

무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 수치표고모형 작성

Process of Digital Elevation Model Using RC Helicopter Surveying System

장호식¹⁾

Jang, Ho Sik

Abstract

The study installed non metric camera which was a 10 Mega Pixel camera in RC Helicopter. And the study controlled images photographed in air on land, considering their overlap. The study could express DEM by abstracting TIN from the acquired images through image registration. Also, the study compared and examined accuracy between reference point and check point observed by Total Station which was a conventional type of survey. As the results, the study could get errors of $-0.194 \sim 0.224$ m on X axis, $-0.088 \sim 0.180$ m on Y axis and $-0.286 \sim 0.285$ m on Z axis. Expressing an error's RMSE in the checkpoint, the study could get of 0.021388 m on X axis, 0.015285 m on Y axis and 0.041872 m on Z axis. It is judged that the above photographing and analyzing technique are better than the existing Total Station to acquire more terrain elevation data.

Keywords : RC Helicopter, TIN, DEM, Digital Map

초 록

본 연구는 무선조정 헬리콥터에 1000만 화소 카메라인 비측량용 카메라를 장착하였다. 그리고 상공에서 촬영되는 영상을 지상에서 제어하면서 중복도를 고려하여 촬영하였다. 획득된 영상으로부터 영상정합에 의해 불규칙 삼각망을 추출하여 수치표고모형(DEM)을 나타낼 수가 있었으며, 재래적인 측량방식인 Total Station에 의해 관측된 기준점 및 검사점과의 정확도를 비교 검토한 결과 X방향으로는 $-0.194 \sim 0.224$ m, Y축으로는 $-0.088 \sim 0.180$ m, Z축으로는 $-0.286 \sim 0.285$ m 정도의 오차를 얻을 수 있었다. 또한, 검사점에 대한 오차의 RMSE를 표현하면, X축 방향으로 0.021388m, Y축 방향으로 0.015285m, Z축 방향으로 0.041872m로 나타났다. 이러한 사진촬영 및 분석 방법으로 기존의 Total Station 측량방법보다 더 많은 지형표고자료를 취득하는데 좋은 방법이라 판단된다.

핵심어 : 무선조정 헬리콥터, 불규칙 삼각망, 수치표고모형, 수치지도

1. 서 론

최근 우리나라는 주5일 근무제의 시행과 더불어 국내 여가활동 수요 폭이 점차적으로 증가함에 따라 도시 근교에서 많이 즐길 수 있는 기구를 이용한 레저 문화가 활성화되고 있다. 특히, 컴퓨터 시뮬레이터 기술의 발달과 더불어 무선으로 조정하는 기구들을 이용한 레저 문화를 가져오게 되었다.

이러한 레저 문화로부터 국내에서도 토목 및 건축 그리고 문화재 분야 등에서 조감도 사진촬영으로 많이 활용되고 있

으며, 학계에서도 국내외 많은 연구들이 진행되고 있다.

특히, 국내 측량분야에서는 이들의 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 비측량용 디지털 비디오 카메라(화소 : 69만)로 지상 및 무인항공 근접사진촬영으로 석조 문화재인 첨성대를 3차원 시각화 및 해석을 하여 RMSE가 6~16mm의 정확도로 취득하였고(장호식 등, 2005), 도로의 평면선형을 비측량용 디지털 카메라(화소 : 526만)로 촬영 및 분석하여 평면선형의 정확도가 X 및 Y방향으로 $-11.7 \sim 0.9$ cm로 추출하는 방법으로 발표하였다(장호식 등, 2005).

1) 정회원·경남도립 남해대학 조선토목계열 초빙부교수(E-mail:gpsjhs@namhae.net)

또한, 국외에서도 Rolleimetric 6006 카메라를 장착하여 연구 대상지역에서의 유적지 분포를 촬영하여 3차원 정보를 획득하였고(Theodoridou 등 2000), 무선조정 헬리콥터를 이용하여 고도 40~80m 사이에 있는 건축물의 지붕을 촬영하여 VRML(Virtual Reality Modeling Language)로 3차원 영상을 가시화 시켰으며, 정확도는 평균 $\pm 2\text{cm}$ 로 나타났다(Zischinsky 등, 2000).

