

대기온도 및 풍속 변화에 따른 함정의 적외선 신호 특성 분석

Infrared Signature Analysis of a Ship for Different Atmosphere Temperature and Wind Velocity

최준혁* **이지선*** **김정호**** **이성호**** **김태국***
Choi, Jun-Hyuk Lee, Ji-Sun Kim, Jung-Ho Lee, Sung-Ho Kim, Tae-Kuk

ABSTRACT

The spectral radiance received by a remote sensor at a given temperature and wavelength region is consisted of the self-emitted component directly from the object surface, the reflected component of the solar irradiation at the object surface, and the scattered component by the atmosphere without ever reaching the object surface. The IR image of a ship is mainly affected by location, meteorological condition(atmosphere temperature, wind direction and velocity, humidity etc.), atmospheric transmittance, solar position and ship surface temperature etc. Computer simulations for prediction of the IR signatures of ships are very useful to examine the effects of various meteorological conditions. In this paper, we have acquired the IR signature for different meteorological conditions by using two different computer programs. The numerical results show that the IR image contrast as compared to the background sea considering the atmosphere temperature and wind velocity.

주요기술용어(주제어) : Spectral Radiance(파장별 복사에너지), Surface Temperature(표면온도), IR Signature(적외선 신호), Atmosphere Temperature(대기온도), Wind Velocity(풍속)

1. 머리말

주변 환경에 대비되는 함정의 적외선 방사 신호는 주야간에 관계없이 중요한 위협인자로 작용되며 적외선 유도무기의 손쉬운 표적을 제공하게 되므로 함정의 생존성을 떨어뜨리게 된다. 또한 이러한 적외선 신호량은 주위의 해양 환경 조건에 대하여 매우 민감하

게 작용한다. 적외선 신호를 탐지하는 가장 좋은 방법은 실측을 통하여 적외선 영상을 획득하는 것이지만 실제의 모든 다양한 해양 환경 조건에 대하여 모두 측정하기는 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 이러한 다양한 환경여건에 따른 적외선 신호 특성을 파악하기 위한 다른 방법으로서 컴퓨터 프로그램을 이용하여 적외선 신호를 예측하여 실제 측정이 불가능한 환경조건 및 다양한 3차원 형상 모델링을 이용하여 쉽게 적외선 영상을 획득하는 방법이 많이 고려되고 있다^[1].

함정의 적외선 신호를 탐지하는 센서는 중적외선(MWIR) 영역과 원적외선(LWIR) 영역으로 구분할

† 2008년 6월 10일 접수~2008년 9월 19일 게재승인

* 중앙대학교(Chung-Ang University)

** 국방과학연구소(ADD)

교신저자 이메일 : kimtk@cau.ac.kr

수 있다. 그 이유는 대기 중에서 복사에너지를 흡수, 산란 및 투과가 이루어지지만 이러한 중적외선 영역과 원적외선 영역에는 대기의 창이 존재하여 대기투과도가 양호하기 때문에 적외선 신호가 매우 높게 나타난다. 적외선 신호를 예측하기 위해서는 센서로 들어오는 복사에너지를 분석해야 하며 이 값은 일반적으로 함정의 표면온도에 의해서 방출되는 복사에너지, 태양복사에너지가 함정에 반사되어 나오는 복사에너지 및 대기 중에서 함정에 도달되지 않고 직접 센서로 들어가는 복사에너지로 이루어진다^[2].

