

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.6.577

과장별 BRDF 데이터를 이용한 평판의 적외선 복사휘도 특성 분석

최준혁*, 김동건*, 김정호**, 김태국*

Infrared Signature Analysis on a Flat Plate by Using the Spectral BRDF Data

Jun-Hyuk Choi*, Dong-Geon Kim*, Jung-Ho Kim** and Tae-Kuk Kim*

ABSTRACT

This paper is a part of developing a software that predicts the infrared signal emitted from a ground object by considering solar irradiation. The radiance emitted from a surface can be calculated by using the temperature and optical characteristics of the surface object. The bidirectional reflectance distribution function (BRDF) is defined as the ratio of reflected radiance to incident irradiance. It is a very important surface reflection property that decides the reflected radiance from the object. In this paper, the spectral radiance received by a remote sensor over the mid-wave infrared(MWIR), and the long-wave infrared(LWIR) regions are computed and compared each other for several different materials. The results show that the optical surface properties such as the BRDF and the emissivity of the object surface can play a major role in generating the infrared signatures of various objects, and the largest infrared signal may reach up to 10 times the smallest one when the infrared signals obtained from a flat plate with different surface conditions under the sun light.

초 록

본 논문은 태양복사에너지를 고려한 지상 물체에서 방출되는 적외선 복사휘도를 예측하는 소프트웨어 개발 중 BRDF 데이터를 고려한 적외선 복사휘도를 분석한 내용을 다루었다. 물체 표면에서 방출되는 적외선 복사휘도는 물체의 표면온도 및 광학적 표면 특성을 이용하여 계산할 수 있다. BRDF는 물체 표면에 입사되는 에너지와 반사되는 에너지의 관계로 나타낼 수 있는 백분율로 정의하며 적외선 복사휘도를 분석하는 데 매우 중요한 자료로 사용된다. 본 논문에서는 중적외선 및 원적외선 영역에 대하여 태양이 존재하는 시간동안 다양한 재질의 광학적 표면 특성에 따른 적외선 영상을 생성하여 분석하였다. 연구결과 물체 표면의 복사율 및 BRDF 등은 물체의 적외선 영상에 매우 중요한 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 특히 태양의 영향을 받을 경우 MWIR 영역의 복사휘도는 수치적으로 최대 10배까지 신호량의 차이를 보일 수 있음을 확인하였다.

Key Words : BRDF(양반향 반사 분포 함수) , Solar irradiation(태양복사조도), IR Radiance(적외선 복사휘도), IR Stealth(적외선 스텔스)

† 2010년 3월 16일 접수 ~ 2010년 5월 13일 심사완료

* 정회원, 중앙대학교 기계공학부

교신저자, E-mail : kimtk@cau.ac.kr

서울 동작구 흑석동 221번지

** 정회원, 국방과학연구소

I. 서론

적외선 복사휘도는 레이더 등과 같은 능동 신호와는 달리 탐지활동 여부를 인지하기 어려운 특성이 있기 때문에 군사적인 목적으로 많이 사용되고 있다. 적외선 복사휘도를 이용한 물체의 탐지는 물체와 주변 배경사이의 적외선 복사휘도 차이(infrared radiance contrast)를 인식함으로써 이루어지며, 특히 주위 은폐물이 전혀 없는 물체의 적외선 복사휘도는 주변 환경과 매우 큰 적외선 복사휘도의 차이 갖게 되어 보다 쉽게 상대방에게 노출될 수가 있다. 그러나 물체와 주변 배경과의 적외선 복사휘도 차이는 물체의 적외선 표면 특성(온도, 복사율, 반사율 등)에 변화를 가함으로써 적외선 값을 갖도록 조절할 수가 있다. 이와 같이 물체의 표면 특성을 변화시켜서 주변 배경과 물체로부터 나오는 적외선 복사휘도들 사이의 차이가 최소가 되도록 하는 기술은 인명 및 군용 장비의 보호 차원에서 매우 중요한 기술이며, 현재 전 세계적으로 이러한 IR 스텔스 기술의 개발에 많은 관심을 가지고 있다.

