

중위도 기상조건에서 함정의 연돌 방사율을 고려한 적외선 복사량 예측 및 감소방안 연구

길태준*, 최준혁*, 조용진**, 김태국†***

중앙대학교 대학원 기계공학부*, 한국해양연구원 해양운송안전연구본부**
중앙대학교 공과대학 기계공학부***

A Study on Prediction of Surface Temperature and Reduction of
Infrared Emission from a Naval Ship by Considering Emissivity of Funnel
in the Mid-Latitude Meterological Conditions.

Tae-Jun Gil*, Jun-Hyuk Choi*, Yong-Jin Cho** and Tae-Kuk Kim†***

Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Chung-Ang University*
Maritime & Ocean Engineering Research Institute (MOERI), KORDI**
Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University***

Abstract

This study is focused on developing a software that predicts the temperature distribution and Infrared Emission from 3D objects considering the solar radiation through the atmosphere. The solar radiation through the atmosphere is modeled by using the well-known LOWTRAN7 code. Surface temperature information is essential for generating the Infrared scene of the object. Predictions of the transient surface temperature and the infrared emission from a naval ship by using the software developed here show fairly good results by representing the typical temperature and emitted radiance distributions expected for the naval ship considered in mid latitude. Emissivity of each material is appeared to be an important parameter for recognizing the target in Infrared band region. The numerical results also show that the low emissivity surface on the heat source can be helpful in reducing the IR image contrast as compared to the background sea.

※Keywords: Spectral solar radiation(파장별 태양 복사), LOWTRAN7, Temperature distribution (온도 분포), Infrared radiation(적외선 방사량), Emissivity(방사율), Funnel(연돌)

1. 서론

모든 물체에서 방출되는 복사 에너지는 가시광선의 영역뿐만 아니라 눈으로 볼 수 없는 적외선 파장영역에서도 존재하므로 다양한 목적으로 사용될 수 있다. 군사적인 용도로 사용되는 경우 현대전에서 가장 위협도가 높은 유도미사일의 적외선 호밍 방법 등으로 발전하였다.

특히 함정 적외선 방사신호는 주야간에 걸쳐 큰 위험신호로 작용되며 해상의 균일한 환경은 적외선 유도무기의 좋은 표적을 제공하므로 함정의 생존성을 떨어뜨리게 된다. 따라서 적외선 신호 저항 기술은 최근 들어 레이더 반사면적 저감기술과 더불어 스텔스기술의 중요한 영역으로 여겨지고 있다(조용진 2005).

이러한 군사적인 표적에 대한 적외선 복사신호 특성 연구는 설계단계 시 고려해야할 중요한 요소이며 검증된 소프트웨어를 통한 다양한 조건에서의 영상을 확보할 필요성이 제기되고 있다(조용진 2005).

태양으로부터 지구로 입사되는 태양복사는 대기를 통과할 때 흡수, 투과 및 산란되므로 표적 온도 분포를 구하고자 할 경우 LOWTRAN(Neizys et al. 1988), MODTRAN(Acharya et al. 1999) 등과 같은 대기 투과 모델이 포함되어야 한다. 대기투과모듈을 이용한 종합적인 영상 생성 기법과 관련된 많은 모델들은 군사 기밀이거나 반출 제한 품목으로 분류되어 있으며, 이와 관련되는 문헌의 접근도 쉽지 않다.

DIRSIG(Digital Imaging and Remote Sensing) Laboratory에서는 열적외선 SIG, 적외선 복사 전파 모델, 열역학적 모델, 에너지물질 상호 관계 모델, ray tracing 모델과 적외선 센서 모델에 관련된 모델을 비교분석 하였다. 함정의 적외선 방사신호는 표면자체의 적외선 복사량과 태양 및 주변 환경으로부터 입사된 신호가 반사되는 신호의 합으로 나타나며 관측지점까지 대기환경조건을 통한 감쇠과정을 거쳐 관측기에 최종적으로 도달한다(John 1997).

