온도데이터를 활용한 현장타설 캔틸레버 교량의 시공 중 계측

김 현 중^{1*} · 문 대 중¹ · 남 순 성¹ · 정 주 용²

¹(주)이제이텍 기술연구소, ²삼성물산(주) 건설부문

Construction Monitoring Methods of FCM Bridge Using Temperature Data

Hyun-Joong Kim^{1*}, Dae Joong Moon¹, Soon Sung Nam¹ and Ju Yong Jeong²

¹EJtech Co., LTD., The Institute of Technology, Seongnam, 13625, Korea

²SAMSUNG C&T CORPORATION, Engineering & Construction Group, Seongnam, 13530, Korea

Abstract

In this study, we have proposed a method of monitoring of bridges under construction in view of the long-term behavior of the prestress concrete bridge of which the Free Cantilever Method is applied. As a method to confirm the ability of the long-term behavior of the concrete box girder, temperature sensors and strain gauges were installed, and the measured data was used to calculate creep coefficient. Moreover, we have measured the stress of the concrete box girder during construction which was applied with creep coefficient and compared with the changes in temperature to analyze the vertical displacement along the segment. In conclusion, monitoring of the FCM bridge during construction in consideration of the long-term behavior can be analyzed efficiently by using temperature and displacement data without the use of laser displacement meter or laser deflectometer.

Keywords : FCM(free cantilever method), monitoring of bridges under construction, long-term behavior, creep coefficient

1. 서 론

교량 계측의 목적은 시설물의 안전에 영향을 미칠 수 있는 상황이 발생하였을 때 이를 즉시 관리자에게 보고하고 적절한 조치를 취하거나, 계측된 데이터를 이용하여 시설물의 건전 상태를 평가하고 구조적인 결함을 확인하기 위해 실시하고 있다(Jung *et al.*, 2014). 교량의 계측분야는 크게 시공 중 계측과 공용 중 계측으로 나뉘며 각 분야별 방법이 다르다. 일반적으로 시공 중 교량은 시공단계별 계측을 통해 실제 교량의 거동자료를 획득하고 구조계산 결과와 상호 비교하여 정밀한 시공관리를 해야 하며(Yoon *et al.*, 1998; 2000; Lee *et al.*, 2005) 공용 중 교량은 유지관리계측을 통해 시공 후 차량통행에 따른 예기치 않은 사고 및 환경변화에 의한 비정상적인 거동을 분석하여 사전에 예측 및 대책을 수립하는

것을 목적으로 하고 있다(Chang, 1995). 최근에는 유지 관리에 대한 패러다임이 예방적 유지관리로 바뀌고 시공 기술과 계측기기의 향상에 따라 지속적으로 계측관리 기술이 발전하고 있다. 특히, 공용중인 케이블 교량의 경우 구조물의 중요성에 따라 효율적인 유지관리와 건전성을 평가하기 위해 다양한 계측방법과 데이터 분석에 관한 연구가 이루어지고 있다(FIB, 2003; Aktan *et al.*, 2002; Cho *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2005; 2010; Joo *et al.*, 2008).

그러나 시공 중 교량의 경우 교량 시공 시 발생될 수 있는 시공 불량 및 시공 중 붕괴와 같은 커다란 재해를 사전에 예방하기 위한 목적에도 불구하고 계측데이터의 건전성 향상이나 활용에 대한 연구는 미미하다. 이러한 이유는 장기적이고 지속적인 분석기법을 필요로 하는 공용 중 계측과는 달리 시공 중 계측의 경우 단기적으로 계측을 실시하여 계측값과 설계값을

* Corresponding author:

Tel: +82-31-711-4880; E-mail: hjkim@ejtech.net

Received January 11 2016; Revised May 4 2016;

Accepted May 5 2016

©2016 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

비교하는 용도로 사용하기 때문에 시공사에서 관련된 연구를 지속적으로 추진하기 어려운 실정이다. 따라서 시공 중 계측 시 오차를 줄이고 건전한 데이터를 활용하여 안전성을 높이고 시공계측 비용을 감소시킬 수 있는 효율적인 계측 방법에 대한 연구가 필요하다.

이 연구에서는 현장타설 캔틸레버공법(free cantilever method)을 적용한 PSC(Prestressed concrete) 교량의 FCM 시공 중 계측 분석을 효율적으로 실시하기 위한 방법을 제안하였다. 이 연구를 위해 온도센서 데이터를 이용하여 콘크리트 장기 거동을 고려할 수 있도록 수화열을 제거한 크리프계수를 산정하고 박스 거더의 응력을 분석하였으며, 레이저 변위계와 경사계를 적용하지 않고 변형률계와 온도 데이터만을 이용하여 시공단계별 연직변위를 분석하여 구조 해석 결과와 비교하였다.

