

비균일 대기상태를 고려한 함정의 적외선 신호 특성 분석

최 준 혁,¹ 김 도 휘,¹ 한 국 일,¹ 하 남 구,² 장 현 성,² 이 승 하,² 김 동 건,³ 김 태 국*¹

¹중앙대학교 기계공학부

²LIG 넥스원(주) 광학연구센터

³LIG넥스원(주) M&S연구센터

ANALYSIS OF IR SIGNAL CHARACTERISTICS OF A SHIP FOR NON-UNIFORM ATMOSPHERIC CONDITIONS

J.H. Choi,¹ D.H. Kim,¹ K.I. Han,¹ N.K. Ha,² H.S. Jang,² S.H. Lee,² D.G. Kim³ and T.K. Kim*¹

¹Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang Univ.

²Seeker & EO/IR R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd.

³M&S R&D Lab., LIGNex1 Co., Ltd.

The IR signal entering into a sensor is composed of the following components: the self-emitted component directly from the object surface, the reflected components of the solar and sky irradiance at the object surface, and the scattered component by the atmosphere without reference to any object surfaces. The self-emitted and reflected components from the object can be lowered by the atmospheric layer between the object and the IR sensor. The principle factors influencing the atmospheric transmittance are the air temperature, the relative humidity and the observation distance. Previous studies on IR signal transmission through the atmosphere are focused on uniform atmospheric conditions and the non-uniform nature of the atmosphere was not properly treated in modeling. In this study, we use the local atmospheric transmittance to simulate the non-uniform atmosphere in analyzing the IR signal from the object surface. The results show that the nonuniform analysis of the atmosphere becomes more important as the wavelength of IR signal increases.

Key Words : 적외선신호(IR Signal), 대기투과도(Atmospheric transmittance), 적외선센서(IR Seeker), 비균일대기(Non-uniform Atmosphere), 대기산란성분(Scattered Component)

1. 서 론

절대온도가 0 K 이상인 모든 물체는 복사에너지를 방출하며 이러한 복사에너지중 적외선 파장대(infrared waveband)의 에너지를 이용하여 표적을 포착하고 탐지하는 적외선 유도 기술이 군사적으로 많이 활용되고 있다. 적외선 영역의 복사 에너지는 빛이 존재하지 않는 야간에도 관측이 가능하게 하고 시계가 불량한 대기 조건에서도 양호한 대기투과 특성을 지니는 파장대를 이용해서 표적을 탐지할 수가 있다. 적외선 탐색기는 군사적으로 공격하는 목적이나 방어하는 목적인 경

우에도 물체가 주위 배경에 대비되는 값이 매우 중요하다. 특히, 주위 은폐물이 전혀 없는 해상과 같은 조건에서 주변 환경은 거의 균일한 온도 및 복사 특성을 갖는 반면에 함정과 같은 물체의 경우에는 주위 배경과 대비되는 다른 온도 및 복사 특성을 가지고 있기 때문에 적외선 유도 무기에 쉽게 노출될 수 있다[1]. 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 특성이 있으며, 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]. 물체와 배경의 적외선 신호를 분석하기 위한 방법으

Received: December 13, 2016, Revised: February 8, 2017,

Accepted: February 8, 2017.

* Corresponding author, E-mail: kimtk@cau.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/kscfe.2017.22.1.088>

