

FHD급 DIC 플랫폼의 변위계측용 영상품질 분석

Analysis of DIC Platform and Image Quality with FHD for Displacement Measurement

박종배¹ 강민구²
Jongbae Park Mingoo Kang

요약

건축 구조물의 상대적인 변위 계측을 위하여 2메가 픽셀 Full HD(FHD) 해상도의 카메라와 디지털 영상상관(DIC, Digital Image Correlation) 플랫폼을 설계하고, 계측에 영향을 주는 영상 품질을 분석하였다. DIC 플랫폼은 Freescale사의 i.MX6를 기반으로 설계하였다. 영상 상관을 이용한 계측은 영상의 품질에 따라 계측 정밀도에 영향을 줄 수 있는데, 이러한 영상 품질 요인으로 영상의 밝기(brightness), 대조(contrast), 신호대 잡음비(SNR, Signal to Noise Ratio)를 분석하였다.

관심 영역(ROI, Region Of Interest)으로 설정한 부분에서 추출한 영상을 기준 영상으로 삼고, 일정 시간 경과 후 디지털 영상 상관(DIC)을 이용하여 기준 영상의 이동을 화소 및 부화소 단위로 추적 계산하여 변위를 측정하였다. 더불어 DIC 기반의 비접촉 원격 계측의 유효성을 파악하기 위하여 25m, 35m, 50m의 계측 거리에서, 영상 품질 요인 및 ROI의 크기를 조정하여 측정을 하고 정밀도를 분석하였다.

☞ 주제어 : 디지털 영상상관(DIC), 변위 측정 카메라 플랫폼, 영상 해상도, 밝기(brightness), 대조(contrast), SNR(dB)

ABSTRACT

This paper presents the analysis of image quality with FHD(Full HD) resolution camera equipped DIC(Digital Image Correlation) platform for the measurement of the architectural structure's relative displacement. DIC platform was designed based on i.MX6 of Freescale. Displacement measurement based on DIC method, the error is affected by image quality factors as pixel number, brightness, contrast, and SNR(dB)(Signal to Noise Ratio). The effect were analyzed.

The displacement of ROI(Region Of Interest) area within the image was measured by sub-pixel units based on DIC method. The non-contact telemetry property of DIC method, it can be used to long distance non-contact measurement. The various displacement results was measured and analyzed with the image quality factor adjustment according to the distance(25m, 35m, 50m).

☞ keyword : Digital image correlation(DIC), displacement measurement camera platform, resolution, brightness, contrast, SNR(dB),

1. 서론

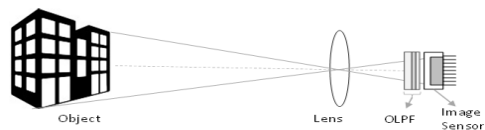
다양한 요인에 의한 건축 구조물의 처짐, 기울어짐 및 틈새와 같은 변이로 인해 구조물에 응력이 쌓이거나 결함이 발생할 수 있다.

이러한 건축물의 변이를 검출하기 위한 방법으로 수평 1920화소, 수직 1080화소의 2메가급 해상도FHD(Full HD) 영상 기반의 디지털영상상관(DIC, Digital Image Correlation) 분석방법을 제안한다[1].

DIC는 비접촉, 단일 측정에 상대적으로 넓은 범위 및

미소 변위를 측정할 수 있는 특성이 있어 압력, 온도 등에 대한 물체의 변형 및 생물, 기계, 재료, 유체, 토목 등 다양한 분야에서 연구 및 사용 되고 있다[1-7].

DIC는 영상을 이용한 측정 방법이기 때문에 DIC기법에서의 측정 정밀도는 이미지 센서(Image Sensor)의 화소 크기와 렌즈(Lens)를 포함하는 광학계의 배율과 직접적인 관련이 있다. (그림 1)은 측정할 대상물(Object)이 렌즈를 통해 영상 센서에 대응되는 관계를 나타낸다.



(그림 1) DIC 영상 획득을 위한 광학계 구성 설계
(Figure 1) Optical design of DIC Images

¹ KT&C Co.LTD., Seoul, 07516, S.Korea

² Dept. of IT Contents, Hanshin Univ., Osan, 18101, S.Korea

* Corresponding author (kangmg@hs.ac.kr)

[Reviewed 27 October 2017, Reviewed 6 November 2017, Accepted 21 December 2017]

(그림 1)에서 측정할 대상물의 크기, 렌즈로부터의 거리 및 측정 정밀도에 따라 이미지 센서의 화소 크기, 해상도와 렌즈의 초점 거리를 조합하여 광학계를 구성할 수 있다[8].

