

적외선 카메라를 이용한 복사량 계측 및 교정 연구

정준호*, 김재협*

Measure Radiation and Correct Radiation in IR camera Image

Jun-Ho Jeong*, Jae-Hyup Kim*

요약

적외선 카메라를 이용하여 물체를 탐지하여 분류하는 개념은 군 운용 장비에 많이 적용되고 있다. 물체를 탐지하는 기술은 오래 전부터 연구되어 왔으며, 현재는 서브픽셀 단위로 물체를 탐지 할 수 있는 기술까지 발전해 왔다. 하지만 탐지된 물체를 분류하는 기술은 많은 연구가 필요하다. 본 논문에서는 적외선 카메라를 이용하여 물체 (Target, Artillery, Missile등)의 복사량을 측정하고 이를 바탕으로 물체를 분류하는 방법을 제시하였다. 제시된 물체 분류 방법을 검증하기 위해 블랙바디를 이용한 실험으로 복사량을 측정하여 입증하였다. 또한 정확한 복사량 측정을 위해 측정 시 발생할 수 있는 오차는 모델링을 이용한 교정을 통하여 보정되었다. 점표적 및 면표적에 대한 복사세기의 이론적 배경을 기반으로 복사량 계측 후 복사량에 대한 모델링을 표준화 하였다. 본 연구를 기반으로 표준화된 모델은 대상물체를 실측하여 교정된 복사량과 비교하여 물체분류에 적용할 수 있다.

▶ Keywords : 복사세기, 복사교정, 복사량 계측, 복사량 교정, 점표적, 면표적

Abstract

The concept of detection and classification of objects based on infrared camera is widely applied to military applications. While the object detection technology using infrared images has long been researched and the latest one can detect the object in sub-pixel, the object classification technology still needs more research.

In this paper, we present object classification method based on measured radiant intensity of objects such as target, artillery, and missile using infrared camera. The suggested classification method was verified by radiant intensity measuring experiment using black body. Also, possible measuring errors were compensated by modelling-based correction for accurate radiant intensity measure. After measuring

•제1저자 : 정준호 •교신저자 : 김재협

•투고일 : 2015. 2. 11, 심사일 : 2015. 2. 23, 게재확정일 : 2015. 3. 6.

* 삼성탈레스(Samsung Thales Co.)

radiation of object, the model of radiant intensity is standardized based on theoretical background.

Based on this research, the standardized model can be applied to the object classification by comparing with the actual measured radiant intensity of target, artillery, and missile.

▶ **Keywords** : Radiation Correction, Intensity, Radiometry, radiation measurement, radiant intensity, Point source radiometry, Extended source radiometry

I. 서 론

유19세기 말 적외선이 발견된 이래 이를 응용하기 위한 연구가 수없이 이루어져 왔으며 제 2차 세계대전을 기점으로 군사적 목적의 사용이 증대로 인하여 관련 기술의 발전이 급속히 이루어졌다.

적외선 복사 에너지를 이용한 전자-광학장비의 하나인 적외선 카메라는 물체에서 방사되는 온도에 따른 적외선 영역의 고유한 복사 에너지 차이를 적외선 검출기로부터 검출한 후, 전기적 신호처리 과정을 통해 영상을 재현하게 된다.

이러한 용도로 국내에서도 감시 정찰 및 영상기반 추적용 (Infrared search & tracking system) 장비[1]에 주로 사용이 되어 왔다. 하지만 현대 전장의 위협체계의 경우 미사일 또는 장거리 화포 등 장거리 타격수단이 크게 발전함에 따라 전자광학센서분야에서 물체(Target Artillery, Missile)에 대한 장비의 탐지능력을 향상시키고 물체에 대해서 분류까지 하고자 하는 개발 노력이 계속되어 왔다. 이러한 필요성에 의해서 물체의 복사세기와 특징 점을 이용한 탐지 및 분류 기술의 필요성이 대두되었다.

물체의 탐지 및 분류를 진행하기 위해서는 물체의 정확한 모델링 및 정확한 정보가 필수적이다. 특히 분류를 진행하고자 할 때, 물체의 정확한 특징을 인지하지 못할 경우 물체의 분류 가능성이 매우 낮아지기 때문이다.

본 논문을 바탕으로 물체에서 발생하는 정확한 복사세기를 측정하기 위해서, 적외선 카메라를 사용하여 복사세기를 측정하고, 여러 적외선 카메라 별 복사세기를 측정 가능한 유효구간을 설정하여, DB(데이터베이스)화 하여, 실 물체(실 Artillery, 실 Missile 등) 측정 시 물체의 정확한 데이터를 기반으로 분류 알고리즘 연구[2]와 연계 하여 진행하도록 할 예정이다.

본 논문에서는 물체의 탐지 및 분류를 위해서 물체의 정확

한 복사세기 측정을 위해서 복사량 계측 및 교정에 대해서 기술하였다.

II. 복사세기 (Radiant Intensity)

1. 복사세기 정의

장거리 표적 탐지장비는 적외선 점표적 신호뿐 아니라 탐지 율에 근거한 탐지거리 성능이 장비의 활용성을 판단하는 중요한 기준이 되며, 이러한 탐지성능 예측을 하기 위해선 특정 탐지율(detection probability)을 만족하는 입사동(entrance pupil)에서의 복사조도[4]를 알아야 하며, 점표적 탐지와 관련된 탐지 알고리즘의 문턱(threshold) 설정 값, 시스템의 광학적 결상능력, 잡음수준 등 모든 시스템 요소들을 반영하는 종합적인 성능지표이며, 특정 복사세기(radiant intensity)[3][4][6]를 갖는 점표적에 대한 탐지장비의 최대탐지거리 성능예측을 가능하게 한다.

따라서 점표적의 복사세기를 측정 및 교정하여, 점표적의 복사세기를 바탕으로 물체의 탐지 분류를 수행하게 된다.