적외선 복사휘도를 분석하기 위한 가장 좋은 방법으로는 실제 관심 있는 물체에 대하여 적외선 센서를 이용하여 실측된 데이터를 얻는 것이지만 다양한 환경 조건의 변화에 따라 지속적으로 적외선 복사휘도를 측정하는 것은 거의 불가능하며, 이러한 어려운 점을 보완하기 위한 방법으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 적외선 복사휘도를 예측하는 방법이 있다. 여러 선진국에서는 오래 전부터 컴퓨터를 이용한 적외선 복사휘도 특성을 분석하는 연구가 진행되어 오고 있으며, 이러한 과정에서 확보된 대표적인 적외선 영상 생성 소프트웨어로는 DIRSIG[1], SE-Workbench-IR[2], RadthermIR[3] 등이 있다. 이러한 소프트웨어를 이용한 연구의 특징은 다양한 환경의 영향을 고려하여 미리 설정된 조건에 대한 가상적인 적외선 영상을 적은 비용으로 쉽게 얻을 수 있다는 점이다. 이러한 컴퓨터 시뮬레이션 결과들은 표적을 인식 및 추적하는데 사용될 수 있는 알고리즘의 개발을 비롯하여 다양한 특징을 갖는 목표물들의 적외선 특성을 연구하는데 활용될 수 있다. 위에서 소개된 여러 선진국들이 개발한 적외선 복사휘도 분석 소프트웨어들은 주로 군사적인 활용을 목적으로 개발되었기 때문에 외국으로의 판매 및 기술 이전 등을 철저히 제한하고 있으며, 일부 상업용으로 공개되고 있는 소프트웨어는 기능상의 제한이 있는 것으로 알려지고 있다. 국내에서도 적외선 영상을 이용한 군사적 응용 예가 점차 증가

되고 있으며 동시에 적외선 복사휘도 분석을 위한 소프트웨어의 필요성도 제기되어 최근 본격적인 국산화 개발 연구가 진행 중이다[4,5].

원거리에 위치하고 있는 적외선 센서는 물체 자체에서 방출되는 복사휘도, 외부 광원이 물체 표면에서 반사되어 나오는 복사휘도 및 센서가 향하고 있는 경로 상의 대기에서 산란된 복사휘도를 탐지하게 된다. 본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서에 도달되는 복사휘도를 분석하는데 있어서 경로 상의 대기층에서 산란되는 성분은 분석의 단순화를 위하여 배제하였다. 따라서 센서로 들어오는 복사휘도는 물체 자체에서 방출되는 성분 및 외부 광원으로부터 나온 복사휘도가 물체 표면에서 반사되는 성분으로 구성되며, 이러한 시뮬레이션의 결과로 얻어지는 적외선 복사휘도 중에서 표면에서 반사되는 복사휘도 성분의 중요성을 평가하고자 한다. 태양이 비치는 낮 시간 동안에 물체 표면의 반사 특성 변화에 따른 적외선 복사휘도의 변화를 살펴보기 위하여 아스팔트, 알루미늄, 콘크리트 및 유리 등으로 구성된 평판을 시뮬레이션 대상으로 설정하였다.

II. 이론적 배경

2.1 적외선 복사휘도

원거리에 위치하고 있는 적외선 센서로 들어오는 복사휘도는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 물체로부터 방출되는 성분, 태양복사 및 대기 복사에너지가 물체 표면에서 반사되는 성분 및 물체에 도달되지 않고 대기에서 산란되는 성분의 합으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$L_{objver} = L_{thermal} + L_{solar/lunar}^R + L_{skyshine}^R + L_{path} \quad (1)$$

여기서, $L_{thermal}$ 은 물체 자체에서 방출되는 복사휘도, $L_{solar/lunar}^R$ 는 태양(달) 분광복사조도가 물체 표면에서 반사되는 복사휘도, $L_{skyshine}^R$ 는 대기분광복사조도가 물체 표면에서 반사되는 복사휘도, L_{path} 는 물체에 도달되지 않고 대기 중에 산란된 복사휘도를 말한다.

본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서에 들어오는 영상을 생성하기 위하여 물체 자체에서 방출되는 복사휘도 ($L_{thermal}$)와 태양에너지가 물체 표면에서 반사되는 복사휘도 ($L_{solar/lunar}^R$)만을 고려하였다.

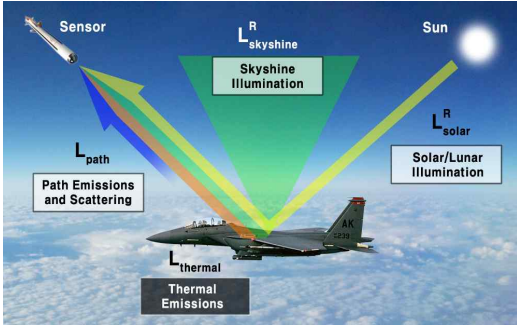


Fig. 1. Decomposition of the infrared signal from an object

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

원거리에 위치하고 있는 적외선 센서로 들어오는 물체 자체에서 방출되는 복사회도는 다음의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

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

여기서, $\epsilon(\lambda)$ 는 물체 표면의 방사율(emissivity)이며 $L_{bb}(\lambda)$ 는 흑체(blackbody)에서 방출되는 분광복사회도이다.