본 연구에서는 관측기의 센서 내로 입사되는 적외선 복사량을 구하는 데에 필수적으로 요구되는

정보인 목표물 및 배경의 표면 온도 해석 소프트웨어를 개발하였다. 표면 온도 해석을 위해서는 다양한 열전달 모델링이 필수적이며 표적에 입사하는 태양 복사량을 정확하게 반영하는 것이 매우 중요하다. 한국형 호위함(frigate)과 유사한 형태인 함정 모델에 적용하였으나(길태준 등 2006) 실제 함정에 대하여 계산에 필요한 재질의 복사 특성에 관련된 구체적인 정보는 획득이 어려운 군사자료이므로 선체는 임의의 회색계열의 도료를 적용한 금속재질을 적용하여 계절별 표면의 온도 분포 및 적외선 복사량을 계산하였다. 고온의 연소가스가 방출되는 연돌부분에는 연소가스가 방출되는 위치로부터 단계별 온도 값을 부여 후 복사량을 계산하는 것으로 고려하였다. 이러한 열원과 주변사이의 복사대조를 낮추기 위해 폐기가 방출되는 고온의 연돌표면의 방사율이 낮은 재질을 적용하는 연구를 수행하였다. 표면 방사율의 변화를 통해 물체에서 방출되는 복사에너지(Emitted Radiance)의 감소정도와 그 적외선영상을 확인하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 유한 요소별 에너지 보존

표적을 및 배경 등을 다수의 등온, 균질인 미소 크기를 갖는 유한 요소들로 구분하고 임의의 요소에 대하여 에너지 보존을 고려할 수 있다(정진수 1998). 즉, 전도($Q_{cond,i}$), 대류($Q_{conv,i}$), 복사($Q_{solar,i}$) 및 열원($Q_{Gen,i}$)에 의한 복합적인 열전달의 총합을 내부 에너지의 시간에 따른 변화율과 같다고 나타낼 수 있다. 즉, 임의의 i 번째 요소에 유입되는 모든 열량은 요소의 온도를 올리는 데 이용되며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 M_i C_{p,i} \left(\frac{dT_i}{dt} \right) &= Q_{cond,i} + Q_{conv,i} + Q_{solar,i} + Q_{Gen,i} \quad (1) \\
 &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} C_{ji} (T_j - T_i) + Q_{R,i} \\
 Q_{R,i} &= Q_{solar,i} + Q_{Gen,i}
 \end{aligned}$$

여기서, n 은 요소 i 와 전도 열교환을 하는 이웃 요소들의 총 수를 나타낸다. $(n+1)$ 은 요소 i

와 주변 대기사이의 대류 열전달을 나타낸다. 본 연구에서는 복사를 제외한 전도 및 대류에 대하여는 식 (1)에서와 같이 유효 컨덕턴스(Effective Conductance, C_{ji}) 개념을 도입하여 나타내고 있으며, C_{ji} 는 요소 j 와 요소 i 사이의 유효 컨덕턴스를 나타낸다. 여기서, M_i 는 질량, $C_{p,i}$ 는 정압 비열, T_i 는 온도, t 는 시간이다. 열원에 해당되는 부분을 $Q_{R,i}$ 로 나타내었다.

2.1.1. 전도열전달

인접하는 모든 다른 요소들로부터 요소 i 로 전달되는 전도 열전달의 총합은 다음과 같이 임의의 인접 요소 j 를 고려하여 수식으로 표현할 수 있다.

$$Q_{cond,i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n k_{ij} A_{ij,c} \frac{T_j - T_i}{l_{ij}} \quad (2)$$

여기서, $A_{ij,c}$ 는 요소 i 와 요소 j 사이의 공통면적, l_{ij} 는 두 요소들 사이의 거리이며, k_{ij} 는 열전도 계수를 나타낸다. 따라서 식(1)에 나타나는 유효 전도 컨덕턴스는 다음과 같다.