1. 표적 별 Radiometry

면표적(Extended Source)의 경우[3][5] 출력신호는 표적의 면적이나 표적까지의 거리와 관계없고 오로지 표적의 복사(Radiant)와 대기투과도에 의해서만 영향을 받는다. 하지만, 점표적(Point Source)의 경우 출력신호는 표적의 복사세기(Radiant Intensity)와 표적까지의 거리 및 대기투과도에 의하여 영향을 받는다.

1.1 면표적 (Extended Source)에 대한 Radiometry

면표적은 검출기의 1개 화소의 객체공간에 대한 투영면적보다 표적의 면적이 큰 표적을 말하며, 단위면적당, 단위입체각

당 복사휘도(Radiant Flux, Radiance) $L_e [Watt/srm^2]$ 와 단위입체각당 복사세기(Radiant Intensity) $I_e [Watt/sr] = A \times L_e$ 의 값으로 규정지을 수 있으며, 여기서 검출기 도달 전 복사휘도(Radiant Flux)는

$$\phi_{rcv} = L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2}, \text{ 이며}$$

여기서 A_s 는 표적 면적, A_0 는 광학계 시스템의 입사구경, T_{atm} 은 대기 투과율, R_1 은 표적과 A_0 까지의 거리를 나타낸다.

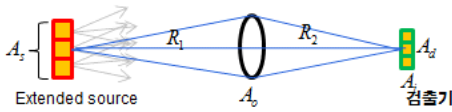


그림 1. 면표적에 대한 복사휘도
Fig. 1. Radiant Flux of extended source

따라서 검출기의 검출 면에 도달한 복사휘도는

$$\phi_i = L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2} \times \tau_0 \quad (1)$$

가 되며, 검출기 1개 화소의 복사휘도는

$$\phi_d = L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2} \times \tau_0 \times \frac{A_d}{A_i} \quad (2)$$

여기서 Solid angle의 비율이 매우 작다면,

$$\frac{A_s}{R_1^2} = \frac{A_i}{R_2^2} \text{가 되고, } A_i = \frac{R_2^2}{R_1^2} \times A_s \text{가 된다.}$$

$$\begin{aligned} \phi_d &= L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2} \times A_d \times \frac{R_1^2}{R_2^2 A_s} \\ &= L_e \times T_{atm} \times \tau_0 \times A_d \times \frac{A_0}{R_2^2} \end{aligned} \quad (3)$$

검출기 출력 전압은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$V = G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_d(\lambda) \times L_e \times T_{atm} \times \tau_0 \times A_d \times \frac{A_0}{R_2^2} d\lambda \quad (4)$$

가 된다.

따라서 면표적의 경우 출력신호는 표적의 면적이나 표적까지의 거리와 관계없고 오로지 표적의 Radiance와 대기투과도(6)에 의해서만 영향을 받는다.

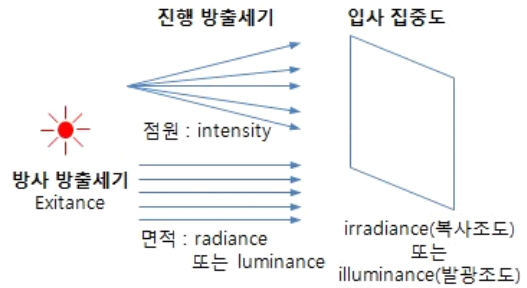


그림 2. 복사조도 & 발광조도
Fig. 2. irradiance & Illuminance

1.2 점표적 (Point Source)에 대한 Radiometry

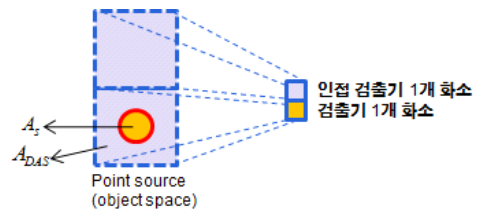


그림 3. 점표적에 대한 복사세기
Fig. 3. Radiant Intensity of point source

점표적(7)의 경우상대복사세기는

$$\begin{aligned} \Delta \phi_e &= [L_e A_s + L_b (A_{DAS} - A_s)] - L_b (A_{DAS}) \\ &: \text{Radiant Flux Difference} \\ &= (L_e - L_b) \times A_s = \Delta L_e \times A_s \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Delta \phi_i = \Delta L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2} \times \tau_0 \quad (6)$$

: 검출 면에 도달한 Radiant Flux

검출기 출력 전압은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta V &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_d(\lambda) \times \Delta L_e \times A_s \times T_{atm} \times \frac{A_0}{R_1^2} \\ &\quad \times PVF \times \tau_0 d\lambda \end{aligned} \quad (7)$$

(Point Visibility Factor 반영된 수식)

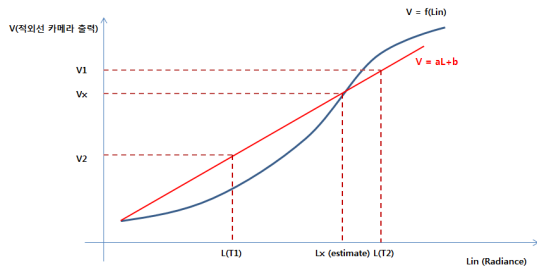


그림 5. 복사량 계측 후 일차함수 모델링
Fig. 5. Modeling of linear functions

가 된다.

따라서 점표적의 출력신호는 표적의 Radiant Intensity와 표적의 Radiant Intensity와 표적까지의 거리, 대기투과에 의해서 영향을 받는다. [6][7][8]

[5]이와 같이 수식(4)와 수식(7)에서 알 수 있듯이 면표적이나 점표적 모두 적외선 검출기의 출력신호는 거리의 함수로 표현할 수 있다. 그러므로 적외선 영상에서 획득된 대상 표적의 복사세기를 통계적으로 관찰하면 카메라와 표적 간 대략적인 거리를 추정하는 것이 가능하다.