측정 대상물에서 변위가 일어날 경우 변위의 양은 광학계의 변환 행렬에 따라 이미지 센서위에 투사 (projection)되므로, 영상내 관심 영역(ROI)에서의 영상의 변위를 알 수 있다면, 역으로 측정 대상물의 변위를 계산할 수 있다.

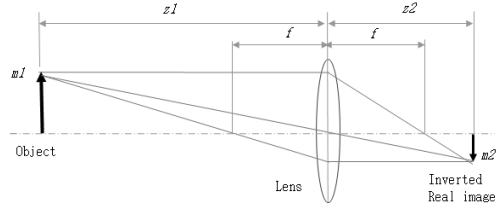
본 연구에서는 비접촉 원격 측정이 가능한 DIC기반의 측정 플랫폼을 설계하여 측정에 적용하고, 광학계 이외에 측정 정밀도에 영향을 미치는 영상 품질 요인들, 즉 DIC 플랫폼에서의 ROI 영상의 평균 밝기(bright), 대조(contrast), SNR[dB](Signal to Noise Ratio, 신호대잡음비)을 품질 지표로 하여 측정 결과를 분석하였다. 이를 통해 DIC기법을 통한 변위측정 시, 특히 조명 등 환경적 요인을 통제하여 고품질의 영상 신호를 얻기 어려운 원거리 자연 조명 환경에서 영상 품질 지표를 통해, 측정 정밀도 및 측정 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

2. DIC 카메라 플랫폼 설계와 영상특성 분석

2.1 FHD 센서 적용 광학계 분석

이미지 센서는 많은 분야에서 CCD 타입으로 부터 CMOS 타입으로 전환이 되며, 해상도에 급격한 증가가 이루어져, FHD, UHD(Ultra High Resolution, 수평 3840화소, 수직 2160화소), 30메가 화소, 100메가 화소등 고해상도의 센서가 사용 가능하게 되었다. 최근 CCTV 부분에서 가장 일반적인 FHD 해상도의 1/2.8" 형 이미지 센서를 기준으로 광학계의 정밀도를 검토해 보았다. 계측 대상물과의 거리 50m이고 계측 정밀도 1mm를 가정하였다. FHD 1/2.8" 이미지 센서의 화소 크기는 2.9um(SONY IMX 291 센서 기준)이므로 (그림 1)], (그림 2) 및 (식1)에서, 화소한 개의 크기를 계측 정밀도로 가정하면, 필요한 렌즈의 초점 거리는 145mm 가 된다. 이때 관측 대상물의 시야크기(FOV, Field Of View)는 수평, 수직 각각 1.92m, 1.08m 가 된다. 계측 거리를 늘이거나, 계측 정밀도를 높이거나 또는 FOV를 키우는 것은 렌즈의 초점 거리, 이미지 센서의 크기 및 해상도에 따라 조합 가능함을 알 수 있다[8]. DIC 기반의 방법은 부화소 단위의 측정이 가능하므로, 일 예로 초점 거리를 1/3로 줄여 FOV를 3배로 키우고도 동일한 1mm 정밀도를 얻을 수도 있다[9].

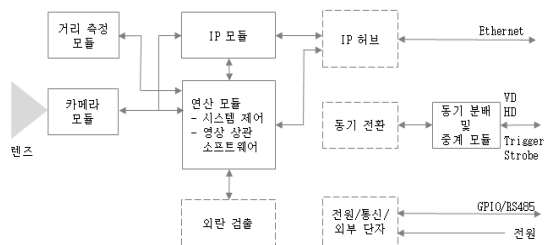
$$f = \frac{z1 \times m2}{m1+m2} \quad m1 \gg m2 \text{ 이면, } f = \frac{m2}{m1} z1 \quad (식1)$$



