

무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용한 도로 절개지 붕괴사면 3차원 입체 지형 추출 3D Stereoscopic Terrain Extraction of Road Cut Failure Slope Using Unmanned Helicopter Photography System

장호식¹⁾
Jang, Ho Sik

Abstract

Acquisition of information on failure slope, which may cause apprehension of second hand damage, requires acquisition of fast and accurate topographical data and efficient expression in indirect surveying method without accessing as needed. Therefore, in this study, the images on the intended area were photographed through hovering in the air by approaching collapsed road cut slope with the use of unmanned helicopter photography system.

As a result of comparing the points observed by no prism total station and the 10 coordinate points analyzed through image analysis, the averages of absolute values were shown to be 0.056m in X axis direction, 0.082m in Y axis direction and 0.066m Z axis direction. In addition, the RMSE of the error for 10 points of test points were 0.015636m in X axis direction, 0.021319m in Y axis direction and 0.018734m in Z axis direction.

Therefore, this method can determine the range of slope and longitudinal and cross sections of each slope in dangerous area that cannot be approached in relational image matching method for the terrains of such collapsed cut slope.

Keywords : Unmanned Helicopter Photography System, 3D Stereoscopic Terrain, Cut Failure Slope, Relational Image Matching

초 록

붕괴된 사면의 정보는 제2차 피해의 발생 우려가 있기 때문에 신속 정확하게 지형자료를 획득할 수 있어야 하고, 필요에 따라서 접근하지 않고 간접적인 측량방식으로 보다 효율적으로 표현할 수도 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용하여 붕괴된 도로 절개지 사면에 근접하여 상공에서 정지비행으로 대상 지역의 영상을 촬영하였다.

그리고, 무타켓 Total Station에 의해 관측된 점과 영상해석에 의해 분석된 좌표점 10개와 비교한 결과 절대치 평균값은 X축 방향으로 평균 0.056m, Y축 방향으로 0.082m, Z축 방향으로 0.066m으로 나타났다. 또한, 검사점 10점에 대한 오차의 RMSE는 X축 방향으로 0.015636m, Y축 방향으로 0.021319m, Z축 방향으로 0.018734m 로 나타났다.

따라서, 이러한 절개지 붕괴사면의 지형에 대하여 관계형 영상정합방법에 의해 접근하지 못하는 위험지역에서의 사면 범위와 각 사면의 종·횡단면을 나타낼 수가 있었다.

핵심어 : 무인 헬리콥터 사진촬영시스템, 3차원 입체 지형, 붕괴 사면, 관계형 영상정합

1. 서 론

최근 우리나라는 신 국토종합개발이라는 명목 아래

전 국토에 대한 균형개발을 실행하는 중장기 프로젝트를 실시하고 있다. 이러한 균형 개발에서 인프라 구축을 위해 지방도로, 고속철도, 하천정비 등의 구조물이 많이

1) 정회원 · 경남도립남해대학 조선토목계열 초빙부교수(E-mail:gpsjhs@namhae.ac.kr)

건설될 것이다. 그러나 산악지역이 70% 이상인 우리나라는 국토 개발시 부득이한 경우 사면을 절개하는 시공이 이루어지고 있다. 이로 인한 절개된 새로운 사면에서의 붕괴는 국토를 건설하는 과정에서 빈번히 발생되고 있다. 이러한 붕괴된 사면을 원인 규명하기 위해 붕괴된 사면에 대한 지형 자료가 필요하다. 따라서 지형 자료를 구축하는 방법으로는 접근식에 의한 방법과 비접근식 방법으로 나누어져 있다.

접근식에 의한 사면 정보 구축 방법은 종래에 실시하던 프리즘(Prism)에 의한 광파(Total Station) 측량방법이 있다. 그리고 비접근식 측량방법으로는 프리즘이 없는 무타켓(Non Prism) 광파측량방법(김준석, 2007)과 레이저 스캐너(Laser Scanner)방법(김열 2009, 장용구 등 2006)과 디지털 카메라(Digital Camera)를 활용하여 많은 점군 자료를 취득하는 방법(류동우 등, 2000)이 활용되고 있다.