거리별 표적의 신호를 추정 할 수 있는 방법으로 목표표적과 대체표적의 복사량을 측정하여 식(4)와 식(7)에 의해 대체 표적의 신호를 목표 표적으로 환산할 수 있다. 본 논문에서는 대체표적의 복사량을 계측으로 표적의 신호를 목표 표적의 신호로 모델링하여 표준화하는 방법을 제시하였다.

III. 복사량 계측 방안

적외선 카메라의 특성 상 물체에서 방출되는 에너지를 선형적으로 인지하지 못하며, 그 적외선 카메라의 특성(F수, 적분시간, 검출기 Responsivity 등)에 따라 계측할 수 있는 구간도 정해지게 된다. 이런 카메라의 특성으로 인하여 복사량을 계측, 보정하고, 유효구간을 설정할 수 있도록 복사량을 계측하게 된다.

복사 교정으로 표적의 복사 휘도($W/sr\text{cm}^2$) 계측한다. 여기서 단면적 추정은 iFOV를 이용하여 표적의 면적을 계산한 후 iFOV의 픽셀 수를 곱하여 단면적을 추정한다. 절대 복사 세기는 복사휘도에 단면적을 곱해서 이루어지며, 상대 복사 세기는 복사휘도 차이에 단면적을 곱해서 구한다.

$$L_{\in} = \epsilon_b B(T_b) + (1 - \epsilon_b) E(T_{bs}) = B(T_b) \quad (8)$$

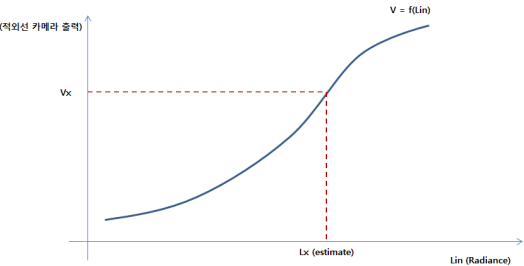
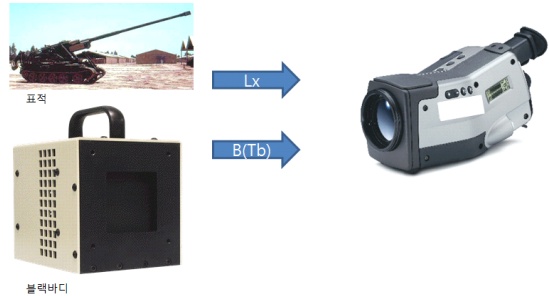


그림 4. 적외선 카메라를 사용한 복사량 계측 방안 및 출력
Fig. 4. Measuring of Radiant intensity output using IR camera

여기서 ϵ_b 는 방사계수(emissivity)로 이상적인 블랙바디의 경우 ϵ_b 는 1이 된다. 물론 블랙바디로 생산되는 상용품은 대부분 이상적인 블랙바디는 아니지만(보통 그레이 바디) 본 논문에선 이상적인 블랙바디라고 가정하고 진행한다.

블랙바디를 이용하여 적외선 카메라의 입력 Radiance($W/sr\text{cm}^2$)와 적외선 카메라의 출력신호와의 관계 함수를 추정하여 이 함수를 정의 하는 계수를 구하며 그 계수가 복사교정 계수가 된다. 이때 복사량을 정확하게 계측하기 위해선 IR 카메라의 기본 기능 중 하나인 NUC (Non Uniformity Correction) 기능을 수행하지 않고 검출기의 Raw 출력만을 이용한다. NUC 기능을 수행 할 경우 검출기 각 픽셀에 Gain과 Offset이 더해져 적외선 카메라의 출력신호에 왜곡이 발생하여 정확한 복사 계수를 구할 수 없으며, 이럴 경우 정확한 복사량 계측이 어렵게 된다.

1. 일차함수 모델링

일차함수로 모델링하기 위해선 최소한 2점의 값을 데이터로 확보해야 한다.

그림 5에서 보듯이 $V=f(Lin)$ 이라는 함수를 $V=aL+b$ 로 모델링하기 위해서는 일차함수의 Gain 부분과 Offset 부분을 구해야 한다. 모델링 된 함수를 이용하여 특정 부분 [$Vx(output)$] 에 대한 예상된 Radiance [$Lx(estimate)$]

를 추정할 수 있다.

V_{BB} 는 블랙바디 온도에 대한 적외선 카메라의 출력을 나타내며, T_{BB} 는 블랙바디의 온도를 나타내며, $L(T_{BB})$ 는 그 블랙바디의 온도에 따른 Radiance를 나타낸다.

$$V_{BB} = aL(T_{BB}) + b$$

$$L(T_{BB}) = \frac{1}{a} V_{BB} - \frac{b}{a}$$

따라서 $G = \frac{1}{a}$, $O = -\frac{b}{a}$ 가 된다.

여기서 G 는 Gain, O 는 Offset을 의미하며, Gain과 Offset을 구하여 일차함수로 모델링 할 수 있다.

$$V_1 = aL(T_1) + b$$

$$V_2 = aL(T_2) + b$$

$$V_1 - V_2 = a(L(T_1) - L(T_2))$$

$$\therefore a = \frac{V_1 - V_2}{L(T_1) - L(T_2)}$$

$$\therefore b = V_1 - aL(T_1)$$

위 수식 $G = \frac{1}{a}$, $O = -\frac{b}{a}$ 에 대입하면, 아래와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$\therefore G = \frac{1}{a} = \frac{V_1 - V_2}{L(T_1) - L(T_2)} \tag{9}$$

$$\therefore O = -\frac{b}{a} = -\frac{V_1 - aL(T_1)}{a} = L(T_1) - \frac{V_1}{a} \tag{10}$$

따라서 G (Gain)와 O (Offset)를 구하여 일차함수로 모델링을 한다.