최근 고성능을 가진 적외선 유도 무기는 주위 배경과 대비되는 적외선 신호를 탐지하여 목표물로 인식하는 방법을 이용하고 있다. 주위 은폐물이 전혀 없는 바다에서 활동하는 함정의 경우 주변 해상환경은 거의 균일한 온도 및 복사 특성을 갖는 반면에 그 위에 놓인 함정은 주위 배경에 대비되는 다른 온도 및 복사 특성을 가지고 있기 때문에 적외선 특성을 이용하는 유도 무기에 쉽게 노출될 수 있는 위험성이 있다. 함정 표면에서 방출되는 복사에너지는 크게 내부적인 요인과 외부적인 요인으로 나타낼 수 있다. 내부적인 요인으로는 함정의 표면 온도에 의해서 결정되는 데, 함정에는 상대적으로 온도가 높은 내부 엔진 및 연돌 부위에 냉각 장치를 탑재하고 있다. 외부적인 요인으로는 광학적인 함정 표면 재질 특성으로 복사량을 제어하기 위하여 특수 도료를 도포하거나 해수를 함정 외부 표면에 살포하여 해수면의 온도에 가깝게 냉각 시킴으로써 함정과 해수면 사이의 적외선 신호 대비 값을 감소시키기 위해 많은 노력을 하고 있다. 그러나 현재까지 국내에서는 적외선 신호의 계측 및 분석에 관한 기술기반이 확립되고 있지 않을 뿐만 아니라 여러 가지 다른 실제의 기상조건을 고려한 파장별 적외선 신호 값을 체계적으로 계측하지 못하고 있다. 따라서 주어진 기상조건에서 함정으로부터 방출되는 적외선 신호량의 허용 범위 및 적외선 스텔스 기법이 적용된 함정에 대한 적외선 방사 신호량의 허용 범위 등에 대한 기준치 설정에 어려움을 겪고 있다^[3].

본 연구에서는 다양한 기상 조건(대기온도, 습도, 풍향, 풍속, 태양복사량 등) 중 대기온도 및 풍속의 변화에 따른 적외선 신호 특성의 변화를 RadThermIR^[4] 및 ShipIR^[5]을 이용하여 살펴보았다. RadThermIR은

미국에서 개발된 프로그램으로 유한차분법(Finite Difference Method)으로 비정상 상태의 3차원 열전도를 고려하여 표면온도를 계산하고 있으며 이를 이용하여 적외선 신호를 예측할 수 있는 프로그램이다. ShipIR은 캐나다에서 개발된 프로그램으로 정상 상태의 1차원 열전도를 고려하여 표면온도를 계산하였으며 주위 해양 조건을 고려한 적외선 신호를 예측할 수 있다.

2. 소프트웨어 별 입력 조건 비교

해석 소프트웨어에서 표면온도를 계산하기 위해 기본적으로 입력되는 변수들은 거의 비슷하다. 그러나 RadThermIR의 경우에는 비정상상태의 3차원 열전도 계산을 하기 때문에 기상 입력 변수들을 계산 시간에 따라서 입력할 수 있고, ShipIR의 경우 정상상태의 1차원 열전도 계산을 하기 때문에 기상 입력 변수들을 현재 시간에 대해서만 입력할 수 있다. 표 1에 소프트웨어별 기본 입력 조건을 나타내었다.

[표 1] 소프트웨어별 입력 조건

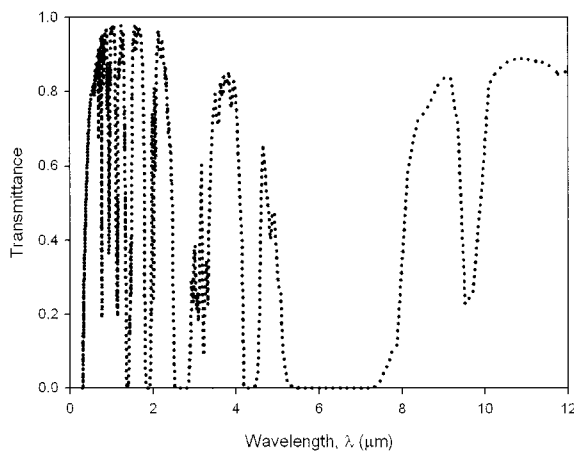
	RadThermIR	ShipIR
위치정보	위도, 경도	위도, 경도
시간정보	년, 월, 시	년, 월, 시
기상정보	구름 풍향 풍속 대기온도 해수온도 상대습도	구름 풍향 풍속 대기온도 해수온도 상대습도
차이점	계산시간에 따라서 입력 가능	현재시간에 대해서 입력 가능