그러나 접촉식 측량방법은 실측 및 보간법에 의해 붕괴된 사면에서 직접 위험을 감수한 채 붕괴된 사면 비탈면에 접근하여 측량하는 방식으로 현장 보존과 안전사고 측면에서는 권장할 만한 방법이 아니다. 그리고 비접촉식 측량 방법인 무타켓에 의한 광파측량방법은 무수히 많은 점들을 일일이 측정을 하기 때문에 많은 시간을 초래하는 단점이 내포되어 있다.

또한 비접촉식 측량 방법인 레이저 스캐너는 최근에 토목, 건축, 문화재 등에서 많이 활용하고 있는 최선의 장비로써 한번에 정확한 측점 자료와 많은 양의 점군 자료를 취득할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이는 고가의 장비로 아직 중·소규모 실무 현장에서는 적용이 미비한 실정이며, 자료 취득에 있어 장비가 크고 무게가 많이 나가므로 운반하기에도 곤란한 단점을 가지고 있다. 그리고 디지털 카메라를 이용한 비접촉식 사진측량 방법은 컴퓨터에 의해 자료처리가 빠르고 휴대가 간편하고 기동성이 뛰어난 장점이 있어 전자에 의한 측량방법에서 발생하는 단점들을 보완할 수 있는 비 접촉식 측량 방법이다.

이러한 사진측량의 연구로는 다양한 분야로 연구되고 있으며, 국내에서의 무인 헬리콥터를 이용한 사진촬영 방법으로 얻어진 영상을 가지고 분석된 연구는 다음과 같다.

장호식 등(2005)은 도로의 중심선 좌표 및 기타 도로시설물을 추출하는 새로운 방법을 제시하였고, 조용재 등(2007)은 절취사면의 사면경사계수 및 토양피복계수를 영상분석을 이용하여 보다 정확한 값을 산정하였다. 장호식

(2008)은 1000만 화소 카메라인 비측량용 디지털 카메라를 이용하여 수치표고모형(DEM)을 작성하는 방법을 제시하였다. 또한 김형준(2009)은 지역적인 해안선 변화를 시기 적절하고 저렴하게 탐측할 수 있는 항공촬영 장비인 무선조정 헬리콥터에 디지털 카메라를 장착한 무인헬기 사진측량시스템을 구축하였다.

국외에서는 우리나라에 앞서 연구가 진행되었으며, 사람이 접근하기 어려운 지형이나 위험한 곳에서 촬영이 가능한 무선조정 사진촬영시스템 개발하였으며(Miller, 2002), GPS 및 무인헬기 사진촬영으로 교량 구조물을 안전 진단을 한바가 있다(Norris, 2003).

따라서, 본 연구에서는 이러한 연구가 최근에 국내에서도 연구가 활발히 진행중에 있는 무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용하여 붕괴된 절토지 사면을 접근하지 않고 무인으로 항공에서 사진촬영을 하여 취득된 영상으로부터 붕괴된 절개지 사면의 지형을 취득하는 방법 및 정확도에 대하여 검토하고자 한다.

2. 무인 헬리콥터 사진촬영시스템의 특징 및 3차원 입체 지형 해석이론

2.1 무인 헬리콥터 사진촬영시스템 특징

무인 헬리콥터 사진촬영시스템은 최근 우리나라에서 주5일 근무제의 시행과 더불어 국내 여가 활동 수요의 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 이용하는 문화를 가져옴에 따라 국내에서도 이들을 이용하여 토목 및 건축 그리고 문화재 분야 등에서도 조감도 사진촬영으로 많이 활용되고 있다.

무인 헬리콥터 사진촬영시스템은 무선(Radio Control)으로 조종되는 소형 헬리콥터의 기체와 헬리콥터의 진동이나 롤링(rolling)에 관계없이 지평면과 수평 상태를 유지할 수 있는 짐벌(Gimbal Mount)장치에 카메라를 장착하고 헬리콥터가 이동하면서 포착하는 장면을 지상의 모니터를 통해 촬영되는 영상을 제어하면서 촬영하는 시스템을 말한다.