© KSCFE 2017

로 적외선 카메라로 분석하고자 하는 물체 및 배경을 촬영한 적외선 영상 데이터를 이용하는 것이 가장 정확하다고 할 수 있다. 하지만 주변 환경에 따라 변화하는 적외선 신호를 분석하기 위해 적외선 카메라로 촬영하는 방법에는 시간적 및 공간적인 한계가 있으며, 이를 대체하기 위하여 적외선 신호 예측 프로그램을 이용하는 방법이 있다. 적외선 신호 예측 프로그램은 다양한 기상조건 및 분석 시기에 따라 적외선 신호의 예측 및 분석을 수행할 수 있다. 적외선 센서로 들어오는 적외선 신호는 크게 3 가지 성분으로 구분될 수 있다. 이러한 3 가지 성분들은 물체 자체에서 방출되는 성분, 태양 및 대기복사가 물체에 반사된 성분, 마지막으로 물체에 상관없이 대기에서 방사되는 성분 등으로 나타낼 수 있다. 또한 이러한 적외선 신호는 일반적으로 파장대역에 따라 근적외선(SWIR), 중적외선(MWIR), 원적외선(LWIR) 등으로 분류하기도 한다. 파장대역별로 적외선이 대기를 투과하는 성질을 살펴보면 일부 특정 파장영역에서는 전혀 투과되지 못하는 파장대역이 있는 반면에 다른 파장대역에서는 매우 잘 투과되는 파장대역이 있다. 이것은 파장대역 별로 적외선이 대기 중의 흡수분자(absorbing molecule)에 의하여 흡수되어 투과하지 못하거나 또는 그 반대로 흡수 되지 않고 대기를 잘 투과하기 때문이다[3]. 특히, 적외선 신호는 대기에 의하여 흡수 및 산란되는 특징이 있기 때문에 물체와 센서 사이의 거리가 증가할수록 적외선 센서로 들어오는 복사에너지는 감소하게 된다.

따라서 정확한 적외선 신호를 분석하기 위하여 대기투과도를 정확하게 반영하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다[4]. 대기투과도를 고려한 물체의 적외선 신호 분석은 필수적이며 국내의 경우 거리에 따른 대기투과도를 고려하여 국내 해양 환경에서의 함정의 적외선 신호를 분석을 수행하고 있다[5]. 국외에서는 함정의 적외선 신호에 대한 위협도를 분석하기 위해 적외선 센서에 대한 특성과 대기투과도 계산에 필요한 대기의 소멸계수를 이용하여 함정의 적외선 탐지거리를 계산하고 있다[6]. 두 개의 기존연구에서는 적외선 신호를 분석하기 위하여 반영된 대기투과도는 함정과 적외선 센서 사이에 대기상태가 균일하다고 가정하여 계산하고 있어, 비균일한 대기상태를 고려한 함정의 위협도 분석을 수행하기에는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 거리에 따른 비균일한 대기상태를 고려하여 적외선 신호를 분석하였으며, 비균일한 대기상태를 고려해야 되는 필요성에 대해 확인하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 센서로 입사되는 적외선 신호

적외선 센서로 입사되는 적외선 신호는 Fig. 1과 같이 물체로부터 방출되는 성분, 태양복사 및 대기복사에너지가 물체

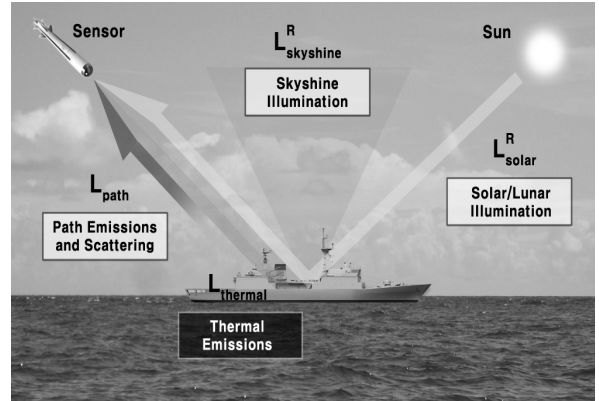


Fig. 1 Radiance received by a sensor

표면에서 반사되는 성분 및 물체에 도달되지 않고 대기에서 산란되는 성분의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{sensor} = L_{self-emitted} + L_{reflected} + L_{path} \quad (1)$$

