

소프트카피 사진측량에 의한 사면지반 측정 A Study on the Measurement of Slope by Softcopy Photogrammetry

배상호* · 이형석** · 주영은***

Bae, Sang-Ho · Lee, Hyung-Seok · Joo, Young-Eun

요 旨

사면 슬라이딩에 따른 추가 세부 공사 계획의 수행에 중요하게 사용되는 데이터는 지형도이다. 이는 사면 슬라이딩이 발생한 지역의 토공량 산정과 공사비 산출, 그리고 안전성 검토에 사용되는 기본도인 것이다. 따라서, 본 연구에서는 사면 슬라이딩이 발생한 위험사면에 대해 소프트카피 사진측량을 적용하여 3차원 지형 데이터를 획득하고, 이를 기존 TM 좌표의 지형도와 동일한 좌표 체계로 변환하는 방안을 구축하였다. 300 m 전방에서 촬영한 영상을 분석하여 1 m 등고선을 생성하는데 발생하는 문제점을 해결하여 도로 확장 공사의 터널 진입구간 계획에 중요한 데이터로 사용할 수 있었으므로, 토목 분야의 다양한 위험 지역의 측정에 그 효용성이 높은 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Topographic map is important for the additional detailed construction planning followed by slope sliding. It is a base map that is used to compute the volume of soil, the cost of construction, and check the stability in the area of slope sliding. In this study, 3D topographic data were acquired applying softcopy photogrammetry to the dangerous slope, and the method which can transform these data to the same coordinates system as early TM coordinates was designed. There was a problem when the one meter contour line was made by analysing the image taken from the distance three hundred meters. By solving this problem, this could be used as important data for the planning of road expansion construction. It is expected to be useful for the measurement of various dangerous area in civil engineering works.

1. 서 론

각종 토목구조물을 건설하는 경우, 최근에는 도심지 내에서의 난공사 및 산악지대로의 도로건설이 점점 대규모화되고 열악한 환경 속에서 건설이 확대되므로써 시공상의 많은 어려움에 봉착되고 있다. 특히, 도심지 내에서는 인접 건물 등에 의한 시공상의 민원사태가 증가하고 있으며, 주변 건물 및 지반의 안정에도 많은 영향을 미치게 되었다. 뿐 만 아니라, 도시는 점점 확대되어 주택 단지 조성이나 택지 조성을 위한 구릉지 및 산지의 개발로 사면붕괴, 허빙(heaving) 등과 같은 지반 공학적인 문제점들을 많이 포함하게 되었다.

즉, 토목구조물은 시공 조건과 현장 지반의 공학적 특성에 따라, 지반의 붕괴로 인한 인명 및 재산 피해 이외에도 다양한 문제점들을 내포하고 있다고 하겠다. 따라서, 지반의 변형에 대한 안정성 평가 및 예측을 위한 계측시스템이 도입되어 활용되고 있으나, 현재 각종 시방서나 시공상의 특별시방서 등과 같은 각종 규정에는 지반 활동의 예측을 위한 계측시스템의 적용이 미흡하여, 각종 사고가 시공 중 혹은 시공 후에 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 따라서, 보다 정확한 지반의 변형 측정시스템은 곧 공사현장의 시공성, 경제성, 그리고 안정성의 평가에는 필수 불가결한 사항이 되었다. 그러나, 실제로 자연 사면이든 단지 조성 중에 발생하는 인공 사면이든, 손쉽게 지반의 변형을 예측하는 계측 체계는 활용되지 못하고 있으며, 많은 장비와 중장비를 동원하여 많은 시간에 걸쳐 계측하고 그 결과를 수치해석을 통해 예측하고 있는 실정이다.

