

사면의 지표변위 측정을 위한 레이저 거리측정기의 활용

Application of Laser Distance Measurer to measure ground surface displacement in slopes

조용찬¹, 송영석^{2*}

Yong-Chan Cho¹, Young-Suk Song^{2*}

¹Non member, Senior Researcher, Environmental Geology Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Republic of Korea

²Member, Principal Researcher, Geologic Hazards Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the method to measure effectively the ground surface displacement of slope was proposed using the Laser Distance Measurer (LDM). Applying the proposed technique is more simple and easier than the complicated and high-priced instrument to measure the ground surface displacement. LDM is an instrument that the red laser aimed at the target and then the reflected laser used for calculating the distance. The advantages of LDM are easy operating method, high measurement precision and lower in price. To check the feasibility, the proposed method applied to the real site that the ground surface displacement of slope was occurred continuously. The ground surface displacements were occurred in various points of the natural and cut slopes located at the lower part of coal mine waste heap due to the load of waste heap. To measure directly the ground surface displacement in this site, 6 measurement sections and 26 measurement points were selected. As the result of the displacement measured by the proposed technique within a certain period time, the accumulative ground surface displacement could be measured as well as the velocity of displacement could be estimated. Also, the progress direction of ground surface displacement can be confirmed and predicted through the analysis of all measured result.

요 지

본 연구에서는 레이저 거리측정기를 이용하여 사면의 지표변위를 효과적으로 측정하는 방법을 제안하였다. 기존 사면의 지표 변위 혹은 지중변위를 측정하기 위한 복잡하고 고가의 장비 대신에 제안된 방법을 적용할 경우 보다 간편하고 쉽게 지표변위를 측정할 수 있다. 레이저 거리측정기는 적색 레이저를 측정을 원하는 피사체에 시준하면 반사되는 레이저를 이용해 거리를 측정하는 기기로 작동방법이 용이하고 측정정밀도도 아주 높으며, 가격이 저렴한 장점이 있다. 제안된 방법의 활용가능성을 검토하기 위하여 실제 지표변위가 지속적으로 발생하는 현장에 적용하였다. 대상지역은 석탄폐석 적치장의 영향으로 하부에 위치하는 절취사면 및 자연사면의 여러 위치에서 지표변위가 발생된 현장이다. 대상지역에 지표변위를 직접적으로 측정하기 위하여 6개의 측정구간과 26개의 측정지점을 선정하였다. 일정한 기간 동안 제안된 방법을 이용하여 측정한 결과 누적 지표변위량 뿐만 아니라 지표변위속도까지 측정이 가능하였다. 그리고 이들 결과를 종합적으로 분석하여 지표변위 발생방향을 확인 및 예측할 수 있다.

Keywords : Laser distance measurer, Natural slope, Cut slope, Ground surface displacement, Field application

1. 서 론

사면의 안정성을 평가하기 위해서 건기시와 우기시에 대한 사면안정해석을 수행하고 주로 우기시에 발생하는

Received 15 Jan. 2014, Revised 5 Feb. 2014, Accepted 7 Feb. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-42-868-3035; Fax: +82-42-868-3414

E-mail address: yssong@kigam.re.kr (Y.S. Song)

사면붕괴의 특성을 예측하는 것이 매우 중요하다. 특히 우기시 사면붕괴발생 특성은 지반조건, 지질조건 및 지형조건에 따라 다르게 나타나며, 강우패턴에 따라 다르게 나타난다. 따라서 이러한 인자들을 고려한 사면붕괴 발생예측은 매우 중요하다. 따라서 특정 사면에 대한 계측을 통하여 사면의 붕괴가능성을 조사하고, 사면안정성을 평가하여 위험 혹은 대피상황을 결정하기 위하여 많은 연구들이 수행되어 왔다(Hong et al., 1995; Jeong et al., 2001; Song et al., 2012).

기존 사면에 대한 계측시스템은 토사사면 및 암반사면에 따라 각각 계측장비의 차이가 있으나, 기본적으로 지표 혹은 지중의 변위측정과 지반내 간극수압의 측정으로 구성된다. 특히, 시공단계별 사면의 안정성을 확인하기 위하여 지중경사계, 지표변위계(신축계), 간극수압계 등을 설치된다. 그러나 이들 센서를 이용하는 경우 특정한 위치의 변위를 측정하므로 대상사면의 전체적인 변형을 판단하기 어렵다. 또한 각종 계측장비는 상당히 고가의 장비들이며, 해당위치에 설치 및 유지관리가 어려운 단점이 있다(Han et al., 2001).