(그림 2) 렌즈의 피사체와 상의 관계
(Figure 2) Lens and Imaging relation

2.2 3D 변위검출 위한 DIC 플랫폼 설계

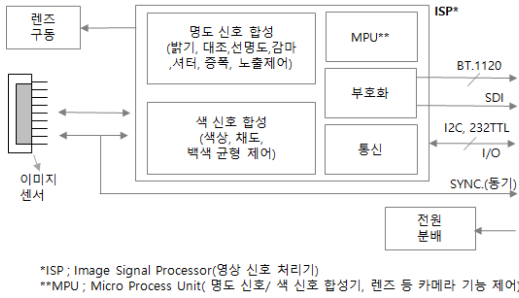
영상 상관을 기반으로 한 계측에서 거리에 대한 계측 정밀도 측면에서 보면, 영상 평면과 수평인 방향(x,y축)의 정밀도는 거리에 반비례하는 반면, 영상 평면에 수직인 방향(z축) 즉, 광축 방향의 계측 정밀도는 거리의 제곱에 반비례 하게 됨을 (식1)로 부터 알 수 있다. 따라서 원격 계측의 경우 거리 방향의 계측은 측정 불가능하게 작아져 다른 계측 수단을 필요로 한다. 스테레오 이미징을 사용한 방법도 원거리 계측에서는 정밀도를 얻을 수 없다. 따라서 영상 상관을 기반으로 한 계측은 원거리일 경우 2D 변위 계측만 가능하므로, 거리 방향 변위 측정을 위하여 레이저를 사용한 거리 측정 모듈을 도입, 3D DIC 계측 플랫폼을 설계하였다. (그림 3)에 3D DIC 영상변위 계측 플랫폼을 보였다.



(그림 3) 3D DIC 영상변위 계측 플랫폼 설계
(Figure 3) Design of 3D DIC displacement measurement platform

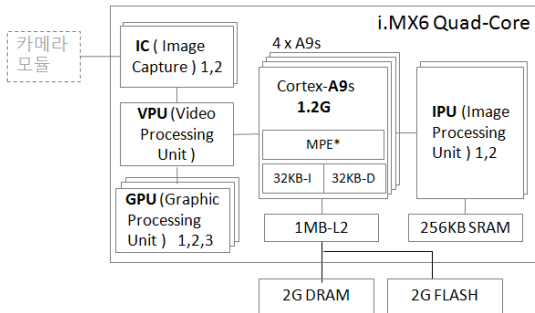
카메라 모듈은 단위 화소 크기 2.9um, 1920 x 1080 화소, FHD해상도의 센서(SONY IMX291)를 사용하여 구성하였으며 (그림 4)에 나타 내었다. 카메라 모듈에서는 영상의 밝기, 대조특성, SNR에 대해 통신 블록을 통하여 일부 설정을 할 수 있도록 구성하였다. 연산 모듈 부분은

(그림 5)에 나타내었다. 연산 모듈은 거리 측정 모듈을 통하여 거리 정보를 얻고, 거리 정보를 2D DIC를 통한 2D 변위 검출과 결합하여 3D 변위를 계산 처리하는 모듈이다. 엠베디드(Embedded) 처리를 위하여 Freescale 사의 iMX6 Quad-Core를 기반으로 설계하였다[10].



(그림 4) 카메라 모듈 (밝기,대조,SNR 제어)

(Figure 4) Camera Module(Brightness, Contrast, SNR Control)



(그림 5) 3D DIC용 연산 모듈

(Figure 5) Computing Module for 3D DIC

2차원 영상 상관을 이용한 계측에서 핵심적인 요소들은 다음과 같다.

- 2 개의 영상
- 2개 성분의 평면상 위치벡터(Position vector)
- 2개 성분 평면상 변위벡터(Displacement vector)

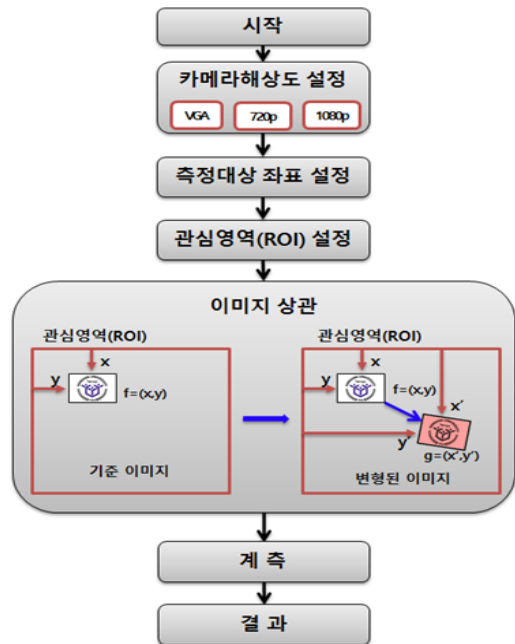
디지털 영상 상관은 2개의 영상 즉, 기본이 되는 영상과 비교를 위한 영상으로부터 평면상 위치 및 변위를 검출하여 실제계에서의 변위를 계산하는 것이므로 검출에 적합한 영상을 필요로 한다.

