

보강토 옹벽 변위측량을 위한 사진측량용 표정판 적용 가능성 평가

Feasibility Assessment of the Photogrammetric-board for Deformation Measuring of Reinforced-soil Wall

이효성¹⁾ · 나현호²⁾ · 박병욱³⁾ · 김용돈⁴⁾

Lee, Hyoseong · Na, Hyunho · Park, Byung-Wook · Kim, Yong Don

Abstract

This study applied close-range digital photogrammetry to measure deformation of reinforced-soil wall as the passed time. We proposed to utilize the photogrammetric-board to determine 3D coordinates and compute exterior orientation parameters from the images without measuring control points. The displacements by the proposed method are compared with those of the Total-station. As results, measuring errors was within 5cm, and the deformation was not occurred in the 3 months. The proposed method using the photogrammetric-board therefore can be utilized to measure deformation of the reinforced-soil wall.

Keywords: Reinforced-soil Wall, Deformation, Close-range Digital Photogrammetry, Exterior Orientation Parameters, Photogrammetric-board

초 록

본 연구는 시간경과에 따른 보강토 옹벽의 변위를 측정하기 위해, 근거리수치사진측량을 적용하였으며, 기준점 측량없이 영상으로부터 외부표정요소와 3차원 위치를 결정하기 위해 표정판 활용 방법을 제안하였다. 표정판으로 계산한 보강토 옹벽의 변위를 토탈스테이션으로 측정한 변위와 비교한 결과 5cm 이내의 오차를 보였으며, 시공 후 3개월이 지난 보강토 옹벽의 변위는 없었다. 따라서 사진측량용 표정판을 이용한 제안방법으로 보강토 옹벽의 변위 측량이 가능하다는 것을 제시할 수 있었다.

핵심어: 보강토 옹벽, 변위, 근거리수치사진측량, 외부표정요소, 표정판

Received 2016. 08. 23, Revised 2016. 09. 29, Accepted 2016. 10. 20

1) Member, Dept. of Civil Engineering, Suncheon National University (E-mail: hslee@sunchon.ac.kr)

2) Dept. of Civil Engineering, Suncheon National University (E-mail: end226@nate.com)

3) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil, Safety, and Environmental Engineering, Hankyong National University (E-mail: ukpark@hknu.ac.kr)

4) Member, Dept. of Civil, Safety, and Environmental Engineering, Hankyong National University (E-mail: kyd9947@hanmail.net)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

옹벽 구조물의 경우, 대부분 콘크리트 벽체를 사용하여 전 면부를 처리하고 있어 도시환경 및 정상적인 물순환 과정을 저해하는 요소로 작용되고 있다. 1980년대 중반 이후에는 우수한 경제성과 수려한 외관 및 시공의 간편성 등에 의해 보강토 옹벽의 건설이 날이 증가하고 있다. 보강토 옹벽은 콘크리트 옹벽과는 달리 지반내부에 보강재를 삽입하여 주변 지반사이의 마찰저항이 흙 입자의 수평방향 변형을 억제하여 구조물의 안정성을 확보하는 공법이다(Yoo *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2012). 최근에는 생활수준의 향상으로 환경 친화적인 구조물에 대한 시대적인 요구에 부합하는 친환경 보강토 옹벽의 개발 및 적용도 활발히 추진되고 있다. 그러나 대규모이면서 과도한 높이로 시공되는 등의 이유로 벽체의 수평변위, 전면 활동파괴 등과 같은 붕괴사태가 종종 발생하고 있다(Yoo *et al.*, 2005; Han *et al.*, 2006). 만일 보강재의 파괴 전 거동양상이 정확히 측정된다면 사전에 붕괴로 연결되는 것을 예방할 수 있을 것이다. 일반적으로 보강토 옹벽 구조물의 거동을 예측하거나 안정성 관리 목적으로 사용되는 장비로는 스트레인 게이지와 같은 전문 변형 계측기를 포함한 토털스테이션(Total-station), GPS(Global Positioning System), 지상 라이더(LiDAR) 등을 활용할 수 있겠으나 이들 장비들은 기계 셋업(set-up) 시간, 측량시간과 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 수치자료만을 제공하므로 시각적 분석을 동시에 할 수 없다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완할 수 있는 대안적 계측방법으로 근거리수치사진측량을 제안하고자 한다. 이 방법은 사진측량의 기본원리를 이용하여 사진상에 나타난 대상물의 2차원적 기하형상으로부터 3차원 형상을 측정하고 묘사하는 기술(Moffitt and Mikhail, 1980)로서 정밀성, 안전성, 경제성, 일관성과 자동화가 요구되는 여러 과학 분야에서 활용되고 있는 추세이다. 그 중에서도 정밀산업 기계부품분야의 외형적 품질검사와 건설 분야의 구조물 안전진단을 위한 변형 모니터링분야 등에 값비싼 계측장비를 대체하고 자동화할 수 있다는 장점 때문에 그 활용 가능성이 증대되고 있다(Lee, 2008). 또한 근거리수치사진측량은 보강토 옹벽의 3차원 표면자료를 획득할 수 있으므로 전체적인 체적변위와 토류의 양상을 파악할 수 있다는 장점이 있다.

