

원격조종 공중사진측량에 의한 대축척 지형정보 획득 Large Scale Geographic Information Acquisition by Radio Control Aerial Photogrammetry

강준묵* · 배연성**

Kang, Joon-Mook · Bae, Yeon-Soung

요 旨

본 연구는 도로의 기본설계 및 실시설계시 요구되는 3차원 대축척 지형정보를 보다 효율적으로 획득하고 설계의 전산화 및 자동화를 도모하고자 35 mm 카메라를 탑재한 원격조종 공중사진 촬영시스템을 개발하여, 이를 실제 도로설계시 요구되는 자료획득에 응용함으로써 지형정보의 획득 및 처리의 효율성 증대에 기여함을 목적으로 하고 있다. 연구결과, 개발한 촬영시스템은 대상지역의 지형정보를 효율적으로 얻을 수 있었으며, 비행고도 400 m이 내의 촬영으로 기대정확도에 상응하는 대축척 지형정보획득이 가능하였고, 종·횡단면도, 토공량 등의 자료를 신속하고, 정확하게 획득할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, we try to develop the radio control photographing system with 35 mm camera to obtain 3-dimension large scale geographic information more effectively, to automatize and computerize the basic design and practical design of road. By applying this system on getting data which is needed to design road, this study has an object to promote efficiency in possession and management of geographic information. As result of this study, this system could obtain geographic information effectively on the object region, could get large scale geographic information which was suitable for expected accuracy by photographing in 400 m height and could acquire profile, crossection and earth-work volume quickly and exactly.

1. 서 론

지표면의 정보를 표현하는 일반적인 형태 중 지형도가 공학적 지형정보를 표현하는 가장 대표적인 방법으로 이용되어 왔다. 그러나 최근 컴퓨터와 영상처리기술의 급격한 발전에 의해 기존의 평면 지형도에서 탈피하여 여러가지 장점을 가지고 있는 수치지형도의 제작에 많은 관심이 모아지고 있다. 수치화된 자료는 자료의 왜곡이 없으며, 축척변경이 용이하고 활용상 매우 편리하므로 최근 수치지도제작과 수치지형모형에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 GIS (Geographic Information System)의 지형정보 구축을 위한 기본도로서 수치지형모형(Digital Terrain Model)

은 필수적으로 요구되는 자료형태가 되고 있어 토목분야 전반에 걸쳐 매우 폭넓게 응용될 것으로 전망된다.^{11,14,15)} 이러한 자료형태는 위성영상, 공중사진 및 기존의 소축척 지도를 이용하여 취득하고 있다.^{11,13)} 현재 우리나라는 국토기본도의 작성, 국토관리, 환경관리, 군사적 특수 목적, 자원탐사 및 지표분석 등에 필요한 대규모 지역의 지형정보를 항공기에 의해 촬영된 사진이나 위성영상매체를 통해서 획득하고 있다.

그러나 위성영상매체나 공중사진 및 기존의 지도를 이용한 지형정보 획득방법은 낮은 공간해상력에 따른 오차 및 스캐닝 과정의 오차로 인하여 소축척의 지형정보 추출에 한정되어 이용될 수 밖에 없으며, 공중사진의 경우 국가적인 계획, 설계 및 개발 차원의 대규모 사업이 아닌 경우 사진촬영이 곤란하고, 항공기의 이·착륙 장소가 극히 제한되어 있는 실정이다.

