

영상을 이용한 교량 신축이음부의 신축량 추출

서동주^{1*} · 김가야²

Extraction of Expansion Length for Expansion Joint Bridge using Imagery

Dong-Ju SEO^{1*} · Ga-Ya KIM²

요 약

도로를 통과하는 차량하중 및 통행량의 증가로 인해 발생하는 하중효과는 교량에 급격한 손상을 유발시키기 때문에 교량의 유지관리차원에서 심각한 문제로 대두되고 있다.

그중 신축이음부는 차량의 주행을 원활하게 해주면서 주형에 유해한 응력이나 부가 하중이 최소화되도록 해주는 것이 가장 중요한 부분이다. 그러나 신축이음부는 항상 차량이 지나감으로 신축량을 측정하기란 매우 어려운 실정이다.

따라서, 신축이음부를 영상을 이용하여 신축량을 추출하면 정량적이고, 정성적인 유지관리를 할 수 있음을 알 수 있었다. 영상을 이용하여 신축이음부에 대한 3차원 좌표를 취득할 수 있었으며, A지역 32개소와 B지역 28개소에 있어서 검사점(Check Point)의 잔차에 대한 RMSE를 산정한 결과 A,B지역 모두 RMSE는 0.829mm~1.680mm의 매우 양호한 결과가 나타났다. 영상에 의해서 추출한 신축량과 실측값과 비교분석한 결과, A지역 RMSE는 0.64mm, B지역 RMSE는 0.28mm로 분석하였으며, A지역 평균잔차는 0.60%, B지역평균잔차는 0.27%로 나타났다. 또한, 향후 교량의 유지관리시 신축량을 측정은 영상을 이용하여 측정하므로써 과거에 비해 과학적이고, 효율적인 방법으로 판단된다.

주요어 : 영상, 수치사진측량 기법, 신축이음부, 신축량

ABSTRACT

A load effect by vehicles running on a road and an increase of traffic is distinguished as a serious issue in the level of bridges' maintenance and management since it causes a quick damage of bridges.

The expansion joint is the most important since it makes vehicles' traveling amicable and stress or additional load harmful to molding patterns minimized. However, it is very difficult to measure its expansion length since vehicles continue to pass on the expansion joint.

2008년 10월 28일 접수 Received on October 28, 2008 / 2008년 11월 28일 수정 Revised on November 28, 2008 / 2008년 12월 29일 심사완료 Accepted on December 29, 2008

1 동의대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Dong-Eui University

2 동의대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Dong-Eui University

* 연락처 E-mail : dpsdj@pknu.ac.kr

Therefore, the study could see that it was possible to carry out a qualitative and quantitative maintenance and management if its expansion length is extracted with images. The study could acquire three dimensional coordinates of expansion joints with images. As the results of calculating RMSE of check point residual at 32 points in A area and at 28 points in B area, both A and B areas had very good results of RMSEsms 0.829mm~1.680mm. As the results of analyzing expansion length and immediate value extracted by images, the study analyzed that RMSE of A area was 0.64mm and RMSE of B area was 0.28. The average residual of A area was 0.60% and the average residual of B area was 0.27%. Therefore, it is judged that it is more scientific and efficient than the past to measure expansion length with images at the time of repairing and managing bridges in the future.

KEYWORDS : Imagery, Digital Photogrammetry, Expansion Joint, Expansion Length

서론

도로를 통과하는 차량하중 및 통행량의 증가로 인해 발생하는 하중효과는 교량에 급격한 손상을 유발시키기 때문에 교량의 유지관리차원에서 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 교량의 유지관리를 위한 주기적인 점검 및 진단은 대단히 중요한 것이다(김한수,1999).

교량의 상부구조는 사용재료와 형식, 규모 등에 따라 그 크기는 다르지만 온도변화와 상부구조의 처짐에 따라 신축현상이 발생하게 된다. 이러한 신축현상은 강교의 경우에는 온도변화의 영향이 지배적이며, 콘크리트교의 경우에는 온도변화에 의한 수축·신장뿐만 아니라 콘크리트의 크리프, 건조수축에 의하여 장기적으로 수축을 일으킨다. 또한 모든 교량은 활하중의 처짐에 의하여 주형의 단부가 회전함으로써 신축이음부와 교량받침부의 신축이동이 발생하게 된다. 이러한 신축현상으로 인하여 교대의 흥벽과 주형 단부 또는 주형과 주형의 단부가 부딪치지 않게 하기 위하여 임의간격 이상이 되도록 유간을 둔다. 이러한 유간을 둔 위치에 신축이음장치를 설치하여 차량의 주행을 원활하게 해주면서 주형에 유해한 응력이나 부가 하중이 최소화되도록 해주는 것이 신축이음장치의 가장 중요한 기능이