그럼에도 불구하고 기존의 사진측량 방식은 카메라의 정확한 외부표정요소를 구하기 위한 기준점 확보 절차가 요구되기 때문에 사진촬영과 함께 번거로운 기준점 측량과정이 필요하다. Hwang *et al.*(2009)은 공면조건에 의한 상호표정 방

법으로 좌, 우 카메라의 외부표정요소를 구하고 좌, 우 카메라의 기선거리를 정확하게 측정한 후, 외부표정요소의 축척을 보정하여 피사체의 실제 크기를 결정하였다. 이 방법의 경우, 두 카메라는 고정되어야 하고, 카메라간 거리측정을 위한 장비가 추가되어야만 한다. 따라서 본 연구는 기준점 측량을 별도로 실시하지 않고, 대상체 주변에 표정판 만을 설치하고 이로부터 축척이 보정된 상호표정요소를 결정하는 방법을 제안하고자 한다. 그리고 표정판으로 결정된 상호표정요소를 이용하여 건설 초기와 시간경과 후의 보강토 옹벽 변형을 측정하여 토털스테이션으로 측정한 변형량과 비교하여 사진측량용 표정판의 활용 가능성을 평가하고자 한다. 여기서, 표정판은 외부표정요소를 구하기 위해 기존에 토털스테이션과 같은 기준점 측정 작업을 대체할 수 있고, 대상체 접근이 힘든 경우 표정판을 이용하여 카메라의 외부표정요소를 구할 수 있으며, 보강토 옹벽의 변위가 크게 발생한 경우 두 시기 DEM(Digital Elevation Model)을 구하여 전체적인 체적변위를 구할 수 있다는 장점이 있다.

2. 표정판 적용방법

근거리수치사진측량으로 보강토 옹벽의 변형을 측정하기 위해선 우선적으로 입체영상을 획득하고, 이로부터 분석하고자 하는 지점들의 3차원 위치를 획득해야만 한다. 좌-우 입체영상으로부터 3차원 위치를 결정하기 위한 순서는 다음과 같다.

- 1) 먼저 내부표정요소는 미리 검정한 자료를 사용하고, Fig. 1에서 보는 바와 같이 공면조건식(또는 공선조건식)으로 좌, 우 영상의 상호표정을 실시한다. 이때 사용되는 기준점은 직접 설치한 점이나 특이점을 독취하여 사용한다(물론 SIFT매칭으로 취득한 점의 영상좌표도 활용가능).

