지상 LiDAR에 의한 사면안전진단용 지형정보 취득

A Terrain Data Acquisition for Slope Safety Inspection by Using LiDAR

이종출¹⁾ · 김희규²⁾ · 노태호³⁾

Lee, Jong Chool · Kim, Hee Gyoo · Roh, Tae Ho

Abstract

As heavy rains occur more frequently due to the recent climate change, slope collapses are increasing, and damage to human life and properties is accordingly increasing every year. The most proper method to take preventive measures against slope collapses is to remove the cause after understanding the cause of slope collapse in advance, and for such, slope safety inspection is implemented for preventive purposes, to investigate the cause, and as a measure for restoration. Thus, this Research was able to reach the following conclusion after utilizing LiDAR, which obtains detailed topographic information in a short period of time with point cloud data on slopes subject to safety inspection. First, as a result of analyzing the errors after installing a check point in the subject area, the RMSE of the horizontal location error appeared to be $\pm 2.2\text{cm}$ and the RMSE of the vertical location error appeared to be $\pm 3.0\text{cm}$, which shows a practically satisfactory result. Second, the economic feasibility was outstanding and obtaining accurate topographic information was available. Third, an area once scanned allowed to accurately obtain an unprescribed cross-sectional diagram in a short period of time, thus, appeared to be convenient for experts to detect dangerous sections.

Keywords : Slope Safety Inspection, LiDAR, Drawing Cross-Section, Terrain Data, Comparison of Economical Efficiency

초 록

최근 기후변화로 인한 폭우가 빈번하여 사면붕괴가 많이 발생하고 있으며, 이에 따른 인명과 재산피해가 해마다 증가하고 있는 추세이다. 사면붕괴는 사전에 붕괴원인을 찾아 이 원인을 제거하여 예방조치를 하는 것이 가장 바람직한 방법이며, 예방적 차원, 원인 규명, 복구 대책으로서 사면 안전진단을 시행하게 된다. 따라서 본 연구에서는 안전진단 대상사면에 대하여 수많은 점군 데이터로 정밀한 지형정보를 단시간에 취득하는 LiDAR를 활용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 대상구역에 검사점을 설치하고 오차크기를 분석한 결과 수평위치오차의 RMSE는 $\pm 2.2\text{cm}$, 수직위치오차의 RMSE는 $\pm 3.0\text{cm}$ 로써, 실용적으로 양호한 결과를 얻었다. 둘째, 경제성이 아주 우수하고, 정확한 지형자료 취득이 가능하다. 셋째, 한번 스캔한 구역은 임의의 단면도를 짧은 시간에 정확하게 취득할 수 있어 전문가가 위험단면 검출에 편리하다.

핵심어 : 사면안전진단, LiDAR, 횡단면도 작성, 지형자료, 경제성 분석

1. 서 론

최근 기후변화로 인한 폭우가 빈번하여 사면붕괴가 많이

발생하고 있으며, 이에 따른 인명과 재산피해가 해마다 증가하고 있는 추세이다.

사면붕괴는 사전에 붕괴원인을 찾아 이 원인을 제거하여

1) Member, Dep. of Civil Engineering, Pukyong National University, Republic of Korea (E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

2) Member, Dep. of Civil Engineering, Kyungnam College of Information & Technology, Republic of Korea (E-mail:kimhg51@hanmail.net)

3) Corresponding Author, Member, Dep. of Civil Engineering, GyeongNam Provincial Geochang College, Republic of Korea (E-mail:rth1348@pknu.ac.kr)

예방조치를 하는 것이 가장 바람직한 방법이나, 붕괴원인을 사전에 찾는 것은 경제적, 기술적으로 많은 비용과 기술력이 요구된다. 또한 사면 붕괴가 발생하였을 경우, 원인규명도 중요하지만 항구적인 복구방안을 찾는 일도 매우 중요하다.

붕괴위험성을 사전에 찾을 경우나, 붕괴 후 원인 분석 또는 항구적인 복구방안을 수립하기 위하여서는 정량적 해석방법에 의한 사면안전진단이 필요하다.

