

연구논문

지상LiDAR자료를 이용한 모형사면의 모니터링

Monitoring analysis of Model Slope by using Terrestrial LiDAR data

김성학* · 최승필** · 양인태***

Kim, Sung Hak · Choi, Seung Pil · Yang, In Tae

要 旨

산사태의 발생 징후를 효율적으로 사전에 감지하기 위한 방법을 도출하기 위하여 모형사면을 제작하여 지상LiDAR 장비로 사면의 변위를 파악하고자 모니터링 분석을 실시하였다. 그 결과 신속하게 사면 변위에 대한 영상을 모니터링 할 수 있었으며, 사면에 대한 모니터링 분석 정확도는 변위 전을 기준으로 1차,2차,3차 변위 후에 대하여 각각 평균 0.007m, 0.006m, 0.006m편차로 매우 적은 편차가 나타난 것이 입증 되었기에 향후 실제 사면의 변위 측정에 유용하게 이용될 수 있다.

핵심용어 : 지상LiDAR자료, 모형사면, 모니터링

Abstract

A model slope was made to work out a way of detecting the sign of the occurrence of landslides and monitoring analysis was conducted to grasp the slope displacement of Terrestrial LiDAR equipment. As a result, the image of slope displacement could be monitored quickly and the accuracy of monitoring analysis was a deviation of 0.007m, 0.006m and 0.006m on average based on the figures prior to displacement after the first, second and third displacements, respectively. As the figures represent a very small deviation, they will be able to be used helpfully in measuring the displacement of actual slope in the future.

Keywords : Terrestrial LiDAR data, model slope, Monitoring

1. 서 론

우리나라는 산지 경사가 급하고, 하절기에 집중호우가 발생하는 강우패턴을 지니고 있어 매년 산사태에 의한 재해발생이 빈번하며 최근에는 기상이변에 의한 집중호우가 빈번히 발생하여 사면 붕괴에 대한 관심과 경각심이 더욱 고조되고 있다(이문세,2001).

이렇게 매년 되풀이 되는 장마철 집중호우와 태풍 등에 의해 발생하는 산사태 피해를 최소화하기 위해서는 산사태의 발생 징후를 사전에 감지하여 피해를 예방할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 따라서 산사태 발생을 사전에 감지할 수 있다면 위험사면에 대한 적절한 대책을 수립하여 산사태로 인한 심각한 인적·물적 피해를 방지하거나 극소화 할 수 있을 것이다(Kwong,2003).

산사태에 따른 지반거동에 대한 사면 변위를 탐지하는 기술은 광역적인 지역을 대상으로 하는 방법과 국부적인 지역을 대상으로 하는 방법으로 연구가 진행되고 있다. 광역적인 지역을 대상으로 실시한 연구로 광재하(1994)는 항공사진의 지형공간정보를 이용하여 산사태의 예측 기법에 대한 연구를 수행하였으며, 용계숙(1999)은 산사태 발생 원인에 대한 분석을 위해 공주 북부지역을 대상으로 DEM을 이용하여 산사태의 원인이 되는 표고, 경사, 경사방향 등을 분석하였으며, 지질도, 토양도 등의 도면 자료를 데이터베이스화하여 산사태가 발생한 지점을 중심으로 산사태 발생 원인을 각각의 항목별로 분석하였다. 그러나 광역적인 지역을 대상으로 변위를 분석하여 예측하기 위한 수단으로는 대부분 정적자료인 위성영상과 수치지도를 활용하고 있는데, 동시기의 실시간 자료 확보 및 낮은 정밀도로 인한 신뢰성 확보에 문제점이 지적되

2008년 11월 7일 접수, 2008년 11월 25일 채택

* 교신저자·관동대학교 토목공학과 공학석사 (sung-hak37@hanmail.net)

** 정회원·관동대학교 토목공학과 교수 (spchoi@kwandong.ac.kr)

*** 정회원·강원대학교 토목공학과 교수 (intae@kangwon.ac.kr)

고 있다.

