

거제도 인근해상에서 운용되는 함정의 적외선 신호 변화 특성에 대한 연구

길태준¹⁾ · 김태국^{*2)}

¹⁾ 방위사업청

²⁾ 중앙대학교

Study on Infrared Signature Variations of a Naval Ship Operated at sea Near Geoje-do Island

Tae-Jun Kil¹⁾ · Tae-Kuk Kim^{*2)}

¹⁾ Defense Acquisition Program Administration, Korea

²⁾ Chung Ang University, Korea

(Received 1 November 2013 / Revised 7 January 2014 / Accepted 17 January 2014)

ABSTRACT

It is essential to understand the infrared signature of a naval ship to survive against various missile attacks under variable environmental conditions. As guided missiles are developing to equip more accurate IR seekers, research works for countermeasure and IR stealth technology are strongly required. But challenging works are continuously suggested for predicting and analyzing IR signal status of naval ships to achieve low observable performance under various weather conditions, variable missions and developing threats. In this study, overall guidelines of setting design criteria for low observable ships are proposed by considering varying environmental conditions including daily and seasonal variations. Test and evaluation criteria for newly constructed ships for target and background temperature difference is proposed as a design criteria which can be predicted by change of condition and ship's speed. Through the proposed techniques and procedures, it is expected to establish the measurement and evaluation criteria by using temperature, IR Signal differences between the ship and the background

Key Words : IR Design Criteria(적외선 설계기준), Contrast Radiance(복사대비값), Surface Temperature

1. 서론

최근의 해양 전장 환경에서는 적외선 탐색기를 탑재한 다양한 종류의 미사일들이 운용되고 있다. 적외선 유도미사일의 탐지성능 향상은 다양한 운용조건에서 함정의 생존성에 큰 영향을 미치는 요인으로 작용

* Corresponding author, E-mail: kimtk@cau.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

되고 있으며, 반면에 위협으로부터 함정을 보호하기 위해 저피탐 설계기법이 적용된 함정이 설계되고 있다. 그러나 이러한 저피탐 설계를 적용하거나 다양한 운용조건에서 나타날 수 있는 신호를 파악하기 위해서는 함정표면온도를 예측하고 분석하는 것이 가장 먼저 이루어져야한다^[4]. 이러한 표면온도에 영향을 미치는 인자들에는 다양한 기상변수(대기온도, 풍향속, 태양, 운량, 습도 등)가 있으며, 이러한 기상인자들의 실시간 변화에 따른 온도와 신호특성을 모두 고려하여 설계를 위해 필요한 신호의 목표 수치를 정하는데 어려움이 있다. 이러한 기상변수들은 함정의 운용상태와 배경조건에 따라 적외선 신호의 불규칙적인 변화 특성을 야기하며, 향후 함정의 적외선 방사특성을 실측하여 평가할 때 이와 같은 모든 기상조건(대기온도, 풍향속, 태양, 운량, 습도 등)과 운용조건을 적용하여 함정의 신호를 계측하는 것은 현실적으로 어려운 문제가 있다. 기존의 해석을 위한 기상조건 적용방식은 미 해군의 NMCAW자료(U.S Navy marine climate atlas of the world, 1995)를 활용하였고^[1] 외부 기상조건이 정적인 열적평형이 이루어지는 정상상태를 가정하고 있다^[2]. 그러나 적외선 신호를 구하기 위한 표면온도를 구할 때 주요 환경조건들이 시간에 따라 표면온도 특성이 변화되는 비정상상태를 고려하지 못하고 있는 실정이다. 기존에 연구된 바와 같이 적외선 신호를 해석할 때 표면온도의 비정상상태 특성을 고려하여 적외선 신호를 파악하기 보다는 외부기상조건을 정적인 열적 평형이 이루어지는 단일의 환경조건을 제시하여 적외선 신호를 파악하는 것에 초점을 두고 연구가 이루어져왔다^[1,2]. 그러나 실제 표면온도의 시간에 따른 변화가 크게 나타나고 있는 점을 고려했을 때^[3] 실제 조건에 맞게 해석조건을 개선할 필요가 있다. 본 연구에서는 해석방식의 개선을 위한 새로운 방안을 모색하기위해 시간에 따른 표면온도의 변화와 적외선신호 변화간의 관계성을 파악하였다. 이와 유사한 연구로 여러국가에서 변화되는 기상조건이 배경과 표적의 신호에 미치는 영향에 대해 지속적인 연구를 수행하고 있으며, 노르웨이에서는 실험선을 통해 적외선신호의 모델링과 실측간의 차이를 검증하였으며 약 20~95%가량 차이가 발생될 수 있음을 파악하고 해석수행시 급격히 변화되는 기상조건을 반영할 필요성을 확인한 바 있다^[6]. 독일, 벨기에 등에서는 해석과 계측간의 오차를 저감하기 위해 적외선 신호해석 SW를 개발하는 데에 CUBI테스트와 미국의 검증

