Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 33, No. 5, 453-461, 2015
http://dx.doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.5.453

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

시공 중 곡선형 PCT 거더교의 처짐 관리를 위한 GPS 적용 연구

A Study on Application of GPS for Deflection Management of Curved PCT Girder Bridge under Construction

이규달[1] · 이진덕[2]
Lee, Kyu Dal · Lee, Jin Duk

Abstract

In order to manage the deflection of a curved PCT girder bridge during construction, a GPS receiver was installed at the spot predicted to be the weak point during the incremental launching so as to measure the deflection at each construction stage. The deflections obtained in the experiment were compared with those derived from the monitoring of stress, temperature and inclination. The comparative analysis of the GPS measurement and analytical values obtained from finite element modeling with respect to the launching distance showed that the measured values differ by 0.6 to 1.6 times to the analytical results. This difference could be significantly reduced by thermal calibration. From the analysis of the behavioral pattern of the bridge, deflection occurred during construction in the concrete tip due to the deflection at the head of the nose at the 95m and 75m-spots, and compression and tension developed respectively at the compression weak zone and tension weak zone. The application of GPS appeared to enable more efficient management of the deflection during the erection of the curved PCT girder bridge and is expected to be helpful for the prediction and management of the behavior in future ILM construction sites.

Keywords : GPS, Curve PCT Girder Bridge, Deflection Management, Structural Monitoring

초 록

이 연구에서는 시공 중에 있는 곡선형 PCT 거더교의 처짐 관리를 위해 압출 시 예상되는 취약부위에 GPS를 설치하고 시공단계에 따라 처짐변위를 측정하였으며 응력, 온도 및 경사변위를 측정하여 GPS 관측데이터와 처짐변위와 비교하였다. 압출거리에 따른 GPS 실측값과 유한요소 모델링 해석값을 비교 분석한 결과, 실측값이 해석값에 비해 0.6~1.6배 정도 차이가 발생하였으나, 온도를 보정함으로써 그 차이가 크게 감소하였다. 교량 거동 형상 분석 결과, 시공중 거동은 95m 지점과 75m 지점에서 노즈 선단부에 처짐이 발생하는 것을 확인하였으며 압축 취약부는 압축, 인장취약부는 인장력이 발생하였다. 연구결과, GPS 적용함으로써 시공 중 곡선형 PCT 거더교의 처짐 관리를 보다 효율적으로 가능할 것으로 판단되며, 향후 동일 공법의 교량을 시공할 시 향후 거동을 예측하고 관리하는데 도움을 줄 것으로 판단된다.

핵심어 : GPS, 곡선형 PCT 거더교, 처짐 관리, 구조물 모니터링

Received 2015. 10. 13, Revised 2015. 10. 20, Accepted 2015. 10. 29
1) Member, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology (E-mail : kyudal614@hanmail.net)
2) Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology (E-mail : jdlee@kumoh.ac.kr)

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. 서 론

경제성장의 급속한 발달로 다양한 기반시설을 건설하고 있으며, 대형화 및 장대화가 되는 추세에 있다. 또한 다양한 형식과 공법이 개발되면서 건설현장에서는 시공 중에 예상하지 못한 일들이 발생하여 구조물 하자의 원인이 되고 최악의 경우에는 붕괴사고로 이어지기도 한다. 이런 상황을 고려하여 기반시설의 건설현장에서는 다양한 모니터링 기법이 개발되어 적용되고 있다.

교량분야에서는 형상관리를 위해 변형율계, 경사계, 레이저 처짐계, 광섬유센서 등이 이용하고 있다. 이런 모니터링 기법은 단기는 물론 장기적 거동을 평가할 수 있으나, 센서를 구조물 자체에 매립해야 하기 때문에 고장 시 교체하기 어려워 영구적이지 못하다(Park *et al*., 2004).

이에 반해 GPS는 저비용으로 주기적이고 실시간으로 모니터링이 가능하고, 관측에 의해 단기간의 구조물 거동을 추적하는 데 이용될 수 있기 때문에 장비의 자동화로 관측될 때 모니터링이 매우 효과적이다(Hubiao Lan, 1996; Park *et al*., 2004). 1995년부터 동적 GPS 측량을 이용하여 변형을 측정하는 연구를 수행한 바 있으며(Collier, 1995), 연속 하중 조건의 도로교량에서 모니터링하는 연구(Rucker *et al*., 1995)를 수행하였다. 국내에서 교량 구조물은 아니지만 GPS 관측기법별로 흙댐 구조물의 변형량을 측정하여 그 이용 가능성을 제시하여 다양한 구조물에 GPS가 적용되기 시작하였다(Lee, 1998). 최근에는 장대교량의 형상관리(Choi and Na, 2009) 및 거동 모니터링(Choi *et al*., 2010), 교량 경보시스템(Seo *et al*., 2002) 등에 GPS가 활용되고 있다.