최근에는 측량장비의 발달로 인하여 소프트카피 사진 측량기법(Han and Song, 2003), 지상 레이저 스캐닝 기법(Chigira et al., 2004; Oh et al., 2012; Fanti et al., 2013), GB-SAR (Leva et al., 2003; Tarchi et al., 2003; Lee et al., 2007) 등을 이용하여 사면의 변위를 측정하는 연구가 시도되고 있다. 이들 연구에서는 사면의 지표변위, 불연속면 등을 계측하고, 이를 토대로 사면안정해석을 수행하여 사면의 안정성을 평가한 연구이다. 이외에 레이저빔을 이용하여 철도터널의 내공변위를 상시 계측하거나(Lee et al., 2009), 철도레일에 대한 굴곡시험시 변위량을 측정하는 사례가 있다(Kim and Kim, 1999). 그리고 모르타르의 자중압밀침하량을 측정하기 위하여 레이저 거리측정실험을 수행한 연구도 있다(Kwak and Ha, 2008). 그러나 이러한 기법들은 고가의 스캐너 혹은 레이저 장비가 필요하며, 측정결과와 자료가 방대하므로 처리하는데 많은 시간이 소요된다.

따라서 본 연구에서는 레이저 거리측정기를 이용하여 사면의 지표변위를 효과적으로 측정하는 방법을 제시하고자 한다. 그리고 석탄폐석 적치장이 설치된 자연사면 및 절취사면을 대상으로 제안된 방법을 적용하였다. 즉 지속적인 지표변위가 발생하는 사면을 대상으로 해당 방법을 적용하여 일정기간 동안 지표변위를 측정하고, 측정결과

를 분석하고자 한다. 이와 같은 측정결과를 토대로 레이저 거리측정기를 이용한 사면의 지표변위 측정방법의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 레이저 거리측정기를 이용한 지표변위 측정방법

사면 또는 지반의 안전성을 조사할 때 조사대상에 따라서 다양한 방법을 이용하여 지반의 변위를 측정할 수 있다. 이때 흔히 사용하는 방법으로는 지중변위를 측정할 때 사용하는 지중경사계, 지반의 침하속도를 측정할 때 사용하는 지반침하계, 사면에서 포행(creep)의 정도를 측정할 때는 신축계(extensometer)등이 있다. 최근에는 고해상도의 레이저 스캐너를 이용해서 지표면 전체의 변화양상을 정밀하게 측정하는 방법도 이용되고 있다. 그러나 전문화된 방법들은 대부분 시추 등의 추가적인 시공이 필요하거나 고가의 장비를 사용해야 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하면서 간편하고 쉽게 지표변위를 측정하는 방법으로 본 연구에서는 레이저 거리측정기를 이용하였다.

레이저 거리측정기는 적색 레이저를 측정을 원하는 피사체에 시준하면 반사되는 레이저를 이용해 거리를 측정하는 기기이다. 본 기기는 현재 건축분야에서 많이 활용되고 있으며, 장비의 작동방법이 용이하고 측정정밀도도 아주 높으며(1 mm), 가격이 저렴한 것이 장점에 해당한다. 본 연구에서 사용된 레이저 거리측정기는 Leica의 DISTO D5모델이며, 본 기기의 특징 및 장점은 Table 1과 같다.

Fig. 1은 지표변위 측정을 위하여 설치한 타깃과 측정을 위한 레이저측정기를 설치한 모습을 나타낸 것이다. 레이저 거리측정기는 볼 마운트를 이용하여 그 자세를 자유자재로 움직일 수 있도록 하였다. 타깃에 해당하는 부분은 A5 크기(105mm × 146mm)의 아크릴 판에 레이저측정용 타깃판을 부착하여 사용하였으며, 각각의 폴(pole)은 길이 150cm, 지름 15mm의 쇠봉을 측정지점에 약 50~60cm 길이로 설치하였다.

본 기기를 사용하여 거리를 측정하는 방법은 Fig. 2와 같다. 그림에서와 보는 같이 레이저 거리측정기를 볼 마운트와 함께 설치한 다음 일정 거리에 위치하고 있는 타깃판을 시준하게 된다. 본 기기는 디지털 카메라가 내장되어 있어 시준되는 지점을 화면으로 확인 할 수 있으며, 시준된 화면은 4배까지 확대하여 볼 수 있다. 타깃 판에 레이저가 시준되면 빨간 점이 타깃에 나타나게 되고 이때 측정버튼을 누르면 거리와 함께 각도까지 측정된다. 측정시 버

Table 1. Features and merits of Laser Distance Measurer (DISTO D5, Leica)

features	merits
measurable range 0.05m–200m accuracy $\pm 1.0\text{mm}$	precise, prompt and credible values
4 times digital point finder and high-resolution display	convenient measurement of the distance under the hot sun
power range technology	measuring 100m long distance without target or 200m long distance with target
tilt measurer	measuring maximum $\pm 45^\circ$
measurement of horizontal distance using tilt measurer	measuring the horizontal distance in the obstacle condition,
trapezoid function	measuring a roof and wall surface easily and rapidly
pythagoras function	measuring the height and width of the inaccessible section indirectly
detailed display	confirmation of additional information such as angle,