다(김운학등, 2003; David, 1994). 또한 신축이음부 그 주변은 불연속 지점이므로 차량통과시 승차감에 영향을 미치며, 단차 때문에 충격이 발생하고 국부적인 손상이나 파손이 자주 일어난다. 이런 경우에는 주형에도 영향을 미치는 경우가 많다(Dexter 등, 1997). 그리고 이러한 신축이음부위는 항시 차량이 지나감으로 신축량을 측정하기란 매우 어려운 실정이다.

그러므로 교량의 신축이음부에 신축량을 측정하기 위하여 영상을 이용하여 적용하였다.

수치사진측량은 1990년 중반 및 후반에 DCS200을 수치사진측량 장비인 DPA와 결합시켜 산업분야에서 사용되는 기계생산설비를 촬영거리 수십cm에서 초근접으로 촬영하여 Z 좌표를 $\pm 0.04\text{mm}$ 정확도로 측정하였다(Peipe 등, 1995). 그리고 산업분야의 자동화처리 관리를 위하여 검정자료가 있는 DCS 460디지털 카메라와 휴대용 컴퓨터를 연계하여 실시간으로 광학 튜브의 3차원위치를 파악하였고(Bosemann, 1996), 3.5m이하의 거리에서 2.2×1.6m의 실험용타켓을 이용하여 Nikon E2 디지털카메라를 자체검증한 후, 3차원 위치를 $\pm 0.09\text{mm}$ 정확도로 파악하여 DCS 460 디지털 카메라의 측정결과와 비교분석하였다(Fraser 등, 1996). 그리고, 최근에는 자료의 취득 및 처리과정의 온라인화와 높은 정확도의 실시간 수치영상 처리 기술의 개발, 운영 프로그램의 연계 분석이 가

능한 통합된 처리체계로의 환경구축에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Mass, 1997; Christian, 1997).

국내에서는 근접사진측량에 의한 구조물의 변형 및 변위해석을 통해 구조물 모니터링의 해석 가능성을 제시하고 소프트웨어적 처리 방법에 따른 신뢰도를 분석하였다.(강준목 등,1995 ;김감래 등, 1997).

따라서, 본 연구에서는 부산광역시 위치한 교량 2개소를 대상으로 평거형 신축이음부 촬영하고, 분석하여 교량의 신축이음부의 정밀한 신축량을 추출하고자 한다.

이론적 배경

1. 영상 이론

CCD(Charge Coupled Device)는 1960년대 후반에 벨 연구소의 과학자에 의해서 발명되었다. 원래 CCD는 컴퓨터 기억회로의 새로운 형태로 생각되었지만, 곧 빛에 대한 실리콘의 민감도 때문에 영상자료수집을 포함한 다른 여러 분야에 적용성이 있는 것으로 나타났다. CCD 매트릭스는 현재 자료수집하는데 사용되는 디지털카메라의 가장 중요한 부분이다.(이진덕 등, 2005)

그리고 영상의 표현은 수평 및 수직으로 설정된 2개의 좌표축 x와 y에 의해 표현되는 2차원 정보를 가리킨다. 2개의 변수로 나타내는 위치에서의 밝기를 농담값을 식으로 나타내면 다음 식(1)과 같다.

$$f(x, y) = g \tag{1}$$

영상정보를 입력할 경우 그 관측계 및 주위 환경의 영향을 받으므로 입력 검출기의 수광 소자가 받는 빛의 양으로서 농도값 g의 연속치로 주어지는 영상을 아날로그 영상이라 한다. 아날로그영상의 대표적인 것을 렌즈계에 의해 광학적으로 영상을 취급하는 분야이다.

수치영상은 어떤 주기에서 격자로 구획을 나누고, 각 교점에서 이산적 위치를 이산적 농도값으로 표현하는 영상이다.

