

## 사면의 지표변위계측을 위한 사진측량기법의 적용

한중근<sup>1)</sup> · 배상호<sup>1)</sup> · 오다영<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 대림대학 토목공학과 · <sup>2)</sup> 중앙대학교 대학원 토목공학과

### Application of Photogrammetry Method to Measurement of Ground-Surface Displacement on the Slope

**Han, Jung-Geun<sup>1)</sup>, Bae, Sang-Ho<sup>1)</sup> and Oh, Da-Young<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Daelim College,

<sup>2)</sup> Dept. of Civil Engineering Graduate School Chung-Ang University

#### ABSTRACT

The existing measurement system to ground-surface displacement survey of the slope has been including the hazard for the measure in site and the difficulty for install, maintenance and control of expensive instruments, which are impossible of whole survey on the slope surface. To overcome of those defects, Softcopy Photogrammetry method is used, which can measure displacement of ground-surface on the slope and structure deformation vectors. Recently, the survey methods applying the advantages of Photogrammetry and Digital Photogrammetry Survey are widely used.

In this study, therefore, the development and application of the new instrument mechanism on the the site example are studied. Through the application of Softcopy Photogrammetry, the 3-D data of ground surface on the dangerous slope could be effectively obtained at the long distance, which are obtained through the reform process of contour line. Those are different to the results of the Close-Range Photogrammetry analysis. In ground instrumentation parts, the new practical system shall be the technical base to improve of the instrument machine as well as can be widely applied in civil engineering and others branch.

Key words : *ground-surface displacement survey, slope, Softcopy Photogrammetry, 3-D data, site*

#### I. 서 론

각종 토목구조물을 건설하는 경우, 최근에는 도심지 내에서의 난공사 및 산악지대로의 도로 건설이 점점 대규모화되고 열악한 환경 속에서 건설이 확대되므로써 시공상의 많은 어려움에

봉착되고 있다. 또한, 도시는 점점 확대되어 주택단지조성이나 택지조성을 위한 구릉지 및 산지의 개발로 사면붕괴, 히빙 등과 같은 지반공학 문제점들을 많이 포함하게 되었다. 즉, 토목구조물은 시공조건과 현장지반의 공학적 특성에 따라, 지반붕괴로 인한 인명 및 재산피해

이외에도 다양한 문제점들을 내포하고 있다 하겠다.

따라서, 지반변형에 대한 안정성 평가 및 예측을 위한 계측시스템이 도입되어 활용되고 있으나, 현재 각종 시방서나 시공상의 특별시방서 등과 같은 각종 규정에는 지반활동의 예측을 위한 계측시스템의 적용이 미흡하여, 각종 사고가 시공중 혹은 시공후에 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 특히, 산악지대의 도로건설이나 대규모 주택단지를 조성하는 경우, 발생하는 대규모 절·성토사면은 시공전후 뿐 아니라 시공중에도 파괴에 따른 안정성의 문제는 대단히 크다고 할 수 있다.

따라서 지반변형의 보다 정확한 측정시스템의 개발 및 적용은 곧 공사현장의 시공성, 경제성, 그리고 안정성의 평가에는 필수 불가결한 사항이 되었다. 그러나, 실제로 자연사면이든 단지조성중 발생하는 인공사면이든, 손쉽게 지반의 변형을 예측하는 계측체계는 활용되지 못하고 있으며, 많은 장비와 중장비를 동원하여 많은 시간에 걸쳐 계측하고 그 결과를 수치해석을 통해 예측하고 있는 실정이다.

그러므로 지반변형측정의 목적이 기초지반, 사면 및 구조물의 실제 변동상황을 파악함으로써, 새로운 이론이나 제안에 대한 평가와 예상치 못했던 위험을 미리 예방하는 것이라 볼 때, 현장의 지반변형측정으로 인한 주변지반의 거동확인, 지하 기초구조물의 안전성 확인, 인접 건물 및 구조물의 영향성 평가 및 원인 규명, 완공후의 구조물의 안전 유지관리, 법적 분쟁시의 증빙자료 제공, 구체적인 시공 방안제시 등으로 활용가능 할 것이다. 따라서, 이와 같은 활용방안의 적용성을 극대화하기 위해서는 시공과정 중의 구조물의 움직임 및 지반의 거동을 정밀하게 측정해야만 설계에서 추정한 특성치의 정도를 평가할 수 있는 것이다(강준묵, 1992).

