

무프리즘 토탈스테이션을 이용한 산사태 징후 모니터링 Monitoring the Symptoms of Landslide Using the Non Prism Totalstation

양인태¹⁾·박재국²⁾·박건³⁾·김준석⁴⁾

Yang, In Tae·Park, Jae Kook·Park, Gun·Kim Jun Suk

- 1) 강원대학교 토목공학과 교수(E-mail : intae@kangwon.ac.kr)
- 2) 강원대학교 토목공학과 공학박사(E-mail : gisdata@nate.com)
- 3) 강원대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : pk9275@korea.com)
- 4) 강원대학교 토목공학과 공학석사(E-mail : supportqaz@naver.com)

Abstract

To minimize damages caused by landslides due to severe rain falls and storms during the rainy season every year, it is necessary to carry out research to monitor the symptoms of landslide in advance and prevent them.

If proper actions are taken in advance by monitoring the symptoms of landslide, personal and property damages caused by landslides can be prevented or minimized.

This study tries to measure the movement of model slopes after causing displacement to each model slope using no prism Total Station and examine the applicability of Total Station by displacement through the analysis of the data.

Keyword : Landslide, Monitoring, Total Station, Slope, Displacement

1. 서론

매년 되풀이 되는 장마철 집중호우와 태풍 등에 의해 발생하는 산사태 피해를 최소화하기 위해서는 산사태의 발생징후를 사전에 감지하여 피해를 예방할 수 있는 방안의 연구가 필요하다. 산사태의 발생을 사전에 감지할 수 있다면 위험사면에 대한 적절한 대책을 수립하여 산사태로 인한 심각한 인적·물적 피해를 방지하거나 극소화 할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 산사태 실험모형사면을 대상으로 무프리즘 토탈스테이션과 레이저 스캐닝 기능을 활용한 토탈스테이션으로 실측을 수행하고 모형사면에 대한 강제변위 발생시 변위지점을 추적하여 그 결과를 분석함으로써 무프리즘 토탈스테이션의 산사태 거동감지에 대한 그의 적용성을 연구하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 산사태 모형을 대상으로 무프리즘 토탈스테이션을 이용하여 사면 경사별로 각각의 변위를 주어 모형사면의 거동을 측정후, 획득된 자료를 분석하여 모형사면의 변위에 따른 토탈스테이션의 적용성을 파악하기 위한 것으로서, 무프리즘 토탈스테이션의

레이저 스캐닝 기능을 이용한 측정 두 가지의 실험을 수행하였다.

연구범위는 모형제작에 의한 모형실험에 국한하였으며, 연구과정은 그림 1과 같은 순서에 의해 다음과 같이 설정하였다.

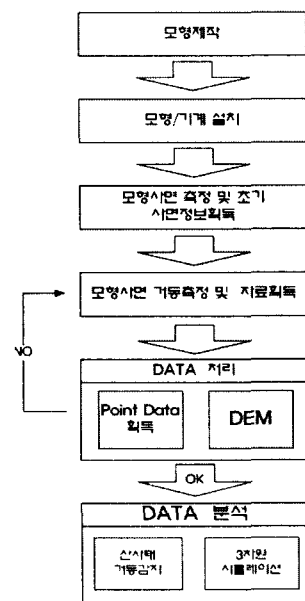
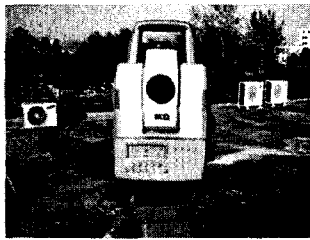


그림 1. 연구 흐름도

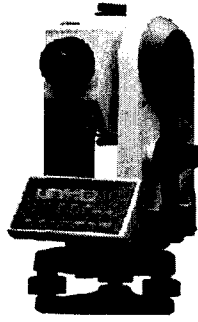
3. 토털스테이션을 이용한 산사태 측량

3.1 토털스테이션의 개요

본 연구에서는 사면 변위를 모니터링하기 위해서 레이저 스캐닝 기능을 포함하는 무프리즘 토털스테이션 5601과 무프리즘 토털스테이션 3305 두 가지 장비를 병행하여 측정하였다. 그림 2는 모형사면을 측정하기 위해 사용된 토털스테이션 5601과 3305이며, 표 1, 2는 측정을 위해 사용된 장비의 재원이다.