한편, 교량 형식 중에 최근 압축력이 도입된 콘크리트 하현재와 강관 또는 압연형강으로 제작되는 복부재, 강-콘크리트 합성부재로 형성되는 상현재로 이루어진 PCT(Prestressed Composite Truss) 거더교가 많이 적용되고 있다. 이 PCT 거더교는 세그먼트를 포스트텐셔닝 방식으로 제작하고 교축방향으로 압출하는 ILM(Incremental Launching Method) 공법을 이용하고 현장에서 제작하므로 운송비가 적어 경제성 확보에 유리하다. 그러나 가설 중 압출 시 노즈부가 교각 위에 안착되지 않은 경우 처짐이 크게 발생하거나 콘크리트 압축부에 인장력이 발생하여 구조물 안정성에 영향을 줄 수 있다.

따라서 이 연구에서는 시공 중에 있는 곡선형 PCT 거더교의 처짐 관리를 위해 압출 시 예상되는 취약부위에 GPS를 설치하여 시공단계에 따라 처짐변위를 측정하고, 응력, 온도 및 경사변위 측정값과 비교하여 GPS 사용성을 검증하였다.

2. 시공 중 교량의 모니터링

2.1 대상 교량 및 설치 센서

대상교량은 복합트러스거더 교량(Prestressed Composite Truss, PCT)이며, 교량 연장은 61m+5@100m+95m+81m =737m으로, 연속압출공법(Incremental Launching- Method, ILM) 공법을 사용하여 50m씩 양방향 17개의 세그먼트로 나누어 압출된다.

교량 압출에 따른 처짐변화량을 모니터링하기 위하여 노즐 선단부에 GPS를 설치하였으며 콘크리트 슬래브의 응력변화

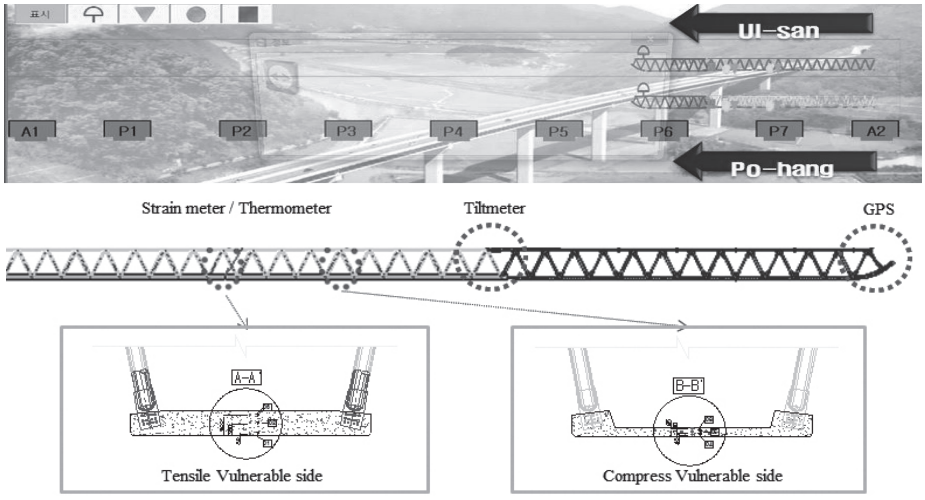
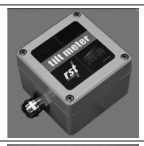
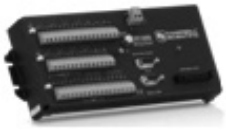


Fig. 1. Arrangement position of sensor & construction corse

Table 1. Sensor specification

Sensor		Proposal	Amount
	GPS / SPS 852 GNSS	· RTK performance : 8mm+1ppm (H) 15mm+1ppm (V) · Average time to fix : 1sec · Accuracy after post processing : 1.8mm+0.1ppm(H), 2.0mm+0.4ppm(V) · Maximum update : 20Hz · Measurement precision - Very low noise GNSS carrier phase measurements with < 1mm precision - GPS/GLONASS, Galileo : L1/L2 carrier phase 0.2mm - L1/L2 code(pseudorange) : 25mm · Input voltage : 10.5-28 VDC · Antenna LNA power output voltage : 3.5-20 VDC · Antenna LNA maximum current : 125mA · Operating temperature : -40~+65℃	3
	VWSG-E	· Type : vibration wire · Range : ±3,600 μStrain · Resolution : 0.1 μStrain · Operating Temperature : -40~+80℃	16
	In-Place MEMS Tiltmeter	· Type : Electrolyte · Range : ±15° · Resolution : ±5 arc sec · Operating temperature : -40~+85℃	4
	RTD	· Type : RTD · Range : -50℃~+110℃ · Sensitivity : 0.1℃	14
	CR1000	· Channel : Max. 344CH.(with multiplexer) · Frequency : Program execution rate of up 100Hz · ASS storate : 128K FLASH 2064 · Input/Out type : voltage · Communication : RS232, CS I/O · ADC resolution : 13Bit · Operating temperature : -20～+65℃	2