된 프로그램인 RadThermIR과 비교하여 표면온도 예측 결과의 정확성을 검증하였다^[5]. 본 연구에서도 함정과 배경간의 변화되는 적외선신호 특성연구를 통해 향후 함정의 적외선 신호 목표치를 설정하는데 필요한 연구를 수행하였다. 적외선 신호 실선 계측 시에도 외부 기상특성과 시간변화에 따른 적외선 신호의 변화가 나타날 수 있으며 향후 평가 및 검증을 수행시 적용이 가능한 기준을 설정하는 방안을 연구하였다. 표면온도는 변화되는 기상변수인 대기온도, 태양복사, 운량 및 풍향/풍속 등이 반영되어 결정되는 값이다. 또한, 기상특성에 따라 변화되는 표면온도를 적외선 신호 평가를 위한 기준인자로 활용하였으며, 시간 및 기상변화에 따른 비정상상태 열전달해석을 위해 상용 S/W인 RadThermIR^[7]을 활용하여 표면온도를 계산하였다. 계절별 신호변화 특성을 파악하기 위해 거제도 앞 바다에서 계측된 매시간 기상 데이터를 활용하여 1월과 8월을 대상으로 해석하였으며 이를 파장별 적외선 영상으로 변환하여 계절에 따라 각각 나타날 수 있는 파장별 신호량을 구하였다.

2. 이론적 배경

2.1 비정상상태 열전달 해석

표적의 표면온도는 식 (1)의 에너지 평형방정식에 따라 결정된다. 방정식은 3차원 표적의 표면온도에 대한 비정상상태의 계산을 위한 수식이다^[6].

$$MC_p \left(\frac{dT_s}{dt} \right) = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{solar} + Q_{sky} + Q_{emiss} \quad (1)$$

여기서, T_s 는 표적의 표면온도이며 t 는 시간이다. M , C_p 는 주어진 요소의 열용량과 비열이며, Q_{conv} 와 Q_{cond} 는 전도와 대류 열전달량이다. Q_{emiss} 는 표적의 표면에서 방출되는 복사에너지이며, Q_{solar} 는 직사성분과 확산성분을 포함한 태양복사에너지이다. Q_{sky} 는 천공에서 방출되는 복사에너지를 의미하며, 기상상태에 따라서 크게 변한다. 본 연구에서는 매시간 변화되는 실제 계측결과를 반영하기 위해 태양에너지의 직사성분과 확산성분의 계측결과를 활용하였다. 식 (2)는 표면적이 A_s 인 요소에 작용하는 태양복사량을 반영하기 위한 수식이다. α 는 물체표면의 흡수율로서 표면의 광학물성이다.

$$Q_{solar} = \alpha A_s (q_{solar,direct} + q_{solar,diffuse}) \quad (2)$$

식 (2)에서 $q_{solar,direct}$ 는 태양의 복사에너지가 대기권에서 산란, 굴절, 편광되지 않고 지표면에 곧바로 도달되는 직사성분을 의미하며, $q_{solar,diffuse}$ 는 지구 대기권에서 수분, 공기입자, 공해물질에 의해서 산란된 형태의 복사에너지인 확산성분을 의미한다.

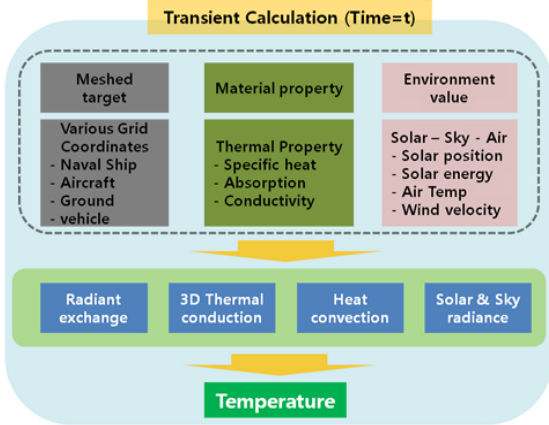


Fig. 1. Procedure for Transient Temperature Prediction

식 (2) 시간에 따라 변하는 주변환경의 영향으로 물체의 표면온도는 지속적으로 변하게 되며 이러한 온도변화는 식 (1)을 근간으로 하여 Fig. 1에 나타낸 절차에 따라 구축할 수 있다.

2.2 파장별 적외선신호

적외선은 파장별로 MWIR(Mid-Wave Infrared, 3~5 μm)과 LWIR(Long-Wave Infrared, 8~12 μm)대역에서의 영상으로 생성될 수 있으며, 영상에 나타나는 에너지는 주로 표면온도와 물체의 광학물성의 영향을 받는다. 적외선영상을 구성하는 전체 에너지는 물체표면 자체에서 방사되는 에너지, 태양에너지가 표면에서 반사되어 나오는 에너지 등으로 구분되며 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다^[9].

$$L_{sensor} = L_{self-emitted} + L_{reflected} \quad (3)$$

여기서, $L_{self-emitted}$ 는 물체의 표면온도에 따라 자체 방사 복사에너지, $L_{reflected}$ 는 표면에서 반사되어 센서로 입사되는 표면반사 복사에너지이다.

2.2.1 자체방사 복사에너지

표면에서 온도에 따라 자체적으로 복사에너지가 방출되어 센서에 도달하는 자체 방사 복사에너지 ($L_{self,emitted}$)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{self,emitted} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{self,emitted}(\lambda) \cdot \psi(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

여기서, $L_{self,emitted}(\lambda)$ 는 표면온도에 의해 자체적으로 방출되는 파장별 복사에너지, $\psi(\lambda)$ 는 센서의 파장별 반응률이다. 본 논문에서는 센서의 파장별 반응률은 고려하지 않았다($\psi(\lambda) = 1.0$ 으로 가정).

