

해상에서 적외선신호의 계측절차 및 분석기법 연구

조용진*

*동의대학교 조선해양공학과

A Study on Measuring Procedure and Analysis Technique of Ship Infrared Signature at Sea

Yong-Jin Cho*

*Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Dong-Eui University, Busan, Korea

KEY WORDS: Infrared signature measurement 적외선신호 계측, Measuring procedure 계측절차, Analysis technique 분석기법, Maritime meteorological environment 해양기상환경

ABSTRACT: A scale model test for ship Infra-Red signature measurements at sea is impossible, because it is sensitive to the environment. Since we can't control the meteorological environment of the real sea, it can't be carried out with the desired maritime environments. Therefore, in the sea, we made measurements of the weather, operating conditions of the ship, and ship IR signatures under given conditions, and then analyzed them. Conversely, we compared the results of the test with a prediction for a given scenario condition. This paper describes the test items, procedures, and measuring instruments of the experiments at sea and the results from basic researches for methods of estimation and analysis of the measured data.

1. 서 론

1800년 처음 발견된 적외선(Infrared, IR)은 파장대역에서 살펴보면 가시광선과 전파(RADIO/RADAR) 사이에 있는 전자기파(Electromagnetic wave)의 특성을 가지며, 가시광선의 광학특성과 전파로서의 전자파특성을 모두 가지고 있는 독특한 전자광학 파동(Electro-optical wave)이다. 지구상에는 주야를 불문하고 적외선 신호(Infrared signature)를 매체로 하는 정보가 흘러넘치고 있으나 대기 중의 수분과 탄산가스 등에 의해 산란·흡수되고 센서개발이 느리고 고가로 인해 일부 우주기술과 군사용으로만 사용되어져 왔다.

최근 들어 반도체 제조와 동일한 기술을 이용해 고성능 센서가 점차 저렴해짐으로 인해 적외선의 이용영역이 크게 확대되고 있다. 특히 적외선은 군사기술로서 야시경을 시작으로 첨단 유도무기인 미사일에 많이 채용되어 함정과 항공기에 주야간에 걸친 커다란 위협신호로 자리 잡게 되었다. 해상의 함정은 비교적 균일한 환경에 놓여 함정에서 발생한 적외선 신호는 이러한 적외선 유도무기에 좋은 표적이 되며, 결국 함정의 생존성을 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 따라서 최근 들어 적외선 신호 저감 기술은 레이더 반사단면적(Radar cross section) 저감기술과 마찬가지로 스텔스(Stealth)기술의 중요한 영역으로서 많은 주목을 받고 있다(조용진 등, 2004).

함정 적외선 신호는 표면특성과 온도에 의한 표면 자체의 방사신호와 환경으로부터 입사된 신호가 표면에 반사되어 나가는

신호의 합으로 나타나며, 표적으로부터 반사 또는 방사된 적외선 신호는 관측위치까지 대기를 통한 감쇠과정을 거쳐 관측기로 최종 신호(Radiosity)가 도달하게 된다.

이와 같이 적외선 신호는 주변 환경조건이 함정 표면온도를 결정하는 열전달 과정과 배경신호의 함정표면으로부터 반사와 열방사신호의 대기감쇠 과정을 통해 영향을 준다. 이로 인해 태양이 있는 주간에는 함정 방사신호는 환경에 많은 지배를 받게 되어 적절한 환경기상조건이 주어지지 않으면 올바른 함정의 적외선 신호를 얻지 못하게 된다(조용진 등, 2006). 다음의 Fig. 1은 주간에 함정이 받는 열적환경을 표현한 것이다.

이러한 해상환경에 대한 함정 적외선신호의 민감도 때문에

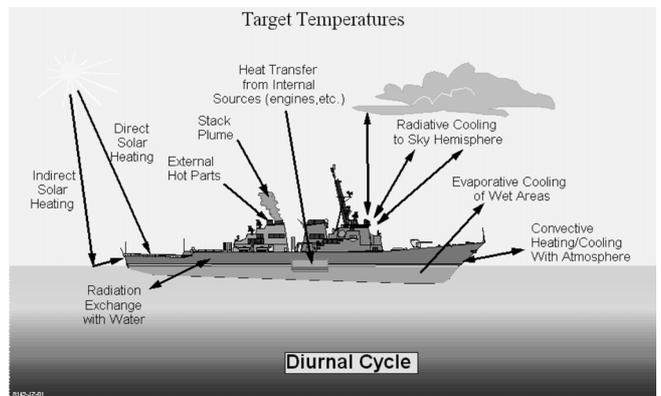


Fig. 1 Diurnal heat cycle around a ship at sea

모형시험은 불가능하며, 실선시험에도 많은 노력과 시간이 소요된다. 외국의 경우를 살펴보면 실선시험의 비용절감과 신뢰성 있는 실험기법개발을 위하여 NATO국가들은 공동연구를 수행하고 있는 것으로 조사되었으면 시운전에는 민감한 군사기밀로 인하여 정보교환 등에 많은 제약이 따르는 것으로 나타났다 (David and Doug, 1999; David, 2006; Doug and Lew, 2000).