*충남대학교 토목공학과 교수
**충청전문대학 토목과 전임강사

따라서 소규모 지역의 개발이나 도로의 실시설계와 같이 대축척의 지형정보가 요구되는 건설분야에서는 막대한 인력과 경비 및 시간을 투입하여 재래적인 현지작업 방법에 의해 필요한 지형정보를 획득하고 있어 시간적, 경제적 손실은 물론 정확도 면에서도 많은 문제가 제기되고 있으며, 도로계획을 위한 중·횡단면도 작성과 토공량 산정 등과 같은 후속적 작업 역시 재래적인 수작업에 의존할 수밖에 없는 실정에 있다. 이에 대축척 지형정보를 수치적 자료로 획득하기 위한 기법의 개발은 건설기술의 향상을 위해 절실히 요구되고 있다.^{5,7)}

따라서 본 연구는 각종 건설공사시 요구되는 정확한 3차원 대축척 지형정보획득을 위해 35 mm 카메라에 의한 공중사진측량의 보정체계 및 해석기법을 정립하고, 원격조종 소형비행기를 이용한 촬영 시스템을 구축하여, 육안으로 조종가능한 촬영고도 400 m 이내의 다양한 영상을 획득, 해석적 방법에 의해 도로를 비롯한 각종건설공사에서 요구되는 지형정보를 효과적으로 추출하므로써 수치화된 정보에 의한 건설계획의 전산화 및 자동화를 도모하고, 이를 실제 응용함에 따른 해석 정확도를 분석함으로써 그 효율성과 응용가능성을 제시하고자 한다.

2. 촬영 시스템 구성

2.1 비축정용 카메라의 측정용화

탑재용 카메라는 원격조종으로 촬영할 수 있어야 하므로 셀프타이머(self-timer), 자동감기(auto-winding)장치가 필수적이며, 노출보정이 가능하고 롤필름(roll film)을 사용할 수 있는 Nikon F-801로 선정하였다. 카메라 렌즈는 영상의 편위수정 가능범위와 피복면적의 경제성을 고려하여 35 mm 광각렌즈를 부착하였다. 카메라는 비축정용이므로 해석정확도 향상을 위해 지표판(fiducial mark plate)을 제작, 방사 및 접선방향 왜곡계수, PPA(principal point of autocollimation)/PPS(principal point of symmetry), 촛점거리 등 렌즈 정오차 보정계수를 도출하여 semi-metric화 하였으며, 이를 표 1에 나타냈다.

2.2 원격조종 촬영시스템

지형정보가 요구되는 대상지역에서 직접 이·착륙할 수 있는 원격조종(Radio Control)용 비행기를 그 안정

표 1. 35 mm 카메라의 렌즈왜곡 보정계수

PPA: X=+103 μm, Y=+30	PPS: X=+7 μm, Y= 0 μm
K ₁ : 51.67515277 E-6	P ₁ : -23.9240999 E-6
K ₂ : -0.05679317 E-6	P ₂ : 19.75099364 E-6
K ₃ : 0.00000550 E-6	P ₃ : -0.29206888 E-6

표 2. 원격조종 비행기의 제원

모 델	PIPER CUB
크 기	날개길이: 180 cm 동체길이: 90 cm
엔 진	4 cycle
무 게	2800 g
재 질	발사, 항공베너, 단풍나무 등
원격조종 장치	7-channel

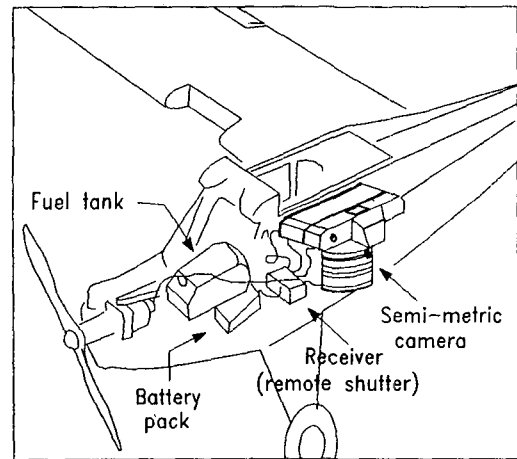


그림 1. 35 mm 카메라와 원격조종 비행기

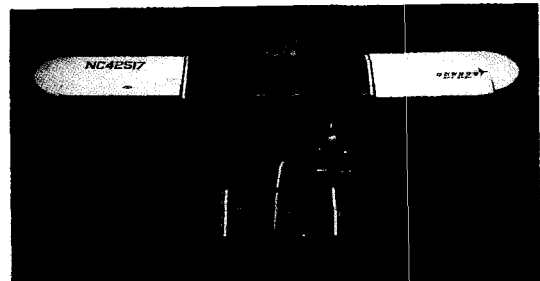


사진 1. 비행기와 조종기

성과 견고성 및 운반 편리성을 고려하여 제작하였으며.

