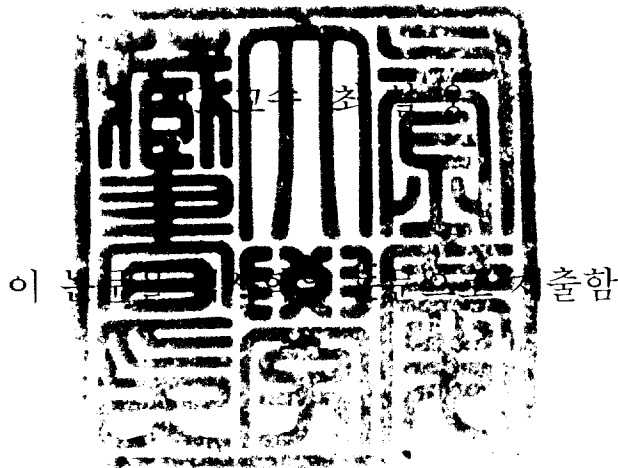


공학석사 학위논문

소형 다중분광 항공촬영시스템  
(PKNU 3호)개발 및 환경원격탐사  
가능성 평가에 관한 연구



2005년 2월

부경대학교 대학원

위성정보과학과

이 은 경

이은경의 공학석사 학위논문을 인준함.

2004년 12월 26일

주 심 공학박사 윤 홍 주



위 원 공학박사 배 상 훈



위 원 공학박사 최 철 응



## 목 차

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 제 1 장 서 론 .....                                 | 1  |
| 1.1 연구 배경 및 목적 .....                            | 1  |
| 1.2 국내외 항공촬영 시스템 개발 현황 .....                    | 4  |
| 제 2 장 소형 다중분광 항공촬영 시스템(PKNU 3) 개발 .....         | 5  |
| 2.1 시스템의 구성 .....                               | 5  |
| 2.1.1 센서 부 제작 .....                             | 7  |
| 2.1.2 영상 저장 시스템 제작 .....                        | 8  |
| 2.1.3 GPS 탑재 .....                              | 10 |
| 2.1.4 Platform .....                            | 12 |
| 2.2 PKNU 3 센서 검·보정 .....                        | 13 |
| 2.2.1 다중분광카메라(MS 4000 RGB/CIR sensor) .....     | 13 |
| 2.2.1.1 다중분광카메라의 기하학적 왜곡 검 보정 .....             | 14 |
| 2.2.1.2 다중분광카메라의 방사 왜곡 검 보정 .....               | 18 |
| 2.2.2 열적외 센서 (Raytheon IRPro) .....             | 23 |
| 2.2.2.1 열적외 센서 검증 .....                         | 24 |
| 제 3 장 PKNU 3 시스템의 실용성 평가 .....                  | 32 |
| 3.1 평가 실험 방법 .....                              | 33 |
| 3.1.1 1차 기초 성능 평가 실험 .....                      | 33 |
| 3.1.2 2차 대용량 다중분광 촬영 가능성 평가 실험 .....            | 33 |
| 3.2 실험 결과 및 고찰 .....                            | 34 |
| 3.2.1 1차 실험 .....                               | 34 |
| 3.2.2 2차 실험 .....                               | 37 |
| 제 4 장 PKNU 3 영상의 환경원격탐사 가능성 평가 .....            | 44 |
| 4.1 평가 실험 자료 및 방법 .....                         | 45 |
| 4.1.1 식생지수 선정 .....                             | 45 |
| 4.1.2 식생지수 적용 및 영상의 spectral signature 분석 ..... | 47 |
| 4.3 평가 실험 결과 및 고찰 .....                         | 52 |
| 제 5 장 결 론 .....                                 | 55 |
| 참고 문헌 .....                                     | 57 |

## 그 립 목 차

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2.1. Multi-spectral aerial photographic system (PKNU 3). .....                                                                                        | 6  |
| Fig. 2.2. Sensor portion of PKNU 3 System.....                                                                                                             | 7  |
| Fig. 2.3. Data Storage System of PKNU 3. ....                                                                                                              | 8  |
| Fig. 2.4. Cables to connect sensor portion with Data Storage System. ....                                                                                  | 9  |
| Fig. 2.5. GPS equipment. ....                                                                                                                              | 10 |
| Fig. 2.6. Platform. ....                                                                                                                                   | 12 |
| Fig. 2.8. Flow chart of Camera lens distortion correction. ....                                                                                            | 15 |
| Fig. 2.9. Macbeth Color Checker. ....                                                                                                                      | 18 |
| Fig. 2.10. Spectral Transmittance and FWHM (Full Width Half Maximum) of<br>RGB/CIR configuration of REDLAKE MS 4000. ....                                  | 19 |
| Fig. 2.12 Flow chart of thermal IR camera verification.....                                                                                                | 24 |
| Fig. 2.13 Observation of objects using thermal sensor and thermometer. ....                                                                                | 25 |
| Fig. 2.14 Change of brightness values according to time on thermal image. ....                                                                             | 26 |
| Fig. 3.1 Flight route of two aerial surveys.....                                                                                                           | 32 |
| Fig. 3.2 Result of kinematic surveying data (Ashtech Z-surveyor) processing....                                                                            | 34 |
| Fig. 3.3 Flight altitude and velocity of the 1 <sup>st</sup> aerial survey. ....                                                                           | 35 |
| Fig. 3.4 Photographs taken at the 1 <sup>st</sup> aerial survey.....                                                                                       | 36 |
| Fig. 3.5 Flight altitude and velocity of the 2 <sup>nd</sup> aerial survey. ....                                                                           | 37 |
| Fig. 3.6 Photographs taken at the 2 <sup>nd</sup> aerial survey. ....                                                                                      | 38 |
| Fig. 3.8 Result of the 2 <sup>nd</sup> aerial surveyed GPS data processing.....                                                                            | 39 |
| Fig. 3.9 Configuration of image strip by using GPS data. ....                                                                                              | 40 |
| Fig. 4.1 Flowchart of evaluation of the PKNU3 image.....                                                                                                   | 44 |
| Fig. 4.2. CIR(left) & RGB(right) Images of PKNU 3. ....                                                                                                    | 47 |
| Fig. 4.3. Images of each vegetation index derived from PKNU 3 photos. ....                                                                                 | 48 |
| Fig. 4.4. Coefficients of determination for regressions ( $r^2$ )of spectral indices on<br>concentration of chlorophyll normalized for weight or area..... | 53 |
| Fig. 4.5. The relationship between area-and weight-normalized chlorophyll and<br>SAVI.....                                                                 | 54 |

## 표 목 차

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 2.1. Specifications of GPS equipment .....                                                                                                                                                                         | 11 |
| Table 2.2. Form of the Camera lens distortion correction.....                                                                                                                                                            | 16 |
| Table 2.3. Precision.....                                                                                                                                                                                                | 17 |
| Table 2.4 Radiometric calibration of screen RGB values.....                                                                                                                                                              | 20 |
| Table 2.5 Surveyed Temperatures (T), Radiant Temperatures (RT), and<br>Brightness Values (BV).....                                                                                                                       | 27 |
| Table 2.6 Coefficients between radiant temperature and brightness values on<br>thermal image of each object & Emissivity.....                                                                                            | 31 |
| Table 3.1 Camera attributes at that time of the 2 <sup>nd</sup> aerial survey (exposure station<br>position (x, y, z), Omega-phi-kappa rotation angles (omega ( $\omega$ ), phi ( $\phi$ ), kappa<br>( $\kappa$ )) ..... | 41 |
| Table 4.1 Vegetation Indices used in this study.....                                                                                                                                                                     | 46 |
| Table 4.2. Spectral signatures for images of each vegetation index.....                                                                                                                                                  | 49 |
| Table 4.3. Correlation coefficients among images of each vegetation index.....                                                                                                                                           | 51 |

Development and Evaluation of the PKNU3 Small-Format, Multi-Spectral,  
Aerial Photographic System as an Environmental Remote Sensing Method

Eun Khung Lee

Department of Satellite Information Sciences, The Graduate School,  
Pukyong National University

**Abstract**

Our laboratory originally developed the compact, multi-spectral, automatic aerial photographic system PKNU3 to allow greater flexibility in geological and environmental data collection. We are currently developing the PKNU 3 system, which consists of a color-infrared spectral camera capable of simultaneous photography in the visible and near-infrared bands; a thermal infrared camera; two computers, each with an 80-gigabyte memory capacity for storing images; an MPEG board that can compress and transfer data to the computers in real-time; and the capability of using a helicopter platform. Before actual aerial photographic testing of the PKNU3, we experimented with each sensor. We analyzed the lens distortion, the sensitivity of the CCD in each band, and the thermal response of the thermal infrared sensor before the aerial photographing. As of September 2004, the PKNU3 development schedule has reached the second phase of testing. As the result of two aerial photographic tests, R, G, B and IR images were taken simultaneously; and images with an overlap rate of 70% using the automatic 1-s interval data recording time could be obtained by PKNU3. Further study is warranted to enhance the system with the addition of gyroscopic and IMU units.

We evaluated the PKNU 3 system as a method of environmental remote sensing by comparing each chlorophyll image derived from PKNU 3 photographs.

This appraisalment was backed up with existing study that resulted in a modest improvement in the linear fit between the measures of chlorophyll and the RVI. NDVI and SAVI images stem from photographs taken by Duncantech MS 3100 which has same spectral configuration with MS 4000 used in PKNU3 system.

Keywords: Multi-spectral automatic aerial photographic system, PKNU 3, thermal infrared sensor, multi-spectral camera

## 제 1 장 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

원격탐사 전공자들은 항공사진과 위성영상을 이용하여 영상자료를 처리해왔다. 이러한 영상자료처리에 있어 가장 기본이 되는 것이 영상자료획득이다. 기존의 모든 영상자료는 위성 영상이나 국립지리정보원과 각급 지방자치단체에서 촬영한 항공사진이 대부분이다. 이러한 영상은 기관별로 사용목적에 따라 촬영방식이나 촬영시기가 각각 다르다. 연구자가 원하는 시기에 원하는 장소를 촬영하고자 하는 경우에는 경제적 부담이 많았다.

그리하여 원격탐사 전공자들은 보다 저렴하고, 신속 정확한 자료획득을 위하여 노력하여 왔다. 이러한 동향에 발맞추어 지난 2001년 6월 대학자체연구로 다중분광 항공촬영 시스템(PKNU2호)을 개발하기 시작하여 2003년 6월까지 총 6차 실험까지 완료하여 시스템의 기초성능 실험(1차), 대용량 촬영가능성 평가 (2차), 흑한 기 촬영성능 실험 (3차), 다중분광 촬영성능 실험 (4차), 스틸 항공사진과 비디오의 연계성 실험 (5차), 카메라 겹 보정 실험과 정밀 GPS 측량 (6차)을 거쳐 정사영상지도 (수평정확도: 0.78m, 수직정확도: 0.83m)를 제작하였다. 지상해상도 면에 있어서는 0.3m로 고해상도의 수직사진을 획득할 수 있었으나, 칼라, 적외 영상을 각각의 카메라로 따로 획득하여 후처리 과정에서 합성영상을 생성하였기 때문에 만족스러운 결과물을 얻지 못한 아쉬움이 있었다. 고해상도에 중점을 두고 진행된 개발연구의 결과물이 PKNU 2호라고 한다면, PKNU 3호는 다중분광에 초점을 맞추고 개발한 소규모 항공촬영 시스템이다.

국내에서는 일반 항공촬영 및 일반 전경사진 촬영에 대한 수요가 많으며



향후 그 활용도 및 발전가능성이 높은 것으로 사료된다. 그러나 기반기술 개발의 미비로 아직은 정형화된 사진촬영부분은 대규모 항공사진기를 이용한 부분이 주를 이루고 있으며 과학적 관독을 위한 항공촬영은 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 최첨단 기법을 이용한 연구로서 그 활용가능성이 매우 높은 분야이다. 해외의 경우, 과학적 탐사와 환경변화 탐지를 위한 다중분광대역 촬영이 고 부가사업으로 등장하고 있다. 임업분야에서 항공사진을 이용하여 죽은 나무와 쓰러진 나무를 분류하고 정량화한 사례가 있었다. 해충이 급증한 지역의 썩은 나무의 분포도를 제작한 연구(Nu"sslein et al., 1997)가 있었으며, 바람에 쓰러진 나무의 분포도를 제작한 연구(Scherrer, 1993; Schmidtke, 1993; Koch et al., 1998)가 행해졌다. 해양분야에서는 그리고 전자기파의 visible과 infrared대역에서 반사된 복사에너지를 측정함으로써 물밑 클로로필 양을 산정하기 위하여 항공 촬영한 사례(Riethmuller et al. 1998; Hakvoort et al., 1998; Hagerthey et al., 2002)도 있었다. 그리고 간조 시에만 관측이 가능하기 때문에 시간적, 공간적으로 제한된 갯벌지역의 클로로필 농도를 측정함으로써 미세조류를 관측하는 연구(R. J. Murphy et al., 2004)에서 일정한 주기로 같은 지역의 미세조류의 시간적 변화를 정량화하기 위해서 실험대상지역을 훼손하지 않는 방법이 필요하였다(Underwood and Kromkamp, 1999). 연구지역을 훼손하게 되면, 갯벌 토양과 미세조류 군의 특성을 변화시킬 수 있으며, 다른 실험에도 영향을 미칠 수가 있기 때문에 비행기에 카메라나 센서를 장착하여 촬영하는 방법을 이용하였다.

또한 적외선 대역의 항공사진은 기상상태에 상관없이 어떤 날씨상태에서 획득된 영상이라도 지상의 온도분포 분석에 이용된다. 그러므로, 적외 영상은 토양이나 곡식의 수분함량과 해양의 수온조사, 지질학적 연구 및 도심지의 토지분류 등과 같은 분야에서 광범위하게 이용될 수 있다(L. Shukai, 1992).

이러한 배경으로 가시대역과 적외선 대역(RGB and Infrared)의 영상을 동시에 촬영할 수 있는 분광카메라와 열 적외 카메라로 이루어진 센서 부와 자료 저장을 위한 영상저장시스템 부로 구성된 소형 다중분광 자동 항공촬영 시스템 (PKNU 3)이 개발되었다. PKNU 2, 3호와 같은 항공촬영 시스템은 지구 표면의 공간적, 물리적 특징을 기록함으로써 정량적 측정이 가능한 자료를 획득, 저장 및 처리하기 위한 이동성 측지학과 디지털 사진측량학의 통합개념의 산출물이다(Mohaned M.R. Mostafa et al., 2001). 연안 녹조 적조 감시와 산불과 태풍 등에 의해 훼손된 산림분석 등 적시적소의 영상을 획득하여 환경 원격탐사에 이용할 수 있는 다중분광 항공촬영 시스템을 개발하여 그 가능성을 분석해 보았다.

본격적인 항공촬영 실험에 앞서 소형 다중분광 자동 항공촬영시스템 (PKNU3)에서 사용될 다중분광 카메라(LEDACE 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 촬영 시 보정해야 할 각 밴드 별 감도를 산정하였다. 열적외 센서(Raytheon IRPro)의 열적외 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.

## 1.2 국내외 항공촬영 시스템 개발 현황

항공촬영 시스템 개발에 관한 연구는 국내외에서 많이 이루어졌다. Z/I IMAGING사의 경우 DMC(Digital Mapping Camera)를 비행기에 탑재하여 상업화하고 있으나 System 도입자체가 매우 고가이며 대형이기 때문에 국내 실정에서는 활용에 어려움이 있다. 독일의 Stuttgart 대학의 Cramer의 경우 고가의 GPS/INS를 활용하여 외부표정요소를 산정하는 연구에서 헬리콥터와 고정익 비행기에 탑재 가능한 항공촬영시스템을 개발한 바 있으나, 고가의 GPS/INS장비를 사용함으로써 사진판독정확도는 매우 높았으나 장비가격이 일반 항공촬영 장비가격과 거의 동일하여 실용성이 낮았다(Cramer, M. et al., 2000). 또 영국의 Kingston 대학의 Livingston은 동적인 자연 대상물인 연안해역의 환경을 연구하기 위해 비디오와 디지털 사진기를 이용하여 촬영했으나 System 자체의 설계가 미흡해 안정된 영상 자료 획득에 어려움이 있었다(Livingstone, D et al., 1999).

국내에서는 시설물관리와 단지설계 등 소규모지역에 대한 대축척 공중사진을 원격조종 모형비행기로 촬영한 실험과 소규모 도로의 기본설계 및 실시설계 시 요구되는 3차원 대축척 지형정보를 획득하기 위하여 무인비행선을 이용한 촬영시스템을 개발하였다(김병국 등, 1998; 김성삼, 2002; 유환희 등, 2002; 강준묵 등, 1995). 또한 저고도 항공사진측량의 촬영기법 개발에 대해 무선조종 비행기와 헬리콥터 및 비행선을 비교 연구한 사례도 있었다(류복모 등, 1994).

