

## 다중분광 항공촬영 시스템(PKNU 3) 검정 및 보정에 관한 연구\*

이은경<sup>1</sup> · 최철웅<sup>1\*</sup>

### Research for Calibration and Correction of Multi-Spectral Aerial Photographing System(PKNU 3)\*

Eun Kyung LEE<sup>1</sup> · Chul Uong CHOI<sup>1\*</sup>

#### 요 약

원격탐사는 각종 상업용 위성과 항공사진을 바탕으로 이루어진다. 그러나 이러한 자료는 연구자들이 원하는 시기와 장소에 따라 촬영되는데 자료 획득시, 기상조건 및 경제적 이유로 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 소형비행기 및 초경량 비행기에 탈부착이 가능한 소형 다중분광 자동 항공촬영시스템(PKNU2)을 개발하였다. PKNU2호는 연구실 자체 보유한 고해상도 가시대역, 적외선대역 카메라를 이용하여 칼라영상 및 적외 영상을 획득하였다. 환경감시 등의 목적으로 칼라·적외 합성영상을 생성, 분석하였으나 그리 만족스러운 결과를 획득하지 못하였다. 또한 PKNU2호가 대용량 촬영은 가능하였지만 데이터 저장시간이 12초로 횡중복률 60%를 만족시키지 못하였다. 현재 우리는 PKNU2호의 단점을 극복하고자 가시대역과 적외선대역의 자료를 한번에 획득할 수 있는 칼라 적외선 분광카메라, 열적외 카메라, 그리고 영상의 실시간 저장이 가능한 MPEG board를 도입하여 헬리콥터에 탈부착이 가능한 소형 다중분광 자동 항공촬영시스템(PKNU3)을 개발하고 있다. 본 연구에서는 본격적인 촬영에 앞서 가치 있는 영상 획득을 위해 센서의 특성 평가를 실시, 센서의 분광 특성 보정 및 렌즈의 기하학적 왜곡 보정을 작업을 실시하였다.

**주요어 :** 다중분광 카메라, 열적외 카메라, PKNU 3호, 장비성능 평가

#### ABSTRACT

The researchers, who seek geological and environmental information, depend on the remote sensing and aerial photographic datum from various commercial satellites and aircraft. However, the a

2004년 11월 8일 접수 Received on November 8, 2004 / 2004년 12월 9일 심사완료 Accepted on December 9, 2004

\* 이 연구는 해양수산부 연구비 지원으로 수행되었음

<sup>1</sup> 부경대학교 위성정보과학과

Dept. of Satellite Information Sciences Pukyong National University

\* 연락처 E-mail: cuchoi@pknu.ac.kr

diverse weather conditions and the expensive equipment can restrict that the researcher can collect their data anywhere and any time. To allow for better flexibility, we have developed a compact, a multi-spectral automatic Aerial photographic system(PKNU 2). This system's Multi-spectral camera can catch the visible(RGB) and infrared(NIR) bands(3032×2008 pixels) image. Visible and infrared bands images were obtained from each camera respectively and produced Color-infrared composite images to be analyzed in the purpose of the environment monitor but that was not very good data. Moreover, it has a demerit that the stereoscopic overlap area is not satisfied with 60% due to the 12s storage time of each data, while it was possible that PKNU 2 system photographed photos of great capacity. Therefore, we have been developing the advanced PKNU 2(PKNU 3) that consists of color-infrared spectral camera can photograph the visible and near infrared bands data using one sensor at once, thermal infrared camera, two of 40 G computers to store images, and MPEG board to compress and transfer data to the computer at the real time and can attach and detach itself to a helicopter. Verification and calibration of each sensor(REDLAKE MS 4000, Raytheon IRPro) were conducted before we took the aerial photographs for obtaining more valuable data. Corrections for the spectral characteristics and radial lens distortions of sensor were carried out.

**KEYWORDS : Multi-Spectral Camera, Thermal Infrared Camera, PKNU 3, Calibration.**

## 서 론

본격적인 항공촬영 실험에 앞서 소형 다중분광 자동 항공촬영시스템(PKNU3)에서 사용될 다중분광 카메라(LEDALKE MS 4000)와 열적외선 센서(Raytheon IRPro)의 영상획득을 위한 특성 평가를 실시하였다. 다중분광 카메라(RGB/CIR MS 4000)는 측정판을 이용하여 렌즈의 방사왜곡량을 산정하고 왜곡보정 후의 정확도를 분석하였으며 각 밴드 별 복사에너지와 영상 밝기 값의 상관관계를 분석하여 항공 촬영시 보정해야 할 각 밴드 별 감도를 산정하였다. 열적외선 센서(Raytheon IRPro)의 열적외선 파장대역의 감도는 온도 센서에 의해 실측된 값과 비교 분석함으로써 평가하였다. 본 연구를 통해 항공촬영에 사용될 센서의 특성 값을 산정하여 환경 감시 등의 목적으로 이용될 수 있는 영상의 기초자료를 생성하였다.

지금까지 디지털 카메라의 렌즈왜곡을 보정 한 연구사례는 국내·외적으로 그리 많지 않았

다. 국내에서는 차량측량시스템(mobile mapping system)에서 사용하기 위한 CCD(charge coupled device) 카메라의 렌즈 왜곡을 보정하는 프로그램을 개발한 연구 사례(정동훈 등, 2002)가 있었으며, Kodak DCS200 스틸비디오 카메라의 자체검정을 통하여 검정매개변수를 도출하고 대 상공간좌표의 정확도를 비교 검토한 연구 사례(이진덕 등, 1996)가 있었다. 국외에서는 본 연구에서 활용된 카메라 기종과 동일한 Kodak DCS460 카메라를 이용하여 소규모 지역에서 수치지도 제작가능성에 대해 연구하면서 렌즈왜곡특성에 대해 논의한 바(Scott Mason 등,1997; Clive S. Fraser 등,1997)있었다. 그러나, 이 당시 Kodak DCS 460카메라에 부착된 렌즈는 f=28mm렌즈로써 공학적으로 항공사진 촬영에 이용하기에는 다소 부족한 점이 많았다.