흑체에서 방출되는 분광복사회도 ($L_{bb}(\lambda)$)는 플랑크 함수에 의하여 계산할 수 있으며 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

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

여기서, $c_1 = 3.7418 \times 10^8 (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$, $c_2 = 1.438769 \times 10^4 (\mu mK)$, λ 는 과장영역, T 는 물체 표면의 절대온도[K]이다.

물체의 표면온도 T 는 평판의 깊이 방향으로의 1차원 열전도를 고려하여 계산하였으며, 이 때 고려한 에너지 보존 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$-\frac{k}{\rho c_p} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = Q_{solar} + Q_{skyshine} - Q_{emitted} \pm Q_{conv} \quad (4)$$

여기서, k 는 열전도율, ρ 는 밀도, c_p 는 비열, z 는 깊이 방향의 길이, T 는 표면온도, Q_{solar} 는 태양 분광복사조도, $Q_{skyshine}$ 는 대기 분광복사조도, $Q_{emitted}$ 는 물체에서 방사되는 복사회도, Q_{conv} 는 대류 열 전달량이다.

2.1.2 Reflected radiance ($L_{solar/lunar}^R$)

태양 분광복사조도가 물체 표면에 반사되어서 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서로 들어오는 복사회도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$L_{solar/lunar}^R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(\theta, \phi, \lambda) L_{solar/lunar}(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

여기서, $\rho(\theta, \phi, \lambda)$ 는 물체 표면의 분광반사율(spectral reflectivity)이며 $L_{solar/lunar}(\lambda)$ 는 물체 표면으로 들어오는 과장별 태양(달) 복사회도이다. $L_{solar/lunar}(\lambda)$ 는 직사성분 및 확산성분으로 나타낼 수 있다.

$$L_{solar/lunar}(\lambda) = L_{direct} + L_{diffuse} \quad (6)$$

여기서,

$$L_{direct} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_s(\lambda) I_{direct}(\lambda) \cos \theta_s d\lambda$$

$$L_{diffuse} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \tau_s(\lambda) I_{diffuse}(\lambda, \theta, \phi) d\theta d\phi d\lambda$$

여기서, τ_s 는 태양과 물체 사이의 대기투과도, θ_s 는 태양과 물체 사이의 각을 나타낸다.

2.2 양방향반사분포함수(BRDF)

BRDF(Bi-Directional Reflectance Distribution Function)는 복사조도가 물체 표면에서 반사된 복사회도의 비율로 나타낼 수 있다[9]. 식 5에 나타낸 표면 반사율 $\rho(\theta, \phi, \lambda)$ 는 입사각 θ_i 로 들어오는 에너지가 표면에서 흡수되거나 굴절되지 않고 θ_r 의 각도로 나가는 비율을 나타낸다. BRDF의 기본적인 개념은 Fig. 2에 나타낸 3차원 공간에서의 기하학적 표현으로부터 이해될 수 있다.

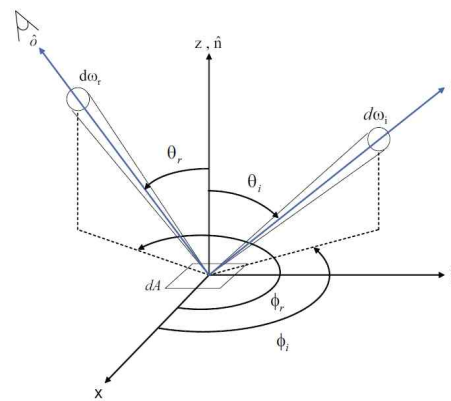


Fig. 2. Geometrical expression for BRDF

본 논문에서는 BRDF를 계산하기 위해서 semi-empirical 데이터를 이용하는 Sandford-Robertson 모델[10]을 이용하였으며 다음 4 가지의 기본적인 표면 재질 정보를 알아야 한다.