본 연구에서는 국내의 연구 경험이 전혀 없는 함정 적외선 신호의 실험역 측정실험을 위한 사전연구로서 실험에 필요한 계측장비의 목록, 계측기법 개발, 측정결과의 분석방법 및 평가방법에 관한 방법론 개발을 위한 사전연구로 수행되었다.

2. 적외선신호 예측방법

실선시험에 대한 가상의 시나리오를 구성하고 시험절차를 연구하기에 앞서 함정 적외선 신호의 예측방법에 대한 검토와 도입된 소프트웨어에 대한 분석을 하였다. 일반적으로 신호예측은 함정 개발과정에서 스텔스 성능의 평가와 사전 검증을 하기 위하여 사용되고 있다. 전산기에 의한 해석은 세부적인 설계나 건조 이전에 일반적인 입력 변수를 연구할 수 있고 평가할 수 있도록 한다.

모형시험이 원천적으로 불가능하고 실험역 시험이 매우 까다로운 적외선 스텔스 기술도 예외가 아니다. 적외선 위협의 경우 실제 선박 플랫폼에 대한 실질적인 위협에 대한 시험적 평가는

물리적으로도 경제적으로도 많은 어려움이 따른다.

캐나다로부터 최초로 국내에 도입되어 사용 중인 해석모델 (ShipIR/NTCS)은 현존하는 해양 적외선분야의 모델링과 시뮬레이션 프로그램들 중에서 많은 국가에서 표준으로 채택하고 인정받고 있는 가장 정도 높은 모델로서 해석과정은 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다(David, 2002).

우선 사용자는 표적의 적외선 신호 해석을 위한 기본정보로서 해석 적외선 대역과 분광응답 등의 관측자 정보, 표적이 놓여있는 시공간과 기상정보, 그리고 표적의 형상, 표면재질 및 항해정보를 입력해야 한다.

이런 입력정보들을 이용하여 표준 대기모델(LOWTRAN/MODTRAN)에 의해 배경(Sun, Sky, Sea)의 방사량을 계산하고 아울러 표적의 형상정보와 폐기특성정보를 활용하여 폐기가스의 확산형상과 방사량을 계산한다. 그리고 배경 방사량, 폐기가스 방사량 및 사용자입력 특이점을 활용하여 Fig. 3과 같이 열평형상태의 표면온도와 방사량을 계산하여 표적 표면에서 방사되는 신호를 구한다.

결과적으로 시나리오 구성과 탐지하고자하는 센서의 위치와 적외선대역에 의하여 컴퓨터 모니터에 표적과 배경에 대한 온도분포 및 반사와 표면의 방사를 포함한 적외선(Radiosity) 영상을 구현하여 화면분석을 통해 Fig. 4와 같이 직접 적외선 신호량을 구하게 된다.