현재에는 디지털 카메라를 이용해서 기존의 아날로그 방식의 카메라와 비교할 때, 보다 넓은 지역을, 보다 높은 해상도로 성공적으로 촬영할 수 있다. 그러므로 디지털 카메라가 공학적 용도로 활용될 수 있도록 카메라 보정에 관

한 정밀한 연구가 필요하다.

그리고, 간조 시 갯벌의 클로로필 양을 측정하기 위한 자료로서 실측 값에 근거한 CIR(Color InfraRed)항공사진을 이용한 연구(R. J. Murphy 등, 2004)에서 센서에 입사하는 복사에너지량에 따른 일정한 영상을 획득하기 위해 반사도 18%의 Kodak grey card를 이용하여 적정 노출시간을 산정한 방사보정 연구사례가 있었다.

본 연구에서는 PKNU 3호가 촬영한 항공사진이 공학적으로 이용 되어질만한 가치가 있는지 평가하고 PLNU 3호의 환경원격탐사 가능성을 살펴보고자 하였다.

## 연구 재료

### 1. 다중분광 항공촬영 시스템(PKNU 3)

본 항공촬영 시스템은 영상촬영 시스템과 탑재체로 구성된다. 영상촬영 시스템은 주부인 다중분광대역 카메라(REDLAKE MS 4000, Kodak DCS 460C, NIR, Raytheon IRPro)와 카메라 조정 및 메타데이터 생산, 저장을 위한 주변부로 구성된다. 탑재체는 활주로 없이 이착륙이 가능하며 매우 느린 속도로 날 수 있으며 360도 회전할 수 있어 일반 비행기로는 접근하기 힘든 지역까지 갈 수 있는 헬리콥터를 이용하였다(그림 1).

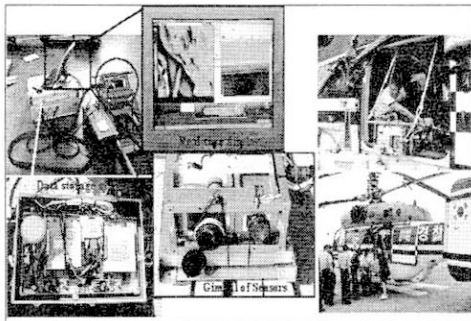


FIGURE 1. Multi-spectral aerial photographing system(PKNU 3) & platform.

본 연구의 보정에 사용될 영상 촬영 시스템은 가시대역과 근적외대역의 동시 촬영이 가능한 분광카메라(REDLAKE MS 4000)와 열적외 촬영 카메라(Raytheon IRPro)로 구성된다.

#### 1) REDLAKE MS 4000(다중분광센서)

가시대역과 근적외대역의 동시 촬영이 가능하여 칼라 영상과 CIR 영상을 한번에 획득할 수 있는 REDLAKE MS 4000은 3-CCD 카메라로 픽셀수가 1600×1200이며 픽셀당 크기는 7.4 μm이다.

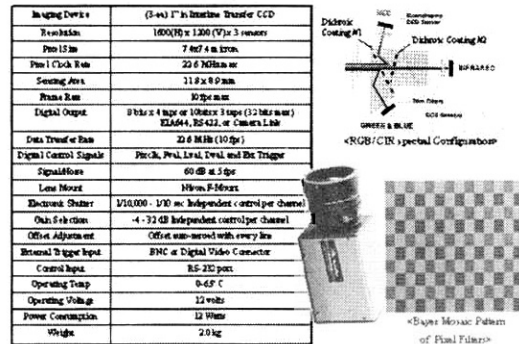


FIGURE 2. Specification of REDLAKE MS 4000 camera.

MS 4000 다중분광 카메라는 그림 2와 같이 가시대역(RGB), 칼라근적외대역(CIR), 가시 및 칼라근적외대역(RGB/CIR)을 생산한다. 본 연구에서는 가시 및 칼라근적외대역(RGB/CIR)을 이용하였다.

일반적인 디지털 카메라의 경우, CCD는 Red-Green-Red-Green 열과 Blue-Green-Blue-Green 열을 가지는 Bayer 패턴으로 구성된다. 따라서, 1개의 CCD에서 25%는 Blue, 50%는 Green, 나머지 25%는 Red에 할당이 된다. 즉, CCD에서 획득된 원시 밴드별 자료는 각각 보간하여 자료 변환을 거친 후 실자료로 이용되므로 원시 자료 자체가 정확한 분광특성을 가진다고 보기는 힘들다.

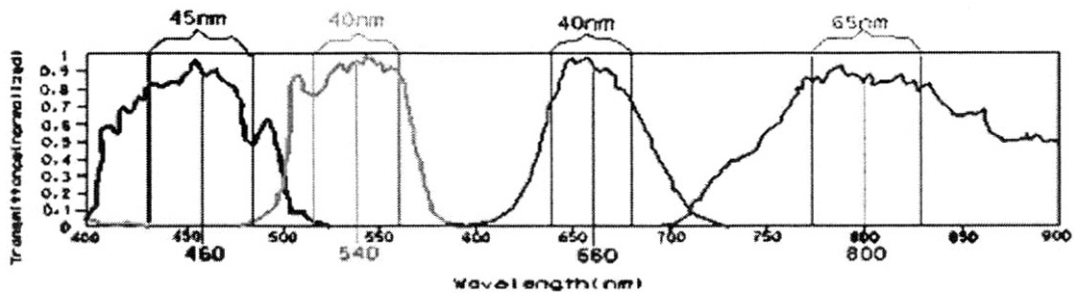


FIGURE 3. Spectral transmittance and FWHM (Full Width Half Maximum) of RGB/CIR configuration of REDLAKE MS 4000.