(a) Laser distance measurer on the ball mount



(b) Target attached to the top of steel pole

Fig. 1. Laser distance measurer and target pole



(a) Collimation of target



(b) Measurement display

Fig. 2. Measurement technique of surface distance using Laser distance measurer

튼을 누를 때 발생하는 흔들림 오차를 방지하기 위하여 타 이머를 이용한 측정방법을 사용한다. 표시창에 나타나는 각도는 본 기계를 수평으로 했을 때를 기준으로 타깃의 위

치가 아래쪽에 있으면 (-)의 각도를 표시하고 위쪽에 있으면 (+)의 값을 표시하게 된다. 이러한 방법으로 대상지역의 전역을 대상으로 지표 변위량을 측정할 수 있다.

3. 현장적용 및 결과분석

3.1 현장개요

연구대상지역은 강원도 삼척시 도계읍에 위치한 도계 석탄폐석 적치장 하부에 위치한 자연사면 및 절취사면이다. Fig. 3은 대상지역의 전경을 나타낸 것으로 자연사면의 능선부에 석탄폐석 적치장이 조성되어 있으며, 석탄폐석 적치장의 하부 자연사면의 하단부에 절취사면이 위치하고 있다. 절취사면의 경우 지속적인 변형이 발생되어 사면경사를 1:2로 완만하게 조성하였다. 그러나 완만하게 조성된 절취사면에서는 지속적인 인장균열이 발생되고 지반 변형이 증가하는 양상을 보였다(Cho and Song, 2013).

이와 같이 대상지역의 절취사면을 대상으로 지표변위



Fig. 3. Panoramic view of study area (Cho and Song, 2013)

가 많이 발생하였으며, 지속적으로 지표변위가 발생되고 있으므로 레이저 거리측정기를 이용하여 해당사면에 대한 지표변위를 측정하였다. 먼저 대상지역내 기준점을 선정한 후 절취사면 내에 측정지점을 설치하여 정기적으로 기준점과 측정지점 사이의 거리를 측정하였다. 이러한 측정 결과를 토대로 절취사면의 지표변위량 및 변위속도를 분석하였다.

3.2 측정위치 선정

연구 대상지역은 자연사면의 여러 위치에서 지표변위 발생의 증거들이 나타나고 있으며, 특히 자연사면 하단부에 개설된 절취사면에서도 지속적으로 지표변위가 발생되고 있다. 따라서 이러한 위치에서의 지표변위를 직접적으로 측정하기 위하여 측정구간 및 측정지점을 선정하였다.

Fig. 4 및 Table 2는 대상지역에 대한 지표변위 측정구간

Table 2. Measurement sections and points in the site

section	fixed point	target point
1	1-5	1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10
	1-11	1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10
2	2-1	2-2, 2-3
	2-3	1-4, 2-2, 2-4, 2-5
3	3-1	3-2, 3-3
4	4-1	4-2
5	5-1	5-2, 5-3
6	6-1	6-2



Fig. 4. Location of measurement point to measure the ground displacement

과 측정지점을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 측정구간을 모두 6개(1구간-6구간)로 구분하였고, 26개의 측정 타깃을 설치하였다. 그림에서 보는 바와 같이 자연사면의 하단부에 개설된 절취사면내 지표변위를 측정하기 위하여 모두 11개(1-1 - 1-11)의 타깃을 설치하였으며, 기준점은 2곳(1-5와 1-11)을 설정하였다. 절취사면 상부구간은 상시에도 마르지 않고 충전층 지하수가 유출 되는 소류지를 중심으로 그 주변 지역에 5개(2-1 - 2-5)의 타깃을 설치하였으며, 기준점을 2곳(2-1과 2-3)으로 설정하였다. 특히 이 구간에서 절취사면 상단부에 설치한 타깃을 측정할 수 있으므로 상호간의 변위를 측정할 수 있도록 하였다. 한편 석탄폐석 적치장 하부의 자연사면에 3개의 측정구간을 설정하였다. 좌측으로부터 각각 3개(5-1 - 5-3), 3개(3-1 - 3-3) 및 2개(4-1 - 4-2)의 타깃을 설치하였으며, 각 구간별 기준점은 5-1, 3-1 및 4-1 위치이다. 마지막으로 석탄폐석 적치장 상단부에서 사면방향으로 침하가 발생하는 지점에 대해서도 측정구간으로 설정하여 2개(6-1 - 6-2)의 타깃을 설치하였다.