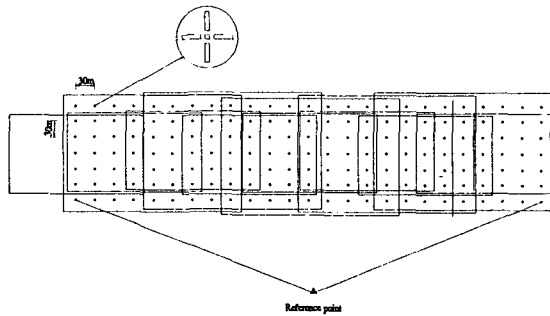


그림 2. 대상지역의 촬영 계획도

비행기의 롤링(rolling)에 관계없이 카메라가 연직으로 유지될 수 있도록 자이로를 설치하였다. 비행기 엔진진동에 의한 카메라 흔들림을 최소화 하기위한 장치도 제작하였으며, 카메라 탑재장치는 탈부착형으로 장치하였다. 원격조종 비행기의 제원은 표 2와 같으며, 그림 1은 35 mm 카메라를 탑재한 원격조종 비행기를, 그리고 사진 1은 비행기와 조종기를 나타낸 것이다.

개발한 R/C시스템에 의한 최적 촬영조건을 도출하기 위해 비행기의 안정성, 비행고도 및 속도의 제어상태, 원격조종 장치의 제어상태 등을 검토하고, 비행기의 균형성, 엔진의 rpm 조절기능, servo 동작상태, 카메라 제어상태, 이·착륙의 안정성 등 최적 공중사진을 획득하기 위한 제반 사항과 필름 크기가 상대적으로 작은 35 mm 카메라의 상 선명도(image sharpness), 필름의 감광도에 따른 상 해상도(image resolution), 셔터 속도, 조리개 개방상태 등의 특성을 검토하였다. 그 결과, 촬영시스템의 최적 비행조건으로는 풍속 약 5 m/sec 이하, 비행고도는 약 500 m 이내, 활주로는 약 5 m × 20 m의 개활지가 필요하였다. 비행속도와 엔진진동에 의한 상(image)의 흔들림 방지를 위해 카메라의 셔터 속도는 1/500초 이상의 고속으로 촬영하는 것이 바람직하였으며, 이에따라 필름의 감광도는 ASA400이상의 고감도 필름을 사용하는 것이 유리하였다. 카메라 조리개의 개방은 피사계 심도를 고려하여 f/11이상, 촬영시간은 오전 10시에서 오후 2시가 적당하였다.

3. 실험

3.1 대상지역 선정 및 촬영

효율적인 시스템 운용과 최적 지형정보 획득 조건을 도출하고자 대상지역은 개활지를 선정, 30×30 m 간격

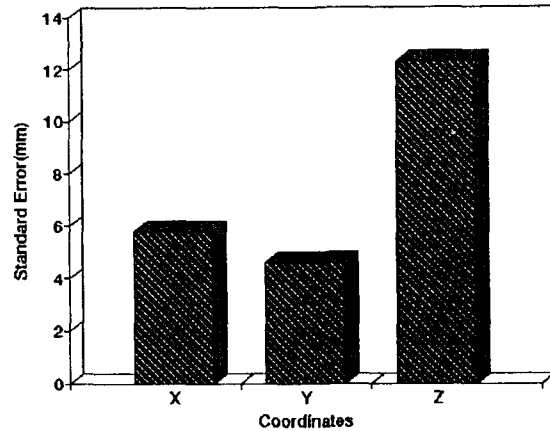


그림 3. 지상기준점 좌표의 평균표준오차

으로 대상점을 배치하고, 비행고도를 100 m~400 m 내에서 5단계로 변화시키며 촬영하였다.