특히, 본 연구에서의 무인 헬리콥터는 저가의 기체 비용과 컴퓨터 시뮬레이터 기술의 발달과 더불어 단기간 안에 조종기술을 배워서 직접 제어를 할 수가 있으므로 경제성, 기동성, 신속성면에서 뛰어나다고 볼 수 있다.

그리고 본 연구에서 사용되는 헬리콥터 기체는 72.670MHz 인 라디콘이라는 전파를 사용하기 때문에 상공에서는 800~1,000m 이고 지상에서는 평지라도 300~400m 정도밖에 안되므로 전파 도달거리를 유념하여야 하며, 실제 조정은 조정자의 눈으로 기체의 형태가 확인이 가능한 안전한 거리(약 200m)를 두어 비행고도를 유지할 수 있다. 또한 촬영의 편리성을 도모하고자 초보자 및 고급 응용 조정자라도 높은 고도에서의 수평비행을 쉽게 하기 위하여 GENERAL LASER사의 수평안전비행장치(Stabilizer)로 이는 제어부분(22×25×8mm, 11g)과 센서부분(28×34×9mm, 16g)으로 구분되어 있다. 사용전류는 4V~10V을 사용하고 있으며 전송출력은 20mA로 현장에서 초기치 설정을 하여 비행을 하면 높은 고도에서도 수직 영상을 취득할 수가 있다.

본 연구에서 사용된 무인 헬리콥터는 HIROBO사의 FREYA EVO 90급을 사용하였다. 형상 및 제원은 Fig. 1과 Table 1과 같으며 본 연구에서 사용된 무인 헬리콥터는 고강도의 재질로 가볍고 튼튼하게 만들어졌으며, Table 2와 같이 엔진의 제원은 한 개의 glow 엔진(14.95cc)으로 메인 로터(main rotor)와 테일로터(tail rotor)를 추진하고, 연료용량은 일반적으로 약 10~15분간 비행할 수 있다.

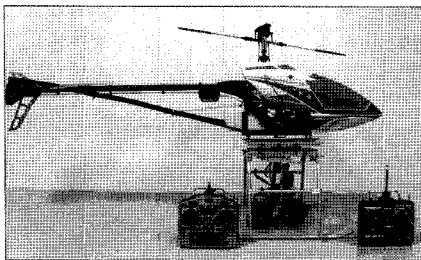


Fig. 1 Unmanned Helicopter Body

Table 1. Specifications of Unmanned Helicopter

Name	FREYA EVO 90
length	1,375 mm
Hight	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
working distance	200m(depends on flight conditions)
Endurance	approximate 0 ~ 15 minutes

Table 2. Specifications of Engine

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

또한, 카메라를 제어할 수 있는 무선 조정기인 프로포셔널(Proportional)은 지상에서 무인 헬리콥터에 의해 촬영되는 영상을 지상에서 제어할 수 있도록 축을 상·하(약 90°)로 기울게 할 수 있고, 좌·우(360°)로도 회전 가능하도록 설계되어 있다. 그리고, Fig. 2는 헬리콥터의 이·착륙장치로써 가벼운 알루미늄 재질로 이루어진 쇠살대 부분으로 되어 있으며, 이와 같은 카메라 장치대에 소형(35mm) 카메라, 디지털 비디오카메라를 탑재하여 사용할 수 있다. 또한, 중형(6×4.5cm), 파노라마(6×12cm), DV(6mm 3CCD), 35mm film movie 등을 탑재시에는 보다 성능이 뛰어난 헬리콥터 기종(가솔린 엔진 26cc)을 선택하여 사용할 수 있다.

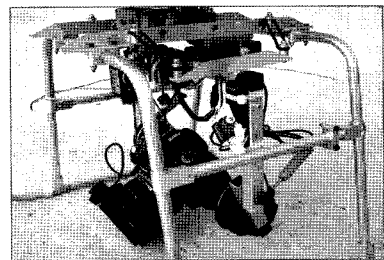


Fig. 2 Gimbal Mount

2.2 3차원 지형 해석이론

무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용한 자료기반 구축의 흐름도는 Fig. 3과 같으며, 사진측량학이란 지표면과 기타의 대상물을 촬영한 사진을 이용하여 3차원(X, Y, Z)의 위치를 결정하는 기술 혹은 학문으로, 1장의 사진을 이용해서 찍혀져 있는 각 물체의 위치를 측량하는 사진법과 연속으로 중복 촬영된 2장 이상의 사진을 이용해서 평면위치(X, Y) 및 높이(Z)를 측량하는 입체사진 측량법이 있다.

