력을 확정하는 지침이며 기본성능이라고 볼 수 있다. 따라서, 이 부분은 발전방향에서 기술한다.

2.3.1 RCS/IR 감소 설계기술

함정의 RCS 신호 감소설계는 입사된 전자파를 다른 방향(전파원과 다른 방향)으로 유도하는 RAS(Radar Absorbing Structure) 기술, 입사신호를 흡수 혹은 반사전력을 감소시키는 RAM(Radar Absorbing Material) 기술로 나누어진다. 이들 기술을 응용한 주요 설계 사항들을 요약하면 다음과 같다.

- 함정을 유선형 선체로 개발하고, 건현을 최소화
- 전파의 강한 반사원으로 작용하는 Di 혹은 Trihedral 구조를 가급적 피하고, 함정의 상부구조물은 Mono-Block으로 설계
- 벽면의 경사를 반사파가 적의 레이더로 향하지 않게끔 안쪽 또는 바깥쪽으로 경사
- 상부 구조물 및 노천 갑판상의 구조물을 최소화
- 형상통제가 어려운 부분은 흡수재료를 부착하여 반사파 감소
- 장비들을 가능한 함정 내부에 수용(혹은 스크린을 설치하여 은닉)
- 마스트 형상의 스마트화(통합 마스트, 그림2 참조)

국내 함정 RCS 저감 설계시, 위에서 언급한 기술 중 마스트 형상의 스마트화와 전파 흡수체 기술을 제외한 대부분의 기술을 적용하여 건조해 왔다.

함정 건조시 통합 마스트 적용은 일반적인 추세다. 스마트

형상의 통합 마스트는 함정 센서(탐지 및 추적레이더, 광학 장비 등), 통신장비, 전자전 장비 등을 단순화된 구조물 외부 및 내부에 설치함으로써 RCS 감소효과뿐만 아니라 장비운용 및 관리를 효율적으로 할 수 있는 장점이 있다.

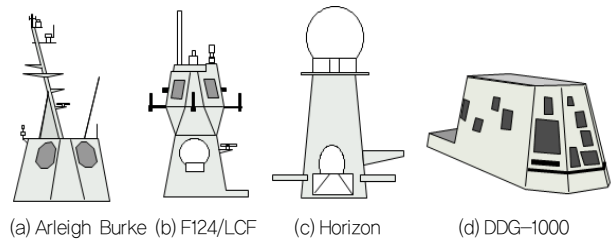


그림 2 통합 마스트 예

통합 마스트를 적용하기 위해서는 함정 개념형성연구 및 건조 가능성 검토 단계부터 검토가 필요하고, 함정 개념설계 단계에서는 소요되는 기술이 어느 정도 확보되어 있어야 가능하다. 마스트 내·외부 형상 및 구조 설계, 전파 흡수체 개발(주파수 선별 흡수체 포함) 및 적용, 마스트 설치 장비들에 대한 구조설계 및 변경 유무 등 다양한 사항들이 사전에 검토되어야 한다.

그동안 국내는 이런 과정을 대부분 생략하고 함정건조(기본설계 및 상세설계) 단계부터 적용하려고 하다 보니 관련 연구나 기술이 부족하여 적용하지 못했다. 다행스럽게도 함정 및 전투체계의 성능 극대화 측면(다가능 위상배열 레이더 개발 및 탑재)을 모두 검토해야 하는 차기호위함 Batch-III부터는 사전검토가 많이 이루어졌고, 통합마스트가 적용된 함정 설계 및 건조가 진행 중이다.

전파 흡수체는 입사된 전자파 에너지를 흡수하여 열에너지 형태로 변화시킴으로써 반사파를 감소시킨다. 흡수체는 형태에 따라 시트 형과 도료 형태로 나눌 수 있다. 2000년대 초반부터 국과연을 중심으로 한국기계연구원(파동에너지 극한제어 연구단), 재료연구소 등 연구소와 학계에서 관련 기술을 지속적으로 연구하여 기반 기술은 축적되어 있다고 볼 수 있다. 하지만, 미국이나 일본처럼 실제 함정에 적용할 수 있는 실용화된 제품은 없다. 또한, 전파 흡수체를 함정에 적용한 경우도 거의 없다. RAM 분야의 국내 발전을 위해서는 해군의 관심과 실제 적용 경험이 필요해 보인다.