사용한 필름은 Kodak ASA400 칼라 필름과 슬라이드 필름을 사용하였다. 촬영시의 셔터 속도는 1/500~1/2,000 로 노출상태에 따라 수동 조작하고, 조리개 개방 수치는 f/11~f/16 으로 촬영하였다. 요구 지형정보의 축척에 따른 사진축척, 기선고도비 등의 조건을 도출하기 위해 각각의 비행고도에서 중복도를 약 50~85%로 변화시키며 촬영하였다. 그림 2은 실험대상지역에서의 촬영 계획도를 나타낸 것이다.

3.2 지상기준점측량 및 외부표정요소

대상점 및 지상기준점의 3차원 위치결정은 층남대 고정점과 대상지역의 한 고정점(reference point)을 상대 위치결정방법에 의해 그 위치를 결정한 후 나머지 점들은 대상지 고정점으로 부터 Kinematic GPS방법에 의해 각 2분씩 관측하였다(그림 2). 관측자료는 Trimvec-Plus 소프트웨어의 SBP와 MBP방식에 의해 처리하여 WGS84 좌표계 상의 3차원 좌표를 산출하였다. 산출된 좌표는 망조정 소프트웨어인 Trimnet-Plus를 이용, 조정계산 하여 그 표준오차를 산출하였다. 산출한 평균표준오차를 도시하면 그림 3와 같다.

대공표지는 비행고도 300 m에서 필름상 약 0.03 mm로 촬영될 수 있도록 계획하였다. 촬영한 필름의 지상기준점 좌표와 지표로부터 번들조정을 통하여 카메라 외부표정요소를 도출하였으며, 각각의 비행고도에서 촬영한 사진의 외부표정요소는 표 3과 같다.

표 3. 비행고도별 촬영한 각 사진의 외부표정요소

Ptoto#	Omega(°)	Phi(°)	Kappa(°)	X(m)	Y(m)	Z(m)	Scale
A-12	177	11	134	62	-66	118	1/3,000
A-13	178	13	135	38	-91	115	
A-14	177	7	133	18	-109	117	
A-15	179	8	132	-6	-130	115	
A-16	181	8	133	-25	-153	113	
B-01	177	9	119	175	31	15-	
B-02	175	14	122	149	-4	151	
B-03	176	17	128	119	-47	149	
B-04	178	19	130	90	-77	148	
B-05	176	14	124	62	-105	151	
C-19	180	11	120	198	27	197	1/5,000
C-20	178	14	123	171	-5	195	
C-21	183	15	125	152	-36	192	
C-22	175	15	130	137	-65	187	
C-23	174	16	128	114	-91	186	
E-28	173	6	126	216	37	253	1/7,000
E-29	172	10	131	184	6	252	
E-30	172	12	128	161	-24	253	
E-31	173	10	129	144	-51	251	
E-32	177	7	133	122	-78	251	
F-32	172	7	131	189	-3	404	
F-33	174	6	127	160	-40	406	
F-34	176	6	130	131	-85	401	
F-35	167	7	140	101	-125	405	
F-36	168	7	135	68	-167	404	

표 4. 비행고도에 따른 오차분포

height (m)	Ave. Sim Error(mm)				Ave. Actual Error(mm)			
	Sx	Sy	Sz	Sp	Ax	Ay	Az	Ap
100	22.9	18.3	92.7	97.2	27.6	22.1	111.9	117.3
150	34.6	22.3	88.4	97.5	42.4	27.3	108.2	119.3
200	43.5	31.4	207.0	213.8	44.6	32.2	212.4	219.4
250	59.4	55.1	334.1	343.7	80.2	74.4	451.0	464.1
400	87.0	87.3	528.9	543.0	102.2	102.6	621.5	638.1

4. 결과분석

다양한 비행고도와 중복도로 촬영한 사진은 천문 사진판독에 이용하는 P.D.S(필름 정밀밀도측정 시스템)로 기계좌표를 측정된 후 번들조정을 통하여 대상점들

의 3차원 좌표와 그 표준오차를 계산하였다.

