

다중영상촬영을 위한 PKNU 2호 개발에 관한 연구

최철웅* · 김호용* · 전성우**

부경대학교 위성정보과학과*, 한국환경정책평가연구원**

Research about Multi-spectral Photographing System (PKNU No.2) Development

Chul-Uong Choi*, Ho-Young Kim*, and Sung-Woo Jun**

Department of Satellite Information Science, Pukyong National University*

Korea Environment Institute**

Abstract : The cost of deploying Geological and Environmental information gathering systems, especially when such systems obtain remote sensing and photographic data through the use of commercial satellites and aircraft. Besides the high cost equipment required, adverse weather conditions can further restrict a researcher's ability to collect data anywhere and anytime. To mitigate this problem, we have developed a compact, multi-spectral automatic Aerial photographic system. This system's Multi-spectral camera is capable of the visible (RGB) and infrared (NIR) bands (3032*2008 pixel). It consists of a thermal infrared camera and automatic balance control, and can be managed by a palm-top computer. Other features includes a camera gimbal system, GPS receiver, weather sensor among others.

We have evaluated the efficiency of this system in several field tests at the following locations: Kyongsang-bukdo beach, Nakdong river (at each site of mulkeum-namji and koryung-gumi), and Kyungahn River. Its tested ability in aerial photography, weather data, as well as GPS data acquisition demonstrates its flexibility as a tool for environmental data monitoring.

Key Words : Aerial Photo System, Multi-spectral Camera, Thermal Infrared Camera.

요약 : 원격탐사는 각종 상업용 위성과 항공사진을 바탕으로 연구된다. 그러나 이러한 자료는 연구자들이 원하는 시기와 장소에서 촬영하는데 기상조건 및 경제적 이유로 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 해결하는 작은 방안의 하나로 본 연구에서는 소형비행기 및 초경량 비행기에 탈부착이 가능한 소형 다중분광 자동 항공촬영시스템을 개발하였다.

본 항공촬영시스템은 연구실 자체에서 보유한 고해상도 다중분광카메라(가시대역, 적외선대역)와 열 적외선 카메라, 자체 제작한 자동카메라 정밀자세조정장치, 촬영관제 소형컴퓨터, gimbal, GPS수신기, 기상센서 등으로 구성되어 있다. 이에 대한 성능평가 및 분석을 경북 칠포지역에서 2회, 낙동강지역에서 3회, 경안천 지역에서 2회 실시하였다.

그 결과, 다양한 항공사진, 기상자료 및 GPS자료를 획득할 수 있었고, 환경감시등에 유용성이 매우 높음을 알 수 있었다.

1. 서 론

일반적으로, 수치영상자료 획득방법은 아날로그 카메라로 촬영된 필름이나 인화된 사진을 스캐닝 하는 방법과 디지털 카메라로 촬영하는 방법이 있다. 아날로그 카메라로 촬영된 필름을 스캐닝 하여 사용하는 방법은 지상기준점 측량시의 오차, 스캐너의 기하왜곡오차, 카메라의 렌즈왜곡으로 인한 오차를 포함하고 있다. 또한 자료획득과 처리공정이 복잡하며 장비의 규모도 크다. 디지털 카메라는 해상도가 떨어지고 카메라의 검정자료가 부족하여 정밀도가 낮을 수 있지만 아날로그 카메라에 비해 자료획득과 처리공정에 대한 장점이 많아 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

기존 영상해석은 경비행기나 대형카메라를 이용하여 항공촬영을 하는 항공사진측량이나 기 발사된 인공위성에서 촬영한 자료를 획득하여 이를 처리·분석한다. 그러므로 사용자는 해석 목적에 맞게 기 촬영된 항공사진과 위성사진이 있는 지역의 영상자료를 이용해 현장관측과 영상분석을 한다.

현재, 우리나라는 영상자료를 다양한 분야에 적용하여 우수한 결과를 얻었다. 중·저해상도 위성영상을 이용하여 전국적으로 환경변화를 감시하고 고해상도 위성영상을 이용하여 국지적으로 환경변화를 탐지해 왔으며 소규모 지역에서는 항공사진을 이용하는 경우가 많이 있었다.

기존 항공사진의 경우 촬영한 영상을 획득하여 지도제작은 용이하나 다양한 활용목적에는 부적절하며 원하는 시기의 자료 획득이 어렵다. 또한 위성영상은 영상구입비용이 고가이며 사용자가 원하는 해석목적에 맞게 구입해야 하므로 자료운반시간이 길어 자료 획득 절차가 어렵다.

그러므로 본 연구에서는 저렴한 가격에 고해상도이고 신속하게 촬영이 가능하며, 고해상도 다중분광 수직촬영 디지털 카메라시스템을 자체 개발하여 항공촬영 및 성능검증을 위한 기상자료 관측을 성공적으로 수행하였다. 또한, 향후, 탑재 센서의 다양화를 통해 고해상도, 고정밀 자료획득의 수단으로 많은 활용이 있을 것으로 기대한다.

1) 국내외 연구동향

원격탐사 영상해석은 항공사진과 위성영상을 이용하여 영상자료를 처리해왔다. 이러한 영상자료처리에 있어 가장 기본이 되는 것이 영상자료획득이다. 대부분의 영상자료는 위성 영상이나 국립지리원과 각급 지방자치단체에서 촬영한 항공사진이다.

이러한 영상은 Table 1과 같이 각 기관별로 사용목적에 따라 촬영방식이나 촬영시기가 다르다. 만약, 사용자가 원하는 시기와 장소를 촬영하는 경우, 경제적 부담이 많았다. 이에 보다 저렴하고, 신속 정확한 자료획득을 위하여 많은 연구가 이루어져 왔다.

본 연구와 유사한 연구는 국내외에서 많이 이루어졌다. Infoterra¹⁾사의 경우 Kodak DCS 460카메라에 단순히 수평유지장치가 없는 방진마운트에 촬영시간조절장치와 GPS를 설치하여 칼라항공촬영을 사업화 하여 시행하고 있다. 하지만 자동수평유지장치가 없어 수직항공사진 획득이 어렵고 칼라항공사진만 촬영함으로써 적외선 촬영은 불가능하며, 저가형 단순 GPS를 사용하기 때문에 정확한 외부표정요소 획득이 어려운 문제점을 가지고 있다. Z/I IMAGING²⁾사의 경우 DMC를 비행기에 탑재하여 상업화하고 있으나 System 도입 자체가 매우 고가이며 대형으로 국내 실정의 활용에 다소 어려움이 있을 것으로 사료된다. 독일의 Stuttgart 대학의 Cramer(2000)의 경우 고가의 GPS/INS를 활용하여 외부표정요소를 직접 획득하는 연구에서 헬리콥터와 고정익 비행기에 탑재 가능한 항공촬영시스템을 개발한 바 있으나, 고가의 GPS/INS장비를 사용함으로써 정보보정 정확도는 매우 높았으나 장비가격이 일반 항공촬영장비가격과 거의 동일하여 실용성이 낮았다. 또 영국의 Kingston 대학의 Livingstone(1999)은 동적인 자연 대상물인 연안해역의 환경을 연구하기 위해

1) http://www.infoterra-global.com/dig_ap.html
2) <http://www.ziimaging.de/Products/AerialCameraSystems/DMC.htm>

Table 1. 항공사진 촬영주기.