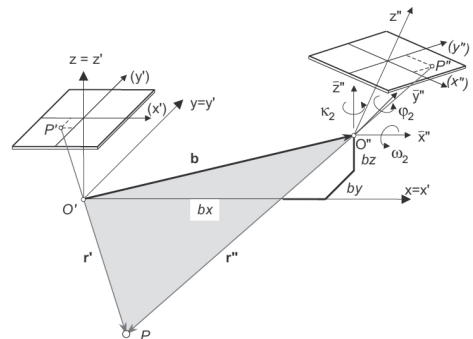


Fig. 1. Coplanarity condition for relative orientation(Luhman *et al.*, 2006)

2) 공면조건에서 좌, 우 카메라 렌즈 중심간 거리(b_Y)는 정확하게 측정하기 힘들므로, 이로부터 구한 외부표정요소는 축척을 보정해 주어야만 한다. 따라서 보강토 옹벽에 설치한 표정판(일정한 간격으로 이루어진 격자모양의 판; Fig. 6)의 3차원 좌표를 상호표정요소로부터 구하고, 원래 표정판의 3차원 좌표와 비교하여 아래 식을 이용하여 축척을 결정한다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = S \cdot \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} \quad (1)$$

where, X, Y, Z are real spatial coordinates of the orientation board; X', Y', Z' are spatial coordinates of the orientation board by the relative orientation; S is scale factor between the two coordinates.

3) 공면조건으로 구한 외부표정요소는 Eq.(2)로 표현할 수 있으며, Eq.(1)에서 구한 축척을 이용하여 공간상의 실제 외부표정요소(Eq.(3))로 수정할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X' - X'_c \\ Y' - Y'_c \\ Z' - Z'_c \end{pmatrix} = \lambda' \cdot M' \cdot \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \\ -f \end{pmatrix} \quad (2)$$

where, X'_c, Y'_c, Z'_c are the spatial coordinates by the relative orientation; λ' and M' are scale factor and rotation matrix by the relative orientation; f is focal length; x, y and x_c, y_c are image coordinates of targets and the principal point.

$$\begin{pmatrix} X - X_c \\ Y - Y_c \\ Z - Z_c \end{pmatrix} = \lambda \cdot M \cdot \begin{pmatrix} x - x_c \\ y - y_c \\ -f \end{pmatrix} \quad (3)$$

where, X_c, Y_c, Z_c are real spatial coordinates of the camera lens center; λ, M are scale factor, rotation matrix between spatial and image.

여기서, 수정된 실제 외부표정요소는 Eq. (2) and Eq. (3)을 Eq. (1)에 대입하여 Eq. (4)으로 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{pmatrix} = S \cdot \begin{pmatrix} X'_c \\ Y'_c \\ Z'_c \end{pmatrix}, \quad M = S \cdot M' \quad (4)$$

4) 이렇게 구한 외부표정요소를 이용하여 보강토 옹벽에 설치한 기준점의 위치를 공간교차이론으로 구한다. 그리고 이 작업을 시간경과에 따른 보강토 옹벽 스테레오 영상에 대해서도 적용한다. 이 방법에 대한 정확도 검증은 토탈스테이션으로 측정한 기준점 좌표와 비교한다. 두 데이터간 비교를 위해, Eq. (5)와 같이, 축척을 제외한 이동과 회전을 고려하여 비교한다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (5)$$

where, X, Y and Z are coordinates by the proposed method; X_t, Y_t and Z_t are the coordinates by the Total-station; $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ and R are translations, rotation matrix between the two coordinate systems, respectively.

5) 마지막으로 보강토 옹벽에 설치한 10개 기준점의 7월과 10월 위치를 비교하여 변위량을 계산한다. 두시기 비교 또한 Eq. (5)으로 이동과 회전을 고려하여 비교한다.

3. 적용실험과 비교분석

본 연구에서 적용한 보강토 옹벽은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 각재로 만들어진 전방수직지지대 시공방법으로 만들어졌다. 이 방법은 옹벽의 강성과 지지력을 향상시키면서도 사각 단면을 가지는 각재를 이용하여 목재옹벽을 축조함으로써 시공성과 경제성을 향상시키고, 식물의 식재가 용이하도록 함으로써 녹화에 유리한 새로운 형태의 보강토식 옹벽이다.