여기서, $L_{self-emitted}$ 는 물체의 표면온도에 비례하여 자체 방사되는 성분이 센서로 입사되는 적외선 신호이며, $L_{reflected}$ 는 태양 및 대기복사에너지가 물체 표면에서 반사되는 성분이 센서로 입사되는 적외선 신호이고, 마지막으로 L_{path} 는 물체와 센서 사이에 존재하는 대기층에 의한 대기복사에너지가 센서로 입사되는 적외선 신호를 말한다. 본 논문에서는 적외선 센서로 들어오는 적외선 신호를 구하는데 있어서 물체 자체에서 방출되는 적외선 신호($L_{thermal}$)만을 고려하여 분석하였다. 그 이유는 물체의 광학적 표면 특성에 따라 다르지만, 일반적으로 자체 방출 신호는 전체 적외선 신호의 80% 이상이 차지한다는 점을 감안함과 동시에 분석을 단순화시키기 위하여 본 논문에서는 물체 자체에서 방출되는 성분만을 고려하였다.

2.2 Self-emitted radiance($L_{thermal}$)

파장범위 λ_1 과 λ_2 사이에서 물체 자체에서 방출되는 적외선 신호는 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$L_{thermal} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_a(\lambda) \epsilon(\lambda) L_{bb}(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

여기서, $\tau_a(\lambda)$ 는 물체와 센서 사이의 파장별 대기투과도, $\epsilon(\lambda)$ 는 물체 표면의 파장별 방사율(emissivity)이며, $L_{bb}(\lambda)$ 는 절대온도 T 인 흑체(blackbody)에서 방출되는 파장별 복사

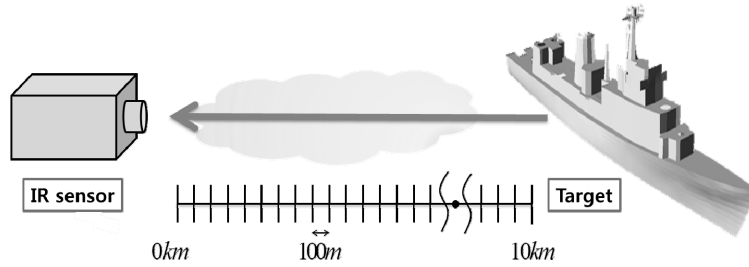


Fig. 2 Atmospheric transmittance between sensor and ship

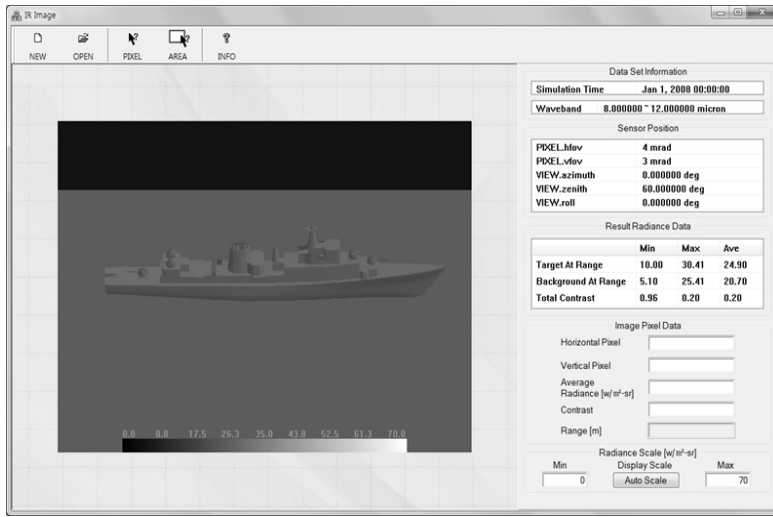


Fig. 3 Example of IR image generation

휘도이다.

