

물체의 표면 상태와 센서의 해상도에 따른 적외선 영상 구현 연구

최준혁*, 신종묵*, 김정호**, 김태국†*

중앙대학교 기계공학부*
국방과학연구소**

Study on Infrared Image Generation for Different Surface Conditions with Different Sensor Resolutions

Jun-Hyuk Choi*, Jong-Mook Shin*, Jung-Ho Kim** and Tae-Kuk Kim†*

Department of Mechanical Engineering, Chung-Ang University*
Agency for Defense Development**

Abstract

This paper is a foundation work in developing a software for generating infrared images from a scene with various objects. The spectral radiance received by a remote sensor is consisted of the self-emitted, reflected and scattered components. In general, the self-emitted component is the most important part for generating Infrared signatures from the object. In this paper, the infrared image generation considering various surface temperature and optical surface property of a flat plate is demonstrated in MWIR(3~5 μ m) and LWIR(8~12 μ m) regions for different spatial resolutions of the images. Resulting spectral radiance values in the MWIR(3~5 μ m) and LWIR(8~12 μ m) regions arrived at the infrared sensor are compared numerically and graphically by recognizing that they are strongly dependent on the surface conditions such as the surface temperature and the surface emissivity. And these infrared images are also shown to be strongly dependent on the resolutions of the infrared imaging devices as well. This study reveals that the surface conditions are more dependent on the radiance level from the surface while the resolution of the imaging device is more responsible for identifying the shape of object.

※Keywords: Infrared image generation(적외선 영상 생성), Self-emitted radiance(물체자체방사), Flat plate(평판), Surface temperature(표면온도), Emissivity(방사율)

1. 서론

함정에서 방출되는 적외선 신호를 탐지하는 목적으로 설계된 원거리 적외선 센서는 일반적으로 3~5 μm 범위의 중적외선(MWIR) 영역과 8~12 μm 범위의 원적외선(LWIR) 영역에 대하여 적분된 신호값을 탐지하게 된다. 이러한 중적외선 영역과 원적외선 영역에서는 신호의 대기투과도가 양호하기 때문에 비교적 원거리를 통하여 목표물의 관측이 가능하다(Kil et al. 2007). 적외선 신호를 예측하기 위해서는 센서로 들어오는 복사에너지를 분석해야 하며 이 값은 일반적으로 함정의 표면 온도 및 표면 방사율과 같은 표면 상태에 따라서 방출되는 복사에너지, 태양으로부터 오는 단파복사(태양복사에너지)와 대기의 장파복사(sky radiation)가 함정 표면에서 반사되어 센서 방향으로 나오는 복사에너지 및 함정 표면에 도달되지 않고 대기 중에서 직접 센서 방향으로 들어가는 복사에너지로 구성된다(Choi and Kim 2009). 함정 표면에서 방출되는 복사에너지의 크기에 미치는 영향에는 함정의 내부적인 요인과 외부적인 요인으로 구분할 수 있다. 내부적인 요인은 함정의 내부에 존재하는 엔진 및 배기관 등이 함정의 표면 온도를 상승시키게 되어 함정 표면으로부터의 적외선 방사량을 증가시키는 것이다. 따라서 함정 내부의 고온 기기들에는 적외선 저감장치(IRSS, Infra-Red Signature Suppression)를 설치하여 적외선 스텔스 기능을 적용시키고 있다. 외부적인 요인으로는 함정 표면의 광학적인 특성인 방사율(emissivity)과 반사율(reflectivity)의 크기에 따라 표면으로부터 나오는 복사에너지의 크기가 달라지는 것이다. 따라서 내외부적인 요인으로 발생하는 복사량을 제어하기 위하여 특수 도료를 도포하거나 해수를 함정의 외부 표면에 살포하여 함정과 해수면 사이의 적외선 신호 대비 값을 감소시키고 있다(Kil and Cho 2007).

본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서에 입사하는 복사에너지를 분석하였으며, 특히 물체 자체에서 방출되는 복사에너지에 영향을 미치는 물체의 표면온도 변화 및 물체 표면의 방사율(emissivity) 변화 등에 따른 영향을 분석하였

다. 동시에 사용되는 적외선 센서의 해상도(sensor resolution)에 따라 나타나는 적외선 영상의 정확도도 비교 분석하였다.