본 연구에 사용된 RGB/CIR 카메라(MS 4000)는 RGB, NIR 대역의 빛을 3-CCD(1:NIR, 2:R, 3:G&B)에서 감지한다. Green/Blue 대역의 빛은 Bayer 패턴 필터로 분광되어 감지되고, Red 대역과 IR 대역의 빛은 각각 단색 CCD에 의해 감지된다. RGB/CIR 카메라(MS 4000)는 프리즘의 입구면에 장착된 Dichroic coating이라고 하는 특수 코팅막에 의해 Green과 Blue 대역을 반사시키고, 반사된 빛은 Bayer 패턴 필터를 거친 후 CCD에 감지된다. 하나의 CCD에 Blue와 Green 대역을 함께 감지하므로 Bayer 필터에 의해 Blue는 전체 픽셀의 25%, Green은 전체 픽셀의 50%에서 감지된다. 두 번째 프리즘의 Dichroic coating에 반사된 Red 대역의 빛은 단색 CCD 센서에 의해 전체 픽셀의 100%에 감지된다. RGB/CIR 카메라 구조에서 red 영상이 CCD상의 전체 픽셀에서 감지되기 때문에 3-CCD 카메라로 획득된 영상은 1-CCD 칼라 카메라로 획득된 영상보다 실제로 해상도가 높다.

## 2) Raytheon IRPro

본 연구에서 검·보정된 Raytheon IRPro는 7~14  $\mu\text{m}$  파장 대역의 에너지를 감지하는 열적외 센서로 동영상 및 스틸사진을 촬영하여 LCD Viewer를 통해 디스플레이 한다. 5색 칼라 LCD이기 때문에 화상의 열분포를 5색 칼라(Red, Orange, Yellow, Green, Blue)로 나타낼

수도 있고 밝기값으로 온도를 나타낼 수도 있다(그림 4). PCMCIA 메모리 카드를 이용하여 자료를 저장할 수도 있지만 메모리 한계가 있으므로 본 연구에서는 24시간 혹은 48시간 연속촬영을 위해 디지털 카메라를 연결하여 비디오 테이프에 저장하였다.

Detector Type/Format	Uncooled Ferroic Oxide (256x256)
Spectral Response	7 to 14 microns (3 WFOV)
Detector Alignment	Uncooled Thermocouple
Video Update Rate	30 Hz
Time to Operate (Typical)	
Standard Lens	30mm (STD)
	25mm, 17mm & 10mm lenses (OPTIONAL)
	(7.5 to 14 microns)
Focus Range	∞ to 100m infinity
Viewers	color LCD (3 selectable pictures)
Teletext range, Color resolution & Picture	Yes
Test Accuracy	Yes (requestable time & date)
Security	COFAC
Digital Storage Source	2mb PCMCIA flash (50 images)
Image File Type	8-bit BMP



FIGURE 4. Specification of Raytheon IRPro thermal IR camera.

## 연구방법 및 결과

### 1. 다중분광카메라(RGB/CIR MS 4000 센서) 검·보정

항공촬영에 의한 자료획득에 앞서, 다중분광 센서로 획득한 영상의 기하보정과 방사보정 가능 여부를 분석하기 위하여 우선 센서를 검·보정하였다. 렌즈왜곡량을 산정하고 왜곡 보정 후의 정확도를 분석하였다. 복사에너지와 영상 밝

기값의 관계를 분석하여 항공촬영시 보정해야 할 각 밴드별 민감도를 산정하였다. 조리개와 노출시간으로 복사에너지량 조정 가능 여부를 분석하였다.

1) 기하학적 왜곡 검·보정

항공사진은 지상의 대상물과 초점, 사진상의 상점이 동일 직선상에 존재한다는 공선 조건의 가정하에 여러 가지 작업이 이루어지지만, 실제로 이러한 가정을 만족하지 못한다. 가장 큰 이유는 대상물로부터 반사된 빛이 사진기의 렌즈 내에서 굴절하기 때문이다. 이러한 현상을 렌즈 왜곡이라 한다. 렌즈왜곡은 방사방향의 왜곡(Radial distortion)과 접선방향의 왜곡(Tangential distortion)으로 나누어지며, 이 중 주점을 기준으로 대칭형으로 나타나는 방사 왜곡이 렌즈 왜곡에 절대적인 영향을 미치므로 본 연구에서는 방사방향의 왜곡만 보정하였다. 이러한 왜곡은 카메라의 검정(Calibration)에 의해 그 양을 관측할 수 있으며, 이를 이용하여 보정하였다.

가. 측정판 촬영 및 실측

방사왜곡은 렌즈의 중심으로부터 방사방향으로 피사체의 위치가 왜곡되어 나타나는 경향을 보인다. 수치사진측량 S/W에서 정확한 좌표를 취득하기 위해 렌즈의 방사왜곡을 제거하고 사진의 기하학적 정확도를 높이는 과정이 절대적으로 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 렌즈의 방사왜곡량을 측정하기 위하여 10cm간격으로 x축, y축 및 방사방향으로 기준점이 그려진 측정

판을 제작하였다. 카메라 렌즈 왜곡 보정 순서는 그림 5와 같다.

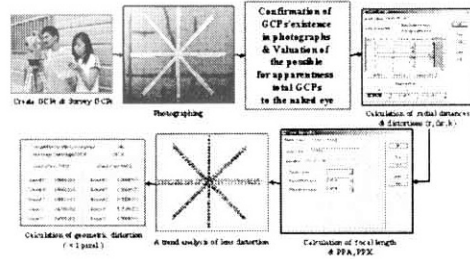


FIGURE 5. Flowchart of camera lens distortion correction.