따라서, 이러한 선행 연구 중 국내에서 기 발표된 논문 중 카메라의 화소가 69만 및 526만 화소에 따른 정확도를 분석한 것을 토대로 하여 본 연구에서는 활용도가 점차적으로 늘어나는 무선조정 헬리콥터 기체에 1000만 화소의 비측량용 디지털 카메라인 Nikon D80을 탑재하였다.

그리고, 원격으로 지상에서 촬영을 할 수 있는 영상전송장치를 설치하여, 상공에서 촬영되는 지표면의 영상을 지상에서 촬영할 수 있도록 하였고, 촬영된 영상은 영상정합에 의하여 불규칙 삼각망(TIN : Triangulated Irregular Network)으로 추출하였고 이 불규칙 삼각망은 지형의 수치표고모형(DEM : Digital Elevation Model)으로 추출하는데 이용하였다.

또한 재래적인 측량방식인 Total Station에 의해 관측된 기준점과 검사점이 수치사진측량에 의해 추출된 측점과의 차이를 나타내었고, 분석된 영상자료에서 구조물의 레이어를 추출하여 소규모 지역 또는 접근 불가능한 곳에서 의 현황도면을 편리하게 취득하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 영상획득 장비

2.1 무선조정 헬리콥터 사진촬영시스템

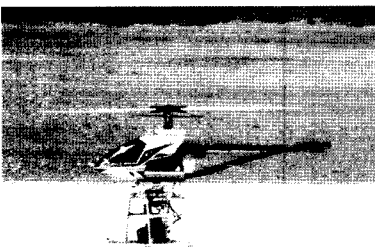
무선조정 헬리콥터 사진촬영시스템은 그림 1과 같이 무선(Radio Control)으로 조종되는 소형 헬리콥터의 기체

(a)와 헬리콥터의 받침대인 스키드에 카메라를 장착하여 축을 상하 약 90° 로 기울게 할 수 있으며, 좌우로 360° 로 회전하여 촬영할 수 있도록 하는 짐벌(Gimbal Mount)장치(b), 그리고 헬리콥터가 이동하면서 포착되는 장면을 지상의 모니터를 통해 촬영되는 영상을 제어하여 촬영하는 영상전송시스템(c)을 말한다. 특히, 카메라의 떨림 현상의 원인인 헬리콥터의 진동이나 롤링(Rolling) 및 피칭(Pitching)에 대하여 카메라의 셔터 속도를 $1/250$ 초 이상이면 이러한 현상을 제어할 수가 있어, 본 시스템에서는 카메라의 셔터 속도는 $1/4000$ 초로 하여 촬영을 하였다.

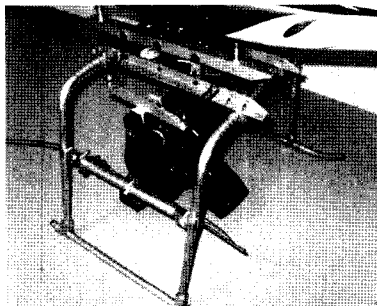
특히, 본 연구에서 사용된 무선조정 헬리콥터는 고 강도의 재질로 가볍고 튼튼하게 만들어진 HIROBO사의 FREYA EVO 90급을 사용하였다. 제원은 표 1과 같으며, 사용된 엔진은 표 2와 같이 한 개의 Glow 엔진(14.95cc)으로 메인로터(Main Rotor)와 테일로터(Tail Rotor)를 추진하고, 연료용량은 일반적으로 약 10~20분간 비행할 수 있다.

표 1. 무선조정 헬리콥터의 제원

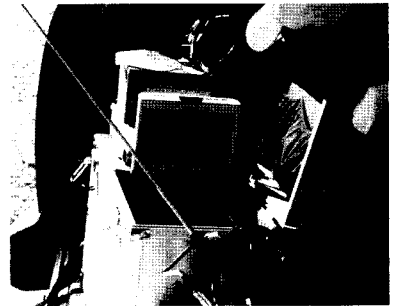
Name	FREYA EVO 90
Length	1,375 mm
Height	453 mm
Width	200 mm
Main rotor diameter	1,561 mm
Tail rotor diameter	270 mm
Gear ratio	7.9 : 1 : 4.77
Maximum payload weight	4,900 g
Maximum operation radius	200 m (depends on flight conditions)
Endurance	approximate 10~15 min.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템