즉, 영상의 각 지점(x,y)의 광강도를 전류로 바꾸어 화상을 표본화하고, 그것을 디지털 숫자로 바꾸는 정량화 과정을 통하여 수치영상을 얻는다. 연속영상 f(x,y)을 등간격으로 샘플링하여 N×N배열의 형태로 정량화시킨다면 식(2)과 같은 행렬이 된다.

$$f(X, Y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N-1, 0) & f(N-1, 1) & \dots & f(N-1, N-1) \end{bmatrix} \tag{2}$$

프레임 한 개의 화상은 N×N개의 화소로 구성되고, N은 대체로 N=2n(n은 정수)이 되도록 정한다. g를 농담값으로 하면 N=2m가 되는 자연수를 농담값의 최대값이 되도록 한다. 여기서 m은 농담값을 나타내는 비트의 수가 되며 보통 8비트이다. 따라서 농담값은 (0~2m)-1 범위의 자연수로서 나타낸다. 8비트 수치로 나타내면 0~255가 농담값을 나타내는 범위가 된다. 이러한 수치영상의 화소들의 이산적인 표현을 행렬로 나타내면 그림1에 나타내었다(장호식 등,2005).

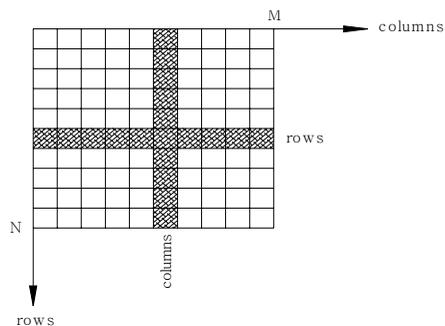


FIGURE1. 화소들의 이산적인 표현

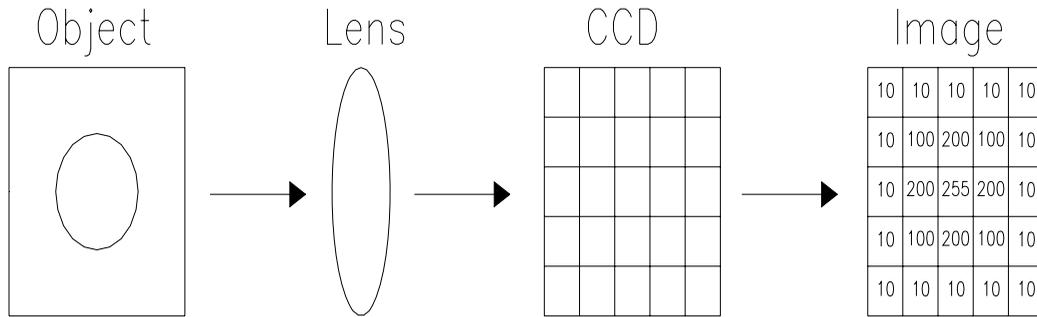


FIGURE2. CCD영상의 취득원리

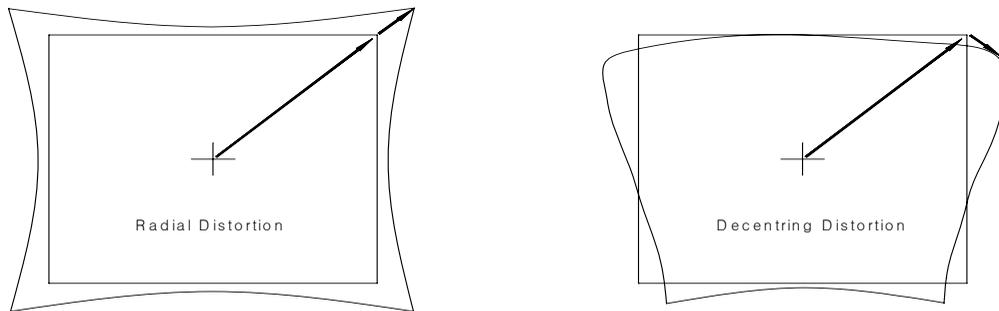


FIGURE 3. 방사왜곡과 편심왜곡

CCD 영상의 취득원리를 보면, 대상물에서 반사된 빛은 CCD 사진기의 렌즈에 의해 연속 신호로 수집되고 CCD 센서가 강도를 감지함으로써 수집된 빛은 아날로그 전압신호로 전달된다. 이 신호가 A/D변환자에 의해 수치정보로 변환이 이루어지는데, 관측목적에 위하여 이 강도는 전형적으로 0~255범위의 밝기값으로 변환된다. 일반적으로 CCD사진기를 이용하여 수치영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 영상 보드의 프레임포착기가 그림2와 같이 A/D변환을 수행하며 모니터에 영상을 출력한다.

자체검정(Self-Calibration)은 카메라의 초점 거리와 주점의 결정, 정오차를 보정하기 위한 부가매개변수의 취득에 이용된다. 렌즈의 특

성으로 인하여 대상물 공간상에서 카메라에 들어오는 입사각과 카메라 내부에서 렌즈의 중심을 통해 굴절하는 굴절각이 일정하지 않기 때문에 생기는 렌즈 왜곡수차는 방사방향 왜곡수차와 편심방향 왜곡수차가 있으며, 그림 3. 에서 나타낸 것과 같다.