우선 무타겟 광파기(Total station)를 이용하여 미리 제작된 측정판상의 121개 기준점을 측량하였다. 그런 후, 검·보정할 센서(REDLAKE MS 4000)로 측정판의 중심과 렌즈 중심을 최대한 일치시켜 촬영하였다.

측량한 수평각(HA), 수직각(VA), 경사거리(SD)와 측정판상의 기준점들의 Z(높이)값을 이용하여 지상좌표(x, y, z)값을 산정한 예는 표 1과 같다. 이렇게 산정된 실측 좌표값의 방사거리와 영상 픽셀값에서의 방사거리(r), 방사왜곡량( $\Delta r$ )을 산정하였다.

나. 렌즈왜곡 보정

본 연구에서는 광파기를 이용해 실측한 기준점의 좌표값(Reference)과 측정판을 촬영한 영상의 각 픽셀값에서 변환된 좌표값을 비교하여

TABLE 1. Image coordinates calculated by total station surveying

기준점 좌표	SD(m)	HA(°)	VA(°)	Z	x (m)	y (m)	z (m)	r(mm)	$\Delta r (\mu\text{m})$
(0,0)	6.455	0.036	89.846	6.487	0.000	0.006	0.032	0	3.83
(10,0)	6.461	0.884	89.940	6.494	0.096	0.007	0.034	0.35	3.44
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
(-150,0)	6.614	346.95	90.098	6.439	-1.497	-0.011	-0.003	4.38	-3.64

렌즈왜곡량을 산정하였다.

방사왜곡은 앞서 산정된 방사거리( $r$ )와 방사 왜곡량( $\Delta r$ )을 식 (1)에 대입하였다.  $K_0=6.4817200e-3$ ,  $K_1=-4.4270500e-4$ ,  $K_2=3.9596100e-06$ 의 방사왜곡 계수 값을 산출하여 렌즈왜곡 특성을 파악할 수 있었다(Fig. 6).

$$\Delta r = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 + \Lambda + k_n r^{2n-1} \quad (1)$$

$$0.35 + v_1 = (3.83)k_1 + (3.83)^3 k_2 + (3.83)^5 k_3$$

$$0.69 + v_2 = (3.44)k_1 + (3.44)^3 k_2 + (3.44)^5 k_3$$

$$1.02 + v_3 = (4.97)k_1 + (4.97)^3 k_2 + (4.97)^5 k_3$$

$$1.36 + v_4 = (8.67)k_1 + (8.67)^3 k_2 + (8.67)^5 k_3$$

( $\Delta r$ : 방사 왜곡량,  $k_0 \sim k_n$ : 방사왜곡계수,  $r$ : 방사거리,  $v$ : 왜곡편차량)

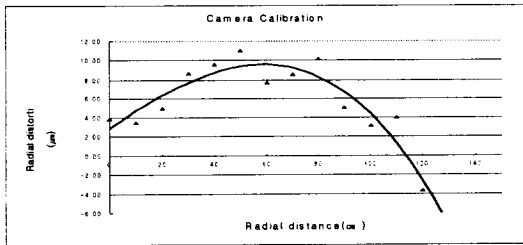


FIGURE 6. Lens distortion curve of REDLAKE MS 4000 camera

앞서 계산된 방사거리( $r$ ), 방사왜곡량( $\Delta r$ )과 사진좌표( $x, y$ )값을 식 (2)에 대입하여 방사왜곡이 보정된 사진좌표를 획득하였으며, 렌즈왜곡 보정 전과 후의 RMSE는 표 2와 같다.

$$x_c = x - \frac{x}{r} \Delta r, \quad y_c = y - \frac{y}{r} \Delta r \quad (2)$$

Table 2. Precision

Image precision	X(pixel)	Y(pixel)	RMSE
Before correction of lens distortion	0.9374	0.8530	0.9195
After correction of lens distortion	0.6789	0.4936	0.5736

일반적으로, 모든 카메라에서는 렌즈왜곡이 1 픽셀 이상 발생한다. 그러나 본 카메라의 경우, 기하학적 왜곡에 대한 검·보정 결과, 렌즈 왜곡도는 0.57~0.92 픽셀로 미미하였다. 이는 본 카메라의 경우, 그림 7과 같이 유효촬영면적이 약 12%로, 일반 카메라에서 가장 왜곡이 적은 중심부분만을 사용하기 때문으로 판단된다. 그러므로 REDLAKE MS 4000 센서의 렌즈왜곡 검·보정을 통하여 기하학적으로 유효한 영상획득이 가능할 것으로 판단된다.

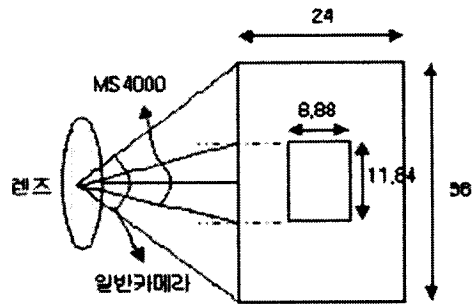


FIGURE 7. Efficient photographic area in MS 4000 camera

2) 방사왜곡 보정

물체에서 방출되고 반사된 전자기에너지가 센서에 감지될 때, 감지된 에너지는 근거리에서 실측된 동일 물체의 방출반사에너지와 정확하게 일치하지 않는다. 이는 태양 고도와 방위각, 안개와 에어로졸과 같은 대기상태, 센서의 감지 능력 등에 의한 것이다. 그러므로 실제 태양복사조도나 반사율의 획득을 위해 방사왜곡을 보정해야 한다. 태양 고도와 방위각, 안개와 에어

로졸과 같은 대기상태에 의한 방사왜곡은 영상을 획득한 후에 처리해야 하는 부분이다. 본 연구에서는 촬영 전 센서의 감지 능력을 검증하여 본 센서의 CCD 특성을 평가하고 각 밴드 별 적정 노출 보정 값을 산정하였다.