이때에는 붕괴 전 사면, 붕괴 후 사면, 복구 후 사면에 대한 지형정보(주로 횡단면도 또는 종단면도)가 꼭 필요하며, 아울러 지반조사 자료도 필요하다. 횡단면도 또는 종단면도에 지반조사 자료를 지층별로 구분하여 표기되며, 각 지층별로 실험실에서 조사된 토질의 물성치를 해석프로그램 입력 자료로 사용하여 해석한다. 이때 지형자료는 안전진단을 위한 해석요소로서 매우 중요하며, 지형요소는 토압과 억제력에 그대로 영향을 미친다. 따라서 지형요소 취득의 정확도가 안전진단의 정확도에 크게 영향을 미친다고 할 수 있다.

지형정보취득방법에는 트랜싯과 레벨에 의한 방법, Total Station에 의한 방법, 근거리 사진측량에 의한 방법 등이 사용되고 있으나, 최근 다용도로 활용할 수 있는 LiDAR(Light Detection and Ranging)를 이용하면 정밀한 지형정보를 비교적 짧은 시간에 취득할 수 있다. LiDAR에 의한 3차원 위치해석에 관한 연구는 측량분야 뿐만 아니라, 지질분야, 자동차 부품분야, 도로분야 등에서도 활발한 연구가 진행되어 왔다(Han *et al.*, 2003; Lee, 2005; Kang *et al.*, 2006; Yun *et al.*, 2006; Jang *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2006; Kim, 2007). 항공 LiDAR을 이용해도 $\pm 4.7\text{cm}$ 크기의 정확도를 얻을 수 있었으며(Ryu *et al.*, 2011), 지상 LiDAR의 경우에는 더 높은 정확도가 가능하다. 또한, Total Station 방법이나 근거리 사진측량 방법의 경우 연구자가 실제 측량점들간의 보간을 통하여 자료가 구축되나, LiDAR는 실제 취득된 점군자료를 그대로 사용하여 실제 지형에 더 가까운 자료가 된다. 특히 한번 취득된 영상자료로서 임의의 단면(횡단 또는 종단)을 원하는 대로 손쉽게 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 임의 부분의 면적이나 체적을 정밀하게 산출할 수 있어서, 향후 정밀도가 요구되는 사면안전진단에 활용하면 효율성이 클 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 지상 LiDAR를 이용하여 사면안전진단용 지형자료취득의 원리, 방법, 정밀도, 편리성, 활용분야 등에 대하여 연구하였으며, 사면안전진단의 정확도향상과 경제성 제고에 기여하고자 한다.

2. 사면의 붕괴원인과 형태

2.1 사면붕괴 메카니즘

토목시설물의 설치는 성토나 절토를 수반하게 되고, 이는 사면을 형성하게 된다. 또한 우리 주변에는 토공사로 형성되는 인공적 사면 외에 오랜 세월동안 침식작용 등으로 생긴 자연사면도 무수히 많다.

사면을 구성하고 있는 토사 또는 암석은 중력에 의하여 계속 낮은 곳으로 움직이려고 하는 힘을 받고 있고 동시에 이에 저항하려고 하는 힘도 있는데 이 양자의 균형이 무엇인가에 의해 잃었을 때 사면붕괴가 일어난다. Fig. 1에서 토괴중량 W 는 면에 직각인 힘 N 과 평행인 힘 τ 로 분해된다. τ 가 바로 생각한 면에서의 토괴를 아래쪽으로 운동시키려는 힘을 면적바닥의 크기로 나눈 값을 전단응력이라 한다.

지반의 저항력 역시 면적바닥의 크기로 나눈 값을 전단강도라 하며 전단강도를 S 로 한다면 $\tau > S$ 일 때 이 부분의 사면은 불안정하다. 따라서 W 는 단위폭당 단면적에 단위중량을 곱한 값($A \cdot \omega$)과 전단강도로 ($S \cdot l$)로서 계산되므로 지형요소 A 와 l 은 사면안전진단에 크게 영향을 미친다.

Fig. 1. The mechanism of slope fall

2.2 사면붕괴의 형태

사면붕괴의 형태는 여러 가지 분류로 나눌 수 있는데, 운동토괴의 재료에 관한 분류, 운동토괴의 재료에 운동이동식을 추가한 분류, 운동에 따라 19개형으로 분류한 것들도 있다(Korean Society of Geotechnical Engineers, 1996).

특히, 운동형태에 따른 분류를 살펴보면

낙하(Fall), 미끄러짐(Slide), 흐름(Flow)의 3가지 형태 및 그들의 복합 형태로 분류하였다.

