

“임의의 위치에서 사용가능한 영상 기반 변위 계측 시스템”의 정오표

Corrigendum to “Vision-based Displacement Measurement System Operable at Arbitrary Positions”

이 준 화¹⁾
Jun-Hwa Lee조 수 진^{2)*}
Soo-Jin Cho심 성 한³⁾
Sung-Han Sim

본 정오표에서는 한국구조물진단유지관리공학회 논문집 제18권 5호에 수록된 논문 “임의의 위치에서 사용가능한 영상 기반 변위 계측 시스템” (Lee et al., 2014)에서 제안 기법의 대조군으로 사용한 Lee and Shinozuka (2006)에 대한 잘못된 해석과 실험 결과를 교정하고자 한다.

우선 페이지 124에서 식 (1)에 대한 저자들의 기존 해석을 교정하고자 한다. 식 (1)은 이미지 좌표계와 최종적인 측정판 좌표계 사이의 관계를 나타낸 식이다. 비록 Lee and Shinozuka (2006)에서는 거론되지 않았지만, 식 (1)은 카메라의 위치가 고정되어 있을 경우에 이미지 좌표계에서 측정판 좌표계로의 2D 아핀 변환 (Affine Transform)과 동일한 식이다 (Berger, 2009). 따라서 일반적으로 이미지 좌표계와 측정판 좌표계가 선형적 관계를 갖게 되는 모든 경우에 있어 식 (1)은 유효하며, 이미지에서 측정판 방향벡터 사이의 각도는 식 (1)의 오차를 유발하는 요인이 아니다.

그러나 실제 3D 공간상에 존재하는 물체가 핀홀 카메라 모델에 따라 2D 이미지 좌표계로 투영될 경우, 이미지 좌표계와 측정판 좌표계는 비선형적 관계를 가질 수 있다 (Berger 2009). 카메라의 시축 (optical axis)과 측정판이 수직을 이루지 않을 경우, 측정판의 기울어짐에 의하여 발생한 시축방향의 거리 (깊이)가 이미지가 투영되는 위치에 영향을 미침으로서, 이미지 좌표계와 측정판 좌표계 사이에 비선형적 관계를 형성한다. 따라서 이 경우에는 아핀 변환이 오차를 유발하며, 깊이를 고려한 비선형적 관계를 나타내는 페이지 125에서 식 (2)에 소개된 평면 호모그래피 변환이 유효하다.

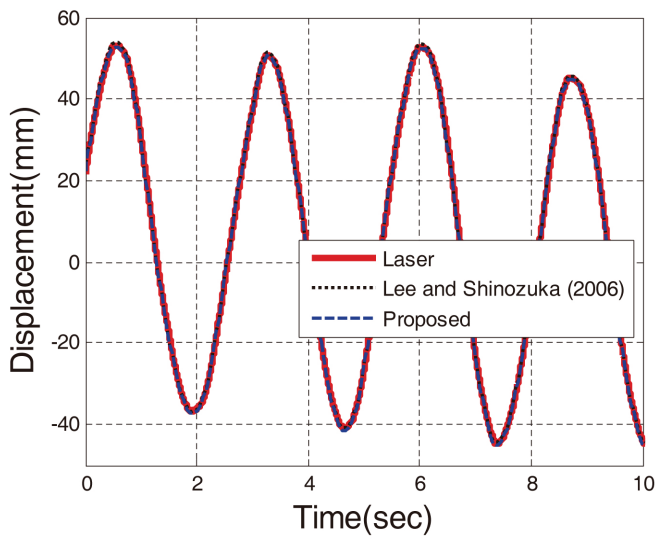
다음은 저자들의 오류로 인하여 잘못 얻어진 Fig. 8과 Table 1을 다음 Fig. A와 Table A와 같이 교정하고자 한다. 앞에서 설명하였듯이, 식 (1)에서 측정판과 방향벡터 사이의 각도는 오차 유발요인이 아니며, 그에 따라 Fig. A에서 식 (1)에 의한 결과 (Lee and Shinozuka, 2006)와 식 (2)에 의한 결과 모두 레이저 변위계로 측정된 변위와 매우 유사한 값을 갖는다. 그러나 오차의 크기를 나타낸 Table A에서 볼 수 있듯이, 식 (1)의 경우 카메라의 시축과 측정판이 이루는 각이 커질수록 비선형적 관계가 형성되며, 그에 따라 식 (1)의 결과는 오차가 증가한다.

특이한 점은 측정판이 카메라의 시축과 직교하지 않고 큰 각을 이룸에도 불구하고, 오차가 3% 미만으로 매우 작다는 점이다. 이는 단일 카메라를 이용할 경우, 카메라와 측정판이 어느 정도 (약 1m 이상)의 거리만 가지더라도 깊이 정보가 거의 손실되기 때문이다. 즉, 원래는 이미지 좌표계와 측정판 좌표계 사이의 관계는 비선형적으로 나타나므로 호모그래피 변환을 이용하여야 하지만, 실제로는 손실된 깊이 정보로 인하여 관계가 거의 선형적으로 나타나기 때문에 아핀 변환을 이용하더라도 오차가 생기지 않는 것이다. 따라서 매우 가까운 위치에서 영상 기반 변위 계측을 수행할 경우에는 식 (2)를 쓰는 것이 합당하나, 대형 구조물에서와 같이 원거리에서 영상 기반 변위 계측을 수행할 경우에는 식 (1)과 식 (2)은 거의 유사한 측정 결과를 나타낼 것이다. 이에 관한 상세한 논문은 추가적으로 작성하고 있다.