*대림대학 토목공학과 전임교수

**충남대학교 측량 및 지형정보연구실 연구원

***충남대학교 대학원 토목공학과 박사수료

그러므로, 지반 변형 측정의 목적이 기초지반, 사면 및 구조물의 실제 변동 상황을 파악하여 새로운 이론이나 제안에 대한 평가와 예상치 못했던 위험을 미리 예방하는 것이라 볼 때, 현장의 지반 변형 측정으로 얻을 수 있는 요소는 구조물 건설을 위한 기초 터파기 주변 지반의 거동 확인, 지하 기초 구조물의 안전성 확인, 인접 건물 및 구조물의 영향성 평가 및 원인 규명, 완공 후의 구조물의 안전 유지관리, 법적 분쟁시의 증빙자료 제공, 구체적인 시공 방안 제시 등으로 활용이 가능할 것이다. 따라서, 이와 같은 활용 방안의 적용성을 극대화하기 위해서는 시공과정 중의 구조물의 움직임 및 지반의 거동을 정밀하게 측정해야만 설계에서 추정된 특성치의 정도를 평가할 수 있는 것이다.³⁾

계측기를 이용하는 방법은 tiltmeter, inclinometer, strain gauge, extensometer, dial gauge 등의 센서를 이용하여 특정한 위치의 변위를 측정하는 방법으로서 비용이 고가임은 물론, 설치 및 유지가 힘들고 해석대상 표면 전반의 변형측정은 불가능하다.⁴⁾

따라서, 본 연구에서는 사람이 접근할 수 없는 위험 사면의 정확한 3차원 데이터 획득에 소프트카피 사진측량(Softcopy Photogrammetry)기법을 적용하고자 한다. 그리고, 이를 기존 지형도의 좌표체계와 동일하게 하기 위한 방안을 구축하여 분석하므로써, 현장에서의 시공성 및 안정성을 확보하는데 사용하고자 한다. 또한, 본 연구를 토대로 3차원 사면지반 변형계측시스템을 개발하여 각종 토목구조물의 안정평가를 위한 계측시스템으로 활용하고자 한다.

2. 연구 내용 및 범위

실시간 온라인 데이터의 획득 및 해석이 가능한 CCD 사진기 또는 디지털 사진기를 이용한 연구가 최근 많이 수행되고 있으나, 아직까지 필름을 사용한 일반 사진기의 해상도를 따라오지 못하고 있는 실정이다. 이것이 디지털 사진기의 현장 활용에 절대적인 문제점으로 작용하고 있다.¹⁾

이에, 본 연구에서는 소프트카피 사진측량 방법을 적용하여 위험 사면지반을 측정하고자 하였다.²⁾ 도로 확장 구간에서 발생한 사면의 슬라이딩 지역에 대한 토공량 산정, 공사비 산출, 위험도 예측을 위한 계획에 필요한 1m 등고선을 생성하기 위해 Rollei 6006 80mm 측량

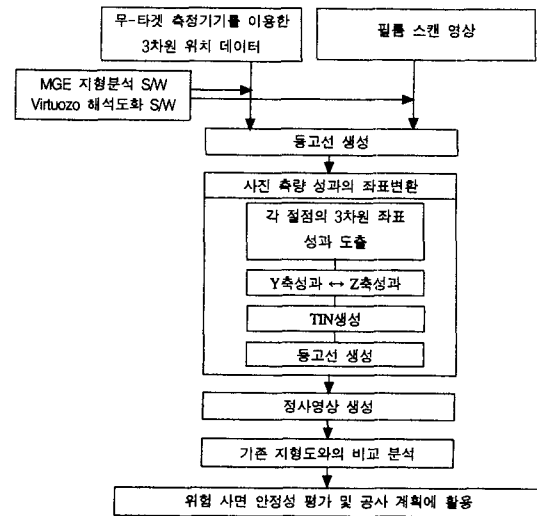


그림 1. 연구 수행 흐름도

용 사진기와 무-타겟 측정기기를 사용하여 비 접촉 대상물에 대한 3차원 사면 지반 데이터를 획득하고자 하였다.

측정 방법을 두 가지로 하여 데이터를 획득하고자 하였다. 무-타겟 측정기기를 이용하여 해석 대상면에 대한 3차원 위치 데이터 획득과 영상분석에 의한 데이터를 획득하여 비교 분석하여 활용도를 평가하고자 하였다. 연구 수행 흐름도는 그림 1과 같다.