$$C_{ji} = \frac{A_{ij,c}}{\frac{l_i}{k_i} + \frac{l_j}{k_j}} \quad (3)$$

2.1.2. 대류열전달

대류 열전달은 Newton의 냉각법칙을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{conv,i} = h A_{i,o} (T_{\infty} - T_i) \quad (4)$$

여기서, $A_{i,o}$ 는 대기와의 접촉면적, h 는 대류 열전달 계수이다. 식 (4)에 나타낸 대류 열전달도 다음과 같이 유효 컨덕턴스를 이용할 수 있다.

$$Q_{conv,i} = C_{ji} (T_{\infty} - T_i) \quad (5)$$

여기서 대류 열전달 계수 h 는 바람의 속도 및 방향이 주어질 때 Jacobs 실험식(Jacobs 1984)으로 계산하였다(길태준 등 2006).

2.1.3. 태양복사열전달

태양에너지는 열전달 모체가 없는 우주 공간을 지나기 때문에 지구에 복사에너지의 형태로 전달

되며, 복사에너지가 지표면에 도달되는 형태에 따라 두 가지로 구분된다. 대기권에서 산란, 굴절, 편광되지 않고 지표면에 곧바로 도달되는 직사성분과 지구의 대기권에서 수분, 공기 입자, 공해 물질 등에 의해서 산란된 무 방향성 복사에너지인 확산성분으로 나누는 것이다(Iqbal 1983).

본 연구에서는 태양의 직사성분 및 확산성분을 계산하기 위하여 LOWTRAN7을 이용하였다. 태양의 직사성분은 지표면까지 들어오는 irradiance값을 이용하였고, 식(6)을 이용하여 계산한다.

$$q_{solar,dir,i} = \int_0^{\infty} I_{\lambda,dir} \cdot \hat{n} d\lambda \quad (6)$$

여기서 $q_{solar,dir,i}$ 은 태양의 직사성분, $I_{\lambda,dir}$ 는 파장별 직사 성분의 복사 강도, \hat{n} 은 표적표면의 단위법선벡터, $d\lambda$ 은 미소 파장이다. 또한 태양의 확산성분은 전체 각도를 유한개의 각도 구역으로 나누어서 고려하는 구적법 중 T_5 구적법(T_5 quadrature)을 이용하였다. 즉 각각의 각도 구역에 대하여 LOWTRAN7을 실행하여 구한 복사강도를 이용하여 각 표면 요소에 입사되는 최종적인 확산성분을 구하였다.

임의의 한 요소는 그 요소의 단위법선벡터와 단위 태양복사 벡터의 사이각이 90° 이상일 때 태양의 확산성분을 받으며, 이 때 요소에 입사하는 태양 복사 유속을 구하기 위해서 T_N 법(Thurgood 1995)에서 구한 각 가중치에 들어오는 태양 복사에 각각 $\cos\theta$ 를 곱해서 합산한다. T_N 법에서 구한 미소 면적을 $d\omega$ 라고 하면, 각 가중치로 들어오는 태양 복사는 다음 식과 같이 주어진다.

$$q_{solar,diff,i} = \int_0^{\infty} \int_{\hat{\omega} \cdot \hat{n} < 0} I_{\lambda,diff} \cdot \hat{n} d\omega d\lambda \quad (7)$$

여기서 $q_{solar,diff,i}$ 는 태양의 확산성분, $I_{\lambda,diff}$ 는 파장별 확산 성분의 복사 강도, \hat{n} 은 표적 표면으로부터의 단위수직벡터, $d\omega$ 는 $\hat{\omega}$ 방향으로의 각 가중치, $d\lambda$ 는 파장이다. 최종적으로 임의의 i 요소에 들어오는 태양 복사량은 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{solar,i} = q_{solar,i} \times \alpha \times A_{i,o} \quad (8)$$

여기서 $q_{solar,i}$ (= $q_{solar,dir,i} + q_{solar,diff,i}$)는 태양의 직사성분과 확산성분의 합이고, α 는 흡수율, $A_{i,o}$

는 대기와 만나는 임의의 표적 요소의 면적이다.