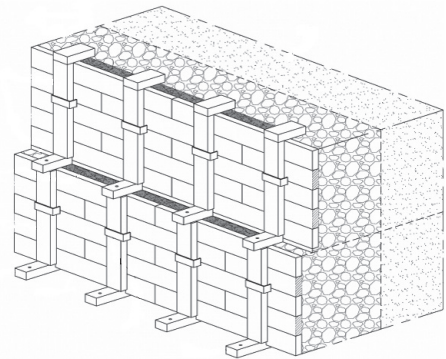


Fig. 2. Design form of the wood reinforced-soil wall (height is 390cm; wide is 2400cm)



Fig. 3. Real form of the reinforced-soil wall

실험을 위해, CCD 크기가 가로 23.6mm×세로 15.8mm (한 화소 크기: 6 μ m)인 NIKON D200 두 대의 카메라를 사용하였으며, 3,872×2,592 화소와 초점거리 55mm로 수렴 촬영하여 입체영상을 획득하였다. 촬영기선은 대략 7m, 촬영거리 는 약 20m 거리에서 촬영하였다. 좌표축은 X축이 좌·우

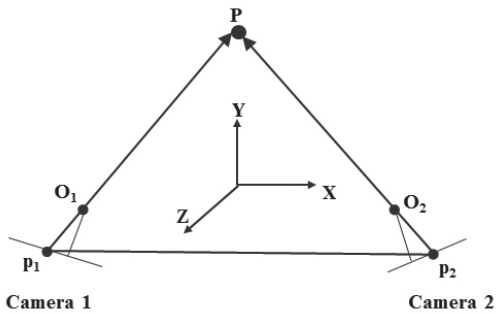


Fig. 4. Photogrammetric coordinate system

카메라의 기선방향, Z축이 카메라 촬영방향이 되도록 하였으며, Y축은 XZ 평면과 직각방향이 되도록 설정하였다. 그리고 사용 카메라 내부표정요소(초점거리, 주점변위량, 방사왜곡량 첫 번째 계수 값)는 기존에 자체검정한 자료를 활용하였다(Lee, 2008).

입체영상은 보강토 옹벽이 완공된 2015년 7월 14일과 토압에 의한 하중발생 가능성이 있는 2015년 10월 07일 각각에 대하여 획득하였으며(Fig. 6 and 7), 이때 카메라는 7월과 10월 거의 동일한 위치에서 촬영하였다.

그리고 보강토 옹벽 표면에 10점의 기준점을 설치하였으며(Fig. 8), 제안방법의 정확도 분석을 위해 3차원 위치를 측정하였다. 10점의 3차원 위치는 무타켓 토털스테이션(정밀도: 3mm \pm 2ppm)을 이용하여 7월과 10월 각각에 대해 구하였다. 표정판(가로 80cm×세로 50cm)은 Fig. 9에서 보는바와 같이 보강토 옹벽에 부착하여 설치한 경우(Board 1), 보강토 옹벽에서 떨어져서 설치한 경우(Board 2; 이 방법은 분석 대상체가 위험하거나 접근이 곤란할 때 유효한 방법임)로 나누어 촬영하였다.