2. 계측 방법 및 적용 교량

2.1 FCM 교량의 시공 중 계측

현장타설 캔틸레버공법(free cantilever method)을 적용한 PSC(prestressed concrete) 교량의 시공 중 계측은 크리프 및 건조수축 등 시간에 따른 추가 변형률(non-mechanical strain)을 수치해석을 통해 계산된 전체 변형률에서 제하고 구조적 변형률(mechanical strain)만을 응력으로 환산한다. 응력의 환산은 변형률계의 기본데이터(raw data)를 보정

없이 사용하여 처짐을 분석하는 것이 일반적이다. 따라서 해석 값과 실측값은 기본적으로 차이가 있는 상태에서 비교를 할 수 밖에 없는 문제를 내포한다.

또한 교량의 시공 중 처짐 분석은 경사계나 레이저 변위계를 이용한 분석을 실시하고 있으나 경사계의 경우 설치위치가 많아질수록 다양성에 의해 신뢰도 높은 변위를 측정할 수 있으나 신뢰도의 증가에 따른 시공비가 높아지는 단점이 있다. 레이저 변위계의 경우 장비 자체가 고가이며 세그먼트 시공마다 타겟 위치의 변경이 요구되어 현장 상황에 따라 적용이 매우 어려운 경우가 많고 기술자의 숙련도에 따라 오차가 발생할 수밖에 없다.

콘크리트의 시간에 따른 거동은 재료와 배합, 대기온도, 양생방법에 따라 각기 다르게 나타나기 때문에 시공 시 콘크리트의 시간에 의한 거동 분석은 시공오차를 줄일 수 있는 가장 중요한 요소 중 하나다. 따라서 이 연구에서는 시공 중 계측에서 발생할 수 있는 다양한 오차를 줄일 수 있는 방법으로 건조수축에 따른 크리프의 영향을 고려하여 응력을 환산하고 변형률 데이터를 온도데이터를 이용하여 연직변위를 분석하였다.

2.2 시공단계별 상부구조 솟음량 해석

적용 교량의 상부거더 형고는 교각 지점부 $H=7.5\text{m}$, 중앙부 $h=3.0\text{m}$ 로 2차 포물선식을 적용하여 형고를 변화시켰다. Midas/Civil 2006을 이용하여 각 세그먼트의 시공에 따라

Fig. 1 Sensor installation and plan on the bangtaecheon 1st bridge

단계별로 해석을 실시하였다. 단계별 해석에 적용한 하중은 자중, 굳지않은 콘크리트, 프리스트레싱으로 고정하중, 온도 하중, 지점침하, 활하중, 풍하중, 유수압을 조합하여 거더의 상하응력을 Fig. 2와 같이 검토하였다. 해석 시 크리프와 건조수축은 완전히 발생한 것으로 가정하여 처짐량을 산정하고 각 시공단계별 캠버량을 산정하였다.

Fig. 2 Shell modeling of the bangtaecheon 1st bridge

2.3 적용 교량 및 센서 설치

대상 교량은 2013년 시공된 방태천 1교로 교량연장은 2@52.5m+90m+3@135m+90m=690m이며, FCM 공법을 적용하여 한 세그먼트당 4.25m씩 양방향(춘천, 양양) 방향으로 시공되었다.

센서는 세그별 연직변위와 응력변화 및 대표단면의 온도를 측정하기 위해 현장타설이 이루어지는 콘크리트 박스 거더 P3측 인장부 세그 3,6,9,12과 P4측 압축부 세그 3,6,9,12에 온도계 18개와 변형률계 64개를 각각 설치하였다. 교각의 경사변위 측정을 위해서는 경사계를 교각 주두부 P3, P4에 각각 1개를 설치하고 교각외부 P4, P5에 각각 3개씩 설치하였다. 계측빈도는 세그먼트 시공 시 30분당 1회씩 지속적으로 측정하였으며 센서의 위치와 교량 상세도는 Fig. 1과 같다.