2. 고차함수 모델링

적외선 카메라의 출력이 선형성을 갖지 않는다면, 많은 측정 위치를 선정하여 복사계측을 진행한다. 또한 측정 후 유효한 데이터 구간을 설정하여, 그 구간만을 유효한 데이터로 인지하고, 그 구간 데이터만 사용한다.

실제 실측된 적외선 카메라 (IWR모드 Integration While Readout 모드)의 온도별 출력은 아래와 같다.

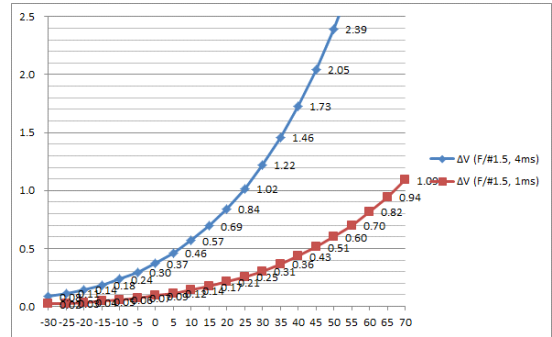


그림 6. 복사량 계측 후 고차함수 모델링
Fig. 6. Modeling of higher order functions

일반적인 운용온도 구간에서는 검출기의 출력은 고차 함수로 표현되며, 이러한 고차 함수로 모델링 될 때, 본 함수를 구하는 방법은 2가지가 있다. 첫 번째 방법은 본 구간의 출력을 선형적 모델링하기 위해서 온도 구간을 설정하고 그 구간별 일차 함수를 모델링하여 일차함수를 온도 구간별로 설정하는 방법이고, 두 번째 방법은 만일 2차함수일 경우 변수를 3개를 설정하여 $Y = ax^2 + bx + c$ 로 변수 a , b , c 를 구하여 고차 함수를 모델링하는 방법이 있다. 여기서 변수 a , b , c 를 구하기 위해선 온도별로 3개 Point 이상의 복사량을 계측한 후 모델링 한다.

IV. 실험

1. 복사량 계측

물체를 탐지 분류하기 위해선 물체의 특징(복사세기)을 정확하게 파악해야 한다. 'III. 복사량 계측' 부분 중 일차함수 및 고차함수 모델링을 기반으로 카메라 별로 온도별 복사량 계측 및 보정을 하였으며, 적외선 카메라의 경우 카메라별 복사특성이 모두 다르기 때문에 정확한 계측을 위하여 여러 대의 카메라를 사용하였다. 또한 복사계측에 사용된 카메라의 사양은 아래와 같으며, 이때 D카메라의 경우 모드를 구분 (frame rate와 적분시간)하여 같은 카메라에서도 설정 값에 따라 복사세기가 변경되는 실험을 진행하였다. 또한 물체 (Target, Artillery, Missile 등)의 특징이 고온임을 감안하여 중적외선 카메라를 사용하였으며, 각 카메라 별로 필터를 적용하였다. 또한 적분시간을 최소화 하여 고온물체에 맞게 감도를 설정하였다.

표 1. 복사계측용 카메라 사양
Table 1. Camera Spec.

| 구분 | A카메라 | B카메라 | C카메라 | D카메라 | |
|------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 파장 | 3.5~5um | 3.5~5um | 3.5~5um | 3.5~5um | |
| 재질 | InSb | InSb | InSb | InSb | |
| 화소크기 | 30um | 30um | 30um | 30um | |
| 필터 | - | ND 2% | NA 60% | ND 2% | |
| Frame rate | 328Hz | 600Hz | 178Hz | 169 Hz | 150 Hz |
| 적분 시간 | 15us | 50us | 3us | 15 us | 76 us |

1.1 A카메라를 이용한 복사량 계측 및 특성 분석

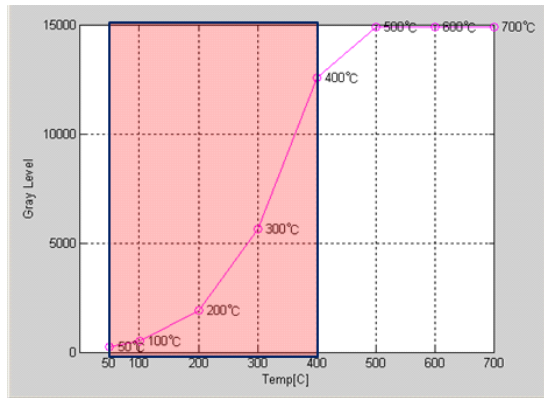


그림 7. A카메라 온도별 출력 특성
Fig. 7. A Camera-temperature output characteristics

그림 7은 A카메라를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로

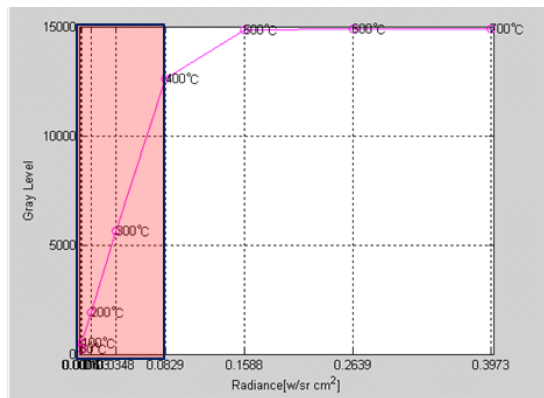


그림 8. A카메라 복사세기별 출력 특성
Fig. 8. A camera radiation intensity per output characteristics

설정하였다.