Fig. 5. Cameras set-up for photogrammetry

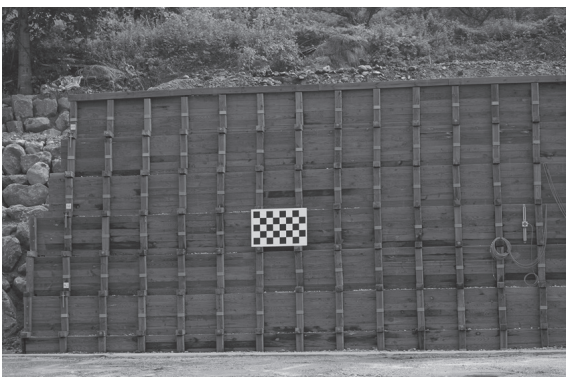


Fig. 6. Photo in July

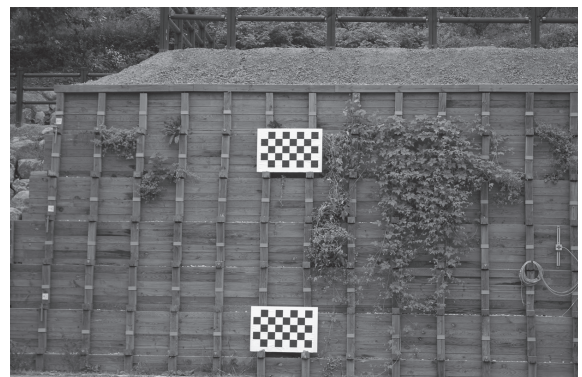


Fig. 7. Photo in October

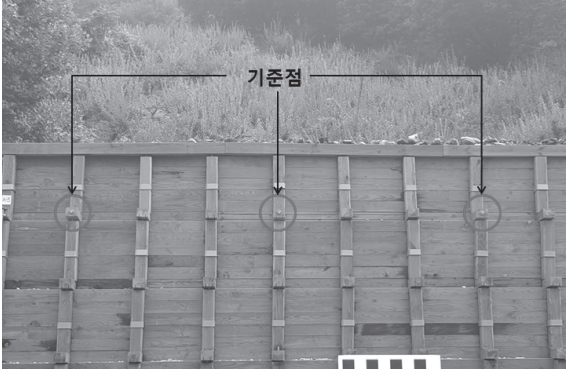


Fig. 8. Zoom in control points

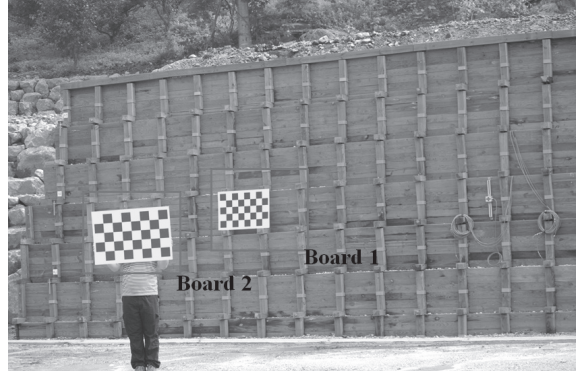


Fig. 9. Board 1 and Board 2

먼저, Board 1, 2의 정확도를 실험하기 위해, 7월 영상에서 10점의 기준점을 이용하여 상호표정을 실시하고, 설치한 표정판으로 상호표정요소의 측척을 보정하였다. 이로부터 10개 기준점의 3차원 좌표를 구하고, Eq. (5)으로 측정값의 좌표체계로 수정, 비교하였다(Fig. 10, Table 1). Table 1에서 보는바와 같이 모두 1cm 이상의 비교적 큰 오차를 보이고 있다. 이는 표정판의 크기가 보강토 옹벽에 설치된 기준점 영역의 일부만 포함하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 Board 1의 경우처럼 보강토 옹벽과 접한 기준자료가 그렇지 않은 Board 2보다 X, Y 축에서는 각각 3cm 정도 정확하였다.

10월 또한 Board 1 방법으로 상호표정요소를 보정(Fig. 7에서 위에 설치한 표정판을 사용)하였으며 오차는 X, Y, Z 각각에 대해 3.0cm, 3.2cm, 1.8cm로써 7월 Board 1 결과에 비해 비교적 크게 발생하였다. 이를 통해 분석 대상체에서 한쪽으로 치우쳐 설치한 표정판은 만족할 만한 결과를 가져올 수 없음을 알 수 있었다.

7월과 10월의 3차원 좌표변위 계산 또한 Eq. (5)을 적용하

였으며, 그 결과는 Fig. 11과 Table 2에 제시하였다. 그리고 변위 관측의 신뢰성을 평가하기 위하여 동일 기준점에 대해 토털스테이션으로 측정해둔 7월, 10월 3차원 좌표 변위량과도 비교하였다(Table 2). 그 결과, 토털스테이션 측정 정밀도를 감안할 때 보강토 옹벽의 변위는 없는 것으로 나타났다. 또한 제안방법은 토털스테이션 측정결과에 비해 X, Y, Z 방향에 대하여 2.4cm, 2.3cm, 2.9cm 차이를 보였다.