2. 이론적 배경

원거리에 위치하고 있는 적외선 센서로 들어오는 복사에너지는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 물체로부터 방출되는 성분, 직사 및 확산되는 태양복사에너지가 물체 표면에서 반사되는 성분 및 물체에 도달되지 않고 대기에서 산란되는 성분 등의 합으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다(Choi and Kim 2008).

$$L_{observer} = L_{thermal} + L_{solar}^R + L_{sky}^R + L_{path} \quad (1)$$

여기서 $L_{thermal}$ 은 물체 자체에서 방출되는 복사에너지, L_{solar}^R 는 태양복사에너지가 물체 표면에서 반사되는 복사에너지, L_{sky}^R 는 대기복사에너지가 물체 표면에서 반사되는 복사에너지, L_{path} 는 물체에 도달되지 않고 대기 중에서 산란된 복사에너지를 말한다.

본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서로 들어오는 영상을 생성하기 위하여 적외선 센서로 입사되는 신호($L_{observer}$)는 물체 자체에서 방출되는 복사에너지($L_{thermal}$)만을 고려하였으며 이것은 다음의 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

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

여기서, ϵ_{λ} 는 물체 표면의 방사율(emissivity)이며 L_{λ}^{bb} 는 흑체(blackbody)에서 방출되는 복사에너지이다.

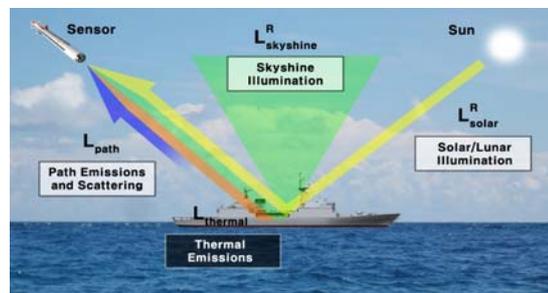


Fig. 1 Radiance received by a remote infrared sensor

흑체에서 방출되는 복사에너지(L_{λ}^{bb})는 플랑크 함수에 의하여 계산할 수 있으며 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다(Jacobs 2006).

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

여기서, $c_1 = 3.7418 \times 10^8 (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$, $c_2 = 1.438769 \times 10^4 (\mu m K)$, λ 는 파장영역, T 는 물체의 표면온도(K)이다.

3. 적외선 신호 분석 및 영상 생성

적외선 영상을 생성하기 위해서 필요한 과정 중의 하나는 3차원 물체를 2차원 평면으로 투영하는 것이다. Fig. 2에는 적외선 센서가 물체를 바라볼 때 형성되는 시야각(FOV, field of view)을 나타냈으며 적외선 영상은 센서의 시야각에 들어온 물체만을 포함하게 된다(Hudson 2006). 만약 적외선 센서의 면이 사각형이라면 COP를 꼭짓점으로 하고 피라미드 모양으로 나타나는 관측 공간(view volume) 안에 있는 물체가 적외선 영상으로 나타나게 된다. 여기서 COP란 적외선 센서 장치를 구성하는 렌즈의 표면 중심을 말하며, 관측 공간에 포함되지 않는 부분은 적외선 영상 밖으로 클리핑(clipped) 된다고 할 수 있다(Angel 2009).

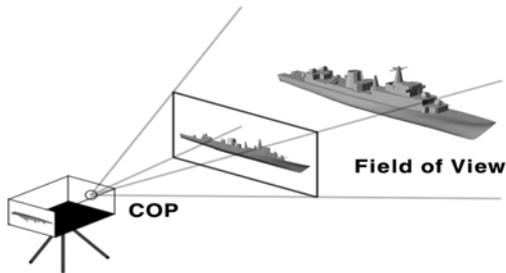


Fig. 2 Image received by an IR sensor

본 논문에서는 적외선 센서로 들어오는 물체의 영상을 생성하기 위하여 투영 정규화(projection normalization)를 기반으로 하였으며 원하는 물체의 투영이 되도록 직교 투영으로 변환시키는 방법을 이용하였으며, 다양한 조건 하에서 센서로 들

어오는 적외선 신호량을 계산하여 그 결과를 영상으로 나타내기 위한 소프트웨어를 개발하였다. 본 논문에서는 적외선 센서로 들어오는 신호 중에서 물체의 표면에서 방사되는 Self-emitted radiance만 고려하여 센서의 픽셀별로 입사하게 되는 적외선 신호량을 계산하여 비교 분석하였다.