촬영주체		축척	주기	횟수	목적
중앙정부	육군측지부대	1/10,000 이상	약 10년	1	1/5,000 또는 1/25,000 지도제작 및 갱신
	국립지리원			(예산에 따라 변경)	
지방자치단체	광역시	1/10,000 이하	1년	2	1/1,200 또는
	도		거의 촬영하지 않음		1/10,000 지도제작 및 갱신

Table 2. 연구연표.

년 월 일	연구내용	연구목적
2001. 06~07	문헌조사 및 국내외사료조사	해외사례조사
2001. 07~12	비행선 설계 및 카메라 수입	연구장비구입
2002. 04~09	비행선 및 비행기 부품수입 및 통관 비행선 및 비행기 격납고 건설	비행선 및 비행기보관용 격납고 건설
2002. 10~11	비행선 제작 및 비행기 조립	연구용 비행선 및 비행기조립
2002. 11. 12	1차 테스트(경상북도 칠포)	기초 성능실험
2002. 12. 15	2차 테스트(낙동강 일원)	대용량 촬영가능성 평가
2002. 12. 28	3차 테스트(경안천 전역)	혹한기 성능시험
2003. 03. 21	4차 테스트(낙동강 일원)	다중분광 촬영성능 시험
2003. 04. 06	5차 테스트(경상북도 칠포)	스틸항공사진 및 비디오연계성 시험
2003. 05. 20	6차 테스트(부경대 원격탐사센터)	카메라 Calibration 시험
2003. 07(예정)	7차 테스트	정밀 GPS 측량

비디오와 디지털 사진기를 이용하여 촬영했으나 System 자체의 설계가 미흡해 안정된 영상 자료를 구하기가 어려웠다.

국내에서는 시설물관리와 단지설계 등 소규모 지역에 대한 대축척 공중사진을 원격조종 모형비행기로 촬영한 실험과 소규모 도로의 기본설계 및 실시 설계 시 요구되는 3차원 대축척 지형정보를 획득하기 위하여 무인비행선을 이용한 촬영시스템을 개발하였다(강준복 외; 김병국 외, 1998; 김성삼, 2002; 유환희, 2002). 또한 저고도 항공사진 측량의 촬영기법 개발에 대해 무선조종 비행기와 헬리콥터 및 비행선을 비교 연구한 사례도 있었다(류복모 외, 1994). 이미 상업화되어 있는 국내회사의 무인 촬영 시스템의 경우 사진의 스트립과 블록을 구성하기위한 비행항로 제어가 어려우며 유인 촬영의 경우 사람이 직접 촬영하기 때문에 정밀한 수직사진을 획득하기 어렵다.³⁾

2) 연구연표

본 연구는 지난 2001년 6월부터 대학 자체 연구로 진행되었고 현장실험은 건설기술연구원과 한국 환경·정책평가원의 지원을 받아 2003년 6월 현재 6차 실험까지 완료하였으며 각 실험단계별 실험목적은 Table 2와 같다.

2. PKNU 2호 항공촬영시스템

본 항공촬영시스템은 영상촬영시스템과 비행체로 구성된다. 영상 촬영시스템은 주부인 다중분광 대역 카메라와 카메라의 조정 및 메타데이터 생산을 위한 주변부로 구성된다. 비행체는 장시간 체류에 적합한 비행선과 비행능력이 뛰어난 초경량 항공기를 운영하고 있다.

3) <http://www.oneseein.com>, <http://www.mirhoair.com>

1) 영상촬영시스템

본 영상촬영시스템은 자체 제작하였으며 센서부는 가시대역 및 근 적외선 대역의 촬영이 가능한 카메라 등이 있고 제어부는 수직 및 전진방향 감시 및 촬영위치확인을 위한 CCD카메라와 모니터, 카메라 관제 및 자동수평유지 장치, 수직항공 사진촬영을 위한 2축 자이로(gyro)와 X, Y축 모터 및 엔코드가 있다. 데이터 저장장치는 촬영위치 획득 및 비행체 추적을 위한 GPS수신기, 자료전송

용 RF데이터 모뎀, 풍속·기온·습도·기압관측을 위한 기상관측장비로 구성되어 있고 Table 3과 Fig. 1과 같다.

2) 비행체

비행체는 이동관측용으로 초경량 비행기를 이용할 수 있다. 초경량 비행기는 비행 항로제어가 우수하며, 저가 정비 및 조립이 가능하여 유지비용이 적고, 하천·해안과 같이 길고 굴곡 많은 지역의 촬영능력이 우수하며, 이착륙거리가 짧아 소

Table 3. 항공촬영시스템 장비내역.

장비명		용도	성능
스틸 카메라	Kodak DCS460C	가시대역 카메라	3032×2008(화소)×3(밴드: R, G, B)×1byte×324장
	Kodak DCS460C	가시대역 카메라	3032×2008(화소)×3(밴드: R, G, B)×1byte 324장
	Kodak DCS460IR	근적외선대역 카메라	3032×2008(화소)×1(밴드: NIR)×1byte×324장
	Kodak Pro 14n	가시대역 카메라	4536×3024(화소)×3(밴드: R, G, B)×1.5byte×324장
	Raytheon IRPro	열 적외선 카메라	7~14μm 대역 열 적외선 카메라
비디오	비디오	수직방향감시	일반 비디오카메라와 동일
	비디오	전진방향감시	일반 비디오카메라와 동일
	GPS	위치정보 획득	±10m
	자이로	자세제어	±0.02°
	RF 모뎀	자료전송	5W, 50W
	기상센서	기상관측	온도, 습도, 풍속, 기압관측
	관제시스템	시스템관제	

