

거제도 해양의 여름 및 겨울철 환경에서 거리에 따른 대기투과도를 고려한 함정의 적외선 신호 특성 분석

Study on IR Signature Characteristics for different Transmittance over the Korean South Sea during Summer and Winter Seasons

최준혁* 김정호** 정인화** 이필호** 김태국*

Jun-Hyuk Choi Jung-Ho Kim In-Hwa Jung Phil-Ho Lee Tae-Kuk Kim

Abstract

The IR signature data of a ship is mainly affected by location, meteorological conditions(atmosphere temperature, wind direction and velocity, humidity etc.), atmospheric transmittance, solar position and ship surface temperature etc. The IR signatures 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. Computer simulations for prediction of the IR signatures of ships are very useful to examine the effects of various sensor positions. In this paper, we have acquired the IR signature for different sensor positions by using computer program for prediction of the IR signatures. The numerical results show that the IR signature contrast as compared to the background sea considering the meteorological conditions, solar and sky irradiations.

Keywords : Spectral Radiance(파장별 복사에너지), Surface Temperature(표면온도), IR Signature(적외선 신호), Atmosphere Transmittance(대기투과도), Meteorological Conditions(기상조건)

1. 서론

함정의 적외선 신호를 탐지하는 센서는 중적외선(MWIR) 영역과 원적외선(LWIR) 영역으로 구분할 수 있다. 그 이유는 대기 중에서 복사에너지를 흡수, 산

란 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, 단파복사(태양복사에너지) 및 장파복사(sky radiation)가 함정에 반사되어 나오는 복사에너지 및 대기 중에서 함정에 도달되지 않고 직접 센서로 들어가는 복사에너지로 이루어진다^[1].

† 2010년 1월 25일 접수~2010년 3월 4일 게재승인

* 중앙대학교(Chung-Ang University)

** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 최준혁(miyasaki@wm.cau.ac.kr)

적외선 탐색기의 경우에는 물체 뿐 만 아니라 주위 배경의 적외선 신호도 탐지하게 된다. 따라서 군사적으로 공격하는 목적이나 방어하는 목적인 경우에도 물체가 주위 배경에 대비되는 값이 매우 중요하게 인식되고 있다. 특히 주위 은폐물이 전혀 없는 해양에서 기동하는 함정의 경우 주변 해양 환경 조건은 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 냉각시킴으로써 함정과 해수면 사이의 적외선 신호 대비 값을 감소시키기 위해 많은 노력을 하고 있다^[2].

적외선 신호를 분석하기 위한 방법으로 실제 관심 있는 군 장비에 대하여 IR 카메라로 촬영된 데이터를 이용하는 것이지만 모든 다양한 환경 인자를 고려하기에는 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 이를 대체하는 방법으로 적외선 예측 프로그램을 이용하는 방법이 대두되고 있다. 대표적인 적외선 영상 생성 소프트웨어로는 DIRSIG(Digital Image and Remote Sensing)^[3], ShipIR/NTCS^[4], SE-Workbench-IR^[5], RadthermIR^[6] 등이 있다. 이러한 소프트웨어의 특징은 다양한 환경의 영향을 고려하여 적외선 영상을 획득할 수 있다. 또한 표적의 인식 및 추적 알고리즘 개발을 비롯한 표적의 다양한 재질의 영향을 고려하는 적외선 특성 연구에 활용될 수 있다. 적외선 영상 생성 소프트웨어를 보다 정확한 예측을 수행하기 위해서 필요한 정보로는 대기투과도 및 태양복사에너지 등이 있다.

본 연구에서는 거제도 기상 관측소(위도 : 34.52N, 경도 : 128.37E)의 2008년 해양환경 조건 데이터(태양복사, 대기온도, 해수온도, 풍향, 풍속, 상대습도, 대기압)^[7]를 활용하여 센서 변화에 따른 함정의 적외선 신호를 미국에서 개발된 RadThermIR로 분석하였다. RadThermIR은 3차원 열전도를 고려하여 비정상 상태

의 열해석을 수행하며 다양한 환경 조건을 활용하여 적외선 신호를 예측할 수 있는 프로그램이다.