3.1 온도 차이가 있는 평판의 적외선 신호

고려된 평판은 10개의 구역으로 나누었으며 각각의 구역에는 10°C부터 100°C까지 10°C간격으로 각각 일정한 온도로 설정하였다. 적외선 센서는 8 × 12 degrees of FOV를 가지며 평판과 10.5m 떨어져 있다. 그리고 평판의 크기는 2 × 1.5m이며, 광학적 표면 특성은 흑체(blackbody)라고 가정하여 고려되는 센서의 각 픽셀별 적외선 신호량을 계산하였다. 이러한 시스템의 개략도를 Fig. 3에 나타냈으며 고려된 평판의 할당된 구역별 온도 분포는 Fig. 4에 나타냈다.

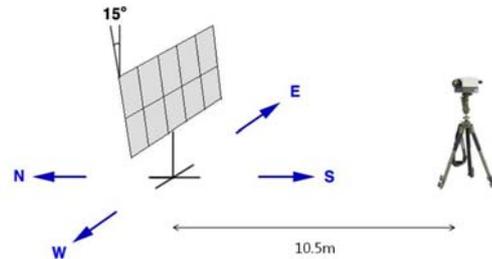


Fig. 3 System outline

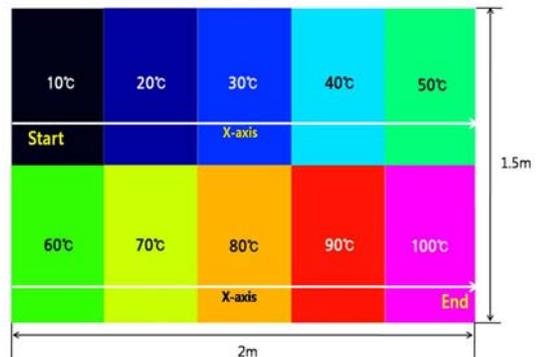
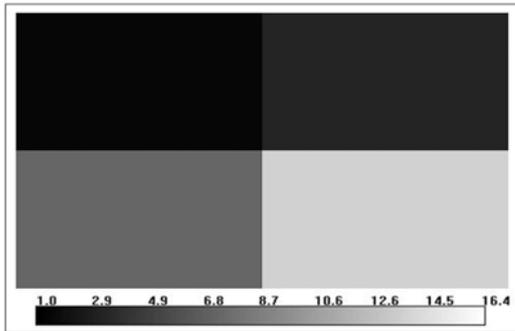
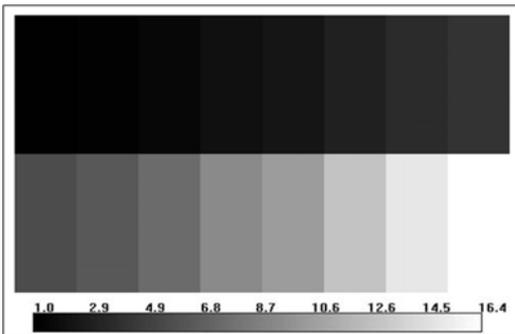


Fig. 4 Plate with different temperatures

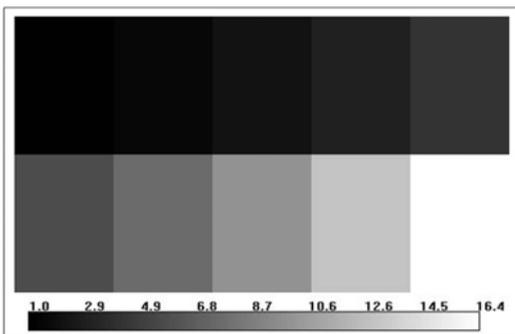
적외선 신호 계산 결과는 중적외선(MWIR) 및 원적외선(LWIR) 영역에 대하여 분석된 적외선 영상을 센서의 해상도 변화에 따라 구한 적외선 신호량을 Fig. 5 와 6에 각각 나타냈다.