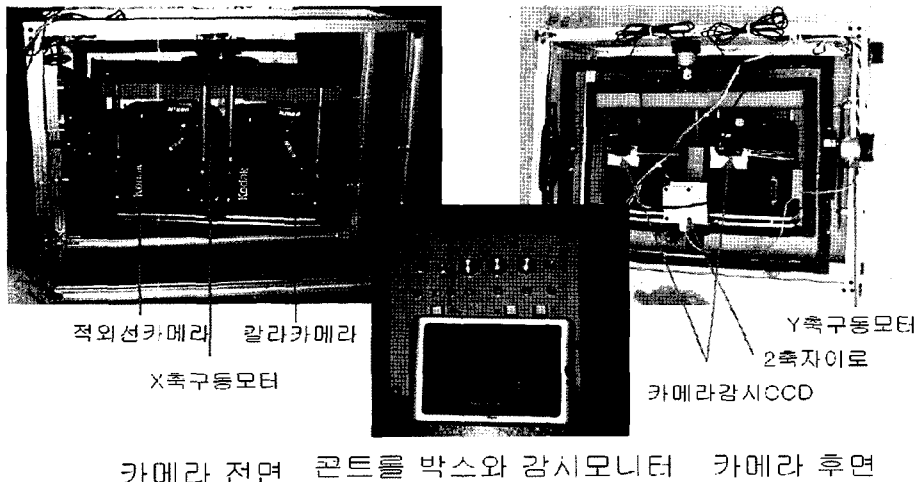


Fig. 1. 영상촬영시스템.

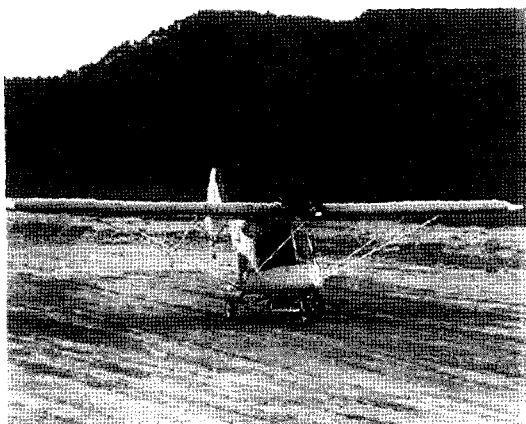


Fig. 2. 초경량 비행기(X-air).

규모 나대지에서도 이착륙이 가능하고, 소형으로 보관이 용이하다. 본 비행기는 프랑스에서 부품으로 구입한 후, 본 연구실에서 자체 조립하였으며 Table 3과 Fig. 2와 같다.

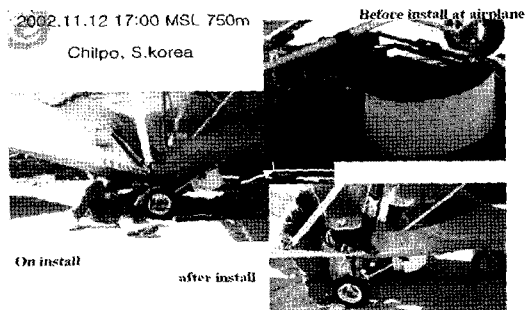
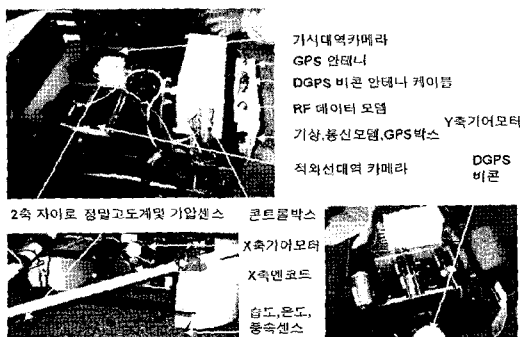


Fig. 3. 1차 항공촬영 현장사진.



< 촬영 시스템 구성도 >

Fig. 4. 1차 실험에 사용한 촬영시스템.

3. 실험 및 분석

1) 1차 실험

1차 실험의 목적은 기초성능 및 안정성 평가를 위하여 2002년 11월 12일 경상북도 포항시 북구 흥해읍 칠포해수욕장 인근에서 실시하였다.

1차 실험결과 천해역에서 해저면이 잘 관찰되었다. 가옥, 차량 등이 선명하게 촬영되었으며 해안지역에서 활용 가능한 영상자료를 획득하였으나 비행기 자체 진동에 의하여 각종 관제시스템이 정지하는 문제가 발견되었다.

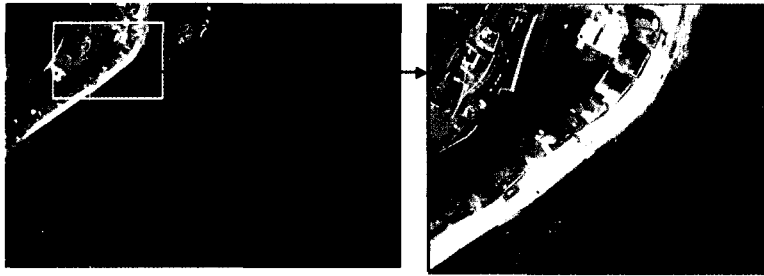
2) 2차 실험

2차 실험은 1차 시험촬영에서 발견된 문제점인 비행기 진동으로 인한 관제장비 미작동을 해결하기 위해 촬영시스템을 개량하고 방진설계의 적합성 및 대용량 항공촬영가능성 및 전자동 자세제어 시스템의 안정성 평가를 위하여 2002년 12월 15일 경상남도 양산시 물금읍지역에서 황강과 낙동강 합류부인 남지 지점까지 낙동강을 따라 항공촬영을 실시하였다.

2차 항공촬영결과 사진은 Fig. 8과 같다. 2차 항공촬영에서 가시대역(18,255kb RGB)영상을 155장 획득하였다. 1장당 촬영면적은 $0.512\text{km}^2(0.88\text{km} \times 0.582\text{km})$ 이고 지상해상도는 $0.29\text{m} \times 0.29\text{m}$ 로 자동

Table 4. 초경량 비행기 제원표(X-air).

길이·폭·높이(m)	5.7 9.8 2.35
외관 면적	16.0 (m ²)
중량(자중)	159/237 (kg)
최대이륙중량	450 (kg)
중력가속도	+6.3 G
이륙활주거리	70 (m)
이륙속도	5 (m/s)
순항속도	70 (km/h)
최대수평속도	120 (km/h)
순항속도	90 (km/h)
최대속도	145 (km/h)
정지속도	48 (km/h)



Full image 2002.11.12 17:00 MSL 750m Zoom in image

Fig. 5. 1차 항공촬영결과.



Fig. 6. 2차 실험 촬영경로.



Fig. 7. 2차 항공촬영 현장사진.

차의 형상 및 차종확인이 가능하였다.