- 높은 명암 비 (High Contrast)

- 비 반복적(Non repetitive, Non homogeneous)
- 등방성(Isotropic)

2.3 2D 변위검출 알고리즘

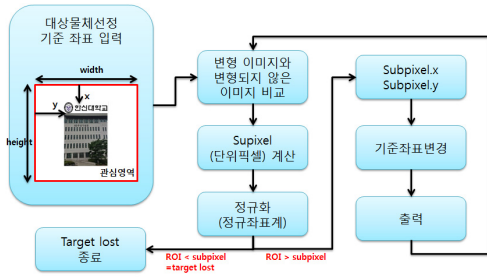
(그림 6)에 변위 계측 알고리즘의 실행 과정을 보였다. FHD 해상도의 DIC 플랫폼에서 처음 획득한 기준 영상에 대해 측정하고 싶은 영역으로 ROI 설정을 해 놓고, 비교 영상에서 기준 영상의 ROI에 대응되는 영역을 영상 상관 방법으로 차이를 분석한다[1]. 이러한 DIC 알고리즘으로 변형과 변위 및 왜곡 등을 측정할 수 있다.



(그림 6) 관심영역의 설정과 계측 알고리즘

(Figure 6) Measurement algorithm for ROI displacement

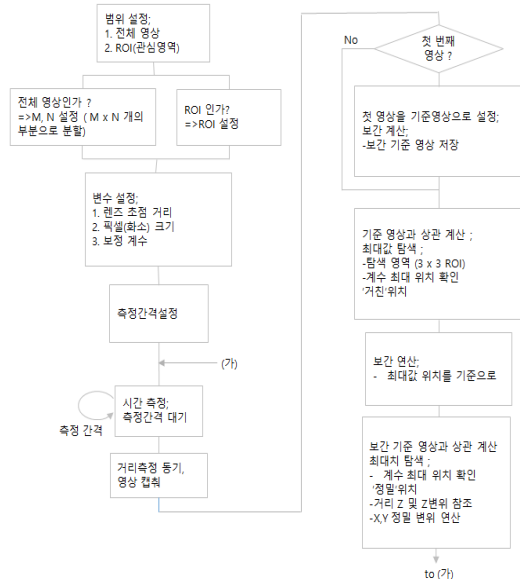
(그림 7)에 DIC 변위계측 알고리즘을 세분화하여 다시 보였다. 2차원 ROI 영상을 나타내는 (그림 6)의 함수 f 와 목표함수 g 사이의 참조 서브셋(subset)은 화소 단위 및 부분 화소 단위로 이동된다. 목표 서브 셋의 좌표값과 정합되는 최적의 상관관계를 찾기 위해 이 두 이미지는 1차적으로 픽셀 단위로 비교한 후 최적의 위치에서 2차로 부분 화소 단위의 비교 알고리즘을 구현한다.



(그림 7) DIC 세부 알고리즘
(Figure 7) Detailed DIC algorithm

2.4 DIC 영상 상관 기반의 3D 변위 검출

3D 변위측정에서의 거리정보를 얻기 위해, (그림 3)과 같이 거리측정 모듈을 통합하였다. 거리 측정 모듈은 레이저를 사용한 위상천이(Phase Shift) 검출 방식의 거리계로 150m의 측정 범위와 +/-1mm의 측정 정밀도를 가진다. (그림 8)에 2D DIC와 거리계를 결합한 3D 변위 계측 플랫폼의 3D 변위 측정 알고리즘을 보였다.



(그림 8) 3차원 DIC변위/영상품질 측정/보간 알고리즘 흐름도
(Figure 8) Algorithm of 3D DIC displacement

거리계의 거리 측정 시각과 비교 영상의 획득 시각을 동기 시켜야 하는 문제가 제기되어, 측정 시간 간격 및 동기화 설정이 추가 되었다.

