

온도변화에 따른 무신축이음 강상자형 교량의 거동 분석

Behavior of Jointless Bridge of Steel Box Girder Type Due to Temperature Change

조 남훈* 이 성우**
Jo, Nam-Hoon Lee, Sung-Woo

ABSTRACT

Jointless bridge is a new construction method applicable to bridge of short length. In the jointless bridge expansion of superstructure due to thermal effect was absorbed in the flexible pile-type abutment in stead of expansion joint in the conventional bridges. By removing expansion joint, it retards deterioration and extends life time of bridge. In this paper, jointless bridge of steel box girder type was studied through finite element analysis. Stress variations of superstructure and pile due to thermal effect was studied for the two span continuous integral bridge of 80m length and the results of analysis was presented.

1. 서 론

최근들어 국내에서는 교량의 노후화로 인한 유지관리에 관심이 고조되고 있으며, 특히 신축이음장치는 교량의 구성 요소중 파손이 가장 빈번히 발생하는 장치이다. 신축이음장치의 파손은 우수 및 제설용 염화칼슘의 유입으로 교좌장치의 기능을 저해시키고, 강재교량의 부식을 촉진시켜 교량의 노후화를 가속화 시킨다.

신축이음장치의 유지보수 소요 비용은 92년도의 경우 집중보수비중 교량보수에 소요된 비용의 약 48%에 달하며,^[1] 주요 교량을 제외한 중·소교량은 유지관리가 거의 수행되고 있지 않아 신축이음장치가 없는 일체교대식 교량(Integral Abutment Bridge)의 개발이 요구되고 있다.

일체교대식 교량은 1930년대 부터 미국에서 건설하기 시작하였으며, 지금까지 계속적인 발전을 거듭하였으나, 시공 경험에 의한 기술 축적으로 인하여 각 주마다 설계 지침이 각각 다른 실정이다.^[2] 국내에서는 아직 일체교대식 교량이 건설되지 않고 있으며, 일체교대식 교량의 도입에 앞서 국내여건에 맞는 엄밀한 분석과 평가가 필요하다. 본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 강상자형 교량에 대해 일체교대식 기법을 적용하기위해 거동특성을 연구하였다. 일체교대식 강상자형 교량의 거동분석은 기존 형식의 2경간 연속교에 대해 기본 설계를 하고, 그 교량을 일체화시켜, 각각의 교량에 대해 구조해석을 수행하고 서로 비교함으로써 일체교대식 교량의 정확한 거동을 분석하고, 기존 교량에 대한 장·단점을 규명하였다.

* 국민대학교 구조안전연구소 연구원, 공학석사

** 국민대학교 토목환경공학부 교수, 정회원

2. 일체교대식 교량의 원리

신축이음장치는 온도변화에 의한 신축, 콘크리트의 재령에 따른 건조수축과 크리프, 활하중에 의한 상부구조의 이동과 회전을 원활하게 수용하기 위한 장치로 교량 구조물에 필요한 것으로 인식되어 왔으나 잦은 파손으로 인하여 필요에 따른 유지보수비가 점점 등대되어 비용절감을 위한 노력을 하고 있다. 그러나, 신축이음장치가 갖고 있는 구조적인 문제점을 해결하기는 어려운 것으로 인식된다.

일체교대식 교량은 교량 전체에 신축이음장치를 두지 않고 상부구조를 파일지지식 교대에 일체시킨 일체구조형식의 교량을 말한다.^[3] 온도변화, 건조수축, 크리프 등에 의해 발생하는 수평변위와 교대 접합부에 발생하는 모멘트, 교대의 회전등을 파일 지지식 교대의 유연한 파일이 전담하도록 하는 방법으로 신축이음장치를 교량 구조물에서 제거함으로써 신축이음장치가 갖고 있는 문제점을 근원적으로 해결한다.^[4] 그림 1에는 기존의 신축이음장치가 있는 교량의 형태를 보여주고 있고 그림 2에는 일체교대식 교량의 대표적인 형태를 보여주고 있다.