본 기상정보는 항공촬영 중 기상조건에 따른 촬영시스템의 성능평가를 실시하기 위하여 기상 센서를 탑재하였으며 Fig. 9, 10, 11과 같다. 지상풍속은 거의 0m/sec로 안정된 기상조건이었으며 초기 20분간은 순항고도로 이동 중 엔진 추력 증가로 인하여 상대적으로 풍속이 증가하였으며 순항고도 상승 후 대기 중의 기상조건은 양호한 편이었다. 대기온도는 지상에서 15°C로 온화한 날씨였으며 순항고도 상승 후 8°C로 각종 시스템 작동가능 범위 내로 관제시스템의 정확한 작동이 가능한 날씨였다. 상대습도는 지상에서 약 40%이나 순항고도에서 약 65%로 대기 중에 수증기가 상당히 많은 날씨였고, 습구온도는 지상에서 8°C이며 순항고도에서 5°C로 안정된 양상을 보였다. 이슬점온도는 지상에서 17°C로 체감온도는 매우 낮아 상당히 추웠으며 순항고도에서는 2°C 내외로 안정된 상황이다. 기압변화는 순항고도로 이동 중 엔

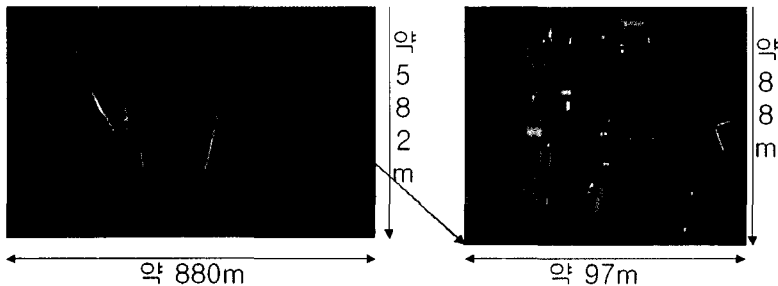


Fig. 8. 2차 항공촬영 결과.

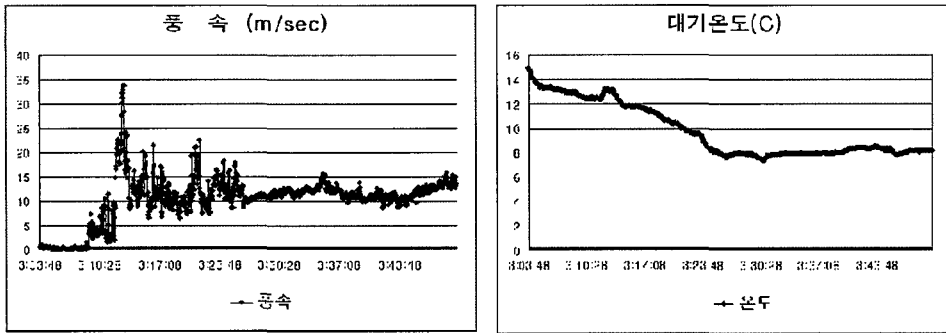


Fig. 9. 2차 시험 중 풍속과 대기온도.

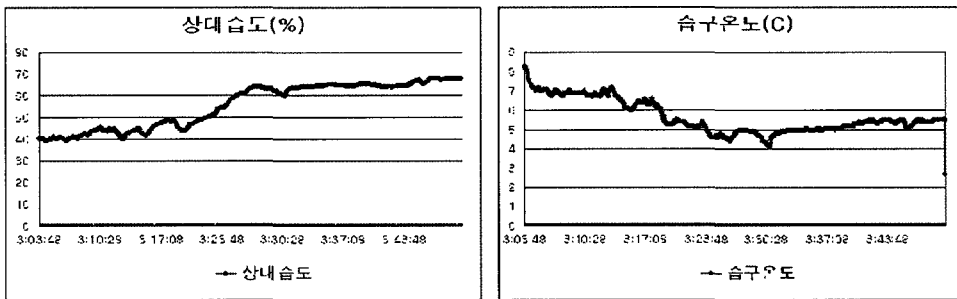


Fig. 10. 2차 시험 중 상대습도와 습구온도.

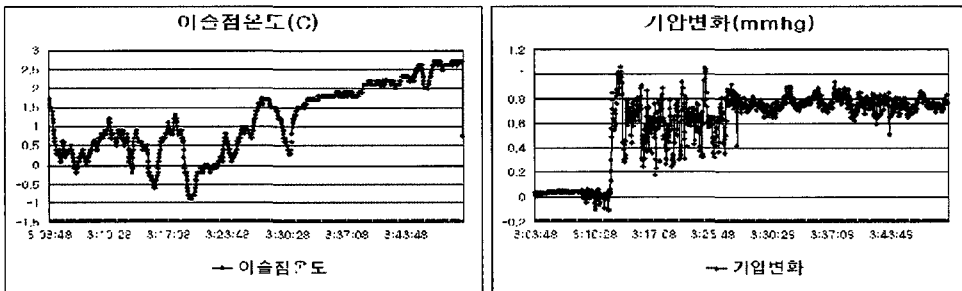


Fig. 11. 2차 시험 중 이슬온도와 기압변화.

진 추력 증가로 인하여 상대적으로 급격한 변화 이외에 0.8mmHg로 미미한 상황이다.

촬영된 영상은 밴드별로 8bit 영상을 제공하며 밴드별 분광특성은 Fig. 12와 같다. 영상이 전반적으로 어두운 영역 쪽으로 히스토그램이 집중되는 경향을 보였다. 이는 촬영시간인 15시에 태양방위각과 태양고도가 219.66°와 20.107°로 산 그림자에 영향을 받은 것으로 사료된다.

2차 실험에서는 대용량 촬영능력에 대한 가능성을 실시하였다. 실험결과 총 155장을 촬영하였으며 전체촬영면적은 47,616km²이며 총 촬영거리는 약 58km이고 평균촬영 폭은 0.86km이었으며, 장당 촬영 면적은 0,512km²이고 평균 중복도는 약 35%이었다. 그러므로 소규모지역 혹은 50km이하의 하천·도로와 같은 선형 형태의 지역에 대해 촬영 및 운영이 가능하고 지상해상도가 30cm이하

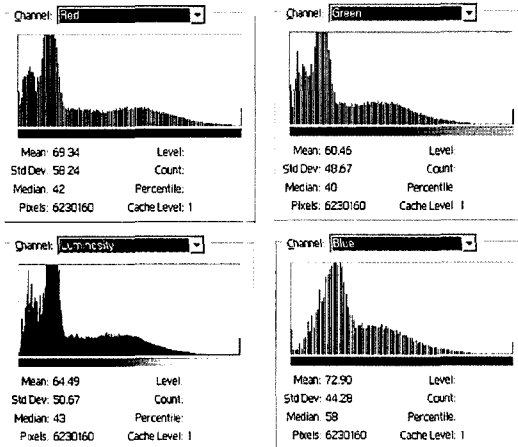


Fig. 12. 2차 실험 밴드별 분광특성분석.



Fig. 13. 2차 항공촬영 스트립구성.