2.4 크리프를 고려한 응력 보정

응력 보정방법은 변형률계와 온도센서의 데이터를 이용하여 2012년 콘크리트 구조기준에 의거하여 크리프계수를 산정하고 시공단계별로 크리프량을 적용할 수 있도록 하였다. 크리프계수는 시간에 재하된 특정한 응력에 의해 발생한 즉각적인 탄성변형률과 크리프에서 발생한 총 시각에서의 변형률의

비로 정의되어 시간과 온도의 함수로 표현된다. 따라서 변형률계를 이용한 응력이력과 온도센서를 이용한 시간 데이터를 Table 1과 같이 적용하여 탄성변형률과 탄성응력을 Table 2와 같은 식으로 산정하였다. 응력의 보정은 시공단계별 응력변수를 춘천방향 P3와 양양방향 P4의 3, 6, 9, 12으로 하여 온도데이터를 통해 수화열을 제외한 크리프계수를 산정하고 박스거더의 응력을 최종적으로 산정하였다.

Table 1 Input parameter following creep factor

Division	Input data			
	1step	2step	3step	4step
t' (pretension day)	t'_1	t'_2	t'_3	t'_4
t (concrete cure day)	t_1	t_2	t_3	t_4
A_c (concrete cross sectional areas)	A_{c1}	A_{c2}	A_{c3}	A_{c4}
u (perimeter of concrete)	u_1	u_2	u_3	u_4
RH(relative humidity %)				
f_{ck} (design criterion strength) $\rightarrow f_{cu} = f_{ck} + 8$				
$\beta_{sc} = \begin{cases} 0.35 : 1\text{type cement wet curing} \\ 0.15 : 1\text{type cement steem curing} \\ 0.25 : 3\text{type cement wet curing} \\ 0.12 : 3\text{type cement steem curing} \\ 0.40 : 2\text{type cement} \end{cases}$				
E_c (concrete elastic modulus)				

Table 2 Stress correction considering creep factor

ϵ_e (elastic strain)	$1 - \left(\frac{\phi_s(t, t')}{1 + \phi_s(t, t')} \right)$
σ_e (elastic stress)	$E \times \epsilon_e$
stress revision	$\sigma_e = E \left(1 - \left(\frac{\phi_s(t, t')}{1 + \phi_s(t, t')} \right) \right)$

2.5 온도와 응력 데이터를 이용한 처짐 분석

기존 교량의 처짐 분석은 경사계 또는 레이저 변위계를 이용하여 처짐식에 의해 처짐량을 산정하나 이 연구에서는 Table 3과 같이 단계별로 변형률계와 온도계의 곡률식을 적용하여 처짐식을 산정하고 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 온도데이터 값을 제하여 처짐을 분석하였다.

Table 3 The assessment of deflection apply to strain meter and thermometer

Division	Strain meter	Thermometer
Curvature	$k = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{h}$	$k = \frac{\alpha(T_1 - T_2)}{h}$
Deflection	$v(x) = k \frac{x^2}{2} = \int \theta(x) dx$	
Section	$x_1 < x < x_2$	

* h : Distance of sensors, x : Location of sensors

3. 계측 결과 및 분석

3.1 시공단계별 온도 분석 결과

춘천방향 P3과 양양방향 P4의 3,6,9,12 세그먼트에 설치된 온도 계측결과, Fig. 3, 4와 같이 콘크리트 현장 타설 시 수화열로 인한 온도차는 평균 약 10℃정도이나 여름철 타설의 경우 타설 직후 최고 약 20℃이상이 나는 구간을 있는 것으로 나타났다. 콘크리트 타설 후 세그먼트 시공과 인장시의 온도차이는 약 3℃정도로 나타나 지속적으로 온도 변화에 의한 영향을 받는 것으로 나타났다. 그 이외에는 외기온도에 따른 온도 변화와 비슷한 양상을 보였으며 온도데이터를 이용하여 수화열을 제외한 크리프계수와 수화열을 제외한 상부, 하부 온도차를 이용한 연직변위를 분석하였다.

Fig. 3 The temperature transition of segment (Chuncheon direction P3)

Fig. 4 The temperature transition of segment (Yangyang direction P4)