4.1 비행고도에 따른 정확도

표 4는 비행고도별 정확도 해석을 위해 촬영한 사진을 해석하여 얻은 오차분포를 나타낸 것이다. 비행고도를 달리하여 촬영한 사진 중 비행고도별 1모형을 선정, 모델당 4점의 지상기준점으로 8~15점의 대상점의 3차원 좌표를 산출하였다. 산출한 좌표의 평균표준오차를 기하학적 표준오차(simulated error, SX, SY, SZ)와 실험적 표준오차(actual error, AX, AY, AZ), 기하학적 및 실험적 공간오차(S_p, A_p)로 나타내었으며, 이를 비행고도별로 비교 도시하면 그림 4, 그림 5와 같다. 비행고도 250 m를 기준으로 200 m, 150 m, 100 m로 약 24%, 40%, 54% 고도를 낮추어 촬영한 사진으로 부터 해석한 결과의 기하학적 공간오차(S_p) 감소율은 각각 약

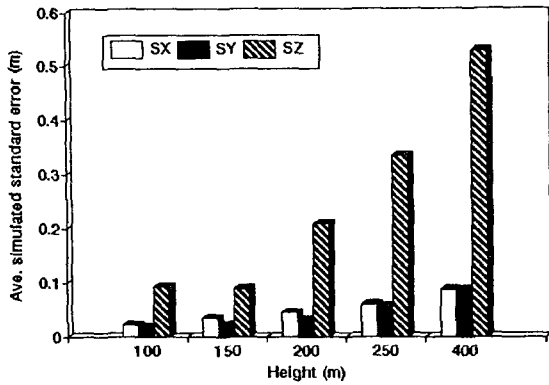


그림 4. 비행고도에 따른 표준오차

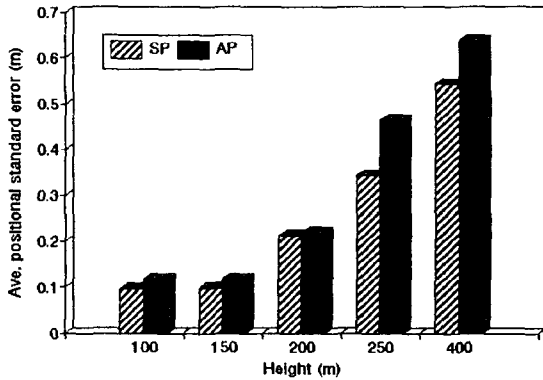


그림 5. 비행고도에 따른 위치오차

38%, 72%, 72%였으며, 고도를 400 m로 상승시켜 촬영한 경우 약 60%의 오차 증가율을 보이고 있다.

이를 평면오차(S_x , S_y)와 공간오차(S_p)를 구분하여 비교하면 비행고도 100 m에서의 평면위치차는 약 29 mm, 공간위치차는 약 100 mm였다. 비행고도를 약 30%, 60%, 120%, 250%로 상승시켜 촬영했을 경우, 평면위치오차 증가율은 약 40%, 80%, 180%, 300%를 보였으며, 공간위치오차 증가율은 평면위치오차 증가율에 비해 보다 큰 양상을 보임으로써 비행고도가 정확도에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