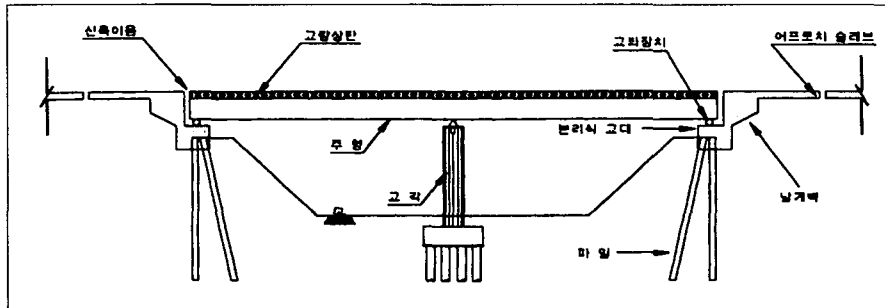


그림 1 기존의 신축이음장치가 있는 교량

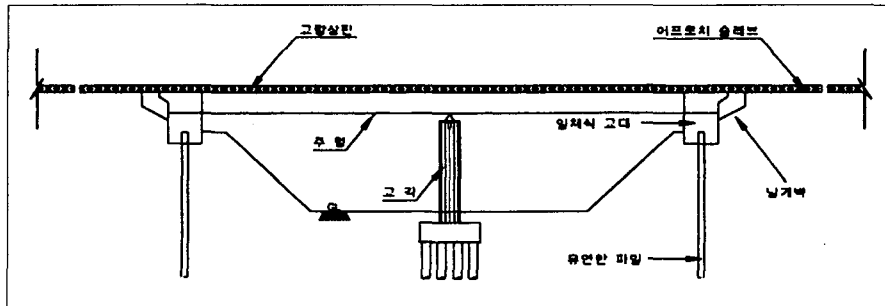


그림 2 무신축이음 일체교대식 교량

3. 일체교대식 강상자형 교량 설계

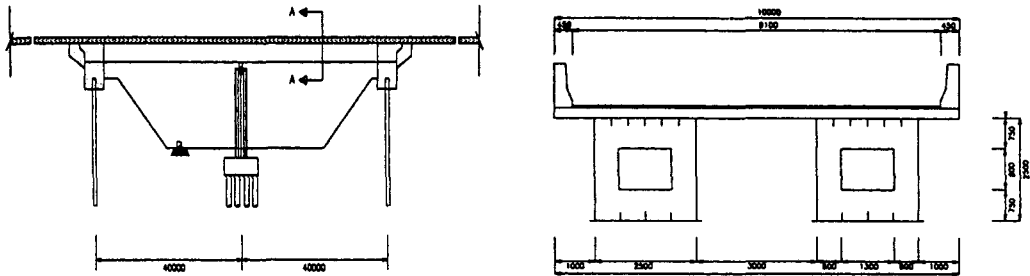
3.1 설계조건

일체교대식 교량의 설계를 위해 먼저 신축이음이 있는 2경간 연속 강상자형 교량의 설계를 실시하고 같은 상부구조를 가진 일체교대식 연속교의 파일을 설계하였다.

- 1) 형식 : 강상자형 합성교
- 2) 교량등급 : 도로교 1등교
- 3) 지간 : $40.0 + 40.0 = 80.0$ m
- 4) 폭원 : 10 m (3차선 일방통행)
- 5) 포장 : 아스팔트 포장 (80mm)
- 6) 활하중 : DB-24, DL-24
- 7) 사각 : 90°