3. 적용 모델

가. 대기투과도

대기 모델링은 적외선 영상을 생성하는 매우 중요

하며, 다양한 환경 조건을 모사하는 데 사용되어 태양 복사에너지 및 대기투과도를 계산하게 된다^[6]. 함정의 표면온도는 태양복사에너지에 영향을 받는 곳에 매우 높은 온도분포를 나타낸다. 이러한 태양복사에너지가 대기권을 통과하여 함정에 도달되는 동안 대기투과도에 의해서 산란, 투과 등에 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 태양복사에너지에 영향을 주는 대기투과도를 계산하기 위해서 MODTRAN을 이용하였다^[7]. MODTRAN은 대기에 의해서 발생하는 복사, 투과 및 산란 특성을 고려하여 열대 대기(북위 15°), 중위도 여름/겨울 대기(북위 45°), 극지방 여름/겨울 대기(북위 60°) 및 미국의 표준 대기를 포함하고 있다. 이러한 표준 대기 중에서 한반도 및 주변 지역의 대기 모델링에 가장 적합한 중위도 여름/겨울 표준 대기를 이용하였다. 본 논문에서 고려된 2월의 대기투과도를 계산하기 위해서 MODTRAN의 표준 대기모델인 중위도 지방의 겨울 대기를 이용하였으며 파장영역 0.3~12 μm 에 대하여 함정에서 연직 대기를 고려한 대기투과도를 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] 함정에서의 수직 대기투과도(중위도, 겨울)

나. 기상 조건

함정에서 방출되는 적외선 신호는 다양한 기상 조건에 영향을 받는다. 주요한 기상 조건으로는 습도, 대기온도, 풍향, 풍속 등이 있으며 본 연구에서는 대기온도 및 풍속 변화가 적외선 신호에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구에서 고려된 두 가지의 적외선

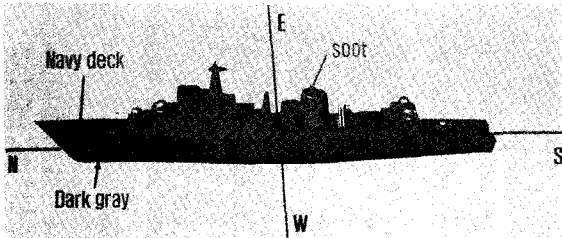
예측 소프트웨어에서 가장 큰 차이점은 계산방법으로 입력되는 기상조건이 RadThermIR의 경우에는 과거 기상 조건을 계산시간별로 입력할 수 있기 때문에 과거의 기상조건에 따른 표면온도를 계산할 수 있으며, ShipIR의 경우에는 과거 기상조건을 배제하여 현재 기상조건을 고려한 표면온도를 계산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 RadThermIR의 경우에는 비정상상태의 열전달을 해석하기 위해서 표 2와 같이 24시간 동안 30분 간격으로 동일한 기상조건을 주었다. 그 이유는 ShipIR/NTCS와 비슷한 기상조건을 고려하기 위함이다. ShipIR의 경우에는 정상상태의 열전달을 해석하기 위해서 현재시간의 기상 조건을 주었다. 표 2에 본 연구에서 고려된 적외선 예측 소프트웨어에 입력되는 기상 조건을 나타내었다. 센서위치에서 방위각(ϕ)의 경우는 남쪽이 0°이며 서쪽이 90°이다.

[표 2] 적외선 예측 소프트웨어에서 적용된 입력 조건

공통 적용 조건			
위치정보	위도, 경도		
	36N, 131E(대한민국 진해)		
시간정보	년, 월, 시		
	2008년 2월 1일 12시		
기상정보	구름	풍향	풍속
	없음	남풍	0m/s 2m/s 5m/s 10m/s
	대기온도	해수온도	상대습도
	-5℃ 0℃ 5℃ 10℃	10℃	60%
센서정보	관측거리		
	0.5 km		
소프트웨어별 적용 특징			
RadThermIR	24시간 동안 30분 간격으로 입력		
ShipIR	계산시간에만 입력		