2.2.2 표면반사 복사에너지

외부 광원인 태양복사에너지(Solar irradiance) 및 대기 복사(Sky radiance)가 표면에서 반사되어 센서로 들어오는 복사에너지($L_{reflected}$)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{reflected} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(\theta, \phi, \lambda) L_{reflected}(\lambda) \cdot \psi(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

여기서, $\rho(\theta, \phi, \lambda)$ 는 물체 표면의 분광 반사율(spectral reflectivity)을 나타내며, 천정각(zenith angle, θ)과 방위각(azimuth angle, ϕ), 그리고 파장(λ)에 따라 다른 값을 갖는다. 함정 표면에서 반사되는 파장별 복사에너지 ($L_{reflected}(\lambda)$)는 대기 복사 및 태양 복사에 의한 영향으로 구분할 수 있다.

2.3 복사대비값 계산

복사대비값(CRI : Contrast Radiant Intensity)은 영역별 적외선신호의 평가에 사용되는 인자로 함정 전체의 복사강도를 분석할 때 함정 전체 면적을 기준으로 주변 환경과의 대비값을 계산하는 것이다. 따라서 센서에서 실질적으로 인식하는 신호인 CRI는 함정 표면에서 나오는 총 복사강도와 배경 즉 바다와 하늘에서 방출되는 총 복사강도의 차이로 나타내며 다음과 같이 정의된다^[8].

$$\Delta CRI = |I_{target} - I_{background}| \quad (6)$$

여기서, target은 함정을 나타내며, background는 해수면(sea) 또는 하늘(sky)을 말한다. 그리고 I 는 복사

강도(W/sr)를 나타내며, 식 (7)와 같다.

$$I = \int_A L \cos\theta dA = \sum_{i=1}^N L_i \times \cos\theta \times \Delta A_i \quad (7)$$

여기서 ΔA_i 는 픽셀 i 에 대한 투영 면적을 나타내며, N 은 영역 내의 총 계산 픽셀 수를 뜻한다.

3. 적용조건

3.1 적용 모델 및 위치정보

본 논문에서는 임의의 3차원 시험선 형상 모델을 이용하여 온도 및 적외선 영상을 분석하였으며 고려된 시험선 3D모델은 Fig. 1과 같으며, 고려된 모델의 격자수는 17,126개이다. 표면온도 분석에 필요한 재질은 전부 주철(열 전도율 : 52.019W/mK)로 가정하였으며, 적외선신호 분석에 필요한 페인트는 질은 회색으로 해석수행시 적용된 표면페인트의 광학적 특성은 Fig. 4에 나타내었다.

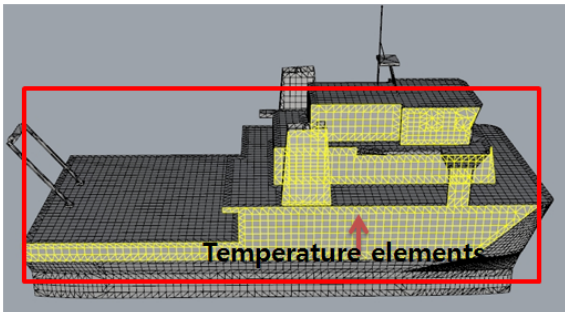


Fig. 2. 3D Model and Temperature data elements of the test Ship

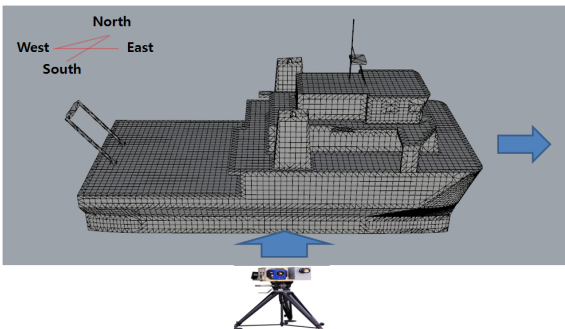


Fig. 3. Observation and Direction of the test Ship

이 도포된 것으로 가정하였다. 내부열원인 엔진은 별도로 고려하지 않았다.

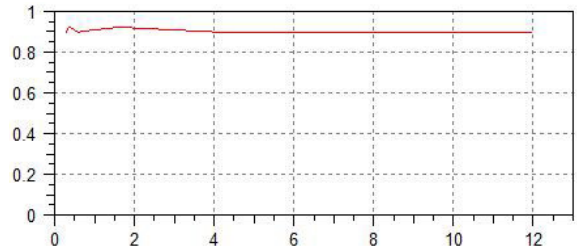


Fig. 4. Material Optical Property

3.2 해석조건

3.2.1 기상조건

기상조건은 거제도에 위치한 기상청 측정 자료를 기반으로 하였으며, 함정과 배경간의 매시간별 비정상상태 해석수행을 위해 겨울은 1월 1일부터 1월 31일 까지 여름은 8월 1일부터 31일까지 1시간 간격(총 1,488 시간)의 기상데이터를 이용하였다. 본 논문에서는 언급된 바와 같이 기존에 적용중인 방안에 대한 개선을 위한 연구로 한 달중에 나타날 수 있는 적외선 신호의 차이가 크게 나타나므로^[10] 단순한 수치로 목표치를 제시하는 기존의 방식을 개선하기위한 연구를 수행하였으며 매시간별 해석을 위해 적용된 1월, 8월 기상조건은 Fig. 5~8에 나타내었다. 상용S/W해석을 통해 습도, 풍속, 대기온도 등 기상변수를 모두 적용하였다. 각 월의 매시간 계측된 배경온도 데이터는 1월과 8월에 Fig. 8과 같은 특성을 나타남을 확인하였다. 함정의 적외선