가. 센서의 CCD 특성 평가

명백히 RGB 영상 값은 모니터에 따라 상대적으로 나타난다. 하지만 절대 복사 보정이 필요할 경우, 원색 분광 반사판을 이용하여 분석한다. 본 연구에서는 Grelagmacbeth사의 Color checker color rendition chart를 사용하였다. 분광 원색 반사판은 정반사가 일어나지 않는 옷감재 질처럼 윤이 나지 않는 반사 면으로 잎, 곡물, 나무 등의 색과 일치하는, 검은색에서 흰색까지 24색으로 이루어진 색도판(color checker)이다.

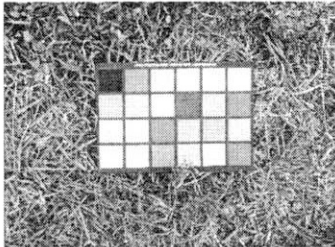


FIGURE 8. Color checker.

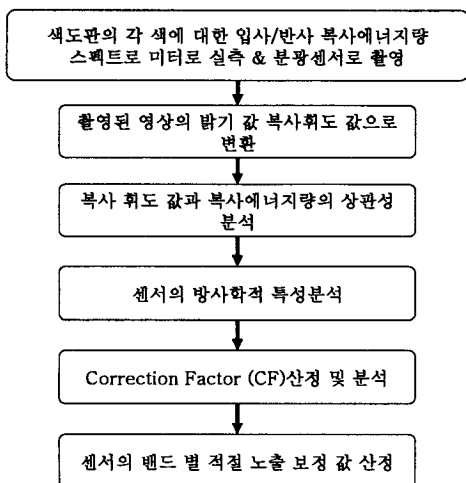


FIGURE 9. Fleowchart of radiometric correction

분광복사계 (spectroradiometer)는 센서의 필터에 인지된 빛 중 가장 우세한 파장 대의 빛과 일치하는 대역의 분광에너지를 기록한다. 본 연구에 사용된 REDLAKE MS 4000의 RGB/CIR에서 blue는 460nm, green은 540nm, red는 660nm이고 infrared는 800nm로, 각 밴드 폭은 40~65nm로 이루어져 있다. 분광 복사 계로 분광 반사 판의 색을 모두 측정하고, 반사 판을 REDLAKE MS 4000으로 촬영하여 분석하였다.

분광복사계를 이용하여 각 색도판의 색깔에 대한 입사한 태양 복사 에너지량과 반사되어 나간 복사에너지량을 직접 현장 관측하고, 입사된 태양복사 에너지에 대한 반사된 에너지의 비율(반사율)을 산정하였다. 동시에 MS4000카메라로 원색 분광 색도판을 촬영하여 각 색깔에 대한 밴드 별 밝기 값(digital number, DN)을 산정하였다.

센서에 입사되는 복사 에너지량에 따른 일정한 영상을 획득하기 위하여 MS4000 카메라 렌즈의 f-stop(2.8, 8, 11, 16)비와 노출시간을 달리하여 촬영하였다.

영상의 DN값을 복사 휘도 값으로 변환시켜 복사 휘도 값과 실측 복사에너지 값간의 상관성을 분석하여 센서의 복사에너지 감도를 평가해 보았다. 우선 식 3 에 의해 DN값을 복사휘도 값으로 변환시켰다.

각 R, G, B밴드에 대한 복사 휘도 값과 실측 복사에너지 값간의 상관계수가 1에 가까운 값들 중 픽셀 밝기 값의 최소값과 최대값(QCALMIN, QCALMAX)을 산정하였다.

$$L = \frac{(LMAX - LMIN)}{(QCALMAX - QCALMIN)} \cdot (QCAL - QCALMIN) + LMIN \quad (3)$$

(L = 센서에 입사한 복사조도(w/m<sup>2</sup> · ster · μm)  
 QCAL = 픽셀의 DN값을 양자화시켜 보정한 값  
 LMIN = QCALMIN값에서 산정된 복사 조도  
 LMAX = QCALMAX값에서 산정된 복사 조도  
 QCALMIN = 0, QCALMAX = 255)

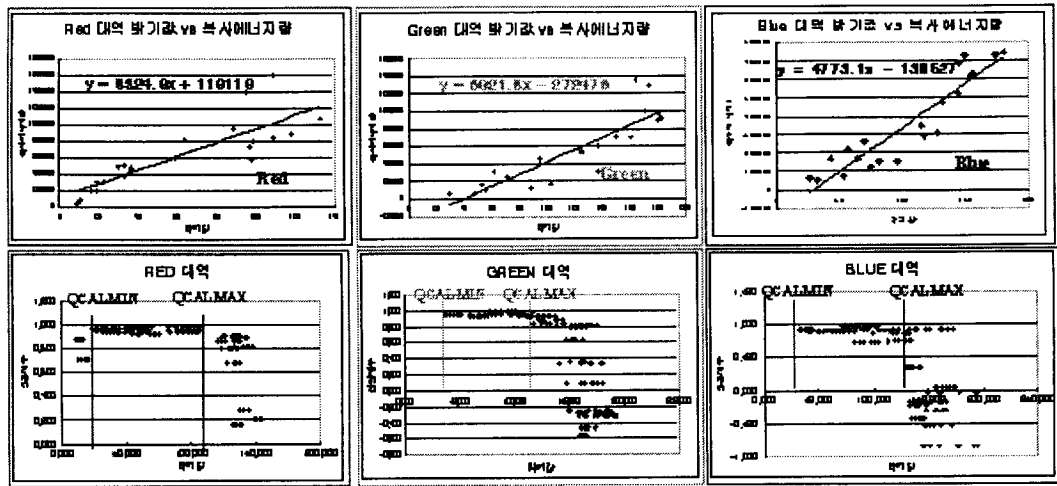


FIGURE 10. Correlations between spectral radiance in effective sensed range and radiant energy & effective sensed range of MS 4000 sensor

분석결과 유효감지 대역은 각 대역 별로 약 blue: 25~130, Green: 35~115, Red: 20~110로 유효감지대역의 약 31~41%를 사용하는 것으로 판단된다. 다소 카메라의 적정 Gain값을 선택하는데 문제가 있었던 것으로 판단되며 차후 실험에 있어 다양한 Gain값 조정을 통한 적정 Gain값을 산출할 필요가 있음을 알 수 있었다. 여기서, Gain이란 렌즈를 통해 들어온 빛에 대한 반응을 전자적으로 올려주는 것을 말한다.