- Diffuse spectral reflectance, $\rho_D(\lambda)$,
- Spectral emissivity, $\epsilon(\lambda)$,
- Grazing angle reflectivity, b ,
- Width of specular lobe, e

위의 매개변수들은 재질의 특성에 따라 표면의 반사성향을 결정해주는 역할을 하며, 실험적인 경험에 의해 얻어진 변수이다. 그리고 최종 BRDF(f_r)는 diffuse한 성분(f_d)과 specular한 성분(f_s)의 합으로 나타내어진다.

$$f_r = f_d + f_s \quad (6)$$

Diffuse한 표면은 전 방향에 대해서 일정한 크기로 반사가 일어난다고 가정하고 있으며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$f_d = \frac{1}{\pi} \frac{g(\theta_r)\rho_D(\lambda)g(\theta_i)}{[G(b)]^2} \quad (7)$$

여기서 $g(\theta_r)$, $g(\theta_i)$, $G(b)$ 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$g(\theta_r) = \frac{1}{1+b^2\tan^2(\theta_r)}$$

$$g(\theta_i) = \frac{1}{1+b^2\tan^2(\theta_i)}$$

$$G(b) = \frac{1}{1-b^2} \left[1 - \frac{b^2}{1-b^2} \log\left(\frac{1}{b^2}\right) \right]$$

Specular한 표면은 표면 특성에 따라서 방향성을 가지는 반사율을 나타내며 다음과 같은 수식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$f_s = \frac{1}{4\pi} \rho_s(\lambda, \theta_i) \frac{h(\alpha)}{H(\theta_i)} \frac{1}{\cos(\theta_r)} d(\theta_r) \quad (8)$$

여기서,

$$\rho_s(\lambda, \theta_i) = 1 - \rho_d(\lambda, \theta_i) - \epsilon(\lambda, \theta_i)$$

$$\epsilon(\lambda, \theta_i) = \epsilon(\lambda) \frac{g(\theta_i)}{G(b)}$$

$$h(\alpha) = \frac{1}{[e^2\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha)]^2}$$

$$H(\theta_i) = \frac{1}{2e^2} \left[(1-e^2)\cos(\theta_i) + \frac{[2e^2 + (1-e^2)^2\cos^2(\theta_i)]}{\sqrt{(1-e^2)^2\cos^2(\theta_i) + 4e^2}} \right]$$

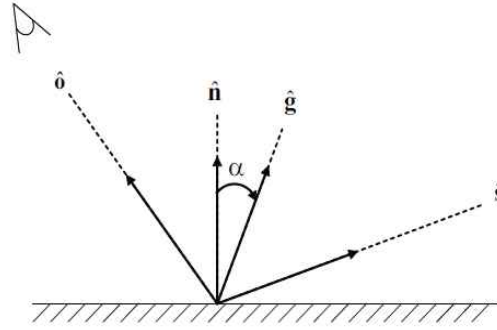


Fig. 3. Geometric surface notations

$$d(\theta_r) = \frac{1}{1+b^2\tan^2(\theta_r)}$$

$$\hat{g} = \frac{(\hat{o} + \hat{s})}{\sqrt{2(1 + \hat{o} \cdot \hat{s})}}$$

$$\alpha = \cos^{-1}(\hat{g} \cdot \hat{n})$$

여기에서 α 는 입사각과 반사각의 1/2에 해당하는 방향 벡터와 물체 표면의 수직 벡터 사이의 각을 말하며 다음 그림에 나타내었다.

III. 적외선 영상 생성

센서로 들어오는 적외선 복사휘도는 물체 자체에서 방출되는 복사휘도 및 외부 광원이 물체 표면에서 반사되는 복사휘도가 대부분을 차지한다. 따라서 본 논문에서는 위의 2 가지 복사휘도를 가지고 각 표면 특성의 변화에 따른 적외선 복사휘도를 계산하여 적외선 영상을 생성하였다.

3.1 적용조건

본 연구에서는 Fig. 5와 같은 4가지의 다른 재질인 아스팔트, 알루미늄, 콘크리트 및 유리로 구성된 시험판으로부터 나오는 복사휘도가 적외선 센서로 들어가는 복사휘도량을 분석하여 보았다. 이러한 시험판은 뒷면이 완전하게 단열된 구조를 가지고 있으며, 표면이 정 남향을 향하게 지표면에 대하여 수직으로 세워져 있는 것으로 가정하였다. 이 때 적외선 센서는 천정각(θ_r) 28.84° 및 방위각(ϕ_r) 341.49° 에서 시험판을 향하고 있는 것으로 가정하였다(Fig. 2 참조).