2.2. 유한 요소별 열해석을 위한 차분 관계식

본 논문에서는 물체의 표면온도를 구하기 위하여 대기와의 대류 및 태양복사를 고려한 에너지보존 방정식을 다음과 같이 고려하였다.

$$M_i \cdot C_{p,i} \left(\frac{dT_i}{dt} \right) = \sum_{j=1}^{N+1} Q_{ji} + Q_{R,i} \quad (9)$$

위의 비정상 상태를 고려한 보존 방정식을 해석하기 위하여 수렴이 보장되는 Semi-Implicit 방법을 사용하였다. 이 때 시간에 대한 미분 항은 현재시간의 온도 T'와 이전 시간의 온도 T를 고려하여 이산화 함으로써 다음과 같은 이산방정식을 얻을 수 있다(최준혁 2004).

$$T'_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} T_j + \sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} T'_j + 2Q_{R,i} \right]}{\sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} \left(1 + \frac{2}{STAB_i} \right)} - \frac{T_i \left[\sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} \left(1 - \frac{2}{STAB_i} \right) \right]}{\sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} \left(1 + \frac{2}{STAB_i} \right)}$$

$$STAB_i = \frac{\Delta t}{CAP_i} \sum_{j=1}^{N+1} C_{\bar{x}} \quad (10)$$

$$CAP_i = M_i C_{p,i}$$

2.3 복사량 관계식

특정 온도 및 파장에서 센서에 도달하는 물체의 복사량(Radiance)을 계산하기 위해 파장별 태양으로부터 물체 및 배경의 반사성분, 대기의 경로산란 복사 등을 고려하여야 하나 (John 1997) 본 논문에서는 물체에서 방사되는 복사량만을 고려하였으며 흑체의 온도를 고려한 플랑크 함수(11)에 적용 하여 계산하였다.

$$I_{\lambda,b} = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]} \quad (11)$$

$$c_1 = 2\pi h c_0^2 = 3.742 \times 10^8 W \cdot \mu m^4 / m^2$$

$$c_2 = (hc_0/k) = 1.49 \times 10^4 \mu m K$$

또한 적외선 신호는 대기의 창(atmospheric window)이 존재함에 따라 대기 투과율이 비교적 양호한 중적외선(MWIR) 및 원적외선(LWIR)으로

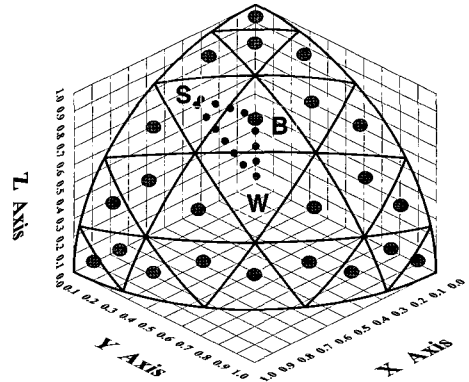


Fig. 2 The Tn quadrature points shows on the surface of the reference sphere

분류되므로 두 가지 영역을 고려하여 4μm와 10μm를 선택하였으며 흑체온도에 대해 재질의 실제 표면에서 방사되는 복사의 비를 의미하는 파장별 방사율(ελ)을 적용하여 복사량(12)을 구할 수 있다(Frank 2003).

$$I_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} I_{\lambda,b} \quad (12)$$