절대온도 $T[K]$ 인 흑체가 파장 $\lambda[\mu m]$ 에서 방출하는 복사휘도($L_{bb}(\lambda)$)는 다음과 같이 표시되는 플랑크 함수에 의하여 계산할 수 있다.

$$L_{bb}(\lambda) = \frac{c_1}{\pi \lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (3)$$

여기서, $c_1 = 3.7418 \times 10^8 (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$

$$c_2 = 1.438769 \times 10^4 (\mu m K)$$

2.3 대기투과도

적외선 신호의 강도는 물체와 센서 사이의 대기층을 통과하는 과정에서 흡수 및 산란에 의하여 감소하게 되며 동시에 대기층 자체에서 방출 및 산란되는 에너지에 의하여 증가하는 부분도 있다. 본 연구에서는 대기층을 통한 감쇠효과를 집

중적으로 살펴보기 위하여 적외선 신호를 증가시키는 효과는 문제의 단순화를 위하여 무시하고 분석하고자 한다.

기존 연구에서는 식 (2)에 나타나는 대기투과도($\tau_a(\lambda)$)를 물체와 센서사이의 거리 전체에 대하여 평균한 값을 이용하여 적외선 신호를 계산하였다. 하지만, 실제 환경에서는 대기층의 위치별로 대기 상태가 다르기 때문에 본 논문에서는 대기투과도($\tau_a(\lambda)$) 값을 다음 수식과 같이 위치의 함수로 고려한 국부적인 대기투과도($\tau_a(R, \lambda)$)를 고려하여 나타내었다.

$$L_{thermal} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{R_1}^{R_2} \tau_a(R, \lambda) \epsilon(\lambda) L_{bb}(\lambda) dR d\lambda \quad (4)$$

수치적 분석에서는 대기층을 Fig. 2와 같이 0.1 km 간격으로 분할하여 대기상태의 변화를 반영하였다. 이 때 층별 대기투과도를 결정하는 주요인자로서 상대습도 및 대기온도가 고려되었으며, 본 논문에서는 각 층별 대기투과도의 계산은 상

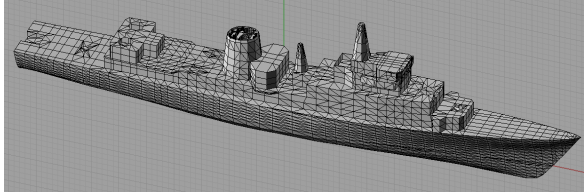


Fig. 4 3-dimensional shape of the object considered for modeling

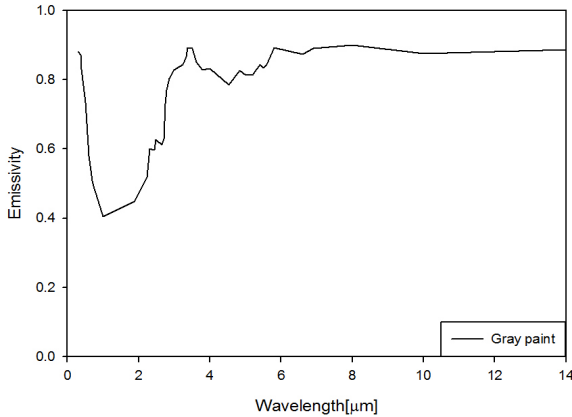


Fig. 5 Spectral emissivity of the paint considered

용 S/W인 MODTRAN5.2를 이용하였다[7].

3. 적외선 신호 분석 S/W

대기투과도에 의한 적외선 신호를 분석하기 위해서는 기상 조건을 고려한 함적의 적외선 신호가 필요하다. 기상상태를 고려한 적외선 신호를 구하기 위해서는 실측하는 방법과 SW 이용한 시뮬레이션 방법이 있다. 함적의 적외선 신호를 실측하여 구하는 방법은 많은 재원과 시간이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 실측된 기상데이터를 이용하여 함적의 적외선 신호를 계산하여 분석하였다. 적외선 신호 분석은 자체적으로 개발한 Silhouette(중앙대학교)을 이용하였다[8]. 프로그램의 구성은 물체의 열역학적 재질 및 광학적 표면특성을 입력할 수 있는 재질할당 모듈, 태양 및 대기복사에너지, 기상상태 등을 입력 및 계산할 수 있는 기상분석 모듈, 물체와 물체사이의 복사 형상계수를 계산할 수 있는 형상계수 모듈, 재질의 표면 온도를 계산할 수 있는 표면온도 모듈, 물체 자체에서 방출되는 적외선 신호를 계산할 수 있는 self-emitted radiance 모듈, 마지막으로 적외선 신호를 계산할 수 있는 IR 영상 분석 모듈로 이루어져 있다. 이 S/W를 이용하여 적외선 영상을 생성한 예를 Fig. 3에 나타냈다.