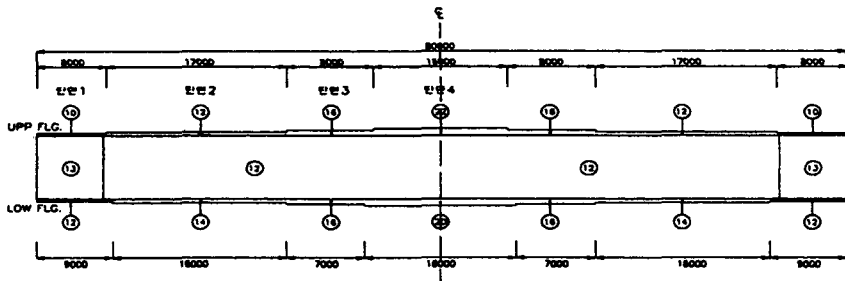
3.2 단면 가정

그림 3에서와 같이 강상자형 교량은 2경간 연속교의 2련식 단면을 사용하였고, 강상자형 거더의 단면변화는 4가지의 단면으로 변화한다고 가정하여 설계하였다.



(a) 강상자형 교량의 종단면도

(b) 강상자형 교량의 횡단면도



(c) 강상자형 거더의 종방향 단면 변화

그림 3 설계 단면 가정

3.3 설계 단면 검토

단면 검토를 위한 활하중의 재하는 정모멘트 단면검토에는 DB-24 하중을 1경간 중앙에 재하하고 부모멘트의 단면검토에는 DL-24 하중을 재하하였다. <표 1>에는 최대 정모멘트와 부모멘트 구간의 각 부분별 단면검토 결과를 보여주고 있으며 단면검토 결과 모든 부분에서의 응력이 허용 응력내에 있어 가정한 단면을 설계단면으로 확정하였다.

<표 1> 설계 단면 검토 결과

		합성전 사하중	합성후 사하중	활하중	지점 침하	발생응력 계	허용응력	비고
정모멘트 응력검토	정모멘트 (t-m)	512.184	148.988	430.391	56.856			
	$\sigma_{CU}(\text{kg/cm}^2)$	-	4.3	12.5	1.7	18.5	108	O.K.
	$\sigma_{CL}(\text{kg/cm}^2)$	-	2.7	7.9	1.0	10.6	108	O.K.
	$\sigma_{SU}(\text{kg/cm}^2)$	410.9	19.3	55.7	7.4	493.3	1400	O.K.
	$\sigma_{SL}(\text{kg/cm}^2)$	-425.2	-99.6	-287.9	-38.0	-850.7	-1400	O.K.
부모멘트 응력검토	부모멘트 (t-m)	-1077.9	-313.555	-507.397	-			
	$\sigma_{SU}(\text{kg/cm}^2)$	-645.9	-140.6	-227.5	-	-1014.0	-1400	O.K.
	$\sigma_{SL}(\text{kg/cm}^2)$	593.4	164.6	266.4	-	1024.4	1400	O.K.
	$\sigma_{SR}(\text{kg/cm}^2)$	-	-170.3	-275.6	-	-445.9	-1800	O.K.

* σ_{CU} : 콘크리트 바닥판 상부 압축응력 σ_{CL} : 콘크리트 바닥판 하부 압축응력
 σ_{SU} : 강상자형 거더의 상부플랜지 응력 σ_{SL} : 강상자형 거더의 상부플랜지 응력
 σ_{SR} : 교각 지점부의 철근 응력

3.4 강상자형 교량의 일체화

1) 일체교대식 강상자형 교량 일체화

본 연구에서는 신축이음장치가 있는 교량과 일체구조식 교량의 거동을 비교하기 위하여 설계한 신축이음 강상자형 교량을 파일식 교대에 접합 시킴으로서 일체화 하였다.

일체교대식 강상자형 교량의 일체화에 사용한 파일은 H형강을 사용하였고, Preboring은 3m로 하였다.

2) 말뚝의 제원

일체교대식 교량의 파일 설계에 사용한 파일의 제원은 <표 2>에서 보는 바와 같이 H형강 250x250을 사용하였다.