일반적으로, 편심방향 왜곡수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 고려하지 않으며, 방사방향 왜곡수차는 식(3)으로 보정한다(서동주, 2005).

$$DR = A_1R(R^2 - R_0^2) + A_2R(R^4 - R_0^4) \tag{3}$$

여기서,

DR : Radial Distortion

A_1 : 1차 왜곡상수

A_2 : 2차 왜곡상수

R : 반지름

R_0 : 왜곡수차가 0이 되는 주점으로부터 반경

2. 교량 신축이음부의 신축량

도로교의 신축이음부는 교량에서 온도변화, 콘크리트의 크리프 및 건조수축, 하중에 의한 주형단부의 변위등에 대하여 차량이 교면을 지장없이 운행할수 있도록 설치한 장치를 말한다. 이부분은 교량구조 중에서 직접 차량하중의 충격을 받게 되는 부분으로 다른 부분에 비하여 대체로 파손이 많이 발생하는 부분이다.

또한 신축이음부가 링부파손되면 연쇄적으로 파손이 진전되며, 파손에 따른 타이어 소음, 타격소음이 발생되어 공해의 분제가 되기도 하므로 신축이음부의 유지보수는 대단히 중요하다. 따라서 신축이음부에서 신축량과 단차량을 측정하는 것은 주행차량의 안전과 교량수명에 연관되었었다.

신축량 산정에 대한 국내 설계기준으로는 도로교설계기준과 도로설계요령 등 크게 두 종류가 있다. 도로교설계기준에는 신축이음장치의 신축량 계산에 대한 언급은 없으나, 도로교표준시방서의 신축이음에 대한 규정의 해설편에 언급된 바와 같이 가동받침의 이동량에 대한 규정에 근거하여 교량의 신축량을 계산하는 것이 일반적이다. 한편, 도로설계요령에는 신축길이 100m 이상인 경우에는 도로교설계기준과 동일하며, 신축길이 100m 미만인 경우에는 신축을 일으키는 연장의 함수로 교량형식에 따라 경험식에 바탕을 둔 별도의 간편식을 이용하여 설계 신축량을 산정하도록 하고 있다. 한국도로공사의 설계요령에 제시되어 있는 신축량 산정식을 표로 정리하면 표 1과 같다. 소교량의 경우에 도로교설계기준에 따라 신축량을 산정하면 항상 설치여유량과 부가여유량을 고려해야 하기 때문에 신축량이 다소 크게 되는 경향이 있으며, 도로설계요령에 의해서 신축량을 산정하게 되면 신축량이 작게 산출되어 신축이음장치의 규격이 불필요하게 커지지 않아 경제적인 이점이 있는 반면에 시공시 대기온도 등의 영향을 고려하여 프리세팅(presetting)양을 결정하고 이를 시공에 반영해야 하는 어려운 점도 있다.

TABLE 1. 신축량 산정식(도로설계요령)

항 목	종 류	강 교		PSC 교	RC 교
		상 로 교	하로, 강상판교		
온 도 변 화		(-20~+40℃)	(-20~+50℃)	(-15~+35℃)	(-15~+35℃)
		-10~+40℃	-10~+50℃	-5~+35℃	-5~+35℃
신	온도변화	(0.6 × 1.2 ℓ)	(0.7 × 1.2 ℓ)	(0.5 ℓ)	(0.5 ℓ)
	건조수축	0.5 × 1.2 ℓ	0.6 × 1.2 ℓ	0.4 ℓ	0.4 ℓ
	크 리 프	-	-	0.1 ℓ	0.1 ℓ
축	기본신축량	-	-	0.2 ℓ	-
	소 계	(0.72 ℓ)	(0.84 ℓ)	(0.8 ℓ)	(0.6 ℓ)
량	신축여유량	0.6 ℓ	0.72 ℓ	0.7 ℓ	0.5 ℓ
		(0.14 ℓ + 10)	(0.17 ℓ + 10)	(0.16 ℓ + 10)	(0.12 ℓ + 10)
	합 계	0.12 ℓ + 10	0.14 ℓ + 10	0.14 ℓ + 10	0.10 ℓ + 10
		(0.86 ℓ + 10)	(1.01 ℓ + 10)	(0.96 ℓ + 10)	(0.72 ℓ + 10)
		0.72 ℓ + 10	0.86 + 10	0.84 ℓ + 10	0.60 ℓ + 10

측정 및 결과분석

1. 대상지역 및 측정장비

1.1 대상지역

신축이음부의 신축량을 측정하기 위하여 부산광역시 자동차전용도로인 두 교량을 선택하였다. 이 교량들은 비교적 교통량이 적은 곳이며, 공용개시가 최근인 대상지역을 선정하였다. 특히 두 지역의 모두 신축이음부 형식은 팽거조인트로 되어있으며, 그림 4는 측정 대상 지역 모습이다.