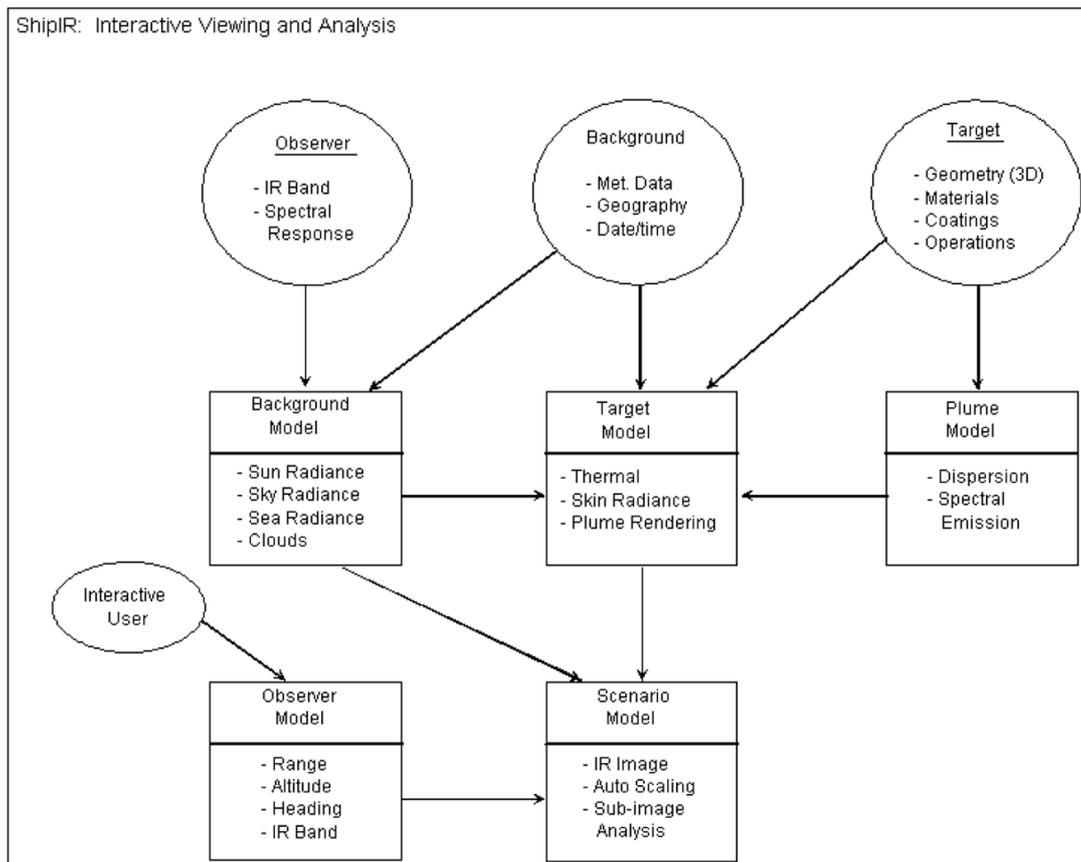


Fig. 2 ShipIR/NTCS interactive viewing and analysis

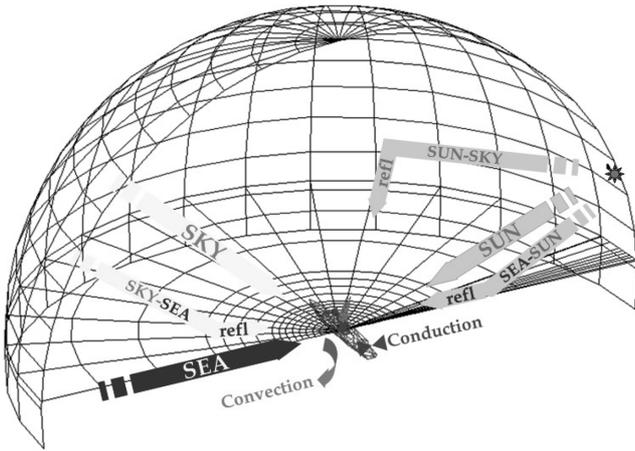


Fig. 3 Concept drawing of overall thermal sources at sea

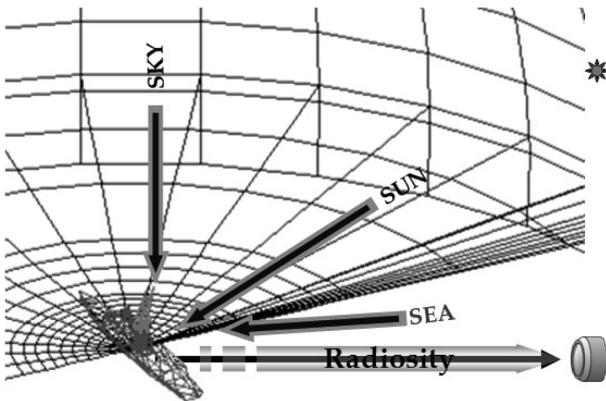


Fig. 4 Radiosity of ship's surface (Infrared signature)

이와 같이 해석모델(ShipIR/NTCS)은 함정과 같은 해상 표적의 적외선 신호, 그리고 본 논문에서는 설명이 생략되었지만 미사일 교전까지도 모델링과 시뮬레이션의 수행 가능하게 하는 완전 결정론적 물리모델(Fully deterministic physical model)이다.

3. 계측방법 및 절차

계측시험은 함정개발과정에 설정된 MWIR(3~5 μm)과 LWIR(8~12 μm) 두 대역에서 제안된 IR 신호기준의 만족여부를 실험에서 시험을 통하여 입증하고자 수행된다. 적외선 신호의 기준치는 함정 설계과정과 설계검증위원회를 통하여 제시될 것이며 전체 함정의 대비방사 복사량(Contrast radiance intensity)의 크기로 표현된다(조용진, 2005).