2. 적용된 조건

본 논문에서 적외선 신호를 분석하기 위하여 사용된 소프트웨어는 RadThermIR 이며 Table 1과 같은 입력 조건이 필요하다.

Table 1. 소프트웨어 입력 조건

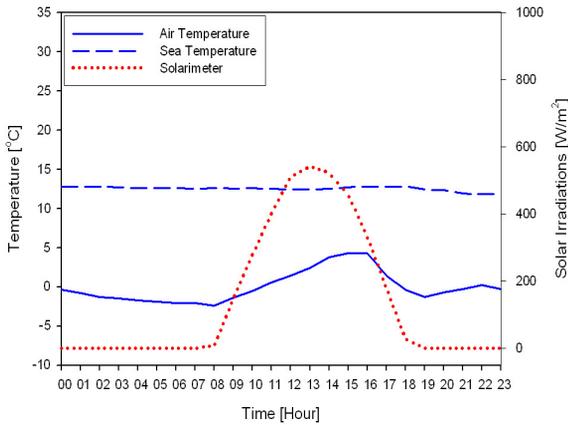
	RadThermIR
위치정보	위도, 경도
시간정보	년, 월, 시
기상정보	태양복사에너지 풍향 풍속 대기온도 상대습도 대기압

가. 태양복사에너지 및 기상조건

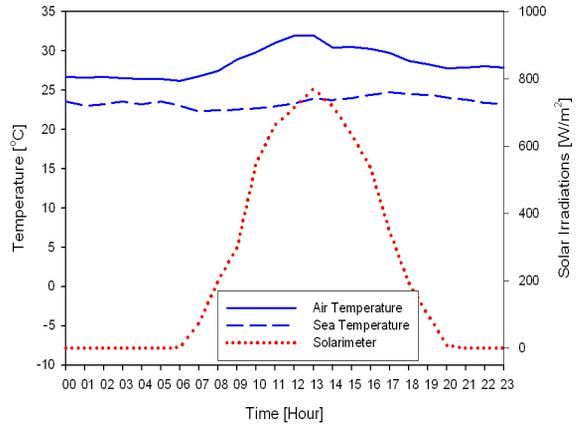
적용된 태양복사에너지 및 기상조건은 거제도에서 측정된 데이터를 사용하였으며 Table 1에 설명된 조건들을 이용하여 함정의 표면온도 및 함정과 센서사이의 대기투과도를 계산하게 된다. Fig. 1과 Fig. 2에 기상청에서 측정된 1월과 7월의 태양복사에너지, 풍향, 풍속, 대기온도, 해수온도, 상대습도 및 대기압을 시간별로 나타내었다.

나. 적용 모델

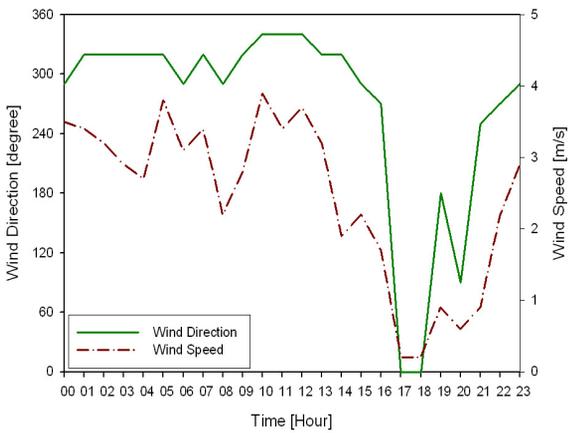
본 논문에서 고려된 함정은 현재 국방과학연구소에서 시험선으로 운용중인 선진호이며 크기는 전장 34.50m, 형폭 15m, 높이 7.1m이다. Fig. 3에 표면온도 계산 및 적외선 영상 생성에 필요한 3차원 형상 모델을 나타내었으며 고려된 격자수는 35,652개이다. 함정의 IR 신호 측정이 거제도 근처에서 이루어지기 때문에 선진호가 거제도(위도 : 34.52N, 경도 : 128.37E)에 위치하고 있다고 가정하였다. 선진호의 내부 엔진 온도는 70℃로 하였으며 배기 덕트의 온도는 100℃로 하였다.