를 모니터링 하기 위해 최대 인장부와 압축부에 변형률계를 설치하고 온도에 의한 응력보정을 위해 온도계를 Fig. 1과 같이 설치하였다. 또한 교량 압출 시 비틀림을 평가하기 위해 콘크리트 선단부에 경사계를 설치하고 온도변화에 의한 노즐 처짐을 보정 하기위해 노즐 강재에도 온도계를 설치하였다. 설치된 계측기와 데이터 수집장치의 상세 제원은 Table 1과 같다.

2.2 GPS 측정 방법

GPS 안테나는 GPS, GLONASS, Galileo를 모두 지원하는 Zephyer Geodetic 2를 사용하고 있으며, GPS 수신기는 RTK 시 수평 ±10mm+1ppm RMS, 수직 ±20mm+1ppm RMS 성능을 갖는 NetR5를 적용하였으며, 신호수집은 시공중 계측을 고려하여 1Hz를 기준으로 원시데이터(raw data) 3축 성분을 사용하였다. GPS의 데이터의 오차를 최소화 하기 위해 울산, 포항 방향의 노즈 선단부 각각에 위치한 GPS 2기 이외에 교량의 현장타설 위치에 기준점을 설치하였다. 또한 국토지리정보원에서 제공하는 총 44개의 GPS상시관측망 중 교량과 인접한 울산, 포항의 관측망을 활용하여 기준점의 위치 변동 여부 및 위치 정확도를 확보하였다.

2.3 시공중 계측 모니터링 시스템

이 연구에서 사용된 시공 중 교량의 모니터링 시스템은 Fig. 2와 같으며 시공중 계측을 위해 설치된 센서의 모니터링을 위해 현장 계측 서버 PC에 모니터링 시스템을 구축하였다. GPS에 의해 수신된 원시데이터는 계측 모니터링 시스템에 의해 물리량으로 환산되어 데이터로 처리되며 데이터 처리 시 콘크