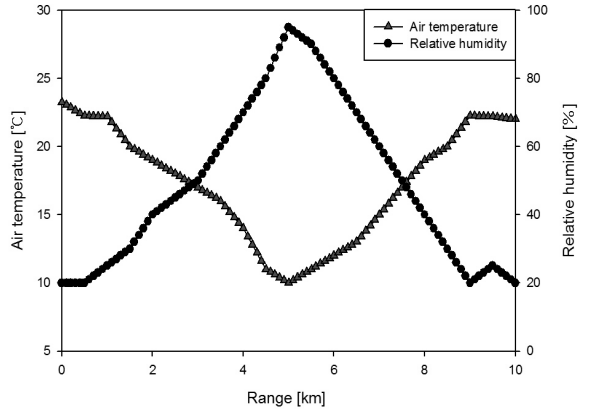


Fig. 6 Atmospheric conditions between sensor and ship

4. 적용조건

4.1 고려된 물체

본 연구에서 적외선 신호를 분석하기 위하여 고려된 물체는 Fig. 4에 나타낸 바와 같은 함정이며, 계산에 고려된 격자수는 약 10,000개이다. 함정의 전장, 전폭, 전고는 각각 101.72m × 11.32m × 22.77m이다. 함정의 재질은 gray 페인트로 도색된 steel이며, Fig. 5에는 도색된 gray 페인트의 광학적 표면 특성을 나타내는 파장별 방사율 데이터를 나타내고 있다.

4.2 기상 조건

대기투과도를 계산하기 위하여 고려된 함정과 센서 사이의 거리는 10 km이며, Fig. 6에는 0.1 km마다 측정된 상대습도 및 대기온도의 변화를 나타내고 있다.

4.3 센서 조건

본 논문에서 고려된 IR 센서는 MWIR(3 ~ 5 μm) 및 LWIR(8 ~ 12 μm) 2 가지 영역의 센서들이며 이들 센서의 자세한 특성은 Table 1에 나타냈다[9].

여기서, NEP는 등가잡음 전력, SNR은 신호잡음비를 각각 의미한다. 또한 D_o 는 센서의 렌즈 지름 그리고 τ_o 는 센서

Table 1 IR Sensor specifications

| | MWIR | LWIR |
|---------------------|----------|---------|
| NEP($W/Hz^{1/2}$) | 1.00E-10 | 1.5E-10 |
| SNR | 3 | 4 |
| D_o (mm) | 60 | 70 |
| τ_o | 0.7 | 0.8 |
| Spectral range(μm) | 3 ~ 5 | 8 ~ 12 |

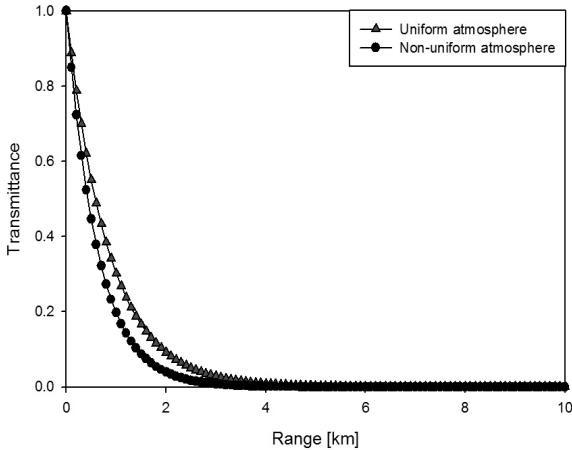


Fig. 7 Atmospheric transmittance(MWIR, 3 ~ 5 μm)