밴드 별 밝기 값과 복사에너지의 상관관계 그래프의 분석 결과 그림 10에서 보는 것과 같이 R 대역 그래프의 기울기 값이 B 대역의 약 2배, G 대역의 1.2배정도 높게 나타났다. 본 그래프에서의 기울기 값은 복사 휘도 값에 대한 복사에너지량으로써 기울기가 낮을수록 CCD의 감도가 높고, 기울기가 높을수록 CCD의 감도가 낮다. 따라서, R 대역의 CCD 감도가 G/B대역의 CCD에 비하여 감도가 낮게 나타난다고 볼 수 있다.

Red대역이 Green/Blue 대역보다 감도가 낮은 원인은 RED대역은 단색 CCD에서 100% 감지하나 Green/Blue대역은 그림 2와 같이 Bayer 패턴 모자이크 필터 CCD를 사용하여 Green 대역에서 50%, Blue대역에서 25%를 감지하기 때

문에 RGB 감도 밸런스를 맞추기 위하여 Blue<Green<Red 순서로 감도가 낮아지는 것으로 사료된다.

나. 3-CCD의 적정 노출 보정 값 산출

영상상의 RGB 값은 DN(digital number)값으로 나타나고 (e.g. R=33, G=61, B=42), 동일 대역의 실측 반사율은 r=22%, g=12%, b=11%와 같이 백분율로 산정된다. 실측 RGB 반사율과 영상상의 RGB값간의 보정(복사보정)이란 각 RGB밴드에 대한 DN (digital number)보정요인 (CF)을 찾는 것이다. 각 밴드 별 적정Gain값을 산출하기 위하여 색도 판의 모든 색에 대하여 분광 복사 계에서 얻어진 460nm(blue), 540nm(green), 660nm(red), 800nm(NIR)대역의 반사율과 각각의 DN값, 그에 따른 CF값을 산정하여 기록하였다(표 3). CF값은 식 4에 의해 각 밴드 별로 산정된다.

$$\text{Correction factors (CF)} = \frac{\text{Ground target spectral reflectance}}{\text{(RGB values/255)}} \quad (4)$$



Table 3. Radiometric correction in each band (RGB)

color	correction factor(CF)			RGB pixel values			Ground target spectral reflectance(%)				Spectral radiance at each band			
	B	G	R	B	G	R	B	G	R	IR	B	G	R	IR
Darlskin	0.67	0.50	1.70	42	61	33	11	12	22	33	6550.54	5910.4	11653.6	27238.3
Lightskin	0.62	0.41	1.17	131	160	89	32	26	41	48	18476.6	13292.9	21233.9	40462.4
Bluesky	0.64	0.41	1.79	144	125	30	36	20	21	44	20463.2	10117.7	11053.4	36995.7
Foliage	1.37	0.97	3.49	56	95	19	30	36	26	52	16859.8	17356.4	13308.1	43257.1
Blueflower	0.35	0.20	0.56	154	137	59	21	11	13	28	12123.7	5816.27	6514.9	22811.3
Bluishgreen	0.35	0.25	0.69	155	183	37	21	18	10	18	12289.5	8728.59	5310.26	15366.2
Moderated	0.28	0.14	0.65	74	88	98	8	5	25	33	4720.16	2504.16	12872.1	27360.3
Purple	0.67	0.29	1.24	69	52	33	18	6	16	39	10473.6	2937.26	8314.75	33037.2
Yellowgreen	0.24	0.79	1.36	118	174	60	11	54	32	48	6777.2	26723.4	17053.2	41866.3
Orangeyellow	0.16	0.25	0.81	81	181	95	5	18	30	40	2970.86	8971.79	15656.9	33408.2
Blue	0.95	0.32	1.39	116	55	11	43	7	6	36	23167.3	3931.41	3387.36	29157.8
Green	0.16	0.31	0.70	93	150	22	6	18	6	11	3487.69	9313.34	3067.96	10473.2
Red	0.24	0.11	0.84	32	47	109	3	2	36	38	1918.06	1284.68	18662.5	31880.3
Yellow	0.13	0.40	0.80	95	164	109	5	26	34	36	2922.34	12926	17714.1	30083.4
Magenta	0.22	0.08	0.41	128	102	118	11	3	19	21	6146.13	1685.76	9997.59	18108.2
Cyan	0.74	0.46	1.43	173	150	16	50	27	9	26	28686.5	13656.6	4594.45	22778.2
White	0.85	0.71	0.68	180	173	177	60	48	47	44	34644.5	24648.8	24497.8	37429.2
Netual8	1.41	0.94	1.63	154	180	97	85	66	62	56	48610.5	33959.9	32490.3	47197.2
Netural6.5	0.83	0.55	1.39	145	171	64	47	37	35	32	27061.8	18899.5	18289.7	16717.4
Netural5	1.06	0.84	2.62	115	125	37	48	41	38	37	27506.9	20790.7	20048.2	31023.5
Netural3.5	1.00	0.68	2.28	64	71	19	25	19	17	15	14039.2	9760.06	9022.75	12664.9
Black	0.39	0.18	0.57	26	29	9	4	2	2	3	2380.63	994.472	1169.23	2536.11
Average	0.61	0.45	1.28	107	122	61	26	23	25	34	15104	11555	12996	28266