다. 3차원 형상모델 및 재질정보

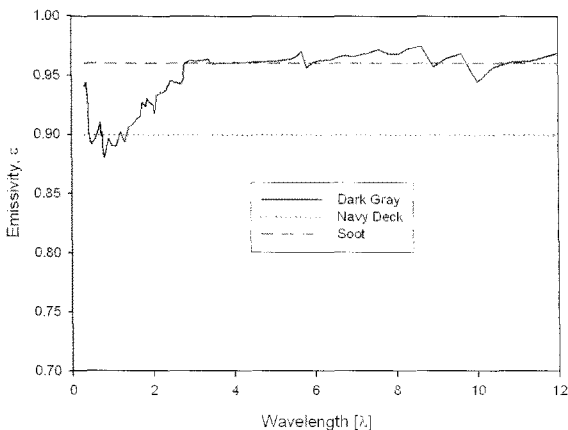
적외선 예측 소프트웨어를 이용하여 함정에서 방출되는 복사에너지를 계산하기 위해서는 실제 함정과 거의 같은 3차원 형상 모델링이 필요하다. 그리고 함정의 표면온도를 계산하기 위해서는 계산 격자가 매우 중요하다. 본 논문에서 고려된 3차원 형상 및 적용된 광학적 표면 재질을 그림 2에 나타내었다. 계산하기 위해서 고려된 격자수는 10,951개이며 함정 내부의 보온재 등에 의한 영향은 고려되지 않았다. 함정의 표면온도를 계산하기 위한 재질 특성을 표 3에 나타내었으며 광학적 표면 재질 특성을 그림 3에 나타내었다^[8].



[그림 2] 3차원 형상 모델 및 재질 할당

[표 3] 열역학적 재질 특성

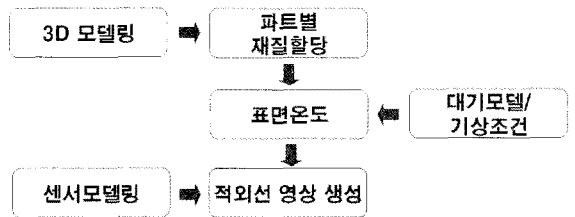
재질	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kgK)	열전도율 (W/mK)
순철	7768.98	460.967	52.019



[그림 3] 파장별 표면 특성

4. 적외선 영상 생성

적외선 신호를 예측하기 위해서는 필요한 절차는 RadThermIR과 ShipIR이 거의 비슷하며 다음과 같다. 먼저 3차원으로 표적 및 배경을 모델링한 후 각 파트별로 재질을 부여한다. 기상조건 및 태양복사에너지 데이터를 시간별로 입력한다. 그리고 각 파트별로 표면온도를 계산한 뒤에 센서의 위치를 결정하면 최종적으로 적외선 영상을 획득할 수 있다.



[그림 4] 적외선 영상 생성 절차

가. 함정의 표면온도

함정의 표면온도 계산은 전도, 대류 및 복사 열전달을 모두 고려하고 있다. 태양이 존재하는 시간 동안에는 함정의 표면온도를 결정하는 중요한 인자가 태양이다. 따라서 함정의 표면온도를 계산하기 위해서 태양의 위치가 남쪽에 위치하는 12시로 하였다. 본 연구에서 고려된 적외선 영상 생성 소프트웨어 중 RadThermIR과 ShipIR은 함정의 표면온도를 계산하기 위한 방법에서 차이를 보인다. RadThermIR의 경우에는 비정상상태의 3차원 열전도를 고려하고 ShipIR의 경우에는 정상상태의 1차원 열전도를 고려하여 표면온도를 계산한다. RadThermIR와 ShipIR에서 이용되는 표면온도 계산방법을 식 (1)과 (2)에 나타내었다.

$$T_i' = \frac{\left[\sum_{j=1}^N C_{ij} T_j + \sum_{j=1}^N C_{ij} T_j' + 2Q_i - T_i \sum_{j=1}^N C_{ij} \left(1 - \frac{2m_i C_p}{\Delta t \sum_{j=1}^N C_{ij}} \right) \right]}{\sum_{j=1}^N C_{ij} \left(1 + \frac{2m_i C_p}{\Delta t \sum_{j=1}^N C_{ij}} \right)} \quad (1)$$