5601 토털스테이션



3305 토털스테이션

그림 2. 5601 토털스테이션과 3305 토털스테이션

표 1. 토털스테이션 5601의 재원

측각	측정정확도 최소측정단위	5601	5602	5603
		1"	2"	3"
거리 측정	2 ~ 200	±(3mm+3ppm)		
정확도	200 ~ 600	±(5mm+3ppm)		
거리 측정 무타겟	1소자 프리즘	최대 5.5km		
	3소자 프리즘	최대 5.5km		
	반사 테이프	최대 1.8km		
	kodak gray 18%	최대 200m		
	kodak gray 90%	최대 600m		
	콘크리트 표면	200M ~ 300M		
	목재 표면	150M ~ 300M		
	금속 표면	150M ~ 200M		
밝은 암석	150M ~ 250M			
어두운 암석	100M ~ 150M			

표 2. 토털스테이션 3305의 재원

측각	측정정확도 최소측정단위	3305
		5"
거리 측정	1소자 프리즘	최대 5.0km
	3소자 프리즘	최대 7.5km
거리 측정 무타겟	kodak gray 18%	최대 70M
	kodak gray 90%	최대 100M
	정밀도	±(3mm+3ppm)

3.2 산사태 실험모형제작

산사태 발생을 옥외에서 지반 변위량에 따른 토털스테이션의 측정 가능 및 변화 등을 파악하기 위하여 모형 산사태 발생 실험 장치를 제작하였다.

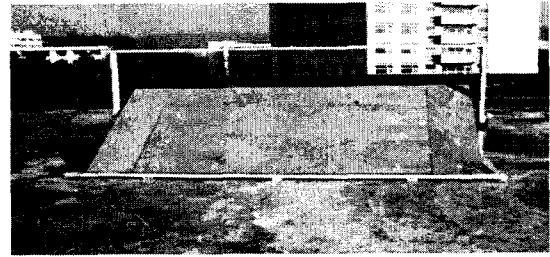


그림 3. 산사태 실험의 모형사면

실험모형은 바닥면으로부터 수평각이 30° ~ 50° 범위에서 사면의 각도를 인위적으로 자유롭게 조절할 수 있고 크기는 3200mm×1600mm이며, 침하를 조절하는 안쪽 사면의 크기는 2440mm×1220mm로 제작하였다. 침하량 조절에 대한 계측은 피아노선과 스틸자를 사용하였고 경사각은 디지털경사계와 각도기를 이용하여 관측하였다. 부착된 타겟은 격자간격 50cm로 가로 7개, 세로 4개씩 총 28개를 부착하여 측정하였다.

3.3 경사별 변위측정

경사별 사면변위를 측정하기 위해 무프리즘 토털스테이션 3305와 레이저스캐닝 기능이 포함된 토털스테이션 5601을 이용하여 측정하였다. 토털스테이션의 관측방법에 있어 3305는 고정 포인트의 변위발생시 이동경로를 관측하고 5601은 사면의 상단 좌우측과 하단지점의 경계를 영역으로 하여 30cm 격자 간격으로 레이저 스캐닝을 실시하였다. 이때 사면 거동을 관측하기 위해 30°, 40°, 50° 경사를 기준으로 외곽에 있는 사면은 고정시키고 부착해 놓은 타겟 15개가 있는 안쪽의 사면을 각각 0mm, 5mm, 10mm, 30mm, 60mm씩 강제변위를 발생 시킨 후 사면변위를 측정하였다.

4. 데이터 분석결과

4.1 3305 토털스테이션의 관측결과

표와 그림에서 알 수 있듯이 ΔZ값과 ΔD값이 모두 비례적으로 증가하고 있어 계측의 정확도 및 자료의 신뢰성을 확인할 수 있으며, 이는 산사태 발생시 수 mm의 침하 및 변위를 정확하게 감지할 수 있음을 반증한다.

표 3. 사면경사가 50° 일때 강제변위별 평균 ΔD, ΔZ값

mm	열	ΔD	ΔZ
5	A	0.0038	0.0018
	B	0.0024	0.0008
	C	0.002	0.001
10	A	0.0084	0.0056
	B	0.0054	0.0022
	C	0.0028	0.0002
30	A	0.025	0.0164
	B	0.0122	0.0076
	C	0.004	0.0014
60	A	0.0484	0.0318
	B	0.0254	0.0158
	C	0.0056	0.0034