센서의 RGB감도는 CF값으로 산정이 되는데 MS4000센서의 밴드 별 CF값을 분석한 결과, R 밴드의 CF값이 평균 1.28로 영상의 R밴드 대역 밝기 값에 대해 실측 R밴드 반사율이 더 높게 나타나고 있으며, G밴드와 B밴드의 CF값은 각각 0.45, 0.61로 영상 값에 대해 실측값이 더 낮게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉, MS4000 센서에서 G/B밴드대역의 감도가 높고R대역에서는 다른 밴드에 비해 빛에 대한 감도가 낮은 것으로 나타났음을 나타낸다. 따라서 항공촬영 시 R대역에서 Gain값을 올려주어 실측반사율에 근접한 값을 얻을 수 있도록 하여야 하며, G/B

밴드에서는 Gain값을 낮춰주어 RGB감도의 밸런스를 맞춰주도록 해야 한다. Gain값의 인위적인 조사를 통하여 표 3에 나타난 센서의 RGB 반응 특성에 대해 보완할 수 있다. 그리하여 각 CCD로 적절한 노출을 부여하여 RGB색밸런스가 잘 맞춰진 영상을 획득할 수 있다.

### 3) 열적외 센서 검·보정

식생, 토양, 암석, 물, 콘크리트, 아스팔트와 같은 지상의 여러 요소들은 예측 가능한 열적 특징들을 가지고 있는데, 그것은 각 요소들이 어떻게 선택적으로 태양에너지를 흡수하고, 열

적외 에너지를 방출하는지에 대한 원리에 근거한 것이다. 열적외 원격탐사 시스템은 열적외 영상을 기록하여 열복사 특성을 바탕으로 그 물체의 형태를 파악하고, 시간에 따른 열적 특성 변화를 평가하는데 이용한다. 다중분광 항공촬영 시스템에 탑재될 열적외 센서 Raytheon IRPro의 열적외 감도를 온도센서에 의한 실측값과 비교·분석을 통해 평가하였다. 실측장소를 열적외 센서로 7~14 $\mu$ m 파장대역을 촬영하고 온도 센서로 콘크리트, 나무, 잔디, 건물 벽면 등 열화상에서 육안으로 판독이 되는 물체의 온도를 측정하였다(그림 11).

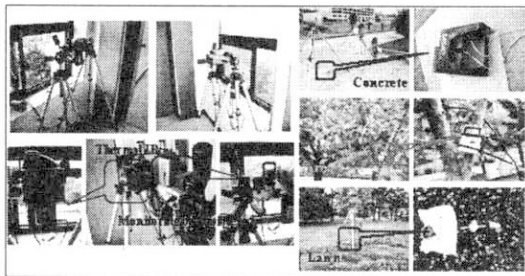


FIGURE 11. Observation of objects using thermal sensor (Raytheon IRPro) and thermometer

열적외 원격탐사의 목적은 물체에 복사계를 위치시켜 물체의 온도( $T_{kin}$ )와 같은 겉보기 복사

온도( $K_{rad}$ )를 얻는 것이다(채효석 외, 2002). 그러나 어떤 주어진 온도에서 물체로부터 나오는 복사플럭스는 방출률 차이 때문에 같은 온도의 흑체에서 나오는 복사플럭스와 같지 않다. 물체의 방출률을 알면 원래 흑체에 적용되는 스테판-볼츠만 법칙( $M_b = \sigma T_{kin}^4$ )을 수정하여, 물체( $M_r$ )의 전분광 복사플럭스를 계산할 수 있다.

$$M_r = \epsilon \sigma T_{kin}^4 \tag{5}$$

이 식은 물체가 복사하는 복사플럭스와 열적외 센서에 기록되는 값을 보다 정확하게 비교하기 위하여 물체의 온도와 방출률을 고려하고 있다. 열적외 센서는 일반적으로 온도( $T_{kin}$ )가 아닌 지표의 겉보기 복사온도( $K_{rad}$ )를 기록한다. 물체의 방출률을 고려하여 관측이 개선된다고 하면, 센서에 기록된 물체의 복사온도는 온도 및 방출률과  $K_{rad} = \epsilon^{1/4} T_{kin}$  과 같은 관계를 가진다. 따라서 실측한 온도값에 방출률을 고려하여 각 물체에 대한 복사온도를 산정한 값과 센서에 기록된 물체의 위치에 해당하는 밝기값 간의 상관성을 분석하였다. 각 물체에 대한 실측온도(T)와 복사온도(IR)는 표 4와 같다.

Table 4. Surveyed temperatures, radiant temperatures, and brightness values(BV)

	Concrete(1)			Concrete(2)			Wall			Lane			Grass			Tree		
	T	IR	BV	T	IR	BV	T	IR	BV	T	IR	BV	T	IR	BV	T	IR	BV
11:50	33.2	32.3	217	36.6	35.6	15.3	27.4	26.7	73	33.0	32.1	159	30.7	29.9	124	30.2	29.4	48
12:05	31.8	31.0	222	36.0	35.1	162	27.3	26.6	75	32.5	31.7	155	28.8	28.1	119	27.6	26.9	56
12:20	31.1	30.3	224	35.1	34.2	193	27.1	26.4	76	30.8	30.0	105	27.6	26.9	115	26.4	25.7	49
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
17:35	28.0	27.3	134	31.3	30.5	107			165	26.3	25.6	118	25.0	24.4	48	25.4	24.7	56
17:50	27.9	27.2	119	30.6	29.8	94			174	25.9	25.2	101	25.0	24.4	56	24.9	24.3	78
118:05	27.4	26.7	117	29.3	28.5	97			157	25.2	24.5	85	23.9	23.3	49	24.1	23.5	72

9시간동안 15분 간격으로 촬영한 7~14  $\mu\text{m}$  파장 대역의 열적외 영상 밝기값 변화는 그림 13과 같다. 물체의 온도 역시 15분 간격으로 열화상 촬영과 동시에 측정하였다.