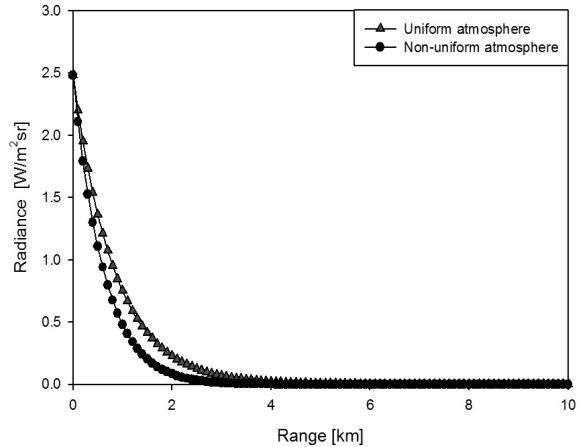


Fig. 9 Transmitted radiance(MWIR, 3 ~ 5 μm)

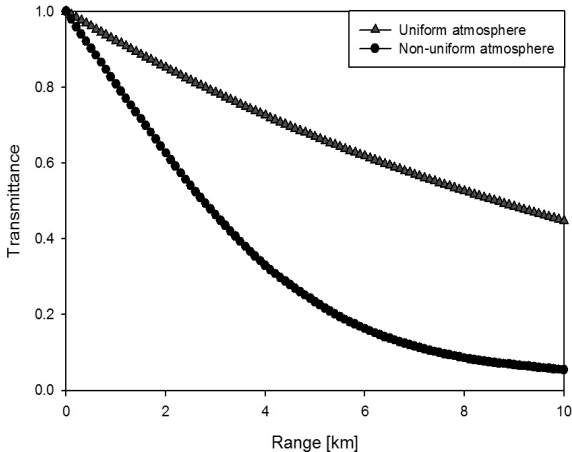


Fig. 8 Atmospheric transmittance(LWIR, 8 ~ 12 μm)

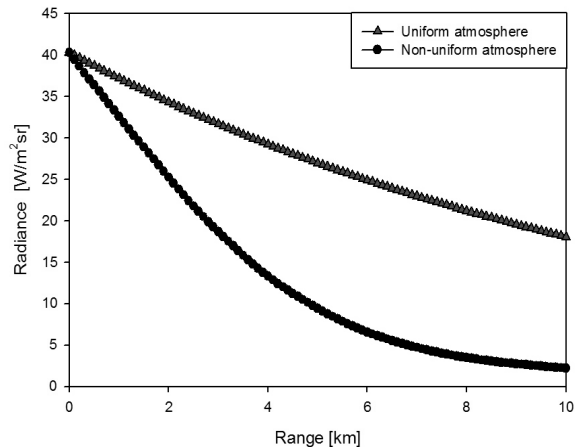


Fig. 10 Transmitted radiance(LWIR, 8 ~ 12 μm)

의 렌즈투과도를 각각 나타낸다.

5. 분석 결과

5.1 대기투과도

본 연구에서는 대기투과도를 계산하기 위하여 MODTRAN 5.2를 이용하였다. 기존 연구에서와 같이 Fig. 6에 나타난 상대습도 및 대기온도의 평균값을 이용하여 계산된 대기투과도(평균 대기상태)와 Fig. 2와 같이 거리에 따라 변화하는 상대습도 및 대기온도를 고려하여 계산된 대기투과도(비균일한 대기상태)를 구하여 각각 비교하였다. 두 가지 방법으로 계산된 MWIR 영역의 대기투과도는 Fig. 7에 그리고 LWIR 영역의 대기투과도는 Fig. 8에 각각 나타냈다.