3. 해석시스템 및 조건

3.1 표면 온도 예측 시스템

3.1.1 기준구

본 논문에서는 기준구(reference sphere)에서 검사 체적의 수직벡터를 이용하는 방법을 사용하였다(최준혁 등 2006). 기준구는 형상을 가지고 있지 않는 무한한 구를 말하며 수직 벡터에 민감하게 작용하는 태양 복사와 대류 열전달계수를 기본적으로 계산하므로 1차원 모델의 표면 온도를 쉽게 계산할 수 있다. 검사체적의 수직벡터를 계산하기 위해서 Fig. 2에 나타난 바와 Tn 구적법을 기준구를 통해 수직 벡터에 민감하게 작용하는 태양 복사와 대류 열전달계수를 기본적으로 계산하므로 1차원 모델의 표면 온도를 쉽게 계산할 수 있다.

3.1.2 실제 물체의 표면온도

위에서 계산된 기준구 검사체적의 수직 벡터 온도 값을 함정 형상 모델의 표면 수직 벡터에 적용

시키기 위해서 inverse distance method(최준혁 등 2006)를 이용하였다.

3.2. 공통 조건

지리적 정보 및 재료의 열역학적 물성치는 다음과 같으며 재료 1,2는 파장별 방사율(emissivity)이 매우 낮은 재료이다. 또한 열원이 적용 되는 연돌은 가장온도가 높은 연소가스 배출 부위부터 아래로 3곳으로 나누어 일정한 온도를 부여하여 Table 3에 나타내었으며 연돌로 배출되는 연소가스유동 모델링은 포함시키지 않았다. 그 외의 공통 조건으로는 월별로 풍향은 남풍 3m/s, 바다의 온도는 1월1일 1.5℃, 7월 1일 20.5℃로 맑은 해상에서 정지중인 상태를 고려하였다. Table 1에서

Table 1 Position

| | | |
|------------|----------|-----------|
| 구분 | Latitude | Longitude |
| 한반도 중위도 지역 | 37.34N | 126.34E |

Table 2 Material property

| 구분 | 재료 | 밀도 (kg/m ³) | 비열 (J/kgK) | 열전도율 W/mK |
|----|------------|-------------------------|------------|-----------|
| 1 | Metal Grey | 7870 | 447.7 | 71.96 |
| 2 | Window | 2000 | 900 | 0.75 |

Table 3 Emissivity of each material

| 구분 | 연돌 재료 | 방사율(ϵ_λ) | |
|------|--------------------|---------------------------|------------|
| | | 4 μ m | 10 μ m |
| 변경 전 | Grey Painted Metal | 0.98 | 0.95 |
| 변경 후 | A Aluminum | 0.2 | 0.2 |
| | B Titanium | 0.3 | 0.2 |
| | C Grey fabric | 0.6 | 0.64 |

Table 4 Surface temperature

| 구분 | 연돌 및 선체 온도분포(℃) | | | |
|--------|--------------------|-------------|-----|----|
| | Metal Grey (주변 온도) | 연돌 부분 적용 온도 | | |
| | | A | B | C |
| 1월 12시 | 35.1 ~ 4.1 | 124 | 84 | 44 |
| 7월 12시 | 60.94 ~ 27.7 | 147 | 107 | 67 |

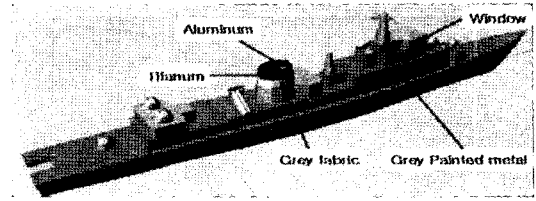


Fig. 3 Material assignment

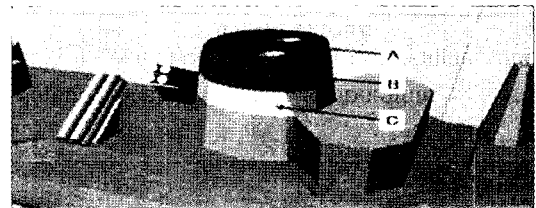


Fig. 4 Heat source

는 표적의 위치이고 Table 2는 재료의 물성을 나타내고 있다.