그러므로 효율적인 사면변위 탐지를 위해서는 광역적인 사면변위 탐지를 통해 취약 지를 선정한 후 집중관리가 필요한 주요사면에 대해서 국부적으로 지속적인 탐지를 수행해야 한다(이상윤,2007).

국부적으로 사면 변위를 측정하는 방법은 GPS, 광섬유 센서, 신 측계 등 여러 가지 방법이 있으나 경제성 및 효율성에 있어 그 실효성이 떨어지고 있는 실정이다(김학승,2001). 그러나 이러한 관측 장비에 비해 높은 효율성 및 유지관리가 뛰어난 지상LiDAR을 활용하여 사면변위를 관측하면 사면 변위에 대한 거동 감지뿐만 아니라 넓은 지역을 모니터링 할 수 있어 산사태 거동 감지에 매우 효과적인 것이다.

이런 면에서 유창호(2006)는 소일네일링 공법으로 보강된 절토사면을 대상으로 사면거동의 정확한 변위계측을 위해 지상LiDAR와 토털스테이션을 이용하여 계측을 실시하여, 변위량에 대해서 두 장비의 계측결과가 동일한 결과값을 보임에 따라 절토사면에 대한 사면거동계측에 있어 지상LiDAR장비의 활용 가능성을 보여주었다. 따라서, 본 연구에서는 산사태의 발생 징후를 효율적으로 사전에 감지하기 위한 방법을 도출하기 위하여 모형 사면을 제작하여 지상LiDAR장비로 사면의 변위를 파악하고자 모니터링 분석을 실시하였다.

2. 실험 방법

2.1. 사용된 지상LiDAR 장비

본 연구에 사용된 지상LiDAR 장비는 Optech의 ILRIS-3D Laser Scanner로 광대역 레이저 스캐닝 시스템이다. 이 장비는 표 1에 제시한 바와 같이 단시간에 고품질의 3차원 이미지를 표현할 수 있다.

사용된 지상LiDAR(ILRIS-3D Laser Scanner)의 제원은 표 1과 같다.

2.2. 모형사면 제작

지상LiDAR장비로 사면의 변위 등을 파악하기 위하여 1,230mm×2,160mm크기의 나무 재질 합판과 각재를 사용하여 그림 2와 같이 산사태 발생 모형 실험 장치를 제작하였다

이 실험 장치에 모래질 흙을 10cm 두께로 깔아놓고, 최근 산사태 발생의 30~35°에서 38%, 40~45°에서 6%였고, 일본의 시라스 지역에서 36~40° 경우 44.2%, 41~45°의 경우 18.9% 인 점을 고려하여 모형 사면 각도를 30°로 고정하였다(김재철,2005).

실험은 산사태 발생 전의 사면 움직임을 파악 하고자



그림 1. 사용된 지상LiDAR장비

표 1. 지상LiDAR장비의 제원

항 목	내 용
스캐닝 범위	3m~1,500m(80% 타겟) 3m~800m(20% 타겟) 3m~350m(4% 타겟)
데이터 샘플링 레이트	2,000pts/sec
모델링 정확도	3mm
스캐닝 타겟 표시 정확도	4mm
레이저 파장	1,500nm 적외선
레이저 등급	Class I
디지털 카메라	6 Megapixel
작동 범위	40°×40°



그림 2. 모형사면 실험장치

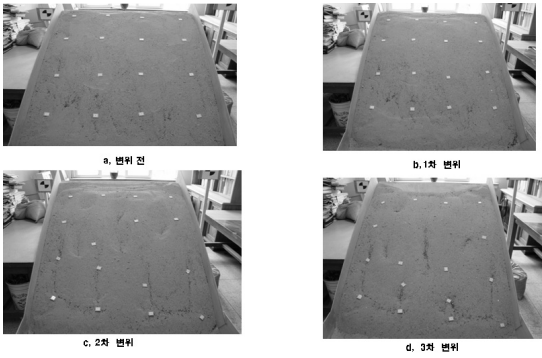


그림 3. 모형 사면의 변위발생 전 후

여 3m 거리에서 변위 전, 1차 변위 후, 2차 변위 후, 3차 변위 후에 대하여 3mm간격으로 스캔하였다.