비행고도 150 m에서 실험적 평면위치오차는 약 50 mm, 공간위치오차는 120 mm이므로 지형도 제작시 평면정확도만을 고려할 경우 약 1/250, 공간정확도로 고려할 경우 약 1/600 축척의 지형도를 얻을 수 있었다. 비행고도 250 m는 평면정확도만을 고려한 축척 한계는 1/500, 공간정확도로 고려한 축척 한계는 1/2000, 비행고도 400 m는 평면정확도와 공간정확도에 따라 각

표 5. 중복도의 변화에 따른 오차분포

height (m)	end lap	ave. Sim Error(mm)				Ave. Actual Error(mm)			
		Sx	Sy	Sz	Sp	Ax	Ay	Az	Ap
150	80	47.1	31.7	164.5	174.0	51.1	34.4	178.3	188.6
	70	33.6	18.0	77.1	86.0	35.7	19.1	81.9	91.3
	60	22.5	15.8	55.1	61.5	24.3	17.1	59.5	66.5
	50	21.2	14.6	41.6	48.8	26.9	18.6	53.1	62.3
250	80	59.4	55.1	334.1	338.6	80.2	74.4	451.0	464.1
	70	33.2	29.3	175.4	180.9	52.8	46.6	278.9	287.7
	60	26.3	18.7	153.7	157.1	35.0	24.9	204.6	209.1
	50	22.7	16.6	143.3	146.0	29.2	21.3	184.3	187.8

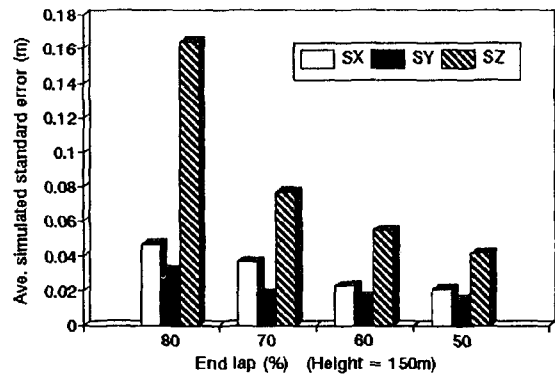


그림 6. 중복도에 따른 표준오차(비행고도=150 m)

각 1/700, 1/3000 축척의 지형도를 얻을 수 있었으므로 육안 조종이 가능한 비행고도 400 m 이내에서의 촬영으로도 요구하는 대축척 지형정보를 얻을 수 있었다.

4.2 촬영 중복도에 따른 정확도

표 5는 비행고도 150 m와 250 m에서 중복도를 각기 달리하여 촬영한 2매의 사진을 3점의 지상기준점으로 5~10점의 대상점의 3차원 좌표를 계산하고, 그 평균 표준오차를 도출한 결과로 이를 비교 도시하면 그림 6, 그림 7와 같다.

중복도를 80%에서 약 10%씩 감소시켜 촬영한 사진을 해석한 결과 기하학적 3차원 평균표준오차는 약 44%, 65%, 72% 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 촬영기선 고도비가 증가함에 따라 위치결정 정확도가 향

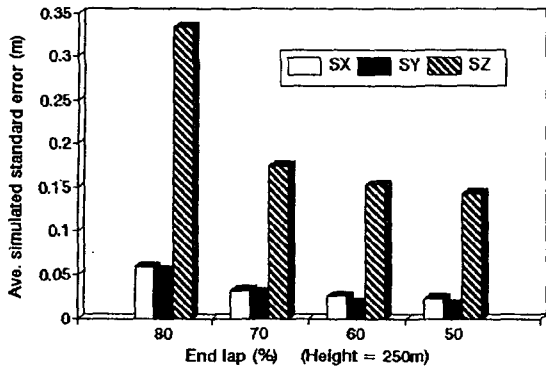


그림 7. 중복도에 따른 표준오차(비행고도=250m)