함정 적외선(IR) 기술은 크게 추진기관 연소에 따른 고온 폐기열을 냉각시키는 연돌 내부 적외선 감소체계(IRSS, Infra Red Supersession System)와 태양 등 외부 환경에 의한 선체의 열을 감소시키는 해수 냉각장치로 구분된다. 폐기냉각장치는 KDX-II 이후 대부분의 함정에 적용되어 있고, 캐나다 Davis Engineering사에서 대부분의 설계와 제작을 담당하고

있다. 해수냉각장치는 KDX-III이후 LPX 및 FFX 등 대부분의 신조함정에 적용되어 있지만 이 또한 주요 부품은 캐나다로부터 구입 및 시스템 구축에 기술자문을 받아 추진되어 왔다.

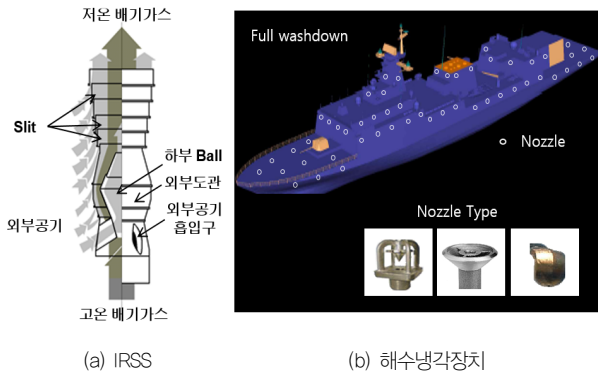


그림 3 IR 감소장치

2.3.2 RCS/IR 예측 및 분석기술

함정 RCS/IR 예측 및 분석의 목적은 함정 설계 전후에 반복적인 시뮬레이션을 통해 RCS 및 IR 신호형상을 예측 및 분석하여 설계 목표치 달성 여부를 확인하는 것이다. 또한, 예측 및 분석을 통해 강한 산란이 일어나거나 열복사가 일어나는 부분을 식별하여 적절한 감소 대책을 수립하는 것도 포함된다. 따라서, RCS/IR 저감 설계에서 예측 및 분석 Tool은 가장 중요한 요소중 하나이다.

초기 스텔스 함정 설계(KDX-II 등)시, 국내에는 개발된 Tool이 없어 해외 전문기관의 기술용역으로 수행해 왔다. 함정 RCS 및 IR 신호형상은 보안을 요하는 중요한 자료임에도 불구하고 해외업체에 의존해야 하는 문제점이 항상 논란이 되어 왔다. 2000년대 초부터 국과연을 중심으로 국내 대학의 전자파 전문가들이 참여하는 전자파 특화연구센터의 연구개발 노력으로 외국과 유사한 수준의 Tool을 개발하여 2010년 이후 함정 설계에 활용되고 있다. KDX-II부터 현재까지 건조된 주요한 함정에 적용된 RCS 예측 및 분석 Tool의 주요 현황을 살펴보면 아래와 같다.

- KDX-II : 기본설계(Highlight, 영국), 상세설계(RAMSES, 독일)
- LPX #1 : 기본 및 상세설계(Epsilon, 영국)
- KDX III B1 : 기본 및 상세설계(SIGNET, 영국)
- PKX-A 및 FFX-I : 기본 및 상세설계(국과연 개발 Tool)
- PKX-B 및 FFX-II : 기본 및 상세설계(애니캐스팅, 한국)

IR의 경우는 캐나다 Davis사가 개발한 ShipIR Tool을 이용(폐기 해석 등 일부분을 제외)하여 국내에서 주도적으로 수행

해 오고 있다. 즉, 동일한 Tool로 예측 및 분석이 진행되어 왔다.

RCS의 경우, 예측 및 분석 Tool은 개발된 시기나 적용된 이론이 조금씩 차이가 있어 Tool에 따라 예측 결과가 차이가 있다. 이를 선진 각국에서는 수많은 시험을 통해 시험 결과를 분석한 후 예측 결과를 보정하게 된다. 그리고 설계된 함정에 대해 RCS 예측 및 분석 Tool로 계산할 때 시험을 통해 나타난 오차를 고려, 보정을 한 후 적용하게 된다.