낙하는 운동하는 물질에 주로 공기속을 자유낙하(Free-fall), 튕기(Bouncing), 구름(Rolling) 등의 형태로 급속히 낙하되는 것으로 운동중에 구성요소간의 상호작용에 의한 저항력은 완전히 혹은 거의가 작용되지 않는다.

미끄러짐은 한 개 혹은 수개의 미끄럼면에 대한 전단파괴에 의해 생기는 것으로 운동하는 물질은 별로 변형되지 않는 경

우와 깨져버리는 경우가 있으나, 운동에너지의 대부분은 미끄럼면에 대한 전단파괴에 대해서 허비된다.

흐름은 운동이 점성유체의 유동과 유사한 형태로 행해지며, 운동하는 물질내에서는 모든 면은 안정되지 않으나, 위치에 따른 운동속도에 차이가 있고 또한 부동부분과의 명료한 경계가 보인다.

운동에 대한 저항력은 경계면 뿐 아니라 운동물질 내부에 있어서도 작용한다.

운동속도는 낙하에서 1m/min 이상, 미끄러짐에서는 1m/min부터 1m/10years, 흐름에서는 1m/sec부터 1m/year 정도이다.

또한 일본에서는 급경사로 이동속도가 크고 미끄럼층이 명확하지 않은 것을 산사태라고 부르고, 완경사로 완속에서 명확한 미끄럼면을 가진 것을 땅사태라고 부른다(A committee of soil safety material in japan, 1992).

3. LiDAR 영상의 취득원리

3.1 측정원리에 따른 분류

1990년대 초부터 활용이 시작된 LiDAR는 높은 정확도, 기존 측정방식에 비하여 점 자료 취득의 자동화, 자료 정확도의 안전성 등으로 그 응용 사례가 더욱 넓어지고 있다.

앞에서 본 국내 사례 외에 외국의 사례를 보면, 도로 포장 유지보수와 도로의 노면상태를 3차원으로 해석하는 데 LiDAR를 활용하였으며(Walters, R. C. *et al.*, 2005; Chang, K. T., *et al.*, 2005; Tomoyo TANAHASHI *et al.*, 2010), 해안침식 모니터링과 방재시설 계획에 활용하였다(Shin-ichir YOKOYAMA *et al.*, 2004; Yoichi MURASHIMA *et al.*, 2007).

LiDAR의 취득은 레이저 파장을 사용하여 3차원 위치정보를 취득하고 있으며, 그 원리는 회전거울에 의한 레이저의 편향, 대상물 표면에서의 레이저의 반사 그리고 레이저의 수신으로 설명될 수 있다.

또한 효율적인 3차원 위치정보의 획득을 위해서 레이저의 주사거리, 측정 정확도, 대상물의 규모, 스캐닝 속도 등을 고려하여 적합한 측정방식의 레이저 스캐너를 사용해야 한다.

측정원리에 따라 TOP(Time Of Flight) 방식, 위상변위방식, 삼각측량방식으로 구분된다. 이러한 측정원리는 거리 및 범위, 측정 정확도, 스캐닝 속도에 있어서 Table 1.과 같은 특징을 가진다.

본 연구에서는 측량분야에서 일반적으로 활용하고 있는 TOF 방식을 사용하였다.

Table 1. Characteristics of 3D laser scanner depend on measurement technologies

Measurement Technologies	Range (m)	Accuracy (mm)	Speed
TOF	< 100	< 10	Slow
	< 1,000	< 20	
Phase Shift	< 100	< 10	Fast
Triangulation	< 5	< 1	Fast

3.2 TOF 방식

TOF 방식은 Fig. 2에서와 같이 송신된 레이저가 대상물의 표면에서 반사되어 되돌아오는 시간적 차이를 이용하여 거리를 계산하는 방식으로 송신부, 수신부, 처리부로 구성되어진다.

Fig. 2. Principle of distance survey using transmitted and received signals in the TOF method

송·수신되는 경과시간 $\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1$ 이다. 여기서 t_1 은 송신된 주파수가 f_1 에서 f_2 로 변할 때의 시간이며, t_2 는 수신된 주파수가 f_1 에서 f_2 로 변할 때의 시간이다.