<표 2> H 250x250 형강의 제원

H × B	t1 (mm)	t2 (mm)	단면적 (cm ²)	단위무게 (kg/m)	단면 2차 모멘트 (cm ⁴)		단면 계수 (cm ³)	
					Ix	Iy	Zx	Zy
250 × 250	9	14	92.18	72.4	10800	3650	867	292

4. 강상자형 교량의 유한 요소 해석

4.1 신축이음 방식 강상자형 교량 구조해석

2경간 연속 신축이음 방식 강상자형 교량의 구조해석은 상부구조물의 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더의 상부플랜지, 웨브, 하부플랜지를 Shell 요소를 사용하여 3차원 모델링을 하였고, 강상자형 거더의 상부플랜지와 콘크리트 바닥판에 연결된 전단연결재를 Constraints 요소로 모델링하였다. Cross Beam과 횡격막은 5m 간격으로 Shell요소를 사용하여 모델링 하였고, 상·하부의 리브와 보강재는 무시하였다.

그림 4는 신축이음 방식 강상자형 교량의 해석 모델링을 보여주고 있다.

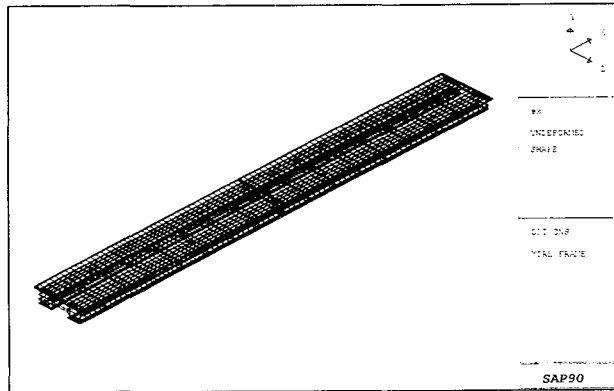


그림 4 신축이음 방식 강상자형 교량의 해석 모델링

4.2 일체교대식 강상자형 교량 구조해석

일체교대식 교량은 파일과 상부구조물이 교대에 일체화되어 라멘구조물의 형식을 갖추고 있어 상부구조물과 교대 및 파일을 포함한 3차원 모델링을 하였다. 일체교대식 교량의 상부구조물은 신축이음 방식 교량과 동일하게 모델링 하였고, 상부구조물이 교대에 접합되는 교량의 양쪽 교대부의 Cross Beam과 횡격막을 모델링에서 제거하고 교대부의 Solid요소와 접합시켰다. 일체교대식 교량의 교대는 Solid요소를 사용하여 모델링 하였고, 파일은 Frame요소를 사용하여 파일의 상부가 교대부의 Solid요소와 접합되도록 모델링 하였으며, 파일이 연암지반에 근입된 부분은 연암지반 표면에서 고정단으로 모델링 하였다.

뒷채움재인 다짐하지 않은 자갈재와 Preboring 채움재인 모래는 지반반력계수를 사용하여 모델링 하였다. 그림 5에서는 일체교대식 강상자형 교량의 모델링을 보여주고 있다.

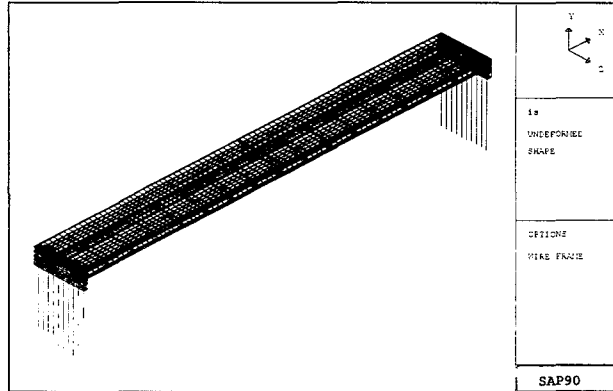


그림 5 일체교대식 강상자형 교량의 모델링

4.3 해석 결과

<표 3>에서 보는바와 같이 사하중과 활하중에 의한 일체교대식 교량의 응력은 교대 인접부의 응력이 신축이음 교량에 비해 커지고 지간 중앙과 교각 지점부의 응력이 감소하여 상부구조물의 효율이 증대되며 지간 중앙과 교각 지점부의 응력 감소 비율이 사하중인 경우보다 활하중인 경우가 더 크고 활하중이 커 질수록 응력의 감소 비율이 증대되어 과적차량과 같은 활하중의 증가에 더 효율적으로 거동함을 알수 있다.