A 지역



B 지역

FIGURE 4. 측정 대상지역



FIGURE 5. Rollei d7 metric5 Camera

TABLE 2. 카메라 제원

제 원	Rollei d7 metric ⁵	
기록장치	CCD recode	
셔트속도	1/8,000 sec	
초점거리	7mm	
유효화소수	X	2,552
	Y	1,920
센스크기	X	8.932
	Y	6.720



FIGURE 6. 무프리즘 토털스테이션

TABLE 3. 무프리즘 토털스테이션

제 원	SET-230RK3	
측각최소표시/정도	1"/2"	
측정방식	TOF	
초점거리	7mm	
측정범위	프리즘	0.3~350m
	무프리즘	0.3~350m
정확도 (mm)	프리즘	$\pm(3+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$
	무프리즘	$\pm(2+2\text{ppm}\times D)\text{mm}$

1.3 카메라 검증

촬영에 사용될 카메라의 렌즈를 검증하기 위한 작업을 선행하였다. 방사방향 왜곡 수차와 편심방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 편심방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하므로 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

표 4는 카메라 검증에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이며, 카메라 검증결과 시스템의 왜곡 매개변수들을 도식적으로 나타내면 그림 5과 같다.

TABLE 4. 카메라 검증에 의해 보정된 자료

검정된 자료 [Rollei d7 metric ⁵ Camera]	
cK ¹	-7.5986 mm
xH ²	0.0343 mm
yH ²	0.3033 mm
A1 ³	-2.313341e-003
A2 ³	4.434249e-005
R0 ⁴	3.00 mm

1. 검정된 초점거리
2. 주점좌표
3. 방사방향 왜곡수차
4. 방사왜곡이 0이 되는 주점으로부터의 반경

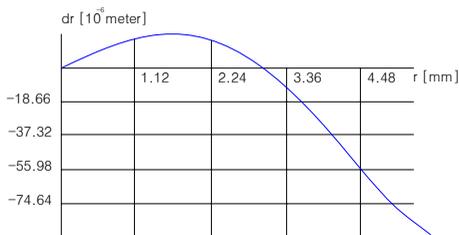


FIGURE 7. 무카메라 검증에 의한 시스템의 왜곡 매개변수

2. 측정 및 자료처리

본 연구에서는 교량 신축이음부의 신축량을 산정하기 위해 근거리 수치사진측량과 무프리즘 토탈스테이션 측량을 병행하여 실시하였다. 먼저 정밀한 측정을 위해 핑거조인트 부분에 A지역에는 32개 B지역에는 28개의 타겟을 설치하고 각 타겟점에 대한 3차원 좌표를 취득하였다. 그림 6은 지상기준점 측량하는 모습이며, 영상처리과정들은 그림 7에 나타난 것과 같다.

또한 자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편이성이 있고, 다양한 분야에서 많이 활용되고 있는 Rollei Metirc CDW(Close Range Digital Workstation)를 이용하여 획득된 대상물의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 광속조정법에 의해 결정하였다(Fraser, 1998). 이러한 RolleiMetirc CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 정확한 표정점의 계산이 가능하다.