## 제 2 장 소형 다중분광 항공촬영 시스템(PKNU 3) 개발

### 2.1 시스템의 구성

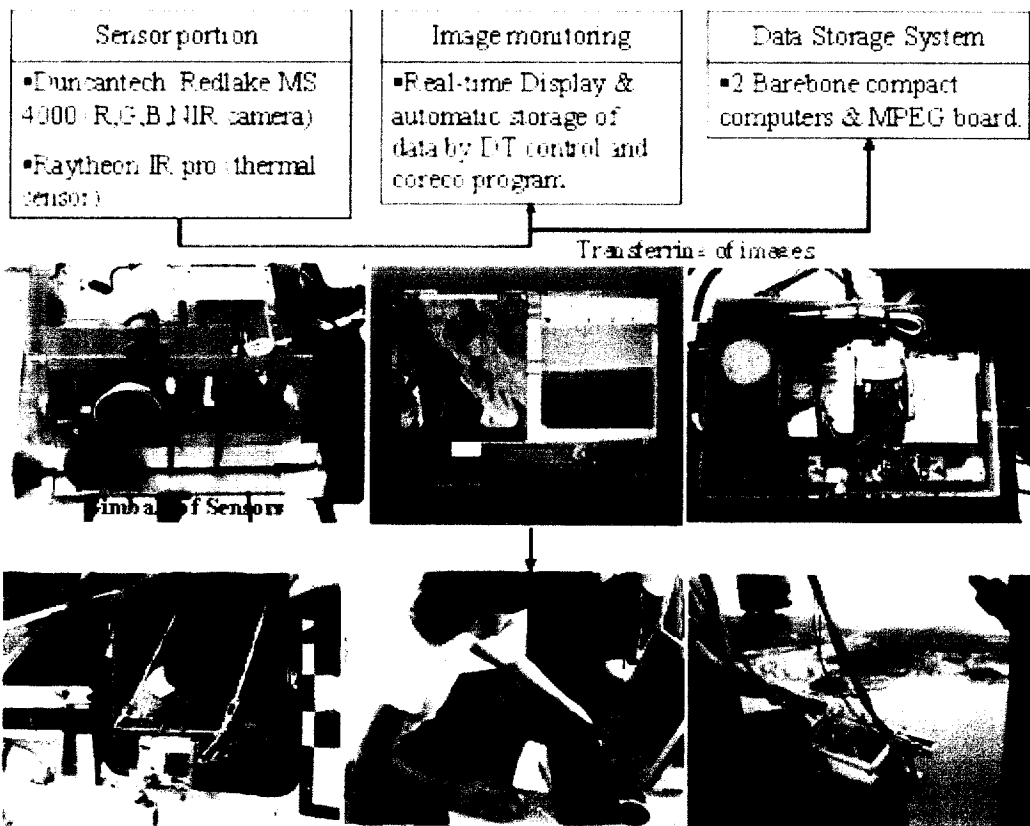
항공촬영에 이용된 센서는 칼라 적외 영상을 획득하기 위한 REDLAKE MS4000 Duncantech 다중분광카메라와 열적외 영상 획득을 위한 Raytheon IRPro 열적외 카메라(thermal IR)이다. 두 대의 카메라는 항공기 진동에 대하여 방진 설계된 짐벌에 장착하였다.

센서에 의해 획득된 대용량의 영상을 저장하기 위하여 80G 소형 베어본 컴퓨터 2대와 동영상을 압축하여 실시간 고화질로 저장할 수 있는 MPEG Board를 특수 방진 케이스에 장착하여 영상저장 시스템을 구성하였다.

항공 촬영 시 센서 부에서 획득된 영상은 실시간으로 모니터를 통해 확인이 되며 디스플레이 된 영상은 영상저장 시스템에 최대 1초 간격으로 자동으로 저장되도록 구성하였다.

센서 부와 영상저장 시스템 부가 연계된 소형 다중분광 항공촬영 시스템 PKNU 3호의 전체적인 구성도는 Fig. 2.1과 같다.

이렇게 구성된 항공촬영 시스템 PKNU 3호를 GPS 장비와 함께 헬리콥터 플랫폼에 장착하여 환경 원격탐사를 위한 자료수집을 하게 된다.



**Fig. 2.1. Multi-spectral aerial photographic system (PKNU 3).**

### 2.1.1 센서 부 제작

PKNU 3 시스템의 센서 부는 가시대역 및 근 적외선 대역의 동시촬영(BSQ 포맷)이 가능한 카메라(REDLAKE MS 4000 Duncantech camera), 열 적외선 대역 촬영이 가능한 카메라(Raytheon IRPro)로 구성하여 제작하였고, 헬기의 진동을 방지하기 위해 특수 제작된 진동, 충격 흡수용 방진 장치를 설치하여 안정성을 기하였다. PKNU2호에서 사용된 Kodak DCS460 칼라, 적외선 카메라는 짐벌에 각각 따로 부착되어 촬영하기 때문에 정확하게 동일한 지역의 영상을 4-band(R, G, B, IR)로 획득하는데 한계가 있었다. 그리고 저장시간 간격이 12s로 최소 중복 률(60%)을 맞추는 데에도 한계가 있었다. 그리하여 이러한 단점을 보완하면서, 또한 동영상 데이터도 획득 가능한 REDLAKE MS4000 Duncantech 카메라를 도입하였다.

두 대의 센서를 내(외부)에서 특수 방진 설계한 짐벌에 장착하였으며, 센서의 촬영각도를 조절할 수 있는 짐벌을 따로 제작하였다. MS4000센서는 자동으로 초점을 조절하도록 설계되어 있으나 열적외 센서는 자동초점조절 기능이 없어 수동으로 조절해야 한다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 외부짐벌에 원격 초점조절장치를 제작하여 부착하였다(Fig. 2.2).



Fig. 2.2. Sensor portion of PKNU 3 System.

### 2.1.2 영상 저장 시스템 제작

MS4000 센서를 이용하면, 영상이 최고 1s간격으로 저장이 되기 때문에 대용량 데이터 수신을 위하여 영상저장시스템을 따로 제작할 필요가 있었다. 헬기에 탑재하기 때문에 전력공급을 배터리로 하여야 함을 고려하여 12V전원 공급이 가능한 80G하드 용량과 DDR RAM 512메모리사양의 펜티엄IV 2.8G 소형 베어본 컴퓨터 2대를 영상저장 시스템의 기축으로 제작하였다. 컴퓨터 2대를 밀착, 고정시키고 헬기의 진동을 방지하기 위하여 방진케이스에 컴퓨터를 넣은 후, 특수 설계된 방진장치로 안전을 기하였다(Fig. 2.3).

동영상 압축 및 실시간 저장을 위한 MPEG Board와 열적외 영상 저장을 위한 디지털 카메라를 연결시켜 모든 항공촬영 자료를 저장할 수 있는 시스템을 구축하였다. 영상 저장 시스템에 사용된 퓨전 MPEG2는 비디오와 S-VHS단자를 갖추고 있어, 어떤 형태의 아날로그 영상이든 MPEG1 또는 MPEG2 방식의 디지털 영상으로 바꾸어 PC에 저장해 준다. VCR/ 캠코더/ DVDP/ LDP의 출력을 퓨전 MPEG2에 연결하면 오디오를 포함하여 DVD급의 고화질의 디지털 영상으로 변환이 가능하다.

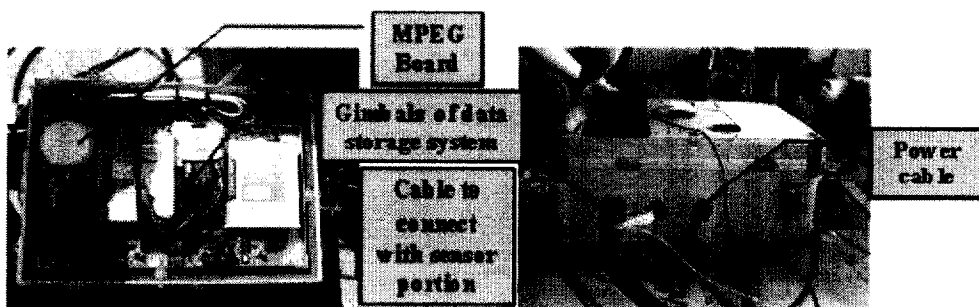
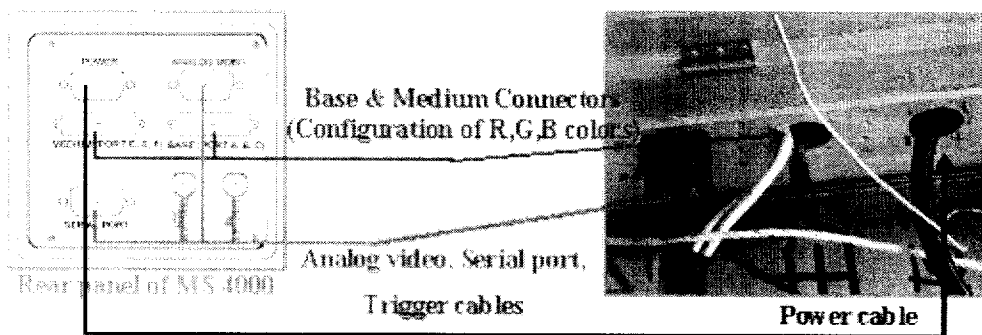


Fig. 2.3. Data Storage System of PKNU 3.

방진을 위하여 센서 부와 영상저장 시스템과의 각종 연결선들을 40핀의 굵은 통 케이블로 제작하려 하였으나, 연결선 중 영상을 구성하는 색 데이터를 송수신하는 케이블(BASE, MEDIUM 케이블)을 다른 선들과 함께 통 케이블로 제작하여 실험한 결과 데이터 송수신에 문제가 발생하여 BASE, MEDIUM 케이블만은 본 선 그대로 연결하였다(Fig. 2.4). 따라서 아날로그 비디오선, 시리얼 포트, 트리거선 을 굵은 통 케이블로 제작하였다. 또한 안전을 위하여 컴퓨터, 모니터 및 MS4000의 전원(12V)선과 7.2V의 열적외 센서의 전원 선을 따로 빼내어 작업하였다.



**Fig. 2.4. Cables to connect sensor portion with Data Storage System.**



### 2.1.3 GPS 탑재

최근 사진촬영용 항공기에 여러 가지 센서를 결합하여 외부표정요소를 직접 구하는 기법이 실용화 되고 있다(Ackermann, 1993). GPS 및 GPS/INS를 이용한 항공사진측량 방법에서는 항공기에 탑재한 GPS 및 GPS/INS로 촬영 순간의 노출 점의 위치와 회전각을 정확히 결정함으로써 외부표정요소 결정을 위한 지상기준점 측량을 생략하거나 또는 최소한의 기준점만을 사용하여 외부표정요소를 결정할 수 있다(박운용 등, 2004). GIS(Geographical Information System)와 항공 원격 탐사, 자원 분포도 제작 등 다양한 분야에서 저렴하고 신속한 방법으로 획득된 정확도가 높은 디지털 자료를 요구한다. 그리하여, 디지털 자료획득과 항법이 통합된 시스템이 개발되었다(Cramer et al., 1997; Mostafa et al., 1997; Toth. and Grejner-Brzezinska 1998; Mohamed M.R. et al., 2001).

본 연구에서는 비행경로와 탑재 체의 비행속도 및 고도를 산정하고, 촬영 순간의 노출 점의 위치와 회전각을 산정하기 위하여 GPS안테나를 헬기에 장착하였다. 본 연구에 이용된 GPS장비는 Fig.2.5과 Table 2.1과 같으며, 부경대학교 운동장에 기준점을 설치하고 DGPS측량을 하였다.

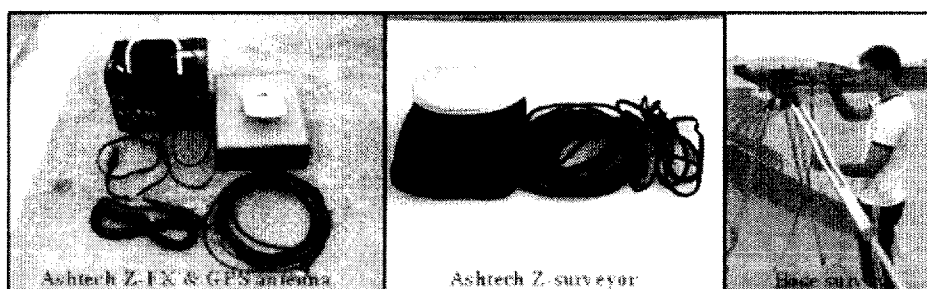


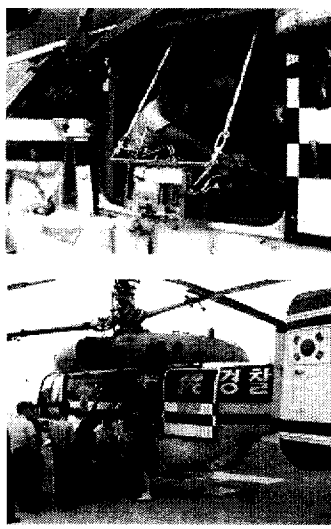
Fig. 2.5. GPS equipment.

**Table 2.1. Specifications of GPS equipment**

|             | Z-FX                                                     | Z-Surveyor                                               |
|-------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 위치 정확도      | 5mm+ 1ppm                                                | 5mm+ 1ppm                                                |
| Channel     | 12 channel                                               | 12 channel                                               |
| RTK 여부      | ○                                                        | ○                                                        |
| 메모리         | PCMCIA 128Mb                                             | PCMCIA 128Mb                                             |
| 수신가능<br>주파수 | L1 C/A code,<br>L1/L2 P code<br>L1/L2 full cycle carrier | L1 C/A code,<br>L1/L2 P code<br>L1/L2 full cycle carrier |
| 통신 포트       | 4 RS-232 ports<br>(115,200 baud rate)                    | 4 RS-232 ports<br>(115,200 baud rate)                    |
| 소비 전력       | 10-28 VDC, 7.5W                                          | 10-28 VDC, 8.5W                                          |
| 규격          | 3Hx7.3Wx8.25Dinch                                        | 3Hx7.3Wx8.25Dinch                                        |
| 중량          | 수신기 : 3.75lbs<br>안테나 : 9.41lbs                           | 수신기 : 3.75lbs<br>안테나 : 3.75lbs                           |
| RTCM 메시지    | 22 RTCM 메시지 출력                                           | 22 RTCM 메시지 출력                                           |
| NMEA 출력     | 0183NMEA 출력                                              | 0183NMEA 출력                                              |
| 1PPS 출력     | yes(5V TTL)                                              | yes                                                      |

## 2.1.4 Platform

중량이 40~50Kg정도인 본 시스템을 탑재하기에 PKNU 2호의 탑재체인 초경량 비행기는 역부족이었다. 그리하여 무거운 화물을 수송하는데 효과적인 헬리콥터를 이용하였다. 활주로 없이 이착륙이 가능하며 매우 느린 속도로 날 수 있으며 360도 회전할 수 있기 때문에 일반 비행기로는 접근하기 힘든 지역까지 갈 수 있고 난기류에도 강하다. 본 연구에 이용된 탑재체는 김해공항에 위치한 해양경찰 항공대의 헬리콥터이다. 러시아 카모프(Kamov) 박사와 시코르스키 Sikorsky) 박사에 의해 개발된 카모프(Kamov) 사제 헬리콥터로 사양은 Fig. 2.6과 같다. 본 헬리콥터의 비행성능은 목적할 정도로 안정적이어서 기동성이 상대적으로 떨어지나 이러한 안정성 때문에 산불진화 및 인명구조용 헬리콥터로 적합한 기종이다.



|                      |                                                                                    |                  |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>Power plants</b>  | Two 1645kW (2205shp) driving two three bladed counter rotating coaxial main rotors |                  |
| <b>Performance</b>   | Maximum cruising speed                                                             | 260 km/h         |
|                      | Static maximum altitude                                                            | 3,700 m          |
|                      | Practical maximum altitude                                                         | 5,000 m          |
|                      | Length of flight                                                                   | 1,300 kg payload |
| <b>Weights</b>       | 11,000 kg (Takeoff weight)                                                         |                  |
| <b>Dimensions</b>    | Rotor diameter (each)                                                              | 15.90m           |
|                      | length rotors folded                                                               | 12.25m           |
|                      | fuselage length                                                                    | 11.30m           |
|                      | height to top of rotor head                                                        | 5.40m            |
|                      | Rotor disc area (each)                                                             | 198.5 m          |
| <b>Accommodation</b> | Maximum number of passengers 13 + 1 pilot                                          |                  |
| <b>Operators</b>     | Russia                                                                             |                  |

Fig. 2.6. Platform.

## 2.2 PKNU 3 센서 검·보정

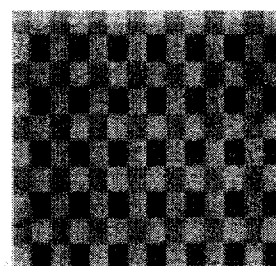
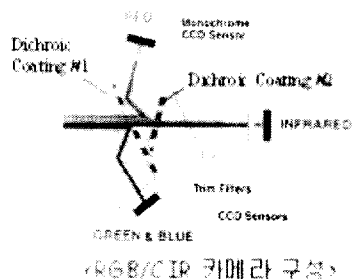
PKNU 3호에 의해 획득된 영상이 과학적 관독을 위한 기초자료로서의 가치를 가질 수 있도록 센서 자체의 시스템 오류를 검증하여 보정하였다.

### 2.2.1 다중분광카메라(MS 4000 RGB/CIR sensor)

가시대역과 근 적외 대역의 동시 촬영으로 동일지역의 RGB영상과 CIR영상을 획득할 수 있는 REDLAKE MS 4000은 3-CCD 카메라로 Red대역, Green/Blue대역과 근 적외 파장대역에서 빛을 감지한다. CCD의 전체 픽셀 수는  $1600 \times 1200$ 이며 한 픽셀당 크기는  $7.4\mu\text{m}$ 이다(Fig. 2.7). 영상데이터는 8bit해상도 (0-255의 데이터 범위)로 저장된다. Nikon F마운트, 20mm F-2.8 렌즈를 MS4000 카메라에 장착하였으며, 렌즈를 통해 들어오는 빛에 대한 반응을 전자적으로 gain값과 전자식 셔터를 통해 조정해줄 수 있다.