파일의 모멘트는 교대 인접부에서 최대 부모멘트를 나타내며 사하중과 활하중의 모든 경우에 일체교대식 교량의 모멘트에 의한 응력이 축방향 압축력에 의한 응력보다 크게 나타난다.

<표 3> 종방향 응력 비교 (단위 kg/cm²)

위 치	하중 경우	교대인접부			span 중앙			교각지점부		
		신축이음 교량	일체식 교량	일체식 /신축	신축이음 교량	일체식 교량	일체식 /신축	신축이음 교량	일체식 교량	일체식 /신축
내측거더 상부 플랜지	D _B	183.87	313.53	1.71	-446.63	-441.08	0.99	582.74	581.30	1.00
	D _A	0.88	15.28	17.36	-37.55	-37.41	1.00	59.66	53.79	0.90
	D	184.75	328.91	1.78	-484.18	-478.49	0.99	642.40	635.09	0.99
	L ₁	1.73	15.72	9.09	-44.96	-43.81	0.97	21.43	19.34	0.90
	L ₃	-1.46	30.63	-20.98	-104.86	-102.78	0.98	48.55	43.17	0.89
내측거더 하부 플랜지	D _B	7.40	-344.11	-46.50	489.72	480.74	0.98	-759.63	-771.60	1.02
	D _A	10.80	-42.13	-3.90	127.15	111.85	0.88	-168.30	-162.96	0.97
	D	18.20	-386.24	-21.22	616.87	592.59	0.96	-927.93	-934.56	1.01
	L ₁	9.63	-48.38	-5.02	151.08	125.58	0.83	-50.26	-37.92	0.75
	L ₃	25.64	-119.61	-4.66	356.20	284.55	0.80	-135.07	-92.98	0.69

* D_B : 합성전 사하중 D_A : 합성후 사하중 D : 합성전 사하중+합성후 사하중

L₁ : DB-24활하중 1차선 재하 L₃ : DB-24활하중 1,2,3차선 재하

5. 온도변화에 따른 일체교대식 교량의 거동 분석

일체교대식 교량은 상부구조물과 파일이 교대에 접합되어 프레임의 형식을 갖추고 있어 온도 변화, 크리프, 건조수축과 같은 2차 하중의 영향을 직접적으로 받으며, 일반적으로 2차 하중중에서 크리프와 건조수축의 영향은 온도변화의 영향에 비해 작으므로 일체교대식 교량의 상부구조물 및 파일에 가장 큰 영향을 주는 온도변화에 따른 거동특성을 분석한다.

5.1 적용 온도변화 가정

본 연구에서는 일체교대식 교량의 적용 온도변화를 $-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ 를 선택하였고, 기준 온도를 10°C 로 하여 여름기간은 콘크리트 바닥판이 45°C , 강상자형 거더가 40°C 로 증가하고, 겨울기간은 각각 -20°C , -25°C 로 감소한다고 가정하여 콘크리트 바닥판이 강상자형 거더보다 5°C 높다고 가정하여 구조해석 하였다.