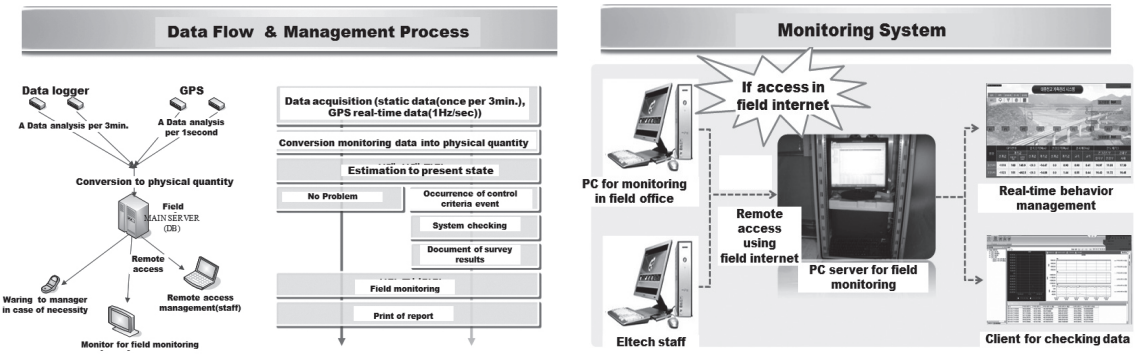


Fig. 2. Monitoring system of bridge under construction

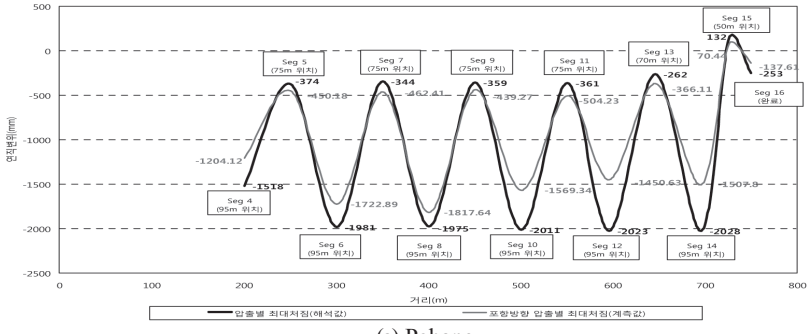
리트거더의 크리프 및 건조수축 변형률을 보정하고 GPS 처짐의 온도 보정을 실시한다. 이렇게 처리된 데이터는 노즈 선단부의 처짐변위, 대표단면의 응력추이, 온도추이, 콘크리트 슬래브 선단부의 경사변위를 표출하며 모니터링 프로그램에 의해 시공단계별 수치와 그래프로 표현할 수 있도록 구성되었다. 시공중 계측은 캔틸레버 구조로 변화되는 seg 4부터 계측하여 16seg 까지 데이터를 분석하였으며, 모니터링 시스템은 원격접속을 통해 현장사무실 및 본사에서 실시간으로 확인하였다.

3. 모니터링 결과 및 고찰

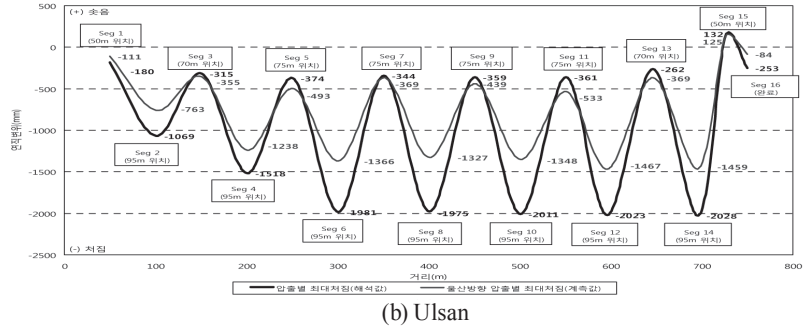
3.1 교량 압출에 따른 처짐 변화

3.1.1 교량 압축거리의 영향

Fig. 3은 교량을 압출하는 동안 노즈 선단부에 설치한 GPS를 이용하여 계측한 처짐값과 해석값을 비교한 결과이다. 압출거리에 따른 GPS 연직변위(실측값)와 유한요소 모델링(해석값)과의 비교 분석한 결과, 압출기간 동안 실측값이 해석값에 비해 0.6 ~ 1.6배 가량 차이가 났다. 그리고 포항방향의



(a) Pohang

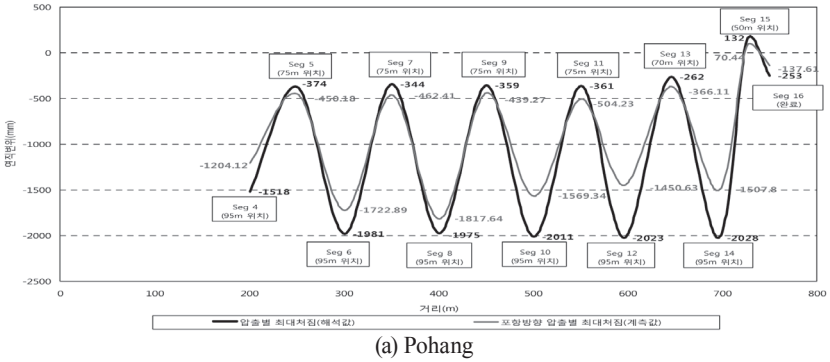


(b) Ulsan

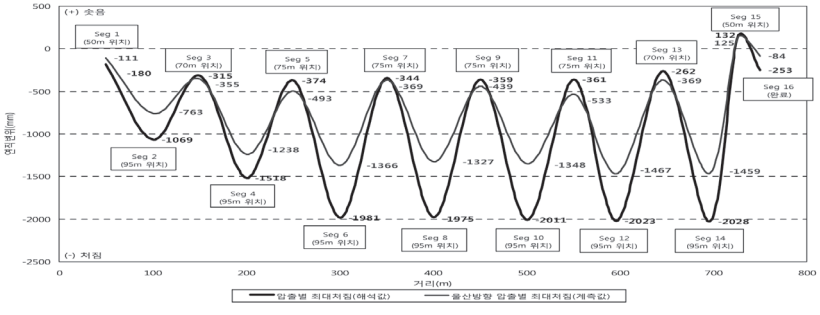
Fig. 3. Comparison between monitoring results and analysis results according to incremental launching distance

Table 2. Comparison between monitoring compensation results by temperature and analysis results according to incremental launching distance(Pohang)