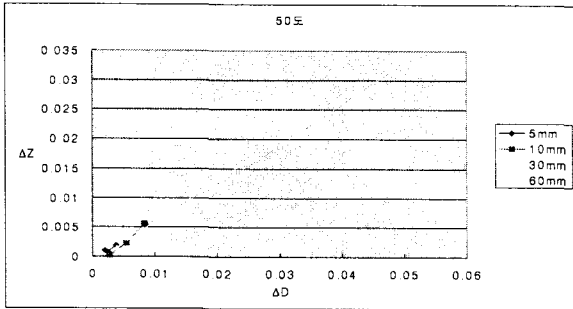


그림 4. 사면경사 50° 일때 강제변위별 비교

mm	열	ΔD	ΔZ
5	A	0.0064	0.0056
	B	0.0028	0.0024
	C	0.0006	0.0002
10	A	0.0112	0.0098
	B	0.0054	0.0046
	C	0.0014	0.0002
30	A	0.028	0.0244
	B	0.013	0.0118
	C	0.0022	0.0018
60	A	0.0556	0.0482
	B	0.0276	0.024
	C	0.0052	0.0042

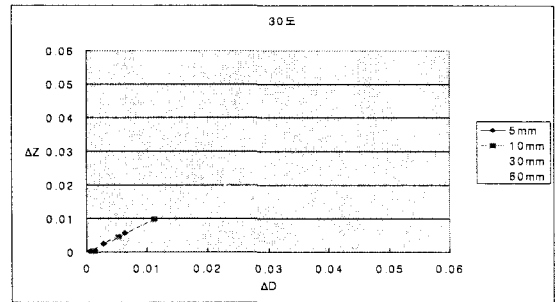


그림 6. 사면경사 30° 일때 강제변위별 비교

표 4. 사면경사가 40° 일때 강제변위별 평균 ΔD , ΔZ 값

mm	열	ΔD	ΔZ
5	A	0.007	0.0052
	B	0.0052	0.003
	C	0.0014	0.0006
10	A	0.0114	0.0074
	B	0.0064	0.004
	C	0.0014	0.0008
30	A	0.0278	0.0208
	B	0.0152	0.0108
	C	0.0032	0.0018
60	A	0.0542	0.0414
	B	0.0274	0.0208
	C	0.0046	0.0032

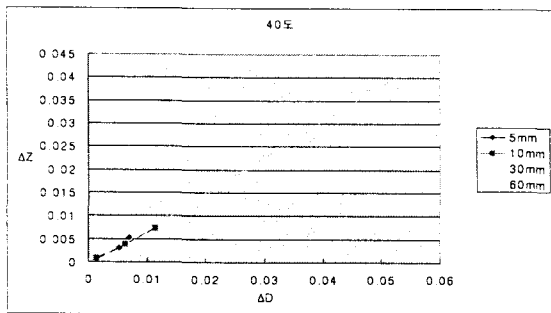


그림 5. 사면경사 40° 일때 강제변위별 비교

표 5. 사면경사가 30° 일때 강제변위별 평균 ΔD , ΔZ 값

4.2 5601 토털스테이션의 관측결과

표와 그림에서 알 수 있듯이 낮은 경사도 일수록 ΔD 의 변위량이 크게 나타났다. 즉, 산사태로 인한 사면 거동 발생시 사면경사가 낮을수록 실제보다 변위가 크게 나타나 실제 사면 거동 발생시 경사가 낮은 사면에서 거동 감지가 효과적임을 알 수 있었고 계측의 정확도 및 자료의 신뢰성을 확인할 수 있으며, 이는 수 mm의 침하 및 변위 발생시 정확하게 감지할 수 있음을 반증한다.

표 6. 50° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD 값

		D	C	B	A
ΔD	5	0.0013	0.0025	0.0034	0.006
	10	0.002	0.0033	0.0073	0.0121
	30	0.0048	0.0114	0.0198	0.0279
	60	0.0085	0.0206	0.0385	0.0596

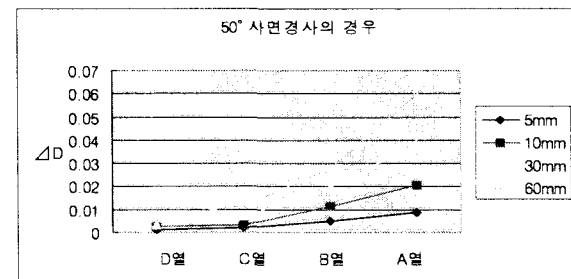


그림 7. 50° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD 값

표 7. 40° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD값

40° 사면경사					
	mm \ 열	D	C	B	A
ΔD	5	0.0009	0.0029	0.0061	0.008
	10	0.0016	0.0046	0.0086	0.0119
	30	0.0041	0.0121	0.0234	0.0343
	60	0.0096	0.0253	0.0433	0.0626