5.2 여름기간의 상부구조물 거동분석

1) 교대 인접부

온도변화에 대한 교대 인접부의 영향은 신축이음 교량과 일체교대식 교량이 큰 차이를 보이고 있다. 상부구조물의 종방향 변위 구속과 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더에 5°C 의 온도차가 발생하기 때문에 신축이음 교량의 교대 인접부 상부플랜지에서는 인장 응력을 보이며 하부 플랜지에서는 압축 응력이 나타나지만 일체교대식 교량의 경우는 상부 플랜지와 하부 플랜지에서 모두 압축 응력이 나타난다. 여름 기간에 온도하중과 함께 사하중과 활하중을 재하한 경우, 신축이음 교량의 교대 인접부의 상부 플랜지에서는 온도하중, 사하중, 활하중이 중첩되어 인장응력이 증가하고, 일체교대식 교량은 사하중과 활하중에 의한 부모멘트의 영향으로 온도하중에 의한 영향이 상부 플랜지에서는 서로 상쇄되지만 하부 플랜지에서는 온도하중, 사하중, 활하중의 영향이 서로 중첩되어 응력이 증가된다.

2) 지간 중앙

신축이음 교량 지간 중앙의 응력은 온도 영향에 의해 상부 플랜지와 하부 플랜지 모두 인장 응력이 발생하며 상부 플랜지에 발생하는 인장 응력이 하부 플랜지에 발생하는 인장 응력보다 더 크게 발생한다. 일체교대식 교량의 온도하중에 의한 응력은 상부 구조물의 종방향 변위를 파일식 교대가 구속하므로써 상부 플랜지와 하부 플랜지가 모두 압축 응력이 발생되어 신축이음 교량과 반대의 현상이 나타난다. 신축이음 교량은 상부 플랜지에서는 사하중과 활하중의 영향이 온도하중과 서로 상쇄되어 압축응력이 작아지고 하부 플랜지에서는 온도하중과 서로 중첩되어 인장 응력이 최대가 된다. 일체 교대식 교량은 신축이음 교량과 반대로 상부 플랜지에서 중첩되어 압축 응력이 커지고 하부 플랜지에서 상쇄되어 인장 응력이 감소한다.

3) 교각 지점부

신축이음 교량은 온도 하중에 대해서 상부 플랜지의 인장 응력이 교대 인접부에서 가장 크게 나타나고 교각 지점부로 갈수록 점점 감소되며 하부 플랜지의 인장 응력은 교각 지점부로 갈수록 점점 증대된다. 일체교대식 교량은 상부 플랜지의 압축응력이 교대 인접부에서 가장 작게 나타나고 교각 지점부로 갈수록 점점 증대되며 하부 플랜지의 압축 응력은 교대 인접부에서 최대치를 보이고 교각 지점부로 갈수록 점점 감소한다. 신축이음 교량은 교각 지점부에서 온도 응력이 상·하부 플랜지 모두 인장 응력이 발생하고 일체교대식 교량은 상부 플랜지에서 압축 응력이 발생하고 하부 플랜지에서는 약간의 인장 응력이 발생한다. 온도 하중과 주하중을 재하한 경우 신축이음 교량에서는 지간 중앙의 하부플랜지에서 최대 인장응력이 발생하고, 일체교대식 교량에서는 교각 지점부의 하부 플랜지에서 최대 압축응력이 발생한다.

<표 4>에는 여름 기간의 신축이음 교량과 일체교대식 교량의 각 하중별 종방향 응력을 보여 주고 있다.

5.3 겨울 기간의 일체교대식 교량 상부구조물 거동분석

신축이음 교량의 경우 상부구조물의 종방향 변위가 자유롭기 때문에 종방향 변위구속에 의한 응력은 발생하지 않으므로 신축이음 교량에서 발생하는 온도 응력은 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더에 5°C 의 온도차에 의한 응력만이 발생한다. 따라서 신축이음 교량의 여름 기간과 겨울 기간의 온도 변화에 대한 응력은 동일하게 나타난다. 겨울 기간의 온도 하중에 의해 생성되는 일체교대식 교량의 응력 분포는 교대 인접부, 지간 중앙, 교각 지점부의 상부 플랜지와 하부 플랜지 모두 인장 응력을 나타내고 있다. 특히 사하중·활하중을 겨울 온도하중과 같이 재하했을 경우는

<표 4> 여름 기간의 종방향 응력 (단위 : kg/cm²)