A 지역



B 지역

FIGURE 6. 지상기준점 측량

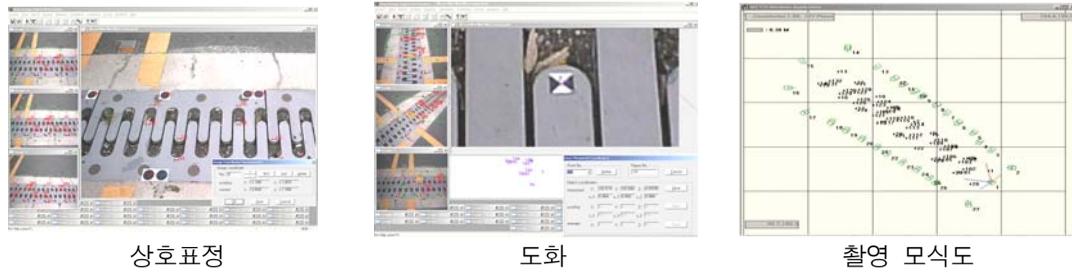


FIGURE 7. 영상처리

TABLE 5. A지역의 검사점(Check Point) 잔차

NO	무프리즘 토탈스테이션			CDW			잔차(mm)			비고
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	102.744	102.003	9.975	102.742	102.003	9.974	2.000	0.000	1.000	
2	102.830	102.096	9.977	102.831	102.097	9.976	-1.000	-1.000	1.000	
3	102.755	102.290	9.974	102.756	102.291	9.973	-1.000	-1.000	1.000	
4	102.840	102.379	9.973	102.841	102.381	9.972	-1.000	-2.000	1.000	
5	102.385	102.351	9.968	102.385	102.351	9.968	0.000	0.000	0.000	
6	102.467	102.440	9.969	102.468	102.441	9.968	-1.000	-1.000	1.000	
7	102.397	102.638	9.966	102.398	102.639	9.966	-1.000	-1.000	0.000	
8	102.482	102.727	9.965	102.482	102.729	9.965	0.000	-2.000	0.000	
9	102.217	102.812	9.959	102.217	102.811	9.959	0.000	1.000	0.000	
10	102.303	102.898	9.958	102.303	102.898	9.959	0.000	0.000	-1.000	
11	101.753	102.956	9.948	101.753	102.955	9.949	0.000	1.000	-1.000	
12	101.835	103.043	9.948	101.835	103.043	9.948	0.000	0.000	0.000	
13	101.765	103.240	9.944	101.765	103.240	9.945	0.000	0.000	-1.000	
14	101.853	103.327	9.946	101.854	103.327	9.946	-1.000	0.000	0.000	
15	101.583	103.412	9.940	101.583	103.411	9.941	0.000	1.000	-1.000	
16	101.671	103.506	9.940	101.671	103.506	9.941	0.000	0.000	-1.000	
17	101.302	103.383	9.936	101.302	103.382	9.936	0.000	1.000	0.000	
18	101.387	103.474	9.937	101.388	103.475	9.937	-1.000	-1.000	0.000	
19	101.314	103.671	9.933	101.315	103.670	9.934	-1.000	1.000	-1.000	
20	101.399	103.763	9.933	101.399	103.763	9.933	0.000	0.000	0.000	
21	101.124	103.557	9.933	101.125	103.555	9.932	-1.000	2.000	1.000	
22	101.206	103.648	9.932	101.207	103.648	9.932	-1.000	0.000	0.000	
23	101.134	103.842	9.929	101.134	103.842	9.929	0.000	0.000	0.000	
24	101.221	103.934	9.928	101.221	103.936	9.929	0.000	-2.000	-1.000	
25	100.757	103.909	9.924	100.757	103.909	9.924	0.000	0.000	0.000	
26	100.843	103.997	9.924	100.843	103.998	9.924	0.000	-1.000	0.000	
27	100.773	104.194	9.920	100.774	104.193	9.919	-1.000	1.000	1.000	
28	100.858	104.279	9.919	100.858	104.280	9.919	0.000	-1.000	0.000	
29	100.485	104.163	9.914	100.487	104.162	9.912	-2.000	1.000	2.000	
30	100.573	104.253	9.915	100.574	104.255	9.915	-1.000	-2.000	0.000	
31	100.213	104.425	9.903	100.214	104.425	9.902	-1.000	0.000	1.000	
32	100.302	104.513	9.906	100.303	104.513	9.906	-1.000	0.000	0.000	
RMSE(mm)							0.829	1.031	1.323	