재료의 두께는 0.05m로 고려하였으며 선체 표면의 깊이방향에 대한 1차원 전도를 계산하였다. 내부의 보온재 등에 의한 영향 고려되지 않았다.

4. 수치 해석 결과

본 연구에서는 개발한 1차원 모델 계산 프로그램을 이용하여 1월1일 낮 12시와 7월1일 낮12시의 온도 및 파장별 함정의 적외선 복사량 해석 결과를 Table 4, 5와 Fig. 5~10에 나타내었으며 이를 Radiance 영상에서 비교하였다. 계산 결과 함정 선체 재료의 온도분포는 일사량의 영향을 받는 부분에서 크게 나타나며 온도 분포는 1월 12시에 4.1~35.1℃, 7월 12시에 27.7~60.94℃의 분포를 나타내고 있다. Fig. 7~10에서 고온의 연돌 표면에 부위별로 방사율 변화에 따른 Radiance 영상을 비교하였고 각 재료의 표면 방사율이 표적의 Radiance 영상에 끼치는 영향을 확인하였으며 이러한 결과를 Table 5에서 비교하였다. 함정의 열원 발생부분인 연돌에 대해 방사율이 주변의 재료보다 낮은 재료를 고려한 결과 방사되는 복사량이 감소하여 연돌 부분에 주변과 동일한 재료를 사용한 경우와 비교 시 복사 대조가 1월 4 μ m에서

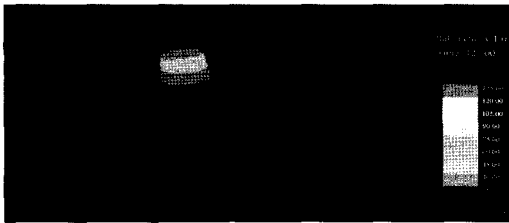


Fig. 5 Temperature distribution on January

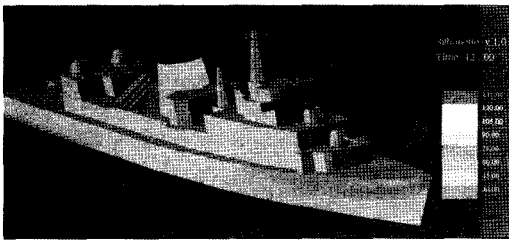
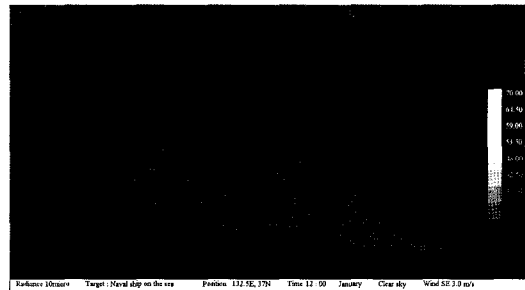


Fig. 6 Temperature distribution on July

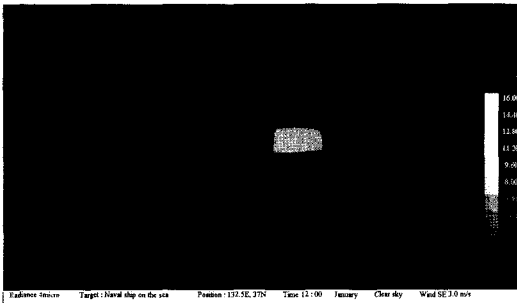


(a) Radiance distribution ($4\mu\text{m}$)

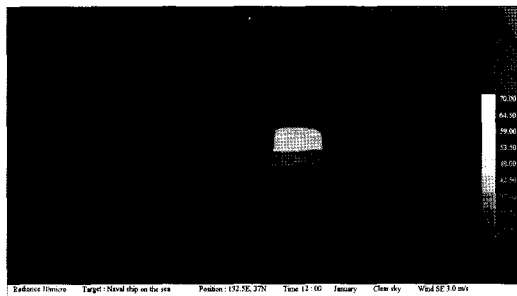


(b) Radiance distribution ($10\mu\text{m}$)