또한 무 프리즘 토털스테이션으로 16개의 측정 점에 대하여 정확도를 검증하기 위해 지상LiDAR자료와 토털스테이션 자료의 좌표계가 같아야 되는데 이를 위해 모형 사면의 모서리 부근에 표정 점 4개를 설치하였다.

모형 사면 형틀 바닥에 임의의 충격을 가하여 3차례에 걸쳐 변위를 발생 시킨 것을 그림 3에 나타내었다.

2.3. 자료획득

모형사면에 대하여 레이저스캐닝을 수행하여 얻어진 자료는 휴대용 PDA전달되어 표준 텍스트 문서의 형태로 저장되었으며 이것을 그림 4 Leica사의 Cyclone을 이용하여 자료를 시각화 하였다.

이때 표정 점의 타켓은 black/White 타켓으로 지상 LiDAR장비가 표정 점 타켓의 색의 반사값을 받아들여 반사값이 변하는 타켓의 중심점을 찾아내어 표점 점의 위치를 인지하는 기능을 이용하여 해결하였다.

2.4. 좌표변환

무 프리즘 토털스테이션을 이용하여 지상LiDAR자료에서 얻어진 자료의 정확도를 검증하기 위해서는 두 측량 장비에서 획득된 좌표가 동일해야 한다. 하지만 지상 LiDAR측정에서 획득된 3차원 좌표는 상대좌표이기 때문에 무 프리즘 토털스테이션에 의해서 획득된 표정점 좌표를 이용하여 변환해야 한다(유창호,2006).

따라서 3차원 이동변환을 수행하여 지상LiDAR자료의 좌표에 대하여 변환을 실시하였다.

이때 변환 시 오차가 스캐닝 타켓 표시정확도인 4mm 이내에 있어야 한다.

표 2는 표정 점의 좌표를 이용하여 좌표변환을 수행한 결과를 표로 나타낸 것이며, 표 3은 표 2의 무 프리즘 토털스테이션의 표정 점 좌표를 기준으로 지상LiDAR의 좌표변환에 대한 X, Y, Z축의 편차로 평균 0.003m, 0.003m,

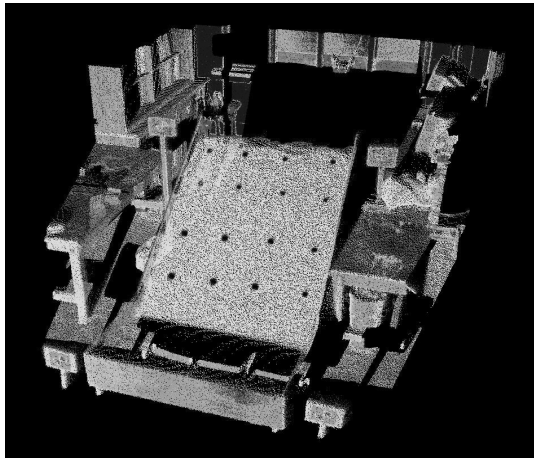


그림 4. 획득된 지상LiDAR 자료

모형 사면 형틀에 충격을 가하기 전에 스캔을 실시하여 변위전의 자료를 취득하였으며, 망치를 이용하여 형틀에 약간의 충격을 주어 1차 변위를, 약20분후 중간 정도의 충격을 가하여 2차 변위를 각각 발생 하게 하였다. 그리고 모형형틀에 대하여 약 20분후 더 충격을 가하여 3차 변위를 발생하게 하였다. 이를 지상LiDAR장비를 이용하