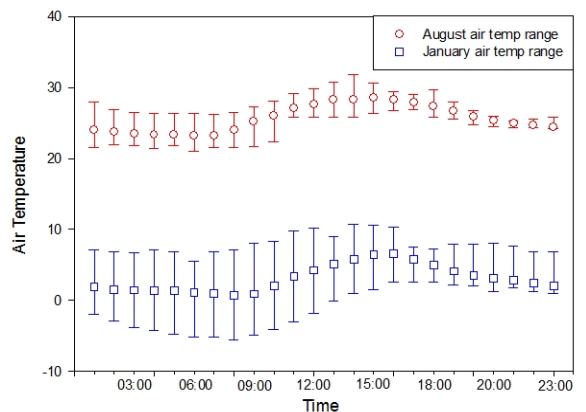


Fig. 5. Diurnal Air temperature range on August and January

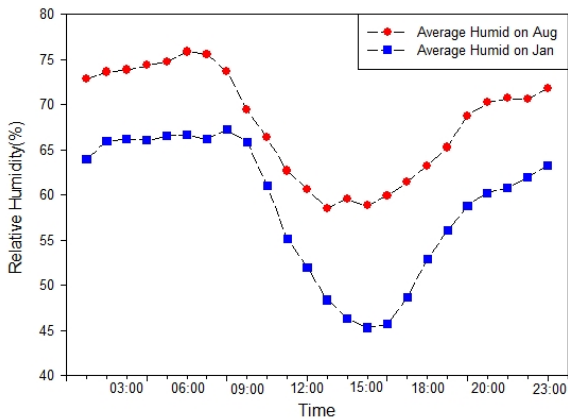


Fig. 6. Diurnal Humidity range on August and January

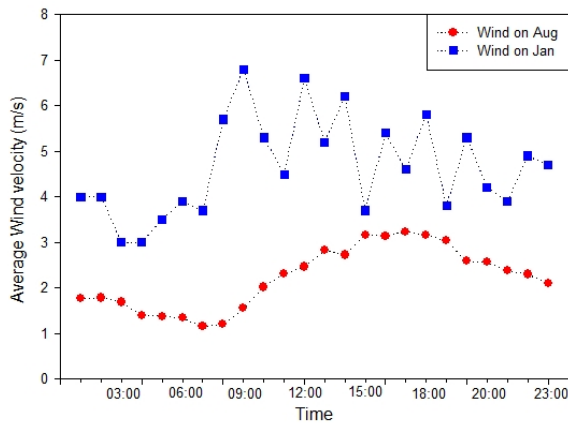


Fig. 7. Diurnal average wind velocity on August and January

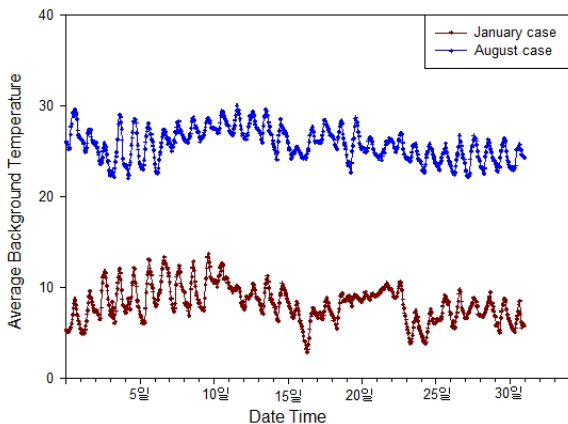


Fig. 8. Diurnal average background temperature on August and January

영상을 생성하기 위하여 표면온도를 계산하였으며, 표면온도는 함정이 정지해 있을 때(0kts)와 운항 중일 때(18kts)의 비정상상태 변화특성을 확인하기 위해 1월, 8월 1시간 간격으로 계산하였다.

또한, 표적과 배경간의 온도차에 따른 적외선 영상의 변화특성을 파악을 위해 함정과 배경간의 온도차이를 적외선신호의 크기를 파악하기 위한 조건으로 활용하였다.

Table 1. Background Temperature ranges

구 분	January	August
Max Temp	14.10°C	30.6°C
Mid Temp	8.45°C	25.1°C
Min Temp	2.70°C	19.6°C

3.2.2 센서 조건

함정 표면온도 및 주위 배경온도에 대해 최대, 중간, 최소온도를 파악하고 각 조건을 조합하여 적외선 영상을 생성하였다. 적외선 영상 생성시 센서의 위치는 고도 0°, 방위각 180°, 거리 1km를 적용하였으며, 중적외선 영역(MWIR, 3~5 μ m)과 원적외선 영역(LWIR, 8~12 μ m)에 대하여 분석하였다.