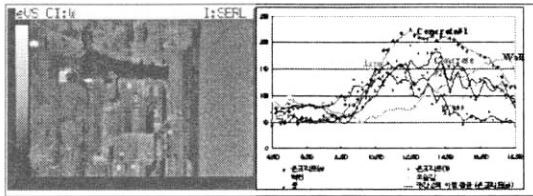


FIGURE 12. Brightness Values(BV) of objects on the thermal image

영상의 밝기값과 물체의 방출률을 고려하여 산정된 겉보기 복사온도 간의 상관성을 분석하여 센서의 온도측정 정확도를 평가하였다.

Table 5. Correlation coefficients between surveyed temperatures and radiant temperatures & each emissivity of objects

	Concrete (1)	Concrete (2)	Wall	Grass
Emissivity	0.90	0.71	0.93	0.97
Correlation Coefficients(IR)	0.834	0.830	0.889	0.725

지열 측량을 위하여 본 열적외 센서를 지상 콘크리트부분에 초점을 맞추어 촬영하였다. 영상의 콘크리트 부분에서는 겉보기 복사온도와 열적외 센서감도의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

## 결론

다중분광 항공촬영 시스템(PKNU 3)을 실제로 항공 촬영하기에 앞서 각 센서의 성능 실험을 실시하였다. 렌즈왜곡은 어느 정도인지, 센서의 CCD 파장대역별 감도는 어떠한지, 열적외

센서의 열반응 정도는 어떠한지를 분석한 결과, 다음과 같다.

첫째, 기하학적 왜곡에 대한 MS4000 센서의 검·보정 결과, 렌즈왜곡량은 0.57~0.92 픽셀로 미미하였다. 본 카메라의 경우 유효 촬영면적은 일반 카메라의 가장 왜곡이 적은 중심부 12%만을 사용하였기 때문으로 사료된다.

둘째, 방사왜곡보정을 위하여 분광복사계를 이용하여 Color checker color rendition chart(색도판)의 모든 색에 대한 반사율과 반사된 복사에너지량을 실측하고 MS4000으로 촬영하여 밝기 값을 산출하였다. 센서에서 산출된 DN값으로 복사휘도 값을 산정하고, 색도판의 각 색상별로 반사된 복사에너지량을 실측하여 상호 상관관계를 분석한 결과 유효감지 대역은 각 대역별로 약 blue: 25~130, Green: 35~115, Red: 20~110로 유효감지대역의 약 31~41%를 사용하는 것으로 판단되었다. 다소 카메라의 적정 Gain값을 선택하는데 문제가 있었던 것으로 판단되며 차후 실험에 있어 다양한 Gain값 조정을 통한 적정 Gain값을 산출할 필요가 있음을 알 수 있었다.

셋째, 유효감지 대역의 반사 복사에너지량과 영상의 복사휘도 값의 상관관계를 분석한 결과, R 대역의 CCD 감도가 G/B대역의 CCD에 비하여 감도가 낮게 나타났다. Red대역이 Green/Blue 대역보다 감도가 낮은 원인은 RED대역은 단색 CCD에서 100% 감지하나 Green/Blue대역은 그림 2와 같이 Bayer 패턴 모자이크 필터 CCD를 사용하여 Green 대역에서 50%, Blue대역에서 25%를 감지하기 때문에 RGB 감도 밸런스를 맞추기 위하여 Blue<Green<Red 순서로 감도가 낮아지는 것으로 사료된다.

넷째, 열적외 센서의 감도를 검보정 하기 위하여 접촉식 온도계를 이용하여 온도를 측정하였다. 물체의 방출률을 고려한 겉보기 온도로 변환하여 열적외 센서로 촬영된 영상의 밝기값과 상관관계를 분석하였다. 분석 결과, 열적외 촬영시 초점을 맞춘 콘크리트 부분과 건물 벽의

상관계수는 0.834와 0.889로 높은 상관관계를, 잔디부분에서는 0.725로 상대적으로 낮은 상관관계를 보였다. 차후 실험을 통해 각 물체별로 초점을 맞추어 영상을 각각 획득한 후, 겉보기 온도와의 상관관계를 개별적으로 비교해 볼 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구를 지원하여 주신 부경대학교와 해양수산부에 감사드립니다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 정동훈, 김병국. 2002. 투영변환방식을 이용한 CCD 카메라 렌즈의 복사왜곡 보정. 대한토목학회 논문집D 22(5):995-1001.
- 이진덕, 연상호, 이병환. 1996, 스틸비디오 카메라의 자체검정에 의한 기하학적 수행성 평가, 1996년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(3) : 측량 및 지형공간정보분야 (2) / 지형공간정보, 수치사진측량, 105-109쪽.
- John R. Jensen 지음, 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조규성, 조명희 옮김. 2002. 환경원격탐사. 시그마프레스, 서울, 255-297쪽.
- Fraser, C. S. 1997. Digital camera self-calibration, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 52(4):149-159.
- Murphy, R. J. T.J .Tolhurst, M.G. Chapman and A.J. Underwood. 2004. Estimation of surface chlorophyll on an exposed mudflat using digital colour-infrared(CIR) photography. Estuarine, Coastal and Shelf Science 59:625-638.
- Mason, S., H. Ruther and J. Smit. 1997. Investigation of the Kodak DCS460 digital camera for small-area mapping. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 52(5):202-214. **KAGIS**