신호기준은 모든 계측의 방위각 그리고 함정과 상대적인 관측기 고도 범위가 모두 충족되어야 한다. 그리고 함정의 운용조건(순항상태 및 최대속력)에 대해 만족할 수 있도록 계획되어야 한다. 그러나 모든 함정운용 요구조건과 기상환경조건을 만족하는 상태의 계측시험은 불가능하며 주어진 기준조건을 만족하는 시나리오는 실험 시험기간에 만날 수가 없다. 즉, Fig. 5와 같이 기준조건과 동일한 시험조건을 만족시킨 상태에서 시험의

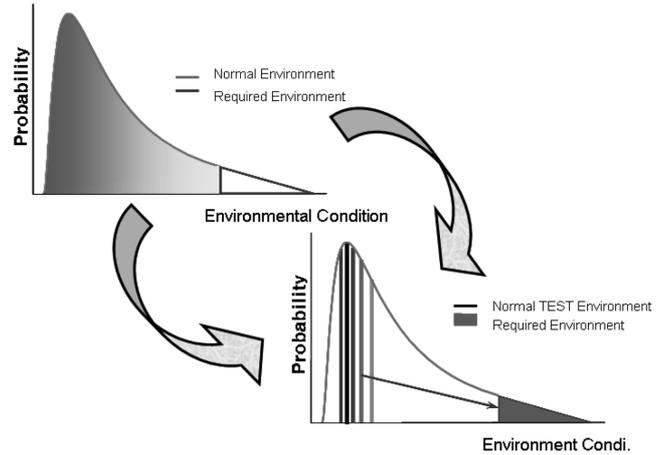


Fig. 5 Convert test conditions to required conditions

수행은 불가능하다. 따라서 이에 대한 환경차이를 보정하여 시험평가를 수행하여야 한다.

실험 시험당일의 계측된 방사신호와 환경조건을 정밀 계측하여 시험치 값과 동일운용/환경조건으로 예측모델에 의해 해석된 값과 비교함으로써 예측모델의 신뢰도를 평가할 수 있게 된다. 이를 바탕으로 실선계측 값과 소프트웨어 해석 값의 오차 크기가 기준 환경에서의 해석 값에도 동일한 비율(%)로 영향을 준다고 가정하여 평가하게 된다. 이와 같은 방법은 함정 적외선 방사신호의 계측평가에 해상 기상환경을 고려하면 최적의 대안으로 제안된다.

3.1 시험목적

실험에서 계측시험의 목적은 주요목적과 부가적인 목적으로 나눌 수 있다. 시험의 주요목적은 함정의 적외선 방사신호 기준치를 만족여부를 판정하기 위함이다. 그리고 부가적인 시험의 목적으로 설치된 저감장치의 성능, 발열센서의 방사신호, 태양가열 갑판의 해수냉각 효율성, 기만기의 효율성 그리고 기타 열원의 확인 등을 목적으로 시험이 수행된다.

이와 같은 시험의 주요목적을 달성하기 위해 요구되는 최소한의 시험조건은 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Required test condition

Conditions	Description
Test band	MWIR (3~5 μm), LWIR (8~12 μm)
Measuring elevation	Horizon (if possible)
Measuring azimuth	Around target
Weather condition	Non precipitation
Test range	500 m or 1,000 m
Target operation	Cruise and full-power

3.2 계측장비

함정 적외선 신호의 실험 시험에는 함정의 적외선 신호뿐만 아니라, 계측시험과 동시에 해양기상환경 및 각종 함정의 열

Table 2 Required measuring equipments

Equipments	Description
Infrared cameras	MWIR (3~5 μm) and LWIR (8~12 μm) image cameras with some lenses
Camera control computers	PCs for the control cameras and recording IR images
Weather station	Measuring the meteorological data
DGPS and LRF	differential GPS (for range) and Laser Range Finder
Exhaust gas analyzer	Measuring makeup gases from the target exhaust plume
Surface temperature recorders	Recording surface temperatures around the target
IRSS temperature instruments	Thermocouples (exhaust gas and metal temperature)
Acquired data computers	Measuring weather data and correction of measurements
Platform	Ship, airborne platform, or offshore(island)
Target ship	Representative prototype target ship

에너지에 영향을 미치는 자료를 수집하여 분석에 사용해야 한다. 이는 실해역 시험의 두 가지 목적을 충족시키기 위해 요구되는 계측항목이다. 이와 같은 계측시험을 통하여 함정 적외선 신호의 기준 만족여부의 판단과 적외선 위협 대응 기만기(Fare)의 효과를 부가적으로 계측할 수 있으며 예기치 않은 열원을 발견하고 제거할 수 있는 기회를 얻게 된다.