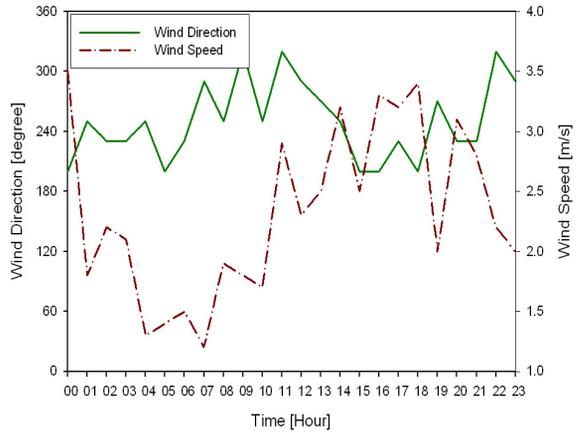
(1) 태양복사, 대기온도, 해수온도



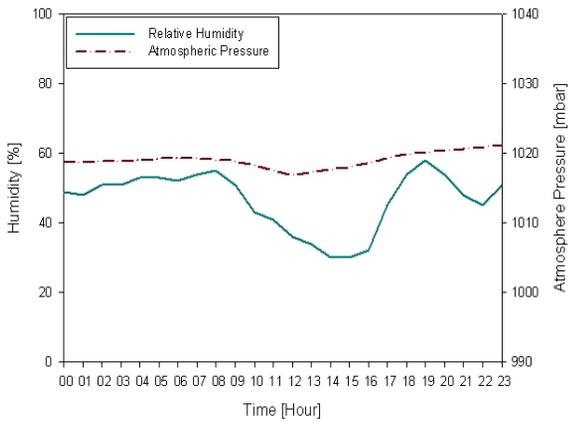
(1) 태양복사, 대기온도, 해수온도



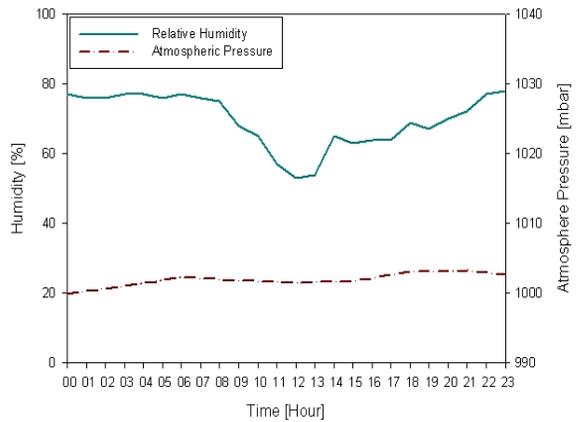
(2) 풍향, 풍속



(2) 풍향, 풍속



(3) 상대습도, 대기압



(3) 상대습도, 대기압

Fig. 1. 1월의 기상조건

Fig. 2. 7월의 기상조건

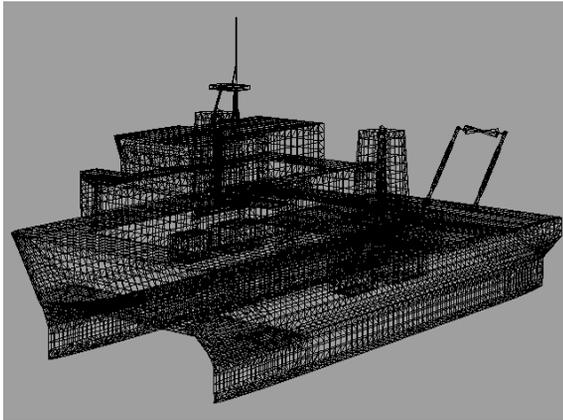


Fig. 3. 3차원 형상 모델링(선진호)