측정지점의 설치는 8월 13일부터 순차적으로 진행되었으며, 특히 1-11위치에서의 타깃은 절취사면의 지표변위가 심하게 발생하기 시작할 무렵인 9월 29일에 설치를 하였다. 당초 절취사면의 경우 1-5위치에서의 타깃을 기준점으로 설정하여 절취사면의 법면방향에 대한 지표변위량을 측정하려고 하였으나 법면방향의 지표변위량이 과소하게 측정되어 절취사면의 전면방향에 1-11위치에 기준점을 추가로 설치하였다.

대상지역의 지표변위는 월 2-3회 정도로 측정하였으며, 직접 현장을 방문하여 레이저 거리측정기와 현장에 설치된 타깃을 이용하여 지표변위를 측정하였다.

3.3 측정결과 및 분석

대상지역에 대한 지표변위 측정은 약 6개월 동안 9회 실시하였다. 측정결과는 초기치 대비 누적변위를 나타낸 것이며, 결과치가 (-)인 경우 측정지점간 거리가 가까워진 것을 의미하며, 결과치가 (+)인 경우 측정지점간 거리가 멀어진 것을 의미한다. 대부분의 측정지점에서 지표변위가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내고 있는 것으로 나타났다. 각각의 측정구간별로 결과를 정리하면 다음과 같다.

3.3.1 1구간 (하부 절취사면구간)

1구간은 하부에 위치하는 절취사면으로서 시간에 따른

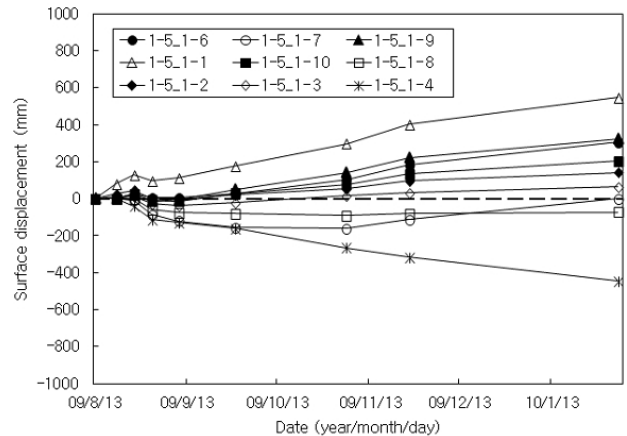


Fig. 5. Surface displacement measured from fixed point 1-5

절취사면의 지표변위를 측정하였다. 이를 위하여 모두 11개(1-1 - 1-11)의 측정지점을 선정하였으며, 지표변위 측정을 위한 기준점은 2개(1-5와 1-11) 지점이다. Fig. 5는 1-5 기준점에서 해당구간의 다른 지점을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로부터 다른 지점까지의 거리는 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 시간이 지남에 따라 1-8 및 1-4 지점에서는 기준점으로부터 간격이 가까워지고 있으며, 1-7지점은 기준점으로부터 가까워졌다가 다시 멀어지는 것으로 나타났다. 그리고 나머지 지점은 기준점으로부터 모두 멀어지는 것으로 나타났다. 이를 토대로 절취사면의 중간부에서 계곡방향으로 사면의 지표변위가 발생함을 알 수 있으며, 절취사면 상단부에서 사면방향으로 지표변위가 발생함을 알 수 있다. 이들 변위를 변위속도로 나타내면 절취사면의 상단부에서 사면방향으로 평균 2.2-3.8 mm/day의 속도로 변위가 발생되며, 절취사면의 중간부에서 계곡방향으로 평균 0.3-3.1mm/day의 속도로 변위가 발생된다. 한편, 1-4지점에서는 측정지점간 거리가 가장 크게 가까워졌으며, 지표변위는 (-)455mm가 발생되었다. 그리고 1-1지점에서는 측정지점간 거리가 가장 크게 멀어졌으며, 지표변위는 (+)547mm가 발생되었다.

Fig. 6은 1-11 기준점에서 해당구간의 다른 지점을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 본 기준점은 주 계곡의 남쪽지형에서 변위가 발생하지 않는 고정점이다. 이 기준점에서의 변위측정은 9월 30일에 시작하였으며, 2월 4일까지 모두 4회 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로부터 다른 지점까지의 거리는 시간이 지남에 따라 지속적으로 가까워지고 있는 것으로 나타났다. 절취사면의 상부에 위치하고 있는 1-3지점의 지표 변위량은 (-)1,486mm로