의 고해상도 영상획득이 가능하였다. 그러나 본 항공촬영시스템을 활용하여 소규모 항공촬영은 가능하나 연구에 사용한 초경량 비행기에 최대 비행거리가 왕복 약 100km로 300장 이상의 촬영능력이 요구되었으며 평균 중복도가 35%로 일반적으로 항공측량에서 사용되는 중복도 60%에 비하여 낮아 중복도 개선이 요구되었다.

2차 항공촬영사진 155장 중 7장으로 스트립을 구성하고 수치지도를 중첩한 결과 Fig. 13과 같았다. 스트립을 구성한 결과 전체적으로 수직 정확도는 안정적인 경향을 보였다.

3) 3차 실험

3차 실험은 기상조건에 대한 본 PKNU2호의 활

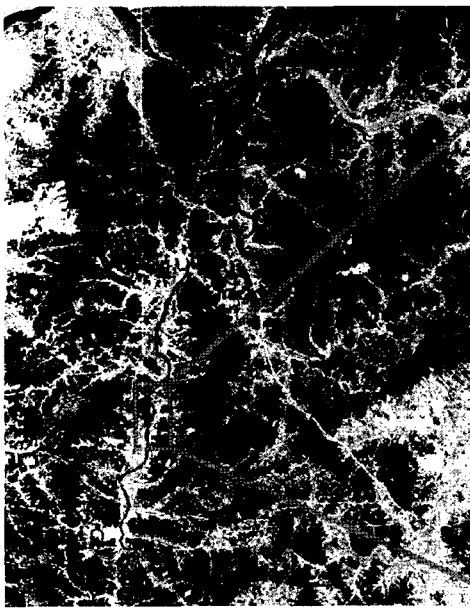


Fig. 14. 3차 실험 촬영경로.

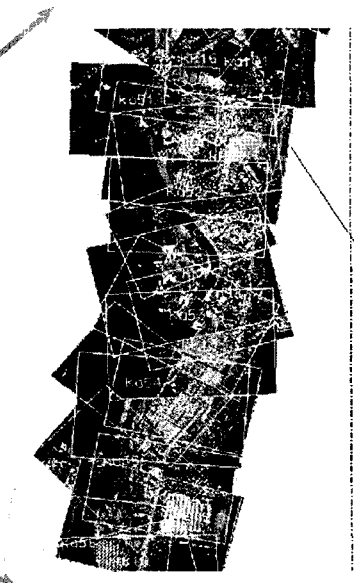


Fig. 15. 3차 실험 스트립 구성.

영상능실험 및 2차 실험에서 중복도과 촬영용량증대에 대한 실험으로 2002년 12월 27~28일 경기도 광주시와 용인시를 관통하는 경안천 본류 전역을 대상으로 2회 실시하였다.

3차 항공촬영경로는 Fig. 14와 같다. 3차 항공촬

영에서는 가시대역영상(장당 18,255kb(RGB))을 200장 획득하였다. 1장당 촬영면적은 0.4336km²(0.8km×0.542km)이고 지상해상도는 0.25m×0.25m로 자동차의 형상 및 차종확인 가능하였으며 경안천 좌안을 따라 용인방향으로 비행 후 우안을 따

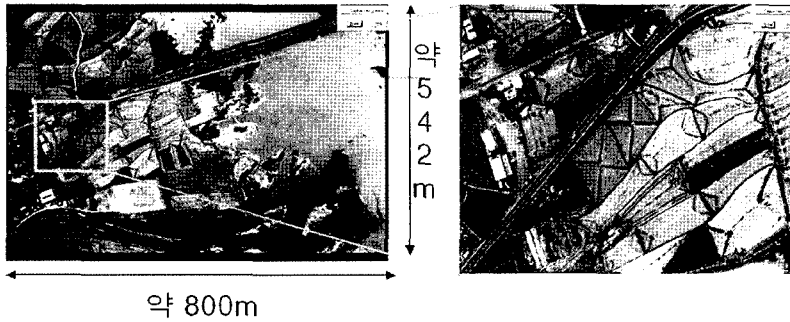


Fig. 16. 3차 항공촬영결과.

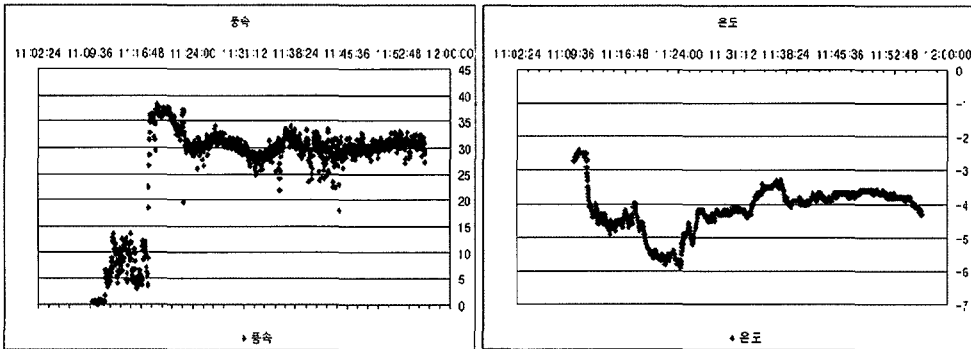


Fig. 17. 3차 실험 중 풍속과 온도.

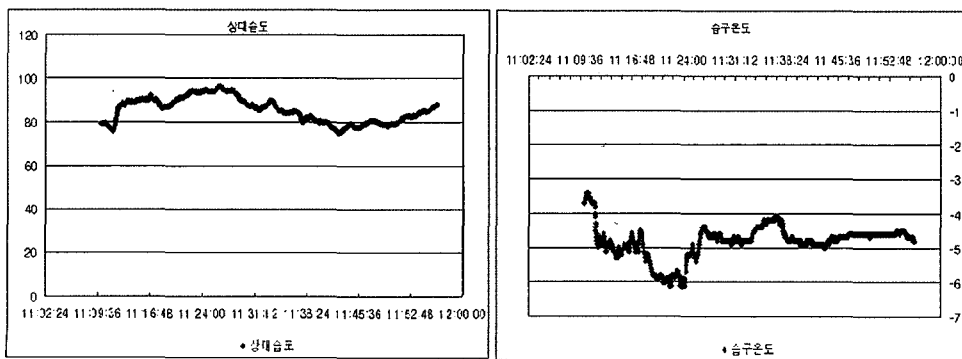


Fig. 18. 3차 실험 중 상대습도와 습구온도.