(a) 2×2 (pixels)

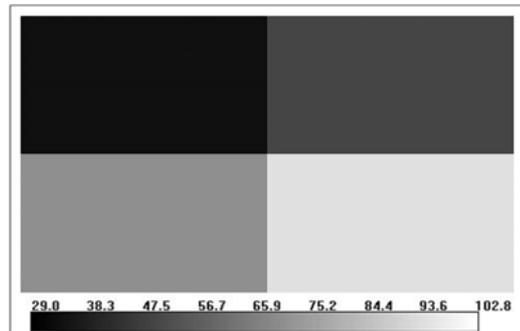


(b) 8×6 (pixels)

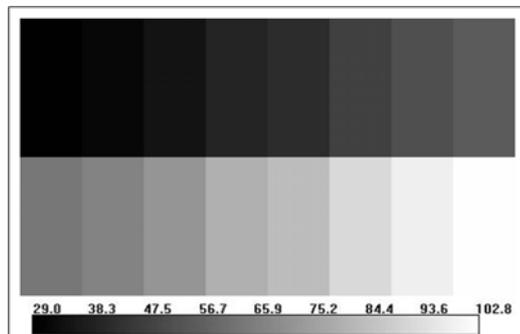


(c) 320×240 (pixels)

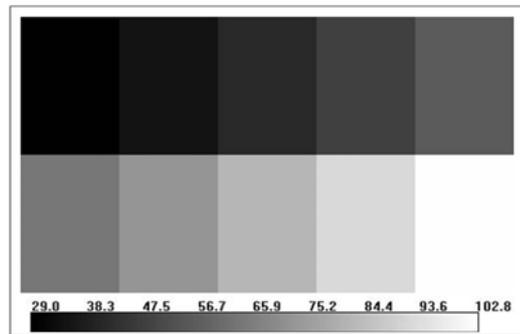
Fig. 5 IR images of MWIR (3~5μm)



(a) 2×2 (pixels)



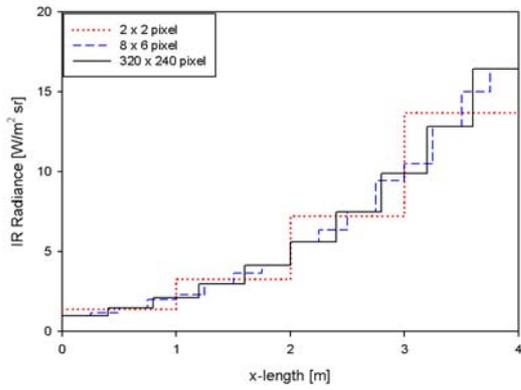
(b) 8×6 (pixels)



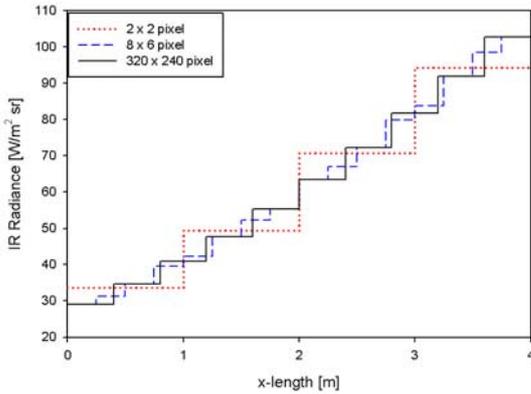
(c) 320×240 (pixels)

Fig. 6 IR images of LWIR (8~12μm)

Fig. 7에는 Fig. 4에 표시된 x축을 따라 구한 적외선 파장영역별 적외선 신호 분포를 각각 나타내고 있다. 또한 평판의 각 영역에서 방출되는 중적외선 및 원적외선 영역에 대한 적외선 신호 계산 결과를 Table 1과 2에 각각 나타내었다.