3. 3차원 위치변이 측정 플랫폼의 변위 측정 성능 고찰

본 절에서는 제안한 2D DIC 영상상관 기반의 3차원 위치변이 측정 플랫폼을 사용한 측정 오차와 영상 품질의 관계를 단계 별로 분석하였다. 레이저 거리계를 통한 거리 방향 변위는 거리계 자체의 성능에 따라 결정되는 것을 확인 하였다(+/-1 mm 오차내). 따라서 거리 방향의 변위는 별도로 측정하지 않고 거리계를 통한 거리 정보만을 2D DIC 기법을 이용한 변위 측정에 사용하였다.

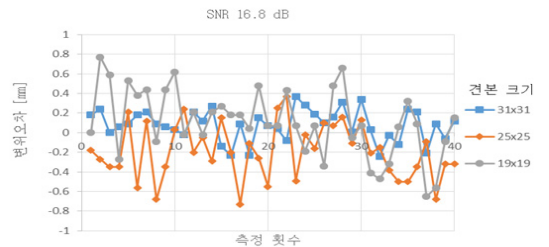
1단계에는 변위 영상측정에 영향을 미치는 영상 품질 관련 지표에 대해 하드웨어 설정을 통해 영상 품질을 조절하고 그에 따른 변위 오차를 분석하였다. 측정은 5.5m 거리에서 초점 거리 8mm의 렌즈를 사용하였고 9cm x 9cm의 측정용 피사체를 제작하여 건본으로 사용하였다. 3축으로 마이크로 미터를 장착한 미세 조절 기구에 건본 피사체를 장착하여 0.05mm, 0.1mm, 0.2mm 등의 단위로 변위를 부과한 후 측정 값과 비교하여 오차를 계산하였다.

2단계로는 영상품질 지표를 반영한 10미터 이상의 거리에서 측정 오차를 분석하였다. 계측용 영상은 8bit 255 단계의 흑백 영상을 사용하였다.

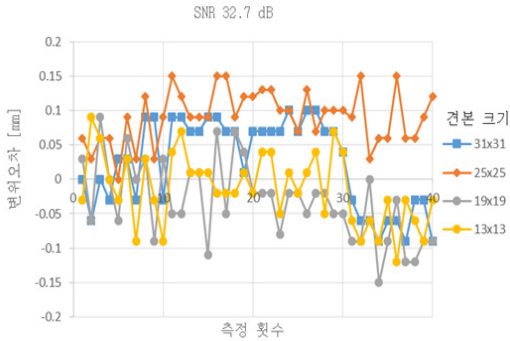
3.1 SNR에 따른 변위 오차의 분석

영상품질 요소 중 SNR과 영상 밝기(Brightness), 대조(Contrast) 특성, 영상 선명도 등이 변위 오차 또는 영상 상관 DIC 정밀도에 미치는 영향을 분석하였다. 측정 정밀도는 또한 서브 셋 표본 영상의 크기에 따라 영향을 받으므로, 크기에 따른 오차 영향도 분석하였다.

(그림 9)는 SNR 16.8dB로 설정된 영상에서, (그림 10)은 SNR32.7dB로 설정된 영상에서, 표본 영상의 크기로 13x13 화소부터 수평, 수직 각각 6화소씩 증가시켜 31x31



(그림 9) SNR 16.8dB 변위영상의 표본크기별 측정 오차
(Figure 9) Measurement error at SNR 16.8dB



(그림 10) SNR 32.7dB 변위영상의 표본크기별 측정 오차 (Figure 10) Measurement error at SNR 32.7dB

화소 크기까지 4개 크기의 표본 영상에 대한 측정오차를 비교 및 분석하였다. SNR 16.8dB 영상의 경우 13x13 화소 일 때 측정 오차가 표시 범위를 벗어나도록 심하여 표기에서 제외하였다.

아울러, 측위 영상의 밝기와 대조가 측정 오차에 영향을 미치지 않도록 영상밝기(Brightness) 60이상, 영상대조(Contrast) 15 이상이 되도록 설정 하였다. 영상의 밝기 값은 8bit 흑백 영상의 255단계 그레이 스케일(Grey Scale) 값을 기준으로 표본 크기 ROI 영역내 화소의 평균 밝기값으로 정의하였다. 영상대조 값은 8bit 255단계 흑백영상을 기준으로 (식2)와 같이 정의한 값으로 한다. 여기서 M, N 은 표본 영상의 수평, 수직 화소수, I 는 영상 밝기 및 평균을 나타낸다.

