

지상라이다를 이용한 사면파괴 거동분석

유창호* · 최윤수** · 김재명***

Analysis of Slope Fracturing using a Terrestrial LiDAR

Yoo Chang Ho* · Choi Yun Soo** · Kim Jae Myeong***

요 약

자연재해로 인한 수많은 피해 중 특히 산사태 등 사면붕괴로 인한 피해는 인간에게 많은 인적/물적 자원의 손실을 가져왔다. 이런 사면붕괴로 인한 피해를 줄이고자 사면붕괴 예방을 위해 다양한 계측장비를 이용하여 사면붕괴 예경보 시스템을 구축하였다. 하지만 대상사면에 접근성 문제를 해결하고 위험 사면 전체에 대한 안전성 평가를 실시할 수 있는 효율적인 계측장비는 많지 않은 실정이다. 이에 사면붕괴예방을 위한 효율적인 계측장비로서 측량학적인 접근 방법으로 사면거동의 정확한 계측을 위해 지상라이다시스템을 이용하여 사면붕괴 예방을 위한 시스템의 활용가능성 판단을 위한 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 인공으로 조성되어 사면안정화 공법이 적용된 토사사면에 사면상부에서 단계별로 실물 하중을 가하여 하중에 따른 사면의 거동을 Total Station과 지상라이다시스템을 이용하여 계측하였다. 두 시스템을 이용하여 계측한 성과의 정확한 비교 분석을 위해 두 시스템의 계측 결과를 동일한 좌표계로 일치시키는 3D Similarity Transformation을 통해 서로 다른 좌표계를 가지고 있는 두 좌표계를 하나의 좌표계로 통일시켜 사면이 실물하중에 어떤 거동이 일어나는지를 분석하였다. 타겟중심의 사면거동 분석결과, 지상라이다 시스템은 Total Station과 비교해 X축으로는 1cm이내의 차이가, Y축으로는 규칙적이지 않는 거동의 경향이 발생하고, Z축으로는 서로 유사한 경향을 보였다. 연속된 점에 대한 사면거동 분석결과, Y축의 위치에 따라 사면 하부에서 상부의 방향으로 사면거동의 경향이 다르게 나타나 Total Station에서 분석하기 어려웠던 사면의 연속적인 변화를 관찰할 수 있었다. 따라서 지상라이다 시스템은 Total Station에 버금가는 측량성과를 획득 하여 효율적인 사면모니터링을 위한 계측장비로 판단되었으며 기존의 사면모니터링기법의 한계를 대체 할 수 있는 측량학적 분석방법으로 많은 활용이 기대된다.

주요어 : 사면모니터링, 지상라이다, 3D Similarity Transformation, 사면안정화공법

*서울시립대학교 공간정보공학과 석사(ych@uos.ac.kr)

**교신저자, 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(choiys@uos.ac.kr)

***서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(kimjaemyeong@uos.ac.kr)

ABSTRACT : Landslide, one of the serious natural disasters, has incurred a large loss of human and material resources. Recently, many forecasting or alarm systems based on various kinds of measuring equipment have been developed to reduce the damage of landslide. However, only a few of these equipments are guaranteed to evaluate the safety of whole side of land slope with their accessibility to the slope. In this study, we performed some experiments to evaluate the applicability of a terrestrial LiDAR as a surveying tool to measure the displacement of a land slope surface for a slope collapsing protection system. In the experiments, we had applied a slope stability method to a land slope and then forced to this slope with a load increasing step by step. In each step, we measured the slope surface with both a total station and a terrestrial LiDAR simultaneously. As the result of Slope Fracturing analysis using all targets, the LiDAR system showed that three was 1cm RMSE on X-axis, irregularity errors on Y-axis and few errors on Z-axis compare with Total Station. As the result of Slope Fracturing analysis using continuous targets, the pattern of Slope Fracturing was different according to the location of continuous targets and we could detect a continuous change which couldn't be found using Total station. The accuracy of the LiDAR data was evaluated to be comparable to that of the total station data. We found that a LiDAR system was appropriate to measuring the behaviour of land slope. The LiDAR data can cover the whole surface of the land slope, whereas the total station data are available on a small number of targets. Moreover, we extracted more detail information about the behavior of land slope such as the volume and profile changes using the LiDAR data.

Keywords : Slope Monitoring, Terrestrial LIDAR, 3D Similarity Transformation, slope stability method

1. 서 론

기상이변 및 이상기후의 영향으로 국지적인 집중호우 같은 예상치 못한 재난재해의 발생은 최근 들어 빈번히 발생하고 있다. 이로 인하여 토목구조물 붕괴와 그로인한 인명피해는 늘어가는 추세이며 특히 사면붕괴로 인한 피해는 더욱 증가하고 있다. 최근 10년간 자연재해로 인한 인명피해 중 25%가 산사태등과 같은 사면붕괴로 인한 피해였다. 산사태 등 사면붕괴로 야기되는 피해를 절

감하기 위한 노력을 계속해 왔음에도 불구하고 여러 문제로 인해 사면붕괴에 대한 사전대비가 충분치 않은 것이 사실이다.