3.2 크리프를 고려한 응력 보정 결과

방태천 1교 춘천방향 P3과 양양방향 P4의 각 세그먼트에 설치된 온도센서를 통한 시공단계별 응력 분석결과는 Fig. 5,

6과 같다. 크리프가 고려된 응력 변화결과 공통적으로 세그먼트 타설 후 수화열이 끝난 시점에서 상부 인장에 의해 압축력이 발생되는 것을 시기별로 확인하였다. 계측결과, 춘천방향의 경우 세그먼트 타설 후 상부 인장력에 의해 0.3~0.5MPa의 압축력이 발생되며 양양방향의 경우 0.2~0.6MPa의 압축력이 발생되는 것으로 나타났다. 또한, 세그먼트 시공에 따라 압축력은 지속적으로 증가하나 Table 4와 같이 응력 관리기준 허용치 범위에 충분히 만족하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과를 통해 콘크리트 크리프의 영향을 제외한 박스거더의 응력은 세그먼트 타설 후 응력증가율에 비해 매우 낮은 범위에 해당하는 것을 확인하였다. 또한 크리프 제외전과 후의 응력 차이를 4단계, 8단계, 10단계, 12단계로 분석한 결과 평균 약 33%의 차이를 확인하여 온도에 의한 영향이 응력에 3/1이상 차지하고 있다는 것을 확인하였다.

Table 4 The management criteria of allow stress on the Bangtaecheon 1st bridge

Working stress	Management criteria(mm)		
	Primary (Working stress×80%)	Secondary (Working stress×100%)	Tertiary (Working stress×120%)
Compression (16.0)	12.8	16.0	19.2
Tension (3.2)	2.56	3.2	3.84

3.3 온도와 응력데이터를 이용한 처짐 분석 결과

방태천 1교는 극한하중 조합에 의한 단면력과 휨강도를 검토하여 횡방향 해석을 통해 철근의 배치와 솟음량을 산정하였다. 솟음량은 방태천 1교의 시공관리기준에 따라 세그먼트별로 계산된 솟음량을 계산하여 Table 5, 6과 같이 춘천방향과 양양방향으로 나누어 10%, 20%, 30%의 관리기준을 설정하였다. 산정된 관리기준은 측량 결과와 비교하여 프리스트레싱량을 결정한다.

방태천 1교 연직변위 분석 결과 Table 7과 같이 각 세그먼트 타설 후 상부 인장력을 가할 때 춘천방향의 경우 0.3~7.4mm의 솟음이 발생하였고 양양방향의 경우 0.2~8.8mm의 솟음이 발생하는 것으로 나타났다. 각 세그먼트별 좌우측의 변위가 조금씩 다른 이유는 인장력 도입에 따른 현장 조건 변화에 의한 것으로, 양측의 변위 변동 폭은 거의 유사하여 관리기준치에 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 대표적으로 양양방향 P4의 12세그먼트 연직변위 분석 결과를 살펴보면 Fig. 7, 8, 9와 같이 변형률과 온도에 의한 연직변위 데이터를 이용하여 콘크리트의 장기거동에 의한 연직거동을

Fig. 5 The stress transition excluding creep(segment of chuncheon direction P3)

Fig. 6 The stress transition excluding creep(segment of yangyang direction P4)

Table 5 The management criteria of vertical displacement on the bangtaecheon 1st bridge(Chuncheon)

Location	CAMBER	Management criteria(mm)					
		Primary(±10%)		Secondary(±20%)		Tertiary(±30%)	
P3	8.09	7.281	8.899	6.472	9.708	5.663	10.517
P3→P4 SEG02	33.63	30.267	36.993	26.904	40.356	23.541	43.719
P3→P4 SEG04	53.72	48.348	59.092	42.976	64.464	37.604	69.836
P3→P4 SEG06	75.80	68.22	83.38	60.64	90.96	53.06	98.54
P3→P4 SEG08	103.29	92.961	113.619	82.632	123.948	72.303	134.277
P3→P4 SEG10	117.51	105.759	129.261	94.008	141.012	82.257	152.763
P3→P4 SEG12	104.60	94.14	115.06	83.68	125.52	73.22	135.98
P3→P4 SEG14	39.68	35.712	43.648	31.744	47.616	27.776	51.584

Table 6 The management criteria of vertical displacement on the bangtaecheon 1st bridge(Yangyang)

Location	CAMBER	Management criteria(mm)					
		Primary(±10%)		Secondary(±20%)		Tertiary(±30%)	
P4	8.42	7.578	9.262	6.736	10.104	5.894	10.946
P4→P5 SEG02	27.51	24.759	30.261	22.008	33.012	19.257	35.763
P4→P5 SEG04	44.46	40.014	48.906	35.568	53.352	31.122	57.798
P4→P5 SEG06	63.76	57.384	70.136	51.008	76.512	44.632	82.888
P4→P5 SEG08	88.92	80.028	97.812	71.136	106.704	62.244	115.596
P4→P5 SEG10	101.19	91.071	111.309	80.952	121.428	70.833	131.547
P4→P5 SEG12	86.58	77.922	95.238	69.264	103.896	60.606	112.554
P4→P5 SEG14	19.91	17.919	21.901	15.928	23.892	13.937	25.883