본 연구에 사용된 RGB/CIR 카메라(MS 4000)는 R, G, B, NIR 대역의 빛을 3 CCD(1:NIR, 2:R, 3:G&B)에서 감지한다. Green/Blue 대역의 빛은 Bayer패턴필터로 분광되어 Green 대역에서 50%, Blue대역에서 25%로 각각 감지되고, Red대역과 IR대역의 빛은 각각 단색 CCD에 의해 100% 해상도로 감지된다.

|                         |                                                                                     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Imaging Device          | (3-cc) 1" Interline Transfer CCD                                                    |
| Resolution              | 1600(H) x 1200 (V) x 3 sensors                                                      |
| Pixel Size              | 7.4x7.4 micron                                                                      |
| Pixel Clock Rate        | 22.6 MHz max                                                                        |
| Sensing Area            | 11.8 x 8.9 mm                                                                       |
| Frame Rate              | 10 fps max                                                                          |
| Digital Output          | 8 bits x 4 taps or 10 bits x 3 taps (32 bits max)<br>ELIAS44, RS422, or Camera Link |
| Data Transfer Rate      | 22.6 MHz (10 fps)                                                                   |
| Digital Control Signals | Pixel, Pixel, Lval, Lval, and Ret Triggers                                          |
| Signal Noise            | 60 dB at 5 fps                                                                      |
| Lens Mount              | Nikon F-Mount                                                                       |
| Electronic Shutter      | 1/10,000 - 1/10 sec Independent control per channel                                 |
| Gain Selection          | -4 - 32 dB Independent control per channel                                          |
| Offset Adjustment       | Offset auto-zeroed with every line                                                  |
| External Trigger Input  | EMV or Digital Video Connector                                                      |
| Control Input           | RS-232 port                                                                         |
| Operating Temp          | 0-65° C                                                                             |
| Operating Voltage       | 12 volts                                                                            |
| Power Consumption       | 12 Watts                                                                            |
| Weight                  | 10 kg                                                                               |



• Bayer Mosaic Pattern  
of Pixel Filters •

Fig. 2.7 Specification and spectral configuration of REDLAKE MS4000 (the  
source of figures: [http://](http://www.alliancevision.com/produits/cameras/redlake/redlake_ms4000.htm)

[www.alliancevision.com/produits/cameras/redlake/redlake\\_ms4000.htm](http://www.alliancevision.com/produits/cameras/redlake/redlake_ms4000.htm))

#### 2.2.1.1 다중분광카메라의 기하학적 왜곡 검 보정

항공사진은 지상의 대상물과 초점, 사진 상의 상점이 동일한 직선 상에 존재한다는 공선 조건의 가정하에 여러 가지 계산 및 작업이 이루어지지만, 실제로 이러한 가정을 만족하지 못한다. 가장 큰 이유가 대상물로부터 반사된 빛이 사진기의 렌즈 내에서 굴절하기 때문이며 이러한 현상을 렌즈 왜곡이라고 한다. 근본적으로 렌즈의 기하학적 구조에 의해 렌즈를 통과한 빛이 이상적인 방향으로 굴절하지 못하기 때문에 발생하는 현상이다. 렌즈 왜곡은 방사 방향의 왜곡 (Radial distortion)과 접선 방향의 왜곡 (Tangential

distortion)으로 나누어지며, 이 중 주점을 기준으로 대칭형으로 나타나는 방사 왜곡이 렌즈 왜곡에 절대적인 영향을 미치므로 본 연구에서는 방사 방향의 왜곡만 보정하였다. 수치사진측량 S/W에서 정확한 좌표를 취득하기 위해서는 렌즈의 방사왜곡을 제거하고 사진의 기하학적 정확도를 높이는 과정이 절대적으로 필요하다. 그리하여 본 연구에서 렌즈의 방사 왜곡량을 측정하기 위하여 일정간격으로 기준점이 그려진 측정판을 제작하였다. 측정판 제작에서부터 렌즈의 방사왜곡 계수(K)를 산정하여 왜곡보정 후의 정확도를 계산하기까지의 카메라 렌즈 왜곡 보정 순서는 Fig. 2.8과 같다.

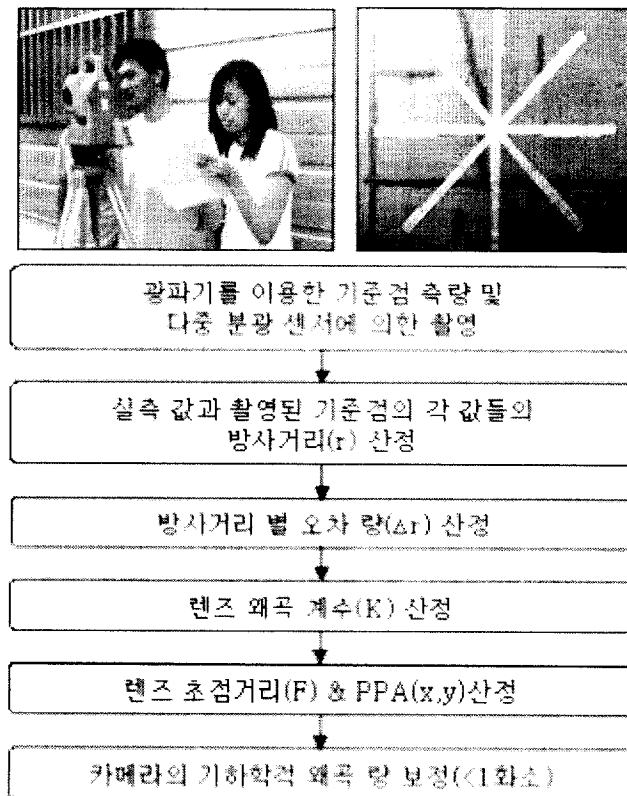


Fig. 2.8. Flow chart of Camera lens distortion correction.

실측한 기준점에서 계산된 방사거리(reference)와 영상 픽셀 값으로 계산된 방사거리(r)를 비교하여 각 방사거리에 대한 방사왜곡( $\Delta r$ ) 값을 Table 2.2에 나타내었다.

**Table 2.2. Form of the Camera lens distortion correction**

| 기준점 4 축의 방사왜곡 량 (2004.07.22. 기준)                                 |              |       |        |       |       |               |                  |
|------------------------------------------------------------------|--------------|-------|--------|-------|-------|---------------|------------------|
|                                                                  | 방사거리<br>(mm) | 1     | 2      | 3     | 4     | 평균<br>(pixel) | 평균<br>( $\mu$ m) |
| 10                                                               | 0.35         | 0.059 | 0.15   | 0.538 | 0.866 | 0.518         | 3.83             |
| 20                                                               | 0.69         | 0.832 | 0.43   | 0.446 | 0.518 | 0.465         | 3.44             |
| 30                                                               | 1.02         | 0.798 | 0.379  | 0.892 | 0.742 | 0.671         | 4.97             |
| 40                                                               | 1.36         | 1.261 | 0.956  | 0.989 | 1.57  | 1.172         | 8.67             |
| 50                                                               | 1.7          | 0.786 | 0.966  | 1.245 | 1.669 | 1.293         | 9.57             |
| 60                                                               | 2.03         | 0.97  | 0.965  | 2.298 | 1.208 | 1.490         | 11.03            |
| 70                                                               | 2.37         | 1.878 | 0.643  | 0.791 | 1.704 | 1.046         | 7.74             |
| 80                                                               | 2.71         | 1.958 | 0.269  | 1.188 | 2.02  | 1.159         | 8.58             |
| 90                                                               | 3.04         | 3.442 | 0.299  | 2.092 | 1.731 | 1.374         | 10.17            |
| 100                                                              | 3.38         | 2.795 | -0.27  | 0.698 | 1.611 | 0.680         | 5.03             |
| 110                                                              | 3.71         | 3.846 | -0.518 | 0.619 | 1.177 | 0.426         | 3.15             |
| 120                                                              | 4.05         | 4.653 | 0.012  | 0.044 | 1.564 | 0.540         | 4.00             |
| 130                                                              | 4.38         | 5.975 | -1.117 | -0.7  | 0.341 | -0.492        | -3.64            |
| Lens: Nikon 20 mm 2.8 AF Nikkor, CCD: 1600×1200 (11.8 mm×8.9 mm) |              |       |        |       |       |               |                  |

방사방향의 왜곡은 방사거리(r)와 방사 왜곡 량( $\Delta r$ )을 (2-1) 식에 대입하여  $K_0=6.4817200e-3$ ,  $K_1=-4.4270500e-4$ ,  $K_2=3.9596100e-06$ 의 방사왜곡 계수 값을 산출하여 렌즈 왜곡 특성을 파악할 수 있었다.

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

( $\Delta r$ : 방사 왜곡 량, r: 방사거리,  $k_0 \sim k_n$ : 방사왜곡계수,  $v$ : 왜곡 편차 량)  
앞서 계산된 방사거리(r), 방사 왜곡 량( $\Delta r$ )과 사진좌표(x, y)값을 식 (2-2)에 대입하여 방사왜곡이 보정된 사진좌표를 획득하였으며, 렌즈 왜곡 보정전과 후의 RMSE는 표2.3과 같다.

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

**Table 2.3. Precision**

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

기하학적 왜곡에 대한 검 보정 결과 렌즈 왜곡 도는 0.57~0.92화소로 왜곡 량이 미미한 것으로 나타났다.

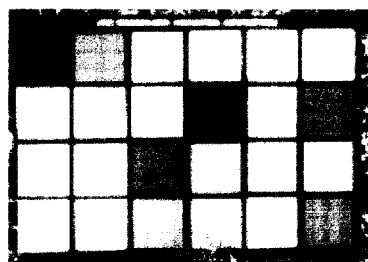
일반적으로, 모든 카메라에서는 렌즈왜곡이 1화소 이상 발생한다. 그러나, 본 카메라의 경우 유효촬영면적이 약 12%로 일반카메라에서 가장 왜곡이 적은 중심부분만을 사용한 것이 렌즈왜곡이 거의 발생하지 않는 이유라고 사료된다.



### 2.2.1.2 다중분광카메라의 방사 왜곡 검 보정

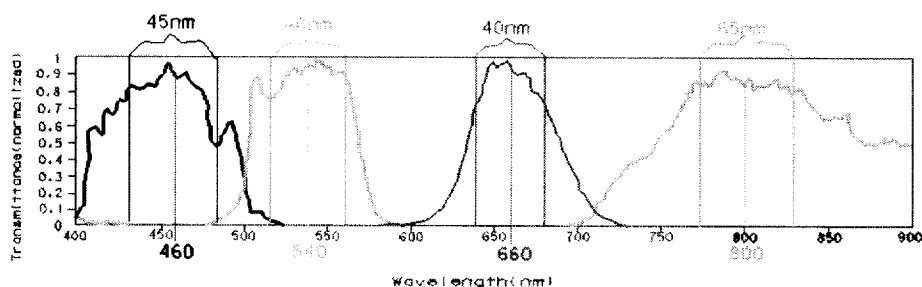
물체에서 방출되고 반사된 전자기에너지가 센서에 감지될 때, 감지된 에너지는 근거리에서 실측된 동일 물체의 방출·반사에너지와 정확하게 일치하지 않는다. 이는 태양 고도와 방위각, 안개와 에어로졸과 같은 대기상태, 센서의 감지 능력 등에 의한 것이다. 그러므로 실제 태양복사조도나 반사율의 획득을 위해 방사왜곡을 보정해야 한다. 태양 고도와 방위각, 안개와 에어로졸과 같은 대기상태에 의한 방사왜곡은 영상을 획득한 후에 처리해야 하는 부분이다. 본 연구에서는 촬영 전 센서의 감지 능력을 검증하여 본 센서의 CCD 특성을 평가하고 각 밴드 별 적정 노출 보정 값을 산정하였다.

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(Fig. 2.9). 분광 원색 반사판은 정반사가 일어나지 않는 옷감재질처럼 윤이 나지 않는 반사 면으로 잎, 곡물, 나무 등의 색과 일치하는, 검은색에서 흰색까지 24색으로 이루어진 색도판(Color Checker)이다.



**Fig. 2.9. Macbeth Color Checker.**

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(Fig.2.10). 분광 복사 계로 분광 반사 판의 색을 모두 측정하고, 반사 판을 REDLAKE MS 4000으로 촬영하여 분석하였다.



**Fig. 2.10. Spectral Transmittance and FWHM (Full Width Half Maximum) of RGB/CIR configuration of REDLAKE MS 4000.**

분광복사계(Spectrometer)를 이용하여 각 색도판의 색깔에 대한 입사한 태양 복사 에너지량과 반사되어 나간 복사에너지량을 실측하고, 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.

**Table 2.4 Radiometric calibration of screen RGB values**

| Colors       | Correction  |     |     | RGB DN values |     |     | Ground target |    |    |    |
|--------------|-------------|-----|-----|---------------|-----|-----|---------------|----|----|----|
|              | factors(CF) |     |     |               |     |     | spectral      |    |    |    |
|              | B           | G   | R   | B             | G   | R   | B             | G  | R  | IR |
| Darkskin     | 0.7         | 0.5 | 1.7 | 42            | 61  | 33  | 11            | 12 | 22 | 33 |
| Lightskin    | 0.6         | 0.4 | 1.2 | 131           | 160 | 89  | 32            | 26 | 41 | 48 |
| Bluesky      | 0.6         | 0.4 | 1.8 | 144           | 125 | 30  | 36            | 20 | 21 | 44 |
| Foliage      | 1.4         | 1.0 | 3.5 | 56            | 95  | 19  | 30            | 36 | 26 | 52 |
| Blueflower   | 0.4         | 0.2 | 0.6 | 154           | 137 | 59  | 21            | 11 | 13 | 28 |
| Bluishgreen  | 0.4         | 0.3 | 0.7 | 155           | 183 | 37  | 21            | 18 | 10 | 18 |
| Moderatered  | 0.3         | 0.1 | 0.7 | 74            | 88  | 98  | 8             | 5  | 25 | 33 |
| Purple       | 0.7         | 0.3 | 1.2 | 69            | 52  | 33  | 18            | 6  | 16 | 39 |
| Yellowgreen  | 0.2         | 0.8 | 1.4 | 118           | 174 | 60  | 11            | 54 | 32 | 48 |
| Orangeyellow | 0.2         | 0.3 | 0.8 | 81            | 181 | 95  | 5             | 18 | 30 | 40 |
| Blue         | 1.0         | 0.3 | 1.4 | 116           | 55  | 11  | 43            | 7  | 6  | 36 |
| Green        | 0.2         | 0.3 | 0.7 | 93            | 150 | 22  | 6             | 18 | 6  | 11 |
| Red          | 0.2         | 0.1 | 0.8 | 32            | 47  | 109 | 3             | 2  | 36 | 38 |
| Yellow       | 0.1         | 0.4 | 0.8 | 95            | 164 | 109 | 5             | 26 | 34 | 36 |

|            |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| Magenta    | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 128 | 102 | 118 | 11 | 3  | 19 | 21 |
| Cyan       | 0.7 | 0.5 | 1.4 | 173 | 150 | 16  | 50 | 27 | 9  | 26 |
| White      | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 180 | 173 | 177 | 60 | 48 | 47 | 44 |
| Netual8    | 1.4 | 0.9 | 1.6 | 154 | 180 | 97  | 85 | 66 | 62 | 56 |
| Netural6.5 | 0.8 | 0.6 | 1.4 | 145 | 171 | 64  | 47 | 37 | 35 | 32 |
| Netural5   | 1.1 | 0.8 | 2.6 | 115 | 125 | 37  | 48 | 41 | 38 | 37 |
| Netural3.5 | 1.0 | 0.7 | 2.3 | 64  | 71  | 19  | 25 | 19 | 17 | 15 |
| Black      | 0.4 | 0.2 | 0.6 | 26  | 29  | 9   | 4  | 2  | 2  | 3  |
| Average    | 0.6 | 0.5 | 1.3 |     |     |     |    |    |    |    |

실측 RGB 반사율과 영상상의 RGB값간의 보정(복사보정)이란 각 RGB밴드에 대한 DN (Digital Number)값의 보정요소(Correction Factor)를 찾는 것이다(Ron Graham et al., 2002). 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 Table 2.4에 기록하였다. CF값은 2-3 식에 의해 각 밴드 별로 산정된다.

$$\text{Correction factors (CF)} = \text{Ground target spectral reflectance} / (\text{RGB values}/255) \quad (2-3)$$

센서의 RGB감도는 CF값으로 산정이 되는데 MS4000센서의 밴드 별 CF값을 분석한 결과, R밴드의 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 실측 값이 더 낮게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉, MS4000센서에서 G/B밴드대역의 감도가 높고, R대역에서는 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 조작을 통하여 Table 2.4에 나타난 센서의 RGB 반응 특성에 대해 보완할 수 있다. 그리하여 각 CCD로 적절한 노출을 부여하여 RGB색 밸런스가 잘 맞춰진 영상을 획득할 수 있다.