따라서 경과된 시간에 빛의 속도(c)를 곱하면 왕복거리가 산출되며, 측정 대상물까지의 거리는 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다(Kim, 2007).

$$d = \frac{c \times (t_1 - t_2)}{2} \quad (1)$$

4. 현장관측 및 결과분석

4.1 현장관측 위치 및 관측장비

본 연구를 위한 현장관측의 위치는 부산광역시 남구에 소재하며 현장의 위치는 Fig. 3과 같으며, 현장의 전경은 Fig. 4와 같다. 또한, 구체적인 장비의 제원은 Table 2와 같다.

Fig. 3. Location of test field

Fig. 4. View of test field

Table 2. Specifications and characteristics of measurement system

Total Station	
Model	Topcon 7001i
Length	150mm
Diameter	45mm(EDM 50mm)
Magnification	30×
Vision	1°30'
Resolution	2.5"
Prism	$\pm(2\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$
Non Prism	1.5m~Over $\pm(5\text{mm})$
LiDAR	
Model	Topcon GLS-1500
Maximum Range	90%(330m)
Minimum Range	1m
Target Precision	3"(50m)
Spot Size	< 6mm(1~40m)
Type	TOF
Laser Degree	Class 1
Sample Density	1mm(20m)

4.2 현장관측 결과분석

4.2.1 정확도 분석

본 연구의 세부 관측에 앞서 Fig. 5와 같이 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 우선 기준점 측량을 시행하였다. 그리고 이 기준점을 기준으로 Fig. 6과 같이 LiDAR을 이용하여 연구대상지역을 측정하였으며, 최종적으로 30개의 검사점을 선정하여 Fig. 7과 같이 Total Station을 이용하여 정확도를 비교하였다.

Fig. 5. View of GPS

Fig. 6. View of LiDAR

Fig. 7. View of total station

관측 결과 Fig. 8과 같은 자료를 취득하였으며 취득된 자료에서의 동그란 점들은 정확도를 비교하기 위한 30개의 점들로 나타내었다.

Table 3과 같이 LiDAR와 Total Station을 이용하여 검사점 30개를 관측한 결과, 수평위치오차 RMSE는 $\pm 2.2\text{cm}$, 수직위치오차 RMSE는 $\pm 3.0\text{cm}$ 로 나타났다. 또한, 실용성을 평가하기 위하여 공공측량작업규정(2012. 12. 31)제 74조 제 ②과 비교하였다. 이 규정에 의하면 횡단측량에서 거리 및 표고의 측정값과 점검측량값과의 교차의 허용범위는 Table 4와 같다.