Main process	Deflection (mm)		Temperature(℃)		Temperature compensation (mm/℃)	Final deflection③ (mm)	Error rate		(②/①)-(③/①)
	Analysis①	Monitoring②	Concrete	Steel			(②/①)	(③/①)	
Seg 4	-1518	-1335.44	6.9	16.2	-131.32	-1204.12	0.88	0.79	0.09
Seg 5	-374	-465.53	13.2	14.3	-15.35	-450.18	1.24	1.20	0.04
Seg 6	-1981	-1798.94	7.81	13.16	-76.05	-1722.89	0.91	0.87	0.04
Seg 7	-344	-462.41	15.2	15.3	-0.57	-461.84	1.34	1.34	0
Seg 8	-1975	-1871.94	16.8	20.7	-54.3	-1817.64	0.95	0.92	0.03
Seg 9	-359	-590.94	25.4	36.1	-151.67	-439.27	1.65	1.22	0.43
Seg 10	-2011	-1658.04	20.9	27.2	-88.70	-1569.34	0.82	0.78	0.04
Seg 11	-361	-540.34	30.4	32.9	-36.11	-504.23	1.50	1.40	0.1
Seg 12	-2023	-1589.51	24.1	33.9	-138.88	-1450.63	0.79	0.72	0.07
Seg 13	-262	-423.54	34.2	38.2	-57.43	-366.11	1.62	1.40	0.22
Seg 14	-2028	-1587.69	31.3	36.9	-79.89	-1507.8	0.78	0.74	0.04
Seg 15	+132	+77.97	37.8	37.2	+7.53	+70.44	0.59	0.53	0.06
Seg 16	-253	-194.19	24.9	28.9	-56.58	-137.61	0.77	0.54	0.23



(a) Pohang



(b) Ulsan

Fig. 4. Comparison between monitoring compensation results by temperature and analysis results according to incremental launching distance

경우 구간에 따라 최대 440.31mm, 최소 –231.94mm 차이가 났으며, 울산방향의 경우 구간에 따라 최대 662.53mm, 최소 –172.25mm 차이가 발생하였다. 즉 포항방향에 비해 울산방향이 실측값과 해석값의 차이가 크게 나타났다. 이는 포항방향에 비해 울산방향의 연직변위가 작게 발생했기 때문이다.

이러한 차이는 여러 가지 원인으로 볼 수 있는데 특히 시공 중 강재와 콘크리트 온도차에 의한 처짐이나 해석조건과 시공조건의 차이로 인해 발생 할 수 있는 오차(곡선부가 존재함에 따른 거리 오차), GPS 자체적으로 가지고 있는 연직방향에 대한 오차 등으로 해석값과의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

3.1.2 교량 압축 중 온도변화의 영향

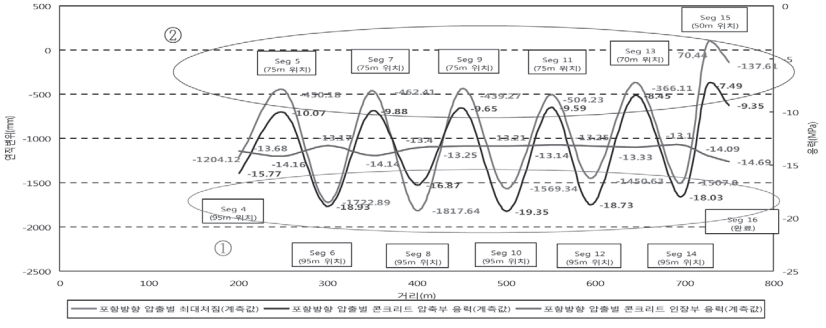
압출 시 연직변위에 영향을 주는 인자는 압출 시 교량 자중에 의한 처짐 이외에도 온도 차이로 인해 변위가 발생한다. 본 연구에서 대상으로 하는 PCT 교량의 경우, 하부 슬래브(콘크리트)와 복부재(강재)로 구성되어 있어 강재 온도와 콘크리트 온도차로 인해 연직변위가 발생하며, 해석을 통해 상부강재와 하부 콘크리트 온도차에 의한 연직변위는 1℃만큼의 온도차에 의해 약 –14.215mm의 처짐이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 온도에 따른 GPS 처짐 보정은 Eq.(1)을 사용하여 수행하였다.