현재 미국, 일본 등 선진국에서는 산사태 및 사면붕괴에 대한 피해를 예방하기 위해 위험지역에 대한 예·경보시스템을 구축하고 있으며, 어느 정도 실효를 거두고 있다. 또한 사면붕괴예방을 위해 사면보호의 방법으로 사면의 상시계측을 통해 사면거동을 실시간으로 계측함으로써 사면활동 원인을 파악하고 사전재해 예방차원에서 사면의 안전성을 평가하고 붕괴피해를 최소화 할 수 있는 다

양한 계측방법들이 개발되고 있다.

사면붕괴예방을 위한 사면거동계측시스템은 크게 계측학적 방법, 측량학적 방법으로 구분되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 계측학적방법은 사면기울기, 경사계, 변형률계, 신축계 등 센서를 이용하여 변위를 계측하는 방법이고, 측량학적 방법은 Total Station, GPS, 사진측량 등을 이용한 변위계측방법이다.

기존 연구 중 측량학적 사면 변위계측방법으로 박운용(2002)은 GPS와 Total Station을 이용한 흙댐의 변위 검출의 연구로 50년 된 흙댐에 대한 변형모니터링을 실시하였다. 댐주변의 견고한 지반에 인근 GPS 상시기준점으로부터 유도된 점들을 2회 관측하여 기준망을 구축하였다. 이후 댐 전체에 균등 배치된 관측 대상점들을 선정하여 모니터링망을 구성하고 4회에 걸쳐 변위 발생여부를 측정하였다. 한중근(2003)은 사진측량을 이용한 사면변위계측시스템에 관한 연구를 실시하여 사진측량결과를 이용한 지반 지표변위량 뿐 아니라 각종구조물의 발생변위벡터를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. DPW를 이용하여 사면의 지표변위측정에 적용하고 위험사면에 대한 보다 정확한 실시간 지반변위를 계측할 수 있는 방법으로 광속조정 프로그램(DIMA, Digital Image Analysis)을 개발하여 사면지반 전면에 대한 임의 위치의 3차원 좌표를 사진영상으로부터 획득하였다. 그리고 결과를 조합하여 상용프로그램으로 VirtuZo와 MGE(Moduler GIS Environment)을 이용한 좌표변환과정에 따라 검증하고 사면안정평가를 위한 기초자료를 얻을 수 있도록 하였다.

하지만 기존의 계측방법들의 문제점으로 인식되어온 대상물에 대한 접근성의 문제,

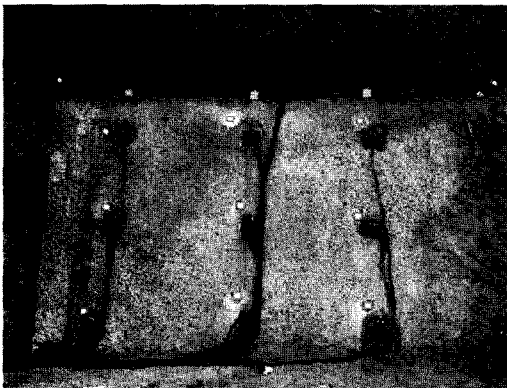
제한된 계측범위, 비용적인 문제, 기상적 영향 등으로부터 기존연구방법의 한계 및 문제를 많은 부분 보완할 수 있는 새로운 계측방법의 필요성이 대두되었다. 이에 대한 대안으로 사공명(2006)은 3차원 레이저스캐너를 이용한 사면활동 매커니즘을 규명하기 위하여 실내모형실험을 수행하였고, 실험조건에 따른 사면의 표면활동 발생과정에 대해서 정성적인 분석과 동시에 표면활동 모니터링을 위하여 3차원 레이저 스캐너를 이용한 사면표면의 특성을 관측하였다. 3차원 레이저 스캐너는 사면 활동양상의 정량적인 측정이 가능할 뿐만 아니라 레이저 반사 신호 강도를 이용하여 강우시 사면의 취약부를 조사할 수 있다는 장점이 있음을 밝혔다. 특정케이스로 레이저 스캐닝을 수행한 결과 강우가 지속됨에 따라 레이저의 반사강도는 증가하는 양상을 보였으나, 특정시점에서 사면내 활동이 발생하는 위치에서는 반사강도가 감소하는 패턴이 나타남을 규명하였다. 이와 같이 사면변위 측정에 지상 레이저 스캐너의 활용가능성이 대두되기 시작하는 현재의 상황에서 본 연구는 사면붕괴 예방을 위한 효율적인 사면모니터링 시스템의 기법으로 대상물의 변위계측을 위해 반사 타겟 없이 지형대상물의 정확한 3차원 좌표를 손쉽게 취득할 수 있는 지상 라이다시스템을 이용하여 하중에 따른 사면의 실시간 거동변위 계측을 실시하였다. 사면안정화공법이 적용된 대상사면에 대해 지상라이다 시스템과 Total Station을 이용한 사면거동을 계측하여 비교한 결과 지상라이다 시스템을 통한 계측이 요구정확도를 확보하면서 새로운 차원의 다양한 분석이 가능함을 증명하였다. 기존의 Total Station으로는 불가능했던

다양한 분석을 시도함으로써 사면거동 계측에 지상라이다시스템의 적용가능성을 살펴보는 것을 연구 목적으로 한다.