기존의 계측기를 이용하는 방법은 건물기울기, 경사계, 변형률계, 신축계 등의 센서를 이용하여 특정한 위치의 변위를 측정하는 방법으로서 비용이 고가임은 물론, 설치 및 유지가 힘들

고 해석대상 표면 전반의 변형측정은 불가능하다(김성곤, 1998). 따라서, 이러한 단점을 극복하기 위하여, 본 연구에서는 소프트카피 사진측량(Softcopy Photogrammetry)을 이용하여 지반지표변위량 뿐만 아니라 각종 구조물의 발생변위벡터를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. 특히, 소프트카피 사진측량기법을 사면의 지표변위측정에 적용함으로써 사람이 접근할 수 없는 위험 사면에 대해 보다 정확한 사면의 실시간 지반변위를 계측할 수 있는 방법을 실제사면의 파괴사례에 적용함으로써 그 활용성을 증명하여 보고자 한다. 또한, 이를 통해 사면지표변위 계측방법의 새로운 매카니즘 개발과 그 적용성을 검증하여 보고자 한다. 이러한, 계측방법의 적용은 기존 지형도와 동일한 좌표체계를 구축하여 분석할 수 있으므로, 기존계측시스템보다 기술적 효과를 발휘할 수 있게 되므로 각종 사면현장 뿐 아니라 토목공사현장에서의 시공성 및 안정성을 평가하기 위한 자료로 활용할 수 있다.

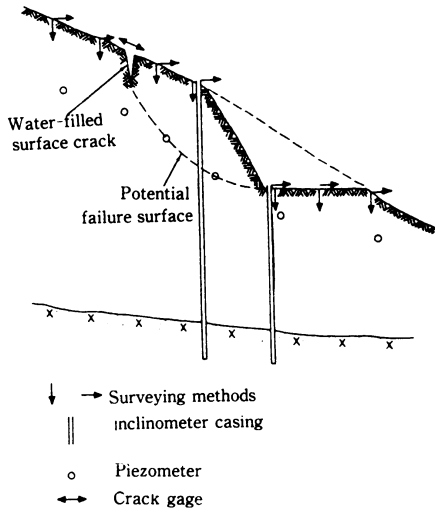
## II. 사면계측시스템

### 1. 기존의 사면지표변위 계측시스템

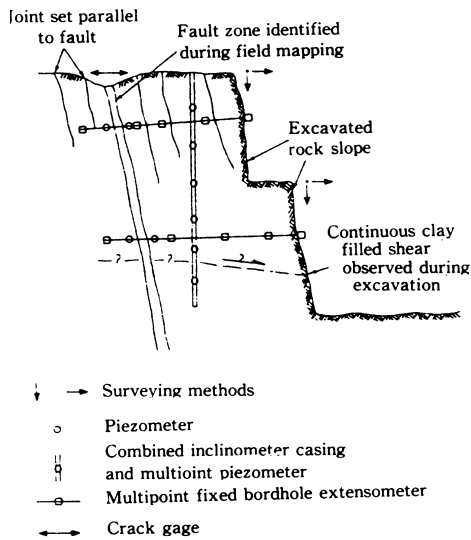
그림 1에서 보는 바와 같이 기존굴착시스템은 사면(자연사면, 인공사면(성토 및 굴착사면) 등)의 경우, 토사사면과 암반사면에 대하여 각각 계측장비의 사용용도가 조금은 차이가 있으나 근본적으로는 원지반계측, 시공중계측에 대하여 각각 지반 및 지중의 변위와 지반내 간극수압의 측정으로 구별된다. 특히, 굴착단계별 형성되는 시공단면 뿐 아니라 굴착가능한 사면 전반에 걸쳐 지중 및 지표에 지중변위계, 지표변위계(신축계등) 및 지중에 지반의 변형을 감지할 수 있는 간극수압계등을 설치하여 시공단계별 지반의 변형상태를 계측하고 있다(한국지반공학회, 1992).