앞의 결과에서 보는바와 같이, 표정판을 대상체로부터 떨어져서 설치하는 경우보다는 부착하는 경우가 더 정확하였으며, 대상체 중심에 설치한 7월 표정판 결과가 한쪽으로 치우쳐 설치한 10월 표정판의 결과보다 정확하였다. 그리고 20m 거리에서 촬영한 두 시기의 공간상(XYZ 3축 방향)의 측정 정확도와 변위 결과 정확도는 각각 5cm 내의 결과를 보이고 있다. 이는 과거에 결정한 내부표정요소의 문제, 기준점 측정을 위한 토털스테이션 정밀도, 대상체에 비해 작은 크기의 표정판과 표정판 자체결함 등의 문제를 포함하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

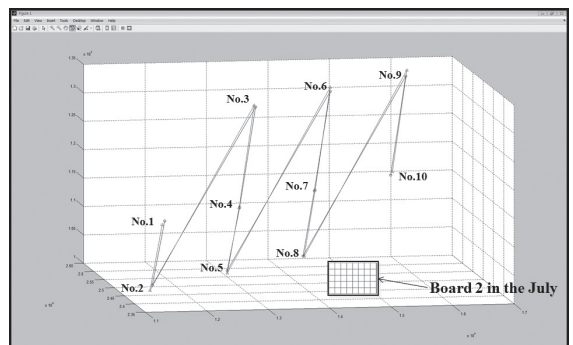
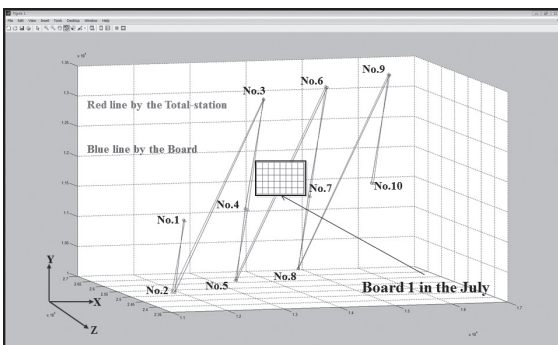


Fig. 10. Errors according to the board position in July

Table 1. Accuracies by the corrected scale using the board after relative orientation in July(unit: cm)

No.	Deviation of X		Deviation of Y		Deviation of Z	
	Board 1	Board 2	Board 1	Board 2	Board 1	Board 2
1	-1.1	7.1	0.3	2.9	4.0	5.9
2	2.3	5.8	-1.0	6.7	-4.1	3.6
3	0.6	3.6	-0.0	-4.2	0.1	3.3
4	-2.9	1.5	0.6	1.2	4.3	1.8
5	0.7	0.4	-1.2	4.5	-3.1	0.3
6	1.7	-0.9	-0.1	-5.6	-2.7	-0.7
7	-1.9	-2.8	0.5	-0.2	2.0	-2.0
8	-0.2	-3.7	-0.9	2.8	-1.2	-2.9
9	2.1	-4.6	0.7	-6.5	-2.0	-3.9
10	-1.4	-6.3	1.1	-1.5	2.7	-5.5
Error	RMSE of X		RMSE of Y		RMSE of Z	
	Board 1	Board 2	Board 1	Board 2	Board 1	Board 2
	± 1.8	± 4.5	± 0.8	± 4.5	± 3.1	± 3.6

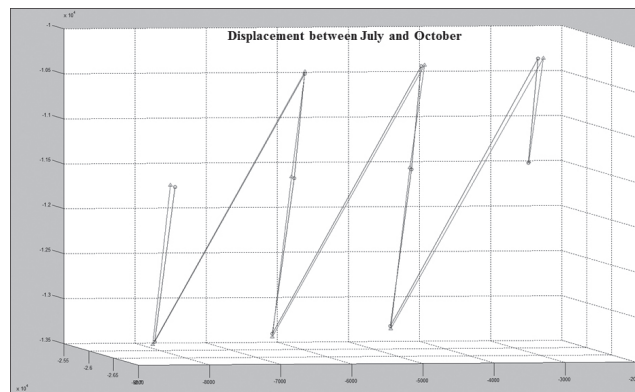


Fig. 11. Deformation between July and October

Table 2. The CPs deformations between July and October(unit: cm)