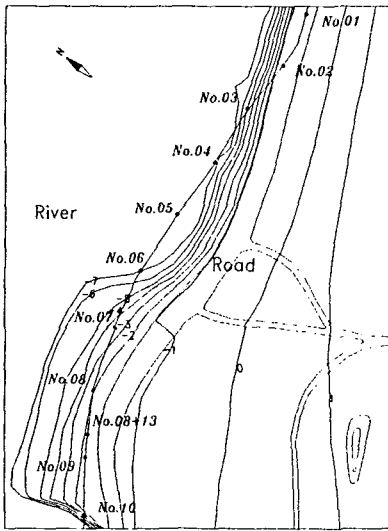


그림 8. 대상지역의 등고선도와 계획노선

상됨을 보여주는 것으로 공중촬영의 경우 50% 이상의 중복이 필수적이며 이상적인 중중복도를 60%로 채택하고 있는 현실에 비추어 볼 때 개발한 원격조종 촬영 시스템에 의한 이상적인 중복도도 60%로 하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

4.3 기본도 제작

수치화된 지형정보를 건설계획의 전산화 및 자동화 과정에 이용하여 그 효율성과 응용가능성을 제시하고자 충남 연기군 소재 금강변을 1차 적용대상지로 선정, 비행고도 약 250 m, 중복도 60%~75%로 1 스트립을 촬영하였다. 지상기준점은 대공표지점과 자연점을 병용하였으며, 대공표지점은 필름상 약 20 μm로 촬영되

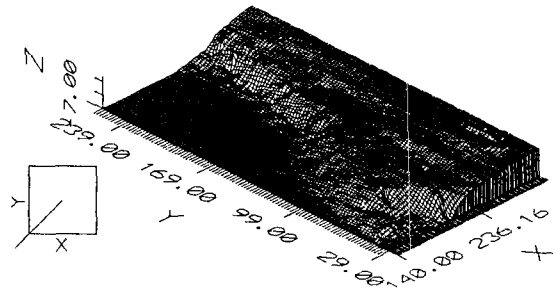


그림 9. 대상지역의 3차원 모델링

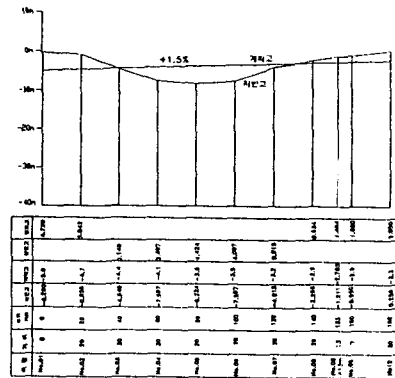


그림 10. 계획노선에 대한 종·횡단면도

도록 15 cm × 15 cm 크기의 타겟을 사용하였다. 지상기준점의 위치결정은 촬영 전 후 kinematic GPS방법으로 관측, TM좌표로 변환하여 사용하였다. 촬영에서는칼라 필름(ASA 400)을 사용하였다.

촬영한 사진은 정오차를 보정하고 지상기준점의 3차원 좌표와 사진좌표를 이용하여 해석도화기(Intergraph사)에서 표정(orientation)과정을 수행, 지형도를 작성한 후 이를 .DXF file로 출력하였다.

지형도의 등고선은 1m 간격으로 하였으며, 수치지형자료로부터 도로설계시 요구되는 자료를 추출하기 위해 지형도상에서 계획노선을 선정, 폭 8m의 계획노선에 대한 종 횡단면도를 작성하기 위해 3차원 좌표를 해석도화기상에서 직접 추출하였다. 그림 8은 대상지

역 중 일부지역의 지형도에 계획노선의 평면선형을 도시한 것이며, 그림 9는 같은지역에 대한 3차원 모델링한 결과를 도시한 것이다. 또한 계획노선에 대한 종 횡 단면도를 그림 10에 도시하였다.

5. 결 론

이상의 연구결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 개발한 촬영시스템은 지형정보가 요구되는 대상 지역에서 직접 이·착륙 할 수 있어 요구 되는 지형정보를 효율적으로 얻을 수 있고, 해석도화기에 의한 지형도 및 수치지형모델의 작성이 가능하므로 도로설계시 요구되는 평면선형도, 종 횡단면도, 토공량 등을 수치지형자료에 의해 신속하고 경제적으로 추출할 수 있다.