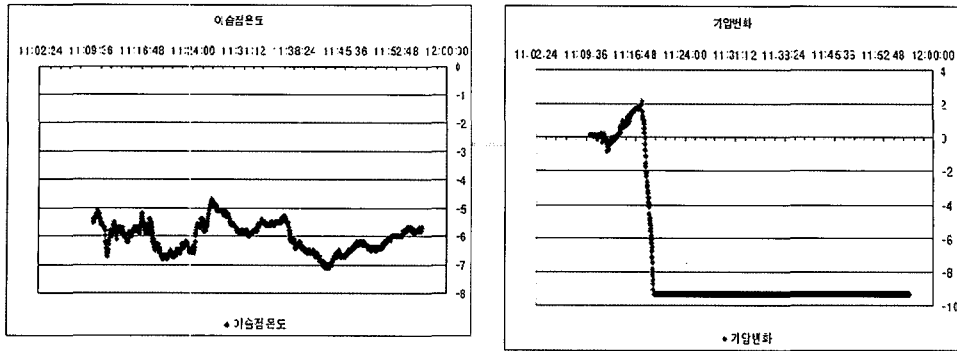


Fig. 19. 3차 실험 중 이슬점온도와 기압변화.

한 실험과 2차 실험에서 문제점으로 제시된 장거리 촬영능력 및 중복도 향상을 위한 실험이었다. 실험결과 총 200장을 촬영하였으며 전체촬영면적은 약 52km²이며 총 촬영거리는 약 120km이고 평균 촬영 폭은 0.80km이었으며, 장 당 촬영면적은 0.4336km²이고 평균 중복도는 약 60% 이상 이었다. 그러므로 5km×5km이하지역 혹은 100km이하의 하천이나 도로와 같은 지역에서 촬영 및 운영이 가능하고 지상해상도가 30cm이하의 고해상도 영상획득이 가능하였다.

촬영당시 지상풍속은 거의 0m/sec로 안정된 기상조건이었고 순항고도에서는 30m/sec로 바람이 상당히 높았다. 대기온도는 지상에서 -3°C 이었고 순항고도에서는 -5°C이고 체감온도는 약 -15°C 이하로 매우 추웠다.

상대습도는 지상에서는 80%이고 순항고도에서는 95%이었으며 항공촬영 중 눈이 내렸다. 습구온도는 지상에서는 -4°C이고 순항고도에서는 -5°C이었다. 이슬점온도는 지상에서 -6°C이고 순항고도에서 -6°C 내외이다. 기압변화는 촬영 중 강설로 인한 저기압 대를 만나 기압이 급격히 감소하였다.

그러나 본 항공촬영시스템을 활용하여 소규모 항공촬영은 가능하나 연구에 사용한 초경량 비행기에 최대 비행거리가 왕복 약 100km로 동일 지상해상도에서 300장 이상의 촬영능력이 요구되어 동일기종 카메라 1기를 신도입하고 중복 촬영하였다. 혹한기에서 촬영장비는 우수하게 작동하였으

며 정확한 항로유도가 가능하였다.

4) 4차 실험

4차 실험에서는 탑재 가능한 센서의 다양화를 위해 가시대역 카메라와 적외선 카메라를 이용하여 2003년 3월 20일, 21일 양일간에 걸쳐 낙동강 일원을 대상으로 촬영 실험하였다.

4차 항공촬영결과 사진은 Fig. 21과 같다. 4차 항공촬영에서는 다중분광을 통한 영상처리를 목적으로 가시대역 칼라영상(장당 18,255kb(RGB))과 근적외선 흑백영상(장당 6,083kb(NIR))을 획득하였다. 촬영면적은 칼라 영상이 3차 촬영결과와 같으며 하나의 프레임에서 같은 대상지역을 동시에 촬영하여 적외선칼라합성을 획득하였다.

각각 Red, Green, Blue, NIR밴드에서 NIR, Red,



Fig. 20. 적외선칼라영상.



Fig. 21. 가시대역과 근적외선 영상.

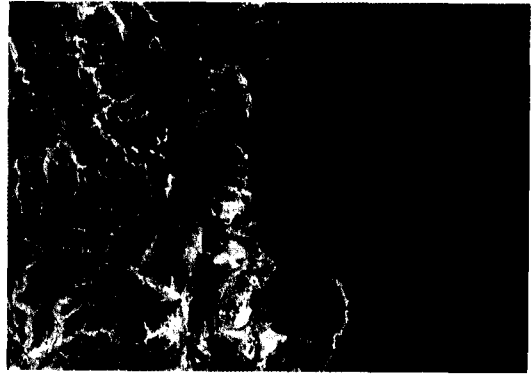


Fig. 22. 5차 실험 촬영경로.

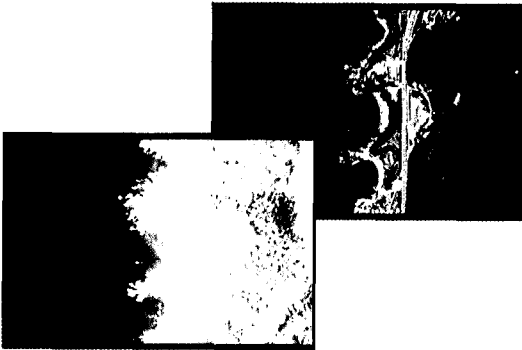


Fig. 23. 칼라, 적외선 촬영결과.



Fig. 24. 칼라-적외선 촬영결과.

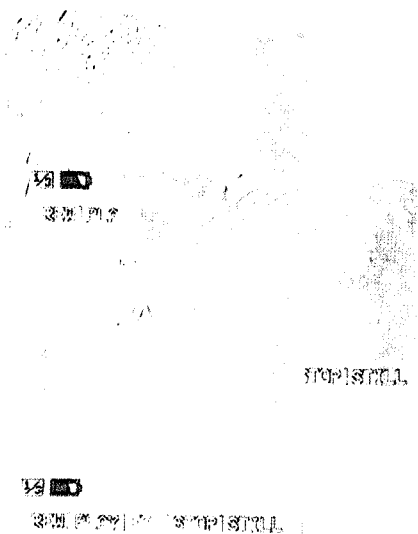


Fig. 25. 비디오촬영결과.

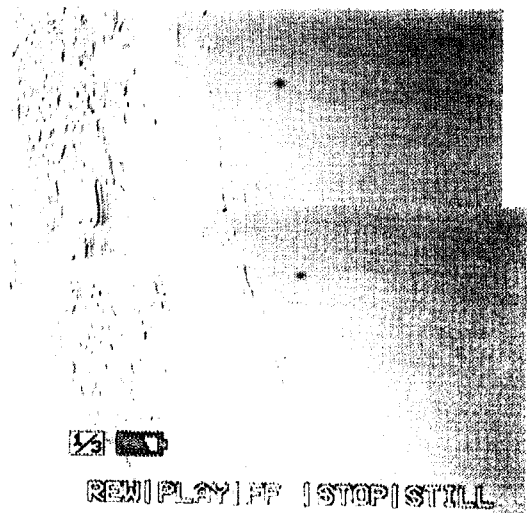


Fig. 26. 비디오 영상 중첩.