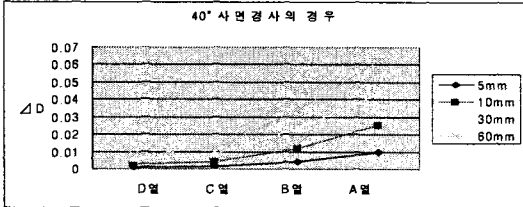


그림 8. 40° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD값

표 8. 30° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD값

30° 사면경사					
	mm \ 열	D	C	B	A
ΔD	5	0.0021	0.0038	0.0073	0.0101
	10	0.0033	0.0063	0.0118	0.017
	30	0.0063	0.015	0.0286	0.0425
	60	0.0123	0.0295	0.0569	0.0851

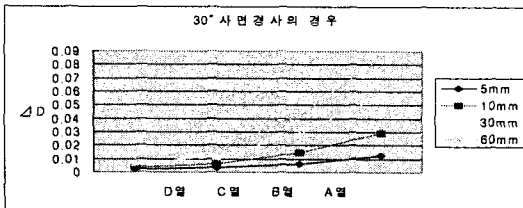


그림 9. 30° 경사시 각각의 강제변위별 ΔD값

본 연구에서는 사면의 3차원 가시화 및 사면변위에 따른 사면 거동의 3차원 시뮬레이션을 구현하기 위해 5601 토탈스테이션에서 획득된 측량자료를 ArcGIS 3D 분석 툴을 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 생성한 후, 각각의 강제변위조건에 따른 DEM을 구축하였으며, 생성된 각각의 DEM을 이용하여 ArcScene에서 3차원 가시화를 수행하였다.

사면경사 40° 일 경우, 강제변위 0mm일때와 강제변위 60mm일때 DEM을 비교했을 경우에 변화량이 미비하여 변위지역을 육안으로 쉽게 판독하기가 어려우나 그림 10에서 확인할 수 있듯이 3차원 가시화 처리과정 후에는 확연히 구분되는 변화를 통하여 변위를 육안으로 쉽게 판독이 가능하였다.

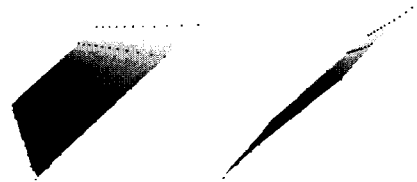
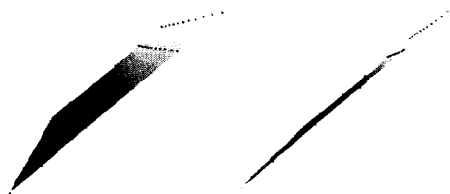
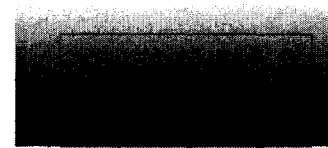
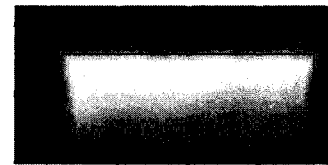


그림 10. 사면경사 40° 일 경우 0mm와 60mm 강제변위시 3차원 가시화

그림 11(a)와 같이 DEM을 통해서도 그 변화량이 미비하여 변위지역을 육안으로 판독하기가 어렵다. 그러나, 그리드분석을 통한 변화탐지기법을 적용할 때에는 확연히 구분되는 변화를 통하여 변위지역을 육안으로 쉽게 판독이 가능하였다.



(a) DEM



(b) 변화탐지 처리

그림 11. 사면경사 40° 일 경우의 DEM과 변화탐지 처리과정 후

5. 결론

무프리즘 토탈스테이션은 1mm까지 정밀하게 사면거동을 관측할 수 있었고 산사태로 인한 사면 거동 발생 시 사면경사가 낮을수록 실제보다 변위가 크게 나타나 실제 사면거동 발생시 경사가 낮은 사면에서 거동감지가 효과적임을 알 수 있었으며 수 mm의 사면거동 감지뿐만 아니라 넓은 지역을 모니터링할 수 있어 무프리즘 토탈스테이션이 산사태 거동 감지에 매우 실용적이라는 결론을 얻었다.

감사의 글

이 연구는 강원대학교 부설 방재연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부 한국건설교통기술평가원, "산사태 발생 예측 및 피해저감기술", 2004, 2005.
2. 천기선, "GIS를 이용한 산사태 취약지 결정 기법", 강원대 대학원 박사학위논문, 2005.