국내의 경우, 위의 예시한 바와 같이 함정의 종류나 조선소에 따라 사용된 Tool이 서로 달라서 예측 및 분석된 결과도 오차가 있으리라 판단된다. 하지만 현재 국내 시험 능력이 부족하여 확인 할 수 있는 상황은 아니다. 다시 말해 RCS 목표치를 설정하고 감소설계를 실시해 왔지만, 설계결과는 단지 예측 및 분석 Tool로만 확인되었고, 목표치 만족 여부는 확인할 수 없는 상황이다.

2.3.3 함정 RCS/IR 측정 및 시험능력

2.3.3.1 RCS 분야

RCS 감소설계가 적용된 KDX-II 함정이 전력화된 시점은 2008년이다. 설계 목표치나 군 요구성능 만족 여부를 확인하기 위해 최소한 2008년경에 측정 및 시험 장비가 필요했지만 여러 가지 요인에 의해 확보가 되지 못했다. 국과연 내에 RCS 관련 기술을 연구하는 부서와 Indoor 전파측정 실험실 및 밴 형태의 이동형 시험장비도 있었지만, 함정 RCS를 시험하기에는 부족한 면이 있었다.

이후에도 국내에서는 함정의 RCS 감소설계가 매우 활발하게 진행되고 있었지만, 설계 결과를 확인하고 검증해 줄 시험 장비나 담당기관은 없었다. 해군은 국과연에 관련 능력 확보를 지속적으로 요구하였고, 국과연 내부에서도 확보 시기 및 방안에 대해 많은 논란이 있었다. 2016년부터 국과연 해양기술연구원(이하 해양원)에서 시험능력을 확보하는 것으로 결정되어 장비 확보 및 시험기법 연구를 추진 중이다.

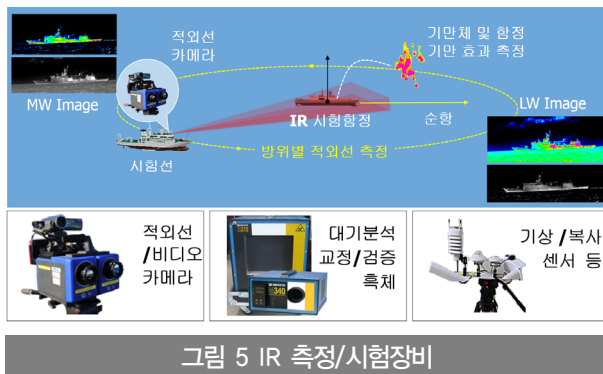
해양원 최초의 RCS 시험장비는 국과연의 추적레이더 개발 시제품(RTS, Radar Target Signature)을 함정 RCS 신호 계측과 분석을 할 수 있도록 개량한 체계이다. 현재 RTS 장비를 이용하여 해군이 운용중인 함정에 대해 RCS 신호형상 측정을 지원(기술용역)하고 있지만, 측정가능 주파수가 제한적이고 시험 및 분석에 대한 경험이 아직 부족한 편이다. 2017년부터 국과연 해양원은 신뢰성 있는 RCS 측정 지원을 위해 그림4와 같은 RCS 전용 측정장비를 개발 추진 중이다. 2019년 말에 개발이 완료되면 본격적인 RCS 측정지원이 가능할 것으로 판단된다.

개발될 장비는 기존의 장비보다 측정 주파수 영역이 확대되었고, 최신 RCS 측정 분석 프로그램을 개발하여 탑재할 예정이다.



2.3.3.2 IR 분야

IR 시험장비는 국과연 해양원에서 2008년 장비를 확보한 후, 2009년부터 군 기술용역으로 함정에 대한 IR 측정을 지원하고 있다. 현재 국과연이 구축하고 있는 IR 측정장비 및 측정 개념도는 그림 5와 같다. 현재 적외선 카메라 2대로 측정을 지원하고 있지만, 2020년까지 원격외선 카메라와 적외선 분광측정 장비를 신규 확보하여 IR 측정 분야 능력을 보강할 예정이다.



3. 발전방향

해군을 중심으로 조선소, 업체, 국과연 및 국내 관련 기관들은 RCS/IR 감소 설계를 위한 기술 개발에 노력해 왔다. 하지만 주로 형상설계와 설계결과를 시뮬레이션으로 확인 및 분석하는 기술에 대부분 노력이 집중되어 있었다. 형상설계 기술도 RAS 분야는 함정 설계에 적용하는 수준에 도달해 있지만, 전체적으

로 미국 등 선진국에 비해 아직 부족한 면이 많다. 함정 RCS/IR 형상통제절차 전반에 걸쳐 선진국과 기술적인 차이를 좁히기 위한 노력이 필요하지만, 가장 우선해야 할 사항을 세 가지 정도로 요약하였다.