(a) MWIR (3~5 μ m)



(b) LWIR (8~12 μ m)

Fig. 7 Radiance profiles obtained for different temperatures with different sensor resolutions

Fig. 7에 나타난 적외선 신호량의 분포도를 살펴보면 알 수 있듯이 Fig. 5와 6에 나타난 적외선 영상자료의 정확도는 센서의 해상도에 따라 매우 민감하게 달라지는 것을 알 수 있다. 센서의 픽셀 수가 2×2일 경우에는 총 4개의 픽셀을 가지게 되지만 고려된 평판은 10개의 다른 온도 영역으로 이루어져 있기 때문에 각 픽셀의 적외선 신호는 다른 온도로 나타난 영역들의 평균 적외선 신호값으로 계산된다. 반면에 픽셀 수가 320×240일 경우에는 총 픽셀 수가 76,800개 이므로 고려된 평판의 온도가 다른 각 영역의 적외선 신호값의 분포는 온도가 급격하게 변하는 경계면을 뚜렷하게

모사할 수 있게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 각 영역에 대한 적외선 신호는 온도가 다른 영역들에서 방출되는 적외선 신호량의 평균값이 아닌 일정한 온도를 갖는 영역에서 방출되는 복사에너지로서 적외선 영상이 생성되는 것을 알 수 있다.

Table 1 Radiances in MWIR (3~5 μ m) region

Temperature (°C)	10	20	30	40	50
Radiance (W/m ² ·sr)	0.99	1.47	2.12	2.99	4.14
Temperature (°C)	60	70	80	90	100
Radiance (W/m ² ·sr)	5.62	7.51	9.89	12.8	16.4

Table 2 Radiances in LWIR (8~12 μ m) region

Temperature (°C)	10	20	30	40	50
Radiance (W/m ² ·sr)	29.0	34.7	40.9	47.8	55.3
Temperature (°C)	60	70	80	90	100
Radiance (W/m ² ·sr)	63.5	72.3	81.8	92.0	102

3.2 방사율 차이가 있는 평판의 적외선 신호

크기가 2×1.5m 인 또 다른 평판에 대하여 총 6개 구역의 표면 방사율이 각각 다른 원형 영역들로 구성된 것으로 가정하여 적외선 신호를 분석하여 보았다. 이 때 평판의 온도는 모든 위치에서 30°C로 일정하게 유지되고 있는 것으로 가정하였으며, 각 원형 영역의 방사율은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 0.5부터 1.0까지 0.1간격으로 다르게 설정된 것으로 가정하였다.

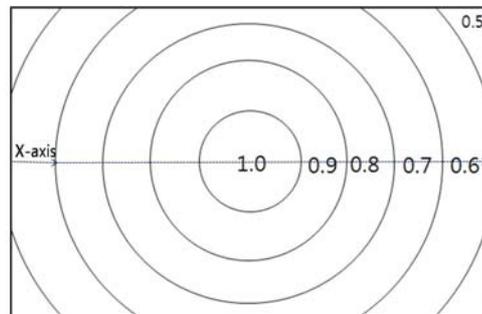
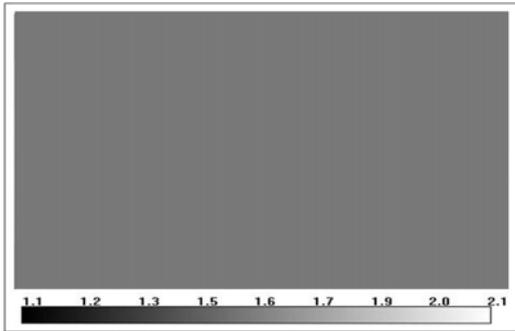
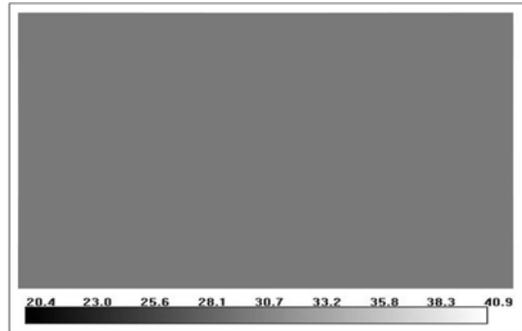


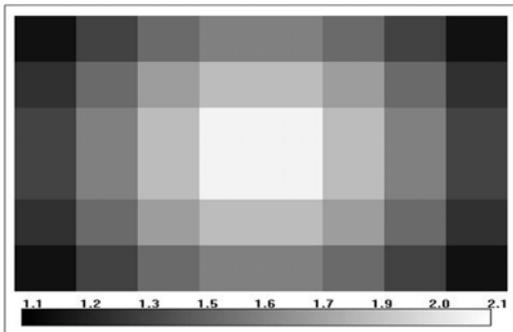
Fig. 8 A plate with different emissivities