본 그래프에서 보듯이 카메라의 특성에 따라서 온도별로 출력특성 부분에서 유효구간 및 무효구간이 존재하여 유효구간만을 복사교정에 사용한다.

그림 8은 A카메라를 사용하여 블랙바디 복사세기별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

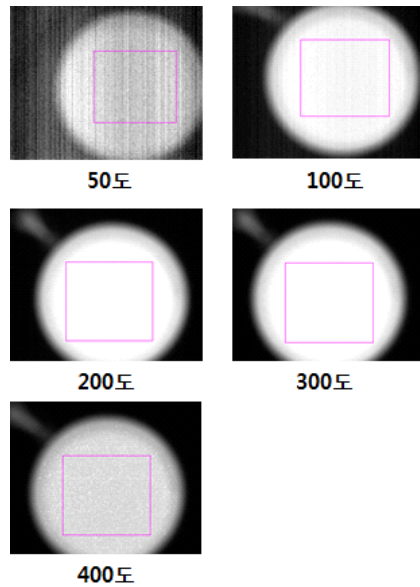


그림 9. A카메라 온도별 영상
Fig. 9. A camera of temperature image

그림 9는 A카메라를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 영상 출력을 나타낸 것으로 측정 시 각 측정 온도별 영상을

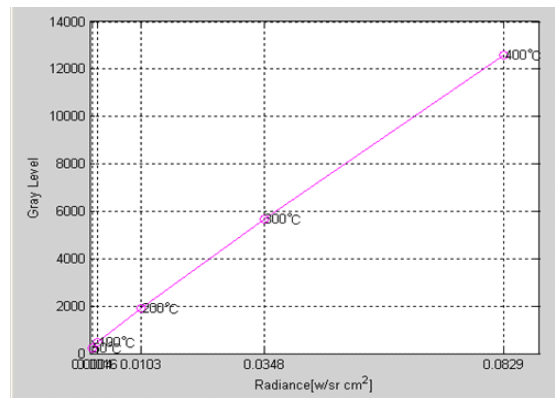


그림 10. A카메라 유효구간에 대한 복사세기별 출력특성
Fig. 10. Output characteristics of A camera, the effective range radiation intensity

나타낸다.

그림 10은 A카메라의 출력 중 유효구간(50°C~400°C)에 대한 복사세기별 출력 특성을 나타낸 것이다.

1.2 B카메라를 이용한 복사량 계측 및 특성 분석

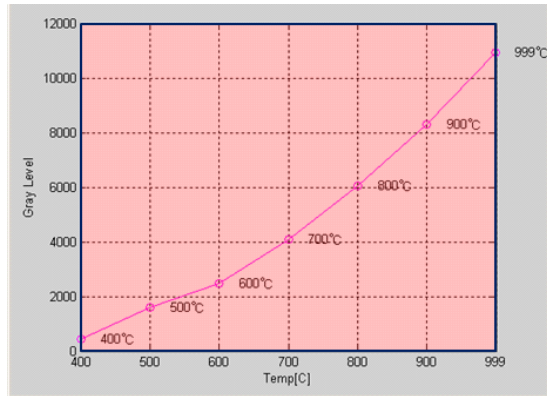


그림 11. B카메라 온도별 출력 특성
Fig. 11. B Camera-temperature output characteristics

그림 11은 B카메라를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

본 그래프에서 보듯이 카메라의 특성에 따라서 온도별로 출력특성 부분에서 유효구간 및 무효구간이 존재하여 유효구간만을 복사교정에 사용한다.

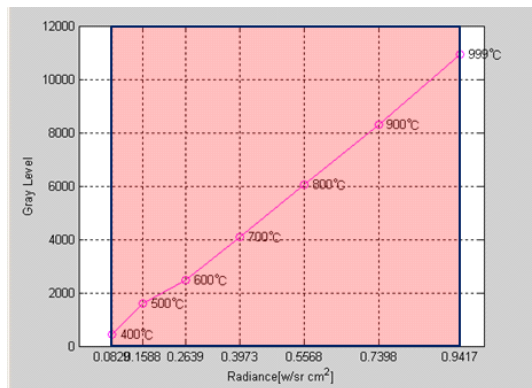


그림 12. B카메라 복사세기별 출력 특성
Fig. 12. B camera radiation intensity per output characteristics

그림 12는 B카메라를 사용하여 블랙바디 복사세기별 카메

라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

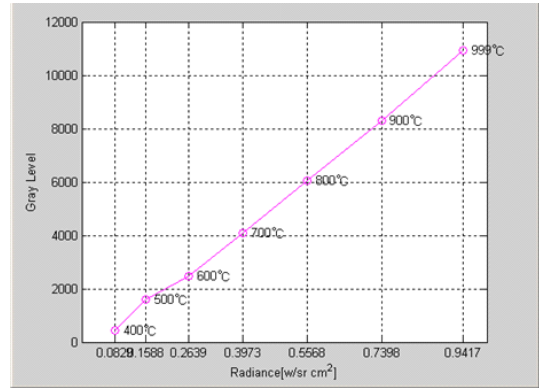


그림 13. B카메라 유효구간에 대한 복사세기별 출력특성
Fig. 13. Output characteristics of B camera, the effective range radiation intensity

그림 13은 B카메라의 출력 중 유효구간(400°C~1000°C)에 대한 복사세기별 출력 특성을 나타낸 것이다.