해상의 실해역 시험의 목표를 달성하기 위해서는 많은 전문 장비들이 필요하다. 항공기를 활용한 시험의 경우 시험에서의 적외선 신호, 함정의 운용조건, 기상 환경조건 등의 계측에 요구되는 장비는 Table 2에 정리하였으며, 모든 장비들이 반드시 갖추어야 한다. 그러나 이 모든 장비를 구입이 불가능한 경우에는 임대하여 사용할 수 있다. 그리고 일부는 조선소나 해군으로부터 직접 지원을 받아야만 되는 장비들이 있다.

전체 계측시험의 소요기간은 시험을 위한 장비의 셋업, 실해역 시험 이전의 사전계측, 본 시험과 이후 해체를 포함하여 대략 1개월 정도 소요되는 것으로 예상된다. 표적함정과 계측지원 플랫폼(선박 또는 항공기)은 계측을 시작하기 1주일 전까지는

필요하지 않을 것이고 실해역 시험의 수행기간에 한하여 필요하다. 중요한 점은 원활한 실해역 시험을 위해서는 각 분야의 경험이 충분히 축적된 기술진들이 반드시 필요하다는 것이다.

더욱이, 기상조건 계측장비, DGPS, 신호저감장치 계측장치, 계측지원 플랫폼과 표적함정은 시험기간 중에 완벽하게 운용대기 상태가 되어있어야 한다. 그리고 운용인원을 포함한 조선소와 해군의 지원이 반드시 필요한 항목이다.

일반적으로 모든 계측장비는 자체잡음에 의한 오류와 계측과정에 포함되는 오류를 포함한다. 시험과정에서 최적상태의 장비가 갖는 자체오류의 범위 안에 포함되도록 계측과정의 환경적 그리고 인적 오류를 최소화 하는 것이다. 그러나 이러한 최적상태는 기대하기가 어렵다. 대부분 장비들의 오류는 계측과정에서 도구의 정확성보다 더 큰 오류를 만들어 낸다. 일반적인 시중의 적외선 카메라는 온도에서 $\pm 2\%$, 그리고 방사에서 $\pm 8\%$ 범위 안에서 정확성을 갖는다고 알려져 있다. 그러나 사용과정에서 오차는 더욱 커질 것이다. 따라서 도구의 부적절한 사용에서 발생하는 오차를 줄이려는 보정노력이 반드시 필요하다.

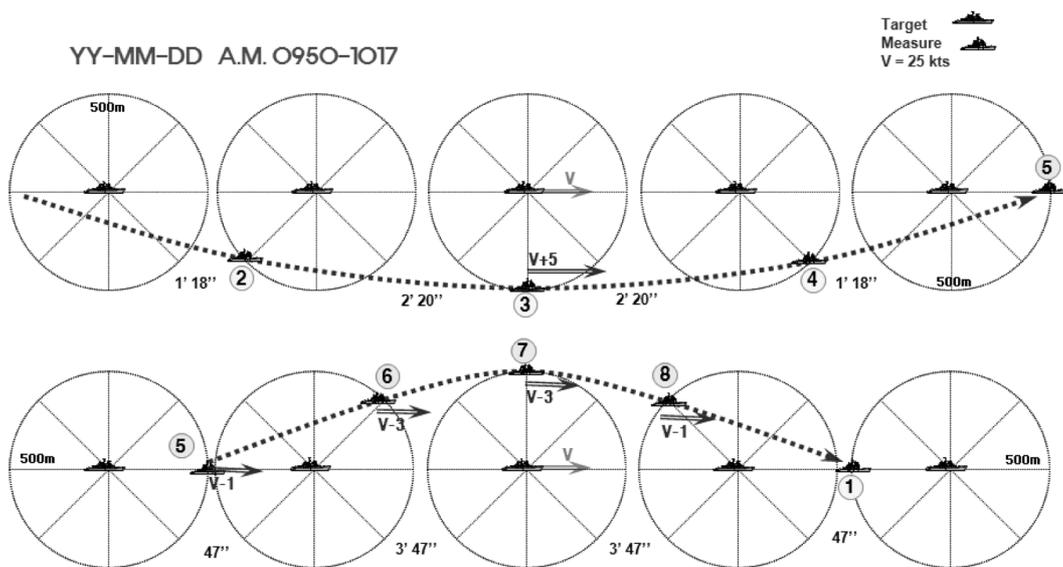


Fig. 6 Schematic of the ship-to-ship measurement test

3.3 계측절차

앞에서 언급했듯이 실험역 시험은 적외선신호 기준치 설정에서 제시된 환경조건과 동일한 조건에서 계측시험을 수행할 수 없다는 것은 분명하다. 더구나 환경차이는 제어가 불가능하고 그 차이도 매우 크다. 따라서 환경적 조건의 범위를 시험 이전에 미리 검토하여 시험일정을 사전에 검토하고, 운용조건을 이해하는 것이 시험을 원활하게 진행하는데 필수적인 요소이다.