3. 데이터 획득

3.1 대상 지역

○○-○○간 도로 확장 공사 구간 중에 사면 슬라이딩이 발생한 지역을 선정하여 지상사진측량을 수행하였다. 슬라이딩이 발생한 위험 사면은 사람이 접근할 수 없는 지역이며 그 크기는 대략 100m×100m로써 해빙기에 따른 사면의 붕괴가 계속적으로 일어나고 있는 지역이다. 그림 1은 소프트카피 사진측량을 적용하여 해석하고자 한 대상지역을 나타낸 것이다.

3.2 데이터 획득

최근 개발된 무-타겟 측정기기(Geodimeter社)를 사용하여 사면의 슬라이딩이 발생한 지역에 대한 3차원 위치 데이터를 자동 측정 기능에 의해 수행하였다. 측정 간격을 1m로 하여 획득한 데이터의 수는 6,000점 정도이며, 측정정확도는 2mm이다. 측정시간은 한 점당 4초



그림 2. 사면지반

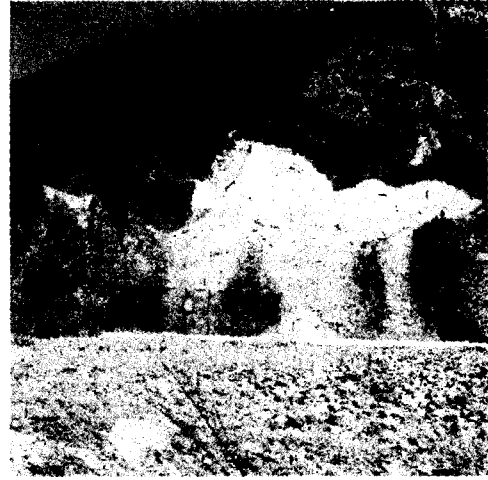


그림 4. 좌측 영상

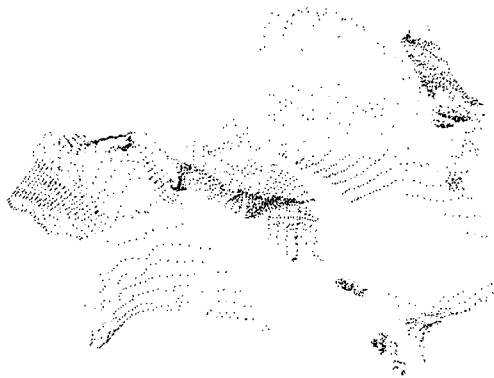


그림 3. 무-타겟 측정기로 획득한 3차원 위치 데이터



그림 5. 우측 영상

정도로서 9시간 정도가 소요되었다. 이는 대상물의 재질에 따라 영향을 받으며 야간 측정이 가능하였다. 기기의 거리측정 한계가 200 m이기 때문에 대상물의 전면에서 측정하기에는 거리가 너무 멀어 그림 2의 왼편에 있는 다리 상판 위에서 측정하였다. 그리고, 자동차 배터리를 사용하여 측정기와 노트북의 전원을 공급하였다. 측정기의 내부 메모리가 1000점이기 때문에 노트북과의 인터페이스를 통해 실시간으로 데이터를 내려받기하였다. 그림 3은 획득한 3차원 포인트 데이터를 나타낸 것이다.

소프트카피 사진측량을 위한 입체 영상은 대상물의 전면 300 m 정도에서 획득하였다. 기준점은 무-타겟 측정기를 사용하여 6점을 취하였다. 입체 영상을 분석하기 위해 60 mm×60 mm 필름(3800×3800화소)을 15 μm(40 Mb)로 스캔하였다. 필름이 중형 포맷이기 때문에 더

작은 화소 크기로 스캔하면 영상의 용량이 커져 다루기가 힘들었다.

현장에서 직각수평촬영을 위해 사면 하상 바닥부를 수평선으로 설정하고 대상물의 중복도를 고려하여 촬영하였다. 그 결과, 2° 정도 수렴한 영상이 얻어졌으나 해석에는 무리가 없었다. 그림 3과 그림 4는 해석 대상면에 대해 기선거리를 40 m 정도로 하여 획득한 입체영상을 나타낸 것이다.