표 2. 엔진 제원

Engine name	O.S MAX-91SX-H RING C-SPEC PS
Displacement volume	14.95 cc
Bore	27.7 mm
Stroke	24.8 mm
Output	3.1 ps/16,000 rpm
Rpm	2,000~16,000
Weight	581 g

2.2 카메라

수치사진측량에서의 가장 기초적이면서 중요한 부분은 카메라에 대한 렌즈의 검정이다. 카메라의 렌즈는 제작할 때의 상황에 따라 다소 제원들이 근소한 차이로 변화하며, 시간이 지남에 따라 제원들의 값이 변화하므로 사진 촬영하기 전에는 반드시 카메라의 렌즈 검정이 필요하다. 카메라 렌즈의 정확한 파라메타를 검정하기 위하여 본 연구에서는 그림 2와 같이 A4 또는 A3 용지 등에 가로 및

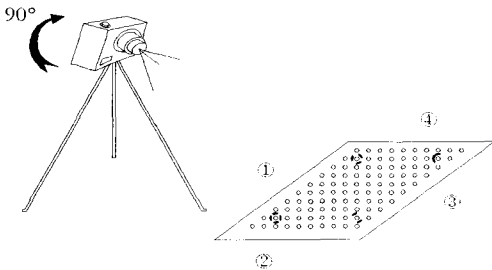


그림 2. 디지털 카메라 검정모습

세로로 일정한 간격으로 이루어진 100개의 원으로 된 용지에 ①, ②, ③, ④의 각 구간에서 촬영하였다. 그리고 카메라를 90° 회전시켜 각 구간에서도 촬영하여 얻은 총 8장의 사진을 가지고 검정하였다. 카메라 렌즈의 검정 방법은 그림 3과 같이 각 양쪽 상·하단에 나와 있는 기준점

표 3. 디지털 카메라의 제원

Classification	Nikon D80
Recording mode	CCD recode
Total pixels	10.2 Mega Pixel
Shutter	30 ~ 1/4,000 sec
Focal Length	f = 18 ~ 70
Size	132×103×77 mm
Weight	585 g

표 4. 디지털 카메라의 검정 제원

Calibration[Nikon D80 Digital Camera]			
Interior Orientation	Focal Length	17.6353 mm	
	Format Size	W	23.9179 mm
		H	16.0000 mm
	Principal Point	X	12.0447 mm
		Y	8.1006 mm
	Lens Distortion	K1	6.929e-004
		K2	1.185e-005
		P1	-9.939e-007
		P2	-7.085e-006
	Image Size	3,872×2,592 pixel	