1.3 C카메라를 이용한 복사량 계측 및 특성 분석

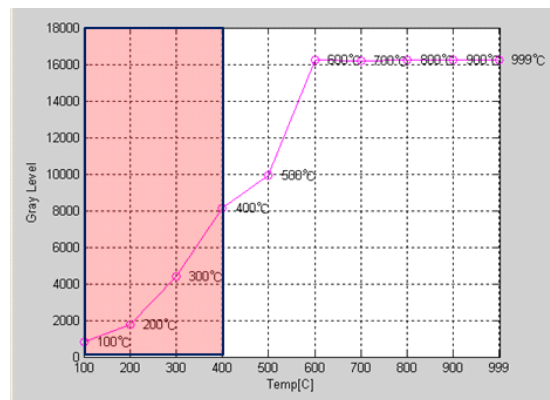


그림 14. C카메라 온도별 출력 특성
Fig. 14. C Camera-temperature output characteristics

그림 14는 C카메라를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

본 그래프에서 보듯이 카메라의 특성에 따라서 온도별로 출력특성 부분에서 유효구간 및 무효구간이 존재하여 유효구

간만을 복사교정에 사용한다. C카메라는 전체 계측 구간 중 C카메라의 특성에 의해서 좁은 영역만 유효구간으로 설정이 가능하다.

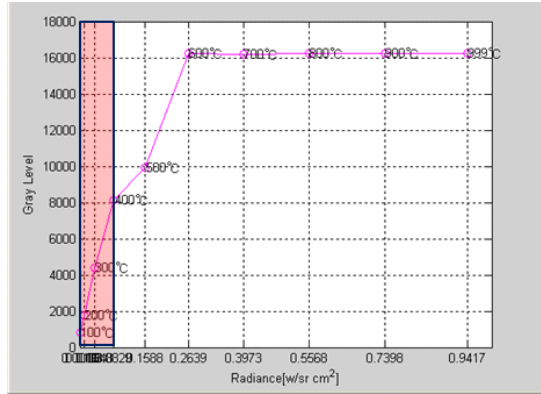


그림 15. C카메라 복사세기별 출력 특성
Fig. 15. C camera radiation intensity per output characteristics

그림 15는 C카메라를 사용하여 블랙바디 복사세기별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

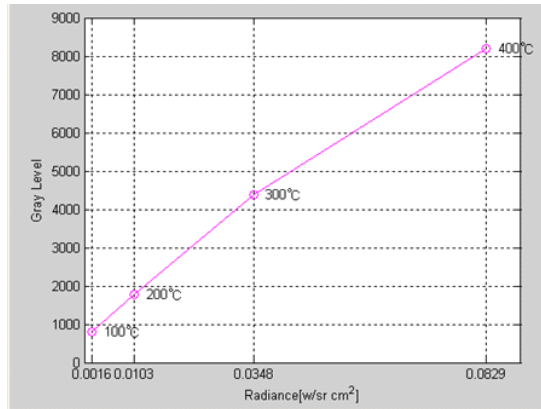


그림 16. C카메라 유효구간에 대한 복사세기별 출력특성
Fig. 16. Output characteristics of C camera, the effective range radiation intensity

그림 16은 C카메라의 출력 중 유효구간(100°C~400°C)에 대한 복사세기별 출력 특성을 나타낸 것이다.

1.4 D카메라(#1)를 이용한 복사량 계측 및 특성 분석

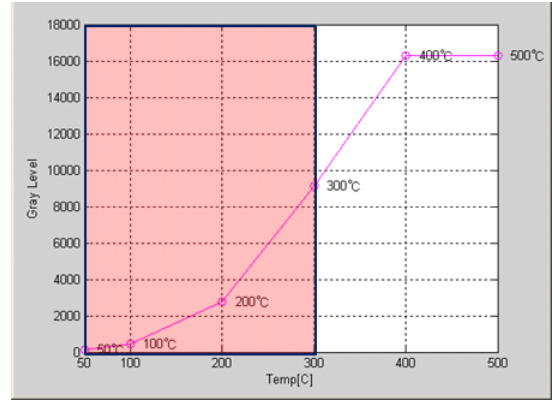


그림 17. D카메라(#1) 온도별 출력특성
Fig. 17. D Camera(#1) temperature output characteristics

그림 17은 D카메라(#1)를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

본 그래프에서 보듯이 카메라의 특성에 따라서 온도별로 출력특성 부분에서 유효구간 및 무효구간이 존재하여 유효구간만을 복사교정에 사용한다.

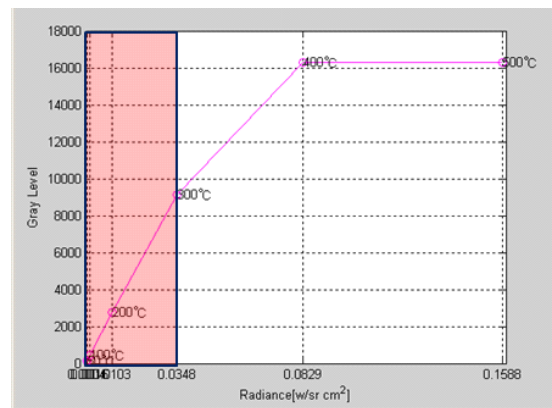


그림 18. D카메라(#1) 복사세기별 출력특성
Fig. 18. D camera(#1) radiation intensity per output characteristics

그림 18은 D카메라(#1)를 사용하여 블랙바디 복사세기별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

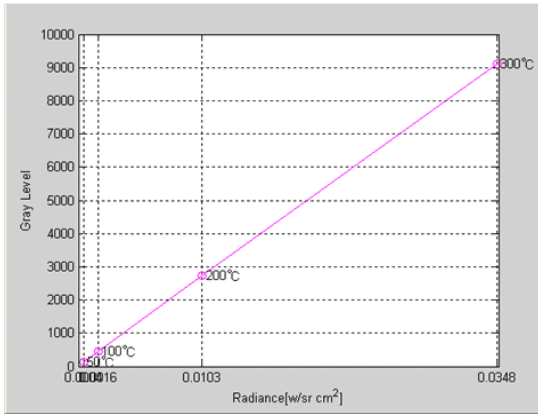


그림 19. D카메라(#1) 유효구간에 대한 복사세기별 출력특성
Fig. 19. Output characteristics of D camera(#1), the effective range radiation intensity

그림 19는 D카메라(#1)의 출력 중 유효구간(50°C~300°C)에 대한 복사세기별 출력 특성을 나타낸 것이다.