## 2.2.2 열적외 센서 (Raytheon IRPro)

본 연구에서 사용된 열적외 센서, Raytheon IRPro는 7~14 $\mu$ m파장 대역의 에너지를 감지하는 센서로써 동영상 및 스틸사진을 촬영하여 LCD viewer를 통해 디스플레이 한다. 5색 칼라 LCD이기 때문에 화상의 열 분포를 5색 칼라(red, orange, yellow, green, blue)로 나타낼 수도 있고 밝기 값으로 온도를 나타낼 수도 있다 (Fig. 2.11). 열적외 센서의 크기는 95×140×240 (mm), 무게는 약 1.72kg정도이며, 렌즈는 50mm (STD)가 장착되어 있다. 영상 해상도는 320×240(640×480)으로 비디오 형식으로 저장되며, 각 스틸사진은 bmp파일로 저장된다.

|                                               |                                                                              |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Detector Type/Format                          | Uncooled ferroelectric (320×240)                                             |
| Spectral Response                             | 7 to 14 microns (LWIR)                                                       |
| Thermal Stabilization                         | Uncooled Thermoelectric                                                      |
| Video Update Rate                             | 30 Hz                                                                        |
| Time to Operation [Typical]                   |                                                                              |
| Standard Lens                                 | 50mm (STD)<br>25mm, 75mm & 100mm lenses OPTIONAL<br>, f/1.0 (sealed bayonet) |
| Focus Range                                   | 6" / 18" to infinity                                                         |
| Viewer                                        | color LCD (5 selectable palettes)                                            |
| Selectable range, Color resolution & Palettes | Yes                                                                          |
| Text Annotation                               | Yes (report title, time & date)                                              |
| Sensitivity                                   | 100mK                                                                        |
| Digital Storage Source                        | 8mb PCMCIA flash (60 images)                                                 |
| Image File Type                               | 8-bit BMP                                                                    |



Fig. 2.11 Specification of Raytheon IRPro thermal camera (The source of figures: <http://www.x20.org/thermal/palmirpro.htm>)

### 2.2.2.1 열적외 센서 검증

식생, 토양, 암석, 물, 콘크리트, 아스팔트와 같은 지상의 여러 요소들은 예측 가능한 열적 특징들을 가지고 있는데, 그것은 각 요소들이 어떻게 선택적으로 태양에너지를 흡수하고 또 열적외 에너지를 방출하는지에 대한 원리에 근거한 것이다. 열적외 원격탐사 시스템은 열적외 영상을 기록하여 열복사 특성을 바탕으로 그 물체의 형태를 파악하고 시간에 따른 열 특성의 변화를 평가하는데 이용한다(John G. Jensen, 2002). 다중분광 항공촬영 시스템에 REDLAKE MS4000 분광센서와 함께 탑재될 열 적외 센서 Raytheon IRPro의 열 적외 감도를 온도센서에 의한 실측 값과의 비교 분석을 통해 평가해 보았다(Fig. 2.12).

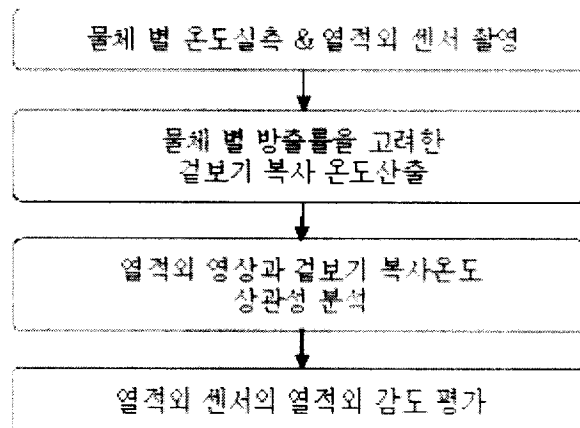
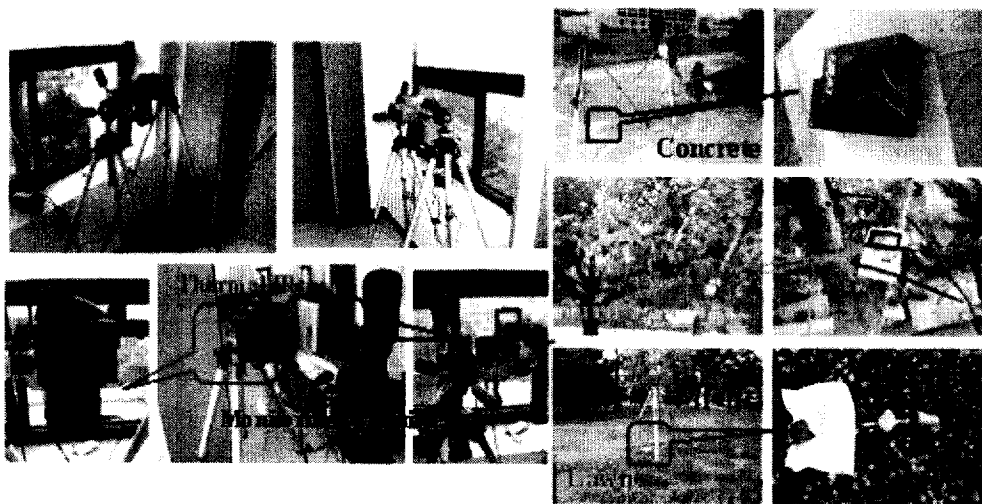


Fig. 2.12 Flow chart of thermal IR camera verification.

실측장소를 Raytheon IRPro 열 적외 센서를 부경대학교 대학본부 건물 7층에 설치하여 7~14 $\mu$ m(열 적외) 파장대역으로 매 15분 간격으로 촬영하고, 그와 동시에 온도 센서를 이용하여 콘크리트, 잔디, 건물 벽면 등 열 화상에서 육안으로 판독이 되는 물체의 온도를 실측하였다(Fig. 2.13).



**Fig. 2.13 Observation of objects using thermal sensor (Raytheon IRPro) and thermometer.**

열적외 원격탐사의 목적은 물체에 복사계를 위치시켜 물체의 온도( $T_{kin}$ )와 같은 겉보기 복사온도( $K_{rad}$ )를 얻는 것이다. 그러나 어떤 주어진 온도에서 실 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, 실 물체( $M_r$ )의 전 분광



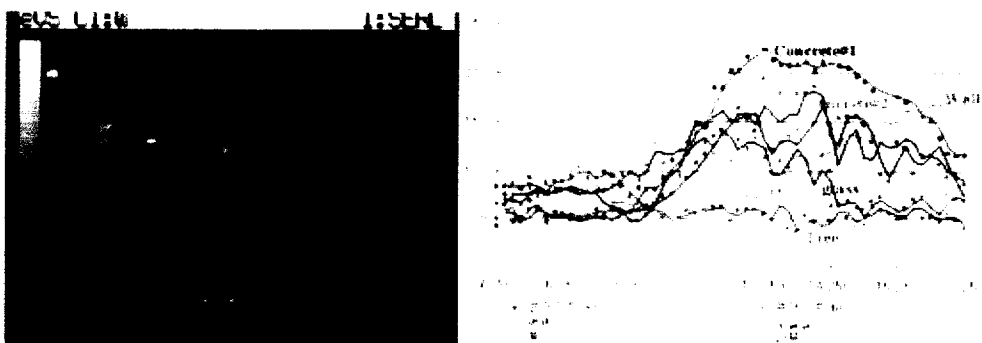
복사플럭스를 계산할 수 있다.

$$M_r = \epsilon \sigma T_{kin}^4 \quad (2-4)$$

식 2-5는 물체가 복사하는 복사플럭스와 열적외 센서에 기록되는 값을 보다 정확하게 비교하기 위하여 물체의 온도와 방출률을 고려하고 있다. 열적외 센서는 일반적으로 온도( $T_{kin}$ )가 아니라 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 온도 값에 방출률을 고려하여 각 물체에 대한 복사온도를 산정하여 그 값과 센서에 기록된 물체의 위치에 해당하는 밝기 값과의 상관성을 분석해보았다. 각 물체에 대한 실측 온도 값(T)과 복사온도(IR)을 Table2.5에 정리하였다.

14시간 동안 15분 간격으로 촬영한 7~14 $\mu$ m 파장대역의 열 적외 영상의 밝기 값의 변화는 Fig.2.14와 같다. 물체의 온도 역시 15분 간격으로 열화상 촬영과 동시에 측정하였다.



**Fig. 2.14 Change of brightness values according to time on thermal image.**

**Table 2.5 Surveyed Temperatures (T), Radiant Temperatures (RT), and Brightness**

| Values (BV) |             |      |     |             |      |     |
|-------------|-------------|------|-----|-------------|------|-----|
| T(° )       | Concrete(1) |      |     | Concrete(2) |      |     |
| Time        | T           | RT   | BV  | T           | RT   | BV  |
| 11:50       | 33.2        | 32.3 | 217 | 36.6        | 35.6 | 153 |
| 12:05       | 31.8        | 31.0 | .   | 36.0        | 35.1 | .   |
| 12:20       | 31.1        | 30.3 | 224 | 35.1        | 34.2 | 193 |
| 12:35       | 29.8        | 29.0 | 213 | 34.0        | 33.1 | 122 |
| 13:05       | 30.9        | 30.1 | 207 | 35.5        | 34.6 | 136 |
| 13:20       | 30.1        | 29.3 | 208 | 34.9        | 34.0 | 179 |
| 13:35       | 30.0        | 29.2 | 211 | 34.6        | 33.7 | 179 |
| 13:50       | 31.4        | 30.6 | 202 | 36.0        | 35.1 | 185 |
| 14:05       | 31.9        | 31.1 | 211 | 35.9        | 35.0 | 170 |
| 14:20       | 32.2        | 31.4 | .   | 36.1        | 35.2 | .   |
| 14:35       | 31.8        | 31.0 | 207 | 36.0        | 35.1 | 154 |
| 14:50       | 29.9        | 29.1 | 206 | 35.1        | 34.2 | 155 |
| 15:05       | 29.9        | 29.1 | 196 | 34.5        | 33.6 | 157 |
| 15:20       | 29.1        | 28.3 | 191 | 34.0        | 33.1 | 147 |
| 15:35       | 29.2        | 28.4 | 183 | 33.7        | 32.8 | 130 |
| 15:50       | 29.8        | 29.0 | .   | 33.6        | 32.7 | .   |
| 16:05       | 29.3        | 28.5 | .   | 32.8        | 31.9 | .   |
| 16:20       | 28.6        | 27.9 | 176 | 32.9        | 32.0 | 130 |

|       |      |      |     |       |      |     |
|-------|------|------|-----|-------|------|-----|
| 16:35 | 29.0 | 28.2 | 171 | 32.5  | 31.7 | 124 |
| 16:50 | 29.3 | 28.5 | .   | 32.6  | 31.8 | .   |
| 17:05 | 28.1 | 27.4 | 156 | 31.8  | 31.0 | 116 |
| 17:20 | 28.2 | 27.5 | 153 | 31.9  | 31.1 | 116 |
| 17:35 | 28.0 | 27.3 | 134 | 31.3  | 30.5 | 107 |
| 17:50 | 27.9 | 27.2 | 119 | 30.6  | 29.8 | 94  |
| 18:05 | 27.4 | 26.7 | 117 | 29.3  | 28.5 | 97  |
| T(° ) | Wall |      |     | Grass |      |     |
| Time  | T    | RT   | BV  | T     | RT   | BV  |
| 11:50 | 27.4 | 26.7 | 73  | 30.7  | 29.9 | 124 |
| 12:05 | 27.3 | 26.6 | .   | 28.8  | 28.1 | .   |
| 12:20 | 27.1 | 26.4 | 76  | 27.6  | 26.9 | 115 |
| 12:35 | 26.9 | 26.2 | 79  | 30.7  | 29.9 | 90  |
| 13:05 | 28.5 | 27.8 | 103 | 29.5  | 28.7 | 104 |
| 13:20 | 27.9 | 27.2 | 130 | 29.5  | 28.7 | 143 |
| 13:35 | .    | .    | 99  | 26.5  | 25.8 | 100 |
| 13:50 | .    | .    | 112 | 28.7  | 28.0 | 100 |
| 14:05 | .    | .    | 127 | 29.8  | 29.0 | 117 |
| 14:20 | .    | .    | .   | 31.4  | 30.6 | .   |
| 14:35 | .    | .    | 140 | 28.4  | 27.7 | 64  |
| 14:50 | .    | .    | 139 | 28.8  | 28.1 | 71  |
| 15:05 | .    | .    | 132 | 27.1  | 26.4 | 63  |
| 15:20 | .    | .    | 136 | 27.1  | 26.4 | 45  |

|       |      |      |       |      |      |    |
|-------|------|------|-------|------|------|----|
| 15:35 | .    | .    | 136   | 28.4 | 27.7 | 65 |
| 15:50 | .    | .    | .     | 27.0 | 26.3 | .  |
| 16:05 | .    | .    | .     | 26.2 | 25.5 | .  |
| 16:20 | .    | .    | 162   | 26.0 | 25.3 | 51 |
| 16:35 | 29.8 | 29.0 | 162   | 26.6 | 25.9 | 54 |
| 16:50 | .    | .    | .     | 26.5 | 25.8 | .  |
| 17:05 | .    | .    | .     | 26.0 | 25.3 | 54 |
| 17:20 | .    | .    | 167   | 25.6 | 24.9 | 55 |
| 17:35 | .    | .    | 167   | 25.0 | 24.4 | 48 |
| 17:50 | .    | .    | 165   | 25.0 | 24.4 | 56 |
| 18:05 | .    | .    | 174   | 23.9 | 23.3 | 49 |
| T(°)  | lane |      |       | Tree |      |    |
| Time  | T    | RT   | BV    | T    | RT   | BV |
| 11:50 | 33.0 | 32.1 | 159.0 | 30.2 | 29.4 | 61 |
| 12:05 | 32.5 | 31.7 | .     | 27.6 | 26.9 | 61 |
| 12:20 | 30.8 | 30.0 | 105.0 | 26.4 | 25.7 | 55 |
| 12:35 | 27.8 | 27.1 | 130.0 | 25.9 | 25.2 | 49 |
| 13:05 | 31.5 | 30.7 | 135.0 | 28.4 | 27.7 | 40 |
| 13:20 | 31.2 | 30.4 | 121.0 | 27.6 | 26.9 | 37 |
| 13:35 | 28.9 | 28.1 | 156.0 | 25.6 | 24.9 | 54 |
| 13:50 | 30.3 | 29.5 | 144.0 | 27.6 | 26.9 | 45 |
| 14:05 | 29.9 | 29.1 | 188.0 | 28.3 | 27.6 | 42 |
| 14:20 | 31.0 | 30.2 | .     | 29.6 | 28.8 | 48 |

|       |      |      |       |      |      |    |
|-------|------|------|-------|------|------|----|
| 14:35 | 30.2 | 29.4 | 109.0 | 28.4 | 27.7 | 67 |
| 14:50 | 30.1 | 29.3 | 154.0 | 27.8 | 27.1 | 53 |
| 15:05 | 28.8 | 28.1 | 133.0 | 26.4 | 25.7 | 42 |
| 15:20 | 29.2 | 28.4 | .     | 27.0 | 26.3 | 61 |
| 15:35 | 28.9 | 28.1 | 130.0 | 27.5 | 26.8 | 69 |
| 15:50 | 29.2 | 28.4 | .     | 26.9 | 26.2 | 73 |
| 16:05 | 28.1 | 27.4 | .     | 26.1 | 25.4 | 56 |
| 16:20 | 28.2 | 27.5 | 134.0 | 26.2 | 25.5 | 60 |
| 16:35 | 27.8 | 27.1 | 133.0 | 26.1 | 25.4 | 62 |
| 16:50 | 27.4 | 26.7 | .     | 26.1 | 25.4 | 72 |
| 17:05 | 27.2 | 26.5 | 100.0 | 25.9 | 25.2 | 74 |
| 17:20 | 26.6 | 25.9 | 135.0 | 25.4 | 24.7 | 53 |
| 17:35 | 26.3 | 25.6 | 118.0 | 25.4 | 24.7 | 56 |
| 17:50 | 25.9 | 25.2 | 101.0 | 24.9 | 24.3 | 78 |
| 18:05 | 25.2 | 24.5 | 85.0  | 24.1 | 23.5 | 72 |

14시간 동안 촬영된 모든 영상에서 가장 구별하기 쉬운 기준점픽셀 값을 정하여 그 값을 기준으로 하여 각 실측 물체의 영상 내 픽셀 값을 산정하였다. 영상에서 쉽게 판독이 되는 물체들(콘크리트, 건물벽면, 잔디, 나무)로 선별하였으나, 잔디밭 내에 있는 오솔길은 온도를 실측하였으나 영상에서 구별해내는 것에 다소 어려움이 있었다.

영상의 밝기 값과 물체의 방출률을 고려하여 산정된 겉보기 복사온도간의 상관성을 분석하여 센서의 온도측정 정확도를 분석하였다(Table 2.6).

**Table 2.6 Coefficients between radiant temperature and brightness values on thermal image of each object & Emissivity**

|                             | Concrete<br>(1) | Concrete<br>(2) | Wall | Lane | Grass | Tree  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------|------|-------|-------|
| Emissivity                  | 0.90            | 0.71            | 0.93 | 0.95 | 0.97  | 0.90  |
| Correlation<br>coefficients | 0.84            | 0.83            | 0.89 | 0.50 | 0.73  | -0.37 |

지열 측량을 위하여 본 열적외 센서를 지상 콘크리트부분에 초점을 맞추어 촬영하여 영상의 콘크리트부분에서는 겉보기 복사온도와 열적외 센서감도의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 그러나 나무에 부착된 온도 센서가 제대로 부착되어 있지 않고 떨어져 있어 나무의 정확한 온도 측정이 이루어지지 않아 복사온도와 영상의 밝기 값간의 상관성 분석에 실패하였다. 그리고, 잔디밭에 난 좁은 길에서 온도측정은 정확하게 하였으나, 실험 종료 후 영상의 밝기 값과 실측온도의 비교작업 시 영상에서 잔디밭의 오솔길에 해당하는 정확한 픽셀을 찾아내지 못하였기 때문에 오솔길 역시 실측온도와 영상의 밝기 값간의 상관성 분석이 제대로 이루어지지 않은 것으로 사료된다.

따라서 실험이 제대로 이루어지지 않은 나무와 오솔길의 데이터를 제외한 다른 데이터(콘크리트, 벽, 잔디)의 영상의 밝기 값과 복사온도간의 상관성이 높게 나타나고 있음을 보아 본 연구에 사용된 열적외 센서의 온도측정 감도는 대체로 양호하며, 환경 감시 등의 목적으로 사용 가능한 센서라고 사료된다. 향후 나무와 흙 등에 대한 보강 실험을 통한 센서 검증이 요구된다.

### 제 3 장 PKNU 3 시스템의 실용성 평가

제작된 PKNU 3시스템의 기초 성능 및 대용량 다중분광 촬영 가능성을 평가하기 위하여 Fig. 3.1과 같은 경로로 두 차례 항공촬영을 실시하였다.