실선계측의 방법에는 다음과 같이 계측하는 위치에 따라서 해상, 육상(해안), 항공의 3가지 방법으로 구분할 수 있다. 앞의 Fig. 6은 지원 선박을 이용해 표적선박의 주위를 돌면서 계측하는 선박에 의한 계측방법이고, Fig. 7은 해안이나 도서지역 또는 해양 고정좌표에서 계측하는 방법의 예제이며, Fig. 8은 항공기를 이용하여 표적함주위를 돌면서 계측하는 방법을 그림으로 도식화 하였다. 각 시험방법은 시험상황에 따라 적절한 선택이 이루어지고 시험방법과 절차에 대한 많은 시험경험을 요구하게 된다.

함정의 적외선 신호에 영향을 미치는 해양기상환경 변수는

풍향, 풍속, 해수 온도, 대기온도, 대기와 해수 온도 차, 이슬점 온도 등이다. 이러한 환경변수는 함정의 전체신호에 중요한 영향을 미치는 기상환경변수로, 시험과정에서 지속적인 정밀한 계측이 요구된다.

시험절차는 지원함정에 의한 계측의 예로 시운전 이전과 시운전 그리고 시운전 이후의 3단계로 분류하여 논의할 수 있다.

(1) 시험이전: 시험날짜와 실험역 위치, 시험장비 확보, 적외선 카메라 및 보정자료 확보, 환경자료 및 기타 계측장비의 특성자료 확보 및 보정, 사전시험으로 적외선 영상의 기록과 확인, 시나리오 작성 및 관련협의, 시험계획의 교육 및 숙지, 각종 자료의 지원서함정에 설치, 표적함정의 계측장비 설치, 시험인원과 훈련 및 육상시험, 사전점검 및 최종 확인시험 등을 수행한다.

(2) 시험단계: 시험목적을 위한 계측수행, 기상과 장비상태 확인, 일일 시험계획의 수립, 계측과정 순차적 시나리오 준비, 계측자료 및 장비의 안전점검, 일일자료의 점검을 수행한다.

(3) 시험이후: 계측장비의 분리 및 정리, 자료의 분류정리, 대비복사 신호강도(Contrast radiant intensity)로 분석, 해석에 필요한 모델변수의 생산, 시험조건과 동일조건에서 해석을 수행한다.

4. 신호분석 및 평가방법

4.1 계측신호 분석방법

시험을 통해 얻어진 자료 중에 가장 중요한 것은 적외선 이미지들이다. 계측된 방사신호는 적외선 카메라를 이용하여 얻어진 이미지를 화상분석을 통하여 원하는 대비복사 신호강도(CRI)로 치환하여 함정의 신호값을 얻어야 한다.

적외선 카메라의 특성을 최대한 사용하여 정도 높은 영상을 얻기 위하여 일반적으로 표적함의 표면 온도분포를 고려하여 카메라의 노출시간(Integration time)을 조절함에 따라 동일 밴드대역(MWIR 또는 LWIR)에서 2~3개의 이미지를 얻게 된다. 이렇게 함으로써 표적함의 영상의 온도분해능이 향상된다. 이와 같이 한개 이상의 영상을 갖는 경우는 적절히 영상을 온도대역별로 조합하여 최종적으로 백화현상이 일어나지 않는 최적 영상을 갖도록 후처리를 한다. 그리고 모든 적외선 카메라는 도입 당시의 제조자에 의해 미리 입력된 획득된 이미지의 준위(Digital level)와 복사량과의 보정곡선이 존재하게 된다. 그러나 이 곡선은 시험조건과 다른 표준조건의 곡선으로 적당한 범위의 흑체(Blackbody)가 있다면 시험조건을 예상하여 알맞은 보정(Calibration)의 과정을 거쳐 오차를 줄일 수 있도록 향상된 보정곡선을 입력할 수 있게 된다.