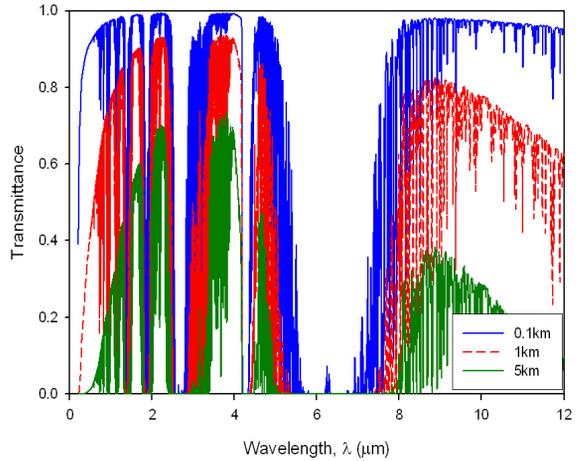


Fig. 5. 파장별 대기투과도(7월)

3. 대기투과도 및 표면온도 계산

가. 대기투과도

대기투과도는 적외선 영상을 생성하는 매우 중요하며, 다양한 환경 조건을 모사하는 데 사용되어 대기투과손실을 계산하게 된다. MODTRAN^[8]은 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. Fig. 1과 2에 나타난 측정된 기상조건을 이용하여 Fig. 4와 5는 MODTRAN으로 부터 계산된 함정과 센서 사이의 거리에 따른 파장별 대기투과도이다.

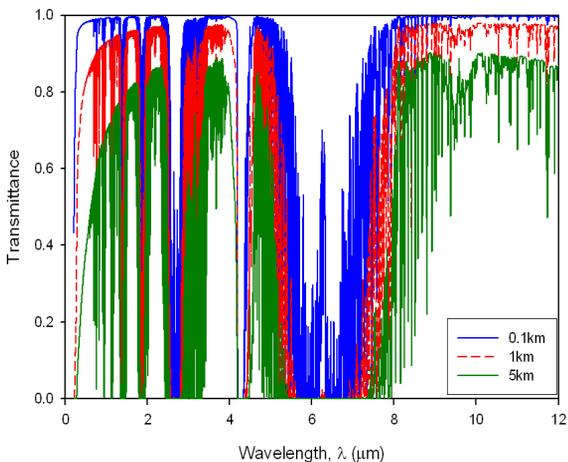


Fig. 4. 파장별 대기투과도(1월)

함정과 센서사이의 거리에 따른 대기투과도를 Table 2에 중적외선 영역(MWIR, 3~5 μ m)과 원적외선 영역(LWIR, 8~12 μ m)으로 나타내었다.

Table 2. 대기투과도

1월		
	MWIR	LWIR
0.1km	0.89	0.97
1km	0.71	0.91
5km	0.42	0.78
7월		
	MWIR	LWIR
0.1km	0.81	0.92
1km	0.52	0.72
5km	0.23	0.33

나. 표면온도 해석 결과

함정의 표면온도 계산은 전도, 대류 및 태양복사 에너지 등 복합적인 열전달을 모두 고려하고 있다. 태양이 존재하는 시간 동안에는 함정의 표면온도를 결정하는 중요한 인자가 바로 태양복사에너지이다. 본 논문에서 고려된 적외선 영상 생성 소프트웨어는 RadThermIR이며 함정의 표면온도를 계산하기 위하여 고려된 방정식을 식 (1)에 나타내었다^[9].

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

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_i 는 질량, C_p 는 비열, 그리고 Δt 는 계산 시간 간격을 말한다.

함정의 표면온도를 계산하기 위해서 1월과 7월의 기상청 데이터를 이용하였으며 Fig. 6에 함정의 표면 온도 위치를 나타내었다. 그리고 식 (1)을 이용하여 계산된 결과를 Fig. 7과 8에 나타내었다.