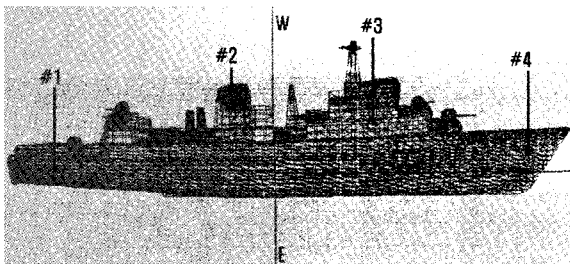
여기서, 하첨자 i 는 i 번째 격자를 말하며 j 는 i 번째 격자에 인접한 격자이다. Q_i 는 태양복사에너지, C_{ij} 는

전도와 대류 열전달이다. m_j 는 질량, C_p 는 비열, 그리고 Δt 는 계산 시간 간격을 말한다.

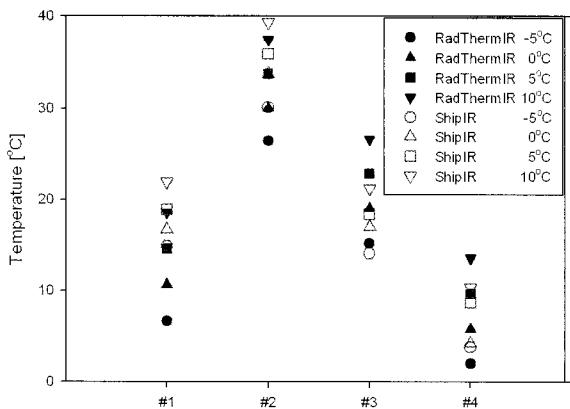
$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^N C_{ij} + \sum_{j=1}^N Q_j}{\sum_{j=1}^N C_{ij}} \quad (2)$$

1) 대기온도 변화에 따른 표면온도 분포

한반도 해양 환경조건을 고려하여 표 2에서와 같이 풍속은 2m/s로 하였고 대기온도 변화에 따른 함정의 표면온도를 계산하였다. 함정의 표면온도를 계산 격자 4개 지점에 대하여 비교하였으며 그림 5에는 함정의 표면온도를 비교할 위치 나타내었으며 센서의 위치는 고도각 0°, 방위각 270°이다. #1지점은 선미부분, #2지점은 연돌부분, #3지점은 함정의 2층 갑판, 및 #4지점은 선체 부분이다. 그림 6에 RadThermIR 및 ShipIR의 표면온도 분포도를 나타내었다.