본 연구의 분석원리로는 입체 영상중 한 영상의 위치에 실제의 객체가 다른 영상의 어느 위치에 형성되었는

가를 발견하는 작업으로서, 서로 상응하는 위치를 발견하기 위해서 유사성 관측을 이용하며 Fig. 4와 같이 본 연구에 사용된 ShapeMetrix^{3D}의 프로그램은 관계형 영상정합에 의한 방법을 적용하고 있다.

Fig. 3에서 카메라 검정은 Nikon D80 카메라로 Fig 5와 같이 10 × 10인 원으로 이루어진 A3 용지에 ①, ②, ③, ④ 구역에서 촬영 및 카메라를 90° 회전시켜서 각각 촬영한 결과 총 8매의 영상을 얻었다. 얻어진 영상을 이용하여 Photomodeler 프로그램에서 카메라 검정 결과 Table 3과 같다.

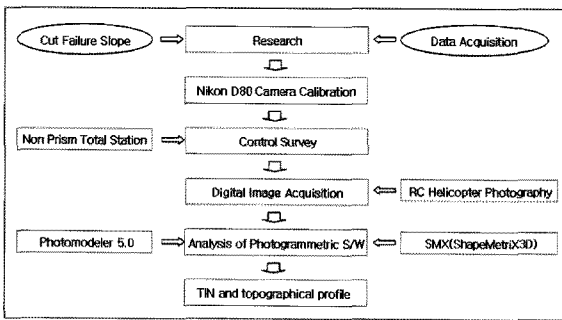


Fig. 3 The Flow Chart of Study

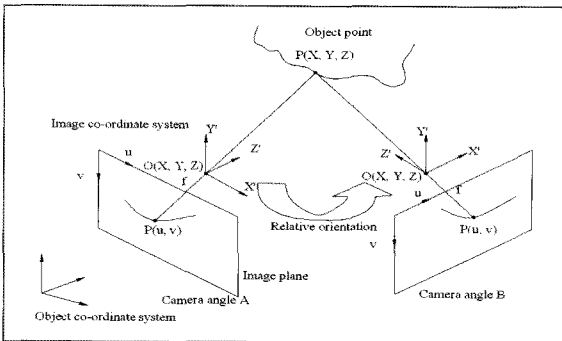


Fig. 4 Relational Image Matching

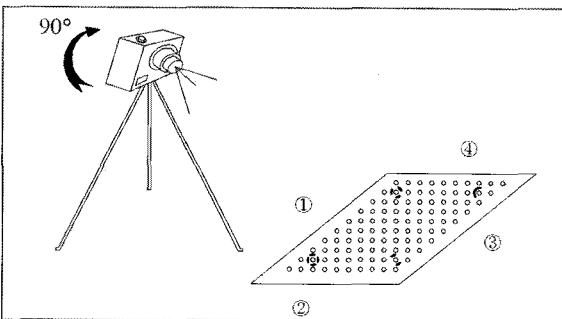


Fig. 5 A view of Calibration Surveying

Table 3. Data of Camera Calibration

Calibration[Nikon D80 Digital Camera]			
Interior Orientation	Focal Length	17.6353mm	
	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	

3. 관측 및 결과값 해석

3.1 사진촬영

본 연구는 Fig. 6과 같이 부산광역시 기장군 부산-울산 고속도로 구간내에 있는 사면 일부 구간으로 화산암류에 해당하는 안산암질로 구성되어 있으며, 풍화토 혹은 풍화암 등의 불량한 지반으로 구성되어 있다.