1.5 D카메라(#2)를 이용한 복사량 계측 및 특성 분석

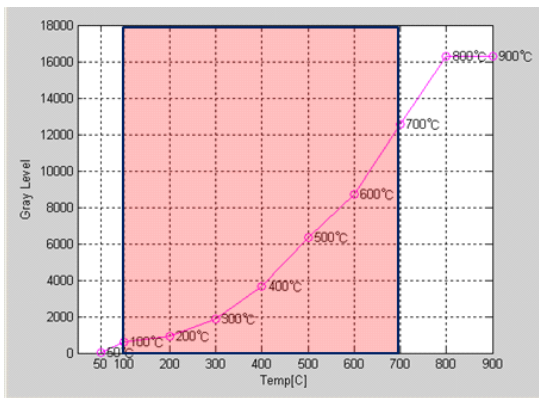


그림 20. D카메라(#2) 온도별 출력특성
Fig. 20. D Camera(#2) temperature output characteristics

그림 20은 D카메라(#2)를 사용하여 블랙바디 온도별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

본 그래프에서 보듯이 카메라의 특성에 따라서 온도별로 출력특성 부분에서 유효구간 및 무효구간이 존재하여 유효구간만을 복사교정에 사용한다. D카메라(#2)는 전체 계측 구간 중 D카메라의 특성에 의해서 넓은 영역을 유효구간으로 설정이 가능하다.

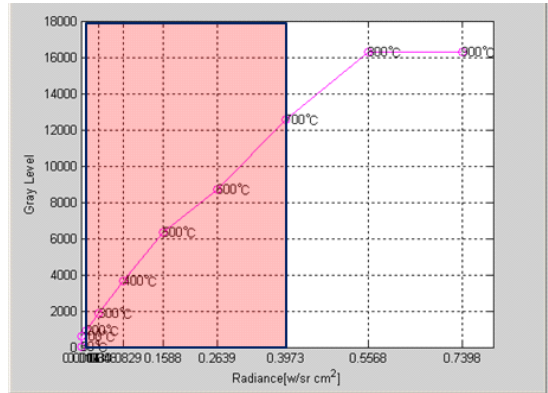


그림 21. D카메라(#2) 복사세기별 출력특성
Fig. 21. D camera(#2) radiation intensity per output characteristics

그림 21은 D카메라(#2)를 사용하여 블랙바디 복사세기별 카메라의 출력 특성을 나타낸 그래프로 붉은 색 부분을 유효구간으로 설정하였다.

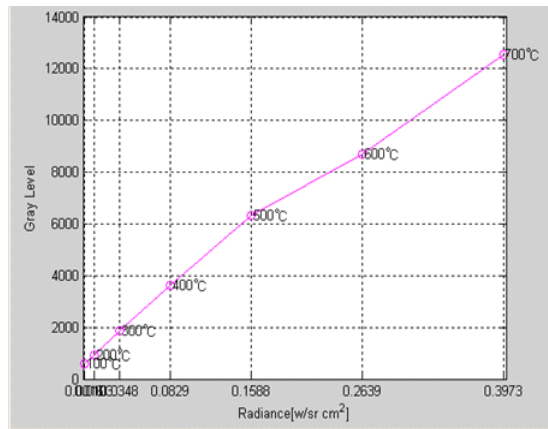


그림 22. D카메라(#2) 유효구간에 대한 복사세기별 출력특성
Fig. 22. Output characteristics of D camera(#2), the effective range radiation intensity

그림 22는 D카메라(#2)의 출력 중 유효구간(100°C~700°C)에 대한 복사세기별 출력 특성을 나타낸 것이다.

2. 복사량 계측 및 교정

표 2와 같이 각 카메라별 획득온도구간 중 유효온도구간을 식별하고 그 유효온도 구간에 따른 유효복사세기를 구하였다.

획득된 온도구간 중 최대한 유효한(최대한 선형성이 보장된, 온도별 유사한 출력이 나오지 않는) 구간을 유효구간으로

설정하였으며, 각 카메라별 유효복사세기도 함께 구하여 교정하였다.

아래 표2에 보듯이 각 카메라 별로 유효온도 구간이 존재하며, 사용자가 계측하고자 하는 목표의 특징에 따라서 카메라를 달리하여 측정하여야 한다. 그림 24에 보듯이 시험한 결과로 복사세기를 측정하기 위한 적절한 카메라는 A카메라(50°C~400°C : 그림 25의 하늘색 그래프)와 B카메라(400°C~1000°C : 그림 25의 빨간색 그래프)를 선정할 수 있으며, 온도별로 측정된 물체의 유효복사세기를 기반으로 물체의 특징(복사세기)을 파악하여 분류에 활용이 가능하다. 예를 들면, 동일한 거리에서(대기투과도 동일) 물체(Target, Artillery, Missile 등)를 탐지 할 경우 각 물체가 Artillery인지 Missile인지를 복사세기 값을 근간으로 분류할 수 있으며, Artillery중에서도 어떤 종류의 Artillery인지도 분류할 수 있다. 또한 동일한 카메라의 경우도 설정 값에 따른 복사세기의 차이도 분석하였다. D카메라의 경우 Frame rate와 적분시간만을 조절 할 경우에도 복사세기 및 유효구간이 변경되는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 향후에도 동일한 복사세기를 관측하기 위해선 카메라 별로 설정이 매우 중요함을 알 수 있다.