TABLE 6. B지역의 검사점(Check Point) 잔차

No	무프리즘 토탈스테이션(m)			CDW(m)			잔차(mm)			비고
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	96.945	99.004	10.276	96.943	99.002	10.276	2.000	2.000	0.000	
2	96.879	98.999	10.279	96.875	98.998	10.278	4.000	1.000	1.000	
3	96.724	98.789	10.293	96.724	98.788	10.294	0.000	1.000	-1.000	
4	96.663	98.785	10.301	96.659	98.783	10.300	4.000	2.000	1.000	
5	96.738	98.664	10.301	96.738	98.664	10.301	0.000	0.000	0.000	
6	96.673	98.659	10.308	96.672	98.659	10.307	1.000	0.000	1.000	
7	97.006	98.382	10.313	97.005	98.382	10.312	1.000	0.000	1.000	
8	96.942	98.377	10.316	96.941	98.377	10.315	1.000	0.000	1.000	
9	96.787	98.171	10.331	96.787	98.171	10.331	0.000	0.000	0.000	
10	96.725	98.167	10.337	96.724	98.166	10.337	1.000	1.000	0.000	
11	97.055	97.887	10.343	97.055	97.888	10.343	0.000	-1.000	0.000	
12	96.991	97.881	10.345	96.990	97.881	10.345	1.000	0.000	0.000	
13	96.835	97.673	10.361	96.835	97.673	10.361	0.000	0.000	0.000	
14	96.773	97.668	10.368	96.773	97.668	10.368	0.000	0.000	0.000	
15	97.094	97.515	10.367	97.094	97.515	10.366	0.000	0.000	1.000	
16	97.028	97.510	10.368	97.028	97.510	10.368	0.000	0.000	0.000	
17	96.877	97.307	10.384	96.876	97.306	10.384	1.000	1.000	0.000	
18	96.813	97.300	10.390	96.810	97.298	10.390	3.000	2.000	0.000	
19	97.119	97.273	10.381	97.119	97.273	10.381	0.000	0.000	0.000	
20	97.054	97.265	10.384	97.053	97.264	10.383	1.000	1.000	1.000	
21	97.145	97.024	10.397	97.144	97.023	10.396	1.000	1.000	1.000	
22	97.079	97.018	10.398	97.078	97.018	10.398	1.000	0.000	0.000	
23	96.925	96.809	10.413	96.926	96.810	10.414	-1.000	-1.000	-1.000	
24	96.863	96.805	10.420	96.862	96.804	10.420	1.000	1.000	0.000	
25	97.183	96.652	10.418	97.183	96.652	10.418	0.000	0.000	0.000	
26	97.117	96.647	10.421	97.117	96.647	10.421	0.000	0.000	0.000	
27	96.964	96.437	10.436	96.964	96.437	10.437	0.000	0.000	-1.000	
28	96.902	96.436	10.442	96.901	96.435	10.443	1.000	1.000	-1.000	
RMSE(mm)							1.427	0.886	1.680	

이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정 점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다.

또한, 본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 무프리즘토탈스테이션에 의해 측정된 기준점 좌표성과와의 차이로 비교하였다. A지역 32개소과 B지역 28개소에 있어서 검사점(Check Point)의 잔차에 대한 RMSE를 산정한 결과, 표 5와 6에 나타난 것과 같이 A지역은 X방향으로 0.829mm, Y방향

으로 1.031mm, Z방향으로 1.323mm이고, B지역은 X방향으로 1.427mm, Y방향으로 0.886mm, Z방향으로 1.680mm의 RMSE 분포를 나타내었다.

3. 신축량 측정 및 결과분석

영상을 이용하여 교량의 신축량 및 단차량을 추출하였다. 먼저 영상에서 획득한 신축량과 단차량을 검증하기 위해 Vernier Calipers로 실측을 하였다. 실측을 하는 모습은 그림8과 같다. 그리고 신축량을 영상과 실측치의 비교 분석한 결과는 A지역 RMSE는 0.64mm, B지역 RMSE는 0.28mm로 분석하였으며, A지역

평균잔차는 0.60mm, B지역평균잔차는 0.27mm로 나타났다. 분석결과는 표7와 그림 9에 나타내었다. 따라서 영상을 이용하여 교량의 신축이음부에 신축량을 추출해본 결과 매우 양호한 값이 되었다.