그러나, 예상사면의 규모가 대단위가 되는 경우 지반특성상 짧은 이격거리에서도 전혀 다른 거동을 하는 특성을 고려한다면 기존계측시스템의 설치에는 막대한 비용이 소요될 것임은

자명하며, 따라서, 각종 시방서에서도 1개소 이상으로 그 계측범위를 단순히 권장하므로 실제 현장에서의 사면붕괴가능성을 사전에 혹은 시공중 그리고 시공완료후의 원활한 계측관리가 어려워 각종 안전사고를 유발시킬 뿐 아니라 사면붕괴로 인한 시공중단 등의 커다란 손실을 보이고 있는 현실이다.



(a) 토사사면계측시스템



(b) 암반사면 계측시스템

그림 1. 기존계측시스템

또한, 사진측량기법을 이용한 사면지반의 변위측정은 영상획득매체와 고정기선바를 이용한 영상획득방법으로 나누어 언급할 수 있다. 영상획득매체는 크게 아날로그 카메라와 디지털 카메라로 구분할 수 있으며, 필름을 기초로 한 아날로그 카메라의 영상은 CCD카메라, 디지털 캠코더 또는 디지털 카메라의 영상에 비해 해상도가 좋다. 반면에, 디지털 영상은 컴퓨터 상에서 실시간 처리가 가능하다는 장점을 갖으나 실제 현장에서의 활용 측면에서 아직까지 해상도에 따른 해석 정확도의 상대적인 저하를 극복하지 못하고 있는 실정이다(홍성환, 1990).

그리고, 고정기선바를 이용한 영상획득방법은 카메라의 위치를 기지점으로 사용하여 공간전방회회법(Space intersection)으로 사면지반의 3차원 좌표를 결정하는 것이다. 그러나, 이는 고정기선바에 부착한 카메라의 위치와 기선거리를 변경하는데 많은 어려움을 내포할 뿐 아니라 해석 대상면의 크기와 촬영거리에 따라 그 활용이 매우 제한적이다. 또한, 고가의 카메라 두 대를 사용하여야 하며 고정기선바의 검증이 문제가 된다.

2. 기존계측시스템의 개선방향

전절에서 언급된 기존의 계측시스템중 지반내 장비를 설치하는 계측시스템은 기존시스템은 지중과 지표에 각각 많은 계측시스템을 설치한 후 인위적인 측정을 수행하여야 하며 일시에 많은 계측점을 측정하기 위하여는 막대한 설치비 및 계측비가 소요되며, 각 계측기의 설치위치 및 설치시기에 따라 원하는 계측값의 오차발생 편차는 상당히 크며, 이에 따른 계측원의 안전사고에 대한 위험은 항상 잠재하고 있다. 따라서, 계측측점을 근거리 혹은 원거리에서 안전하게 이동량을 측정할 수 있기 위하여 영상기법을 이용한 계측기법을 활용한다면 이러한 문제점을 극복할 수 있을 것이다. 그러나, 고정기선 바(bar)를 이용하는 방법의 경우는 대상물의 크기와 해석 정확도를 고려하여 유동적으로 움직일 수 없기 때문에, 다양한 해석 대상물에 고정된 기선 바를 사용한 카메라 시스

템은 활용에 한계가 있다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 촬영점의 고정에 따른 영상획득의 어려움과 사진측척과 연관한 해석 정확도를 고려하여 자유로운 촬영점에서의 입체영상의 획득이 가능한 영상측정기법을 구축하므로써, 사면의 지표변위를 계측할 수 있는 시스템의 적용성을 검토하고자 하는 것이다. 즉, 측정타겟(소규모의 인식가능점)만을 설치하므로써 가시적인 지반의 지표변위를 계측할 수 있게 된다. 또한, 사면지반의 변형상태를 굴착 단계에 따라 지속관찰을 통해 발생하는 지반의 변위를 측정위치에 따라 관찰할 수 있다. 이와 같은 실시간 사진측량체계를 이용한 지표변형 계측시스템을 현장실험을 통해 실증하므로써 더욱 안정성이 있는 신기술개발의 터전이 될 수 있으리라 생각된다. 그리고, 일반 카메라와 디지털 카메라에서의 단점을 극복하기 위한 방안으로 필름을 이용한 일반 카메라의 해상도를 유지하고 컴퓨터에서 처리할 수 있는 소프트웨어 사진측량 기법을 활용하여 현장사례를 통한 적용성에 대하여 고찰하여보고자 한다.