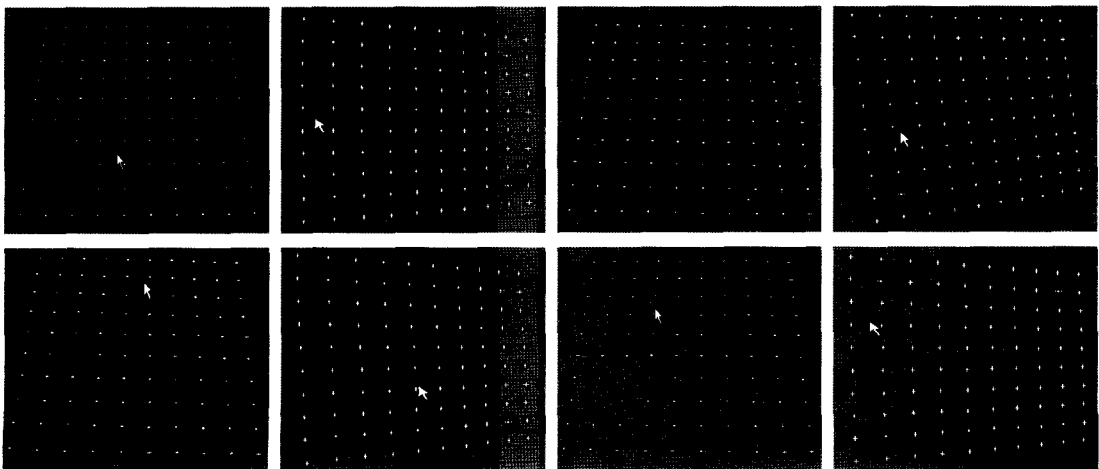


그림 3. 무카메라 검정의 영상

에 대하여 사진 S/W인 Photomodeler 5.0을 이용하여 자동 포인트 마킹으로 검정하였다. 따라서, 본 연구에서 사용된 관측 카메라는 표 3과 같이 Nikon사에서 제조한 D80 디지털 카메라를 사용하였고, 카메라에 대한 검정결과를 표 4에 나타내었다.

3. 현장관측 및 결과분석

3.1 현장관측

본 연구는 그림 4와 같이 경상남도 사천시에 있는 모형 비행장 활주로에서 Total Station을 이용하여 현황측량을 하였으며, 기준점 및 검사점에 사용된 타겟(Target)은 지름 8cm의 크기인 노랑색과 검정색의 십자 모형으로 좌우 대칭시켜 상공에서도 잘 보이도록 붙이는 종이(Sticker) 식으로 제작하였다. 그리고 각 측정점들의 배열은 일정한 간격이 없이 랜덤(Random)한 방식으로 설치하였으며, 사



그림 4. Total Station에 기준점 측량

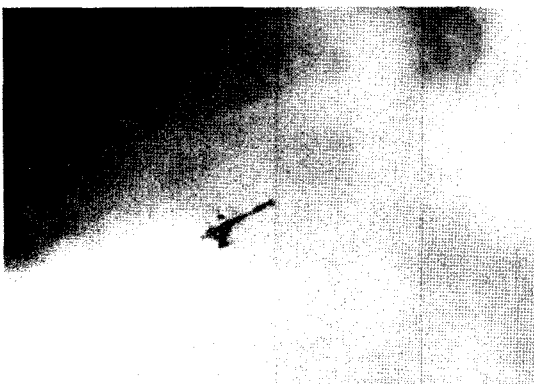


그림 5. 100m 상공에서 사진측량모습

용된 기준점은 넓은 형태에서 삼각형으로 이루어진 측정점들을 선택하였다.

그림 5는 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 지상에서 고도 약 100m 상공에서 15매의 영상을 취득하는 모습이다.

3.1 결과분석

취득된 영상으로부터 그림 6과 같이 사진측량 S/W인 Photomodeler 5.0 이용하여 취득된 영상중 3매로부터 상좌표 22점을 취득하였다. 이렇게 취득된 영상으로부터 반복된 표정점은 공선조건을 바탕으로 하여 다중영상정합에서 후방교회법 및 전방교회법을 동시에 실행하였다. 그리고 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표인 22점을 확보할 수가 있었으며, 이때 모형비행장 활주로의 레이아웃을 함께 나타낼 수도 있었다.

추출된 측정점들 중에서 770, 787, 788인 3점을 기준점으로, 나머지인 19점은 검사점으로 사용하여 기준점 및 검사점들을 Total Station에 의해 관측된 점과 비교하여 표 6에 나타내었다.

표 6에서 기준점 770, 787, 788번을 이용하여 영상을 모델링한 후의 검사점에 대한 상좌표 측정 결과와 Total Station에 의해 측량된 기준점 좌표와의 차를 나타내었다. 표 6과 같이 X방향으로는 -0.194~0.224m, Y축으로는 -0.088~0.180m, Z축으로는 -0.286~0.285m의 오차로 나타났다. 그리고 19개의 검사점에 대한 오차의 절대치 평균값은 X축 방향으로 0.070m, Y축 방향으로 0.075m, Z축 방향으로 0.168m로 나타났다. 또한 검사점에 대한 오차의 RMSE를 표현하면, X축 방향으로 0.021388m, Y축 방향으로 0.015285m, Z축 방향으로 0.041872m로 나

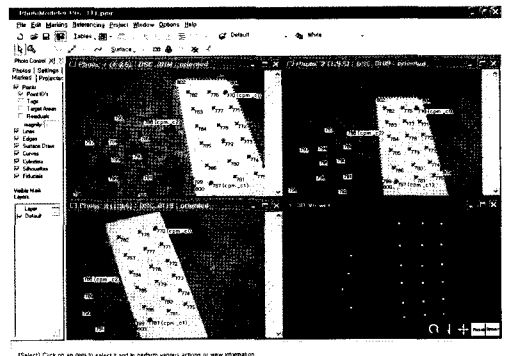


그림 6. 추출된 기준점 및 검사점

타났다.