Method	X	Y	Z
Photogrammetry	± 2.7	± 2.6	± 3.1
Total-station	± 0.3	± 0.3	± 0.2

그림에도 불구하고, 국내 보강토옹벽의 경우에는 0.03H(H: 옹벽높이) 정도를 수평변위의 허용기준으로 적용하고 있다 (Ju *et al.*, 2011). 따라서 실험옹벽(높이: 3.9m)의 경우 수평변위 허용기준이 약 12cm 이고 본 연구결과와 정확도는 이 허용기

준 이내이므로 제안방법을 적용하면 전체적인 대상체의 변형을 측정하는데 유효하게 적용할 수 있고, 기존방법과 같이 굳이 복잡한 장비를 동원하지 않고도 카메라와 표정판만으로 충분히 변위를 관측할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 시간경과에 따른 보강토 옹벽의 변위를 측정하기 위해, 근거리수차사진측량을 적용하였으며, 영상으로부터 측정점들의 3차원 위치를 결정하기 위해 표정판 활용 방법을 제안하였다. 표정판으로 계산한 보강토 옹벽의 변위를 토털스테이션으로 측정한 변위와 비교한 결과 5cm 내의 차이를 보였다. 이는 실험 과정에서 발생하는 여러 오차 요인을 포함하여 표정판의 크기가 대상지역을 적절히 커버하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 향후 표정판을 정교한 격자모양의 원형타깃 형태로 제작한 후, 표정판을 분석하고자 하는 대상체 근처로 이동시키는 방식으로 입체 촬영한다면 정확도 향상에 도움이 될 것으로 판단한다. 실험옹벽의 경우에는 수평변위 허용기준이 약 12cm 이고, 본 연구결과 정확도는 이 허용기준 이내이므로 옹벽이 2m 이상의 구조물인 경우에는 본 연구에서 제안한 방법으로 수평변위 허용기준 이내에서 변위측정이 가능하다고 볼 수 있다. 따라서 근거리수차사진측량과 표정판만으로 보강토 옹벽의 변위측량이 가능하다는 것을 제시할 수 있으며, 이는 고가의 계측장비가 요구되는 기계-건설분야의 구조물 측정분야에도 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0276618)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- Han, J.G., Hong, K.K., and Kim, Y.S. (2006), Displacement measuring lab. test of reinforced-soil retaining wall block using 3D digital photogrammetry image, *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 5, No. 3, pp. 45-52. (in Korean with English abstract)
- Hwang, J.S., Yun, H.S., and Kang, J.H. (2009), Development of close range photogrammetric model for measuring the size of objects, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 29, No. 1, pp. 129-134. (in Korean with English abstract)
- Ju, J.W., Park, J.B., and Na, H.H. (2011), Bulging of reinforced retaining walls, *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 10, No. 2, pp. 45-53. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S. (2008), The deformation measurement of simulated ground using movable orientation board for photogrammetry, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 26, No. 4, pp. 323-331. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., Lee, J.W., and Choi, C.Y. (2012), The comparative experiment of geogrid reinforcement types with construction stage on segmental retaining walls, *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 4, pp. 1-8. (in Korean with English abstract)
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., and Harley, I. (2006), *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*, John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y.
- Moffitt, F. H. and Mikhail, E. M. (1980), *Photogrammetry, 3rd ed.*, Happer & Row, New York, N.Y.
- Yoo, C.S., Jung, H.Y., and Jung, H.S. (2005), A case study in a rainfall induced failure of geosynthetics-reinforced segmental retaining wall, *J. Korean Geosynthetics Society*, Vol. 4, No. 1, pp. 17-25. (in Korean with English abstract)