MWIR 영역의 경우에는 Fig. 7에 나타난 바와 같이 균일한 대기상태를 고려한 계산결과 보다 최대 약 29.11%, 평균 약 26.08% 정도 대기투과도가 낮게 산출되는 것을 확인하였다. 그러나 LWIR 영역의 경우에는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 균일한 대기상태를 고려한 계산결과 보다 최대 약 76.26%, 평균 약 50.20% 정도 대기투과도를 낮게 산출하는 것을 확인하였다. 이러한 대기투과도를 분석한 결과는 MWIR 영역에서보다 LWIR 영역에서 2 km의 관측거리를 기준으로 할 때 약 6배 높게 투과도가 나타나는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 Fig. 8과 같이 불균일도가 매우 큰 대기층을 통과할 경우 파장이 긴 LWIR 영역의 적외선 신호는 센서와 물체 사이의 비균일한 대기상태를 고려하여 분석하는 것이 중요하다는 사실을 확인할 수가 있다.

5.2 센서에 입사하는 물체의 적외선 신호

적외선 신호는 중앙대학교에서 개발한 silhouette를 이용하여 계산하였으며, 기존 연구에서와 같이 Fig. 6에 나타난 상대 습도 및 대기온도의 평균값으로 계산된 대기투과도(균일한 대기상태)를 식 (2)에 대입하여 계산한 결과와 대기층의 거리에 따라 변화하는 상대습도 및 대기온도로 계산된 대기투과도(비균일한 대기상태)를 식 (4)에 대입하여 계산한 결과를 파장대역별로 Fig. 9과 Fig. 10에 각각 나타냈다.

Fig. 9에서는 MWIR 영역의 경우 평균된 균일한 대기상태를 고려하여 산출된 결과는 비균일한 대기층을 반영하여 산출된 적외선 신호 값에 비하여 평균적으로 약 35% 정도 높게 예측하게 됨을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 10에서는 LWIR 영역의 경우 평균된 균일한 대기상태를 고려하여 산출된 결과는 비균일한 대기층을 반영하여 산출된 적외선 신호 값에 비하여 평균적으로 약 100% 정도 높게 예측하게 됨을 확인할 수 있다.

이러한 분석 결과는 대기층을 통과하는 적외선 신호는 대기투과도의 정확도에 매우 큰 영향을 받고 있음을 확인하였으며, 또한 이러한 대기투과 특성의 정확도는 긴 파장영역에서 더욱 중요함을 확인할 수 있다. 따라서 대기층을 통과하는 적외선 신호를 정확하게 계산하고자 할 때 정확한 대기 투과 특성을 반영할 필요가 있으며 이를 위하여 센서와 물체 사이의 비균일한 대기상태를 고려하는 것은 매우 중요한 것으로 판단된다.

5.3 탐지거리

함정의 탐지거리(lock-on range)를 계산하기 위해서는 함정 및 배경의 적외선 신호, 센서와 함정 사이의 대기투과도, 그리고 Table 1에 나타난 적외선 센서의 성능 인자들이 필요하다. 이러한 특성을 반영하여 탐지거리(lock-on range)는 다음과 같이 산출할 수 있다[9].

$$R_M = \sqrt{\frac{\pi(N_t - N_b)A_t D_o^2 \tau_a \tau_o}{4 \cdot NEP \cdot SNR}} \quad (5)$$

여기서, N_t 는 물체의 적외선 신호, N_b 는 배경의 적외선 신호, A_t 는 함정의 면적($763.0m^2$)를 각각 나타낸다. 그리고 τ_a 는 센서와 물체 사이의 대기투과도를 나타내며, 본 논문에서는

균일한 조건 및 비균일한 조건에서 계산된 값(Fig. 8, 9)을 각각 이용하였다. D_o , τ_o , NEP 및 SNR 은 Table 1에 나타난 센서 특성을 나타낸다.