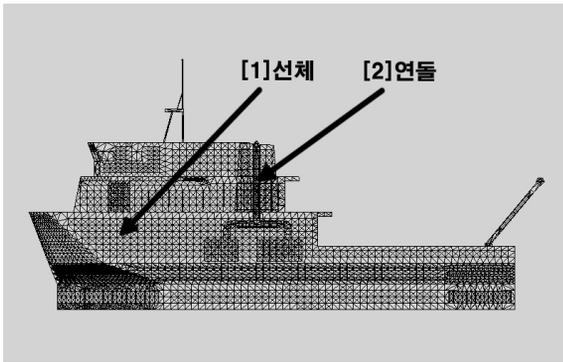


Fig. 6. 함정의 표면온도 위치

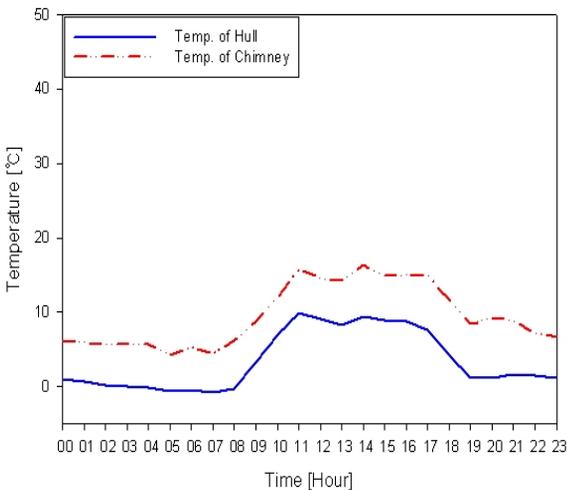


Fig. 7. 함정의 표면온도(1월)

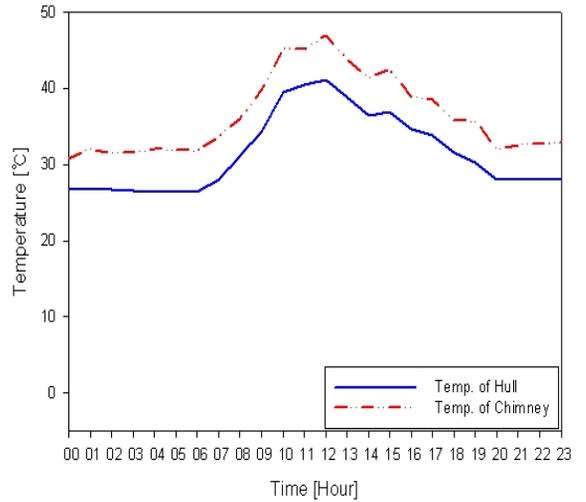


Fig. 8. 함정의 표면온도(7월)

4. 적외선 영상 생성

적외선 신호를 예측하기 위해서 필요한 절차를 Fig. 9에 나타내었다. 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.

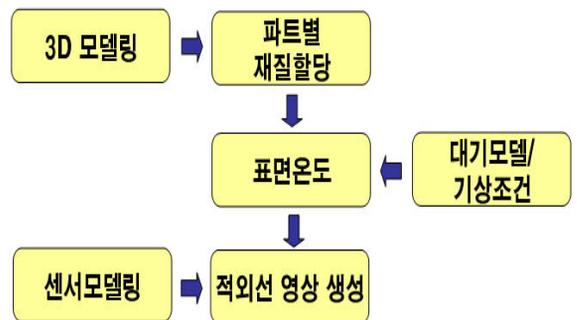


Fig. 9. 적외선 영상 생성 절차

본 연구에서 고려된 RadThermIR에서 센서로 들어오는 복사에너지를 계산하는 식은 다음과 같다^[10].

$$I(\lambda) = I_{self-emitted}(\lambda) + I_{solar}(\lambda) + I_{path}(\lambda) \quad (2)$$

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

가. 거리에 따른 적외선 신호 분석

함정과 센서 사이의 거리에 따른 함정의 적외선 신호를 분석하였다. 함정과 센서 사이의 거리는 0.1km, 1km 및 5km를 고려하였으며 Fig. 4와 5에 나타난 거리에 따른 파장별 대기투과도가 중요한 인자가 된다. 본 논문에서는 함정과 센서사이의 거리에 따른 24시간 동안에 나타나는 함정의 적외선 신호를 분석 하였다.

1) 중적외선 영역(MWIR)

중적외선 영역(3~5 μ m)에서 함정의 적외선 신호가 계산된 결과를 Fig. 10과 11에 나타내었다. 1월의 경우에는 0.1km를 기준으로 1km는 최대 약 1.47배, 5km는 최대 약 2.44배의 차이를 보였다. 7월의 경우에는 0.1km를 기준으로 1km는 최대 약 1.92배, 5km는 최대 약 4.53배의 차이를 보였다. 적외선 신호는 센서와 함정 사이의 거리가 멀어질수록 대기투과도에 따라서 감쇄하기 때문이다.