### III. 사진측량기법의 특징

우리나라의 경우 1980년대부터 지상사진 실측기법이 도입되어 많은 연구성과가 축적되어 왔으며, 최근에는 컴퓨터의 발달과 함께 자동화 장비의 보급이 확산되어 사진실측기법은 보다 폭넓게 활용성이 인정되고 있다. 특히, 사진측량의 새로운 분야인 수치사진측량법은 컴퓨터 및 영상처리 기술의 발달에 힘입어 사진측량분야에서 그 영역을 구축하기 시작하였으며, 인공위성과 CCD 카메라 등에 의해 대량의 수치영상 데이터를 얻을 수 있게 됨으로써 수치사진측량에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 따라서, 전통적인 사진측량과 수치사진측량은 초기의 입력데이터에 확연히 구분된다. 즉 수치사진측량은 컴퓨터를 이용하여 영상처리의 완전 자동화가 가능하다.

또한, 사진측량의 실측에 따른 장점으로는 지형·지물의 위치, 형상, 크기, 대상물의 특성을

파악할 수 있는 정량적, 정성적 관측이 가능하고, 하천의 흐름, 구조물의 변형, 교통량 조사 및 교통사고의 조사 등의 상황을 보존·기록할 수 있는 동체관측의 이용성, 축척분모수에 대하여 10~30 $\mu$ 정도의 정확성 및 균일성, 접근하기 어려운 대상물의 관측이 가능, 단일 소요측척과 목적 대상물이 변경에 따른 축척변경의 용이성 및 경제성 그리고 3차원공간의 점 P(X,Y,Z)를 2차원 공간의 점 p(x,y)로 표현된 사진을 광학적 또는 수학적 방법으로 다시 3차원공간의 점 P(X,Y,Z)로 재현하므로써, 2차원 공간에 시간(t)을 추가한 점 p(x,y,t)에서 4차원측량으로 P(X,Y,Z,T)를 구할 수 있는 장점이 있다.

### IV. 사진측량 해석의 기본방정식

사진실측을 통해 최종적으로 얻어지는 좌표성과에 사용되는 알고리즘은 그 처리과정이 복잡하지만 기본 원리만을 제시하여 정리하면 다음과 같다.