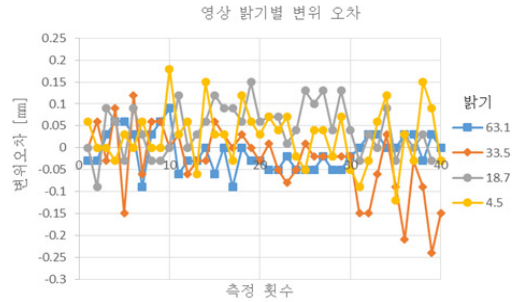
$$Contrast = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_{ij} - \bar{I})^2} \quad (식2)$$

SNR이 16.8dB의 경우 견본크기 31x31에서도 약 0.2mm 대의 변위 오차를 보이는 반면, SNR 32.7dB 영상에서는 13x13에서도 변위 오차가 0.1mm 이내 임을 볼 수 있다.

3.2 영상 밝기에 따른 변위오차의 분석

(그림 11)에 영상 밝기에 대한 변위 측정 및 측정 오차를 나타내었다.

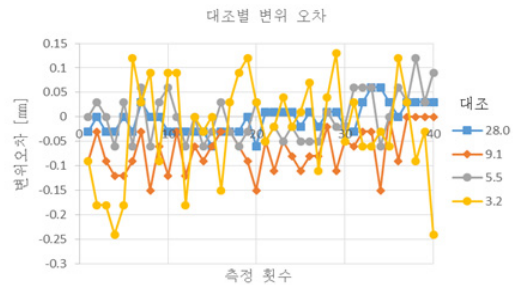
밝기 63.1일 때 SNR은 28dB 가 측정되었고, 견본 영상의 크기는 31x31로 설정 하여 측정을 하였다. 밝기 값이 63.1의 경우 0.1mm대의 오차를 보이다 밝기가 낮아짐에 따라 밝기값 4.5의 경우 변위오차가 0.2mm대로 커지는 것을 볼 수 있다.



(그림 11) 영상 밝기(Brightness)에 대한 변위 측정 오차분석 (Figure 11) Measurement error vs brightness

3.3 영상 대조 값에 따른 변위오차의 분석

(그림 12)에서 영상대조(Contrast)는 (식2)와 같이 ROI 영상 영역내의 밝기 차이에 의한 RMS Contrast 로 정의된다. 이때 영상대조 값이 높을 수록 변위 측정 오차가 작아짐을 볼 수 있다. 적절한 영상 대조 값을 얻는 데, 카메라 모듈의 하드웨어 설정 만으로는 부족하여 견본 피사체의 배경 부분의 밝기와 무늬 부분의 밝기 비를 변경해 가면서 피사체를 제작하여 측정하였다.



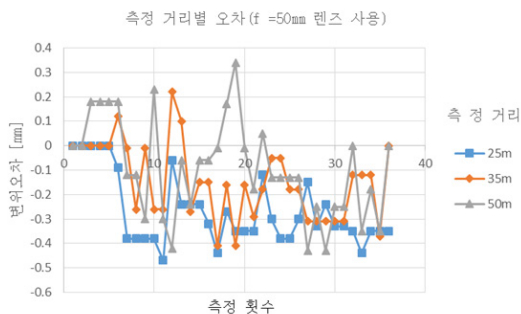
(그림 12) 대조(Contrast) 값에 대한 변위 측정 오차분석 (Figure 12) Measurement error vs contrast

대조 값이 28일 때 변위 측정 오차는 0.05mm 대 인데 비하여 대조 값이 3.2로 낮아지면 0.15mm 대로 오차가 증가함을 볼 수 있다.

3.4 원거리 측정시 영상 품질 및 변위오차 고찰

거리 25m, 35m, 50m 에 대해, 초점 거리 50mm 의 렌즈를 사용, 영상 품질을 조절하여 거리별로 (표 1)과 같은 영상 품질 상태에서 변위를 측정하여 (그림 13)에 보였

다. 변위 오차는 0.25mm ~ 0.4 mm 대로 (표 1)의 품질 지표로 볼 때 3.1~3.3점의 품질 지표에 따른 오차보다 2배 이상 크게 나타남을 볼 수 있다. 건물 지하 주차장에서 측정함에 따라 진동에 의한 영향 등이 복합된 것으로 추측되며, 더 정밀한 실험이 필요해 보인다.