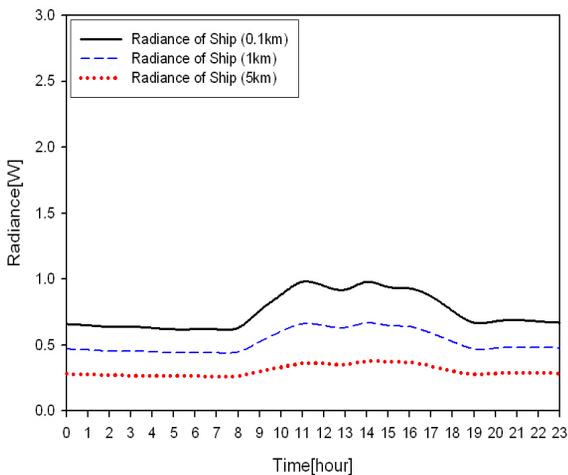


Fig. 10. 함정의 중적외선 신호(1월)

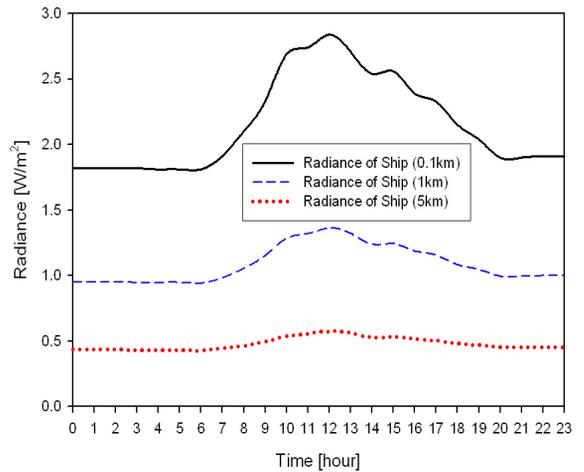


Fig. 11. 함정의 중적외선 신호(7월)

2) 원적외선 영역(LWIR)

원적외선 영역(8~12 μ m)에서 함정의 적외선 신호를 계산한 결과 그래프를 Fig. 12와 13에 나타내었다. 1월의 경우에는 0.1km를 기준으로 1km는 최대 약 1.11배, 5km는 최대 약 1.22배의 차이를 보였다. 7월의 경우에는 0.1km를 기준으로 1km는 최대 약 1.43배, 5km는 최대 약 4.48배의 차이를 보였다. 적외선 신호는 센서와 함정 사이의 거리가 멀어질수록 대기투과도에 따라서 감쇄하기 때문이다. 또한 원적외선 영역은 태양복사에너지의 영향을 거의 받지 않는 파장 영역이기 때문에 함정의 적외선 신호는 표면온도가 매우 중요한 인자가 된다.

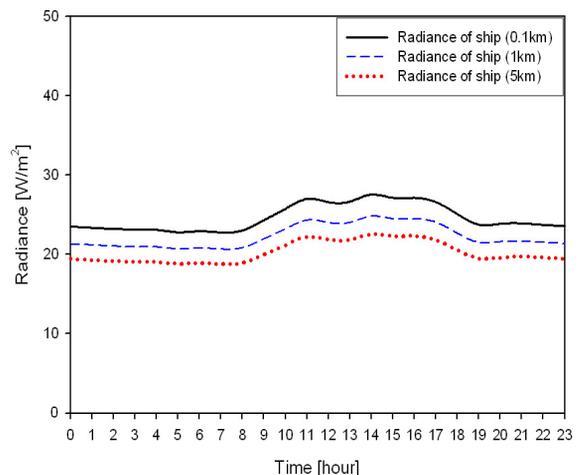


Fig. 12. 함정의 원적외선 신호(1월)