#### 1. 공선조건의 기하학적 관계

해석사진측정은 대상점과 상점, 상점과 노출

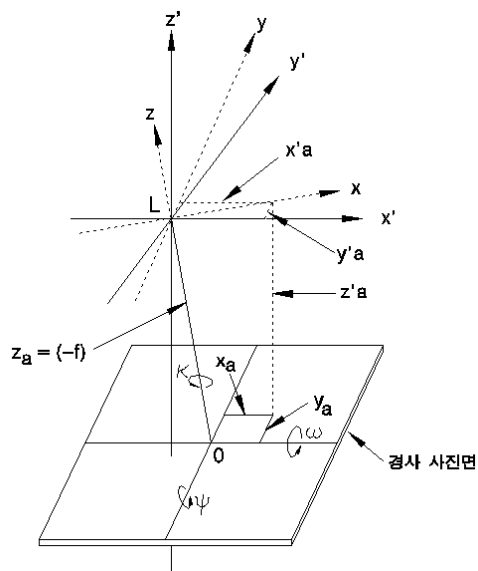


그림 2. xyz 좌표측정체계와 회전한 x'y'z' 영상좌표체계

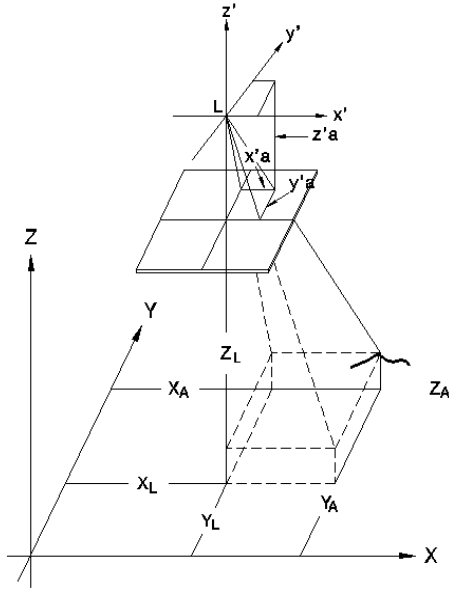


그림 3. 대상물 좌표체계와 평행하게 회전한 영상좌표체계

점, 노출점과 대상점 상호간의 수학적 관계를 정의하므로써, 관측값과 미지값사이 공선조건의 상관관계를 성립시킨다. 공선조건의 원리는 모든 상점(像点)들이 동일평면상에 놓이며 피사체의 한 점(A), 대상물의 상응하는 한 점(a), 그리고 투영중심(L)이 동일직선상에 존재하는 것으로서, 이를 수학적 관계식으로 표현한 것이 共線條件式(Collinearity condition equation)이다.

그림 2로부터 3 축에 대한 회전 방정식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_a &= m_{11}x'_a + m_{12}y'_a + m_{13}z'_a \\ y_a &= m_{21}x'_a + m_{22}y'_a + m_{23}z'_a \quad (1) \\ z_a &= m_{31}x'_a + m_{32}y'_a + m_{33}z'_a \end{aligned}$$

여기서,  $x'_a, y'_a, z'_a$  : 좌표변환 후의 상좌표

$x_a, y_a, z_a$  : 좌표변환 전의 상좌표

$m_{11} \sim m_{33}$  : 회전 행렬

공선조건식은 그림 3으로부터 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{x'_a}{X_A - X_L} = \frac{y'_a}{Y_A - Y_L} = \frac{-z'_a}{Z_A - Z_L} \quad (2)$$

식(2)을 재정리하면

$$x'_a = \left( \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (3)$$

$$y'_a = \left( \frac{Y_A - Y_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (4)$$

$$z'_a = \left( \frac{Z_A - Z_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (5)$$

식(3), 식(4), 식(5)을 식(1)에 각각 대입하여 정리하면

$$\begin{aligned} x_a &= m_{11} \left( \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a + m_{12} \left( \frac{Y_A - Y_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \\ &+ m_{13} \left( \frac{Z_A - Z_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_a &= m_{31} \left( \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a + m_{32} \left( \frac{Y_A - Y_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \\ &+ m_{33} \left( \frac{Z_A - Z_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_a &= m_{21} \left( \frac{X_A - X_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a + m_{22} \left( \frac{Y_A - Y_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \\ &+ m_{23} \left( \frac{Z_A - Z_L}{Z_A - Z_L} \right) z'_a \quad (8) \end{aligned}$$

식(8)로 식(6)과 식(7)을 나누고  $z'_a$ 를 (-f)로 대치하여 정리하면 다음과 같이 간략화된 공선조건식을 얻을 수 있다.

$$F = x_0 - f \frac{X}{q} = x_a \quad (9)$$

$$G = y_0 - f \frac{Y}{q} = y_a \quad (10)$$

여기서,  $q, \gamma, s$ 는 각각 다음과 같다.

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)$$

이며,  $X_A, Y_A, Z_A$  : 대상물 좌표

$X_L, Y_L, Z_L$  : 촬영점 좌표

$f$  : 초점거리,  $x_a, y_a$  : 상좌표

$x_0, y_0$  : 주점의 오프셋(Offset) 보정값이다.