실험역 시험을 통해 얻어진 적외선 영상은 디지털 값으로 표현된 2차원의 배열의 수치 값으로 치환할 수가 있다. 이 수치는 보정곡선의 척도를 활용하여 표적이나 배경으로부터 입력된 각 최소 공간분해 단위인 순간 시야각(IFOV, Instantaneous field of view)의 입력신호이다. 획득된 영상자료 화면은 표적신호와 배경신호가 함께 표현이 되어 복사량으로 표현이 되어있다. 이러한 경우 표적인 함정의 신호와 배경의 복사신호를 분리 추출하는 것이 필요하다. 이를 위해 가능한 배경부분과 표적함을 서로 분리하여 표적함의 방사신호를 계산한다. 그리고 이미지의 수평 화소(Pixel)에서 표적함을 제외한 배경영상의 평균 신호값을 계산한다.

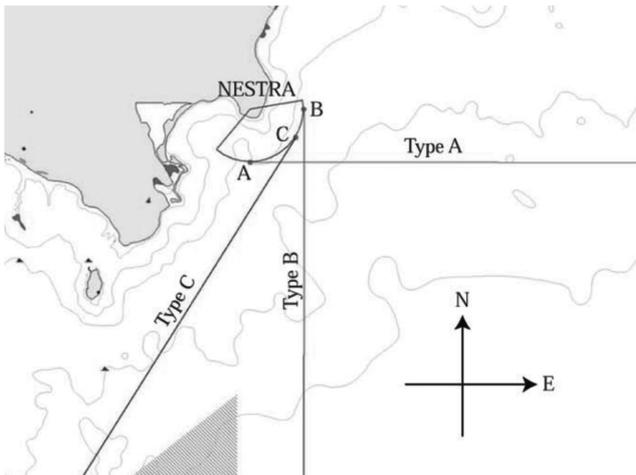


Fig. 7 Map of the coast area with the running geometries

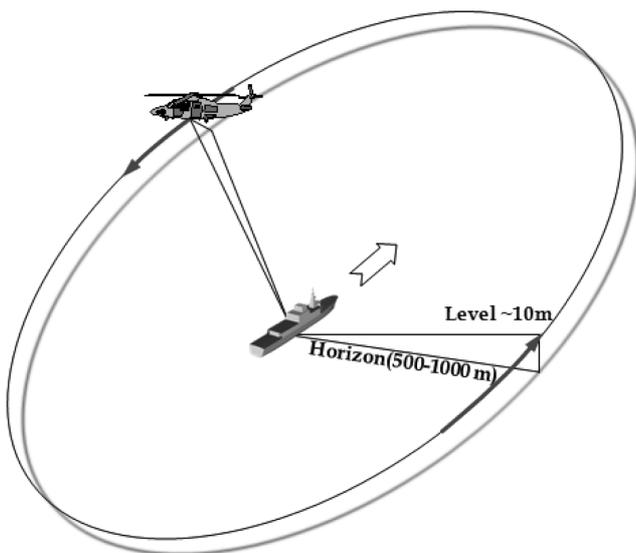


Fig. 8 Schematic of measuring circuit by helicopter

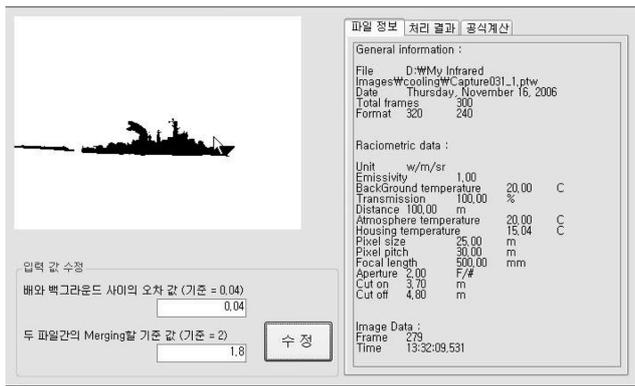


Fig. 9 IR signature analysis software

적외선 영상의 표적함이 차지하는 화소들의 복사량에서 동일 수평 화소에 위치한 배경의 복사량을 뺀 것은 표적함의 특정 화소에서 대비복사량(Contrast radiation, W/pixel-sr)이다. 계측 순간의 표적함과 적외선 카메라의 거리정보를 이용하여 화소의 면적을 계산할 수 있고, 획득된 적외선 영상의 전체에 대하여 이와 같이 적분을 하게 되면 표적함의 대비복사신호강도(CRI)를 계산할 수 있게 된다.

위의 Fig. 9는 실선 실험을 통해 얻은 적외선 영상을 신호값으로 분석하는 예를 보여준다.