(2) 비행고도 100 m~400 m이내의 촬영으로 기대정확도에 상응하는 1/250~1/3,000의 대축척 지형도를 얻을 수 있었다.

(3) 도로, 하천 등 좁고 긴 지역에 대한 대축척 지형도의 제작 뿐만아니라 유적지와 같은 지역적 지역의 지형도 작성에도 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 사료되며, 특수필름을 이용한다면 대기, 수질 등 환경오염조사, 산림자원조사, 자연재해조사 등에도 그 이용이 기대된다.

이 논문은 1994년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

參考文獻

- 1) 강준목, 오원진, 윤희천, "Plumb Line Method에 의한 렌즈왜곡 보정에 관한 연구", 한국측지학회지, Vol. 7, No. 2, 1989, pp. 45-51.
- 2) 오원진, "비측량용 사진기에 의한 근접사진해석의 정확도 향상에 관한 연구", 박사학위논문, 충남대학교, 1992.
- 3) 강준목, 오원진, 이진덕, 배연성, "35 mm카메라를 이용한 지형정보 획득에 관한 연구", 대한토목학회개요집 II,

- 1993, pp. 462-265.
- 4) 강준목, 이용창, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(II)", 한국측지학회지, Vol. 11, No. 1, 1993, pp. 37-45.
- 5) 강준목, 윤희천, 배연성, "비측정용 카메라의 원격조종에 의한 대축척 지형정보 획득" 한국지형공간정보학회 논문집, 제 1 권, 제 2 호, 1993, pp. 177-184.
- 6) 이용창, "GPS에 의한 측지학적 정밀 3차원 좌표결정에 관한 연구", 박사학위논문, 충남대학교, 1994
- 7) 강준목, 배연성, 이용옥, "원격조종 공중사진측량에 의한 대축척 지형정보 획득", 대한토목학회개요집, 1994, pp. 533-536.
- 8) Arthur Roberts, Lori Griswold, "Practical Photogrammetry from 35 mm Aerial Photography", PE & RS, Vol. 52, No. 4, 1986, pp. 501-508.
- 9) C. S. Fraser, "Multiple Exposures in Non-Metric Cameras Application", Photogrammetria, PE & RS, Vol. 42, 1987, pp. 62-72.
- 10) David C. Goodrich, "A simple 35-mm SLR Photogrammetric system for Glacier measurements", PE & RS, Vol. 48, No. 9, 1982, pp. 1477-1485.
- 11) Donald L.Light, "The National Aerial Photography Program as a Geographic Information System Resource", PE & RS, Vol. 59, No. 1, 1993, pp. 61-65.
- 12) D.C. Brown, "Close-Range Camera Calibration", PE & RS, Vol. 37, 1971, pp. 855-866.
- 13) John F.Watkins & Hazel A.Morrow-jones, "Small Area Population Estimates Using Aerial Photography", PE & RS, Vol. 51, No. 12, 1985, pp. 1933-1935.
- 14) Keld S.Deuholm, "Mapping from Non-Metric Small-Frame Photographs using Multi-Model Photogrammetry", ISPRS, Commission V, 1992, pp. 97-93.
- 15) Oguz Mufuoglu, "A Data Reduction Approach Using the Collinearity Model from Non-Metric Photogrammetry", PE & RS, Vol. 59, No. 5, 1993, pp. 663-666.
- 16) Wolfgang Faig, Tian-Yuan Shih, "Should One Consider Combining Kinematic GPS with Aerial Photogrammetry?", PE & RS, Vol. 55, No. 12, 1989, pp. 1723-1725.
- 17) Sanjib K. Ghosh, "Analytical Photogrammetry" 2nd edition, Pergamon Press, 1988, pp. 159-176.