상기의 식(9)의 F와 식(10)의 G 함수를 Taylor 급수전개를 통해 선형화시키면 식(11)과 식(12)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} (F)_0 + \left(\frac{\partial F}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial F}{\partial \phi}\right)_0 d\phi + \left(\frac{\partial F}{\partial k}\right)_0 dk \\ + \left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)_0 dX_L + \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)_0 dY_L + \left(\frac{\partial F}{\partial Z}\right)_0 dZ_L \\ + \left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)_0 dX_A + \left(\frac{\partial F}{\partial Y}\right)_0 dY_A + \left(\frac{\partial F}{\partial Z^c}\right)_0 dZ_A \\ = x_a \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (G)_0 + \left(\frac{\partial G}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial G}{\partial \phi}\right)_0 d\phi + \left(\frac{\partial G}{\partial k}\right)_0 dk \\ + \left(\frac{\partial G}{\partial X}\right)_0 dX_L + \left(\frac{\partial G}{\partial Y}\right)_0 dY_L + \left(\frac{\partial G}{\partial Z}\right)_0 dZ_L \\ + \left(\frac{\partial G}{\partial X}\right)_0 dX_A + \left(\frac{\partial G}{\partial Y}\right)_0 dY_A + \left(\frac{\partial G}{\partial Z^c}\right)_0 dZ_A \\ = y_a \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $x_a$ 와  $y_a$ 는 측정값이므로, 최소제곱법에 사용되는 잔차( $v_{xa}, v_{ya}$ )의 의미를 포함하여 정리하면 식(13)과 식(14)와 같다.

$$\begin{aligned} b_{11}d\omega + b_{12}d\phi + b_{13}dk - b_{14}dX_L - b_{15}dY_L - b_{16}dZ_L \\ + b_{14}dX_A + b_{15}dY_A + b_{16}dZ_A = J + v_{xa} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} b_{21}d\omega + b_{22}d\phi + b_{23}dk - b_{24}dX_L - b_{25}dY_L - b_{26}dZ_L \\ + b_{24}dX_A + b_{25}dY_A + b_{26}dZ_A = K + v_{ya} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 J, K는 각각  $x_a - F_0$ 와  $y_a - G_0$ 이며  $b_{ij}$ 는 편미분계수이다.

## V. 지상사진측량을 이용한 사면변위계측

### 1. 현장사례를 통한 지상사진측량 사면안정평가 흐름도

실시간 온라인 데이터 획득 및 해석이 가능한 CCD 카메라 또는 디지털 카메라를 이용한 연구가 최근 많이 수행되고 있으나, 아직까지

필름을 사용한 일반 카메라의 해상도를 따라오지 못하고 있는 실정이다. 이것이 디지털 카메라의 현장 활용에 절대적인 문제점으로 작용하고 있다(Kraus, 1997).

본 연구에서는 ○○-○○간 도로 확장 공사 구간 중에 사면 슬라이딩이 발생한 지역을 선정하여 소프트카피 사진측량방법을 적용하여 위험 사면지반을 측정하였다(Wolf, 2000). 본 대상지역은 사면활동이 발생한 사면의 파괴규모는 크기가 대략 100m×100m의 대규모사면으로, 사람이 접근할 수 없는 지역이며 해빙기에 따른 사면의 붕괴가 계속적으로 일어나고 있는 지역이다. 먼저, 지상사진측량기법을 이용한 사면지표변위의 변위량 측정을 위하여 필요한 1m 등고선을 생성하기 위해 Rollei 6006 80mm 측정용 카메라와 무-타겟 측정장비를 사용하여 비 접촉 대상물에 대한 3차원 사면 지반 데이터를 획득하고자 하였으며 이를 위한 연구수행 흐름도는 그림 4와 같다.

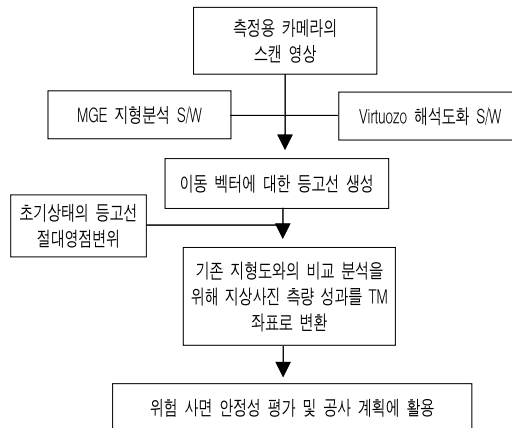


그림 4. 연구 수행

### 2 소프트카피사진측량에 의한 자료의 판독

소프트카피 사진측량을 위한 입체 영상은 대상물의 전면 300m 정도에서 획득하였다. 기준점은 무-타겟 측정장비를 사용하여 6점을 취하였다. 이때, 필름이 중형 포맷이기 때문에 더 작은 화소 크기로 스캔하면 영상의 용량이 커져 영상해석을 위하여는 어려움이 있어서, 입체

영상 분석을 위하여 60mm×60mm 필름(3800×3800화소)을 15μm(40Mb)로 스캔·적용하였다.