$$D_{gps,\,tem.}=(Steel_{tem.}-Con_{tem.})\times 14.215mm/℃ \quad (1)$$

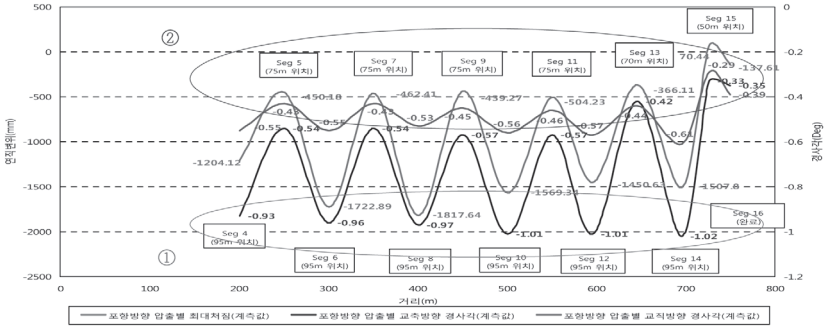
상부 강재와 하부 콘크리트의 온도 차이를 보정한 처짐값과 해석값을 비교한 결과가 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. 온도보정을 실시한 결과, 모든 구간에서 해석값과 계측값의 차이가 감소하고 있음을 알 수 있다. 포항방향의 경우 최대 572.37mm, 최소 –143.23mm의 차이가 나타났으며, 울산방향의 경우 최대 704.36mm, 최소 –74.02mm 차이가 발생하여, 보정하기 전에 비해 최대 처짐은 줄었고 최소 처짐은 증가하였다. 온도보정을 함으로써 해석값을 1.6배 초과하는 실측값은 1.4배 정도 그 차이가 줄어들었음을 확인하였다.

3.2 교량 압출에 따른 콘크리트 슬래브 응력변화

3.1절에 나타낸 바와 같이 교량을 압출하는 동안 노즈 선단부에 발생하는 처짐이 매우 크게 발생함에 따라 콘크리트 슬래브의 응력변화와 경사변화도 크게 발생할 것으로 예상된다. GPS로 계측한 처짐값과 콘크리트 슬래브의 응력과 경사변화의 상관관계에 대해 검토하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나



(a) Stress



(b) Inclination

Fig. 5. Comparison between the GPS monitoring results and the stress and inclination of concrete slab according to incremental launching distance

타내었다.

압출거리에 따른 GPS 연직변위와 콘크리트 슬래브의 응력을 비교 분석한 결과(Fig. 5(a)), 압출기간 동안 압축부의 경우 최대 처짐이 발생하는 95m(①) 지점에서 –19.35～–15.77MPa 만큼 75m(②) 지점에 비해 압축력이 발생하였다. 그리고 75m(②) 지점에서 –10.07～–8.45 MPa 만큼 95m(①) 지점에 비해 인장력이 발생하였다.

인장부의 경우는 최대 처짐이 발생하는 95m(①) 지점에서 –13.68～–13.10 MPa 만큼 75m(②) 지점에 비해 인장력이 발생하였고, 75m(②) 지점에서 –14.68～–14.06MPa 만큼 95m(①) 지점에 비해 압축력압출거리에 따른 GPS 연직변위와 콘크리트 슬래브의 경사를 비교 분석한 결과(Fig. 5(b)), 압출기간 동안 교축방향(휨) 경사의 경우 최대 처짐이 발생하는 95m(①) 지점에서 –1.02～–0.93°만큼 75m(②) 지점에 비해 처짐이 발생하였고, 75m(②) 지점에서 –0.57～–0.42°만큼 95m(①) 지점에 비해 솟음이 발생하였다.

교직방향(비틀림) 경사의 경우 최대처짐이 발생하는 95m(①) 지점에서 –0.57～–0.53°만큼 75m(②) 지점에 비해 우측으로 비틀림이 발생하였고 75m(②) 지점에서 –0.46～–0.43°만큼 95m(①) 지점에 비해 좌측으로 비틀림이 발생하여 반대의 경향을 나타냈다.

3.3 교량 압출에 따른 거동 형상

시공 중에 있는 곡선형 PCT 거더교는 압출거리에 따라 GPS 처짐변위가 변화하며, 이에 다른 구조계 역시 일정한 형상을 보이며 각 세그먼트의 압출마다 최대 처짐이 발생하는 95m 지점과, 75m(또는 70m) 지점의 두가지 형상으로 압출에 따른 거동이 발생하는 것으로 나타났다. Tables 3 and 4는 시공 중 PCT 거더교 포항과 울산 방향의 압출거리에 따른 교량의 거동치를 나타낸 것이다.