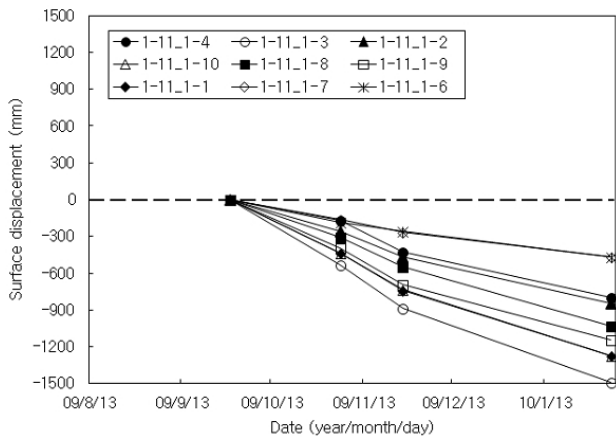


Fig. 6. Surface displacement measured from fixed point 1-11

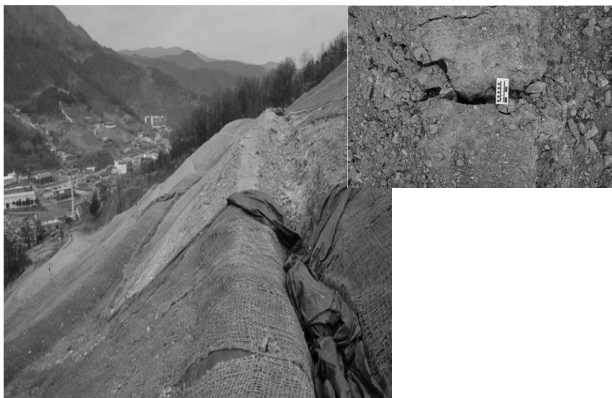


Fig. 7. Deformation and tension crack at the first berm in the cut slope (2009.11)

서 가장 크게 발생되었으며, 절취사면의 하부에 위치하고 있는 1-6 및 1-7지점에서의 지표 변위량은 약 (-)470mm로서 비교적 크게 발생되고 있으며, 평균 3.7mm/day의 속도로 변위가 발생되었다. 따라서 1구간의 절취사면의 경우 전체적으로 지표변위가 발생함을 알 수 있다.

Fig. 7은 2009년 11월 27일 당시 절취사면의 제1소단에서 나타난 사면의 변형을 촬영한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 제1소단은 사면의 변형이 발생되어 굽어져 있으며, 인장균열의 수도 증가하고 인장균열의 폭도 증가되고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3.2 2구간 (절취사면 상부 자연사면구간)

2구간은 절취사면 상부에 인접하여 위치한 자연사면구간으로서 모두 5개(2-1 - 2-5)의 측정지점을 선정하였으며, 지표변위 측정을 위한 기준점은 2개(2-1와 2-3) 지점이다. 특히 2-3지점에서 1-4지점을 측정함으로써 절취사면의 상단부의 변화량을 측정하고자 하였다. Fig. 8은 2-1 기준점에서 해당구간의 2-2 및 2-3지점에 대한 측정결과를 나타

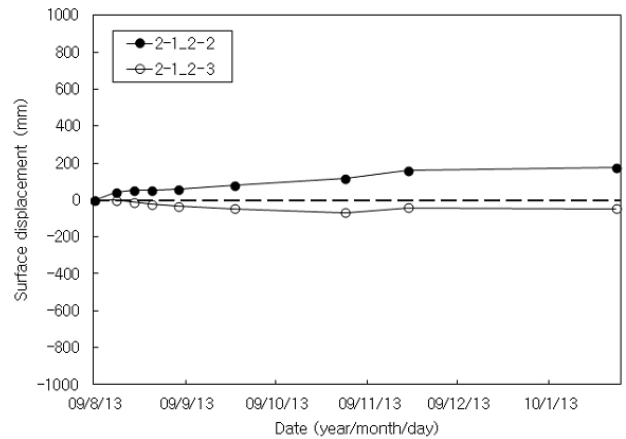


Fig. 8. Surface displacement measured from fixed point 2-1

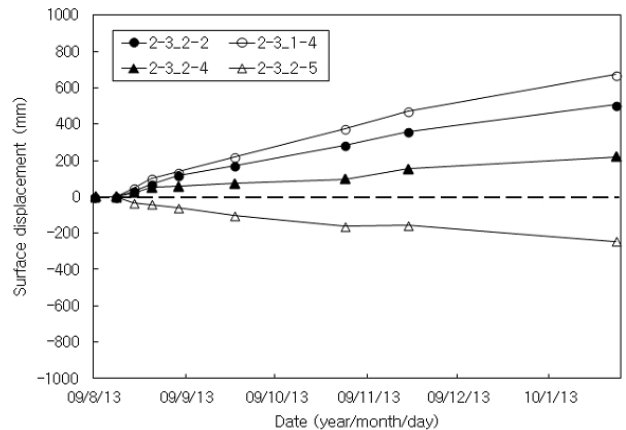


Fig. 9. Surface displacement measured from fixed point 2-3

낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로부터 2-2 지점은 시간이 지남에 따라 미소하게 증가하는 것으로 나타났으나, 2-3지점은 증가하다가 미소하게 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 2-1 기준점에서 2-2지점은 시간에 따라 멀어지는 경향을 보이거나 2-3지점은 가까워지는 경향을 보이고 있다. 이를 토대로 절취사면의 상단부에 위치한 자연사면에서 절취사면방향으로 지표변위가 발생함을 알 수 있다. 이들 변위를 변위속도로 나타내면 절취사면의 상단부에서 사면방향으로 평균 0.2-5.9mm/day의 속도로 변위가 발생된다.