먼저, 목표치를 설정하는 과정에 폭 넓은 함정의 운용이나 전술개념의 반영과 비용대비 효과 측면에서 보다 구체적인 요구조건들의 반영이다.

현재는 RCS/IR의 목표치를 함정방어 측면에서 통상 탑재되어 있는 기만체계 운용개념과 연계하여 설정하고 있다. 예를 들어 1개의 위협표적에 대해 기만체계 1회(발사 탄수는 상관없음) 발사 시 00dB라고 한다면, 일반적으로 함정 RCS는 이보다 2~3dB 정도 작은 값을 설정한다. 그리고 대부분의 함정이 동일하거나 유사한 기만체계를 탑재하고 있어, 함정의 톤수나 중요도에 상관없이 목표치가 거의 유사한 값을 가지고 있다. 이러한 목표 값 설정은 각 함정들이 단독 작전을 할 때는 적절할 수 있다. 만약 해당 함정이 다른 함정과 합동작전을 한다면 기만체계의 능력뿐만 아니라 합동작전에서 함정의 중요도에 따른 RCS/IR 값도 고려해 볼 필요가 있다. 중요도가 높은 함정은 참여세력 가운데 상대적으로 RCS/IR 값이 낮고, 적의 탐지수단이나 유도탄으로부터 주목이나 공격을 덜 받는 것이 필요하다. 이러한 측면들을 반영한 목표치 설정시 고려할 사항들을 정리하면 다음과 같다.

- 함정 운용전술 및 개념분석
 - 운용요구조건(TLR), 전략별 운용개념(해군전략 관련문서) 등
 - 단독 혹은 합동/협동작전시 작전세력간의 함정 중요도
- 함정 방어능력 분석 및 방어개념
 - 함포 및 유도탄 방어범위 및 능력분석, 전자전 능력(특히 기만기 성공확률 및 효과도 등) 분석 등

위에서 언급한 내용들을 반영하여 목표치를 설정하는 것이 쉽지는 않지만, 감소설계를 통해 최대한의 생존 효과를 얻기 위해서는 현실적으로 고려할 수 있는 사항은 모두 고려할 필요가 있다.

두 번째는 저감 설계 능력과 결과를 확인하기 위한 신뢰할 수 있는 시험 및 평가능력의 확보와 실선 시험을 통한 결과 확보이다. 설계능력을 보유했다고 해도 시험을 통해 확인하지 못한다면 설계과정(예측 및 분석)이 제대로 수행되었는지 또는 설계결과가 올바른지 알 수가 없다. 우선, 수 많은 시험을 통해 실선에 대한 측정 자료를 확보하고 설계결과와 비교분석하여 설계과정에서 발생한 오류들을 바로 잡아야 한다. 그리고, 향후 예측 및 분석시 해석오차(측정치와 차이)를 고려하고 반영하는 작업이 이루어져야 한다.

마지막은 시험기법과 실선계측자료에 대한 DB 구축이다.

실험 및 계측장비를 구축하였다 하더라도 올바른 시험기법을 적용하지 않았다면 결과는 의미가 없기 때문이다. 함정 RCS 나 IR 측정시 상당한 시간이 소요된다. 해상은 시간에 따라 조수 간만의 차이가 존재하고 해상상태가 변하는 시변화(Time Variation) 공간이다. 또한 함정은 고정된 장소에서 360도 회전을 하면서 장시간 시험하는 것이 불가능하기 때문에 어느 정도 반경을 유지하거나 회전을 하거나 기동을 하게 된다. 이에 따라 시험소나 계측장비로부터 함정을 보는 시각이 달라지고, 함정은 해상상태에 따라 함 요동과 파도에 의한 반사 잡음들이 존재하게 된다. 따라서, 시험결과 분석시 이러한 오차 요소들을 반영한 프로그램을 개발하여 정확한 분석이 이루어져야 한다. 여기서 우리가 유의해야 할 점은 RCS/IR 예측 및 분석은 파도나 이에 대한 반사파의 고려나, 해상상태에 따른 함 요동은 고려하지 않고 해석을 한다. 따라서, 예측치와 측정치를 비교할 때는 오차가 발생하고 이를 고려해야 할 필요가 있다.