표 2. 표정 점에 대한 좌표 정보

표정점 번호	지상LiDAR			무 프리즘 토털스테이션		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	103.968	99.249	50.517	103.969	99.252	50.516
2	103.182	97.814	50.530	103.177	97.811	50.530
3	105.849	98.155	51.238	105.853	98.157	51.240
4	104.747	96.906	51.437	104.747	96.903	51.437

표 3. 지상LiDAR 측량의 위치정확도

표정 점 번호	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)	RMSE(m)
1	+0.001	+0.003	-0.001	±0.003
2	-0.005	-0.003	0.000	±0.006
3	+0.004	+0.002	+0.002	±0.005
4	0.000	0.003	0.000	±0.003
평균편차	0.003	0.003	0.001	±0.004

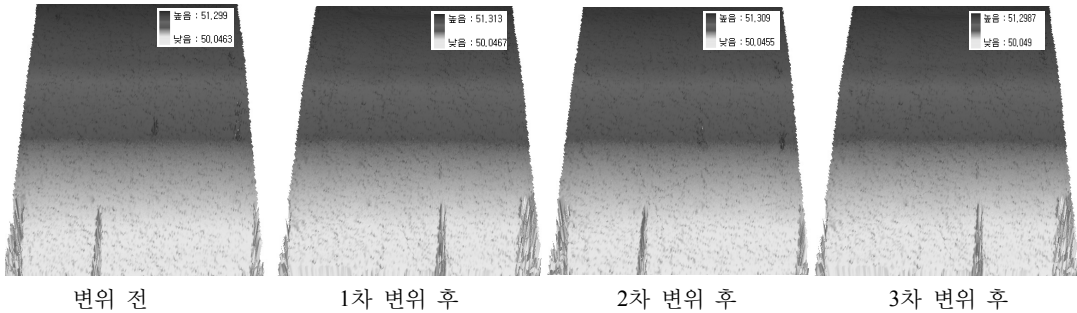


그림 5. DEM 구축 결과

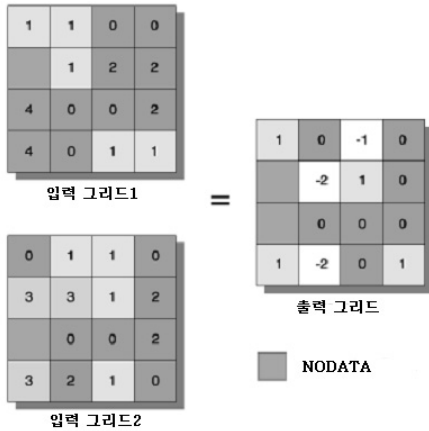


그림 6. 그리드연산과정

0.001m로 각각 나타났으며, 이때 RMSE는 ±0.004m로 나타났다. 따라서 좌표변환에 대한 오차는 측량기준점 성과의 허용오차 범위 내에 있음을 알 수 있다.

2.5. DEM 구축

사면 변위 모니터링을 위하여 모형사면 형틀에 임의로 충격을 가하여 강제로 변위를 발생시킨 LiDAR자료에 대하여 전처리를 거친 후 DEM을 구축하였다. LiDAR장비에서 취득된 자료는 점군 자료로 Vector 구조이나, DEM은 격자로 이루어진 Raster 구조이다. 따라서 지상LiDAR

자료에서 DEM을 구축하기 위해서는 TIN을 이용한 보간이 선행되어야 한다. 자료는 ARC GIS를 이용하여 격자간격 3mm로 DEM을 구축하여 그림 5에 나타내었다.