한편, Fig. 9는 2-3 기준점에서 해당구간의 2-2, 1-4, 2-4 및 2-5지점에 대한 변위측정결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로부터 2-2, 1-4 및 2-4지점은 시간이 지남에 따라 계속적으로 멀어지는 경향을 보이며, 2-5지점은 시간이 지남에 따라 가까워지는 경향을 보인다. 이를 토대로 절취사면의 상단부에 위치한 자연사면에서 절취사면방향으로 지표변위가 발생함을 알 수 있다. 특히 기준점에서 1-4지점의 지표변위량은 (+)674mm로 가장

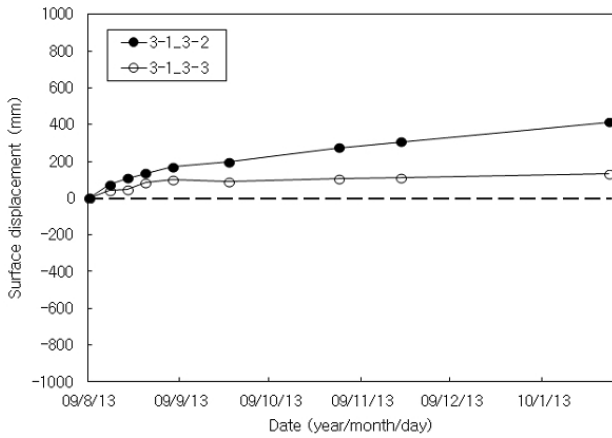


Fig. 10. Surface displacement measured from fixed point 3-1

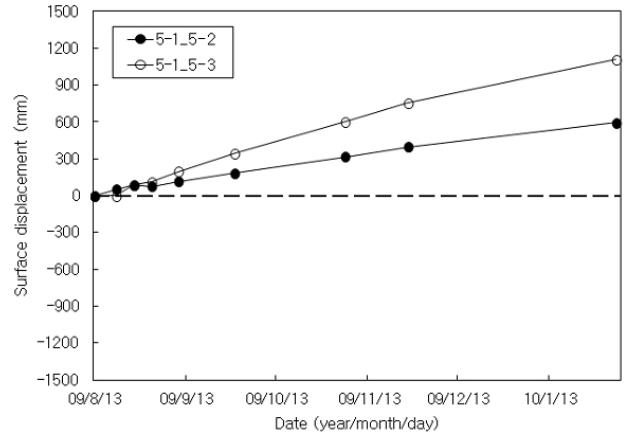


Fig. 12. Surface displacement measured from fixed point 5-1

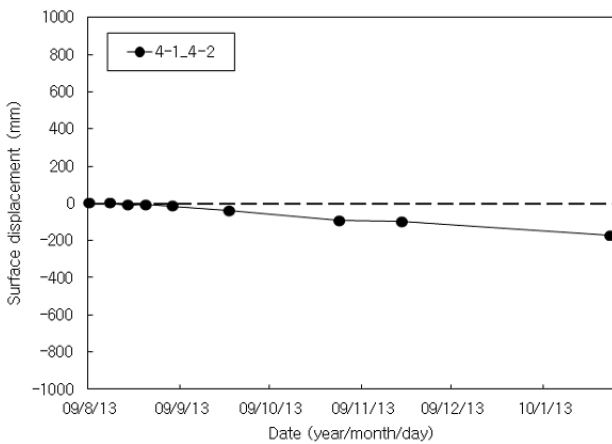


Fig. 11. Surface displacement measured from fixed point 4-1

크게 발생되었으며, 변위속도는 2.9-8.7mm/day의 속도로 변위가 발생되었다.