위치	하 중 경 우	교대인접부		span 중앙부		교각지점부	
		신축이음 교량	일체식 교량	신축이음 교량	일체식 교량	신축이음 교량	일체식 교량
내측 거더 상부 플랜지	TS	125.32	-41.78	105.13	-53.96	75.96	-110.87
	D+TS	310.07	287.18	-379.05	-532.46	718.36	524.15
	D+L1+TS	311.80	302.90	-424.01	-576.27	739.79	543.49
	D+L3+TS	308.60	317.80	-483.91	-635.19	766.91	567.32
내측 거더 하부 플랜지	TS	-5.12	-314.34	43.38	-222.58	84.43	8.61
	D+TS	13.09	-700.71	660.24	369.29	-843.50	-925.76
	D+L1+TS	22.71	-749.54	811.32	494.87	-893.76	-963.68
	D+L3+TS	38.73	-820.32	1016.44	653.84	-978.57	-1018.74

여름 기간과는 달리 지간 중앙의 하부 플랜지에서는 온도 하중에 의한 인장과 사하중과 활하중에 의한 인장 응력이 중첩되어 구조물에 최대 인장 응력이 발생한다.

온도 하중의 작용으로 발생하는 겨울 기간의 종방향 응력이 여름 기간의 종방향 응력에 의해 발생하는 응력보다 크게 나타나는 이유는 여름 기간의 종방향 응력은 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더에 5℃의 온도차에 의해 강상자형 거더에 인장 응력이 발생하는 것과 구조물의 종방향 변위를 파일식 교대가 구속하므로써 압축 응력이 발생되어 그 영향이 서로 상쇄되지만 겨울 기간에는 5℃의 온도차에 의한 강상자형 거더의 인장 응력과 구조물 수축을 교대가 구속하여 생기는 인장 응력이 서로 중첩되어 더 크게 나타나는 것으로 인식된다. 따라서 온도변화에 대한 일체교대식 교량의 상부구조물 거동은 여름 기간보다 겨울 기간에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

<표 5>에는 겨울 기간의 신축이음 교량과 일체교대식 교량의 각 하중별 종방향 응력을 보여 주고 있다.

<표 5> 겨울 기간의 종방향 응력 (단위 : kg/cm²)

위치	하 중 경 우	교대인접부		span 중앙부		교각지점부	
		신축이음 교량	일체식 교량	신축이음 교량	일체식 교량	신축이음 교량	일체식 교량
내측 거더 상부 플랜지	TW	125.32	265.29	105.13	261.11	75.96	267.41
	D+TW	310.07	594.24	-379.05	-217.40	718.36	902.50
	D+L1+TW	311.80	609.96	-424.01	-261.21	739.79	921.77
	D+L3+TW	308.60	624.87	-483.91	-320.13	766.91	945.60
내측 거더 하부 플랜지	TW	-5.12	334.76	43.38	324.21	84.43	149.46
	D+TW	13.09	-51.61	660.24	916.83	-843.50	-784.91
	D+L1+TW	22.71	-100.44	811.32	1042.41	-893.76	-822.83
	D+L3+TW	38.73	-171.22	1016.44	1201.38	-978.57	-877.89

5.4 온도변화에 따른 일체교대식 교량의 파일 거동분석

1) 여름 기간의 파일 거동 분석

일체교대식 교량에 대한 여름기간의 파일 거동은 상부구조물의 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더에 5℃의 온도차가 발생함에 따라 생성되는 파일 상부의 정모멘트보다 상부구조물의 종방향 팽창에 따른 변위에 의해 발생하는 부모멘트의 응력이 더 크기 때문에 파일 상단에 부모멘트를 발생시킨다. <표 6.5>에서 보는 바와 같이 여름기간의 온도하중에 의해서 생성된 부모멘트는 사하중과 활하중의 재하로 발생하는 파일의 부모멘트와 더해져서 사하중과 활하중이 증가할수록 증가한다. 여름기간에 사하중과 활하중을 동시에 재하한 경우 일체교대식 교량 파일의 응력은 겨울 기간의 응력보다 2배 이상 크게 나타나 겨울기간에 일체교대식 교량이 받는 하중보다 여름기간에 받는 하중이 일체교대식 교량의 파일에 더 큰 영향을 미친다.