소프트카피 사진측량을 수행하는데 걸림돌 역할을 한 것은 고가의 스캐너이다. 그러나, 최근에 35 mm 또는 중형 포맷의 필름 전용 스캐너가 보급되면서 이러한 문제

표 1. 기준점 성과

| 기준점 No. | TM좌표체계의 기준점 성과 | | | 사진해석을 위한 변환 기준점 성과 | | |
|---------|----------------|------------|---------|--------------------|---------|---------|
| | X(m) | Y(m) | Z(m) | X(m) | Y(m) | Z(m) |
| 1 | 154207.537 | 409768.635 | 247.406 | 154207.537 | 247.406 | 231.365 |
| 2 | 154209.093 | 409697.815 | 197.511 | 154209.093 | 197.511 | 302.185 |
| 3 | 154202.818 | 409695.435 | 198.053 | 154202.818 | 198.053 | 304.565 |
| 4 | 154270.449 | 409710.797 | 209.003 | 154270.449 | 209.003 | 289.203 |
| 5 | 154271.964 | 409710.344 | 212.832 | 154271.964 | 212.832 | 289.656 |
| 6 | 154278.006 | 409765.955 | 237.890 | 154278.006 | 237.890 | 234.045 |

점이 해결되고 있어 지상사진측량에서 소프트웨어 사진 측량이 보다 다양하게 현장에서 활용될 것으로 기대된다.

4. 데이터 분석

Rollei 6006 80 mm 사진기로 획득한 필름을 스캔하고 Vituozo를 사용하여 도화를 하였다. 지상사진은 항공사진과 달리 도화 좌표축을 변환하여야 한다. 표 1은 기준점 성과와 지상사진을 도화하기 위해 Z축과 Y축을 변환한 성과를 나타낸 것이다. 지상사진의 Z축 좌표는 그림 2에서 보이는 방향이 (-) 방향이 되므로 410,000 m에서 빼준 성과이다. 총 6점의 기준점에 대한 성과를 무타겟 측정기기를 사용하여 획득하였으나, 지반의 동결 융해로 인해 성과가 나쁜 2점(4번, 5번)은 배제하고 사용하였다.

그림 6은 사진좌표체계에서의 1 m 등고선(절대 표정 정확도는 10 cm정도)을 나타낸 것이며, Y축과 Z축이 바뀌어 있기 때문에 Y축 성과가 일정하고 Z축이 바뀐 등고선 형태를 취하고 있다. 그래서, 측면도(LEFT VIEW)

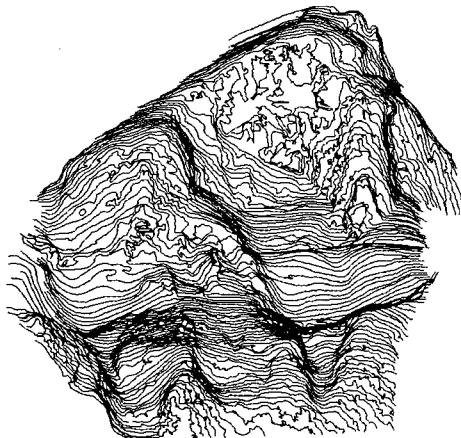


그림 6. 도화성과(TOP VIEW)

로 보게되면 등고선이 1 m 간격의 평행선으로 나타나는 것이 아니라, 1 m 간격의 수직선 형태를 나타냄을 알 수 있었다. 그림 7은 측면도를 나타낸 것이다. 또한, 사면 슬라이딩 방향이 실제 지반 형상과 반대로 나타남을 알 수 있었다. 그림 8과 그림 9는 각각 정면도(FRONT VIEW)와 투시도(ISO VIEW)를 나타낸 것이다.