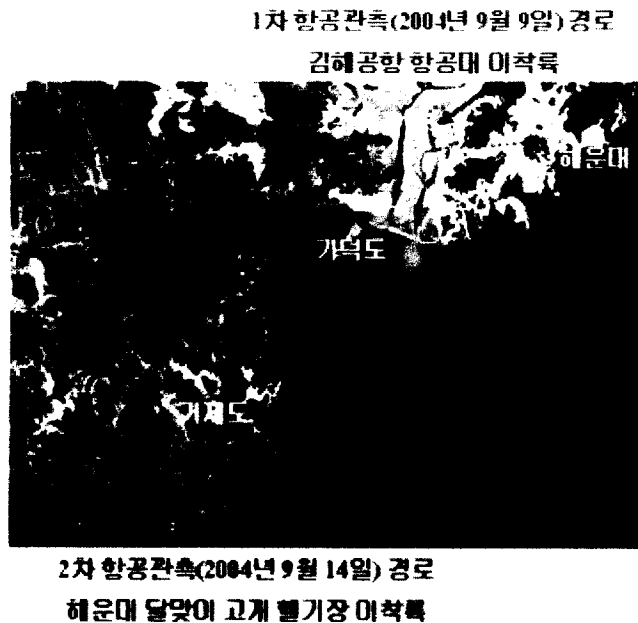


Fig. 3.1 Flight route of two aerial surveys.

### 3.1 평가 실험 방법

#### 3.1.1 1차 기초 성능 평가 실험

1차 실험의 목적은 시스템의 기초성능 평가였다. 개발된 시스템이 플랫폼인 헬리콥터의 진동에 잘 견디어 질 좋은 영상이 획득되는지 여부를 판단하기 위한 실험이다. 부산광역시 강서구 김해공항 내 해양경찰 항공대에서 2004년 9월 9일 오후 2시 24분 27초에 이륙하고 오후 3시 48분 47초에 착륙하여 총 1시간 24분 항공촬영 하였다.

#### 3.1.2 2차 대용량 다중분광 촬영 가능성 평가 실험

2차 항공촬영은 대용량 다중분광 촬영 가능성 평가를 위한 실험이었다. 오후 1시 40분 20초에 부산 해운대 달맞이 고개 헬기장에서 이륙하여 거제도, 통영을 지나 가덕도에서 대변 항까지 촬영을 마치고 3시 25분 30초에 같은 장소에 착륙하였다. 시스템 제작 및 촬영에 동원된 인원은 총 8명이며 항공촬영 시스템 운영 인원 2명과 보조인원 1명이 헬기에 탑승하여 항공촬영을 주관하였다.

국립부경대학교 대운동장에 GPS 기준점을 세우고 DGPS Kinematic측량을 실시하였다. DGPS처리는 Trimble Geomatics Office(TGO) V1.5를 이용하였으며 Ashtech계열의 GPS 수신기로 수신한 데이터를 TGO 프로그램에서 처리하기 위하여 Ashtech Receiver communication프로그램의 RINEX변환기를 이용하였다.

국립 천문대 GPS 상시 관측소 중 GPS데이터 수신율이 1s인 대전 상시 기준점을 택하여 본 연구를 위해 임시로 세운 기준점(부경대학교 대운동장)의 기선을 처리하였다.

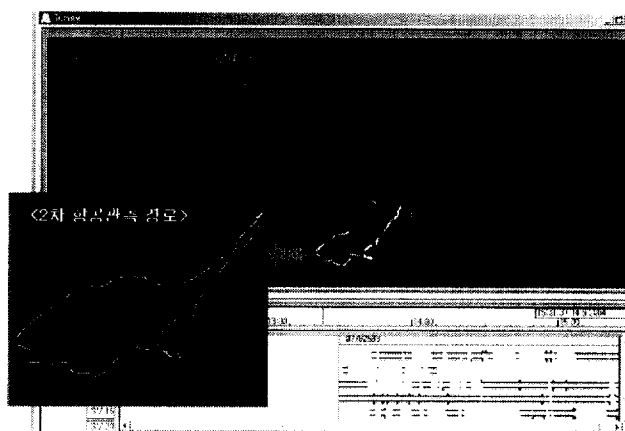


임시로 세운 BASE점의 좌표 값을 대전 상시 기준점으로부터 획득한 후, 임시 기준점과 Kinematic 측량 데이터들 간의 기선을 처리하여 조정하였다.

### 3.2 실험 결과 및 고찰

#### 3.2.1 1차 실험

Kinematic 측량 데이터가 Ashtech Z-surveyor 수신기로 획득되는 동안의 위성의 개수는 8개 정도였으며, PDOP는 2.5이하로 위성의 배치상태는 좋았으나 촬영도중 원인을 알 수 없는 장애물에 의하여 데이터 전송이 자주 끊겼다(Fig. 3.2).



**Fig. 3.2 Result of kinematic surveying data (Ashtech Z-surveyor) processing.**

GPS 수신 데이터를 분석한 결과, 1차 항공촬영 고도는 해발고도 최저 약 100m에서 최고 450m의 범위였으며, 비행속도는 최고 시속 200km로 촬영하였음을 알 수 있었다. 일반적으로 GPS 데이터를 1s간격으로 수신해야

탐재 체의 촬영 당시 자세요소( $\omega, \phi, \kappa$ )와 촬영 시 헬기의 정확한 x, y, z값을 산정할 수 있으나, 1차 항공촬영 실험에서는 GPS 수신기 조작 실수로 인하여 20s간격으로 GPS 데이터를 수신하였다(Fig. 3.3). 그리하여 1차 실험에서는 정확한 외부표정요소( $\omega, \phi, \kappa, x, y, z$ ) 산정에 실패하였다.

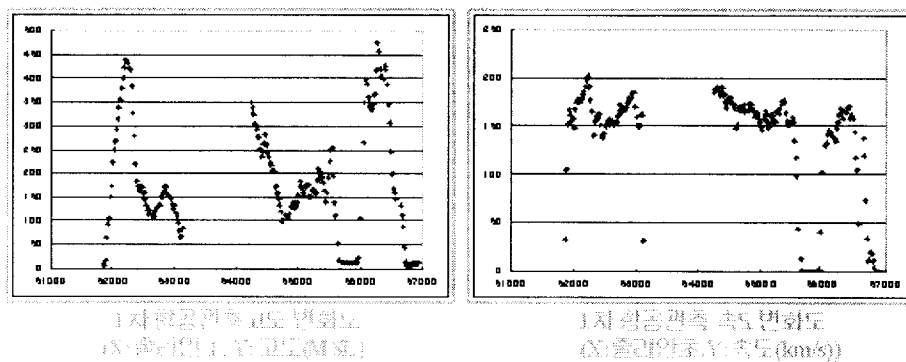
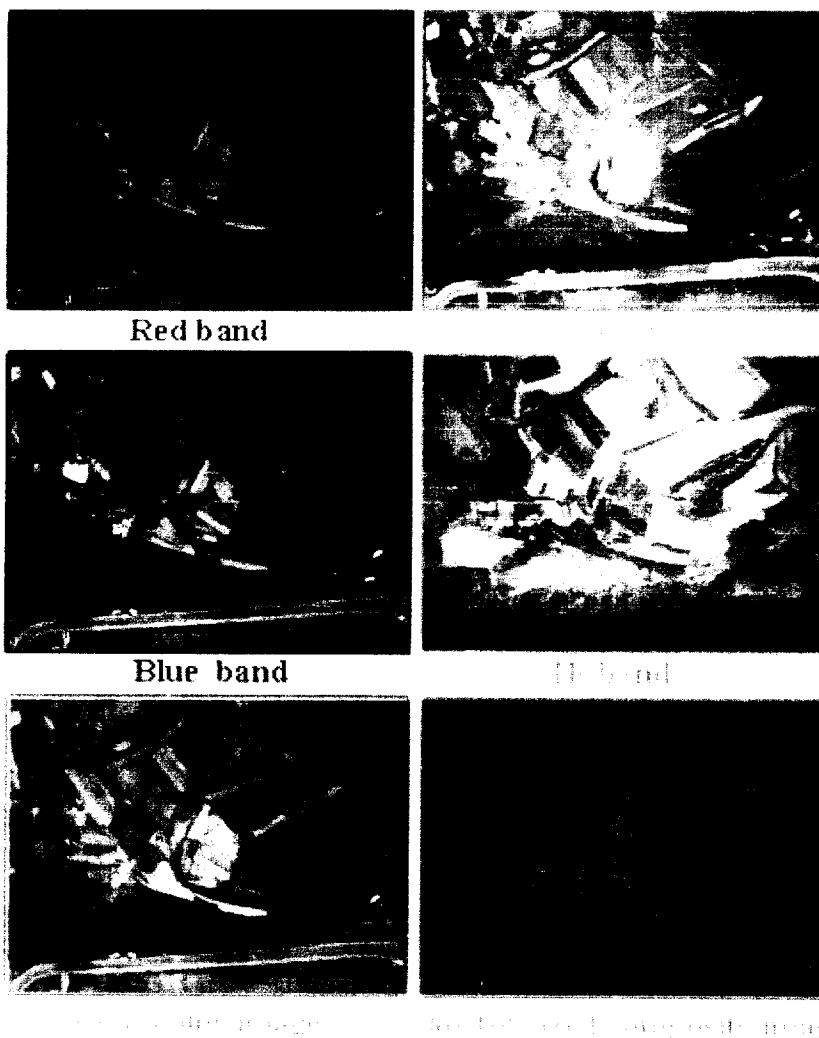


Fig. 3.3 Flight altitude and velocity of the 1<sup>st</sup> aerial survey.

1차 항공촬영 영상을 분석한 결과, 촬영 시 날이 흐리고 비가 내려 대체적으로 광량이 부족하였으며, 최장 노출시간을 계산할 때 탐재 체의 속도가 느릴 것으로 예상하고 산정하여 적정 노출 시간 산정에 다소 문제가 있어 대체로 영상의 초점이 맞지 않았다. 그리고 렌즈를 통해 들어오는 빛에 대한 반응을 전자적으로 조정 (Gain값 조정을 통해)하여 CCD센서의 R, G, B, IR 파장대역 감도를 적절하게 맞춰주어야 하지만, 광량이 부족하여 영상이 어둡게 나타나 Gain값의 R, G, B, NIR 비율조정에 어려움이 많았다. 그리하여 영상의 R, G, B, IR band 밸런스를 맞추는 데에 실패하였다.

1차 항공촬영 결과, BSQ포맷의 4band 스틸 영상 278장 7510Kb = 1.96Gb, 동영상(72분) 722Mb, 열적외 동영상 2.4Gb를 획득하였다.

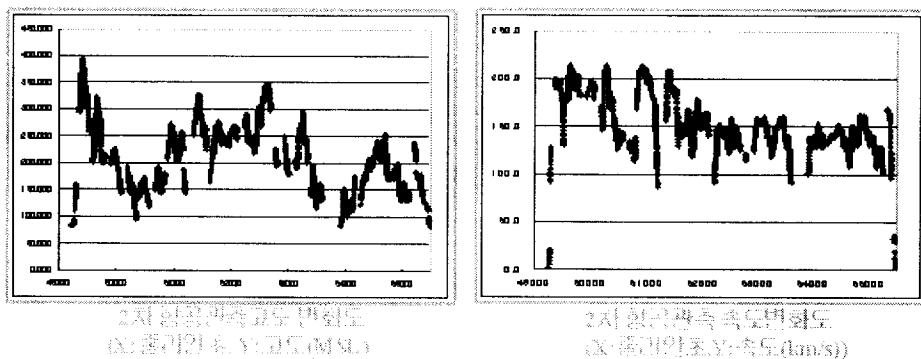


**Fig. 3.4 Photographs taken at the 1<sup>st</sup> aerial survey (Still photos-4band, RGB & color-infrared composite image) .**

### 3.2.2 2차 실험

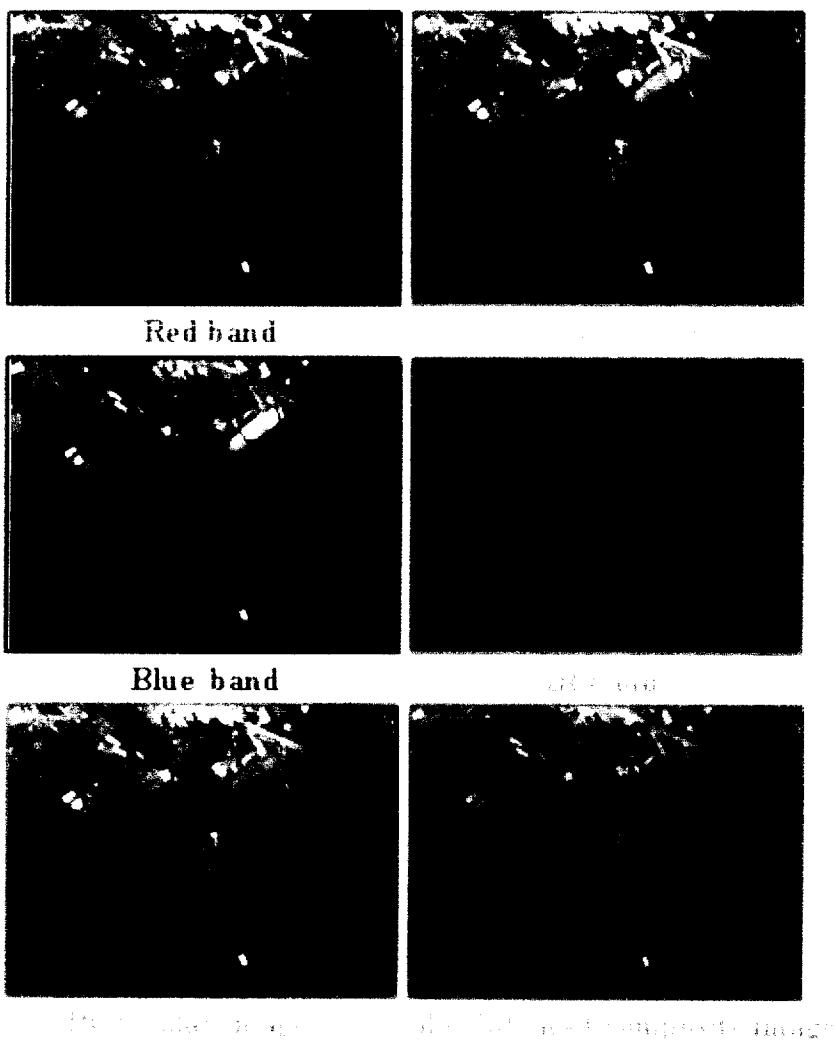
GPS 데이터 처리결과, Fig. 3.5에서와 같이 비행고도가 해발고도 100m에서 400m범위였으며, 비행속도는 시속 100~220km로 촬영한 것으로 나타났다.

MS4000다중분광 센서는 자동초점조절이 되지만, 열적외 센서는 수동으로 초점을 조절해주어야만 한다. 1차 실험에서 열적외 센서를 수동으로 초점을 조절하는 데에 위험부담이 커서 원격초점조절장치를 센서부의 외부짐벌에 장착하여 원격으로 조정할 수 있도록 보완하였다.



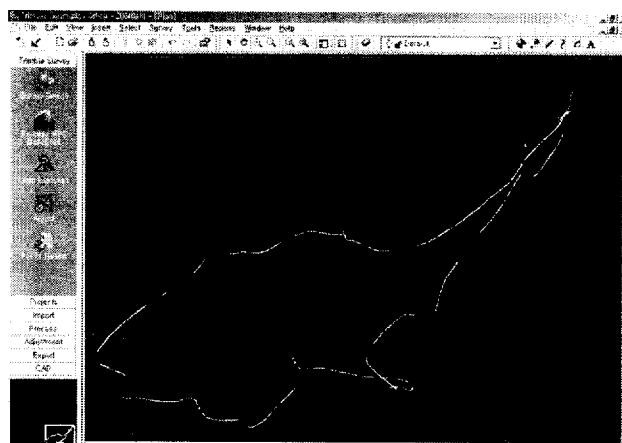
**Fig. 3.5 Flight altitude and velocity of the 2<sup>nd</sup> aerial survey.**

2차 항공촬영 결과, BSQ포맷의 4-band 스틸 영상 6200장 × 7510Kb = 46.56Gb, 동영상 4.16Gb (108분), 열적외 동영상 4.3Gb를 획득하였다. 1장당 촬영 면적은  $0.022 \text{ km}^2$  ( $0.17\text{km} \times 0.13\text{km}$ )이며, 탑재 체의 고도가 그리 높지 않아 지상해상도 0.11m의 영상을 획득할 수 있었다.



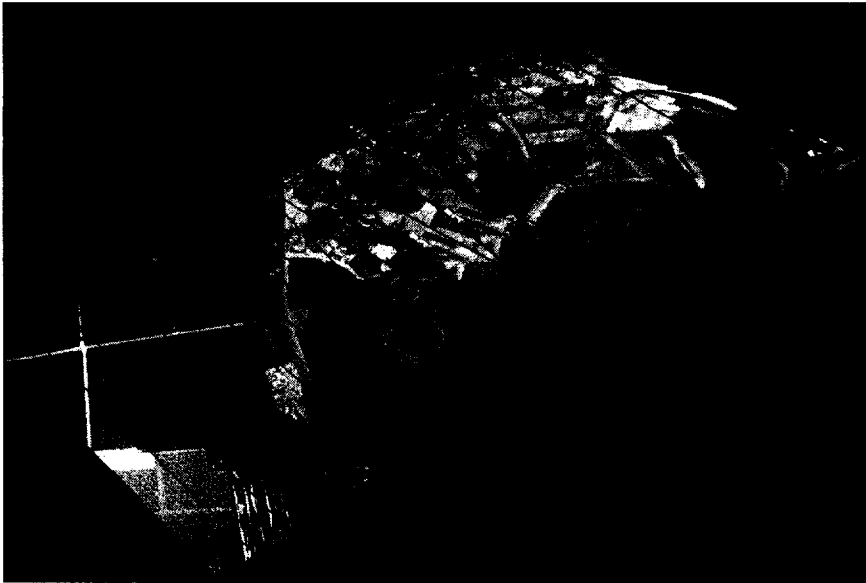
**Fig. 3.6 Photographs taken at the 2<sup>nd</sup> aerial survey (Still photos-4band, RGB & color-infrared composite image) .**

항공촬영 영상을 1s간격으로 자동 저장하여 중복 률 60%~70%의 영상을 획득할 수 있었다. Fig. 3.2에서 보는 것과 같이 GPS 데이터의 수신상태가 고르지 못해 촬영시간 동안 연속적인 데이터를 획득하지 못하였다. 게다가 2차 항공촬영실험은 직조 녹조 탐지를 위하여 주로 바다를 촬영하였기 때문에 육지 부분의 영상은 총 영상의 촬영된 영상의 약20%에 불과하였다.