Table 2. Applied sensor conditions

항목	분석조건
파장 대역	MWIR(3~5 μ m), LWIR(8~12 μ m)
관측 방위/고도각	90°/0°(동쪽, 선수 : 남쪽)
관측 거리	1km
IR 영상 해상도	640 × 480 pixel
Camera FOV	11° × 8°

4. 정량적 분석

본 연구에서는 겨울과 여름의 각각 한 달간 나타날 수 있는 적외선 신호의 변화량을 분석하였다. 그 이유는 표면온도가 심하게 변화하기 때문에 한 달간 나타날 수 있는 적외선 신호량을 단순히 하나의 수치만으로 정의할 수 없기 때문이다. 기존에 적용중인 방식은

외부 기상조건을 열적평형상태로 가정한 해석방식이며^[4], 이러한 조건에서는 1월과 7월의 특정시간 및 기상조건에 대하여 분석하였으나 변화되는 기상조건이 반영되어있지 않아 향후 이를 평가 및 검증할 때 해당되는 시간, 대기온도, 풍향풍속 등의 기상조건과 동일하게 맞추려면 변화가 심한 기상조건하에서 열적평형에 도달하는 상태를 기다려야 하므로 현실적으로 이들 조건을 만족시키는 것은 거의 불가능하다[4]. 따라서 좀 더 실질적으로 검증이 가능하도록 하기위해 표면온도의 시간별 변화특성을 적외선 신호와 연계하여 해석하는 것이 가능한지를 모색하기 위한 연구를 수행하였다. 따라서, 함정에 대한 적외선 신호의 목표치는 이러한 과도상태의 온도변화를 감안하여 함정 모든 위치에서의 표면온도가 항상 이 목표치 이내에 들어가도록 설정할 필요가 있다.

4.1 표면온도 분석

시간에 따른 온도변화 분포는 RadThermIR을 활용하여 계산하였으며, 배경과 함정의 온도차이변화를 파악하였다. 이때 함정 속도와 배경의 온도특성은 실질적인 신호를 결정하는데 중요한 요인이 된다. 따라서 함정의 속도에 따른 함정과 배경간의 온도차이를 비교하였다. 표면온도는 동쪽으로 이동하는 함정 우현의 평균온도를 고려하였으며, 1월의 경우 태양의 영향을 받는 우현 방향에 대해 정지상태인 경우 온도가 -3.3~38.4℃의 범위에서 온도를 보였으며, 함정이 18kts로 이동중인 경우 -4.2~28.8℃의 평균온도를 나타내었다. 배경인 대기와 해양온도는 Fig. 9에서 2.7~14℃의 평균온도를 보였다. 반면에 여름에 해당되는 8월의 경우 함정이 정지중 일 때 표면온도는 18.9~46.96℃, 18kts로 이동시에는 18.8~38.2℃의 평균온도를 나타내었다. 배경에 해당되는 대기와 해양온도는 19.6~30.6℃의 평균온도를 보였다. 본 연구에서는 이러한 함정과 배경의 온도를 활용하여 시간별로 변화되는 함정 복사대비 신호의 범위를 파악하기 위해 매시간 함정의 표면온도와 배경의 온도차이를 계산하였다. 1월과 8월에 대해 함정 표면온도와 배경온도간의 차이를 매시간별로 계산한 결과를 Fig. 9, Fig. 10에 나타내었다. 1월중에 표면온도와 배경간의 온도차이가 가장 크게 나타나는 시기는 함이 정지 중에는 1월 5일에 38.4℃이며 가장 작게 나타나는 시기는 1월 17일에 -3.3℃로 함이 이동 중에 가장 크게 나타나는 시기는 1월 14일에 28.8이며 가장 작게 나타나는 시기는 1월 17일에 -4.27

℃로 이동중인 경우 발생하는 신호의 크기가 상대적으로 더 낮은 범위에서 나타남을 확인하였다. 8월중에 표면과 배경간의 온도차이가 가장 크게 나타나는 시기는 함이 정지 중에는 8월 15일 49.96℃이며 가장 작게 나타나는 시기는 8월 28일에 18.9℃로 함이 이동 중에는 8월 13일에 38.2℃이며 이동 중에 가장 작게 나타나는 시기는 8월 28일에 18.8℃로 이동중인 경우 발생하는 신호의 범위가 상대적으로 더 낮은 범위에서 나타남을 확인하였다. 이와 같이 함정과 배경간의 시간별 온도차이는 온도의 영향을 받는 적외선 영상을 파악하는데 필요한 데이터이며 Fig. 9, 10과 같이 한달간의 온도차이가 매우 다양하게 나타날 수 있음을 파악하였으며 적외선 신호의 변화특성에도 영향을 줄 수 있을 것으로 파악하였다.