이와 같이 탐지거리를 계산한 결과들은 Table 2에 나타나 있다. 산출된 탐지거리를 살펴본 결과 MWIR 영역의 경우 균일한 대기상태를 고려하여 탐지거리를 산출하였을 때 비균일한 대기상태를 고려하여 산출한 탐지거리에 비하여 약 35% 정도 더 멀게 탐지 가능한 거리를 예측하게 됨을 확인하였다. 그리고 LWIR 영역의 경우 균일한 대기상태를 고려하여 탐지 거리를 산출하였을 때 비균일한 대기상태를 고려하여 산출한 탐지거리에 비하여 약 65% 정도 더 멀게 탐지 가능한 거리를 예측하게 됨을 확인하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 센서와 목표물사이의 대기투과도를 계산할 때 비균일한 대기상태를 고려하여야 하는 필요성을 살펴보았다. 대기투과도는 균일한 대기상태를 이용하여 계산한 결과는 비균일 대기상태를 이용하여 계산한 결과에 비하여 MWIR 영역의 경우 약 35%, LWIR 영역의 경우 약 100% 높게 예측하게 됨을 확인하였다. 따라서 대기층을 통과하여 센서에 입사되는 적외선 신호값은 MWIR 영역의 경우 최대 약 1.4배, LWIR 영역의 경우 최대 약 4.2배 높게 예측하게 됨을 확인하였다. 이러한 결과는 탐지거리의 산출 결과에도 영향을 미치게 되며, MWIR 영역의 경우 35%, LWIR 영역의 경우 약 65% 높게 예측하게 됨을 확인하였다.

대기층을 통과하는 적외선 신호는 대기투과도의 정확도에 매우 큰 영향을 받고 있음을 확인하였으며 이러한 대기투과 특성의 정확도는 긴 파장영역에서 더욱 중요함을 확인할 수 있으며, 정확한 대기 투과 특성을 반영하기 위하여 센서와 물체 사이의 비균일한 대기상태를 고려하는 것은 매우 중요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 LIG넥스원에서 주관하는 연구과제 “3차원 적외선 모델링 소프트웨어 및 영상융합 알고리즘 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 2010, Choi, J.H., Kim, J.H., Jung, I.H., Lee, P.H. and Kim, T.K., "Study on IR Signature Characteristics for

Table 2 Estimated lock-on Range

| | MWIR | LWIR |
|------------------------|---------|----------|
| Uniform atmosphere | 4.56 km | 35.09 km |
| Non-uniform atmosphere | 3.38 km | 21.29 km |

- different Transmittance over the Korean South Sea during Summer and Winter Seasons," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.13, No.2, pp.320-327.
- [2] 2010, Choi, J.H., Shin, J.M., Kim, J.H. and Kim, T.K., "Study on Infrared Image Generation for Different Surface Conditions with Different Sensor Resolutions," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol.47, No.1, pp.631-681.
- [3] 2013, Han, K.I., Kim, D.G., Choi, J.H. and Kim, T.K., "Study on the Seasonal IR Signature Characteristics of a Naval Ship with Plume Gas Effect," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.16, No.4, pp.545-552.
- [4] 2012, Kim, D.G., Choi, J.H., Kil, T.J., Kim, J.H. and Kim, T.K., "Experimental Study on Surface Temperature Variation Characteristics of Rectangular Parallelepipeds Constructed by Different Materials for Varying Meteorological Conditions," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.15, No.2, pp.208-214.
- [5] 2010, Choi, J.H., Kim, J.H., Jung, I.H., Lee, P.H. and Kim, T.K., "Study on IR Signature Characteristics for different Transmittance over the Korean South Sea during Summer and Winter Seasons" *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.13, No.2, pp.320-327.
- [6] 2009, Mahulikar, S.P., "Analytical Analysis of Lock-on Range of Infrared Heat Seeker Missile" *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4): 3703-3713.
- [7] MODTRAN 5.2.0.0 USER'S Manual
- [8] 2015, Han, K.I., Kim, D.G., Choi, J.H. and Kim, T.K., "Application and validation of a S/W developed for IR signal simulation by using the measured data from a moving test ship," *Proc. SPIE 9452*, Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XXVI.
- [9] 2007, Shahid, B., "Low-cost PC-based high-fidelity infrared signature modelling and simulation", Cranfield University.