그림 7은 암반, 사면 그리고 지형의 계측 및 분석을 할 수 있는 사진측량 S/W인 ShapeMetrix3D를 이용하여 취득된 영상 2매를 각각의 영상 중심을 기준으로 일치시켜 1차적으로 3차원 모델링화하고 다시 정밀하게 2차적으로 3차

원 모델링화하여 특징적인 점들을 정밀하게 일치 조정하였다. 그리고 무타켓 Total Station으로 관측된 기준점의 좌표를 입력하여 정사 3차원 모델링화하여 나타내었다.

그리고 그림 8은 모형비행장 일부분의 활주로에 해당되는 영상부분을 정사 3차원 모델링화하여 불규칙 삼각

표 6. 추출된 기준점과 검사점의 오차

Point	Measurement Coordinates (m)			3D Modeling Coordinates (m)			vx	vy	vz	Remark
	X	Y	Z	X	Y	Z				
770	51.413	145.607	100.044	51.413	145.607	100.044	0.000	0.000	0.000	Reference
771	52.850	140.850	100.040	52.818	140.806	99.841	0.032	0.044	0.199	Check
772	54.112	136.182	99.799	54.090	136.270	100.080	0.022	-0.088	-0.281	Check
773	55.200	132.240	100.090	55.285	132.152	99.805	-0.085	0.088	0.285	Check
774	56.250	128.190	100.100	56.390	128.137	99.908	-0.140	0.053	0.192	Check
775	57.110	124.680	100.130	57.304	124.660	100.090	-0.194	0.020	0.040	Check
776	55.570	146.970	100.070	55.539	147.000	100.024	0.031	-0.030	0.046	Check
777	57.030	142.070	100.070	57.053	142.010	99.938	-0.023	0.060	0.132	Check
778	58.470	137.330	100.100	58.514	137.242	99.889	-0.044	0.088	0.211	Check
779	59.650	133.300	100.120	59.707	133.230	99.841	-0.057	0.070	0.279	Check
780	60.770	128.950	100.100	60.840	128.925	99.918	-0.070	0.025	0.182	Check
781	61.450	125.720	100.130	61.540	125.734	100.041	-0.090	-0.014	0.089	Check
782	60.780	148.570	100.100	60.835	148.546	100.222	-0.055	0.024	-0.122	Check
783	62.030	143.390	100.100	62.069	143.289	100.049	-0.039	0.101	0.051	Check
784	63.280	138.740	100.090	63.305	138.635	99.957	-0.025	0.105	0.133	Check
785	64.360	134.680	100.100	64.364	134.600	99.944	-0.004	0.080	0.156	Check
786	65.550	129.900	100.100	65.547	129.861	99.989	0.003	0.039	0.111	Check
787	62.959	119.259	100.117	62.959	119.259	100.117	0.000	0.000	0.000	Reference
788	63.743	115.438	100.090	63.743	115.438	100.090	0.000	0.000	0.000	Reference
789	75.490	140.590	99.990	75.429	140.422	100.163	0.061	0.168	-0.173	Check
790	78.070	137.350	99.930	77.939	137.170	100.153	0.131	0.180	-0.223	Check
791	77.530	132.560	99.930	77.306	132.412	100.216	0.224	0.148	-0.286	Check