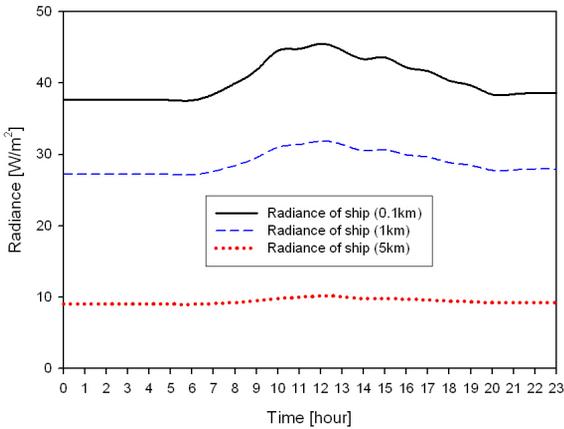


Fig. 13. 함정의 원적외선 신호(7월)

나. 겨울 및 여름철의 적외선 신호 분석

기상청에서 측정된 데이터를 이용하여 1월과 7월에 대하여 함정의 적외선 신호를 계산하였다. 함정과 센서 사이의 거리는 1km를 고려하였으며 겨울과 여름을 대표하는 1월과 7월에 대하여 24시간 동안에 나타나는 함정의 적외선 신호를 중적외선 영역 및 원적외선 영역을 각각 분석하였다.

1) 중적외선 영역 (MWIR)

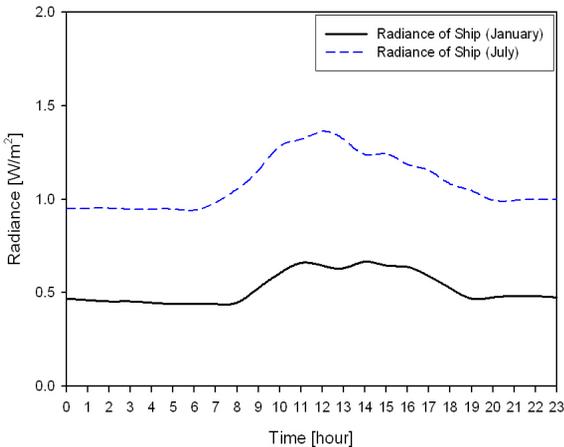


Fig. 14 함정의 중적외선 신호

중적외선 영역(3~5μm)에서 함정의 적외선 신호가 계산된 결과를 Fig. 14에 나타내었다. 분석 결과 1월의 적외선 신호가 여름의 적외선 신호보다 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 여름에 함정의 표면

온도가 겨울 보다 더 높게 나타나기 때문이다. 또한 Fig. 10과 11을 살펴보면 함정과 센서 사이의 거리가 멀어질수록 겨울(1월) 보다 여름(7월) 일 때 적외선 신호가 더 작게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 우리나라 여름철에는 대기 중에 수증기의 양이 많아서 습도가 높게 나타나기 때문이다.

2) 원적외선 영역(LWIR)

원적외선 영역(8~12μm)에서 함정의 적외선 신호가 계산된 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 분석 결과 1월의 적외선 신호가 여름의 적외선 신호보다 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 여름에 함정의 표면 온도가 겨울 보다 더 높게 나타나기 때문이다. 또한 Fig. 12와 13을 살펴보면 함정과 센서 사이의 거리가 멀어질수록 겨울 (1월) 보다 여름 (7월) 일 때 적외선 신호가 더 작게 나타남을 알 수 있다. 그 이유는 우리나라 여름철에는 대기 중에 수증기의 양이 많아서 습도가 높게 나타나기 때문이다.

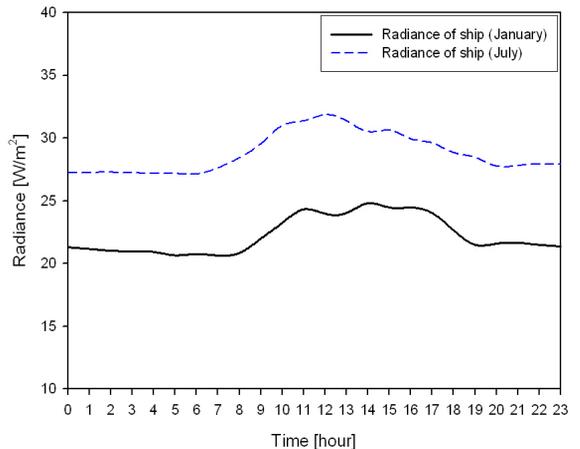


Fig. 15. 함정의 중적외선 신호

5. 결론

함정의 적외선 방사신호는 함정의 생존성과 밀접한 관계를 맺고 있는 중요한 인자이다. 특히 함정과 센서 사이의 거리에 따른 대기투과도 데이터를 가지고 있다면 함정에서 방출되는 적외선 신호를 매우 정확하게 획득할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 파장별 대기투과도를 계산하기 위하여 전 세계적으로 널리 사