2. 데이터 획득 및 사면 거동 분석

2.1 데이터 획득

본 연구는 경상북도 김천군 관내에 사면 안정화 공법인 소일네일링 공법을 적용하여 시공한 인공사면에 단계별로 인위적 하중을 가하여 그에 따른 사면거동변위계측을 실시하였다 [그림 1]. 연구대상 사면은 4.5m(w) × 3.0m(h) 크기의 소일네일링 공법이 적용된 토



[그림 1] 실험 대상사면

<표 1> 지상라이다시스템을 통한 획득 데이터

측정회수	13회
Number of Points	11,310,000 pts (1회당 평균 871,000)
Pulse Mode	First
X Spot Spacing (counts/mm)	15 / 9.7
Y Spot Spacing (counts/mm)	15 / 9.7

사사면이다. 사면상부에서 0톤에서부터 최대 900톤까지 단계별로 80톤씩 하중을 증가시켜 하중단계별로 지상라이다와 Total Station을 이용하여 사면거동을 계측하였다.

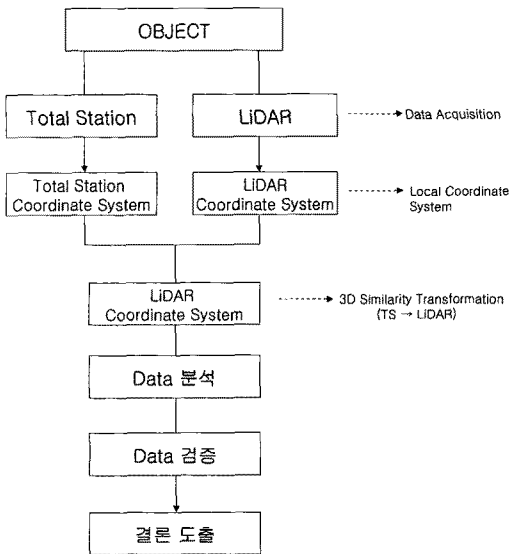
표 1은 지상라이다시스템을 통해 획득된 데이터의 사양을 명시하고 있다. 다른 계측시스템인 Total Station을 이용한 계측은 총 13단계의 하중별로 단계별 9개 타겟에 대해 117회의 점 좌표 취득을 실시하였다.

2.2 사면 거동 분석

사면 거동 분석은 대상사면의 동일점에 대해 정밀하게 관측된 Total Station 결과를 기준으로 지상라이다시스템의 계측결과가 어느 정도 정확하게 측정되었는지 비교·분석하는 방법으로 진행하였다. 우선 측정된 두 개 좌표를 비교·분석하기 위해서 서로 다른 두 가지 형태의 좌표계를 하나의 좌표계로 통일시키는 3차원 좌표변환 과정을 거친 후, 좌표변환 전후의 관측오차에 대한 RMSE를 산출하여 비교 분석을 실시하였다. 이후 변환된 좌표계상의 좌표를 이용하여 하중에 따른 사면의 거동분석을 실시하였다. 다음 그림 2는 분석 흐름을 나타낸 순서도이다.

2.1.1 라이다 데이터로부터 타겟의 3차원 좌표 추출

지상라이다를 이용하여 취득된 Point Cloud에서 타겟에 대한 3차원 좌표를 추출하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그러나 라이다 시스템의 특성상 대상물의 재질에 따른 레이저 펄스에 대한 반사강도가 다르다는 점과 대상물에 대해 아주 조밀하게 측정 된다는 점에서 측정된 라이다 데이터 중 특정점 1개



[그림 2] 연구흐름도

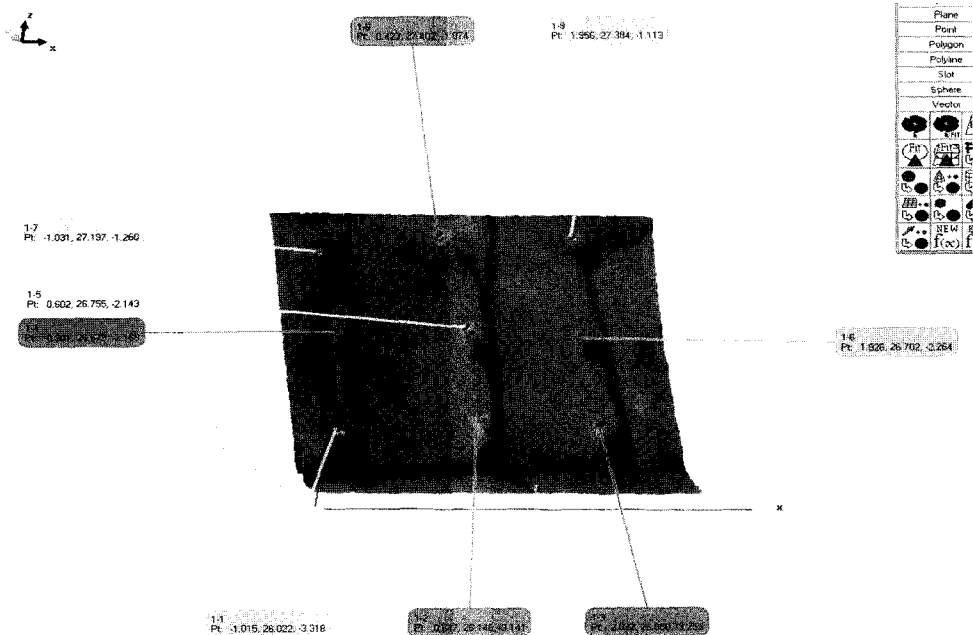
를 가지고 타겟의 좌표를 결정하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 타겟 위에 존재