Table 7 The result of deflection monitoring excluding temperature displacement

Segment step	Plumb displacement(mm)				Plumb displacement(mm)			
	Chuncheon	Value(camber)		Yangyang	Value(camber)		Yangyang	Value(camber)
		The left	The right		The left	The right		
3 Step	12/11/10	-0.42 ⇨ -0.15	-0.21 ⇨ 0.03	13/03/19	-0.39 ⇨ -0.16	-0.40 ~ -0.18		
		0.27	0.24		0.23	0.22		
4 Step	12/11/27	-	-	13/04/01	-0.69 ⇨ -0.46	-0.76 ⇨ -0.51		
		-	-		0.23	0.25		
5 Step	12/12/27	-1.50 ⇨ -1.21	-1.78 ⇨ -1.59	13/04/16	0.33 ⇨ 0.75	0.43 ⇨ 0.89		
		0.29	0.19		0.42	0.46		
6 Step	13/03/24	-0.32 ⇨ 0.11	1.29 ⇨ 1.61	13/04/30	1.71 ⇨ 3.12	1.46 ⇨ 2.90		
		0.43	0.31		1.41	1.44		
7 Step	13/04/05	0.18 ⇨ 2.55	2.88 ⇨ 4.45	13/05/12	3.94 ⇨ 4.79	3.74 ⇨ 4.98		
		2.37	1.57		0.85	1.24		
8 Step	13/04/26	2.01 ⇨ 3.44	4.44 ⇨ 5.82	13/05/24	7.16 ⇨ 9.25	6.66 ⇨ 8.59		
		1.43	1.42		2.09	1.93		
9 Step	13/05/07	6.02 ⇨ 10.90	8.73 ⇨ 13.5	13/06/03	13.1 ⇨ 15.6	11.8 ⇨ 14.2		
		4.88	4.77		2.5	2.4		
10 Step	13/05/18	4.7 ⇨ 7.8	8.9 ⇨ 12.7	13/06/12	4.57 ⇨ 6.88	3.83 ⇨ 6.14		
		3.1	3.8		2.31	2.31		
11 Step	13/06/01	10.3 ⇨ 14.4	13.3 ⇨ 17.4	13/06/22	15.8 ⇨ 19.5	12.1 ⇨ 15.8		
		4.1	4.1		3.7	3.7		
12 Step	13/06/09	16.3 ⇨ 23.7	17.8 ⇨ 25.7	13/07/03	14.2 ⇨ 21.1	6.3 ⇨ 13.2		
		7.4	7.9		6.9	6.9		
13 Step	13/06/19	-22.7 ⇨ -16.3	-23.1 ⇨ -16.9	13/07/19	2.81 ⇨ 6.46	-9.19 ⇨ -7.05		
		6.4	6.2		3.65	2.14		
14 Step	13/06/27	-29.7 ⇨ -26.7	-32.4 ⇨ -29.5	13/08/06	-21.4 ⇨ -12.6	-26.3 ⇨ -19.2		
		3.0	2.9		8.8	7.1		

쉽게 파악할 수 있어 세그먼트별 시공의 안전성여부를 효율적으로 검토할 수 있는 것으로 나타났다.

Fig. 7 The vertical displacement using strain (Yangyang 12 seg)

Fig. 8 The vertical displacement using temperature (Yangyang 12 seg)

Fig. 9 The vertical displacement excluding temperature displacement(Yangyang 12 seg)

4. 결 론

방태천 1교의 시공 중 계측은 시공단계에 따른 구조물의 형상관리를 위해 설치되었으며, 응력과 처짐 및 온도를 측정하여 크리프계수를 산정하고 박스 거더의 응력과 연직변위를 분석하였다.

연구결과, 온도에 의한 콘크리트의 크리프와 건조수축은 약 33%의 응력 차이를 보이는 것으로 나타났다. 기존의 변형률 센서만을 이용한 응력 보정은 크리프와 수화열에 의한 건조수축의 거동을 고려할 수 없었으나 온도와 변형률 데이터를 함께 이용한 크리프계수 산정 방법은 콘크리트의 장기거동을 고려할 수 있어 보다 정확한 박스 거더의 응력을 산출할 수 있는 방법으로 나타났다. 수화열을 제외한 상하부 온도차에 의한 연직변위 분석 방법은 콘크리트 장기 거동에 대한 변위를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 고가의 레이저 변위계나 경사계를 이용하지 않고 PSC 교량의 형상관리가 가능한 것으로 나타났다. 이상과 같이 교량의 주요 부재와 손상이 예상되는 부위에 적용된 계측시스템의 데이터는 유사 교량의 설계, 시공 및 유지관리를 위해 매우 중요한 이력을 제공함으로써 교량의 사용성과 안전성을 확보하는데 많은 정보를 줄 수 있을 것으로 판단된다.