3.3.3 3, 4, 5구간 (석탄폐석 적치장 인접 자연사면구간)

3, 4, 5구간은 석탄폐석 적치장 하부에 인접하여 위치하고 있는 자연사면구간으로서 각각 3개, 2개, 3개의 측정지점을 선정하였으며, 지표변위 측정을 위한 기준점은 구간별 1개씩으로 3-1, 4-1, 5-1지점이다. 이를 통하여 석탄폐석 적치장 하부에 인접한 자연사면의 지표변위량을 측정하였다. Fig. 10은 3구간의 측정결과를 나타낸 것으로 3-1 기준점에서 3-2 및 3-3지점의 지표변위량을 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로 부터 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 기준점과 측정지점간 거리가 지속적으로 멀어지는 것으로 나타났다. 측정기간 동안 최대 (+)412mm의 누적변위가 발생되었고, 변위속도는 1.4-10.2mm/day가 발생되었다. Fig. 11은 4구간의 측정결과를 나타낸 것으로 4-1기준점에서

4-2지점의 지표변위량을 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로 부터 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 기준점과 측정지점간 거리가 지속적으로 가까워지는 것으로 나타났다. 측정기간 동안 최대 (-)172mm의 누적변위가 발생되었고, 변위속도는 0.2-1.4mm/day가 발생되었다. 마지막으로 Fig. 12는 5구간의 측정결과를 나타낸 것으로 5-1기준점에서 5-2 및 5-3지점의 지표변위량을 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로 부터 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 기준점과 측정지점간 거리가 지속적으로 멀어지는 것으로 나타났다. 측정기간 동안 최대 (+)1,108mm의 누적변위가 발생되었고, 변위속도는 5.0-14.8mm/day가 발생되었다. 이들 결과에서 보는 바와 같이 석탄폐석 경석장 하부에 인접한 자연사면의 경우 석탄폐석 경석장의 하중으로 인하여 하부 자연사면의 변형이 유발되고 있음을 알 수 있다.

3.3.4 6구간 (석탄폐석 적치장 상부구간)

6구간은 석탄폐석 적치장 상부구간으로서 석탄폐석 적치장의 거동을 살펴보기 위하여 2개의 측정지점을 선정하였다. Fig. 13은 6구간의 측정결과를 나타낸 것으로 6-1 기준점에서 6-2지점의 지표변위량을 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 기준점으로 부터 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 기준점과 측정지점간 거리가 지속적으로 멀어지는 것으로 나타났다. 측정기간 동안 최대 (+)518mm의 누적변위가 발생되었고, 변위속도는 7.5-19.2mm/day가 발생되었다. 특히 10월 이후에 측정을 하지 못한 이유는 6-2지점의 타깃 판이 과도하게 침하되어 6-1기준점에서 더 이상 시준할 수 없는 상태가

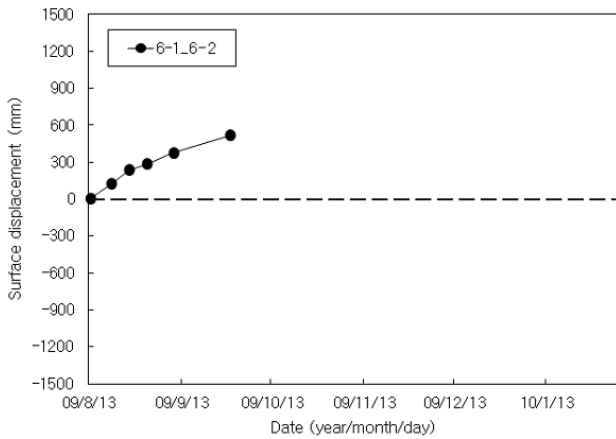


Fig. 13. Surface displacement measured from fixed point 6-1

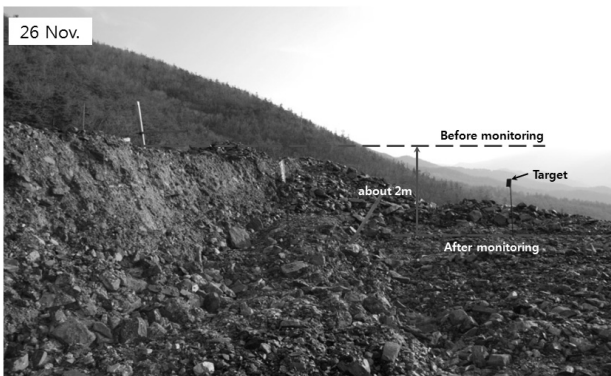


Fig. 14. Large settlement at the crest of coal waste heap slope

되었기 때문이다. Fig. 14는 측정이 불가능한 11월에 대상 구간을 촬영한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 경석장 상부의 단차가 타깃 판보다 크게 발생되었음을 알 수 있다. 따라서 석탄폐석 적치장 상부는 사면방향으로 지표변위가 발생되며, 침하도 함께 발생하는 것으로 나타났다. 특히 침하량이 매우 크게 발생되었는데 이는 석탄폐석 경석장의 자중으로 인한 다짐 뿐만아니라 경석장의 하중으로 인한 하부 지반의 침하에 의해 발생된 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 레이저 거리측정기를 이용하여 사면의 지표변위를 효과적으로 측정하는 방법을 제안하였다. 그리고 석탄폐석 적치장이 설치된 자연사면 및 절취사면을 대상으로 제안된 방법을 적용하였다. 대상지역은 지속적인 지표변위가 발생하는 사면으로 제안된 방법을 적용하여 일정기간 동안 지표변위를 측정하고, 측정결과를 분석하였다. 이를 토대로 레이저 거리측정기를 이용한 사면의 지표변위 측정방법에 대한 적합성을 검토하였으며, 이들

결과는 다음과 같다.