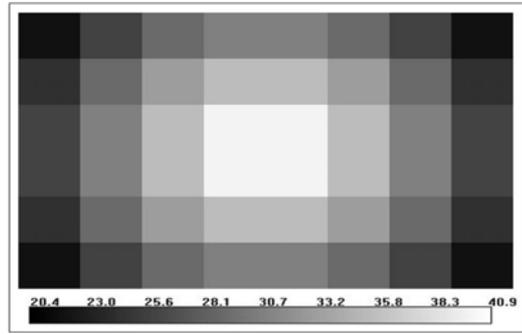
(a) 2×2 (pixels)



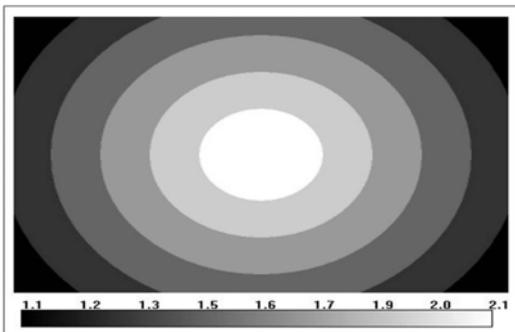
(a) 2×2 (pixels)



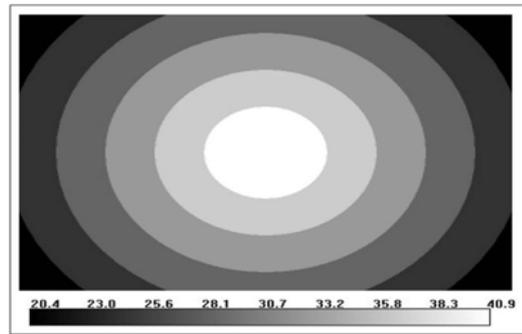
(b) 8×6 (pixels)



(b) 8×6 (pixels)



(c) 320×240 (pixels)

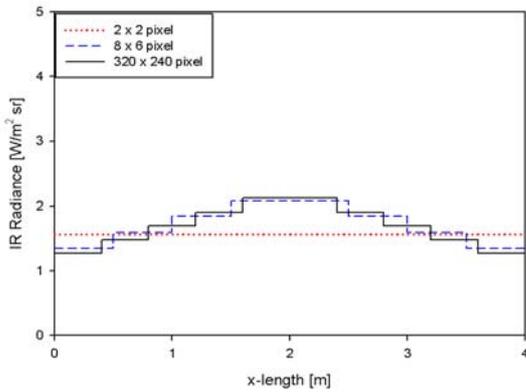


(c) 320×240 (pixels)

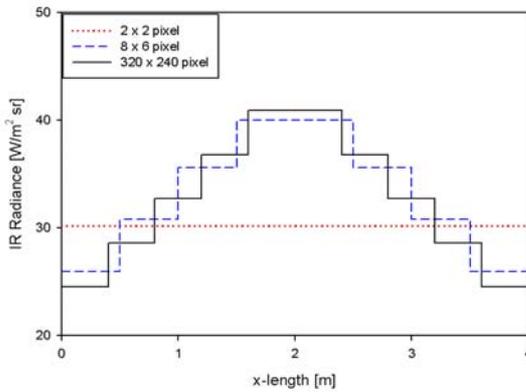
Fig. 9 IR images in MWIR (3~5μm) region

Fig. 10 IR images in LWIR (8~12μm) region

Fig. 11에는 Fig. 8에 표시된 x축을 따라 구한 파장영역별 적외선 신호량의 분포를 나타내고 있다. 또한 평판의 방사율이 다른 각 영역에서 방출되는 중적외선 및 원적외선 파장영역에 대한 적외선 신호량의 계산 결과를 Table 3과 4에 각각 나타내었다.