하는 point를 선택하여 선택된 점들의 (X,Y,Z) 좌표를 각각 평균하여 3차원 공간상의 평균 위치를 결정하는 방법을 통해 라이다 데이터로부터 타겟의 좌표를 결정하였다.

Point Cloud에서 타겟으로부터 반사된 points의 좌표들을 각축별로 아래 식1과 같이 평균하여 타겟의 3차원 위치를 결정한다.

$$\left(\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n} \right) \quad \text{식1}$$

13단계의 하중별로 사면 상의 9개 타겟의 좌표를 전술된 방법을 통해 결정하였다. 이때의 좌표는 지상라이다시스템에서 정의된 임의의 좌표계를 기준으로 한다. 그림 3은 사면에 하중이 가해졌을 때 결정된 사면 상의 타겟의 3차원 좌표이다.



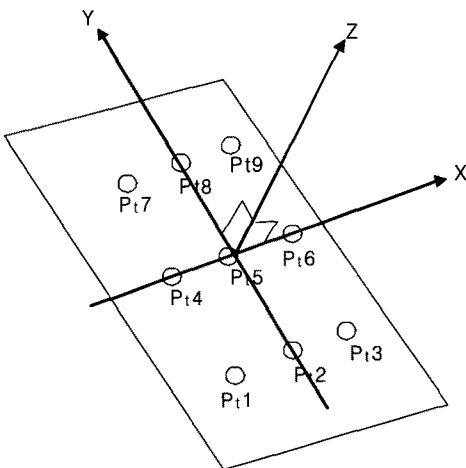
[그림 3] 라이다 데이터의 포인트 데이터를 이용한 좌표추출

2.1.2 추출데이터에서 국지좌표계 정의

지상라이다와 같이 상대좌표계를 기준으로 하는 system에서 측정된 point 데이터는 자료처리를 위하여 각 system의 좌표계를 일치시키는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 사면 상에서의 상대적인 움직임을 관찰대상으로 하기 때문에 절대좌표계로 맞추는 것은 불필요하다고 판단하였다. 이에 사면의 중심을 원점으로 하는 국지좌표계를 정의하였다.

그 국지좌표계의 각 축에 대한 정의는 그림 4와 같다. 즉 5번 표적을 원점으로 하고 4번과 6번 표적을 지나는 축을 X축, 2번과 8번 표적을 지나는 축을 Y축으로 한다. 마지막으로 두 축에 의해 정의된 X,Y 평면에 수직이면서 5번 표적을 지나는 축을 Z축으로 한다.

이와 같은 국지좌표계 정의 방법에 따라 총 13단계 중에서 하중이 0인 상태에서 획득된 데이터를 이용하여 지상라이다와 토탈스테이션 각각의 국지좌표계를 정의한다.

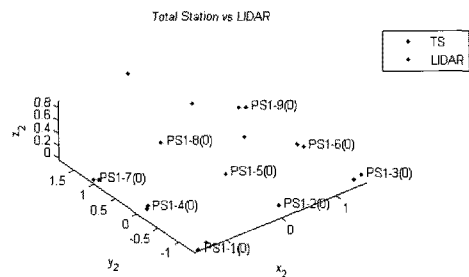


[그림 4] 사면에 정의한 좌표축

2.1.3 라이다와 토탈스테이션 좌표계 일치

앞서 정의된 국지좌표계로 변환된 두 시스템상의 좌표값은 동일 타겟을 관측했기 때문에 일치해야한다. 그러나 측정오차와 지상라이다의 Point Cloud에서 표적의 좌표값을 결정하는 과정에서 발생하는 오차 등으로 인해 두 측정 좌표값은 약간의 차이를 보였다. 이런 경우 각각의 변환된 국지좌표계를 다시 한 번 일치시키는 과정이 필요하다. 그 결과 서로 다른 좌표계에 존재하는 동일 점을 하나의 통일된 좌표계상에 위치시켜 비교해 볼 수가 있다.

본 연구에서는 토탈스테이션의 국지좌표계를 라이다의 국지좌표계로 일치시켰다. 서로 다른 3차원 좌표계를 하나의 좌표계로 일치시키는 방법론에는 여러 가지가 있다. 그러나 두 국지좌표계의 상이함이 작기 때문에 원점의 이동과 축의 회전만을 고려한 3D Similarity Transformation을 이용하였다.