Fig. 8 Radiance on January(After a change of emissivity)

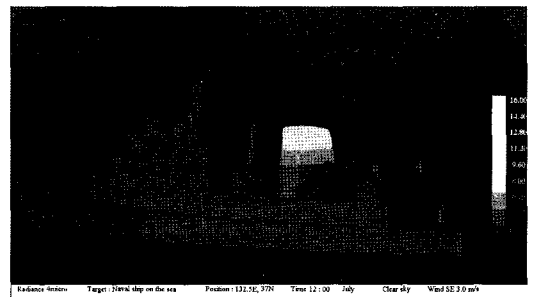


(a) Radiance distribution ($4\mu\text{m}$)

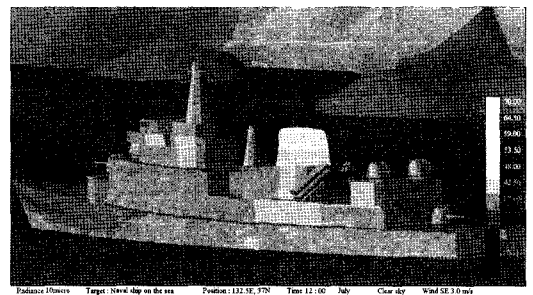


(b) Radiance distribution ($10\mu\text{m}$)

Fig. 7 Radiance on January(Before a change of emissivity)

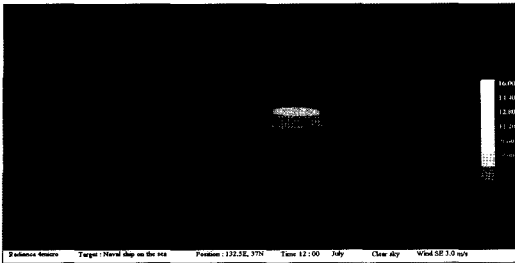


(a) Radiance distribution ($4\mu\text{m}$)

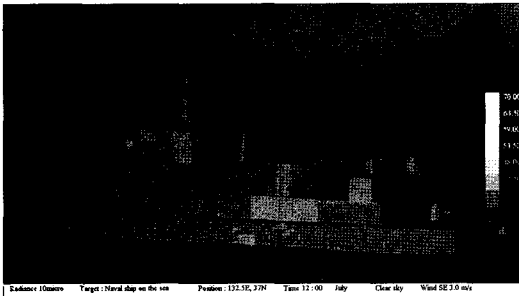


(b) Radiance distribution ($10\mu\text{m}$)

Fig. 9 Radiance on July(Before a change of emissivity)



(a) Radiance distribution ($4\mu m$)



(b) Radiance distribution ($10\mu m$)

Fig. 10 Radiance on July(After a change of emissivity)

Table 5 Radiance of each months and materials

| 구분 | 재 질 | 1월 | | 7월 | |
|----|-------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | Max($W/m^2\mu m$) $4\mu m$ | Max($W/m^2\mu m$) $10\mu m$ | Max($W/m^2\mu m$) $4\mu m$ | Max($W/m^2\mu m$) $10\mu m$ |
| A | Metal Grey | 41.19 | 97.35 | 68.25 | 119.45 |
| | Aluminum | 8.48 | 20.49 | 13.93 | 25.14 |
| B | Metal Grey | 15.05 | 64.27 | 27.52 | 82.44 |
| | Titanium | 4.61 | 13.53 | 8.43 | 17.35 |
| C | Metal Grey | 4.21 | 38.37 | 9.09 | 52.37 |
| | Grey fabric | 2.58 | 25.85 | 5.57 | 35.28 |

Max 84.7%, $10\mu m$ 에서 Max 83.2%정도까지 낮아지고 7월 $4\mu m$ 에서 Max 88.3%, $10\mu m$ 에서 Max 70.7%까지 낮아짐을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 S/W를 통해 함정의 표면 온도에 의한 적외선 영상획득에 주력하였으며 향후 비교 가능한 표적을 이용하여 검증할 예정이다.