이러한 성과들은 TM좌표체계의 기존 지형도와 좌표 체계가 다르기 때문에 일치하지 않는다. 이를 기존 도면

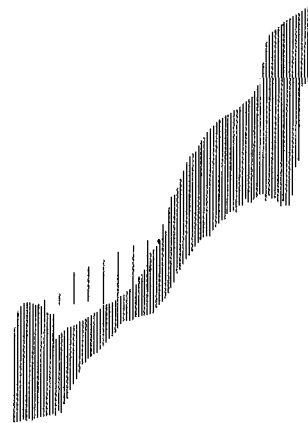


그림 7. 도화성과(LEFT VIEW)



그림 8. 도화성과(FRONT VIEW)



그림 9. 변환성과(ISO VIEW)

과 일치시키기 위해 다음과 같은 변환과정을 수행하였다.

1. 1m 도화성과 획득(반드시 기준점 위치 표시)
2. 좌표축 형성을 위해 Z축에서 410,000 m을 감해줬기 때문에, 도화 성과에 도시된 기준점의 위치와 성과를 이용하여 초기 좌표로 이동(micrstation의 mirror 기능 사용)
3. TIN망 구성하여 절점의 3차원 좌표 추출
4. Y축 성과와 Z축 성과 변환(Excel 사용)하여 TIN망 구성
5. 등고선 생성

그림 6의 평면도는 해석대상면의 외형이 그림 12와 동일하며, 이는 도화 방향이 Z방향으로 잡히기 때문에 평면도로 나타난 것이다. 마찬가지로, 그림 8의 정면도는 그림 10과 같은 변환 후의 평면도와 동일한 외형을 나타내고 있다. 그림 6은 기준점 성과를 이용한 3차원 좌표 변환으로는 그 형상을 바로 잡을 수 없으며, 변환한다해도 등고선의 성질을 잃게 된다. 따라서, 위에서 언급한 수행 절차를 통해 그림 10과 같은 변환 후의 평면도를 획득할 수 있었다.

그림 10-13은 좌표 변환 후에 생성한 평면도(TOP VIEW), 측면도(LEFT VIEW), 정면도(FRONT VIEW), 투시도(ISO VIEW)를 나타낸 것이다. 이러한 성과는 기존 지형도와 중첩하여 단면분석에 사용되어 사면 슬라이

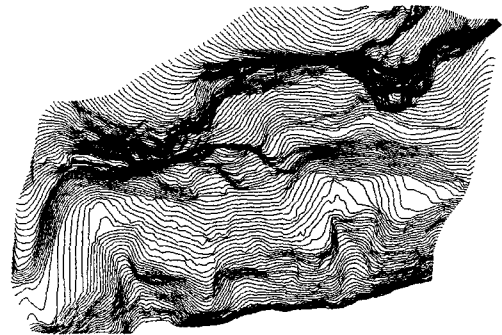


그림 10. TM 좌표계로 변환한 성과(TOP VIEW)

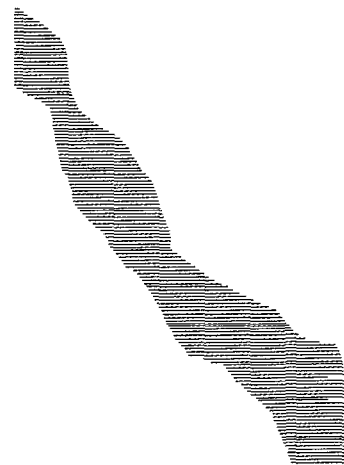


그림 11. 변환 성과(LEFT VIEW)

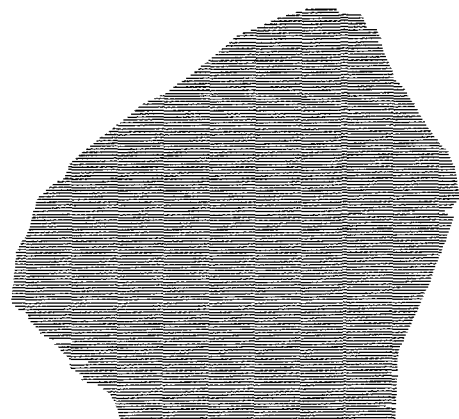


그림 12. 변환성과(FRONT VIEW)

딩의 양과 위험 사면의 움직임 예측에 사용되었으며, 공사비 계산의 기초 자료로 사용되었다.