붕괴원인으로는 지반상태 불량 및 집중호우로 인한 원호 파괴형태의 사면으로 무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용하여 Fig. 7과 같이 입체 영상을 확보하기 위해 좌·우 사진을 상공에서 GENERAL LASER사의 수평안전비행장치(Stabilizer)를 사용하였으며, 이는 제어부분(22×25×8mm, 11g)과 센서부분(28×34×9mm, 16g)으로 구성되어 있다. 수평안전비행장치는 현장에서 초기치 설정을 완료하면 호버링(Hovering)으로 붕괴된 사면의 영상을 각각 손쉽게 취득할 수 있다. 이때 촬영된 무인 헬리콥터간의 위치거리는 약 13m 이며, 촬영대상면과의 지상고도는 약 30m 이다.



Fig. 6. Area of Observation

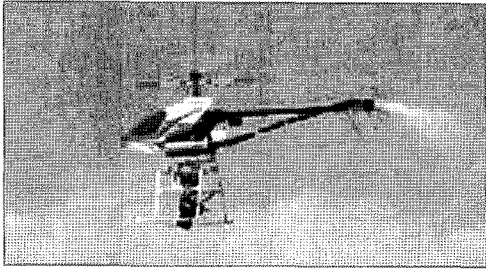


Fig 7. Hovering

3.2 지상기준점 측량

본 연구에 사용된 지상기준점은 붕괴된 사면에서 Table 4와 같이 정확도가 $\pm(3+2\text{ppm} \times D)$ 을 가진 무타켓에 의한 Total Station 측량방법을 적용하였으며, 지상기준점은 붕괴된 사면에 중심이 식별 가능한 지름 75mm 원형 타켓을 총 13점(기준점 3점, 검사점 10점)을 붕괴된 사면지역에 설치하였다. 설치된 기준점은 X, Y, Z로 상대좌표로 표기하였다.

3.3 결과값 해석

Fig 8과 같이 붕괴된 사면에서 13점의 좌표를 설치하고 기준점 좌표(Δ) 3점과 상좌표(\circ) 10점을 획득하기 위해 정지영상을 사진해석 소프트웨어인 EOS System사의 Photomodeler 5.0을 이용하여 취득된 영상 3매를 활용하여

Table. 4 Specifications of Non Prism Total Station

Observation of Angle		
Minimum Angle / Degree		1" / 2"
Observation of Distance		
Surveying Method		TOF
Laser Output Range	Non Prism	Class 3(Max. 5mW)
	Prism	Class 1(Max. 0.22mW)
Surveying Range	Non Prism	0.3~350m
	Prism	1.3~5,000m
Accuracy (D=mm)	Non Prism	$\pm(3+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$
	Prism	$\pm(2+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$

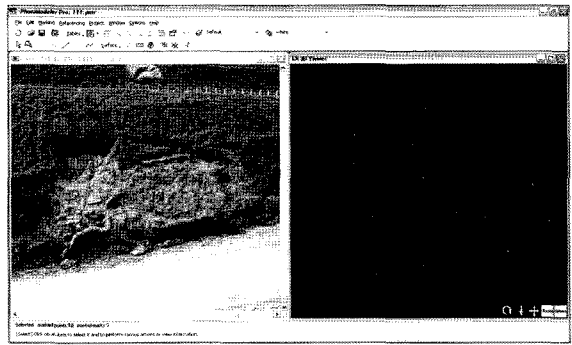
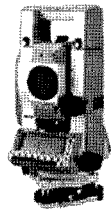


Fig 8. Control Point and Image Point

Table 5. The Errors of Base Points

Point	Total Station Surveying(m)			3D Modeling Process(m)			vx(m)	vy(m)	vz(m)	remark
	X	Y	Z	X	Y	Z				
1	135.300	72.612	99.837	135.350	72.645	99.832	-0.050	-0.033	0.005	check point
2	127.605	68.968	98.040	127.605	68.968	98.040	0.000	0.000	0.000	reference point
3	132.276	74.077	97.106	132.298	74.027	97.103	-0.022	0.050	0.003	check point
4	126.045	70.832	95.747	126.097	70.912	95.653	-0.052	-0.080	0.094	check point
5	131.437	77.180	94.655	131.422	77.111	94.573	0.015	0.069	0.082	check point
6	124.683	76.101	92.142	124.783	76.175	92.029	-0.100	-0.074	0.113	check point
7	121.769	80.370	88.199	121.835	80.362	88.317	-0.066	0.008	-0.118	check point
8	126.445	83.487	89.097	126.445	83.487	89.097	0.000	0.000	0.000	reference point
9	132.350	82.084	92.381	132.285	81.939	92.271	0.065	0.145	0.110	check point
10	134.577	84.341	91.997	134.473	84.237	91.917	0.104	0.104	0.080	check point
11	139.872	85.284	94.398	139.927	85.129	94.425	-0.055	0.150	-0.027	check point
12	139.366	88.103	91.686	139.366	88.103	91.686	0.000	0.000	0.000	reference point
13	134.738	88.033	90.137	134.707	87.928	90.165	0.031	0.105	-0.028	check point
Average							0.056	0.082	0.066	