시공 중에 있는 곡선형 PCT 거더교의 거동은 전체적으로 95m 지점과 75m 지점의 두 가지 형상으로 나뉘며, 압출하는 동안 교량 자중으로 인해 처짐이 발생하는 경향을 나타냈다. 즉, 노즈 선단부가 처짐에 따라 콘크리트 선단부 또한 처짐

Table 3. Bridge behavior following extrude distance (Pohang Corse)

Segment	Extrude Date	Maximum Deflection (mm)	Stress of compressive (*μstrain*)	Stress of tensile (*μstrain*)	Banding Degree (Deg)	Torsional Degree (Deg)
Seg 4	2013/3/12 (10:40)	-1204.12	-15.77	-13.68	-0.93	-0.55
Seg 5	2013/3/26 (16:00)	-450.18	-10.07	-14.16	-0.54	-0.43
Seg 6	2013/4/8 (10:15)	-1722.89	-17.41	-13.64	-0.96	-0.55
Seg 7	2013/4/19 (17:25)	-461.84	-9.88	-14.14	-0.54	-0.43
Seg 8	2013/5/4 (10:50)	-1817.64	-17.28	-13.28	-0.97	-0.53
Seg 9	2013/5/20 (14:45)	-439.27	-9.65	-13.25	-0.57	-0.45
Seg 10	2013/6/3 (11:10)	-1569.34	-19.35	-13.21	-1.01	-0.56
Seg 11	2013/6/15 (15:35)	-504.23	-9.59	-13.14	-0.57	-0.46
Seg 12	2013/6/28 (14:15)	-1450.63	-18.73	-13.25	-1.01	-0.57
Seg 13	2013/7/12 (13:40)	-366.11	-8.45	-13.33	-0.42	-0.44
Seg 14	2013/7/29 (12:10)	-1507.8	-18.03	-13.10	-1.02	-0.61
Seg 15	2013/8/12 (17:45)	+70.44	-7.49	-14.09	-0.33	-0.29
Seg 16	2013/8/27 (08:55)	-137.61	-9.35	-14.67	-0.35	-0.39
Regulation	(+) rise / (-) deflection		(+) tensile / (-) Compression		bending: (+) rise / (-) deflection Torsion: (+) left / (-) right	

Table 4. Bridge behavior following extrude distance (Ulasn Corse)

Segment	Extrude Date	Maximum Deflection (mm)	Stress of compressive ($\mu strain$)	Stress of tensile ($\mu strain$)	Banding Degree (Deg)	Torsional Degree (Deg)
Seg 4	2013/3/18 (10:35)	-1217.21	-15.30	-13.53	-0.92	-0.54
Seg 5	2013/4/1 (15:35)	-394.12	-9.83	-14.29	-0.58	-0.49
Seg 6	2013/4/16 (09:20)	-1241.4	-16.27	-13.54	-0.95	-0.58
Seg 7	2013/4/29 (16:20)	-342.58	-9.83	-14.32	-0.48	-0.46
Seg 8	2013/5/15 (09:05)	-1270.64	-17.73	-13.41	-0.94	-0.55
Seg 9	2013/5/27 (14:15)	-428.54	-10.82	-14.34	-0.56	-0.48
Seg 10	2013/6/10 (09:45)	-1311.65	-19.43	-13.92	-1.01	-0.58
Seg 11	2013/6/24 (13:15)	-435.02	-10.86	-14.06	-0.60	-0.47
Seg 12	2013/7/5 (12:00)	-1445.44	-17.24	-13.74	-0.99	-0.56
Seg 13	2013/7/19 (13:15)	-311.65	-11.05	-14.68	-0.45	-0.50
Seg 14	2013/8/5 (10:45)	-1378.87	-16.01	-13.65	-0.99	-0.59
Seg 15	2013/8/19 (17:10)	+128.75	-11.13	-15.99	-0.38	-0.41
Seg 16	2013/8/30 (08:50)	-101.98	-11.86	-16.05	-0.37	-0.51
Regulation	(+) rise / (-) deflection		(+) tensile / (-) Compression		bending: (+) rise / (-) deflection Torsion: (+) left / (-) right	

이 발생하고 압축부는 압축력이, 인장부는 인장력이 발생하게 된다. 여기서 비틀림 경사의 경우 대체적으로 (-) 부호를 띠고 있는데 이는 교량 교대방향 우측으로 곡률을 가지며 압출이 되므로 상대적으로 바깥면에 있는 좌측이 솟아올라 (-) 부호로 나타났다.

3.4 PCT 거더교의 시공중 계측 결과

ILM 공법 특성상 시공중 중요한 인자인 노즈 선단부의 연직변위를 관리하기 위해 설치한 GPS와 각 취약부재에 설치된 경사계, 변형률계를 이용하여 각 부재의 거동 형상을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 압출거리에 따른 GPS 실측값과 유한요소 모델링 해석값과의 비교 분석한 결과, 실측값이 해석값에 비해 0.6 ~ 1.6배 정도 차이가 발생하였다. 이처럼 실측값과 해석값의 차이는 여러 가지 요인으로 볼 수 있는데, 특히 ①해석조건과 시공조건의 차이로 인한 오차(곡선부의 존재로 인한 거리 오차, 시공시 발생할 수 있는 오차 등), ②시공 중 강재와 콘크리트 온도차에 의한 처짐의 적용 유무, ③GPS 자체적으로 가지고 있는 연직방향에 대한 오차 등으로 인해 해석값과의 차이를 보인다.