Fig. 8. Result of overall point cloud data

Table 3. Result of measurement

Check Point	Total Station(Unit : m)			LiDAR(Unit : m)			Errors(Unit : m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
1	211035.435	278242.711	17.288	211035.406	278242.730	17.347	-0.029	0.019	0.059
2	211028.413	278240.011	21.949	211028.406	278240.028	21.934	-0.007	0.017	-0.015
3	211018.899	278240.034	26.211	211018.913	278240.011	26.205	0.014	-0.023	-0.006
4	211038.944	278252.151	17.011	211038.953	278252.149	17.082	0.009	-0.002	0.071
5	211028.033	278249.599	21.655	211028.040	278249.585	21.656	0.007	-0.014	0.001
6	211018.911	278247.371	26.166	211018.901	278247.369	26.171	-0.010	-0.002	0.005
7	211038.134	278263.506	17.029	211038.156	278263.514	17.034	0.022	-0.008	-0.05
8	211027.655	278262.088	21.211	211027.648	278262.072	21.206	-0.007	-0.016	-0.005
9	211017.955	278260.566	26.055	211017.933	278260.591	26.065	-0.022	0.025	0.010
10	211037.128	278274.176	16.679	211037.118	278274.152	16.692	-0.010	-0.024	0.013
11	211027.379	278272.855	20.699	211027.377	278272.864	20.682	-0.002	0.009	-0.017
12	211017.225	278271.688	26.000	211017.225	278271.679	25.984	0.000	-0.009	-0.016
13	211037.136	278282.998	16.488	211037.131	278282.988	16.502	-0.005	-0.010	0.014
14	211026.955	278282.219	20.311	211026.942	278282.206	20.336	-0.013	-0.013	0.025
15	211016.599	278280.588	25.911	211016.582	278280.567	25.812	-0.017	-0.021	-0.099
16	211036.253	278296.554	16.333	211036.252	278296.533	16.288	-0.001	-0.021	-0.045
17	211025.641	278299.622	19.811	211025.638	278299.599	19.812	-0.003	-0.023	0.001
18	211013.698	278302.788	25.085	211013.697	278302.752	25.085	-0.001	-0.036	0.000
19	211031.177	278304.877	19.599	211031.172	278304.875	19.610	-0.005	-0.002	0.011
20	211025.645	278317.312	24.688	211025.637	278317.306	24.683	-0.008	-0.006	-0.005
21	211010.388	278319.523	30.111	211010.394	278319.502	30.108	0.006	-0.021	-0.003
22	211046.154	278308.899	19.345	211046.148	278308.880	19.354	-0.006	-0.019	0.009
23	211036.603	278318.881	24.111	211036.600	278318.892	24.148	-0.003	0.011	0.037
24	211027.033	278324.575	29.252	211027.043	278324.555	29.253	0.010	-0.020	0.001
25	211070.278	278312.899	18.903	211070.267	278312.884	18.894	-0.011	-0.015	-0.009
26	211053.551	278322.611	23.789	211053.552	278322.593	23.779	0.001	-0.018	-0.010
27	211050.077	278329.137	28.222	211050.057	278329.107	28.218	-0.020	-0.030	-0.004
28	211094.855	278316.588	18.334	211094.858	278316.576	18.370	0.003	-0.012	0.036
29	211079.348	278328.255	23.625	211079.340	278328.243	23.626	-0.008	-0.012	0.001
30	211078.621	278335.366	28.111	211078.634	278335.345	28.103	0.013	-0.021	-0.008
Comparison of results						MAX	-0.029	-0.036	-0.099
						MIN	0.000	-0.002	0.000
						RMSE	0.022		0.030

Table 4. Tolerance of observation on cross-sections

Division	Distance	Elevation	Remark
Plane Area	L/500	$2\text{cm} + 5\text{cm} \sqrt{\frac{L}{100}}$	L : Distance from center station to object station
Mountain Area	L/300	$5\text{cm} + 15\text{cm} \sqrt{\frac{L}{100}}$	

실험대상지에서 사면의 연장이 50m정도 되므로, Table 4의 L대신 50을 대입하고, 평지조건을 적용하면, 수평오차 허용범위는 $50/500 = 0.10(\text{m}) = \pm 10\text{cm} > \pm 2.2\text{cm}$, 수직오차 허용범위는 $2\text{cm} + 5\text{cm} \sqrt{50/100} = \pm 5.5\text{cm} > \pm 3.0\text{cm}$ 가 되어, 본 연구 결과는 충분히 실용성이 있는 것으로 나타났다.

4.2.2 측량소요시간 및 경제성 분석

본 연구를 위한 현장관측에 소요되는 인원 및 소요시간을 측정하여 경제성을 비교하였다.

작업인원 구성과 소요작업시간은 Table 5와 같이 측정되었다. 경제성 비교를 위한 비용계산결과는 Table 6과 같으며, 인건비는 “대한측량협회의 2013 측량기술자 임금 공표”를 적용하였으며, 장비사용료는 내구년수를 5년, 잔존가치를 20%, 장비가격은 현재 시중가격을 적용하여 감가상각비를 시간 단위로 계산하여 적용하였다.

본 현장의 안전진단을 수행는 경우에 측량에 소요되는 비용의 경제성을 분석해 본다.

검토대상 횡단면의수는 전문가에 의해서 정해지며, 보통은 3~5개 정도의 횡단면이 선정되므로, 본 연구에서는 그 중간값으로 4개의 횡단면을 선정하였다.