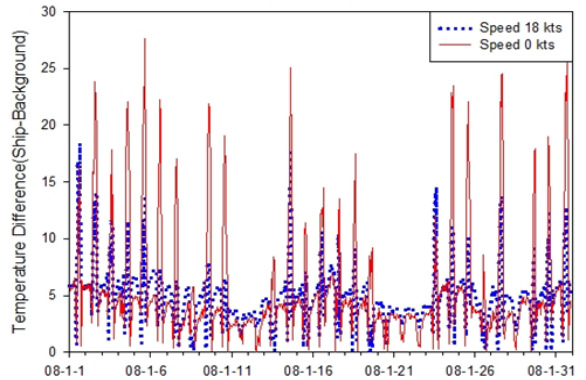


Fig. 9. Typical temperature difference between ship and background in January

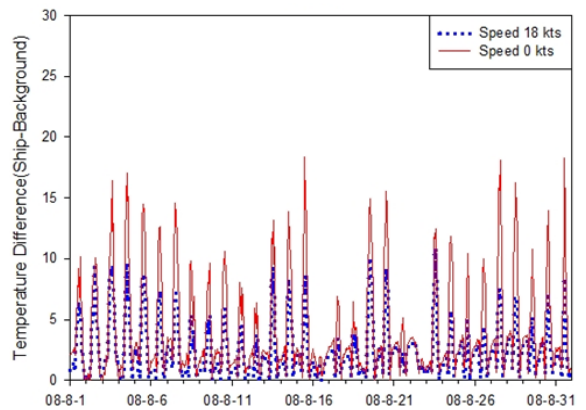


Fig. 10. Typical temperature difference between ship and background in August

Table 3. Seasonal Ship Temperature ranges

구분	표면 온도	함 속력 (정지중)	함 속력 (18kts)
1월	Max	38.4℃	28.8℃
	Mid	17.6℃	12.2℃
	Min	-3.3℃	-4.27℃
8월	Max	46.96℃	38.2℃
	Mid	32.92℃	28.5
	Min	18.9℃	18.8℃

표면온도 해석데이터는 1월과 8월의 정지 및 순항 상태를 고려할 경우 2,976Case의 계산결과가 발생되며 여기서 향후 발생이 가능한 조건을 산출하기 위해 최대와 최소값을 찾아 Table 3과 같이 표면온도 범위를 도출하였다. Table 3에서는 해당 월에서 함정의 신호를 비정상 상태에서 예측하고 가장 높은 경우(Max)부터 낮은 경우(Min)까지 함정속도에 따라 나타낼 수 있으며, 적외선 신호를 분석할 때 배경온도와의 차이를 구하여 파장별 적외선신호의 변화특성을 파악할 수 있으므로 Table 3은 함정의 적외선신호의 범위를 파악하는데 중요한 값이다.

4.2 적외선신호 분석

함정과 배경간의 온도차이를 활용하여 Table 4에서는 계산된 적외선신호를 활용하여 적외선 신호의 범위를 정하기 위해 최대-중간-최소값의 순서로 Table 3을 활용하여 함정의 속력에 따른 표면온도를 구분하였으며 해당 월의 배경온도에 대한 최소값과 최대값의 구간을 정하여 온도차이를 구하였다. 이러한 온도차이에 따라 함정에서 발생하는 실질적인 복사대비값을 센서의 관측위치를 고려하여 CRI값으로 구하였으며 Table 4와 같이 분석결과를 나타내었다. 온도 차이는 1월의 경우 함정의 온도가 최소값에서 부터 최대값까지 구간을 나타낼 때 온도 차이는 정지중일 때는 최소 -17.4℃에서 최대 35.7℃의 변화를 보였으며, 18 kts로 이동 중일 때에는 최소 -18.37℃에서 최대 26.1℃의 변화를 보여 함의 이동에 따른 냉각효과가 어느 정도 나타남을 확인하였다. 표면온도가 0℃ 이하인 경우 적외선 신호는 대기온도보다 더 낮은 상태가 되어 ΔT 가 0이하의 값을 이루고 있으며 배경온도보다 표

Table 4. Temperature difference and CRI(January)

구분	온도(℃)		Ship-배경(bkg) 온도차(ΔT)	CRI(W/sr)	
	함정	배경		MWIR	LWIR
0 kts	Min -3.3	14.10	-17.4 (0 > ΔT)	200.42	22,210.06
		8.45	-11.75 (0 > ΔT)	487.44	29,762.91
		2.70	-6 (0 > ΔT)	639.72	32,515.70
	Mid 17.6	14.10	3.5 (0 < ΔT)	3,397.29	66,726.73
		8.45	9.15 (0 < ΔT)	3,684.29	74,279.59
		2.70	14.9 (0 < ΔT)	3,836.59	77,032.38
	Max 38.4	14.10	24.3 (0 < ΔT)	9,578.59	122,243.79
		8.45	29.95 (0 < ΔT)	9,865.61	129,796.65
		2.70	35.7 (0 < ΔT)	10,017.91	132,549.44
18 kts	Min -4.27	14.10	-18.37 (0 > ΔT)	101.94	20,407.19
		8.45	-12.72 (0 > ΔT)	388.96	27,960.05
		2.70	-6.97 (0 > ΔT)	541.25	30,712.84
	Mid 12.2	14.10	-1.9 (0 < ΔT)	2,342.87	54,166.97
		8.45	3.75 (0 < ΔT)	2,629.89	61,719.82
		2.70	9.5 (0 < ΔT)	2,782.18	64,472.61
	Max 28.8	14.10	14.7 (0 < ΔT)	6,250.82	95,196.18
		8.45	20.35 (0 < ΔT)	6,537.83	102,749.04
		2.70	26.1 (0 < ΔT)	6,690.13	105,501.83

적의 온도가 낮을수록 신호량도 함께 낮아지는 경향을 보이고 있다. 적외선 영상도 표적과 배경의 온도변화에 지배적인 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 함정이 정지해 있을 경우에는 복사 대비값(CRI)이 가

장 작을 때와 클 때와의 차이가 MWIR에서는 최대 49.9배, LWIR에서는 최대 5.9배이며, 18kts의 순항속도로 달릴 경우, 차이가 MWIR에서는 최대 65.6배, LWIR에서는 최대 5.1배로 나타났다.