3. 모니터링 분석

본 연구에서는 GIS 격자형 분석을 통해 사면변위에 대하여 모니터링 분석을 실시하기 위하여 자료 처리된 point자료를 격자화 하여 수평면을 기준으로 높이 값에 대하여 사면 변위 전에서 사면 변위후의 DEM을 빼는 방법으로 변위 량을 추출하였다. 모니터링 분석 결과는 음의 값, 양의 값, 0의 값 형태로 나타나며, 음의 값이나 양의 값으로 나온 지역은 사면 변위가 있는 지역을 나타내고 0으로 나온 지역은 사면 변위가 없는 지역을 나타낸다.

셀 기반의 그리드 연산자 과정을 그림 6에 나타내었다. 사면 변위발생 지역에 대한 정보 추출 방법은 다음과 같은 수학적 방정식을 사용하여 표현할 수 있다.

$$\Delta Z_{ij} = Z_{ij}(1) - Z_{ij}(2) \tag{2}$$

여기서,

- ΔZij : 개별 격자의 사면 변위량
- Zij(1): 사면 변위 전 개별 셀의 높이 값
- Zij(2): 사면 변위 후 개별 셀의 높이 값
- i : 라인의 수
- j : 행의 수

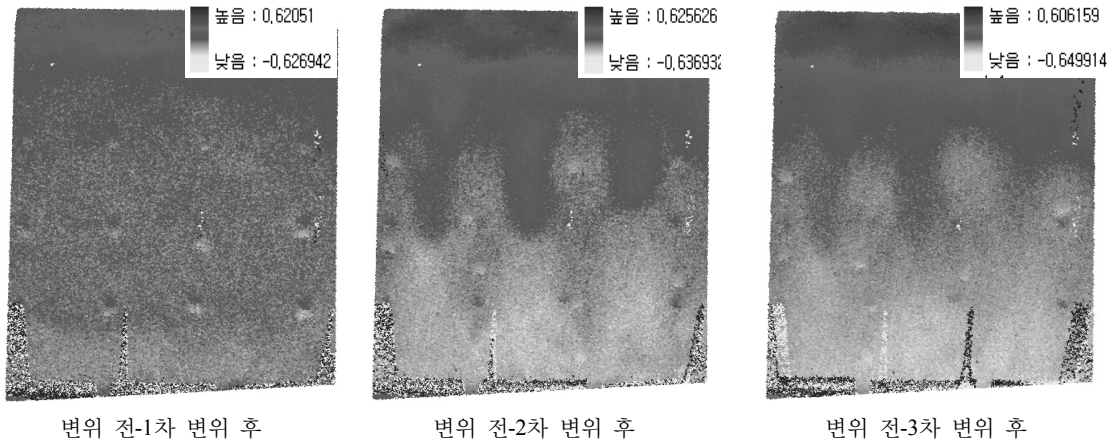


그림 7. 사면 변위에 대한 모니터링 분석 결과

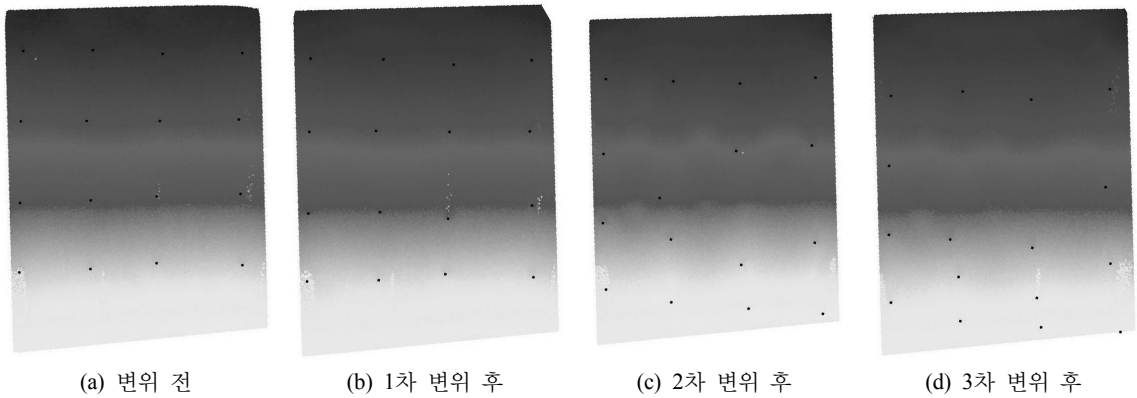


그림 8. 무 프리즘 토털스테이션의 포인트 정보와 지상LiDAR자료의 DEM 중첩

그림 7는 사면 변위전후의 DEM 자료를 이용하여 사면 변위에 대한 모니터링 분석을 수행한 결과이다.

본 연구에서는 산사태가 발생하기 직전의 초기 정후인 사면의 변위 발생을 지상LiDAR자료를 통해 정보를 획득한 후 모니터링을 통하여 변위에 대한 분석을 실시하였다.

전체영상에서 노란색 계열은 음의 값을 표현 하고 보라색 계열은 양의 값을 표현하여 변위 전에서 1, 2, 3차 변위 후를 빼는 방법으로 사면의 변위를 육안으로 쉽게 판독이 가능하게 하므로 신속하게 사면 변위에 대한 영상을 모니터링 할 수 있었다.

4. 정확도 검증

4.1. 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR에 의한 변위측정

본 연구에서 무 프리즘 토털스테이션에 의한 측량은 지

상LiDAR자료의 정확도를 검증하기 위하여 실시되었으며, 그 측정 과정은 다음과 같다.