그림 14는 무타겟 측정기기를 사용하여 획득한 위치

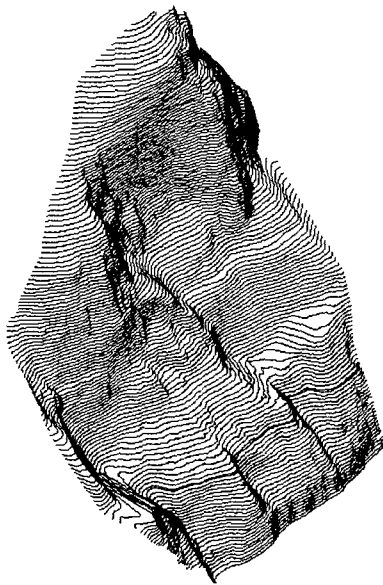


그림 13. 변환성과(ISO VIEW)

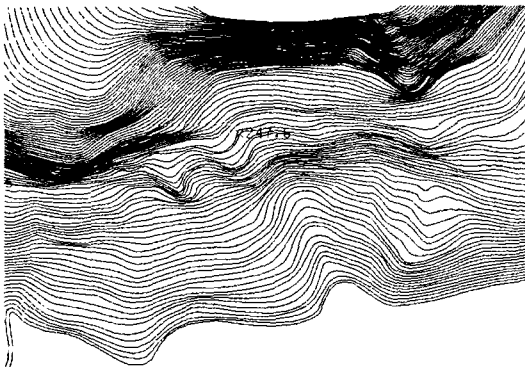


그림 14. 무-타겟 측정기기를 이용한 등고선 성과

성과를 토대로 1m 등고선을 생성한 결과로 그림 2의 슬라이딩이 발생한 사면지역을 중심으로 측정한 성과이다. 이는 관측 범위의 나무나 돌 더미 등에 의해 불규칙 데이터를 형성하게 되어 데이터의 크리닝 작업을 하는데 많은 어려움이 있었다. 사람이 직접 보면서 지형데이터를 처리하는 것이 아니라 지형의 변화를 정확하게 인식

하기 어려워, 결과물에서 상이한 데이터를 삭제하는 것은 매우 번거롭고 까다로웠다. 지형의 변화를 초래할 수도 있을 것이다. 그러나, 양질의 데이터를 획득할 수 있는 측정 조건이라면, 사진측량에 의한 방법보다 빠른 시간 안에 결과물을 도출할 수 있을 것이며, 현재 활용 가능한 시준거리 이상으로 보다 장거리의 측정이 가능하게 된다면, 단사진 정사영상의 생성을 위한 DEM을 구축할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이는 접근이 불가능한 지역의 기준점 측량에 매우 효과적이었다.

5. 결 론

1. 소프트카피 사진측량 기법을 적용하여 접근하기 어려운 위험 사면의 3차원 지반 데이터를 효과적으로 획득·분석할 수 있었다.

2. 지상사진측량에 의해 획득한 등고선 성과는 지형도와 그 좌표체계가 다르며, 3차원 벡터 변환모듈을 이용하여서도 기존 지형도와 동일한 좌표체계의 성과로 변환할 수 없다. 따라서, 해석 절점의 3차원 좌표를 추출·변환한 후, 이를 이용하여 등고선을 재생성함으로써 기존 지형도와의 비교·분석이 가능하였다.

소프트카피 사진측량에 의해 넓은 범위의 위험사면에 대한 측량을 효과적으로 수행할 수 있었으므로, 접근이 어려운 여러 토목 분야의 측정에 더욱 폭넓은 활용을 기대한다

참고문헌

1. Karl Kraus, "Photogrammetry Vol. 1, 2", 4th Edition, D mmler/Bonn, 1997.
2. Paul R. Wolf, "Element of Photogrammetry with Application in GIS", 3rd edition, 2000.
3. 강준목, "지상사진측량에 의한 구조물 변형의 최적해석에 관한 연구 최종 보고서", 한국과학재단, 1992.
4. 김성곤, "계측기술의 최근 동향",土木 대한토목학회지, 제46권, 제11호, 통권 223, pp.14-26, 1998.