FIGURE 8. 신축량 실측모습

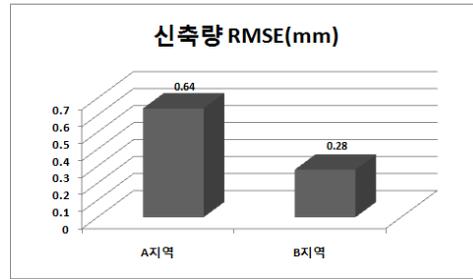


FIGURE 9. 신축량 RMSE

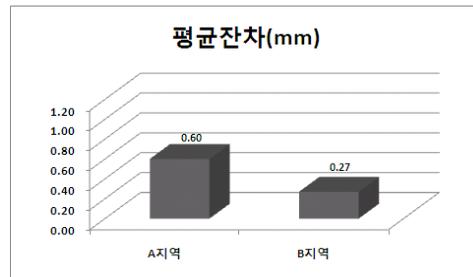


FIGURE 10. 평균잔차

Table 7. A,B지역의 신축량 측정및 결과분석

NO	A지역			NO	B지역		
	실측값 (mm)	영상추출값 (mm)	잔차 (mm)		실측값 (mm)	영상추출값 (mm)	잔차(mm)
1	89.95	90.50	0.55	1	39.90	39.50	0.40
2	89.80	90.60	0.80	2	39.85	39.50	0.35
3	89.75	90.10	0.35	3	41.35	41.90	0.55
4	90.40	91.20	0.80	4	38.60	38.90	0.30
5	88.95	89.70	0.75	5	39.00	39.10	0.10
6	89.10	89.80	0.70	6	39.35	39.60	0.25
7	91.20	91.80	0.60	7	39.05	39.40	0.35
8	93.90	94.50	0.60	8	38.75	39.00	0.25
9	92.40	93.00	0.60	9	39.40	39.70	0.30
10	92.50	93.40	0.90	10	39.45	39.50	0.05
11	91.25	92.10	0.85	11	38.95	38.60	0.35
12	92.10	92.60	0.50	12	38.60	38.30	0.30
13	91.45	91.60	0.15	13	37.90	38.10	0.20
14	91.20	91.40	0.20	14	37.70	-37.70	0.00
15	91.30	92.10	0.80				
16	92.40	92.80	0.40				
RMSE			0.64				0.28
평균잔차(mm)			0.60				0.27

결 론

본 연구에서는 영상을 이용하여 교량의 신축량을 추출한 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 신축이음부는 교량의 중요한 부위로서 영상을 이용하여 신축량을 추출하면 정량적이고, 정성적인 유지관리를 할 수 있음을 알 수 있었다.

둘째, 영상을 이용하여 신축이음부에 대한 3차원 좌표를 취득할 수 있었으며, A지역 32개 소과 B지역 28개소에 있어서 검사점(Check Point)의 잔차에 대한 RMSE를 산정한 결과 A,B지역 모두 RMSE는 0.829mm~1.680mm의 매우 양호한 결과가 나타났다.

셋째, 영상에 의해서 추출한 신축량과 실측 값과 비교분석한 결과, A지역 RMSE는 0.64mm, B지역 RMSE는 0.28mm로 분석하였으며, A지역 평균잔차는 0.60mm, B지역 평균잔차는 0.27mm로 아주 정밀한 값이 추출되었다.

향후 교량의 유지관리시 신축량을 측정은 영상을 이용하여 측정하므로써 과거에 비해 과학적이고, 효율적인 방법으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 동의대학교 학술연구조성비에 의해 연구되었음. **KAGIS**

참고 문헌

강준목, 윤희천, 배상호. 1995. 교량의 안전진단을 위한 3차원 변형해석에 관한 연구. 한국측량학회지 13(2):69-76.
 김감래, 김명배. 1997. 근거리사진측량에 의한 구조물 변형측정. 한국측량학회지 15(1):91-96.

김운학, 최정호. 2003. 교량 신축이음장치의 신축량 평가에 관한 연구. 한경대학교 논문집 35:79-80.
 김한수, 1999, 교량 신축이음장치의 유지관리현황에 관한 연구. 석사학위논문, 수원대학교. 1-2쪽.
 서동주, 김진수. 2005. 근접수치사진측량의 수렴각변화에 따른 정밀도 해석. 한국지리정보학회지 8(4):123-133.
 이진덕, 연상호, 이호찬. 2005. 디지털사진측량처리기술을 이용한 도로사면의 모니터링 정보추출. 한국지리정보학회지 8(3):55-64.
 장호식, 노태호. 2005. 무선헬리콥터 사진측량시스템을 이용한 도로의 평면선형 정보 추출. 한국지리정보학회지 8(4):44-51.
 Bosemann, w. 1996. The Optical Tube Measurement. System OLM. IAPRS, 31(5):55-58.
 David J. Lee. 1994. Bridge Bearings and Expansion Joint. 2nd ed, E&FN Spon. 212.
 Christian Heipke. 1997. Automation of Interior, Relative, and Absolute Orientation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 52:1-19.
 Fraser, C. S. and K. L. Edmundson. 1996. The Metric Impact of Reduction Optics in Digital Cameras. photogrammetry Record. 15(87):437-446.
 Hans-Gerd Mass. 1997. Concepts of real-time photogrammetry. Human Movement Science. 16(2-3):189-199.
 Peipe, J and C. Tag. Schneider. 1995. High resolution still video camera for industrial photogrammetry. Photogrammetry Record. 15(85):135-139.
 Dexter, R.J., R.J. Connor, MR. Kaczinski. 1997. Fatigue Design of Modular Bridge Expansion Joint. NCHRP Report402, National Academy Press. **KAGIS**