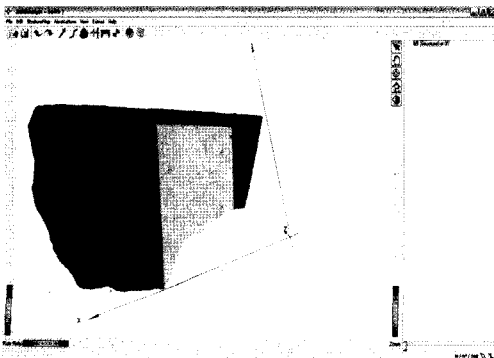


그림 7. 정사 3차원 모델

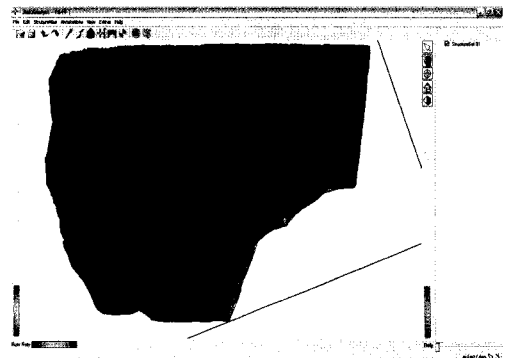


그림 8. 불규칙 삼각망(TIN)

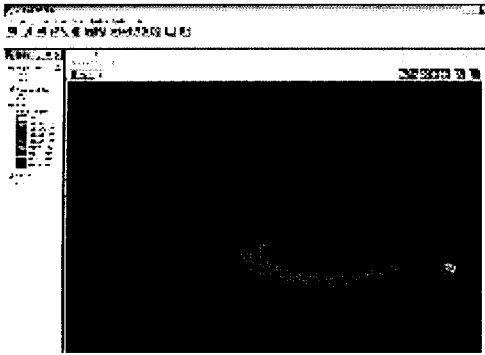


그림 9. 추출된 수치 표고 모델(DEM)

망(TIN)을 형성하였고, 그림 9는 수치표고모형으로 이미 형성된 불규칙 삼각망을 이용하여 추출된 모형비행장 활주로의 레이어와 측량 현황도면을 가지고 수치표고모형(DEM)으로 중첩시켜 표현하였다. 따라서, 이러한 측량 방법은 기존의 측량방법인 Total Station을 이용하여 현황측량을 하는 경우 많은 측점들의 변곡점 및 중요 측점 부위만 측량된 점에서 벗어나 중첩된 영상내에서의 모든 지형의 표고자료가 획득되는 장점이 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 촬영된 영상으로부터 영상 정합에 의해 수치지형모형(DEM)을 추출하고 재래적인 측량방식인 Total Station에 의해 관측된 기준점 및 검사점과의 정확도를 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 자동으로 추출된 검사점과 Total Station에 의해 측량된 기준점

과 비교한 결과 X방향으로는 $-0.194 \sim 0.224\text{m}$, Y축으로는 $-0.008 \sim 0.180\text{m}$, Z축으로는 $-0.286 \sim 0.285\text{m}$ 정도의 오차를 얻을 수 있었고, 검사점에 대한 오차의 RMSE를 표현하면, X축 방향으로 0.021388m , Y축 방향으로 0.015285m , Z축 방향으로 0.041872m 로 나타났다.

둘째, 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템에 의해 촬영된 영상으로부터 수치 사진측량 프로그램인 Photomodeler 5.0과 Shape Metrix^{3D}을 응용하여 불규칙 삼각망(TIN)과 Total Station으로 측량된 현황도를 중첩하여 수치 표고모형(DEM)으로 표현할 수 있었다.

셋째, 이러한 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 좁은 지역 및 접근하기 곤란한 소규모의 지역에서 현황도면을 제작시에 기존의 Total Station 측량방법보다 더 많은 지형표고자료를 취득할 수가 있다고 판단된다.

참고문헌

- 장호식, 노태호 (2005), 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 도로의 평면선형정보 추출, 한국지리정보학회지, 제8권, 제4호, pp. 44-51.
- 장호식, 김진수, 이종출 (2005), 무선조정 헬리콥터와 지상사진측량시스템에 의한 석조 문화재 해석, 대한토목학회논문집, 제25권, 제1D호, pp. 151-158.
- Sofia Theodoridou, Kostas Tokmakidis and Dimitris Scarlatos (2000), Use of Radio-Controlled Model Helicopters in Archaeology Surveying and in Building Construction Industry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam, pp. 825-829.
- Thomas Zischinsky, Lionel Dorffner and Franz Rottensteiner (2000), Application of a New Model Helicopter System in Architectural Photogrammetry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam, pp. 117-183.

(접수일 2007. 5. 12, 심사일 2007. 6. 4, 심사완료일 2008. 4. 21)