상좌표 13점을 취득하였다. 취득된 영상으로부터 반복된 표정점은 공선조건에 의한 다중영상정합으로 관측된 3차원 좌표인 13점을 확인할 수 있었다. 추출된 3점(2, 8, 12번)을 기준점으로 나머지 10점은 검사점으로 사용하여 무타켓 Total Station에 확인된 점과 비교하여 Table. 5에 나타내었다.

Table 5에서 기준점 2, 8, 12를 제외한 나머지 10개의 X 좌표값은 -0.100m ~ 0.104m, Y 좌표값은 -0.080m ~ 0.150m, Z 좌표값은 -0.118m ~ 0.113m로 나타났으며, 절대치 평균값은 X축 방향으로 평균 0.056m, Y축 방향으로 0.082m, Z축 방향으로 0.066m으로 나타났다.

그리고, 검사점 10점에 대한 오차의 RMSE는 X축 방향으로 0.015636m, Y축 방향으로 0.021319m, Z축 방향으로 0.018734m로 나타났다.

Fig. 9는 3G Software & Measurement인 ShapeMetriX^{3D}을 이용하여 무인 헬리콥터 사진촬영시스템에 의해 촬영된 2매의 영상을 가지고 객체의 점, 선, 면의 밝기값 등을 이용한 관계형 영상정합 방법으로 영상 중심을 기준으로 일치시켜 1차적으로 3D 모델링화하고 다시 정밀한 2차 모델링화시키기 위해 양쪽에서 촬영된 영상을 서로 일치하는 점 및 선 그리고 면의 밝기값 등의 요소들을 일치하게 조정 한 다음에 사진촬영시 정해두었던 기준점을 무타켓 Total Station으로 측량한 좌표(2, 8, 12번)를 입력하여 3D 입체 지형을 모델링화하여 나타내었다.

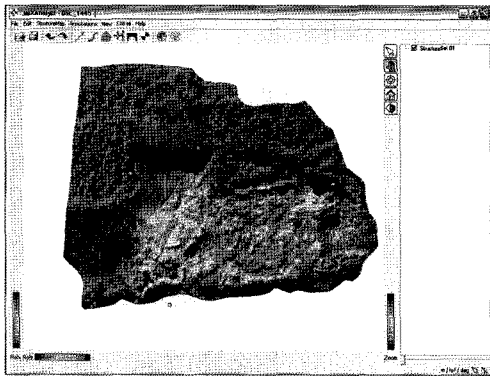


Fig. 9 3D Steroscopic Terrain

또한 Fig. 10은 입체면 사진면상의 평면 및 수직단면의 정사작업 후 이미지 파일로 전환하여 붕괴된 사면의 범위와 각 사면의 종·횡단면을 도화하여 CAD File로 나타낸 것이며, 이를 자료와 붕괴된 사면의 정보를 TIN File과 중첩하여 Fig. 11에 나타내었다.