**Fig. 3.8 Result of the 2<sup>nd</sup> aerial surveyed GPS data processing.**

외부표정요소를 산정하기 위해서는 어느 정도의 지형지물이 있는 육지부분 영상이 필요하기 때문에 GPS 수신상태가 좋은 시간대와 육지부분 촬영 시간대가 일치하는 영상을 선별하였다. 그 결과, 촬영시간 중 14시 30분 31초에서 14시 38분 11초사이의 408장의 영상을 선별하였다(Fig.3.8). Table 3.1은 408장의 영상에 대한 촬영 시 x, y, z값과 탑재 체의 자세요소를 나타낸 것이다. 14:30:31~14:38:11동안의 GPS데이터로부터 도출된 6개의 외부표정요소( $x, y, z, \omega, \phi, \kappa$ )를 이용하여 10장의 영상으로 스트립을 구성하였다(Fig. 3.9).



**Fig. 3.9 Configuration of image strip by using GPS data.**

**Table 3.1 Camera attributes at that time of the 2<sup>nd</sup> aerial survey (exposure station position (x, y, z), Omega-phi-kappa rotation angles (omega ( $\omega$ ), phi ( $\phi$ ), kappa ( $\kappa$ ))**

| Time     | x      | y      | z   | $\omega$ | $\phi$ | $\kappa$ |
|----------|--------|--------|-----|----------|--------|----------|
| 14:30:31 | 148233 | 143953 | 269 | 22       | 17     | -342     |
| 14:30:32 | 148223 | 143976 | 271 | 22       | 17     | -338     |
| 14:30:33 | 148211 | 143999 | 272 | 22       | 17     | -334     |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:31:31 | 146378 | 144815 | 257 | 22       | 17     | -300     |
| 14:31:32 | 146342 | 144831 | 253 | 22       | 17     | -300     |
| 14:31:33 | 146305 | 144847 | 249 | 22       | 17     | -300     |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:32:31 | 144134 | 145805 | 235 | 22       | 17     | -316     |
| 14:32:32 | 144104 | 145831 | 236 | 22       | 17     | -318     |
| 14:32:33 | 144074 | 145858 | 235 | 22       | 17     | -354     |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:33:31 | 145028 | 149614 | 284 | 22       | 17     | -42      |
| 14:33:32 | 145051 | 149646 | 286 | 22       | 17     | -42      |
| 14:33:33 | 145074 | 149678 | 287 | 22       | 17     | -42      |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:34:31 | 146558 | 151265 | 282 | 22       | 17     | -51      |
| 14:34:32 | 146589 | 151296 | 284 | 22       | 17     | -51      |
| 14:34:33 | 146620 | 151327 | 285 | 22       | 17     | -50      |
| 14:35:31 | 148307 | 152860 | 340 | 22       | 17     | -58      |



| Time     | x      | y      | z   | $\omega$ | $\phi$ | $\kappa$ |
|----------|--------|--------|-----|----------|--------|----------|
| 14:35:32 | 148335 | 152882 | 341 | 22       | 17     | -57      |
| 14:35:33 | 148363 | 152905 | 342 | 22       | 17     | -57      |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:36:31 | 150129 | 154337 | 346 | 22       | 17     | -59      |
| 14:36:32 | 150161 | 154360 | 345 | 22       | 17     | -59      |
| 14:36:33 | 150193 | 154384 | 344 | 22       | 17     | -60      |
| ...      | ...    | ...    | ... | ...      | ...    | ...      |
| 14:37:02 | 151061 | 155009 | 318 | 22       | 17     | -63      |
| 14:37:03 | 151091 | 155028 | 316 | 22       | 17     | -63      |
| 14:37:04 | 151122 | 155047 | 315 | 22       | 17     | -63      |
| 14:37:05 | 151152 | 155067 | 314 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:06 | 151182 | 155086 | 313 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:07 | 151213 | 155105 | 312 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:08 | 151243 | 155124 | 311 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:09 | 151274 | 155143 | 310 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:10 | 151305 | 155162 | 308 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:11 | 151336 | 155181 | 307 | 22       | 17     | -64      |
| 14:37:12 | 151367 | 155200 | 306 | 22       | 17     | -65      |
| 14:37:13 | 151398 | 155219 | 305 | 22       | 17     | -65      |
| 14:37:14 | 151429 | 155238 | 303 | 22       | 17     | -65      |
| 14:37:15 | 151460 | 155257 | 301 | 22       | 17     | -65      |
| 14:37:16 | 151491 | 155276 | 299 | 22       | 17     | -63      |

항공촬영 시 GPS장비만 장착하여 실험을 진행하여 촬영 당시의 카메라 위치(x, y, z)와 탑재 체의 방위각( $\kappa$ )은 GPS 수신데이터를 처리함으로써 획득할 수 있었으나, 탑재 체의 자세요소 중  $\omega, \phi$  값을 산정하기 위해서는 INS(관성항법장치)가 요구되었다.

각 촬영 시의 렌즈를 통해 들어오는 빛에 대한 반응을 전자적으로 조정해준 gain값은 앞서 행해진 방사왜곡 보정실험을 통한 분석결과를 참고하여 상대적으로 감도가 낮은 R대역의 gain값을 G/B대역의 gain값보다 높게 설정하여(e.g. R대역의 gain값: 7, B/G대역의 gain값: 3, IR대역의 gain 값: 7) 촬영하였으며, 노출시간은 항공 촬영 시 구름이 많아 4개 밴드 모두 3~5ms였다. 해상에서는 근 적외 파장대역의 빛을 거의 대부분 흡수하기 때문에 영상에서 아주 검게 나타난다. 따라서 IR밴드의 gain값을 해상에서 보다 2배정도 높여주어야 한다. 그러나, 14시 30분 31초에서 14시 38분 11초사이의 영상은 모두 육상을 촬영한 영상이기 때문에 IR 대역의 gain값은 실시간으로 디스플레이 되는 4개 밴드의 영상을 보면서 gain값을 설정하였다. R값과 같은 감도의 CCD로 판단하여 R대역의 gain값과 동일한 값으로 촬영하였다. 따라서, 1차 실험에서 실패했던 R, G, B 감도 밸런스 조정을 2차 실험을 통해 적절히 맞추어 줌으로써 환경원격탐사를 위한 기초자료를 획득할 수 있었다.

## 제 4 장 PKNU 3 영상의 환경원격탐사 가능성 평가

본 연구에서 개발된 다중분광 항공촬영 시스템은 환경 변화의 탐지에 중점을 두고 제작하였다. 이를 위하여 PKNU3호로 획득된 영상에 각종 식생지수를 적용시켜 분석해보았다(Fig. 4.1).

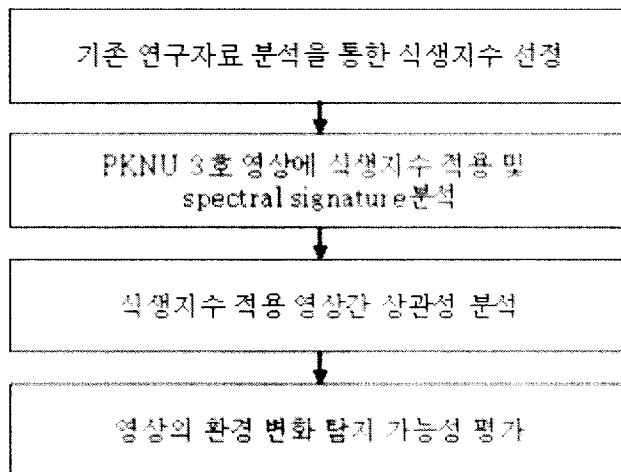


Fig. 4.1 Flowchart of evaluation of the PKNU3 image.

## 4.1 평가 실험 자료 및 방법

### 4.1.1 식생지수 선정

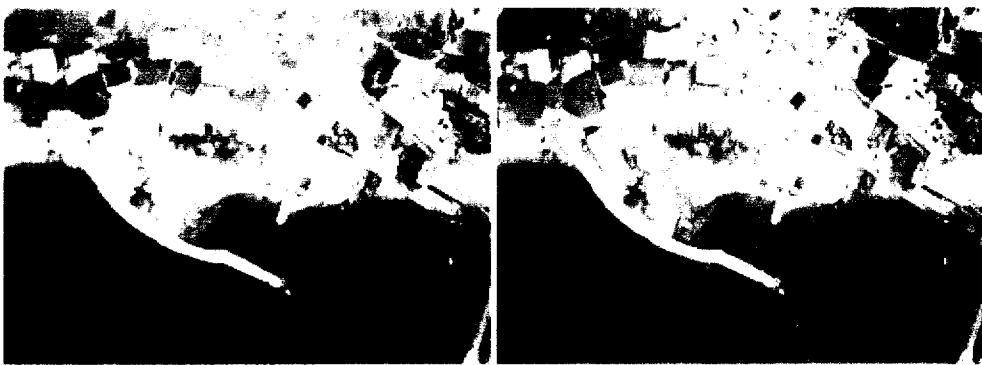
클로로필의 양이 증가함에 따라 가시대역, 특히 Red와 Blue대역의 빛이 많이 흡수되고, 근적외(NIR)대역의 빛이 많이 반사된다(Zbinden, 1985; Chappelle et al., 1992; Paterson et al., 1998). 수년 동안 가시대역과 근 적외 대역의 반사율 차이를 정량화함으로써 식생 량에 대한 정보를 획득하기 위한 많은 분광지수가 개발되어왔다. 분광지수에는 육상과 해양 식물의 클로로필 양이 높은 정확도로 정량화되었으며 다양하게 이용되어왔다(e.g. Yoder and Waring, 1994; Penuelas et al., 1993). 육상과 해상 식물에 대하여 Red와 근 적외 밴드를 이용한 Ratio Vegetation Index (RVI)와 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)와 같은 인덱스가 주로 이용된다. 그 외, 근 적외와 Green 밴드의 비율(IRGVI; Lichtenthaler et al., 1996)과 이 비율의 대수(LIRGVI; Buschmann and Nagel, 1993)와 같은 다른 분광 인덱스가 이용된다.

NDVI 계산식에 식물과 배경이 되는 토양의 1차적인 분광반응에서 나타나는 토양의 영향을 최소화하기 위한 토양보정인자  $L$ 을 추가한 토양조절 식생지수(SAVI)는 (Huete, 1988, Huete et al, 1992) 여러 연구에서 NDVI 값에 상존하는 토양배기의 영향을 최소화하는 데 SAVI가 효과적임이 확인되고 있다(Bausch (1993)).

**Table 4.1 Vegetation Indices used in this study.**

| Vegetation Index                                    | VI     | Method                                                                                                         | Reference                                              |
|-----------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Ratio Vegetation Index                              | RVI    | $\frac{NIR}{Red}$                                                                                              | Jordan,1969                                            |
| Normalized Difference Vegetation Index              | NDVI   | $\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$                                                                                  | Rouse et al.,1974;<br>Deering et al.,1975              |
| Infrared/green ratio                                | IRGVI  | $\frac{NIR}{Green}$                                                                                            | Lichtenthaler et al.,1996                              |
| Log infrared/green ratio                            | LIRGVI | $\log(\frac{NIR}{Green})$                                                                                      | Buschmann and Nagel, 1993                              |
| Soil Adjusted Vegetation Index                      | SAVI   | $\frac{(1 + L)(NIR - Red)}{NIR + Red + L}$                                                                     | Huete,1988, Huete and Liu,1994;<br>Running et al.,1994 |
| Atmospherically Resistant Vegetation Index          | ARVI   | $\frac{P_{nir}^* - P_{rb}^*}{P_{nir}^* + P_{rb}^*}$<br>$P_{rb}^* = P_{red}^* - \gamma(P_{blue}^* - P_{red}^*)$ | Kaufman and Tanre,1992; Huete and Lin,1994             |
| Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index | SARVI  | $\frac{P_{nir}^* - P_{rb}^*}{P_{nir}^* + P_{rb}^* + L}$                                                        | Huete and Lin,1994; Running et al.,1994                |
| Enhanced Vegetation Index                           | EVI    | $\frac{P_{nir}^* - P_{red}^*}{P_{nir}^* + C_1 P_{red}^* - C_2 P_{blue}^* + L}$                                 | Huete and Justice,1999                                 |

토양조정 식생지수(SAVI)와 SAVI에서 청색, 적색, 근적외선 밴드에서의 복사량을 정규화하여 개발된 대기의 영향을 덜 받는 최소대기영향 식생지수(ARVI), MODIS 육상활용그룹에서 최근 MODIS 자료에 기반을 두고 발표한 개량식생지수(EVI)등의 다양한 식생지수들을 Fig. 4.2에 나타낸 PKNU 3호 영상에 적용시켜 보았다(Table 4.1). 클로로필의 양이 증가함에 따라, 이 모든 인덱스의 값이 증가하게 된다.



**Fig. 4.2. CIR(left) & RGB(right) Images of PKNU 3.**

#### 4.1.2 식생지수 적용 및 영상의 spectral signature분석

PKNU 3 영상에 선별된 식생지수들을 적용하여 영상에서 무생물과 생물을 11개의 클래스로 나눈 후 각 클래스 별 스펙트럼 신호(spectral signature)를 최대값, 최소값, 중간 값, 표준편차 값으로 정리하여 분석하였다(Table 4.2). 각 식생 지수를 적용한 영상을 0~255까지 RGB 색의 조합으로 나타내어 영상픽셀의 Mean값에 대해 각 영상간의 상관성을 분석하였다(Table 4.3).

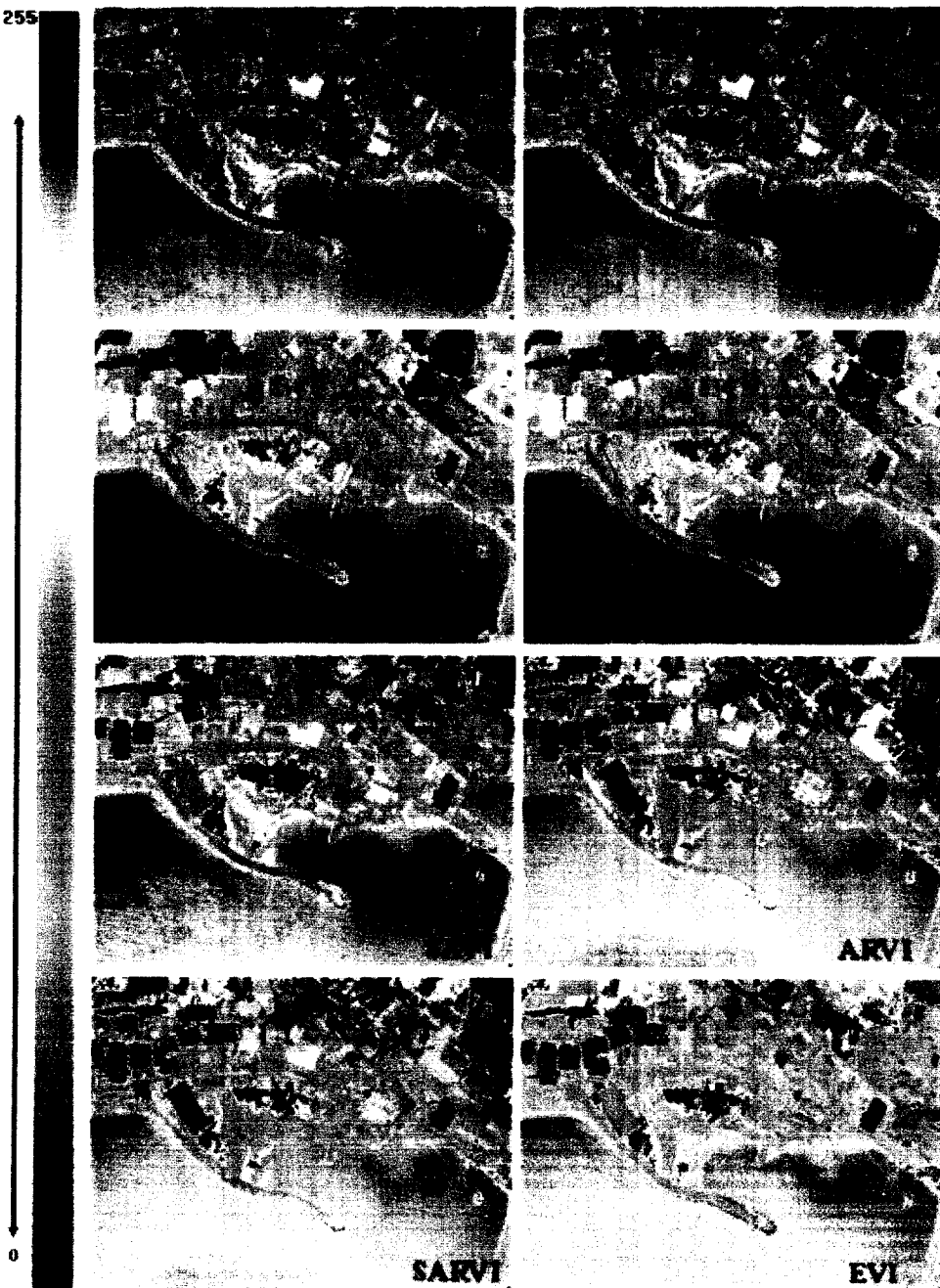


Fig. 4.3. Images of each vegetation index derived from PKNU 3 photos.