Green을 합성하여 Fig. 20과 같이 식생을 관측할 수 있는 적외선 칼라영상으로 처리할 수 있었다.

밴드별 분광특성을 분석한 결과 blue영역에서 미세한 헤이즈가 발생하여 정확한 특정 파장대의 선택적 기록을 위해서 알맞은 필터의 사용이 요구되었다.

5) 5차 실험

5차 실험에서는 스틸항공사진 및 비디오연계성 시험, 수직 및 전진방향 CCD에 비디오 카메라를 연결해 비디오 촬영성능 평가를 위한 촬영을 경상북도 포항시 흥해읍 칠포에서 영덕군 축산면 축산항까지 시험하였다.

5차 항공촬영결과 4차 항공촬영에서 요구된 필터를 장착하여 Fig. 25와 같은 영상을 취득하였다. 스틸카메라와 비디오카메라의 동시 연계운영이 가능하였다. 프레임 영상의 단점을 비디오 영상으로 보완할 수 있으나 Fig. 26과 같이 저해상도이기 때문에 활용에는 문제가 있으나 항공촬영지역에 대한 보조 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

6) 6차 실험

카메라를 활용하여 사진을 촬영하고 공학적으로 분석할 때 렌즈왜곡량 보정은 매우 중요하다. 렌즈왜곡은 방사왜곡(Radial distortion)과 접선왜곡(Tangential distortion)으로 나누어지며, 일반적으로 접선왜곡은 방사왜곡에 비해 보정량이 미미하기 때문에 방사왜곡만을 보정하는 경우가 많다(안기원, 1999). 카메라의 렌즈왜곡은 렌즈 내부밀도가 불균질하여 렌즈를 통과한 빛이 이론적 방향으로 굴절하지 못하기 때문에 발생하는 현상이다. 이를 보정하기 위하여 모든 렌즈에 대해 실험실에서 왜곡량을 실측한 뒤 보정을 실시하였다(Wolf, 1983).

본 연구에서 활용한 방사왜곡량은 Konrady 고차다항식을 사용하여 계산하며 식 (1)과 같다.

$$\Delta r = k_0 r + k_1 r^3 + k_2 r^5 \quad (1)$$

렌즈방사왜곡 보정전후 오차 성향은 Fig. 27, 28과 같으며 본 연구에서 실측된 방사왜곡보정전 방

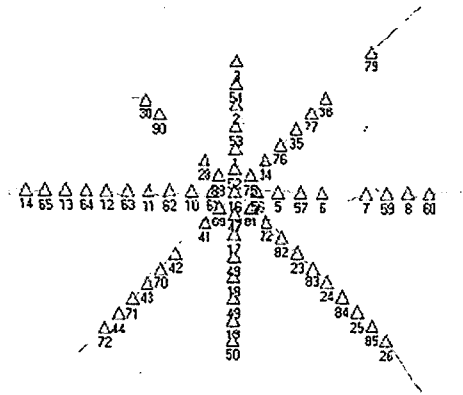


Fig. 27. 렌즈왜곡보정 전 왜곡경향도.

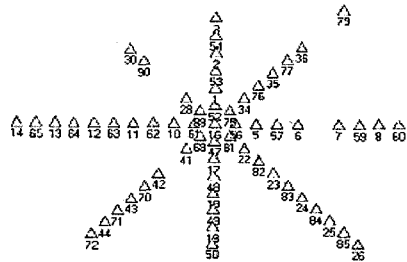


Fig. 28. 렌즈왜곡보정 후 왜곡경향도.

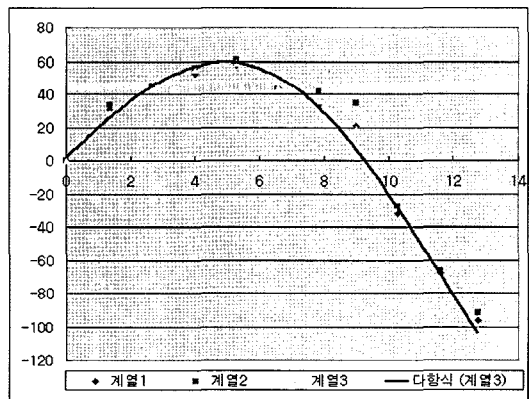


Fig. 29. 방사왜곡량 보정 그래프.

Table 5. 카메라 보정양식(방사거리단위: mm, 왜곡량: μm)

카메라종류		Kodak DCS460 방사왜곡량(2003. 05. 20.기준)								
반경	1	2	3	4	5	6	7	8	9	평균
10	3,631	3,084	2,731	2,930	6,654	3,441	2,649	4,318		3,189
20	4,765	5,676	5,050	4,084	4,320	5,330	6,022	5,014		5,033
30	6,637	6,654	5,900	8,301	6,552		6,593	2,423		6,164
40	5,786	8,957	8,927	7,737	5,756	5,991	5,980	3,581		6,589
50	3,893	5,847		8,000	2,452	5,520	5,327	2,956		4,856
60	3,115	7,337	4,403	4,848	1,860	1,686	6,056	2,703		4,001
70			2,573	2,249	1,762	1,226	2,869			2,136
80			-4,272	-6,220		-3,439	-2,715			-4,162
90		-8,331	-8,645	-9,852		-7,386	-4,189			-7,680
100				-15,042			-7,671			-11,356

Lens: Nikon 20mm 2.8 AF Nikkor, CCD: 3032 2008(27.29mm×18.07mm)

평균해상도		약 111 (lp/mm) (AWAR: Area weighted average resolution)									
Row #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
방사거리	0.00	1.34	2.65	3.98	5.26	6.56	7.84	9.05	10.37	11.63	12.67
보정 전 왜곡량	0.00	28.70	45.30	55.48	59.31	50.71	36.01	10.63	-36.19	-69.12	-102.21
보정 후 왜곡량	0.00	-4.61	-1.18	1.79	1.29	2.25	-1.94	-3.93	4.78	-1.81	0.22

렌즈왜곡 보정계수	K0		K1		K2		PPA	X		Y	
	1,8512210e-02		-2,7086637e-04		6,5659188e-07			-0.0064		0.0119	

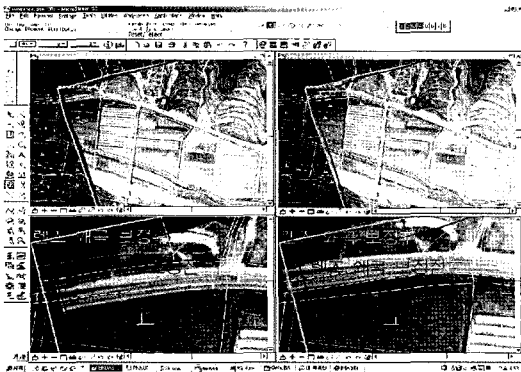


Fig. 30. 렌즈왜곡 보정유무에 따른 정사투영 결과사진.