물체의 표면온도를 계산하고 그 결과를 이용하여 적외선 복사휘도를 계산하기 위하여 2009년 8월 28일, 중앙대학교 (위도: $37.3N$, 경도: $126.57E$)에서 실측된 기상 환경 자료를 이용하

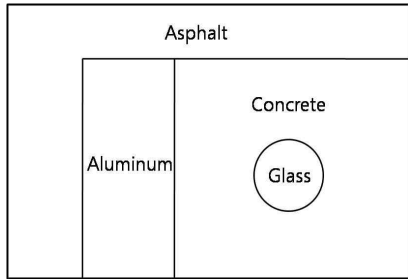


Fig. 4. Plate with different materials

였다. 측정된 데이터 중 태양 및 대기 복사는 EPLAB사의 NIP(Normal Incidence Pyrheliometer), PSP(Precision Spectral Pyranometer), PIR(Precision Infrared Radiometer), 기상 조건은 Casella사의 NOMAD 장비를 이용하여 획득하였다. 시험 평판에 사용된 각 재질의 열역학적 물성치를 Table 1에 나타냈으며 측정된 기상 환경 조건을 Fig. 5에 나타냈다. Table 1에서 ρ 는 밀도, C_p 는 비열, k 는 열전도 계수를 각각 나타낸다. 그리고 α_s 와 α_l 은 단파(0.3~3 μ m) 복사와 장파(3~20 μ m) 복사의 흡수율을 각각 나타낸다.

Table 1. Material properties

	ρ (kg/m^3)	C_p (J/kgK)	k (W/mK)	α_s	α_l
Asphalt	2120	920	0.7	0.7	0.9
Aluminum	2770	884	201	0.5	0.2
Concrete	2200	800	1.28	0.4	0.9
Glass	2529	754	1.17	0.5	0.4

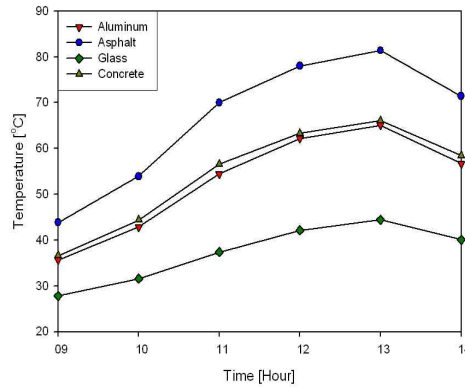
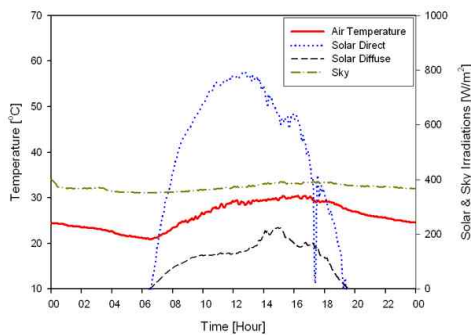
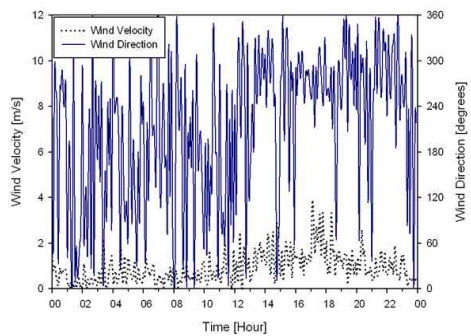


Fig. 6. Calculated temperature change for different materials on the flat plate



(a) Atmospheric temperature and irradiations



(b) Wind velocity and direction

Fig. 5. Measured diurnal meteorological data

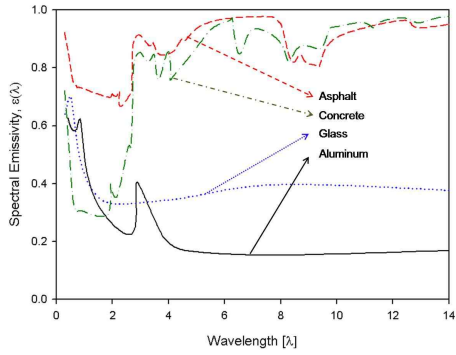
Fig. 6에는 Table 1과 Fig. 5에 나타난 기상 자료를 이용하여 식 (4)로부터 계산된 평판 위의 각 재질별 시간에 따른 표면온도 변화 결과를 나타내고 있다.

고려된 시험평판의 재질별 표면 반사 특성을 나타내는 BRDF 함수의 계산에 사용된 표면 복사 물성 정보를 각각 Table 2 및 Fig. 7에 나타내고 있다. Table 2에는 재질별로 적용된 BRDF 보정 인자들을 나타내고 있으며, 또한 BRDF를 계산하기 위하여 고려된 분광복사율 (spectral emissivity) 및 분광반사율 (spectral diffuse reflectivity) 을 0.3~14 μ m 파장 범위에 대하여 나타내고 있다.