2) 겨울 기간의 파일 거동 분석

온도 하중에 의한 겨울기간의 일체교대식 교량의 파일 거동은 파일 상단에 정모멘트를 발생시키며 사하중과 활하중에 의해 생성되는 부모멘트와 상쇄되지만, 온도 하중에 의해 생성되는 정모멘트가 사하중과 활하중에 의해 생성되는 부모멘트보다 훨씬 더 커서 사하중과 활하중을 함께 재하한 경우의 모멘트도 정모멘트가 된다. 여름 기간과 겨울 기간의 파일 거동은 사하중과 활하중에 의해 생성되는 압축력과 휨모멘트보다, 온도하중에 의해 생성되는 모멘트가 훨씬 커서 파일에 큰 응력을 발생시키고, 파일의 거동에 지배적인 역할을 하게 된다. 그러나 파일이 이러한 상부구조의 온도변화로 인한 응력을 지지할 수 있도록 설계한다면 일체식 교량은 구조적인 문제점이 없는 것으로 평가되므로 여러 가지 잇점이 있는 일체식교량 건설이 국내에 활성화 될 수 있기를 기대한다.

<표 6.5> 파일 거동 분석 (단위 : kg/cm²)

여름 기간				겨울 기간			
하중 경우	모멘트 응력	압축 응력	총 응력	하중 경우	모멘트 응력	압축 응력	총 응력
TS	±724.5	-10.6	-735.1	TW	±774.7	3.6	-771.1
			713.9				778.3
D+TS	±949.4	-146.8	-1096.2	D+TW	±549.7	-132.6	-682.3
			802.6				417.1
D+L1+TS	±1006.5	-173.5	-1180.0	D+L1+TW	±492.7	-159.3	-652.0
			833.3				333.4
D+L3+TS	±1102.7	-193.0	-1295.7	D+L3+TW	±396.5	-178.8	-575.3
			909.7				217.7

6. 결론

강상자형 일체교대식 교량의 국내도입에 앞서 무신축이음 강상자형 일체교대식 교량의 거동특성을 신축이음 교량과 비교 분석하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 사하중과 활하중에 의한 일체교대식 교량의 응력은 신축이음 교량에 비해 지간 중앙과 교각 지점부의 응력이 감소하여 활하중이 클수록 감소비율이 증가하여 활하중의 증가에 더 효율적으로 거동한다.
2. 신축이음 교량은 콘크리트 바닥판과 강상자형 거더에 5℃의 온도 차이에 의한 응력만이 발생하여 겨울기간과 여름기간의 응력이 동일하게 나타나며, 일체교대식 교량은 여름기간에 작용하는 온도하중보다 겨울기간에 작용하는 온도하중이 더 크게 나타난다.
3. 파일에서는 사하중과 활하중에 의한 모멘트 응력보다 상부구조물의 온도에 따른 팽창과 수축에 의한 파일 상단의 휨모멘트가 더 크게 나타난다.

참 고 문 헌

1. "신축이음장치에 관한 연구", 한국도로공사 도로연구소, 도로연 93-9-7, 1993.
2. Martin P. Burke, Jr., Integral Bridges, Transportation Research Record 1275, 1990.
3. 이성우, "유지관리가 용이한 무신축이음 교량의 일체 구조 기법 개발" 국민대학교 구조안전연구소, 연구보고서, KMU/SSRC-96/5, 1996. 5.
4. 이성우, 나정우, 조남훈, "일체 구조형식 교량의 설계 및 시공기법 연구", 한국전산구조 공학회, 학술발표회 논문집, 1996. 10.
5. 조남훈, "일체교대식 강상자형 교량의 거동특성분석", 국민대학교 석사학위논문, 1997. 7.