무 프리즘 토털스테이션을 이용하여 모형사면에 대한 측정을 수행하기 위해서 사전에 기준점 측량을 수행하여 4점의 표정 점에 대해서 좌표를 획득 하였다. 표정 점의 좌표획득은 지상LiDAR자료의 좌표를 토털스테이션 자료의 좌표로 변경하여 공통된 좌표를 공유함으로써 두 성과를 상호 비교할 수 있도록 하기 위한 것이다. 또한 표정 점은 측정을 다시 수행할 때 항상 동일한 좌표에서 측정 성과를 얻기 위한 것이다. 또한 두 자료의 성과를 상호 비교할 수 있도록 하기 위해 모형 사면에 측정 점 16개를 부착하여 모형사면에 대한 변위 전과 1차 변위 후, 2차 변위 후, 3차 변위 후의 측정 점에 대한 변화를 측정하였다.

지상LiDAR자료에서 사면변위에 대한 16개 측정 점의 정확도를 평가하기 위하여 무 프리즘 토털스테이션에서

표 4. 무 프리즘 토털스테이션과 지상LiDAR자료의 변위 측정 점의 높이 값 (단위:m)

측점	변위 전의 높이 값		1차 변위 후의 높이 값		2차 변위 후의 높이 값		3차 변위 후의 높이 값	
	TS	LiDAR	TS	LiDAR	TS	LiDAR	TS	LiDAR
1	51.247	51.242	51.216	51.216	51.165	51.164	51.123	51.122
2	51.254	51.257	51.221	51.221	51.176	51.178	51.145	51.142
3	51.239	51.237	51.206	51.206	51.168	51.169	51.125	51.121
...
14	50.649	50.646	50.631	50.631	50.576	50.578	50.563	50.563
15	50.654	50.659	50.634	50.634	50.546	50.555	50.529	50.526
16	50.646	50.642	50.631	50.625	50.524	50.521	50.498	50.485

표 5. 지상LiDAR자료의 모니터링 분석 정확도 (단위:m)

측점	변위 전-1차 변위 후	변위 전-2차 변위 후	변위 전-3차 변위 후
1	0.005	0.004	0.004
2	-0.003	-0.001	-0.006
3	0.002	0.003	-0.002
...
14	0.003	0.005	0.003
15	-0.005	0.004	-0.008
16	-0.002	0.001	-0.009
평균 편차	0.007	0.006	0.006

획득된 변위 전, 1차 변위 후, 2차 변위 후 및 3차 변위 후에 대한 포인트 정보와 지상LiDAR자료에서 얻어진 변위 전, 1차 변위 후, 2차 변위 후 및 3차 변위 후의 DEM을 서로 중첩하였고 이를 그림 8에 나타내었다.