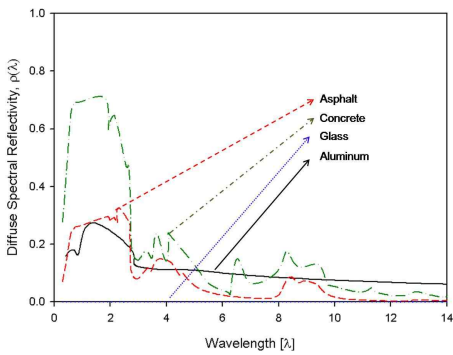
특히 Fig. 7에서 분광반사율을 살펴보면 유리 (glass) 의 경우에는 약 0.01 ~ 0.75 사이의 값을 가지므로 균일 (diffuse) 한 성분의 반사율은 거의 없음을 확인할 수 있다.

Table 2. Surface BRDF parameters for different materials

	b	e
Asphalt	0.02	0.595
Aluminum	0.09	0.028
Concrete	0.14	0.002
Glass	0.04	0.527



(a) Normal spectral emissivity



(b) Diffuse spectral reflectivity

Fig. 7. Spectral emissivities and reflectivities for different materials

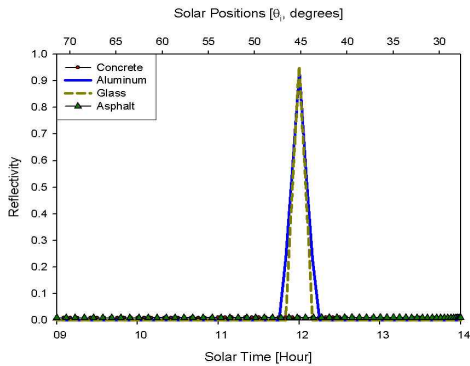


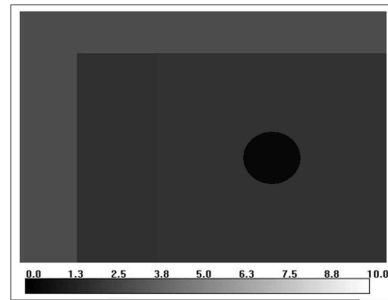
Fig. 8. Computed reflectivities for different materials at different solar positions

본 연구에서 고려된 적외선 센서의 탐지 각도인 천정각(θ_r) 28.84° 및 방위각(ϕ_r) 341.49° 에 대하여 태양의 위치(시간) 변화에 따라 식 (5) 이용하여 구한 BRDF 결과를 물체 표면의 반사율(reflectivity)로 환산하여 나타낸 자료를 Fig. 8에 나타내고 있다. 이 데이터는 전 파장대를 평균한 값으로 나타낸 것이다.

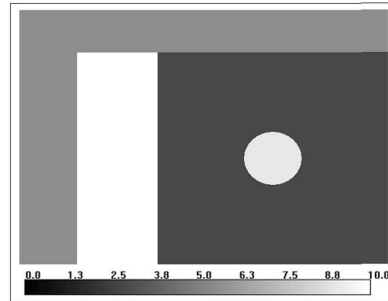
3.2 적외선 복사휘도 해석 및 분석

본 논문에서는 다양한 물체로부터 방출 및 반사에 의하여 나오는 적외선 복사휘도 특성을 분석하기 위하여 태양이 존재하는 오전 9시부터 오후 14시까지 한 시간 간격으로 적외선 복사휘도를 해석하였으며 $3\sim 5\mu\text{m}$ 범위의 중적외선(MWIR) 및 $8\sim 12\mu\text{m}$ 범위의 원적외선(LWIR) 영역에 대하여 각각 적외선 복사휘도를 살펴보았다. 특히 중적외선 영역의 경우에는 태양복사에너지의 영향을 받으며, 원적외선 영역의 경우에는 태양복사에너지의 영향을 거의 받지 않는다.

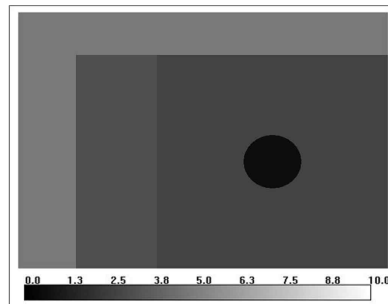
Fig. 9 와 10에는 중적외선(MWIR) 영역에서 계산된 적외선 복사휘도의 크기를 나타내고 있