둘째, 압출거리에 따른 콘크리트 슬래브 응력과 GPS 실측값과의 상관관계를 비교 분석한 결과 최대처짐이 발생하는 95m 지점에서 압축부의 경우 압축력이, 인장부의 경우 인장력이 발생하였으며 75m 지점에서 압축부의 경우 95m 지점에 비해 인장력이, 인장부의 경우 95m 지점에 비해 압축력이 발생하였다.

셋째, 압출거리에 따른 콘크리트 슬래브 경사와 GPS 실측값과의 상관관계를 비교 분석한 결과, 최대처짐이 발생하는 95m 지점에서 휨 경사의 경우 처짐이, 비틀림 경사의 경우 우측으로 비틀림이 발생하였고, 75m 지점에서 휨 경사의 경우 95m 지점에 비해 솟음이, 비틀림 경사의 경우 95m 지점에 비해 좌측으로 비틀림이 발생하였다.

넷째, 교량 거동 형상 분석 결과, 시공 중 거동은 95m 지점과 75m 지점의 두가지 형상으로 나뉘며, 압출하는 동안 교량 자중으로 인해 처짐이 발생하는 경향을 나타냈다. 즉, 노즈 선단부가 처짐에 의해 콘크리트 선단부 또한 처짐이 발생하고

압축취약부는 압축, 인장취약부는 인장력이 발생하였다. 다만, 비틀림 경사의 경우 우측으로 곡률을 가지며 압출이 되므로 상대적으로 바깥면인 좌측이 솟아오르며 (-) 부호를 띠는 경향을 나타냈다. 이러한 교량 거동 형상은 동일 공법의 교량을 시공할 시 향후 거동을 예측하고 관리하는데 도움을 줄 것으로 판단된다.

4. 결 론

시공 중 처짐 계측 분석은 경사계를 또는 레이저 변위계를 이용한 처짐 분석을 실시하는 것이 일반적이다. 경사계의 경우 설치위치가 많아질수록 다항식에 의해 신뢰도 높은 변위를 측정할 수 있으나 신뢰도의 증가에 따른 시공비가 높아지는 단점이 있으며, 레이저 변위계의 경우 장비 자체가 고가이며 세그먼트 시공마다 타겟 위치의 변경이 요구되어 현장 상황에 따라 적용이 매우 어려운 경우가 많다. GPS는 이러한 문제를 효율적으로 해결할 수 있으며 있는 방법으로 ILM 공법뿐만 아니라 현장타설 캔틸레버공법(Free Cantilever Method)에도 적용이 가능한 것으로 나타났다. 향후 GPS의 시공 중 계측의 정밀성과 사용성을 높이기 위해서는 이동 계측 분야 등의 많은 계측 방법과의 비교 분석에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2014년 금오공과대학교 학술연구비(과제번호 2014-104-105) 지원에 의해 수행되었음

References

Choi, B. G. and Na, Y. W. (2009), A study on the configuration management system of long span bridge using multi GPS sensor, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 27, No. 3, pp. 385-293. (in Korean with English abstract)

Choi, B. G., Sohn, D. J., and Na, Y. W. (2010), A study on the real time monitoring of long span bridge behavior using GPS, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 28, No. 3, pp. 377-383. (in Korean with English abstract)

Collier, P. A. (1995), Deformation surveys by kinematic GPS, *3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys*, pp. 9-19.

Hubiao Lan (1996), *Development of a Real-time Kinematic GPS System; Design, Performance and Results*, Ph. D. dissertation, Dep. of Geomatics Engineering, The Univ. of Calgary, Canada.

Lee, J. D.(1998), Deformation monitoring of a structure using kinematic GPS surveying technology, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 16, No. 1, pp. 27-40. (in Korean with English abstract)

Park, W. Y., Song, Y. K., and Lee, H. W. (2004), Real time alarm system of enormous structure using RTK GPS, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 22, No. 1, pp. 11-19. (in Korean with English abstract)

Rucker, W. F., Sai, S., Rohrmann R. G., and Scmid W. (1995), Continuous load and condition monitoring of a highway bridge, *IABSE Symposium San Francisco*, Vol. 73, No. 2, pp. 1105-1110.

Seo, D. J., Roh, T. H., and Lee, J. C. (2002), Development of bridge warning system by using GPS surveying method, *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 20, No. 4, pp. 415-421. (in Korean with English abstract)