표 2. 복사계측용 카메라 별 유효온도 및 유효복사세기
Table 2. Each camera for measuring the effective temperature range and radiation intensity effective range.

| 구분 | 획득 온도구간 | 유효온도구간 | 유효복사세기 (w/sr cm ²) |
|----------|------------|------------|--------------------------------|
| A카메라 | 50~700°C | 50~400°C | 0.0004~0.0829 |
| B카메라 | 50~1000°C | 400~1000°C | 0.0829~0.9417 |
| C카메라 | 100~1000°C | 100~400°C | 0.0016~0.0829 |
| D카메라(#1) | 50~500°C | 50~300°C | 0.0004~0.0348 |
| D카메라(#2) | 50~900°C | 100~700°C | 0.0016~0.3973 |

그림 23은 각 카메라 별 유효구간에 대한 온도에 따른 복사세기를 그래프로 나타낸 것으로 A카메라 (하늘색), B카메라 (빨간색), C카메라 (분홍색), D카메라(#1) (초록색), D카메라(#2) (파란색)으로 나타내었으며, 복사세기 계측용 카메라로 선정된 A, B 카메라는 빨간색 테두리로 표시하였다.

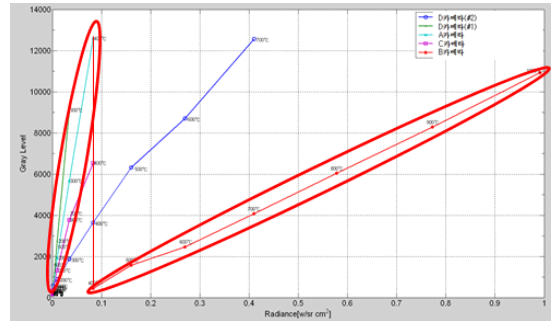


그림 23. 복사계측용 카메라 별 유효온도 구간 설정, 유효복사세기 구간 설정 및 함수 계수 설정

Fig. 23. Each camera for measuring the effective temperature range setting, set the effective radiation intensity range and function coefficients

IV. 결론

본 논문에서는 각 카메라 종류 및 사양에 따라 획득된 온도 기반으로 유효 온도 구간 및 유효 복사세기를 결정하는 방법과 이를 이용하여 정확도 높은 intensity를 측정하고 교정하는 방법에 대하여 기술하였으며, 실험 결과를 토대로, 영상 복사 세기를 바탕으로 표적의 복사 세기와 에너지 량을 예측할 수 있음을 확인하였다. 이는 적외선 영상으로부터 표적의 물리적 에너지와 특성을 분석할 수 있는 기초가 됨을 의미한다. 또한, 표적 물체의 정확한 intensity를 측정할 수 있다는 것은 시스템 상 필요로 하는 표적의 종류와 상태를 분류할 수 있음을 의미한다.

다만, 본 논문에서 제시한 실험 환경은 서로 다른 특성을 가지는 다수의 카메라 데이터를 기반으로 물체의 특성을 분석하는 방법이기 때문에, 최적의 데이터를 획득하기 위한 기반 환경의 구축이 필요하다. 이는 카메라 시스템의 설계 변경을 통해 단일 카메라를 통해 충분한 데이터를 획득, 분석할 수 있으며, 지속적으로 연구를 수행해 나가고 있다. 또한, 본 연구 결과를 기반으로 물체를 탐지하고 분류하기 위한 영상 시스템의 기반을 구축하였으며, 향후 정밀도 높은 적외선 영상 기반 탐지/분류 시스템에 적용할 계획이다.

REFERENCES

[1] H. S. Kim, Y. K. Yang and Y. C. .Park, The Measurement and Application of the Minimum

Detectable Irradiance for the Infrared Point Source Detection System. *Korean Journal of Optics and Photonics, Volume 22, Number 1*, February 2011

[2] J. H. Kim, J. H. Jeong, J. J. Seo, J. M. Lee and Y. S. Moon, Target geolocation Method Using Target Detection in Infrared Images. *Journal of Korean Society of Computer Information Volume 20, Number 03* March 2015

[3] Donald C. O'shea, Elements of Modern Optical Design (John Siley & Sons, Canada, 1985), pp. 87-106.

[4] J. M. Lloyd. THERMAL IMAGING SYSTEMS Optical Physics and Engineering (Plenum Press, New York 1975), pp.18-30.

[5] Y. K. Yang, J. E. Kim and B. H. Lee, Setting an Initial Validation Gate based on Signal Intensity for Target Tracking in IR Image Sequences. *Journal of the KIMST Vol. 17, No. 1, pp.108-114*, February 2014

[6] Gerald C. Holst, Electro-Optical Imaging System Performance, SPIE, 2008. pp. 40-60

[7] P. R. Minarik, F. R. Seiter, D. L. Bohlin, S. S. Yoo, and J. J. Kramer, Efficient Calculation of Ensquared Energy in an Imaging System, USPC Class 382103 (2008).

[8] J. H. Kim, B. J. Choi, S. W. Chun, J. M. Lee and Y. S. Moon, The Target Detection and Classification Method Using SURF Feature Points and Image Displacement in infrared Images. *Journal of The Korean Society of Computer Information Volume 19, Number 11* November 2014

저 자 소 개



정 준 호
 1998년: 순천향대학교
 전자공학과 공학사
 2003년: 경희대학교
 전자공학과 공학석사.
 현 재: 전북대학교
 나노과학기술학과 박사과정
 현 재: 삼성탈레스 전문연구원
 관심분야: 센서/영상처리,
 광전자시스템
 Email : junho.jeong@samsung.com



김 재 협
 2001: 한양대학교
 전자계산학과 공학사.
 2003: 한양대학교
 컴퓨터공학과 공학석사.
 2008: 한양대학교
 컴퓨터공학과 공학박사
 2008: 한양대학교
 엠비언트 인텔리전스
 SW연구팀 박사후연구원
 현 재: 삼성탈레스 책임연구원
 관심분야: 지능형 영상처리, 패턴인식
 Email : jaehyup.kim@samsung.com