한 개의 횡단면에서 1m 간격으로 지형의 변화점을 선정하

Table 5. The Composition of measurement

Division		The number of persons		The necessary time	Remark
		Highest grade engineer	Intermediate grade engineer		
LiDAR	Field work	1 person	1 person	3 hours	All Area
	Office work	1 person	-	4 hours	
Total Station	Field work	1 person	1 person	2 hours	Check Point (30 Points)
	Office work	1 person	-	2 hours	

Table 6. Comparison of economical efficiency

Division		Operation(hour)			A unit cost /hour(won)	Cost (won)	Remark
		Field work	Office work	Total			
LiDAR	Highest grade engineer	3	4	7	24,560	171,920	196,483won/8hr = 24,560won/hr
	Intermediate grade engineer	3	-	3	17,807	53,421	142,458won/8hr = 17,807won/hr
	Sub-total					225,341	
	Sub-total (Equipment cost)			150,000,000	Use : 5year Remain : 20% / hour : 2,739	19,180	A period equipment use : 7hour
	Total					244,521 ≒245,000	
Total Station	Highest grade engineer	13.6	13.6	27.2	24,560	668,032	196,483won/8hr = 24,560won/hr
	Intermediate grade engineer	13.6	-	13.6	17,807	242,175	142,458won/8hr = 17,807won/hr
	Sub-total					910,207	
	Sub-total (Equipment cost)			25,000,000	Use : 5year Remain : 20% / hour : 457	12,430	A period equipment use : 27.24hour
	Total					922,637 ≒923,000	

면, 횡단면의 길이가 50m 이므로 1개 횡단면에 51개의 측점이 필요하고, 4개의 횡단면에는 204점의 측점이 필요하다.

따라서, Table 5에서 전지역을 LiDAR로 측량할 때 고급기술자 외업 3시간, 내업 4시간이 소요되며, 중급기술자는 외업 3시간이 소요되었다. 그리고 검사점 30점을 측량하는 데는 고급기술자 외업 2시간(1점당 4분 소요), 내업 2시간(1점당 4분 소요), 중급기술자 외업 2시간(1점당 4분 소요)이 소요되었다. 따라서 횡단면측정에도 같은 속력으로 측정되므로 204점 측정에는 고급기술자 외업 13.6 시간($204 \times 4 \div 60 = 13.6$), 내업 13.6시간($204 \times 4 \div 60 = 13.6$), 중급기술자 외업 13.6 시간($204 \times 4 \div 60 = 13.6$)이 소요된다.

이 내용을 바탕으로 LiDAR측량의 경우와 Total Station 측량의 경우에 경제성을 비교하면, Table 6과 같다. Table 6에 나타난 바와 같이, 두 방법을 이용하여 안전진단용 횡단면 4개를 측량할 경우, LiDAR 측량비용은 245,000원, Total Station 측량비용 923,000원이 소요되어, LiDAR 측량비용은 Total Station 측량비용의 약 1/3.8 정도로 측량이 가능함을 알 수 있었다. 이 경제성 비교는 기술료, 간접경비, 이윤, 부가세 등이 모두 제외된 상태에서 분석되었다.

4.2.3 임의의 횡단면도 작성

지상 LiDAR를 이용하여 사면안전진단용 지형자료의 취득 및 활용성을 연구하기 위하여 일반적인 횡단면 5개를 각각 설정하여 취득하였다. 지상 LiDAR의 측정 당시의 점 밀도는 5mm로 설정하여 취득하였지만, 자료가 너무 방대한 관계로 Fig. 9와 같이 0.2m의 점 밀도로 샘플링하여 횡단면도들을 취득하였다. 횡단면도의 설정 단면은 Fig. 10과 같으며, 취득된 횡단면도들은 Fig. 11~Fig. 15와 같이 매우 정확하게 나타남을 알 수 있었다. 횡단면도 5개를 취득하는 데 불과 5분도 소요되지 않고 원하는 지점을 마음대로 취득할 수 있어서 전문가가 위험단면을 신속히 검출할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 9. Result of sampling data

Fig. 10. Composition of cross sections

Fig. 11. A - A' section

Fig. 12. B - B' section

Fig. 13. C - C' section

Fig. 14. D - D' section

Fig. 15. E - E' section

5. 결론

사면안전진단을 위하여서는 정밀한 지형정보가 필요하며 지형정보 그 자체가 바로 토압과 억제력으로 계산되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 안전진단 대상사면에 대하여 수많은 점군 자료로 정밀한 지형정보를 단시간에 취득하기 위하여 LiDAR를 활용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 대상구역에 검사점을 설치하고 오차크기를 분석한 결과 수평위치오차 RMSE는 $\pm 2.2\text{cm}$, 수직위치오차 RMSE는 $\pm 3.0\text{cm}$ 로써, 공공측량작업규정과 비교할 경우 실용적으로 양호한 결과를 얻었다.