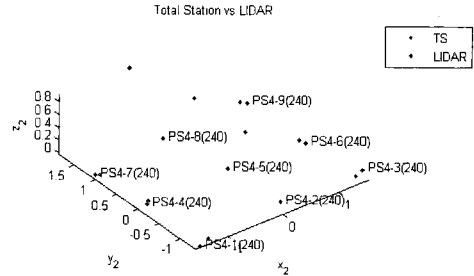
[그림 5] 타겟위치 비교 (0톤)

좌표계 일치 후 사면의 하중에 따른 타겟의 위치를 하나의 좌표계로 일치시켰다. 위의 그림은 계측된 전체 13단계 거동 변위 중 0ton - 240ton - 560ton - 900ton에 해당하는 서로 다른 4개의 하중에 따른 사면의 변위를 나타낸 것으로 그림 5는 하중이 가해지지 않은 상태의 Total Station과 지상라이다를 이용해서 취득한 좌표를 동일 좌표상에 표현한 것으로 빨간색의 Total Station의 위치와 파란색의 지상라이다의 위치가 거의 동일한 곳에 위치함을 알 수 있다. 즉, 그림 6, 그림 7 그리고 그림 8에서와 보는 것과 같이 두 관측 시스템의 위치오차는 하중이 가해지지 않은 상태인 그림 5와 같은 동일한 위치 오차를 가지고 지속적인 움직임이 있음을 알 수 있다.

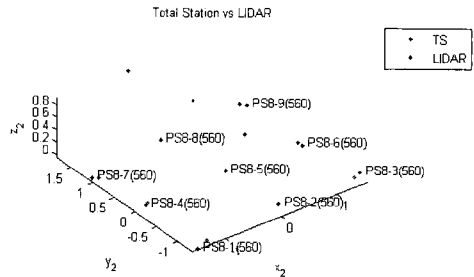
3. 사면 거동 분석 결과

3.1 좌표계 일치 후 측정오차

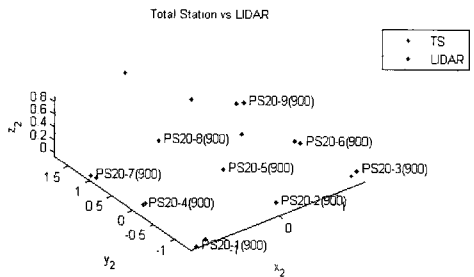
지상라이다의 측량성과 정확도를 분석하기 위해 사면안정화공법이 적용된 인공토사 사면에 대해 단계별 하중을 가하여 토탈스테이션과 지상라이다를 이용하여 하중에 따른 사면의 거동을 관측하였다. 그리고 지상라이다의 관측 정밀도를 분석하기 위해 지상라이다에서 데이터 추출 및 임의 좌표계 정의, 3차원 좌표변환을 통한 좌표계 일치 등 결과 분석을 위한 일련의 작업을 수행하여 동일한 좌표계상의 토탈스테이션과 지상라이다의 변환된 좌표를 산출하였다. 통일된 좌표계로 변환후의 좌표계상의 두 시스템간의 측정오차 RMSE를 비교해 보았다. 그림 9



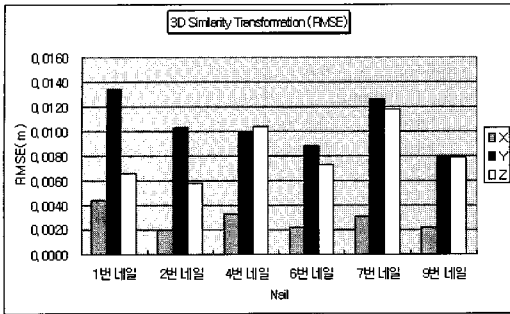
[그림 6] 타겟위치 비교 (240톤)



[그림 7] 타겟위치 비교 (560톤)



[그림 8] 타겟위치 비교 (900톤)



[그림 9] 3차원 좌표변환 후 RMSE

의 그래프에서 보듯이 네일 별로 지상라이다와 토탈스테이션을 이용하여 측정한 결과가 좌표계의 정의와 좌표변환 후의 위치오차의 감소량을 알 수 있다.

그래프에서 확인할 수 있듯이 두 시스템 간의 측정오차를 보면 다른 축에 비해 Y축 오차가 많이 발생함을 알 수 있었다. 좌표계 통일 전 측정오차를 좌표변환 후 측정오차와 비교해 보면 2번 네일의 Z축의 측정오차 RMSE는 줄어든 것으로 나타났지만 9번 네일의 Z축 측정오차 RMSE는 약간 늘어났음을 알 수 있다. 하지만 대체적으로 동일한 RMSE가 산출됨을 알 수 있다. 이는 동일 대상의 측량성과를 이용하여 정의된 각각의 국지좌표계가 거의 동일함을 나타낸다. 이를 통해서 사면거동계측이 정확하게 실시되었음을 알 수 있다.