(그림 13) 측정 거리에 대한 변위 오차

(Figure 13) Measurement error vs object distance

(표 1) 원거리 관측시의 영상 품질 설정

(Table 1) Image quality of long distance measurement

측정 거리 [m]	관측 영상 품질 (f = 50mm 렌즈 사용)		
	25	35	50
기본 영상 [pixel]	61 x 61	51 x 51	31 x 31
평균 밝기	72.3	123.8	99.7
대조(Contrast)	15.7	23.4	13.2
SNR [dB]	35.3	36.6	38.3

4. 결 론

본 논문에서는 DIC기반의 3차원 변위계측용 영상 플랫폼을 설계 하였고 SNR, 영상밝기 및 영상대조를 영상 품질 지표로 선정하여 변위 오차에 대한 영향을 분석하였다. 아울러 원거리 계측 시에 품질 지표를 영상에 반영함으로써 변위 오차를 50m 거리에서 +/-0.4mm 대로 얻을 수 있음을 확인하였다.

향후 건축 구조물 등의 DIC 변위 영상의 계측을 통해 건축 구조물의 이상 징후를 실시간, 비접촉으로 원거리에서 감지하는데 활용할 수 있을 것이다. 또한, 지진 등의 재난이 발생하였을 때, 이미 설치된 일반 CCTV의 영상을 통해서도 계측을 하여 허용범위를 넘어서는 변위에 대한 경고를 할 수 있도록 플랫폼을 발전시키는 추가 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 ATC지원사업(#10052113) 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

- [1] D.H.,Kim et al, "Platform Design of Displacement based on Image Correlation for Disaster Safety," 2016 Korean Society for Internet Information Conference, Vol.17, No.2, pp. 85~86, 2016.
<https://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleList/VOIS00290203>
- [2] S.W., Kim, N.S.,Kim, "Multi-point Dynamic Displacement Measurements of Structures Using Digital Image Correlation Technique," Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.13, No.3, pp. 11~19, 2009.
<http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?cn=JAKO200921140052320&dbt=JAKO&koi=KISTII.1003%2FJNL.JAKO200921140052320>
- [3] Oh Heon Kwon et al, "A Study of the Strain Measurement for Al 6061-T6 Tensile Specimen using the Digital Image Correlation," The Korean Society of Safety, Vol.28, No.4, pp. 26-32, 2013.
<http://uci.or.kr/G704-000647.2013.28.4.008>
- [4] J.H., Lee et al, "Vision-Based Displacement Measurement System Operable at Arbitrary Positions", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.18, No.6, pp. 123-130, 2014.
<http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2014.18.6.123>
- [5] J.H., Choi et al,, "Study on the Development of the Digital Image Correlation Measurements Program for easuring the 3-Point Bending Test," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.31, No.10, pp. 889~895, 2014.
<http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2014.31.10.889>
- [6] Lee J.J., Shinozuka, M., "Real-time displacement of a flexural bridge using digital image processing technique," Experimental Mechanics, Vol. 46, 105-114, 2006.
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11340-006-6124-2>
- [7] Bing Pan1, Kemaο Qian, Huimin Xie and Anand

- Asundi,” Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement,” MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY, 20, 2009.
- [8] Reu, Phillip L.; Sweatt, William ; Miller, Timothy ; Fleming, Darryn, “Title: Camera system resolution and its influence on digital image correlation,” Experimental Mechanics, Volume 55, issue 1, pp 9~25, 2015.
- [9] Misganu Debella-Gilo, Andreas Kääh, “Sub-pixel precision image matching for measuring surface displacements on mass movements using normalized cross-correlation,” Remote Sensing of Environment 115, pp. 130~142, 2011
- [10] i.MX 6Dual/6Quad Applications Processor Reference Manual, free scale semiconductor. Inc. 2015.
http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/i.mx-applications-processors/i.mx-6-processors:IMX6X_SERIES

● 저 자 소 개 ●



박 종 배

1986년 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1994년 KAIST 정보및통신 공학과(공학석사)
 2014년~2017년 한신대학교 정보통신(공학박사)
 1985년~2000년 LG전자 책임 연구원
 2007년~현재 KT&C 연구소장
 E-mail: jbpark@ktnc.co.kr



강 민 구

1986년 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 1994년 연세대학교 전자공학과(공학박사)
 1985년~1987년 삼성전자 연구원
 2000년~현재 한신대학교 IT콘텐츠학과 교수
 E-mail: kangmg@hs.c.kr