4.2 계측신호 평가방법

계측된 대비복사강도의 예측치와 비교하기 위해서 역(Inverse)으로 수집 계측된 해양기상자료 및 함정의 운항정보를 포함한 취득된 자료를 기준으로 해석모델(ShipIR/NTCS)에서 시험당시의 예측 대비복사강도를 계산한다.

이렇게 실험적 시험 분석된 대비복사 신호강도(CRI)값과 시험환경과 운용환경에서 수집된 자료를 기준으로 다시 해석모델(ShipIR/NTCS)에 의한 예측값 사이의 오차를 평가하여 예측모델의 신뢰성을 평가할 수 있다.

예측값과 시험값과의 오차를 비율로 기준치가 설정되는 환경기준에서의 예측된 신호값에 포함시키므로써 설정된 기준치의 만족 여부를 평가할 수 있다. 이러한 계측시험은 다양한 환경과 많은 시험을 수행하여 계측에 의한 시험값과 모델에 의한 해석과의 오차자료를 많이 축적하여 신뢰도를 높여 나가야 된다(조용진, 2005).

가다로운 시험과정과 역(Inverse) 해석과정을 거쳐 결과분석을 수행함으로써 많은 시간과 비용이 소요된다. 외국의 업체로부터 견적을 받은 결과에 의하면 실선시험과 분석에 소요되는 시간은 최소 6개월에서 8개월 이상이 소요되고 순수한 시험과 해석에만 최소 50만 달러 이상의 비용이 소요되는 것으로 조사되었다.

5. 결 론

지금까지 함정 적외선 신호의 실험적 시험의 방법과 절차를 살펴보고 실험결과를 분석하는 방법과 절차에 대하여 초기 실험연구로서 조사연구를 수행하였다. 함정의 적외선 신호 계측은 기상환경의 제어가 불가능하여 매우 까다롭고 복잡한 시험

으로 많은 비용이 요구되며, 시험을 위한 대규모 인원의 동원과 결과분석과 사전준비에 많은 시간의 투자가 요구된다.

그리고 시험의 참여하는 연구진의 구성은 필연적으로 군(항공요원포함)과 함정건조업체의 시험연구진을 포함하여 국방기술 연구기관 등이 참여하는 군산학연의 공동협조체계의 구축이 절실하다고 판단된다.

현재 국내에서 최초로 수행된 2006년 말 실선 실험적 시험을 통하여 경험의 필요성과 높은 난이도의 시험으로 인해 시나리오에 의한 충분한 예행연습이 필요함을 알 수 있었다. 특히, 국내 경험의 축적이 이루어지지 않은 상황에서의 처음 접하는 시험은 실패와 시행착오라는 희생을 요구하게 된다.

결론적으로 시험에 시간과 비용의 절감을 위해서는 많은 사전연구와 훈련을 통하여 간접적인 경험을 충분히 쌓고 충분한 인적구성이 필요한 전문가그룹의 구성이 필요하다고 판단된다. 즉, 국내 기술적 경험을 가진 연구진의 협력체계 구축이 가장 필요한 사항이라 할 수 있다.

후 기

본 연구는 동의대학교 교내일반연구과제(2008AA197) “적외선 신호 계측절차 및 분석기법 연구” 결과의 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 조용진 (2005). 함정 적외선(IR)의 측정 및 평가, 시험평가발전 세미나 발표자료, 해군본부 전투발전단, 계룡시.
- 조용진, 문일성, 김상현, 이영연, 박병재 등(2004). 해양환경 변화에 따른 적외선 신호 특성 예측 연구, 해군조함단 기술용역보고서.
- 조용진, 박철수, 안종우 (2006). “함정적외선(IR) 신호의 계측절차 및 분석기법 연구”, 한국군사과학기술학회 2006종합학술대회, 인하대학교, 인천, pp 676-679.
- David. A. Vaitekunas and Doug S. Fraedrich (1999). “Validation of the NATO-Standard ship Signature Model (SHIPIR)”, SPIE Targets and Backgrounds: Characterization and Representation V, Orlando, Florida, pp 92-102.
- David A. Vaitekunas (2002). Technical Manual for ShipIR/NTCS(V2.9), W.A. Davis Engineering Ltd.
- David A. Vaitekunas (2006). Validation of ShipIR (v3.2): Methodology and Results, the SPIE Defence and Security Symposium, Gay Palms Resort and Convention Center, Orlando, Florida.
- Doug Fraedrich and Lew Goldberg (2000). “A Methodological Framework for the Validation of Predictive Simulation”, European J. of Operation Research, Vol 124, No 1, pp 55-62.

2009년 4월 22일 원고 투고

2009년 5월 19일 심사 완료

2009년 6월 22일 게재 확정