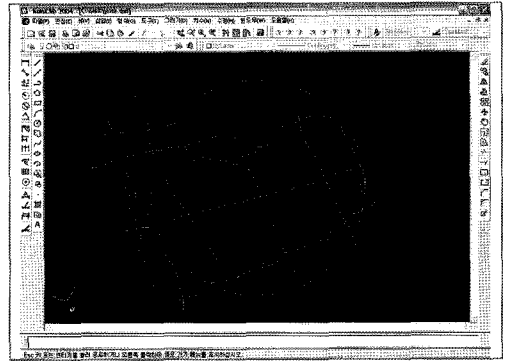


Fig. 10 Profile & Cross Section

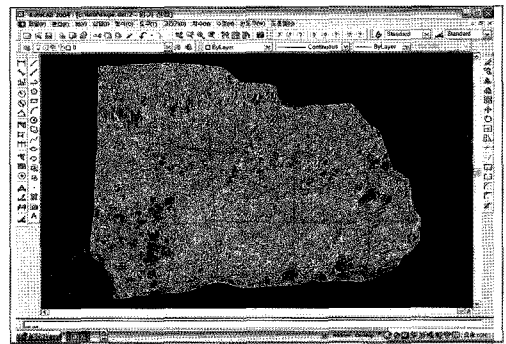


Fig. 11 Information of Cut Failure Slope

4. 결 론

본 연구는 무인 헬리콥터 사진촬영시스템을 이용하여 붕괴된 절토지 사면을 접근하지 않고 무인으로 항공에서 사진촬영을 하여 취득된 영상으로부터 붕괴된 절개지 사면의 지형을 취득하는 방법 및 정확도에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

무인 헬리콥터 사진촬영시스템은 정지비행이 가능하기 때문에 위험지역에서의 사진촬영시 접근하지 않고도 대상지역의 영상을 확보할 수가 있었다. 무타켓 Total Station에 의해 관측된 점과 비교한 결과 좌표점 10개에 대하여 X 좌표는 -0.100m ~ 0.104m, Y 좌표는 -0.080m ~ 0.150m 그리고 Z 좌표는 -0.118m ~ 0.113m로 나타났으며, 절대치 평균값은 X축 방향으로 평균 0.056m, Y축 방향으로 0.082m, Z축 방향으로 0.066m으로 나타났다.

그리고, 검사점 10점에 대한 오차의 RMSE는 X축 방향으로 0.015636m, Y축 방향으로 0.021319m, Z축 방향으로 0.018734m로 나타났다.

따라서, 절개지 붕괴사면의 지형에 대하여 관계형 영

상정합방법에 의해 접근하지 못하는 위험지역에서의 사면 범위와 각 사면의 종·횡단면을 나타낼 수가 있었다.

참고문헌

- 김열 (2009), 지상 LiDAR를 이용한 사면변위 모니터링 기법, 석사학위논문, 관동대학교.
- 김준석 (2007), 무프리즘 토탈스테이션을 이용한 산사태 징후 모니터링, 석사학위논문, 강원대학교.
- 김형준 (2009), 무인헬기 사진측량시스템의 정확도 향상에 관한 연구, 석사학위논문, 군산대학교.
- 류동우, 이유리, 장운섭, 이희근, 박형동 (2000), 화상처리 및 입체사진측량학을 이용한 암반 절리 조사 시스템, 한국암반공학회, 터널과 지하공간, 제10권, pp. 329-343.
- 장용구, 곽영주, 강인준. (2006) 지상 LiDAR를 활용한 접도 사면 위험평가에 따른 GIS관리, 대한토목학회논문집, 제26권 제1D호, pp. 169-175.
- 장호식, 노태호 (2005), 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 도로의 평면선형정보 추출, 한국지리정보학회지, 제8권, 제4호, pp. 44-51.
- 장호식 (2008), 무선조정 헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 수치표고모형 작성, 한국측량학회지, 제26권, 제2호, pp. 111-116.
- 조용재, 이영도, 정법석 (2007), 무선조정 헬기 영상을 이용한 절취단면의 토사유출인자 산정, 한국지리정보학회지, 제10권, 제2호, pp. 82-90.
- Brian Norris, James W., *Close-Range Photogrammetric Measurement for structural Analysis*, Nova Award Nomination 29, 2003.
- R. Miller, *A 3D Color Terrain Modeling System for Small Autonomous Helicopters*, The Robotics Institute Carnegie Mellon University, Ph. D. Dissertation in Robotics, 2002.

(접수일 2010. 07. 20, 심사일 2010. 08. 12, 심사완료일 2010. 10. 26)