현장에서 직각수평촬영을 위해 사면 하상 바닥부를 수평선으로 설정하고 대상물의 중복도를 고려하여 그림 5 및 그림 6과 같은 해석대상 사면에 대한 2°정도 수렴한 영상을 획득하였다. 각 그림들은 해석대상 사면에 대해 기선 거리를 40m 정도로 하여 획득한 입체영상을 나타낸 것이다.

3. 사면지반의 변위계측결과 및 고찰

Rollei 6006 80mm 필름을 스캔하여 해석도화 S/W인 Vituozo를 사용하여 등고선을 도화하였다. 지상사진은 항공사진과 달리 도화 좌표축을 변환하여야 한다. 표 1에서 보는 바와 같이 기준점 성과와 지상사진을 도화하기 위해 Z축과 Y축을 변화한 성과를 나타낸 것이다.

Table 1. 입체 영상 해석을 위한 기준점 성과

기준점 No.	TM좌표체계의 기준점 성과			지상사진해석을 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

지상사진의 Z축 좌표는 그림 3에서 보이는 방향이 (-) 방향이 되므로 410,000m에서 빼준 성과이다. 총 6점의 기준점에 대한 성과를 무타겟 측정기를 사용하여 획득하였으나, 지반의 동결 융해로 인해 성과가 나쁜 2점(4번, 5번)은 배제하고 사용하였다.

입체영상 도화는 Vituozo를 이용하였고 TIN 생성, 등고선 생성, 좌표점 추출, 단면분석 등은 지형분석 프로그램인 MGE(Modular GIS Environment)를 사용하였다.

그림 7은 지상사진체계에서 도화한 등고선 성과를 나타낸 것으로, 그림 5 및 그림 6과 동일한 형상을 나타내고 있다. 해석한 성과는 TM 좌표체계의 기존 지형도와 좌표체계가 다르기 때문에 일치하지 않는다.



그림 5. 좌측 영상



그림 6. 우측 영상

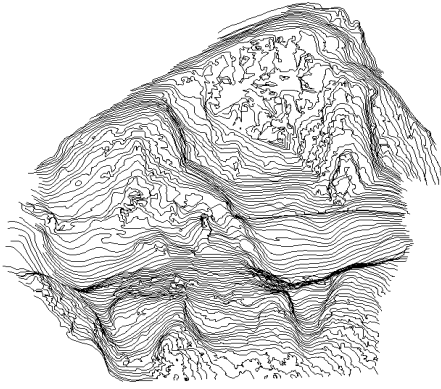


그림 7. 지상사진체계의 등고선 성과 이를 기존 도면과 일치시키기 위해 다음과 같은 변환과정을 수행하였다. 일반적인 3차원 벡터 변환 모듈을 이용해서는 좌표변환이 원활히 수행되지 않기 때문에, 이와 같은 변환 과정을 수행하여야만 하였다.

- (1) 도화성과 획득(기준점 위치 표시)
- (2) 입체영상 도화를 위한 좌표축 형성시, Z축에서 410,000m을 감해줬기 때문에, 도화 성과에 도시된 기준점의 위치와 성과를 이용하여 초기 좌표로 이동(microstation의 mirror 기능 사용)
- (3) TIN(Triangulation Irregular Network)망 구성하여 절점의 3차원 좌표 추출
- (4) Y축 성과와 Z축 성과 변환(Excel 사용)하여 TIN망 구성
- (5) 등고선 생성

따라서, 그림 4의 흐름도에 따라 그림 7을 3차원 좌표변환하면 사면지반의 초기상태인 초기등고선도인 그림 8, 사면변형 후에 생성된 새로운 지반변형 등고선도(TOP VIEW)가 그림 9와 같이 얻어진다. 그림에서 보는 바와 같이 두 그림은 같은 축적상태로 나타낸 것으로 사면지반의 지표변위가 발생된 양의 계측값을 등고선도의 확장폭으로 구할 수 있다. 이러한 성