용하고 있는 MODTRAN을 이용하였으며 또한 함정에서 방출되는 적외선 신호를 계산하기 위하여 미국에서 개발된 RadThermIR을 사용하였다. 함정의 내부 엔진을 가동시킨 상태이며 함정의 적외선 신호는 함정과 센서 사이의 거리가 멀어질수록 대기투과도에 영향을 받아서 더 작게 나타남을 확인하였다. 또한 겨울철은 여름철보다 기상조건에 따른 대기투과도가 높게 나타난다. 따라서 겨울철은 여름철보다 상대적으로 함정과 센서 사이의 거리에 따른 적외선 신호의 차이가 작게 나타남을 확인하였다. 본 연구는 거제도 기상관측소에서 측정된 2008년 기상자료를 활용하여 적외선 신호를 분석하였으며 향후에도 기상청 측정 자료를 이용하여 함정의 적외선 신호를 분석할 계획이다. 이러한 데이터는 우리나라에서 기술적으로 아직 보유하고 있지 않은 함정의 적외선 신호 시험평가 방법에 큰 밑거름이 될 것이라고 판단된다.

후 기

이 논문은 (1) 국방과학연구소 산학연 주관 응용연구 과제 “함정 IR 전달손실 측정 및 대기환경 효과 보정 기술”, (2) 2009년도 중앙대학교 박사후연수과정 (Post-Doc) 지원사업에 의한 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

References

[1] 최준혁, 박태원, 김정호, 정인화, 김태국, “해양 환경에서의 대기투과도를 고려한 적외선 신호 특성 연구”, 제1회 감시정찰학술대회, 2009.
 [2] 최준혁, 이지선, 김정호, 이성호, 김태국, “대기온도 및 풍속 변화에 따른 함정의 적외선 신호 특성

분석”, 한국군사과학기술학회지, 제11권 제5호, pp. 84~91, 2008.
 [3] Neil W. Scanlan, John R. Schott and Scott D. Brown, “Performance Analysis of Improved Methodology for Incorporation of Spatial/Spectral Variability in Synthetic Hyperspectral Imagery”, SPIE Imaging Spectrometry IX, Vol. 5159, pp. 319~330, 2003.
 [4] David A. Vaitekunas, “Validation of ShipIR(v3.2) : Methodology and Results”, SPIE Targets and Backgrounds XII, 2006.
 [5] Cathala, T., Goff, A. L., Gozard, P., Latger, J., “Realtime Simulation Tools in the CHORALE Workshop”, Proc. SPIE, Vol. 6239, 2006.
 [6] Jeffrey S. Sanders, “Ground Target Infrared Signature Modeling with the Multi-Service Electro-optic Signature(MuSES) Code”, Proc. SPIE, Vol. 4029, 2000.
 [7] 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr>
 [8] Acharya. P. K., Berk. A., Anderson. G. P., Larsen. N. F., Tsay. S-Chee and Stammes. K. H., “MODTRAN4 : Multiple Scattering and Bi-Directional Distribution Function(BRDF) Upgrades to MODTRAN”, Proc. of SPIE, Vol. 3756, 1999.
 [9] Jun-Hyuk Choi and Tae-Kuk Kim, “Analysis of the Spectral Surface Radiance by using the Surface BRDF and the Atmospheric Transmission Effects”, Proc. SPIE, Vol. 7017, 2008.
 [10] Jun-Hyuk Choi and Tae-Kuk Kim, “Study on Spectral Transmission Characteristics of the Reflected and Self-emitted Radiations through the Atmosphere”, Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 35, 2009.