(a) MWIR (3~5 μ m)



(b) LWIR (8~12 μ m)

Fig. 11 Radiance profiles obtained for different surface emissivities with different sensor resolutions

Table 3 IR signature of MWIR (3~5 μ m)

Emissivity	0.5	0.6	0.7
Radiance (W/m ² ·sr)	1.05	1.27	1.48
Emissivity	0.8	0.9	1.0
Radiance (W/m ² ·sr)	1.69	1.91	2.1

Table 4 IR signature of LWIR (8~12 μ m)

Emissivity	0.5	0.6	0.7
Radiance (W/m ² ·sr)	20.4	24.5	28.6
Emissivity	0.8	0.9	1.0
Radiance (W/m ² ·sr)	32.7	36.8	40.9

Fig. 11에서 적외선 신호량의 분포도를 살펴보면 센서의 해상도에 따라 얻게 되는 Fig. 9와 10의 적외선 영상자료의 정확도는 매우 민감하게 달라지는 것을 알 수 있다. 픽셀 수가 2×2일 경우에는 총 4개의 픽셀을 가지게 되지만 고려된 평판은 6개의 영역으로 이루어져 있기 때문에 각 픽셀의 적외선 신호는 방사율이 다른 영역들의 적외선 신호량들을 평균한 값으로 표현된다. 따라서 원형 모양의 방사율이 다른 영역들의 특징이 적외선 영상에 나타나지 않게 되는 것을 알 수가 있다. 반면에 픽셀 수가 320×240일 경우에는 총 픽셀 수가 76,800개 이므로 고려된 평판의 방사율이 다른 각 영역에 대한 적외선 신호값의 분포도는 방사율이 다른 영역들을 뚜렷하게 구분하여 나타낼 수 있게 되는 것을 알 수가 있다. 따라서 각 영역에서의 적외선 신호는 방사율이 다른 영역들의 평균값이 아니라 대부분의 픽셀에 대한 신호값들은 각 영역의 지정된 방사율에 따라 방출되는 복사에너지로 적외선 영상이 표현되는 것을 알 수가 있다.

4. 맺음말

본 논문에서는 시험평판의 위치별 표면온도 변화에 따른 적외선 신호량 및 방사율(emissivity)의 변화에 따른 적외선 신호량을 각각 계산하여 적외선 신호량의 분포도를 영상으로 나타내었고 또한 위치별 신호량을 수치적으로도 분석하여 보았다. 위치별 표면온도 변화에 따른 적외선 신호량을 계산할 경우 센서의 각 픽셀별로 들어오는 적외선 신호값은 각 픽셀의 iFOV 내에 들어오는 영역에서의 평균 적외선 신호량을 이용하기 때문에 센서의 해상도가 낮을 경우 원래의 시험판에는 없는 줄무늬가 생성될 수 있음을 확인하였다. 또한 방

사율의 변화에 따른 적외선 신호량을 계산할 경우에도 픽셀 수가 적으면 계산되는 평균 적외선 신호량 값들은 원래의 시험판에는 있는 원형 모양의 방사율이 다른 영역을 나타내는 띠를 모사할 수 없음을 확인하였다. 따라서 물체로부터 방출되는 적외선 신호량을 분석할 경우 물체의 표면 온도, 표면 복사물성 및 적외선 센서의 해상도 등이 모두 중요한 요소가 되는 것을 확인할 수 있다.

후 기

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

참 고 문 헌

- Angel, E., 2009, Interactive Computer Graphics (A Top-Down Approach Using OpenGL), PEARSON.
- Choi, J.H. and Kim, T.K., 2009, "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.
- Choi, J.H. and Kim, T.K., 2008, "Analysis of the Spectral Surface Radiance by using the Surface BRDF and the Atmospheric Transmission Effects," SPIE Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy III, Vol. 7017.
- Hudson, R.D., 2006, Infrared System Engineering, WILEY.

- Jacobs, P.A., 2006, Thermal Infrared Characterization of Ground Target and Backgrounds, SPIE Press.
- Kil, T.J., Choi, J.H., Cho, Y.J., and Kim, T.K., 2007, "Study on Prediction of Surface Temperature and Reduction of Infrared Emission from a Naval Ship by considering Emissivity of Funnel in the Mid-Latitude Meteorological Conditions," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 1, pp. 40-47.
- Kil, T.J., and Cho, Y.J., "Study on the IR Measurement Scheme and Requirement for Its Evaluation from a Naval ship Considering the Meteorological Conditions," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 4, pp. 459-465.



< 최 준 혁 >

< 신 종 목 >



< 김 정 호 >

< 김 태 국 >