둘째, 사면안전진단을 위하여 LiDAR를 활용할 경우, 기존 Total Station 방법에 비하여 약 1/3.8 비용으로 가능함을 알 수 있었으며, LiDAR 측량방법은 단면측량에서 점밀도 간격이 5mm정도로 아주 좁으므로 정확한 지형자료 취득이 가능하다.

셋째, LiDAR측량의 경우, 한번 측정한 구역은 임의의 단면도(종단면도 또는 횡단면도)를 짧은 시간(1개 단면당 1분 정도)에 정확하게 취득할 수 있어, 전문가가 위험단면을 검출하는 데 편리하고 오판이 적다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

References

- A Committee of Soil Safety Material in Japan. (1992), *Slope safety method*, A publishing company chang woo, pp. 8-10.
- Chang, K. T., Chang, J. R. and Lin, J. K. (2005) Detection of Pavement Distress Using 3D Laser Scanning Technology, *ASCE Proceedings of the 2005 International Conference on Computing in Civil Engineering*, July.
- Han, D. Y., Cho, Y. W., Kim, Y. I. and Yu, K. Y. (2003), 3D Modeling of Terrain Objects according to the Point Densities of LiDAR Data, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 23, No. 5, pp. 711-717.
- Han, S. H. (2006), 3D modeling of Automobile Part Using Pattern Scanner and Efficiency Analysis, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-8.
- Jang, Y. G., Kwak, Y. J. and Kang, I. J. (2006), GIS Management on Risk Evaluation of a Road Slope Using Terrestrial LiDAR, *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 1, pp. 169-175.
- Jaselskis, E., Gao, S. and Walters, R. C. (2005), Improving Transportation Project Using Laser Scanning, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 131, No. 3, pp. 377-384.
- Kang, Y. M. and Kang, J. M. (2006), The Monitoring of Sediments on the Basin Using LiDAR Data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 1, pp. 27-36.
- Kim, jin Soo. (2007), "Development of Highway Geometric Information System by Laser Scanning Technique", Pukyong National University, Ph. D thesis, pp. 3-7.
- Korean Geotechnical Society. (1996), *Handbook of soil mechanics and foundation engineering*, A publishing company sae ron, pp. 1485-1487.
- Lee, S. H. (2005), A Study on Measurement of Rock Slope Joint using 3D Image Processing, *Korean Society of Civil*

- Engineers*, Vol. 25, No. 2, pp. 79-84.
- Ryu, J. H., Lee, J. H., Koh, S. B., Kim, B. S. and Seo, H. S. (2011), Comparative Study for Height Accuracy of Full Waveform LiDAR Data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 29, No. 3, pp. 257-263.
- Shin-ichirou YOKOYAMA, Mineo HIROMATSU, Junji KANEKO, Yukihide AKIYAMA and Kenji NEMOTO. (2004), Measurement Accuracy of Airbone-Scanning LiDAR on the Miho Coast, *Journal of the School of Marine Science and Technology*, Vol. 2 No. 1, pp. 31-39.
- Tomoyo TANAHASHI and Tatsunori SADA. (2010), A Study on Measurement Possibility of Road Alignments by Using Airbone LiDAR, *College of Science and Technology Nihon University*, Proceeding, pp. 435-436.
- Walters, R. C. and Jeselkis, E. (2005), Using scanning lasers for real-time pavement thickness measurement, *ASCE Proceedings of the 2005 International Conference on Computing in Civil Engineering*, July.
- Yoich MURASHIMA, Fumihiko IMAMURA, Syunich KOSHIMURA, Shingeru NAKAMURA, Yoshiyuki KITAZAWA and Kanzutaka NAMIKAWA. (2007), Application of High-Resolution Topographic Model for Design and Planning of Tsunami Countermeasure and its Required Condition, *JSCE Journal of Coastal Engineering*, Vol. 54, pp. 1371-1375.
- Yun, D. G., Jeong, D. H., Sung, J. G. and Lee, S. H. (2006), A Study for Measuring of Cross Slope Using Instrument Vehicle with Multiple Sensors, *Korean Society of Road Engineers*, Vol. 8, No. 2, pp. 105-116.

(Received 2013. 08. 07, Revised 2013. 08. 14, Accepted 2013. 08. 27)