(a) 10 o'clock



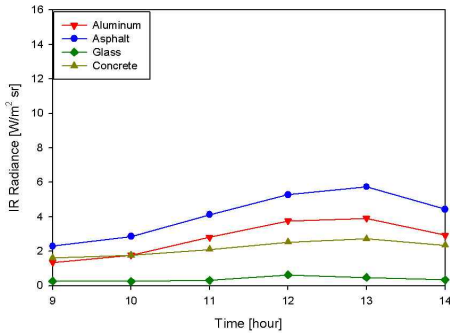
(b) 12 o'clock



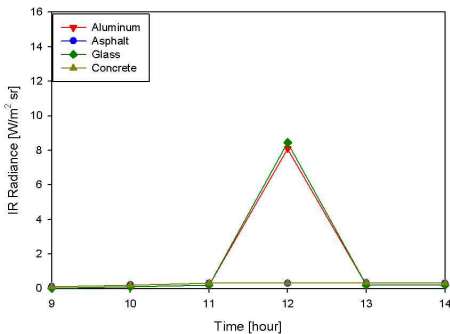
(c) 14 o'clock

Fig. 9. Modeled IR images in MWIR ($3\sim 5\mu\text{m}$) region

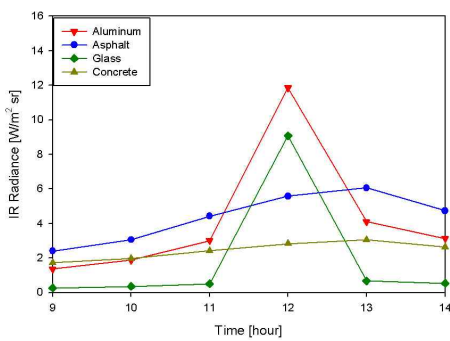
다. 알루미늄과 유리의 경우에는 가시광선에 가까운 짧은 적외선 파장 영역에서 큰 반사율 값을 가지기 때문에 짧은 파장 영역에 많은 복사휘도 분포를 가지고 있는 태양복사에너지에 큰 의존성을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 아스팔트와 콘크리트의 경우에는 상대적으로 이 파장영역에서 반사율 값이 작게 나타나기 때문에 센서로 들어오는 적외선 복사휘도는 태양복사에너지의 영향을 거의 받지 않고 물체의 표면 복사휘도에 주로 의존하게 됨을 계산 결과들로부터 확인할 수 있다.



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

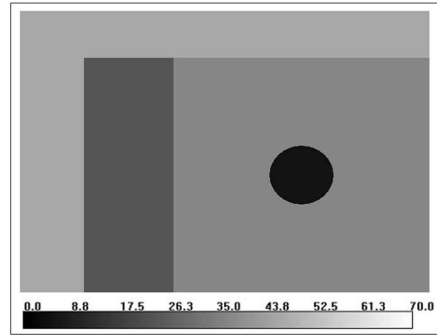


(b) Reflected radiance (L_{solar}^R)

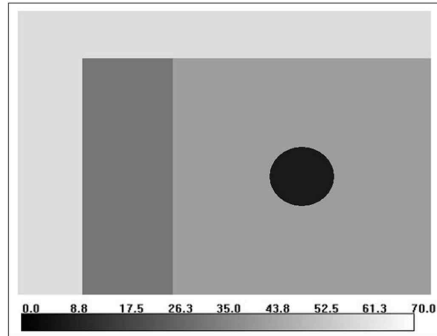


(c) Total radiance ($L_{observer}$)

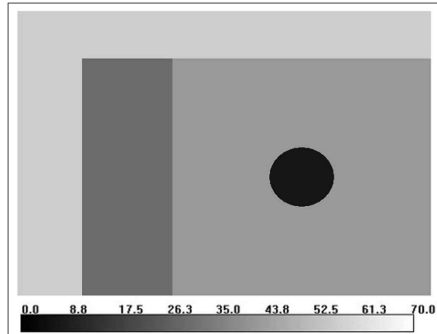
Fig. 10. Modeled IR radiances in MWIR (3~5 μ m) region