**Table 4.2. Spectral signatures for images of each vegetation index**

| Class                                                                                                                           | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Class 1:asphalt, 2:blue roof, 3:coast, 4:concrete, 5:sea, 6:trees,<br>7:green roof, 8:near sea, 9:orange roof, 10:sand, 11:soil |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Spectral signature of RVI                                                                                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                                                                                                                            | 108 | 251 | 122 | 118 | 117 | 254 | 126 | 98  | 118 | 122 | 115 |
| St.dev.                                                                                                                         | 8   | 11  | 12  | 2   | 13  | 6   | 8   | 10  | 0   | 7   | 8   |
| Max.                                                                                                                            | 168 | 255 | 209 | 138 | 191 | 255 | 176 | 150 | 153 | 163 | 186 |
| Min.                                                                                                                            | 77  | 146 | 86  | 105 | 58  | 136 | 97  | 54  | 118 | 102 | 84  |
| Spectral signature of NDVI                                                                                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                                                                                                                            | 104 | 249 | 128 | 123 | 119 | 253 | 135 | 84  | 123 | 130 | 117 |
| St.dev.                                                                                                                         | 15  | 9   | 18  | 3   | 22  | 6   | 12  | 21  | 1   | 11  | 13  |
| Max.                                                                                                                            | 187 | 255 | 220 | 153 | 207 | 255 | 194 | 168 | 171 | 181 | 202 |
| Min.                                                                                                                            | 33  | 162 | 55  | 99  | 0   | 150 | 84  | 0   | 123 | 94  | 51  |
| Spectral signature of IRGVI                                                                                                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                                                                                                                            | 123 | 146 | 123 | 121 | 92  | 238 | 104 | 92  | 159 | 127 | 159 |
| St.dev.                                                                                                                         | 15  | 16  | 16  | 2   | 9   | 22  | 10  | 9   | 13  | 12  | 18  |
| Max.                                                                                                                            | 225 | 200 | 237 | 146 | 133 | 255 | 152 | 137 | 231 | 184 | 246 |
| Min.                                                                                                                            | 89  | 86  | 85  | 102 | 60  | 117 | 79  | 60  | 129 | 99  | 114 |
| Spectral signature of LIRGVI                                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                                                                                                                            | 131 | 157 | 128 | 130 | 76  | 229 | 101 | 76  | 170 | 136 | 170 |
| St.dev.                                                                                                                         | 19  | 17  | 20  | 3   | 21  | 19  | 17  | 22  | 12  | 15  | 16  |
| Max.                                                                                                                            | 211 | 205 | 223 | 159 | 145 | 255 | 167 | 149 | 253 | 191 | 237 |
| Min.                                                                                                                            | 73  | 38  | 61  | 99  | 0   | 125 | 42  | 0   | 130 | 94  | 120 |



| Spectral signature of SAVI      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mean                            | 104 | 249 | 128 | 123 | 119 | 253 | 135 | 84  | 123 | 129 | 117 |
| St.dev.                         | 15  | 9   | 18  | 3   | 22  | 6   | 12  | 21  | 1   | 11  | 13  |
| Max.                            | 187 | 255 | 220 | 153 | 206 | 255 | 194 | 167 | 171 | 181 | 202 |
| Min.                            | 33  | 162 | 55  | 99  | 0   | 150 | 84  | 0   | 123 | 94  | 51  |
| Spectral signature of ARVI      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                            | 121 | 204 | 125 | 127 | 136 | 145 | 131 | 123 | 120 | 124 | 120 |
| St.dev.                         | 3   | 19  | 3   | 1   | 7   | 4   | 4   | 5   | 1   | 2   | 2   |
| Max.                            | 136 | 255 | 144 | 131 | 255 | 157 | 146 | 151 | 131 | 142 | 135 |
| Min.                            | 110 | 138 | 110 | 121 | 112 | 124 | 120 | 102 | 118 | 117 | 111 |
| Spectral signature of SARVI     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                            | 124 | 167 | 126 | 127 | 132 | 137 | 129 | 125 | 123 | 126 | 123 |
| St.dev.                         | 1   | 10  | 2   | 1   | 4   | 2   | 2   | 2   | 0   | 1   | 1   |
| Max.                            | 132 | 246 | 136 | 129 | 244 | 143 | 137 | 140 | 129 | 135 | 131 |
| Min.                            | 119 | 133 | 121 | 124 | 119 | 126 | 124 | 114 | 122 | 122 | 119 |
| Spectral signature of EVI       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                            | 125 | 124 | 128 | 127 | 127 | 141 | 128 | 128 | 127 | 128 | 127 |
| St.dev.                         | 4   | 1   | 12  | 1   | 16  | 6   | 26  | 31  | 0   | 3   | 1   |
| Max.                            | 178 | 126 | 255 | 157 | 255 | 215 | 255 | 255 | 132 | 255 | 134 |
| Min.                            | 0   | 116 | 0   | 0   | 0   | 129 | 0   | 0   | 127 | 0   | 124 |
| Spectral signature of CIR (NIR) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                            | 89  | 217 | 124 | 253 | 53  | 249 | 146 | 56  | 255 | 186 | 130 |
| St.dev.                         | 14  | 25  | 20  | 5   | 8   | 19  | 22  | 15  | 0   | 17  | 15  |
| Max.                            | 146 | 255 | 219 | 255 | 103 | 255 | 207 | 105 | 255 | 255 | 203 |

|                                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Min.                              | 31  | 81  | 58  | 186 | 13  | 83  | 70  | 11  | 220 | 129 | 71  |
| Spectral signature of CIR (Red)   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                              | 103 | 76  | 121 | 254 | 55  | 77  | 133 | 74  | 255 | 178 | 136 |
| St.dev.                           | 15  | 10  | 19  | 6   | 7   | 12  | 14  | 16  | 3   | 20  | 16  |
| Max.                              | 148 | 180 | 184 | 255 | 89  | 133 | 169 | 113 | 255 | 255 | 179 |
| Min.                              | 55  | 44  | 59  | 184 | 29  | 43  | 72  | 34  | 95  | 114 | 87  |
| Spectral signature of CIR (Green) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Mean                              | 90  | 164 | 126 | 253 | 93  | 89  | 197 | 96  | 169 | 176 | 86  |
| St.dev.                           | 20  | 30  | 27  | 7   | 15  | 21  | 30  | 21  | 20  | 28  | 15  |
| Max.                              | 157 | 255 | 255 | 255 | 174 | 149 | 255 | 164 | 237 | 255 | 134 |
| Min.                              | 28  | 79  | 47  | 175 | 55  | 35  | 96  | 50  | 100 | 104 | 49  |

**Table 4.3. Correlation coefficients among images of each vegetation index**

|        | RVI  | NDVI | SAVI | IRGVI | LIRGVI | ARVI  | SARVI | EVI   |
|--------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|-------|
| RVI    | 1    | 0.99 | 0.99 | 0.70  | 0.65   | 0.82  | 0.82  | 0.47  |
| NDVI   | 0.99 | 1    | 1    | 0.71  | 0.67   | 0.80  | 0.80  | 0.47  |
| SAVI   | 0.99 | 1    | 1    | 0.71  | 0.67   | 0.80  | 0.80  | 0.47  |
| IRGVI  | 0.70 | 0.71 | 0.71 | 1     | 1      | 0.22  | 0.22  | 0.71  |
| LIRGVI | 0.65 | 0.67 | 0.67 | 1     | 1      | 0.22  | 0.22  | 0.56  |
| ARVI   | 0.82 | 0.80 | 0.80 | 0.22  | 0.22   | 1     | 1     | -0.08 |
| SARVI  | 0.82 | 0.80 | 0.80 | 0.22  | 0.22   | 1     | 1     | -0.08 |
| EVI    | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.71  | 0.56   | -0.08 | -0.08 | 1     |

#### 4.3 평가 실험 결과 및 고찰

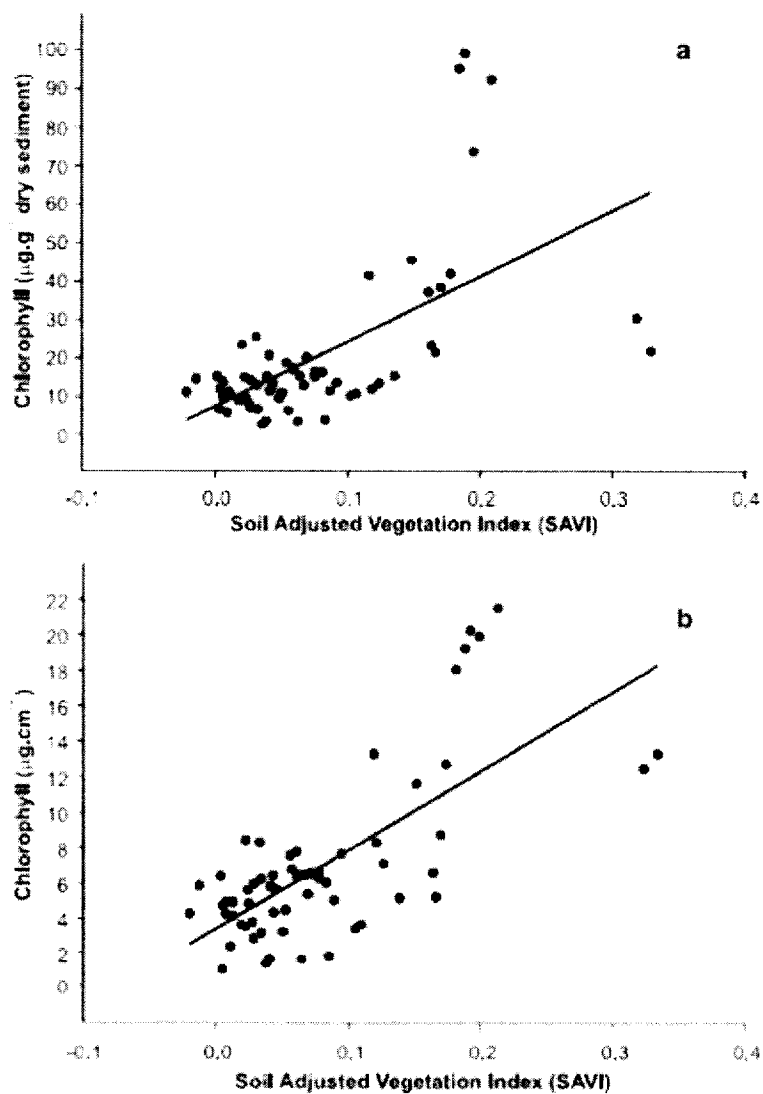
실제로 실측한 데이터를 이용하여 식생지수를 적용한 영상과의 회귀분석 등을 통하여 본 시스템에 의해 획득된 영상의 원격탐사 자료로서의 가능성을 평가해 보아야 한다. 그러나 현재 실측데이터가 없기 때문에 이미 30년 이상 인공위성 및 항공기 영상자료로부터 지표면의 식생피복과 관련된 정보를 얻기 위한 수단으로 사용되어 온 정규화 식생지수(NDVI), RVI등 식생지수들을 영상에 적용하여 적용된 영상들 간의 상관관계를 분석함으로써 귀납적인 방법으로 시스템의 가능성을 평가해보았다. 또한, 문헌조사를 통해 PKNU 3 시스템에 사용된 다중분광 센서와 같은 Duncantech 센서를 이용한 연구자료로부터 이러한 귀납적 판단의 근거를 마련하였다. 시간적, 공간적으로 제한된 갯벌지역을 지상촬영하고 직접 연구지역의 클로로필 농도를 분광광도계로 측정하여 각 데이터를 비교 분석함으로써 미세조류를 관측함에 있어 본 센서로 획득된 영상이 실측데이터가 뒷받침이 되어 가치 있는 자료가 될 수 있음을 보여주는 연구이다(R. J. Murphy et al., 2004).

Table 5.4에 나타난 각 식생지수 간 상관계수 중 RVI, NDVI, SAVI가 대체로 높게 나타났다. 그리고, R. J. Murphy et al.의 연구에서 식생지수 중 RVI, NDVI, IRGVI, LIRGVI, SAVI를 영상에 적용하여 실제 클로로필 측정값과 비교 분석한 결과, SAVI가 클로로필과의 높은 상관성을 보였으며, NDVI, RVI가 그 다음으로 높은 상관성을 보였다 (Fig. 4.4, Fig. 4.5).

따라서, SAVI, NDVI, RVI영상간의 상관계수가 높기 때문에 PKNU 3시스템에 의해 획득된 영상이 환경 원격 탐사 자료로써 가치가 있다는 귀납적 추론은 기존 연구를 통하여 실측데이터 값이 뒷받침될 수 있다. 향후, 실제로 클로로필 양을 직접 측정하여 PKNU 3 영상과 비교 분석함으로써 다른 식생지수들과의 관련성도 정립하여 시스템이 실용화될 수 있도록 하여야 할 것으로 사료된다.

| Spectral index                                                                                             |                    |                    |                    |                    |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Chlorophyll                                                                                                | RVI                | NDVI               | SAVI               | IRGVI              | LIRGVI             |
| (a) Linear regression, raw DN (i.e. <i>uncalibrated</i> ) camera data; $n = 61$                            |                    |                    |                    |                    |                    |
| $\mu\text{g g}^{-1}$ dry sediment                                                                          | 0.007              | 0.011              | —                  | 0.009              | 0.001              |
| $\mu\text{g cm}^{-2}$                                                                                      | 0.030              | 0.030              | —                  | 0.000              | 0.000              |
| (b) Linear regression, data calibrated to <i>relative reflectance</i> camera data; $n = 61$                |                    |                    |                    |                    |                    |
| $\mu\text{g g}^{-1}$ dry sediment                                                                          | 0.283 <sup>†</sup> | 0.306 <sup>†</sup> | 0.308 <sup>†</sup> | 0.163 <sup>†</sup> | 0.160 <sup>†</sup> |
| $\mu\text{g cm}^{-2}$                                                                                      | 0.485 <sup>†</sup> | 0.498 <sup>†</sup> | 0.500 <sup>†</sup> | 0.252 <sup>†</sup> | 0.242 <sup>†</sup> |
| (c) Linear regression between after removal of two outlying data (see text), data calibrated to <i>raw</i> |                    |                    |                    |                    |                    |
| $\mu\text{g g}^{-1}$ dry sediment                                                                          | 0.560 <sup>†</sup> | 0.526 <sup>†</sup> | 0.528 <sup>†</sup> | 0.216 <sup>†</sup> | 0.205 <sup>†</sup> |
| $\mu\text{g cm}^{-2}$                                                                                      | 0.567 <sup>†</sup> | 0.540 <sup>†</sup> | 0.541 <sup>†</sup> | 0.210 <sup>†</sup> | 0.200 <sup>†</sup> |
| (d) Exponential regression of spectral indices on concentration of chlorophyll after removal of 18         |                    |                    |                    |                    |                    |
| IRGVI and LIRGVI are not shown; data calibrated to <i>relative reflectance</i> ; $n = 59$                  |                    |                    |                    |                    |                    |
| $\mu\text{g g}^{-1}$ dry sediment                                                                          | 0.7940             | 0.7899             | 0.7926             | —                  | —                  |
| $\mu\text{g cm}^{-2}$                                                                                      | 0.7337             | 0.7351             | 0.7373             | —                  | —                  |

**Fig. 4.4. Coefficients of determination for regressions ( $r^2$ ) of spectral indices on concentration of chlorophyll normalized for weight ( $\mu\text{g g}^{-1}$  dry sediment) or area ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )** <The source of Table: R. J. Murphy et al., 2004>



**Fig. 4.5. The relationship between area- and weight-normalized chlorophyll and SAVI. (a) Weight-normalized chlorophyll and SAVI ( $R^2=0.31$ ,  $P<0.01$ ,  $n=61$ ). (b) Area-normalized chlorophyll and SAVI ( $R^2=0.50$ ,  $P<0.01$ ,  $n=61$ ).**

<The source of figure: R. J. Murphy et al., 2004>

## 제 5 장 결 론

본 연구는 소규모의 과학적 탐사와 환경변화 탐지를 위한 다중분광대역 항공촬영을 위한 시스템 PKNU 3호 개발에 관한 연구이다. 센서의 기하학적 방사학적 특성 실험 및 장비개선 작업을 통해 제작된 PKNU 3시스템으로 두 차례 항공촬영을 통해 성능 평가를 마치고, 획득된 영상이 환경원격탐사 자료로 활용될 수 있을지 여부를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하나의 센서로 R, G, B, IR 대역의 스틸 및 동영상 자료를 동시에 획득할 수 있는 센서를 도입하고 열적외 센서를 함께 탑재하여 다중분광 항공촬영 시스템의 기초를 구축하였다. 그리고, 1s간격 자동저장 기능을 추가하여 중복률 60~70%의 영상을 획득하였으며, 동영상 압축 및 실시간 저장 시스템을 추가하여 대용량 장기선 촬영이 가능하였다.

3. 자동 초점조절 기능이 없는 Raytheon IRPro 열적외 센서의 안전한 초점조절을 위하여 원격 초점 조절 장치를 제작하여 센서 부 외부짐벌에 장착하여 항공촬영시의 시스템 활용에 안전성과 편의성을 도모하였다.