3.2 타겟 중심의 사면 거동 분석

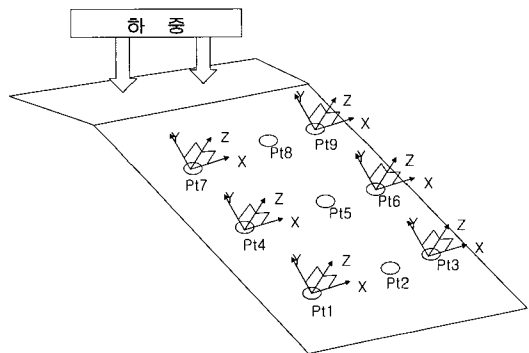
지상라이다를 이용하여 사면에 부착된 타겟이 하중에 따라 어느 정도 변위가 일어나고 있는지에 대해 정량적인 분석을 실시하였다. 그림 9는 분석하고자 하는 사면의 총 9개의 타겟에서 지상라이다 데이터로부터 3

차원 좌표 추출에 문제가 있는 3점(2,5,8번)을 제외한 6개의 점이 하중에 따라 축별로 일어나는 거동이 사면에서 어느 방향으로 움직이는지 방향성을 그림으로 표현한 것이다[그림10].

총 6개의 타겟이 하중에 따라 어떻게 거동하는지 토탈스테이션과 지상라이다의 좌표변화를 아래와 같이 비교 분석하여 보았다. 좌표축을 중심으로 두 가지 관측 장비 대해 2번 5번 8번 타겟을 제외한 총 6개의 타겟이 X,Y,Z 축으로 어느 정도 변위량을 가지고 움직이고 있는지 각각 세 개의 축을 중심으로 타겟의 움직임을 측정된 결과이다.

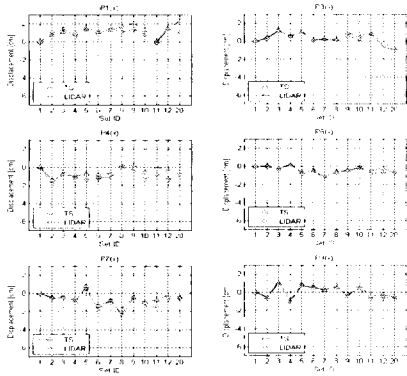
그림 11을 보면 X축 방향으로 사면의 타겟 거동 분석은 토탈스테이션과 지상라이다가 거의 흡사한 결과를 나타냈다. 두 시스템의 측량성과 차이가 1cm 이내의 오차를 가지고 수행되었음을 알 수 있다.

Y축 방향으로의 사면의 거동을 분석한 결과를 보여주는 그림 12를 보면 X축 방향의 거동변화 분석과는 많은 차이를 보인다. 정밀하게 관측된 토탈스테이션을 기준으로 사면의 거동을 분석해 보면 사면은 Y축 방향으로 완만하게 (-)값을 취하는 것은 사면에 정

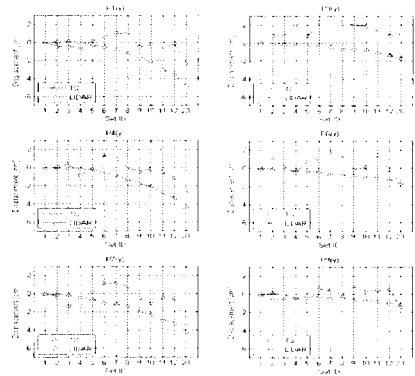


[그림 10] 하중에 따른 타겟의 거동 방향

지상라이다를 이용한 사면파괴 거동분석



[그림 11] X축 방향의 거동분석

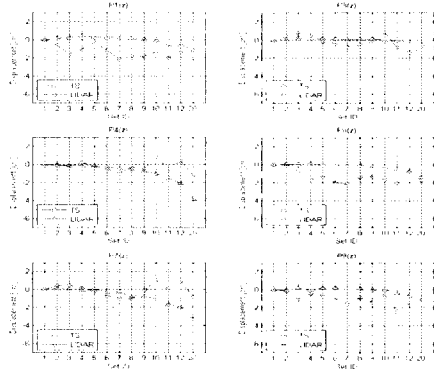


[그림 12] Y축 방향의 거동분석

의한 Y축의 방향으로 볼 때 하중에 따라 사면 상부에서 하부로 사면이 흘러 내림을 알 수 있다. 하지만 지상라이다를 이용하여 분석한 사면거동의 모습은 X축의 토탈스테이션의 거동과는 많은 차이를 보인다. 동일한 경향을 보이는 타겟도 있으나 토탈스테이션과의 많은 차이를 나타내고 있으며 규칙적이지 않은 거동의 경향이 많이 발견되었다.

Z축 방향으로 사면거동을 분석한 그림 13을 보면 정밀하게 계측된 토탈스테이션을 이용하여 Z축에 대한 거동의 경향은 상부에서 하중이 있음에도 대부분의 타겟은 Z축으로 큰 거동을 보이지 않음을 나타내었다. 지상라이다를 이용하여 분석한 결과를 보면 토탈스테이션을 이용한 계측결과와 부분적으로 유사한 경향을 보이고 있으나 측정값에 많은 차이를 보이는 타겟이 있음을 알 수 있었다.