Table 5. Temperature difference and CRI(August)

구분	온도(°C)		Ship-배경(bkg) 온도차 (ΔT)	CRI(W/sr)	
	함정	배경		MWIR	LWIR
0 kts	Min 18.9	30.6	-11.7 (0 > ΔT)	1,528.89	28,064.90
		25.1	-6.2 (0 > ΔT)	2,459.29	49,721.86
		19.6	-0.7 (0 > ΔT)	3,327.94	62,589.37
	Mid 32.92	30.6	2.32 (0 < ΔT)	5,416.47	64,704.48
		25.1	7.82 (0 < ΔT)	6,346.86	86,361.44
		19.6	13.32 (0 < ΔT)	7,215.51	99,228.95
	Max 46.96	30.6	16.36 (0 < ΔT)	11,246.55	106,653.70
		25.1	21.86 (0 < ΔT)	12,176.95	128,310.70
		19.6	27.36 (0 < ΔT)	13,045.60	141,178.20
18 kts	Min 14.5	30.6	-16.1 (0 > ΔT)	1,506.79	5,172.76
		25.1	-10.6 (0 > ΔT)	2,437.18	26,829.71
		19.6	-5.1 (0 > ΔT)	3,305.79	39,697.23
	Mid 26.6	30.6	-4 (0 > ΔT)	4,010.09	43,532.83
		25.1	1.5 (0 < ΔT)	4,940.49	65,189.78
		19.6	7 (0 < ΔT)	5,809.14	78,057.29
	Max 38.2	30.6	7.6 (0 < ΔT)	7,348.68	79,857.26
		25.1	13.1 (0 < ΔT)	8,279.08	105,514.20
		19.6	18.6 (0 < ΔT)	9,147.73	114,381.70

8월의 경우 함정의 온도가 최소값부터 최대값까지 구간을 나타낼 때 온도 차이는 정지중일 때는 최소 -11.7°C에서 최대 27.36°C의 차이를 보였으며, 18kts로 이동 중일 때에는 최소 -16.1°C에서 최대 18.6°C의 분포를 보여 함의 이동에 따른 냉각효과가 하계절에 더 크게 나타남을 확인하였다. 또한, 함정이 정지해 있을 경우에는 복사 대비값(CRI)이 가장 작을 때와 클 때와의 차이가 MWIR에서는 최대 8.53배, LWIR에서는 최대 5배이며, 순항속력으로 달릴 경우, 차이가 MWIR에서는 최대 6배, LWIR에서는 최대 22배로 나타났다. Table 4 및 5의 파장별 적외선 신호에서 나타난 복사 대비값(CRI)은 함정의 표면온도와 배경간의 온도차에 큰 영향을 받고 있음을 확인하였으며 월별 온도차이가 큰 영향을 끼치는 것을 고려할 때 적외선 신호량의 대표값인 기준을 정할 때 단지 하나의 수치만으로 기준치를 정의하기 어려울 수 있음을 확인하였다.