방태천 1교의 시공은 콘크리트의 장기거동을 고려한 부재의 응력이 해석 결과와 비교하여 매우 안전한 결과를 보여 각 부재의 강성은 충분한 것으로 나타났으며, 연직변위 분석 결과를 통해서도 안전한 시공이 이루어진 것을 확인하였다. 향후 계측 신뢰도를 향상시키기 위해서는 실제 크리프와 건조수축에 대한 온도의 영향에 따른 해석에 대한 설계값, 실제 계측을 통한 계측값, 측량장비 및 측정장비를 이용한 측정값을 서로 비교할 수 있는 연구를 통해 합리적인 시공 중 계측 방법에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Aktan, A.E., Catbas, F.N., Grimmelsman, K.A., Pervizpour, M. (2002) *Development of a Model Health Monitoring Guide for Major Bridges*, FWHA, p.37.
- Chang, S.P. (1995) Structural Monitoring of a Steel Composite Cable-stayed Bridge, *Proceedings of Public Infrastructure Systems*.
- Cho, H.N., Kang, K.K., Cha, C.J. (2005) Reliability-based Managing Criteria for Cable Tension Force Incable-stayed Bridge, *J. KSME*, 9(3), pp.129~138.
- Fib Fédération Internationale Du Béton (2003) *Monitoring and Safety Evaluation of Existing Concrete Structures: State-of-art Report*, FIB, p.297.
- Joo, B.C., Park, K.T., Lee, W.S. (2008) Propose Standardizing the Existing Determination Method of the Management Criteria in Bridge Monitoring System, *Proc. KSCE*, 1, pp.3329~3332.
- Jung, C.H., Ahn, H.H., Shin, S.B., Kim, Y.H.

- (2014) Reset of Measurement Control Criteria for Monitoring Data through the Analysis of Measured Data, *J. KSMI*, 18(6), pp.105~113.
- Kim, H., Shin, S.** (2010) Principal Component Analysis Based Structural Health Monitoring under Varying Environmental Effects, *Proc. KSCE*, 1, pp.1369~1373.
- Kim, H., Yoon, J.G., Lee, J., Chang, S.P.** (2005) Analysis of Long-term Monitoring results of a Cable-stayed Bridge using ARX Model, *Proc. KSCE*, 1, pp.928~931.
- Lee, C.S., Jang, J.H., Lee, J.S., Kim, N.H.** (2005) Construction Monitoring for Steel Truss Bridge Widening Works, *J. KSMI*, 9(2), pp.103~112.
- Yoon, J.G., Jang, J.H., Lim, C.K., Jang, S.P.** (1998) Measurement of Haeng-Ju Grand Bridge for Construction and Maintenance, *Proc. KSCE*, 1, pp.569~572.
- Yoon, J.G., Lee, J.H., Jang, S.P., Kim, B.K.** (2000) Construction Monitoring of FCM Bridge, *Proc. KSCE*, 1, pp.103~106.

요 지

이 연구에서는 현장타설 캔틸레버공법(free cantilever method)을 적용한 PSC(prestressed concrete) 교량에 콘크리트의 장기거동을 고려한 시공 중 계측분석 방법을 제안하였다. 콘크리트 박스 거더의 장기 거동에 따른 응력을 확인하기 위해 온도센서와 변형률계를 함께 설치하고 계측된 데이터를 이용하여 크리프계수를 산출하였다. 또한 크리프계수를 적용한 콘크리트 박스 거더의 시공 중 응력을 분석하고 설치된 온도 센서의 변화 데이터를 비교하여 세그먼트 시공에 따른 연직변위를 분석하였다. 연구결과, 교량의 장기 거동을 고려한 FCM 교량의 시공 중 계측은 레이저 변위계나 처짐계를 사용하지 않고 온도와 변위 데이터만을 이용하여 효율적인 분석이 가능한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 현장타설 캔틸레버공법, 시공 중 교량계측, 장기 거동, 크리프계수