4. 기하학적 왜곡에 대한 MS4000센서의 검 보정 결과 렌즈 왜곡 도는 0.57~0.92픽셀로 왜곡 량이 1픽셀 이하 수준의 미미한 정도였다. 본 카메라의 경우 유효 촬영면적이 일반카메라의 가장 왜곡이 적은 중심부 12%만을 사용한 것이 그 원인으로 사료된다.

5. 다중분광 센서의 방사왜곡 보정에서, 각 파장대역에 대하여 노출 보정 요인(Correction Factor)을 산정하여 분석한 결과 R, G, B 비율이 1.28, 0.45, 0.61로 나타났다. R대역의 빛의 감도를 Gain값을 통해 높여주고, 상대적으로 B/G대역의 빛의 감도는 Gain값으로 낮추어 RGB 밸런스를 맞춰줌으로써 센서의 방사왜곡을 보정할 수 있었다.

6. 열적외 센서 검증실험에서 실측온도 측정이 제대로 이루어지지 않은 나무와 오솔길의 데이터를 제외한 다른 데이터(콘크리트, 벽, 잔디)의 영상의 밝기 값과 복사온도간의 상관성이 높게 나타나고 있음을 보아 본 연구에 사용된 열적외 센서의 온도측정 감도는 대체로 양호하며, 환경 감시 등의 목적으로 사용 가능한 센서라고 사료된다. 향후 나무와 흙 등에 대한 보강 실험을 통한 센서 검증이 요구된다.

7. 우천시 무리하게 1차 항공촬영을 시행하여 광량이 부족하여 영상이 어둡게 나타나 Gain값의 R, G, B, IR 비율조정에 어려움이 많았다. 또한 탑재체의 비행속도가 느릴 것으로 예상하고 최장노출시간을 산정하여 영상의 초점이 잘 맞지 않는 결과를 초래하였다. 2차 항공촬영에서는 1차 항공촬영 실패요인을 분석하여 노출시간 및 Gain값 조정에 성공하였으며, 수평정확도 0.001m, 수직정확도 0.002m의 GPS 수신기를 헬기에 탑재하여 DGPS측량을 하고 수신자료를 처리하여 항공촬영 당시의 탑재체  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 값 및 자세요소( $\kappa$ )를 산정하였다. 향후,  $\omega$  ( $\omega$ ),  $\phi$  ( $\phi$ ) 값도 영상과 함께 획득하기 위하여 정밀 gyro, IMU등의 장비를 도입, 연계하여 보다 정밀한 검, 보정 단계를 거쳐 실용성 있는 자료 획득을 위한 연구를 진행하여야 할 것이다.

9. Table 4.3에서 보는 것처럼 SAVI, NDVI, RVI영상간의 상관계수가 높기 때문에 PKNУ 3시스템에 의해 획득된 영상이 환경 원격 탐사 자료로써 가치가 있다는 귀납적 판단은 PKNУ 3 시스템에 사용된 다중분광 센서와 같은 Duncantech 센서를 이용하여 클로로필의 실측 값과 비교 분석한 기존 연구자료(Fig.5.3, Fig.5.4참고)에 의해 뒷받침될 수 있었다. 향후, 실제로 항공관측지역의 클로로필 양을 직접 측정하여 PKNУ 3 영상과 비교 분석함으로써 다른 식생지수들과의 관련성도 정립하여 시스템이 실용화될 수 있도록 하여야 할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- 강준목, 오원진, 배연성, 1995, 원격조종 공중사진측량에 의한 도로 설계자료 추출, 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), 553-536.
- 김병국, 유동훈, 1998. 모형비행기를 이용한 항공사진촬영과 시설물 정보의 수집, 한국 GIS 학회지, 6(1): 1-10.
- 김성삼, 2002. 비행선 촬영시스템을 이용한 영상지도 제작기법개발, 석사학위논문, 경상대학교.
- 류복모, 강인준, 1994. 지형공간정보시스템에 있어서 자료획득을 위한 무선조정 비행선의 활용기법, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 445-446.
- 박운용, 이강원, 이재원, 정공운, 2004, GPS/INS 에 의한 항공사진측량의 블록조정, 한국측량학회지, 제 22 권 제 3 호, pp. 285-291.
- 유환희, 제정형, 김성삼, 2002. 비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작, 한국측량학회지, 20(1): 59-67.
- John R. Jensen 지음, 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조규성, 조명희 옮김, 2002. 환경원격탐사, 시그마프레스, pp. 191-250, 255-297, 381-386.
- Buschmann, C., Nagel, E., 1993. In vivo spectroscopy of internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. International Journal of Remote Sensing 14 (4), pp.711-722.
- Chappelle, E.W., Kim, M.S., McMurtrey, J.E., 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B and carotenoids in soybean leaves. Remote Sensing of Environment 39, pp.239-247.



- Cramer, M., Stallmann, D., Haala, N., 1997. High precision georeferencing using GPS/INS and image matching. Proc. International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Canada, pp. 453-462.
- Cramer, M., Stallmann, D. and Haala, N., 2000. Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientations for Photogrammetric Applications, IAPRS Vol. XXXIII Part B3/1, 198-206.
- Deering, D. W., J. W. Rouse, R. H. Haas and J. A. Schell, 1975, "Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data," Proceedings, Tenth International Symposium on Remote sensing of Environment, Ann Arbor: ERIM, 2:1169-1178.
- F. Ackermann, and H. Schade, 1993, Application of GPS for Aerial Triangulation, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 11, pp. 18-39.
- Hagerthey, S.E., Paterson, D.M., Kromkamp, J., 2002. Monitoring estuarine ecosystems: the Eden Estuary and the BIOPTIS programme. Estuarine and Coastal Sciences Association, 2003. Coastal Zone Topics, 5. The Estuaries and Coasts of North-East Scotland. Aberdeen, Estuarine and Coastal Sciences Association, pp. 89-97.
- Hakvoort, J.H.M., Heineke, M., Heyman, K., Kuhl, H., Riethmuller, R., Witte, G., 1998. A basis for mapping the erodibility of tidal flats by optical remote sensing. Marine and Freshwater Research 49, 867-873.
- Huete, A. R., 1996, A. R., 1988, "A Soil-adjusted Vegetation Index(SAVI),

- "Remote sensing of Environment, 25:295-309.
- Heute, A. and C. Justice, 1999, MODIS Vegetation Index(MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation> indices, 129 pp.
- Heute, A. F. and H. Q. Liu, 1994, "An Error and Sensitivity Analysis of the Atmospheric-and Solid-Collecting Variants of the Normalized Difference Vegetation Index for the MODIS-EOS," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32(4):897-905.
- Huete, A. R., G. Hua, J. Qi, A. Chehbouni and W. J. Van Leeuwem, 1992, "Normalization of Multidirectional Red and Near-Infrared Reflectances with the SAVI," Remote Sensing of Environment, 40:1-20.
- Jordan, C.F., 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology 50, pp.663-666.
- Kaufmann, Y. J. and D. Tnare, 1992, "Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(2):261-270.
- L. Shukai, Analysis of Remote Sensing of Global Environment and Resources, Surveying and Mapping Press, Beijing, 1992.
- Lichtenthaler, H.K., Gitelson, A., Lang, M., 1996. Non-destructive determination of chlorophyll content of leaves of a green and an aurea mutant of tobacco by reflectance measurements. Journal of Plant Physiology 148, pp.483-493.

- Livingstone, D., Raper, J. and McCarthy, T., 1999. Integrating aerial videography and digital photography with terrain modeling, *Geomorphology* 29, 77-92.
- Mohamed M.R. Mostafa, Klaus-Peter Schwarz, 2001, Digital image georeferencing from a multiple camera system by GPS/INS, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Volume 56, Issue 1, pp.1-12.
- Mostafa, M.M.R., Schwarz, K.P., Gong, P., 1997. A fully digital system for airborne mapping. *Proc. International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics, and Navigation*, Banff, Alberta, Canada, June 3-6, pp. 463-471.
- Paterson, D.M., Wiltshire, K.H., Miles, A., Blackburn, J., Davidson, I., Yates, M.G., McGrorty, S., Eastwood, J.A., 1998. Microbiological mediation of spectral reflectance from intertidal cohesive sediments. *Limnology and Oceanography* 43 (6), 1207-1221.
- Penuelas, J., Gamon, J.A., Griffin, K.L., Field, C.B., 1993. Assessing community type, plant biomass, pigment composition, and photosynthetic efficiency of aquatic vegetation from spectral reflectance. *Remote Sensing of Environment* 46, 110-115.
- Riethmuller, R., Hakvoort, J.H.M., Heineke, M., Heymann, K. Kuhl, H., Witte, G., 1998. Relating erosion shear stress to tidal flat surface colour. In: Black, K.S., Paterson, D.M., Cramp, A. (Eds.), *Sedimentary Processes in the Intertidal Zone*. Special Publications 139. Geological Society, London, pp. 283-293.

- Ron Graham and Alexander Koh, 2002, Digital Aerial Survey Theory and Practice. Whittles Publishing. pp. 52-121.
- R.J. Murphy, T.J. Tolhurst, M.G. Chapman, A.J. Underwood, 2004, Estimation of surface chlorophyll on an exposed mudflat using digital colour-infrared (CIR) photography, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59(2004):625-638.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, NASA, Washington DC, pp. 309-317.
- Running, S.W., C. O. Justice, V. Solomonson, D. Hall, J. Baker, Y. J. Kaufmann, A. H. Strahler, A. R. Heute, J. P. Muller, V. Vanderbilt, Z. M. Wan, P. Teillet and D. Carneggie, 1994, "Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms Planned for EOS/MODIS," *Intl. Journal of Remote Sensing*, 15(17):3587-3620.
- Toth, C., Grejner-Brzezinska, D.A., 1998. Performance analysis of the airborne integrated mapping system AIMSe. *Int. J. Arch. Photogr. Remote Sens.* 32 Part 2, 320-326.
- Underwood, G.J.C., Kromkamp, J., 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. *Advances in Ecological Research* 29, 93-153.
- Yoder, B.J., Waring, R.H., 1994. The normalised difference vegetation index of small Douglas fir canopies with varying chlorophyll concentrations. *Remote Sensing of Environment* 49, 81-91.
- Zbinden, R.M., 1985. Les reflectances de sediments d'estran: resultants de

mesure in situ et d'une simulation SPOT en Baie de Mont Saint-Michel. Proceedings of the Third International Colloquium Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Les Arcs, France, 16-20th December 1985, ESA SP-247, pp. 257-263.

Koch, B., Münch, D., Probsting, T., 1998. Totholz als ökosystemare Eingangsgroße. In: Fischer, A. (Ed.), Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. Landsberg, Baden-Württemberg, pp. 64-73.

Nußlein, S., Greune, A., Adler, H., Troycke, A., Faisst, G., Reimeier, S., Dietrich, R., 1997. Totholzflächen und Waldstrukturdaten im Nationalpark Bayerischer Wald 1996/1997. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Dfreising.

Scherrer, H.U., 1993. Projekt zur flächenhaften Erfassung und Auswertung von Sturmschäden. AFZ/Der Wald 14, 712-714.

Schmidtke, H., 1993. Die fraktale Geometrie von Sturmschaden-flächen im Wald. AFZ/Der Wald 14, 710-712.

[http://www.alliancevision.com/produits/cameras/redlake/redlake\\_ms4000.htm](http://www.alliancevision.com/produits/cameras/redlake/redlake_ms4000.htm).

[http://www.digitalphotography.org/mcbeth\\_color\\_checking/Macbeth\\_ColorChecker\\_Gray.html](http://www.digitalphotography.org/mcbeth_color_checking/Macbeth_ColorChecker_Gray.html).

[http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_htmls/chapter11/chapter11.html](http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html).

<http://www.x20.org/thermal/palmirpro.htm>.

## 감사의 글

항상 부족한 저에게 많은 지도와 관심 가져주시고 유익한 경험을 쌓을 수 있도록 다양한 문화적 체험의 기회와 다양한 분야의 사람들을 두루 만나 사귈 수 있는 멋진 기회를 부여해주신 지도교수 최철웅 교수님께 깊이 감사드립니다. 학부 때부터 항상 저를 묵묵히 지켜봐 주시고 열심히 살아갈 수 있도록 조언 아끼지 않으셨던 김영섭 교수님께도 머리 숙여 감사드립니다. 또한 제가 정말 잘되길 바라는 마음으로 당근뿐만 아니라 채찍도 많이 주셨던 윤홍주 교수님과 특유의 편안함으로 저에게 많은 가르침을 주셨던 배상훈 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 학부시절 중국 문화연수가 인연이 되어 지금까지 저에게 아낌없는 응원과 용기 주시고 부족한 저를 믿어주시고 아껴주시는 국제 지역학부 김창경 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 학부 때부터 지금까지 든직한 모습으로 많은 도움 주셨던 경혜미 조교선생님께도 감사드립니다.

지긋하신 나이에도 불구하고 끊임없이 노력하고 도전하는 모습과 편안한 모습으로 무언의 도움을 주셨던 김연수 선생님과 항상 넘치는 에너지로 많은 도움 주신 성환 선배에게도 감사 합니다. 회사 일도 많이 바쁠 텐데 힘든 내색 않고 학교에 틈틈이 나와서 동기들 후배들 동생들처럼 챙겨주고 걱정해준 동기 창현선배와 항상 실험실의 굿은일 도맡아 하면서도 특유의 유머감각으로 힘든 시간 잘 극복해나가는 모습으로 본보기가 되어주었던 동기 호용선배, 특유의 재치로 힘든 시간 활력소가 되어준 동기 희종선배, 학부 때부터 지금까지 알게 모르게 항상 힘이 되어준 동기 미숙이도 앞으로 하는 일 모두 다 잘 되어 크게 성공하길 바랍니다. 이 논문을 완성하기까지 정말 많은 도움을 준, 만난 시간은 짧지만 정말 깊은 우정을 느끼게 해준 항상 고마운 나의 친구 남춘이, 때론 친구처럼 때론 동생처럼 때론 언니처럼 나를

믿어주고 따라준 소영이, 연주, 어느새 정말 아끼는 후배들이 되어버린 정말 고마운 우리 지연이, 현정이, 그리고 이제 새롭게 대학원 생활을 시작하게 된 실험실 막내 동진오빠에게도 감사의 말을 전하며, 앞으로 좋은 일만 가득하기를 바랍니다.

학부시절부터 많은 고민과 생각들 함께 나누며 우정을 쌓아온 정미, 재현이, 기연이, 화정이, 수선이, 민아, 정림이, 아란이도 건강하게 밝은 모습으로 하는 일 모두 다 잘 되길 바랍니다. 그밖에 위성정보 과학과 1기 동기들과 후배들 모두 힘들었지만 즐거웠던 학부시간 함께 있어 고마웠음을 전하고 싶습니다.

저의 실수를 너그럽게 용서해주시고 좋은 모습으로 저를 지켜봐 주신 (주)마일 엔지니어링의 전우송 이사님, 이인수 이사님, 정성문 이사님과 상현오빠와 PKNU 3호 제작에 많은 도움 주신 (주)티엠디의 한상만 사장님께도 감사의 마음을 전합니다. 또한 저에게 잊지 못할 좋은 추억 남겨주신 환경정책평가연구원의 전성우 박사님과 정휘철선생님, 충북대 대희오빠, 상용오빠와 수진이에게도 감사드립니다.

제가 하는 일 하나하나 칭찬 아끼지 않으시고 용기 북돋아 주시면서 제가 나아가야 할 길에 대해 아낌없이 조언해주시고, 바쁘신 시간에도 불구하고 저를 위해 배풀어주신 일본 동경대학교 서용철 박사님의 그 모든 은혜에 깊이 감사 드리며, 하시는 일과 하고자 하시는 일 모두 다 잘 되시길 바랍니다.

일본에서의 제 삶을 더욱더 빛나게 해준 민아언니, 은모언니, 은지, 민영이, 민진이, 여선이, 형석오빠, 태성오빠, 정환오빠, 세용오빠, 훈이오빠, 영철오빠, 도현오빠에게도 깊은 감사의 마음 전합니다. 또한 영어논문 쓸 때마다 항상 나를 도와줄 수 있어 기쁘다면서 성심 성의껏 영어논문에 대해 충고를 아끼지 않았던 친구 Geoffe와 Joshua에게 진심으로 고맙다는 말 전하고 싶습니다.

저의 인생을 180도 바꿔준, 제 인생에서 정말 빼놓을 수 없는 예창수 선생님과 한정임 선생님, 그리고 친구 최지현에게 항상 감사하는 마음 잊지

않고 살고 있다고 전해드리고 싶습니다.

항상 순수함과 강인함으로 나의 곁을 지켜준 나의 오랜 벗인 소영이, 미정, 혜영, 성화, 성희, 영주, 회영, 경미, 지영, 소연, 민정, 연주, 현정에게도 감사하는 마음을 전합니다. 97년 한해 정말 많은 추억과 많은 경험들을 내게 안겨준 민중노래패 한누리 선배님과 동기들에게도 감사드립니다. 항상 챙겨주고 아껴주며 힘들 때마다 기도해주며 용기 북돋아 주는 다대성당 청년회에도 감사의 마음을 전합니다.

공부한다고 가족에게 항상 무심한 못난 딸을 믿음으로 지켜봐 주시고 항상 가족을 위해 기도해주시는 아버지, 어머니와 든든한 두 버팀목이 되어 큰 힘이 되어 주는 상진오빠와 동생 상혁에게 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 또한 많은 관심으로 저를 지켜봐 주시는 할머니를 비롯한 우리 가족들에게도 고개 숙여 감사의 마음을 전합니다.

7년 동안 한결 같은 마음으로 나를 지켜주고 항상 당당하게 살아갈 수 있도록 내 삶을 이끌어주고 있는 영환오빠에게도 가슴 속 깊이 감사의 마음을 전합니다.

2005년 1월

이 은 경