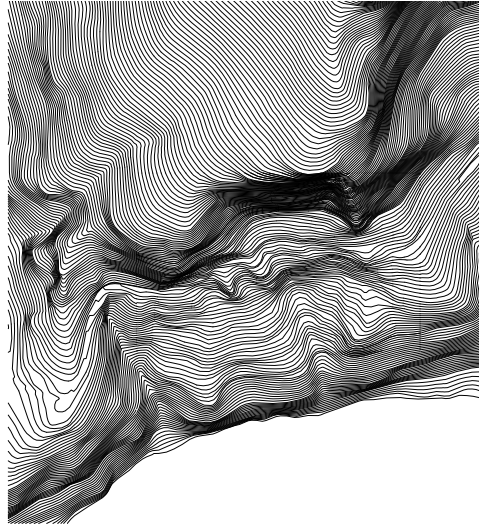


그림 8. 사면지반의 초기 등고선도(TOP VIEW)

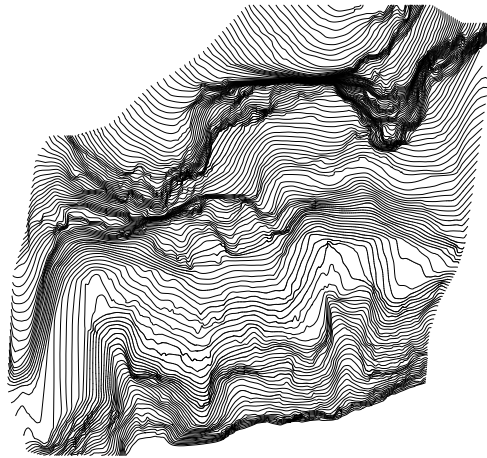


그림 9. 사면지반의 변형후 등고선도(TOP VIEW)

과는 기존 지형도와 중첩하여 사용하므로써, 단면분석 및 종단면에 대한 사면의 기울기와 수직방향의 이동벡터등을 구할 수 있게 되며, 따라서, 사면활동거리 및 사면활동폭등 각종 공사상태의 지표변환상태를 3차원양으로 표현할 수 있게 된다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 최근 많이 사용되고 있는 사



진측량 및 수치사진측량의 장점을 활용하여 그 계측수법을 지상사진측량 방법으로 활용하였으며 특히, 소프트카피 사진측량(Softcopy Photogrammetry)을 이용한 사면지반변위계측의 적용가능성을 적용사례를 통하여 비교검토·제시하였다.

1. 소프트카피 사진측량 기법을 적용하여 접근하기 어려운 위험 사면의 3차원 지반데이터를 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 재 생성함으로써 기존 지형도와 비교·분석이 가능하였다.
3. 기존계측시스템을 이용하는 경우 발생하는 각종단점, 지형조건을 고려한 계측장비의 설치, 위험사면에서의 계측원에 의한 안정성 문제를 해결함으로써, 안정성 있는 계측장비의 개발을 위한 기술적 토대를 마련할 수 있었다.
4. 소프트카피 사진측량의 가장 문제점인 고가의 스캐너장비를 이용하는 방법을 최근 35mm, 중형포맷의 필름전용스캐너가 보급되면서 이러한 문제점을 해결하고 있어 넓은 범위의 위험사면에 대한 측량을 효과적으로 수행할 수 있었으므로, 접근이 어려운 여러 토목 분야의 측정에 더욱 폭넓은 활용이 기대되어진다.

## VII. 참 고 문 헌

- 한국지반공학회. 1992. 사면안정. 지반공학시리즈. 강준목. 1992. 지상사진측량에 의한 구조물 변형의 최적해석에 관한 연구 최종 보고서. 한국과학재단
- 김성곤. 1998. 계측기술의 최근 동향. 대한토목학회지 46(11) : 14~26.
- 홍성완. 1990. 토질공학 모형실험에 입체사진측정기법의 활용. 정인준교수 정년퇴임 학술발표회논문집 : 83-97.
- Karl Kraus. 1997. Photogrammetry I(2), 4th Edition, Dümmler/Bonn,
- Paul R. Wolf. 2000. Element of Photogrammetry with Application in GIS. 3rd Edition.

接受 2001年 6月 11日