Table 6. 렌즈 방사왜곡 보정 정확도 (단위: 화소)

렌즈 방사왜곡	image x	image y	RMSE
보정 전	4.0311	3.6169	3.9288
보정 후	1.2892	1.3594	1.3563

사거리별 왜곡량(X축: 방사거리(μm), Y축: 왜곡량(μm), 계열 1, 2, 3은 3회 측정 결과값)은 Fig. 29

와 같다.

렌즈왜곡 보정유무를 확인하기 위하여 동일한 지상기준점으로 정사투영 후 결과는 Fig. 30과 같이 상이하다. Table 6에서 보는 것과 같이 왜곡보정 전 3.5~4화소의 오차를 가졌으나 왜곡보정 후 1.3~1.5화소의 오차를 가지게 되었다. 그러므로 30cm 지상해상도로 촬영할 경우 0.39~0.45m의 오차는 발생할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 기존의 위성영상과 항공사진에 대한 시간·경제적 문제점을 사용자와 자료 수집자의 입장에서 보완하고자 노력하였으며 사용자가 원하는 지역을 촬영하고, 고해상도 디지털 영상을 획득하여 활용하기 위한 기초 연구이다. 또한, 전자동 항공촬영시스템 개발을 위한 연구이다. 2003

Table 7. 실험결과

목 적	장 소	결 과	비 고
기초성능 및 안정성 평가 실험	경상북도 포항시 북구 흥해읍 칠포해수욕장 인근	천해역에서 해저면 관찰 해안지역에서 활용 가능한 영상자료 획득	비행기 자체 진동에 의하여 각종 관제 시스템 정지
방진 설계의 적합성 및 대용량 항공촬영 가능성 실험	경상남도 황강과 낙동강 합류부	가시대역(18,255Kb RGB)영상 155장 획득 촬영면적: 0.512km ² (0.88km×0.582km) 해상도 : 0.29m×0.29m	중복도 개선요구
흑한기 성능 실험 및 대용량 촬영가능성 실험	경기도 경안천 본류 전역	흑한기에서 촬영장비 작동 정확한 항로 유도가 가능	
다중분광 촬영 성능	경상남도 낙동강 일원	가시대역(18,255Kb RGB) 근적외선영역 흑백영상(6,083Kb NIR)	필터사용요구 : Blue영역에서 헤이즈 발생
스틸항공사진 및 비디오 연계성	경상북도 포항시 흥해읍 칠포~영덕군 축산면 축산항	스틸 카메라와 비디오카메라의 동시 연계운영이 가능	비디오 영상의 저해상도
카메라 Calibration	부경대학교 원격탐사센터	방사왜곡 보정 및 오차 개선	

년 5월 현재 6차 실험까지 완료하였으며 각종 실험 및 장비개선 작업 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 1차 실험은 비행진동이 촬영장비운동에 막대한 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 2차 실험은 항공촬영시스템을 활용하여 대용량 항공촬영실험을 실시하였다. 대용량 항공촬영은 가능하였으나 최적체공시간을 고려하여 300장 이상의 영상촬영이 가능하도록 하고 평균 중복도가 35%로 표준 중복도 60% 보다 적어 중복도 향상을 위한 장비개선이 요구되었다.

셋째, 3차 실험은 흑한기 조건에서 항공촬영시스템이 안정적으로 장비성능을 유지할 수 있는지에 대한 평가를 하였다. 그 결과 대기온도 -6 와 강설중인 상황에서 촬영은 실시했음에도 불구하고 장비는 안정적으로 작동하였으며 획득된 영상의 화질 또한 우수하였다.

넷째, 4차, 5차 실험은 스틸사진과 비디오영상 연계 작동성 실험과 연안지역에서의 다중분광촬영 가능성에 대한 실험을 하였다. 스틸사진과 비디오의 연계 촬영과 다중분광촬영은 성공적으로

수행되었다.

다섯째, 6차 실험은 렌즈왜곡량 산정 및 보정식을 계산하였으며 왜곡보정 전 3.5~4화소의 오차를 보였으나 보정 후 1.3~1.5화소로 정확도가 개선되어 단순영상이 아닌 공학적으로 이용 가능한 영상을 취득하게 되었다.

여섯째, 본 연구에서는 식생조사, 해안 및 연안 습지 부분의 촬영, 호소 및 내륙습지, 도로·하천 지역에서 실험촬영을 하였다. 현재 연구개발과 장비개선을 위한 연구를 진행 중이며 향후, 정밀 GPS·IMU등의 장비를 도입하여 보다 정밀한 검·보증 단계를 거쳐 보다 실용성 있는 연구를 위한 노력이 요구된다.

사 사

본 연구를 지원하여 현장실험에 필요한 각종 개발을 위한 경비를 지원하여 주신 “부경대학교”와 실험과 실험 장비를 지원하여 주신 “수자원의 지속적 확보기술개발 사업단”, “한국환경정책평가

연구원”에 감사드립니다.

참고문헌

- 강준목, 오원진, 배연성, 원격조종 공중사진측량에 의한 도로 설계자료 추출, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), pp. 553-536.
- 김병국, 유동훈, 1998. 모형비행기를 이용한 항공사진촬영과 시설물 정보의 수집, 한국GIS학회지, 6(1): 1-10.
- 김성삼, 2002. 비행선 촬영시스템을 이용한 영상지도 제작기법개발, 경상대학교 석사학위논문.
- 류복모, 강인준, 1994. 지형공간정보시스템에 있어서 자료획득을 위한 무선조정비행성의 활용기법, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 445-446.
- 안기원, 박병욱, 서두천, 1999. 근거리 수치사진측량에 있어서 렌즈왜곡의 직접 보정, 한국측량학회지, 17(3): 257-264.
- 유환희, 제정형, 김성삼, 2002. 비행선촬영시스템을 이용한 영상지도 제작, 한국측량학회지, 20(1): 59-67.
- Cramer, M., D. Stallmann and N. Haala, 2000. Direct Georeferencing Using GPS/Inertial Exterior Orientations for Photogrammetric Applications, IAPRS Vol. XXXIII Part B3/1, pp. 198-206.
- Livingstone, D., J. Raper, and T. McCarthy, 1999. Integrating areal videography and digital photography with terrain modelling, *Geomorphology* 29: 77-92.
- Wolf, R. 1983. *Elements of Photogrammetry*, pp. 74-83.