이상에서 보듯이 하중에 따라 X,Y,Z 세 개의 축으로 거동이 일어나는 사면상의 타겟에 대해 토탈스테이션과 지상라이다를 이용하여 하중에 따른 사면의 움직임 그리고 두



[그림 13] Z축 방향의 거동분석

측량 장비간의 동일 타겟에 대해 관측값의 차이를 확인할 수 있었다. 위의 결과에서 추측 가능한 원인은 토탈스테이션의 관측값이 정밀하다고 가정할 때 X축과 같이 측량정확도가 높은 축이 있는가 하면 Y축과 같이 측량정확도가 상대적으로 많은 차이를 보이는 결과를 볼 때 지상라이다시스템 상에서 좌표축별로 정확도의 차이와 3차원 좌표를 추출하는 과정에서 오차가 발생하였음을 예측할 수 있었다.

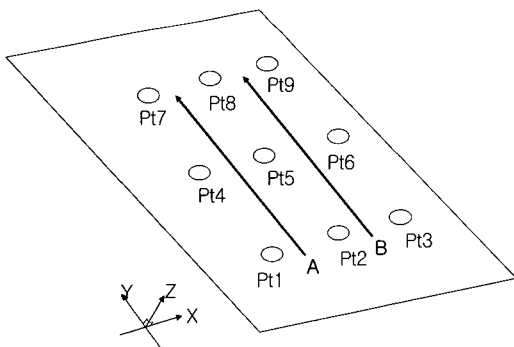
3.2 연속된 점에 대한 사면 거동 분석

앞서 이루어진 타겟 중심의 사면 거동 분석은 기존의 Total Station을 통한 사면 거동 모니터링과 비교하여 지상라이다시스템을 통한 사면 거동 모니터링의 관측정확도가 보장됨을 증명하였다. 그러나 제한된 개수의 타겟을 관측함으로써 국지적인 변화만을 관측하였다.

다른 계측장비와 차별화된 지상라이다시스템의 특성 중 하나는 표면의 연속적이고 전체적인 변화 관측이 가능하다는 것이다. 따라서 본 장에서는 사면의 특정점이 아닌 사면상의 연속된 점들에 대해 어떤 거동이 일어났는지 분석을 실시하였다.

사면상의 9개 점을 기준으로 1, 4, 7번 네일을 하나로 묶고 2, 5, 8번 네일을 하나로 묶고, 3, 6, 9번 네일을 하나로 묶어 이 세 묶음 사이를 지나는 선분을 그어 그에 해당하는 Point Data를 분석하여 어떤 거동이 일어났는지 확인하였다. 아래 그림 14는 분석을 실시한 대상사면의 분석대상 방법을 나타낸 것이다.

그림 14에서 보듯이 사면 하부에서 사면 상부로 그은 A, B 두 개의 화살표 위의



[그림 14] 연속된 점에 대한 사면 거동 분석방향

Points에 대해 최초의 하중 (0톤-set1)에서 최대하중(900톤-set20)의 변화에 따라 사면 변위가 어떤 모습으로 바뀌는지 분석하였다. 직선상의 점 좌표 즉 동일한 X축 상의 일정 간격의 Y축 방향 좌표값 내에서 Z축이 어떻게 움직이는 지에 대한 프로파일을 관측하였다.

그림 15를 보면 A방향에서는 사면하부에서 상부로 갈수록 Z축으로 많은 값이 증가되는 것을 볼 수 있다. 이는 사면상부에서 하중이 크기 때문에 사면의 변위가 많이 나타나는 것이다. B방향에서는 사면하부에서 상부로 갈수록 Z축으로 거동이 작아지는 경향을 확인할 수 있다. 이것은 사면이 Z축으로 움푹 꺼지는 특성이 있었기 때문이다. 이렇듯 지상라이다시스템을 이용하여 사면을 계측하면 기존 계측방법으로 분석하기 어려웠던 사면의 연속적인 변화를 관측할 수 있다는 장점이 있다.



[그림 15] 하중에 따른 사면의 Z값 변화 분석

3.3 사면 체적변화 분석

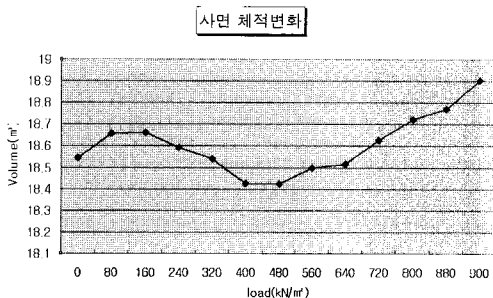
지상라이다시스템은 반사 타겟없이 대상 물체의 3차원 좌표를 신속 정확하게 생성할 수 있는 장점으로 인해 여러 분야에 활용이 많

이 되고 있는 시스템이다. 이런 시스템을 이용하여 특정점의 정밀 3차원 좌표를 추출할 수 있을 뿐만 아니라 연속된 방향상의 점에 대해 어떤 변위가 나타나는지 분석할 수 있었다.

이번 에는 하중에 따른 연구 대상사면의 체적 변화를 확인함으로써 사면의 전체적인 변화 분석을 시도하였다.

사면의 체적을 구하는 과정은 다음과 같다. ① 사면의 3차원 Point를 연결한 Surface를 형성 ② 사면에 Parallel 한 Plane 설정 ③ Plane으로부터 사면의 외곽선을 연결하여 체적 산출하는 순으로 구한다.