[그림 5] 함정의 표면온도 분석 위치

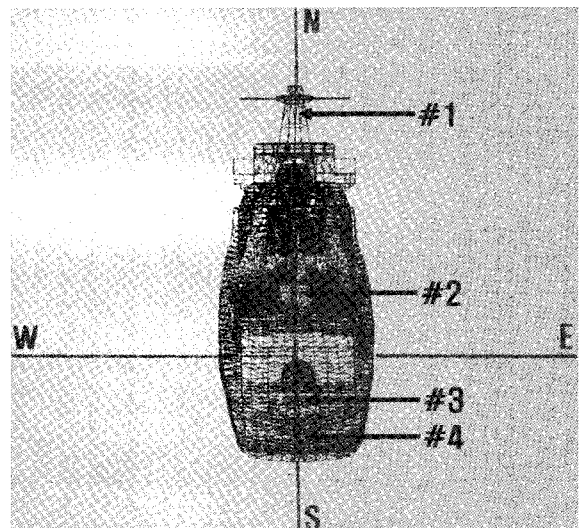


[그림 6] 함정의 위치별 표면온도 분포

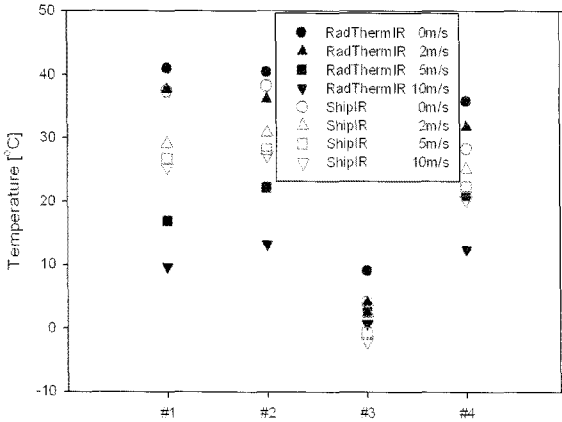
그림 6에서 RadThermIR 및 ShipIR 모두 대기온도가 높아질수록 함정의 표면온도 또한 높아짐을 알 수 있다. 그리고 RadThermIR과 ShipIR의 온도 차이가 최대 4.8°C까지 차이가 난 이유는 앞에서 언급했듯이 계산 방법의 차이라고 할 수 있다. RadThermIR의 경우에는 3차원 열전도를 고려한 비정상상태 (Implicit method)를 계산하며 ShipIR의 경우에는 1차원 열전도를 고려한 정상상태 계산을 하게 된다. 따라서 RadThermIR의 경우에는 인접한 모든 격자에 대한 계산을 하기 때문에 깊이 방향으로만 계산을 하는 ShipIR과 표면온도 해석 결과가 차이를 보인다고 할 수 있다.

2) 풍속 변화에 따른 표면온도 분포

풍속변화에 따른 함정의 표면온도를 분석하기 위해서 대기온도를 2°C로 하였고 나머지 조건은 표 2에서와 같이 동일하게 하였다. 대기온도 변화에 따른 표면온도 분포와 마찬가지로 4개 지점에 대하여 비교하였다. 그림 7에 함정의 표면온도를 비교할 위치를 나타내었으며 남풍이기 때문에 센서의 위치를 고도각 0°, 방위각 0°로 풍속의 영향을 받는 곳을 분석하였다. #1지점은 관제탑, #2지점은 2층 갑판, #3지점은 1층 갑판 및 #4지점은 선미부분이다. 그림 8에 RadThermIR 및 ShipIR의 표면온도 분포도를 나타내었다. 그림 8



[그림 7] 함정의 표면온도 분석 위치



[그림 8] 함정의 위치별 표면온도 분포

에서 RadThermIR 및 ShipIR 모두 풍속이 높아질수록 함정의 표면온도는 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 RadThermIR과 ShipIR의 온도 차이가 최대 15.7°C의 차이를 보였다.

나. 함정의 적외선 신호 분석

본 연구에서 고려된 RadThermIR과 ShipIR에서 센서로 들어오는 복사에너지를 계산하는 식은 다음과 같다.

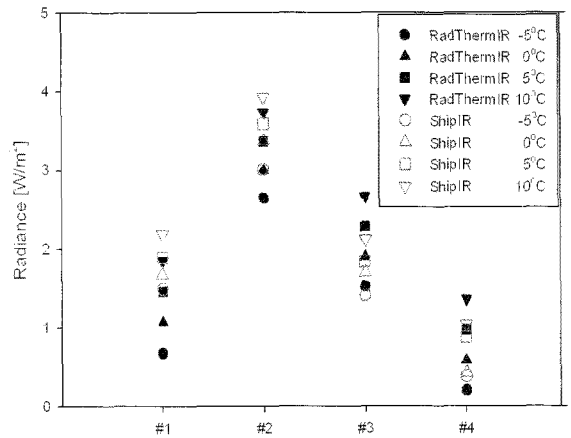
$$I(\lambda) = I_{self-emitted}(\lambda) + I_{solar}(\lambda) + I_{path}(\lambda) \quad (3)$$

여기서 $I_{self-emitted}$ 는 함정에서 방출되는 복사에너지, I_{solar} 는 태양복사에너지가 함정에 의해 반사된 복사에너지, I_{path} 는 함정에 도달되지 않고 대기층에서 산란된 복사에너지이다. 적외선 신호는 대기의 창(atmospheric window)이 존재함에 따라 대기투과도가 비교적 양호한 중적외선(MWIR) 및 원적외선(LWIR)으로 분류되기 때문에 본 연구에서는 두 파장 영역에 대한 소프트웨어의 해석 결과를 각각 비교, 분석 하였다.