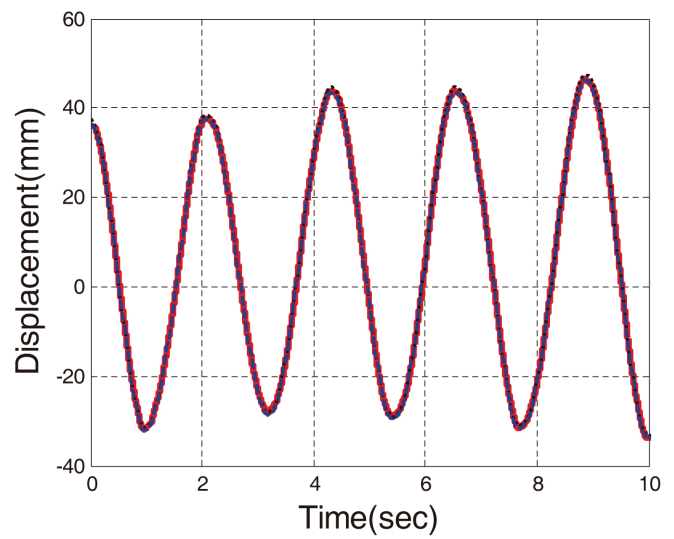
1) 학생회원, 울산과학기술대학교 학사과정
2) 정회원, 울산과학기술대학교 도시환경공학부 연구교수, 교신저자
3) 정회원, 울산과학기술대학교 도시환경공학부 조교수

* Corresponding author : soojin@unist.ac.kr

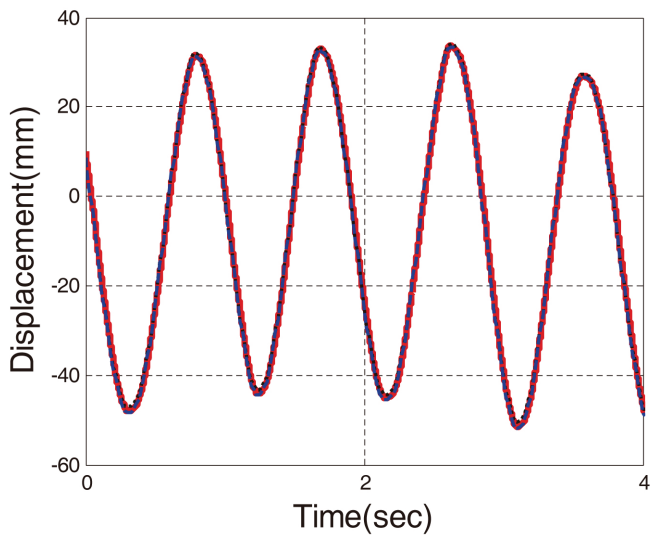
• 본 논문에 대한 토의를 2015년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2015년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.



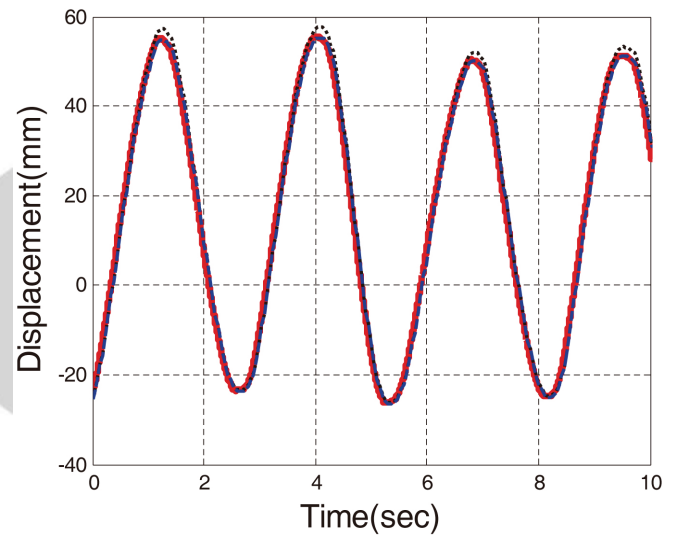
(a) Vertical and Horizontal Angles = 30°



(b) Vertical and Horizontal Angles = 45°



(c) Vertical and Horizontal Angles = 60°



(d) Vertical and Horizontal Angles = 75°

Fig. A Comparison of Displacements Obtained From Validation Test

Table A Average Error of Displacements Compared with Ones from Laser Displacement Meter

	Vertical and Horizontal Angles			
	30°	45°	60°	75°
Lee and Shinozuka (2006)	0.76%	0.61%	1.24%	2.24%
Proposed	0.12%	0.15%	0.19%	0.21%

displacement measurement system operable at arbitrary positions, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(6), 123-130.

- Lee, J. J., and Shinozuka, M. (2006), A vision-based system for remote sensing of bridge displacement, *Ndt & E International*, 39(5), 425-431.

References

- Berger, M. (2009), *Geometry I*, Springer-Verlag, Chapter 2-4.
- Lee, J. H., Cho, S. J., and Sim, S. H. (2014), Vision-based

Received : 05/14/2014

Revised : 07/03/2014

Accepted : 07/18/2014