그림 16은 전술된 방법으로 산출된 하중에 따른 체적의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 최초 하중이 0인 지점에서 하중이 증가하자 순간적으로 체적이 증가했다가 일정 하중까지 체적이 줄어들다가 계속적으로 체적이 증가하여 최대하중에서 체적도 최고임을 알 수 있다. 이는 토질의 특성상 외부 힘이 가해졌을 때 팽창과 압축의 작용으로 인해 사면의 변형이 나타나는 것으로 보다 자세한 원인에 대해서는 본 연구 논문에서는 다루지 않았다.



[그림 16] 하중에 따른 사면의 체적변화

하지만 위와 같이 지상라이다 시스템을 이용하여 체적분석 결과를 산출하여 토질의 특성 중 압축지수와 같은 토질역학 분석에도 활용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 산사태 및 사면붕괴예방을 위한 모니터링 기법 중 측량학적 방법인 지상라이다 시스템을 이용하여 사면파괴 거동 분석을 실시하여 지상라이다 시스템이 사면 거동분석에 활용될 수 있는 지를 실험하였다. 실험 결과 지상라이다 시스템은 정밀하게 계측된 토탈스테이션의 관측치와 거의 동일한 관측 정확도를 나타냈다.

지상라이다 시스템은 다른 측량장비에서 분석하기 어려웠던 하중에 따라 대상 사면의 전체에 대한 움직임의 흐름을 읽을 수 있는 정석적인 분석이 가능하였고, 하중에 따른 체적의 변화량을 파악할 수 있어, 본 연구에서 직접적인 분석을 실시하지 않았지만 DEM추출등과 같은 다양한 분석이 가능하여 사면 모니터링을 위한 효율적인 방법이라고 생각된다. 하지만 토탈스테이션의 측정결과와 비교함에 있어 측별로 오차가 많이 나타난 부분은 라이다 데이터인 3차원 Point Cloud에서 타겟에 대한 3차원 좌표를 추출하는 방법론에 있어 생긴 문제라 생각된다. 이를 보완하기 위하여 다양한 좌표 추출방법을 적용하여 타겟에 대한 정밀 좌표를 추출할 수 있다면 보다 나은 실험 성과를 이끌어 낼 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구를 통해 지상라이다 시스템은 사면의 미세한 거동분석이 가능한 측위시스템

으로서 확인되었다. 향후 보다 다양한 방법으로 지속적인 사면거동분석을 실시하면 사면붕괴예방을 위한 효율적인 모니터링 시스템이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김홍택, 2001, 쏘일네일링의 원리 및 지침, 평문각, 서울, 1-13쪽.
- 박운용 외, 2002, GPS와 TS에 의한 흙댐의 변위 검출, 대한토목학회논문집, 22(4-D):13-82.
- 사공명, 2006, 강우로 인한 사면의 천층활동 분석 및 레이저 스캐너를 이용한 모니터링 기술, 2006년 지질공학 심포지움 발표논문집, pp. 85-98.
- 손호웅 외, 2006, 3차원 레이저 스캐닝 시스템을 이용한 불연속면의 방향성 측정과 터널 변위 모니터링, Journal of Korea Geophysical Society, 9(1):47-62.
- 장훈 외, 2004, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 사면붕괴지역 예측방법 연구 및 비교, 한국GIS학회04 GIS/RS 공동 춘계학술대회 논문집, pp.99-105.
- 유복모 외, 2003, 현대 디지털 사진 측량학, PEARSON Education Korea, 서울, pp. 25-28.
- 이임평, 2006, LiDAR 데이터로부터 지표점 추출을 위한 피쳐 기반 방법, Korea Journal of Remote Sensing 22(4):265-274.
- 이임평, 2004, 라이다 데이터로부터 지표점의 자동 추출, 한국GIS학회 04 GIS/RS 공동 춘계학술대회 논문집, 2004, pp. 374-379.
- 최원호, 2003, 3차원 스캐닝 기법을 이용한 디지털문화재 구축연구, 석사학위 논문, 상명대학교.
- 한중근 외, 2003, 사면안정해석을 위한 사진측량을 이용한 사면변위계측시스템, 한국지반공학학회지, 19(4):23-32.
- 행정자치부 국립방재연구소, 2001, 재해영향평가서 사면안정성 평가법 개발.
- Boehler, W., Heinz, G., and Marbs, A., 2002, The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording, Surveying, 28: 289-295.
- Blais, F., Beraldin, J.A., and El-Hakim, S.F., 2000, Range Error Analysis of an Integrated Time-of-Flight, Triangulation, and Photogrammetry 3D Laser Scanning System.
- Nancy F.Genn., 2006, Analysis of LiDAR-derived topographic information for Characterizing and differentiating landslide morphology and activity, Geomorphology 73:131-148.
- Schenk, 1999, *Digital Photogrammetry*, TerraScience, pp. 92-98.
- William H.S., 2004, Landslide mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington, U.S Geological Survey Open-File Report 2004-1396.

접수일 (2008년 8월 18일)

최종수정일 (2008년 11월 3일)

게재확정일 (2008년 11월 14일)