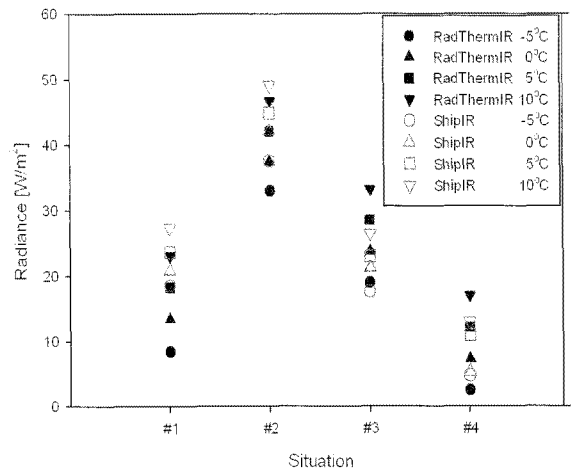
1) 대기온도 변화에 따른 적외선 신호 예측

식 (3)에 의해서 계산된 대기온도 변화에 따른 중적외선 영역 및 원적외선 영역에서의 센서로 들어오는 복사에너지 분포를 그림 9에 나타내었다. 분석 위

치는 그림 5와 같이 동일하게 하였으며, 그림 9에서 함정의 표면온도가 높을수록 중적외선 영역 및 원적외선 영역에서 방출되는 복사에너지가 높게 나타남을 확인하였다. 해석 결과를 살펴보면 식 (3)의 성분 중 가장 중요한 성분은 물체 자체에서 방출되는 복사에너지가 가장 높게 나타남을 확인할 수 있으며 이는 표면온도 및 표면 방사율에 의존한다. 따라서 적외선 신호를 예측하기 위해 선행해야 할 작업으로는 다양한 환경을 고려한 표면온도 예측이 가장 필요함을 알 수 있다.



(a) 중적외선 영역(MWIR)

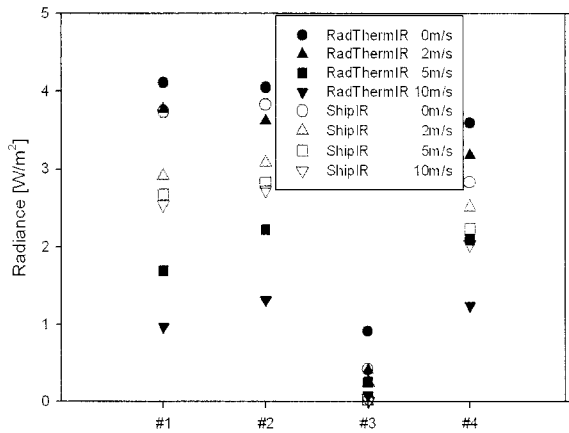


(b) 원적외선 영역(LWIR)