(a) 10 o'clock



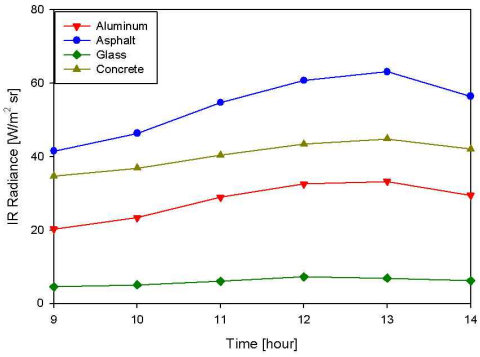
(b) 12 o'clock



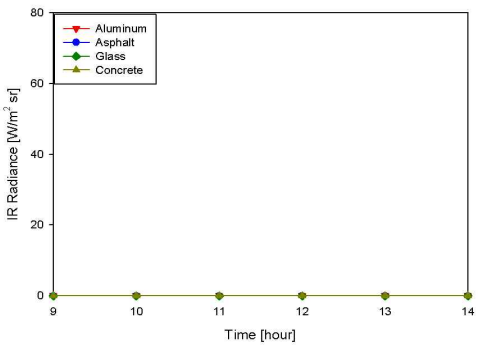
(c) 14 o'clock

Fig. 11. Modeled IR images in LWIR (8~12 μ m) region

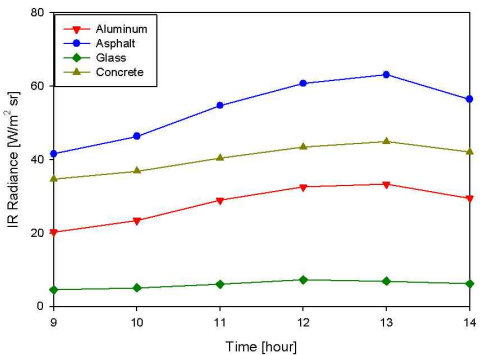
Fig. 11 과 12에는 원적외선(LWIR) 영역에서 계산된 적외선 복사휘도의 크기를 나타내고 있으며 앞서 살펴보았던 중적외선 영역의 복사휘도와 달리 긴 파장 영역에서는 고려된 모든 물질에 대하여 태양복사에너지의 반사 성분은 거의 나타나지 않으며 자체에서 방출되는 복사휘도가 적외선 복사휘도의 대부분을 차지하게 된다는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 Fig. 11에 나타난 적외선 영상에서도 볼 수가 있으며, 적외선 영상의 차이는 단지 표면의 재질별 방출에너지의 차이에 의하여 구분되고 있는 것을 알 수가 있다.



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



(b) Reflected radiance (L_{solar}^R)



(c) Total radiance ($L_{observer}$)

Fig. 12. Modeled IR radiances in LWIR ($8\sim 12\mu m$) region

IV. 결 론

본 논문에서는 평판에 설치된 각각의 다른 광학적 표면 특성을 가지는 재질별로 태양복사에너지의 위치 (시간 변화) 에 따른 BRDF 특성을 반영한 적외선 복사휘도를 계산하였다. 이러한 적외선 복사휘도는 지정된 방향에 위치하고 있는 적외선 센서로 입사되는 값으로 계산하였으며 계

산 결과는 중적외선 및 원적외선 영역에 대하여 적외선 영상을 생성하여 각각 비교하여 보았다. 분석 결과 중적외선 영역의 경우에는 반사율이 큰 재질일 때 태양복사에너지에 많은 의존성을 가지게 됨을 확인하였으며, 반면에 원적외선 영역의 경우에는 물체 자체에서 방출되는 복사에너지(물체의 표면온도)에 많은 의존성을 가지는 것을 확인하였다. 따라서 적외선 센서로 입사되는 신호 값은 물체의 표면온도 및 광학적 표면 특성(복사율, BRDF) 등이 중요한 요소가 됨을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 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.
- 2) Cathala, T., Goff, A. L., Gozard, P., Latger, J., "Realtime Simulation Tools in the CHORALE Workshop", Proc. SPIE, vol. 6239, 2006.
- 3) Jeffrey S. Sanders, "Ground Target Infrared Signature Modeling with the Multi-Service Electro-optic Signature (MuSES) Code", Proc. SPIE, vol. 4029, 2000.
- 4) 김태국, "표면온도 해석 기법 연구", 국방과학연구소 영상정보 특화연구센터, 적외선 특성 연구실 2단계 최종 보고서, 2009.
- 5) 김태국, "추적레이더/IR 시험평가를 위한 모사기법", 국방과학연구소 산학연 주관 응용 연구 최종 보고서, 2009.
- 6) Jun-Hyuk Choi and Tae-Kuk Kim, "Study on Spectral Transmission Characteristics of the Reflected and Self-emitted Radiations through the Atmosphere", Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 35, pp. 395-408, 2009.
- 7) Piter A. Jacobs, Thermal Infrared Characterization of Ground Targeta and Backgrounds, SPIE Press, 2006.

- 8) Jun-Hyuk Choi and Tae-Kuk Kim, "Study on the spectral transmission characteristics of MWIR through the atmosphere", *Proceeding of SPIE*, image and signal processing for the remote sensing XII, vol. 6748, 2007.
- 9) Wolfgang Lucht and Crystal Baker Schaaf, "An Algorithm for the Retrieval of Albedo from Space Using Semiempirical BRDF Models," *IEEE TRANSACTIONS on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, pp. 977-998, 2000.
- 10) B. Sandford and D. Robertson, "Infrared Reflectance Properties of Aircraft Paints", *IRIS Targets, Backgrounds and Discrimination*, 1985.