- (1) 레이저 거리측정기는 적색 레이저를 측정을 원하는 피사체에 시준하면 반사되는 레이저를 이용해 거리를 측정하는 기기로서, 이를 이용하여 사면에서 발생하는 지표변위의 측정방법을 제안하였다.
- (2) 현재 사면에서 발생하는 지표 혹은 지중변위를 측정하기 위하여 고가의 장비가 주로 활용되고 있으나, 레이저 거리측정기를 이용한 지표변위 측정방법을 적용할 경우 간편하고 쉽게 지표변위량을 측정할 수 있다.
- (3) 제안된 방법의 활용성을 검토하기 위하여 석탄폐석 적치장의 영향으로 하부 절취 및 자연사면에 지표변위가 발생된 현장에 적용한 결과 실제 지표변위량의 측정이 가능함을 확인할 수 있다.
- (4) 본 연구에서 제안된 방법은 누적 지표변위량 뿐만 아니라 지표변위속도까지 측정이 가능하며, 이를 분석하여 지표변위 발생방향을 확인 및 예측할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by the Basic Research Project (Grant No. 14-3215) of the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning.

References

1. Chigira, M., Duan, F., Yagi, H. and Furuya, T. (2004) "Using an airborne laser scanner for the identification of shallow landslides and susceptibility assessment in an area of ignimbrite overlain by permeable pyroclastics", *Landslides*, Vol.1, pp. 203-209.
2. Cho, Y.C. and Song, Y.S. (2013) "Deformation characteristics of a slope at a coal waste depot through analysis of monitoring results", *Journal of Engineering Geology*, Vol.23, No.1, pp.19-27. (in Korean)
3. Fanti, R., Gigli, G., Lombardi, L., Tapete, D and Canuti, P. (2013) "Terrestrial laser scanning for rockfall stability analysis in the cultural heritage site of Pitigliano (Italy)", *Landslides*, Vol.10, pp.409-420.
4. Han, J.G. and Song, Y.S. (2003) "Displacement measuring system for the slope stability analysis using the softcopy photogrammetry", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.19, No.4, pp.23-32. (in Korean)

5. Han, J.G., Bae, S.H. and Oh, D.Y. (2001) "Application of photogrammetry method to measure ground-surface displacement on the slope", *Journal of Korean Env. Res. and Reveg. Tech.*, Vol.4, No.3, pp.10-18. (in Korean)
6. Hong, W.P., Han, J.G. and Lee, M.G. (1995) "The behavior of a cut slope stabilized by use of piles", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.11, No.4, pp.111-124. (in Korean)
7. Jeong, S.S., Won, J.O., Park, J.B. and Kim, S.Y. (2001) "Simplified design method for stabilizing piles and its application", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.17, No.6, pp.5-14. (in Korean)
8. Kim, G.L. and Kim, M.B. (1999) "The development of deformation system for structure using laser beam", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.19, No.III-4, pp.669-676. (in Korean)
9. Kwak, H.G. and Ha, S.J. (2008) "Determination of plastic settlement of mortar using non-contact laser measurement device", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.28, No.4A, pp.549-564. (in Korean)
10. Lee, H.Y., Cho, S.J., Sung, N.H., and Kim, J.H. (2007) "Development a GB-SAR (I): System configuration and interferometry", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.23, No.4, pp.237-245. (in Korean)
11. Lee, S.H., Shin, M.H. and Kim, H.K. (2009) "Safety monitoring of railway tunnel using laser beam convergence meter", Proc. 2009 KSCE annual conference, pp.3720-3723. (in Korean)
12. Leva, D., Nico, G., Tarchi, D., Fortuny-Guasch, J., and Sieber, A.J. (2003) "Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.41, No.4, pp.745-757.
13. Oh, S.C., Park, H.D. and Jo, Y.D. (2012) "Analysis of rock discontinuities using terrestrial laser scanning", *Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol.49, No.1, pp.37-46. (in Korean)
14. Song, Y.S., Hong, W.P. and Woo, K.S. (2012) "Behavior and analysis of stabilizing piles installed in a cut slope during heavy rainfall", *Engineering Geology*, Vol.129-130, pp.56-67.
15. Tarchi, D., Casagli, N., Fanti, R., Leva, D., Luzi, G., Pasuto, A., Pieraccini, M., and Silvano, S. (2003) "Landslide monitoring by using ground-based SAR interferometry: an example of application to the Tessina landslide in Italy", *Engineering Geology*, Vol.68, pp.15-30.