5. 결론

본 연구에서는 대기층을 통과하는 태양 복사에 의해서 결정되는 표적의 표면 온도 분포 및 표면의 적외선 복사량을 예측하는 프로그램을 개발하였다. 이를 응용하여 방사율이 낮은 재질을 고온의 연돌에 Table 4의 표면 온도를 고려하여 적용한 결과 복사대조가 낮아져 주변의 복사량과 거의 유사한 특성을 보임을 확인할 수 있었다. 이에 따라 열원의 온도가 높은 정도를 고려하여 방사율의 저하를 통해 주변 요소와의 복사량 대조를 낮출 수 있는 가능성을 확인하였다. 방사율이 낮은 재질을 연돌의 표면에 적용할 경우 전체적인 복사 강도를 감소시킴에 따라 유도미사일의 적외선 센서에 의한 함정 피탐율을 저하에 기여할 수 있으므로 표면 방사율이 함정의 적외선 방사 신호를 개선시키는데 중요한 요소가 될 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 길태준, 최준혁, 조용진, 김태국, 2006, “중위도 기상조건을 고려한 함정의 표면온도 및 적외선방사 특성 예측연구,” 대한조선학회 춘계학술대회, pp. 852-856.
- 정진수, 1998, 3차원 물체의 적외선 화상모사를 위한 형상생성과 열 등가회로의 적용, 서울대학교 공학 박사학위논문.
- 조용진, 2005, 한반도 해양 환경에 따른 적외선 신호 민감도 해석연구, 충남대학교 공학 박사학위 논문.
- 최준혁, 2004, 대기층을 통한 파장별 태양복사를 고려한 3차원 지상표적의 온도분포 해석연구, 중앙대학교 공학 석사학위논문.
- 최준혁, 길태준, 김태국, 2006, “기준구의 온도해석을 통한 지상표적의 표면온도예측기법 연구,”

대한기계학회 춘계학술대회, pp. 2114-2119.

- Acharya, P.K., Berk, A., Anderson, G.P., Larsen, N.F., Tsay, S-Chee and Stammes, K.H., 1999, "MODTRAN4: Multiple Scattering and Bi-Directional Distribution Function (BRDF) Upgrades to MODTRAN," Proc. of SPIE, Optical Spectroscopy Techniques and Instrumentation of Atmospheric and Space Research, Vol. 3756.
- Frank P.I. and David P.P., 2003, Fundamental of Heat and Mass Transfer, fifth edition.
- Iqbal. M., 1983, An Introduction to Solar Radiation. New York : Academic Press.
- Jacobs and P.A.M., 1984, "Convective Heat Exchange of a Three-Dimensional Object Placed in the Open Field," Archives for Meteorology, Geophysics and Bioclimatology, Ser. B, Vol. 33, No. 4, pp. 349-358.
- John R.S., 1997, Remote Sensing, Oxford University Press, Rochester Institute of Technology.
- Neizys, F.X., Shettle, E.P., Abreu, L.W., Chetwynd, J.H., Anderson, G.P., Gallery, W.O., Selby J.E.A. and Clough, S.A., 1988, "Users Guide to LOWTRAN 7," AFGL-TR-88-0177, Environmental Research Papers, No. 1010.
- Thurgood, C.P., Pollard A. and Becker, H.A., 1995, "The TN Quadrature Set for the Discrete Ordinates Method," Transaction of ASME (Journal of Heat Transfer), Vol. 117, pp. 1068-1070.



< 길 태 준 >



< 최 준 혁 >



< 조 용 진 >



< 김 태 국 >