RCS/IR 저감 설계가 되었다 하더라도, 함정은 시간이 지날수록 신호형상은 변한다. 운용하면서 탑재 장비의 증가나 감소, 함정의 변형 혹은 적용된 흡수체의 노후화 등이 일어나 최초의 형상에서 변화가 일어나게 된다. 이에 대비하여 주기적으로 측정하여 신호형상에 대한 DB를 구축하고 관리를 함으로써 필요시 개선사항을 도출하고 수정작업을 수행하여야 성능 유지가 가능해진다.

4. 결론

함정의 스텔스(RCS/IR 저감설계)는 무형적인 기술의 개념에서 이제는 함정 방어수단의 일환으로써 보다 구체화된 개념으로 발전되고 있다. 물론, 대공 방어수단으로써 RCS/IR 저감 효과가 무기체계를 이용한 방어처럼 구체화되고 가시적인 결과를 제공하는 것은 아니다. 대함 유도탄의 탐지, 추적 및 호밍 확률을 감소시켜 전체적인 피격확률을 감소시키는 결과로써 나타나기 때문에 각국의 기술 개발 및 적용 노력이 상당히 활발히 진행되고 있다.

국내는 90년대 중후반부터 해군을 중심으로 함정 RCS/IR 저감 노력을 통한 스텔스 함정 확보를 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 국과연을 비롯한 학계, 연구소 그리고 조선소를 비롯한 방산업체는 관련 기술 개발을 위해 노력해 왔고, 이제는 국내기술만으로도 스텔스 설계를 할 수 있는 능력을 확보하게 되었다. 하지만, 저감 설계를 위한 전파 흡수 특수소재 분야는 아직도 추가적인 기술개발 노력과 적용 경험이 필요해 보인다.

RCS/IR 저감설계 결과를 확인하는 시험 및 평가 분야도 점

진적으로 발전을 추진하고 있어 가까운 시일 내에 완전한 능력 확보가 가능해질 것으로 판단된다. IR 분야는 이미 2009년 이후 시험 및 측정장비를 확보한 국과연이 지속적으로 지원해 주고 있으며, 시험평가 기법도 발전시켜 나가고 있다. RCS의 경우는 기본적인 장비를 갖추고 있지만 시험 신뢰성을 높이기 위해 신규장비 개발을 추진해 왔고, 2019년 말에 완료할 예정이다. 개발이 완료된 후 해상시험을 통해 성능이 입증되면 곧바로 실선 계측에 투입될 예정이다.

함정 스텔스 기술개발의 진행과 발전이 향후 어느 시기까지 지속될 것인가에 대한 답은 정확히 알 수는 없다. 대함 유도탄이 존재하고, 국지전의 가능성이 높아지고, 함정이 해상에서 활동을 멈추지 않는 한 지속적으로 발전할 것으로 예상된다. 국내에서도 이제는 특수성능 기반의 함정 설계에 보다 구체적인 규정과 절차를 확립하고 관련 기술을 개발하여 박차를 가할 필요가 있다고 생각한다.

참고 문헌

- 국방과학연구소 [함정 스텔스 워크샵 2008] 2008
- 국방과학연구소 해양기술원 5부 [해상시험장 시험능력 및 발전방향] (2018)
- 국방과학연구소 해양기술원 5부 [함정 적외선 신호특성 및 감소설계 요소] (2016)



김영주

- 1960년생
- 2003년 경북대학교 통신공학 박사
- 현 재 : 국방과학연구소 해양기술연구원 수석연구원
- 관심분야 : 전투체계공학, 해양시험평가
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : kyj0803@add.re.kr



김정호

- 1971년생
- 1996년 경북대학교 전파공학 석사
- 현 재 : 국방과학연구소 해양기술연구원 책임연구원
- 관심분야 : 해양시험평가, 적외선 스텔스
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : jhkim@add.re.kr



정회인

- 1970년생
- 1998년 부산대학교 전자공학 석사
- 현 재 : 국방과학연구소 해양기술연구원 책임연구원
- 관심분야 : 해양시험평가, RCS, 전자전
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : hijung@add.re.kr