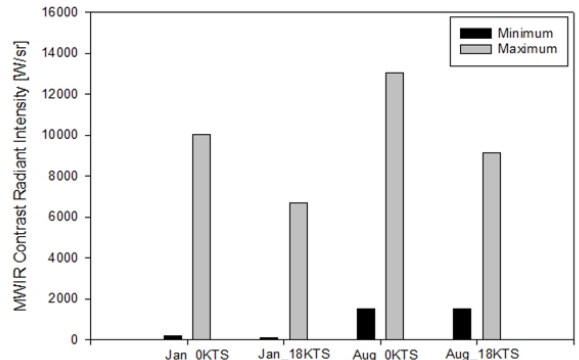


Fig. 11. Contrast radiant intensity(MWIR) on January and August

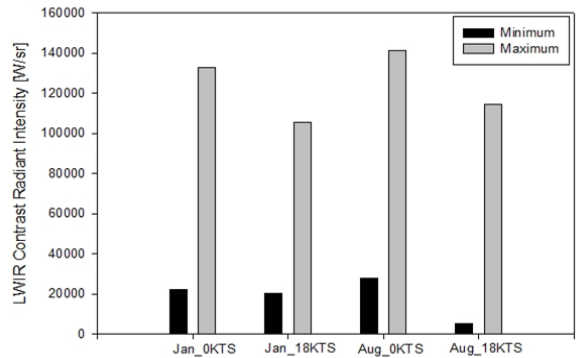


Fig. 12. Contrast radiant intensity(LWIR) on January and August

적외선 신호의 변화폭이 크게 나타나는 이유는 함정과 배경간의 표면온도차이의 영향이 크다는 것을 확인하였으며 따라서 Table 3 및 4의 방법으로 해석을 수행할 경우 가능한 신호의 범위를 파악할 수 있을 것으로 여겨진다. MWIR과 LWIR의 각 과장을 고려하여 정지와 순항상태에 따른 각 월별 적외선 신호 분석결과 Fig. 11와 12에서와 같이 변화폭이 나타남을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 1월, 8월간 나타날 수 있는 적외선 신호가 함정과 배경간의 표면온도 차이에 따라 MWIR의 경우 최소와 최대값이 60배 이상 차이가 발생할 수 있으며 LWIR의 경우 최소와 최대값이 5배 이상 차이가 발생할 수 있으므로 한달간 나타날 수 있는 적외선신호가 매우 크게 달라질 수 있음을 도출하였고 이는 배경과 함정간의 온도차이와 유사한 관계가 있음을 확인하였다. 따라서 배경과 함정간의 온도차이를 활용하였을 때 적외선 신호방사특성을 평가할 수 있는 조건이 될 수 있음을 도출할 수 있었다. 연구결과 변화가 심한 기상조건을 반영하기 위해 한 시간 간격으로 계측된 기상값을 계산에 반영하였으며, 함정과 배경간의 온도차이를 활용 하여 적외선 신호의 변화구간을 확인하였으며 MWIR과 LWIR에 미치는 영향을 파악하고 다양한 기상조건에서도 설계목표를 계측실정에 맞도록 정할 수 있는 방안에 대해 연구하였다. 함정과 배경간의 온도차이는 CRI값과 거의 비례하는 특성이 있으며, 1월 기상조건에서 함정이 정지중인 경우 함정과 배경의 온도차가 $-17.4 \sim 35.7^{\circ}\text{C}$ 일 때 MWIR에서 $200 \sim 10,017.9\text{W/sr}$, LWIR에서는 $22,210 \sim 132,549.44\text{W/sr}$ 범위에 들어움을 확인하였고, 18KTS의 순항중에는 함정과 배경간의 온도차가 $-18.37 \sim 26.1^{\circ}\text{C}$ 일 때 MWIR에서는 $101.9 \sim 6,690\text{W/sr}$, LWIR에서는 $20,407 \sim 105,501\text{W/sr}$ 로 한 달간의 적외선 신호가 다양한 크기로 나타날 수 있음을 확인하였다. 8월 기상조건에서 함정이 정지중일 때 함정과 배경의 온도차가 $-11.7 \sim 27.36^{\circ}\text{C}$ 일 때 MWIR에서 $1,528.89 \sim 13,045.60\text{W/sr}$, LWIR에서는 $28,064.90 \sim 141,178.20\text{W/sr}$ 범위에 들어움을 확인하였고, 18kts의 순항중에는 함정과 배경간의 온도차가 $-16.1 \sim 18.6^{\circ}\text{C}$ 인 경우 MWIR에서는 $1,506.89 \sim 9,147.73\text{W/sr}$, LWIR에서는 $5,172.76 \sim 114,381.70\text{W/sr}$ 로

8월 한 달간의 적외선 신호가 다양한 크기로 나타날 수 있음을 확인하였다. 적외선 신호를 표면온도와 운용조건에 따라 일정한 구간으로 파악하는 방법은 매 시간 기상조건을 고려해야하기 때문에 계산 소요시간이 많이 소요되며 발생하는 데이터의 양도 많으므로 향후 추가적인 연구를 통해 비정상상태 기상조건에서 해석된 더 많은 데이터를 효과적으로 확보하고 통계적인 분석기법을 도입하여 실질적인 적외선 신호 평가 방안의 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 김윤식, “태양고각 변화에 따른 함정 적외선 신호에 관한연구,” 한국해양공학회지 제24권 제3호, 2010. 6.
- [2] 조용진, “함정 적외선신호 민감도 해석을 통한 기상변수 영향에 관한 연구,” 한국해양공학회지 제27권 제3호, 2013. 6.
- [3] Fabian D. Lapierre, “Validation of RadThermIR and OSMOSIS Thermal Software on the Basis of the Benchmark Object CUBI”.
- [4] 김정호, 최준혁, 김동건, 한국일, 김태국, “함정 표면온도에 대한 실측값과 시뮬레이션 결과의 비교 검증 연구,” 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2012.
- [5] Frédéric Schwenger, Peter Grossmann, Alain Malaplate, “Validation of the Thermal Code of RadTherm-IR, IR-Workbench and F-TOM,” Proc. of SPIE, Vol. 7300, 2009.
- [6] STARK Espen, “SIMVEX 2001 TRIAL - RADIANT INTENSITY CONTRAST,” FFI RAPPORT, 2002.
- [7] Thermoanalytics, “RadThermIR,” <http://www.thermoanalytics.com>.
- [8] Tae Jun Kil, Kuk Il Han, Dong Geon Kim, Jun Hyuk Choi and Tae Kuk Kim, “A Study on

Establishing a Standard for IR Stealth Performance of a Naval Ship,” DAPS Conference 2012.

[9] Piter A. Jacobs, Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds, SPIE Press, 2002.

[10] 최준혁, 이지선, 김정호, 이성호, 김태국, “대기온도 및 풍속의 변화에 따른 함정의 적외선 신호 특성분석,” 한국군사과학기술학회지 제11권 제5호, 2008년 10월.