중첩 된 무 프리즘 토털스테이션에서 얻어진 포인트 정보와 지상LiDAR자료의 변위 전, 1차 변위 후, 2차 변위 후 및 3차 변위 후의 16개 측정 점의 높이 값을 서로 비교하여 표 4에 나타내었다.

4.2. 지상LiDAR자료의 변위에 대한 정확도

지상LiDAR자료에서 변위에 대한 모니터링 분석의 정확도를 평가하기 위해 무 프리즘 토털스테이션에서 구한 모니터링 분석 값인 변위 전-1차 변위 후, 변위 전-2차 변위 후, 변위 전-3차 변위 후 높이 변화 값을 기준으로 지상LiDAR자료에서 변위에 대한 모니터링 분석 값인 변위 전-1차 변위 후, 변위 전-2차 변위 후, 변위 전-3차 변위 후의 높이 값의 편차를 표 5에 나타내었다.

지상LiDAR자료에서 사면에 대한 시계열 분석 정확도는 변위 전을 기준으로 1차, 2차, 3차 변위 후의 각각 편차의 절대 값에 대해서 평균 0.007m, 0.006m, 0.006m

편차로 나타났다.

따라서 지상LiDAR자료를 이용하여 사면 변위를 모니터링 분석한 결과 매우 적은 편차가 나타난 것이 입증되었기에 향후 실제 사면의 변위 측정에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결 론

산사태 발생을 가정한 모형사면에 대하여 지상LiDAR 장비로 모니터링 분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

사면의 변위를 육안으로 쉽게 판독이 가능하게 하므로 신속하게 사면 변위에 대한 영상을 모니터링 할 수 있었다.

지상LiDAR자료를 이용하여 사면 변위에 대하여 모니터링을 분석한 결과 변위 전을 기준으로 1차, 2차, 3차 변위 후에 대하여 각각 평균 0.007m, 0.006m, 0.006m로 매우 적은 편차가 나타난 것이 입증 되었기에 향후 실제 사면의 변위 측정에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

향후 지상LiDAR장비를 실제 사면에 적용 시 여러 군데서 자료를 획득하여야 하므로 자료 정합 시 발생하는 정합오차까지 고려해야 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 객재하, "항공사진의 지형공간정보를 이용한 산사 태 위험 예측 기법", 석사학위논문, 부산대학교 대학원, 1994.
2. 이상윤, "지상라이다자료를 이용한 산사태 모니터링", 강원대학교 박사학위 논문, 2007.
3. 김제철, "GIS와 PDA를 이용한 절토사면관리시스템개발", 강원대학교 박사학위논문, 2005.
4. 김학승, "자동계측 시스템에 의한 사면붕괴 예보에 관한 연구", 국민대학교 석사학위논문, 2005.
5. 유창호, 김선홍, 권명호, 최윤수, "지상라이다를 이용한 사면

- 파괴 거동분석”, 대한토목학회 정기학술대회 발표논문집, pp. 1916-1920, 2006.
6. 이문세, “토질특성에 의한 산사태 가능성 예측 분석”, 충남대학교 대학원, 석사학위논문, 2001.
7. 용계숙, “수치고도모델을 이용한 공주 북부지역의 지형 및 산사태 분석 연구”, 석사학위논문, 공주대학교 대학원, 1999.
8. Kwong, A.K.L, “Application of 3D laser scanning to slope movement monitoring”, Proceedings of the Third Cross-Strait Conference on Structural and Geotechnical Engineering, pp. 23-25, 2003.