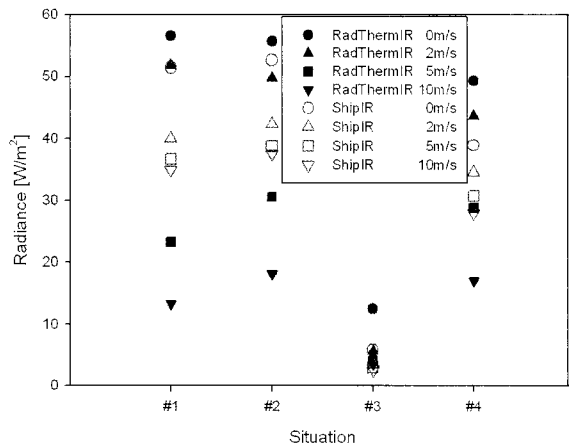
[그림 9] 함정의 위치별 적외선 신호 분포

2) 풍속 변화에 따른 적외선 신호 예측

식 (3)에 의해서 계산된 풍속 변화에 따른 중적외선 영역 및 원적외선 영역에서의 센서로 들어오는 복사에너지 분포를 그림 10에 나타내었다. 분석 위치는 그림 7과 동일하게 하였으며, 그림 10에서 풍속이 높을수록 중적외선 영역 및 원적외선 영역에서 방출되는 복사에너지가 낮게 나타남을 확인하였다. 해석 결과를 살펴보면 식 (3)의 성분 중 가장 중요한 성분은 물체 자체에서 방출되는 복사에너지가 가장 높게 나타남을 확인할 수 있으며 이는 표면온도 및 표면 방사율에 의존한다.



(a) 중적외선 영역(MWIR)



(b) 원적외선 영역(LWIR)

[그림 10] 함정의 위치별 적외선 신호 분포

5. 맺음말

본 연구에서는 다양한 기상 조건 중 대기온도와 풍속 변화에 따른 함정의 표면온도 및 적외선 신호에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. 연구 결과 대기온도가 높아질수록 함정의 표면온도가 높아지고 함정의 적외선 방사 신호 또한 높아짐을 확인하였다. 그리고 풍속이 높아질수록 함정의 표면온도가 낮아지고 함정의 적외선 방사 신호 또한 낮아짐을 확인하였다. 그러나 주변 환경과 대비되는 함정의 적외선 신호는 주변 환경 온도(대기온도)가 낮을 경우 풍속이 작아질수록 높게 나타남을 확인하였다. 따라서 주변 환경과 대비되는 함정의 적외선 방사신호를 탐지하는 적외선 유도 미사일에 대비한 함정의 적외선 스텔스 방법을 적용시키기 위해서는 다양한 기상 조건에 대하여 검증할 수 있는 시험평가가 이루어져야하며, 이러한 특성을 바탕으로 실제 함정을 이용한 시험평가 시 시험조건을 도출할 수 있다. 향후에는 적외선 예측 소프트웨어를 활용하여 다양한 기상 인자를 고려하여 비교, 분석할 예정이며 또한 실제 실험을 통하여 해석 소프트웨어를 검증할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Jun-Hyuk Choi, Tae-Kuk Kim, "Study on the Spectral Transmission Characteristics of MWIR through the Atmosphere," Proc. of SPIE, Image and Signal Processing for the Remote Sensing XII, Vol. 6748, 2007.

[2] 최준혁, 김태준, 김정호, 이성호, 김태국, "중위도 기상조건에서 함정의 연돌 온도에 따른 IR 영상 특성 연구", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, pp. 168~173, 2008.

[3] 김태준, 정인화, 조용진, 최준혁, 김태국, "한반도 기상조건에서 함정의 D/B 구축을 위한 계측 방안 연구", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 628~631, 2007.

[4] Jeffrey S. Sanders, "Ground Target Infrared Signature Modeling with the Multi-Service

- Electro-optic Signature(MuSES) Code”, Proc. of SPIE, Targets and Backgrounds VI, 2000.
- [5] David A. Vaitekunas, “Validation of ShipIR (v3.2) : Methodology and Results,” Proc. of SPIE, Targets and Backgrounds XII, 2006.
- [6] 신종진, “동아시아 표준 대기가 합성 적외선 영상에 미치는 효과,” 한국군사과학기술학회지 제9권, 제4호, pp. 97~103, 2006.
- [7] P. K. Acharya, A. Berk, G. P. Anderson, N. F. Larsen, S-Chee Tsay and K. H. Stammes, “MODTRAN4 : Multiple Scattering and Bi-Directional Distribution Function(BRDF) Upgrades to MODTRAN”, Proceeding of SPIE, Optical Spectroscopy Techniques and Instrumentation of Atmospheric and Space Research, Vol. 3756, 1999.
- [8] W. R. Davis, “Technical Manual for ShipIR/NTCS(v2.9)”, DAVIS File No : A912, 2002.