

장대교량(I.L.M)의 신축이음장치

이 성 원 | (주)한국건설관리공사 차장
토목시공기술사

1. 머리말

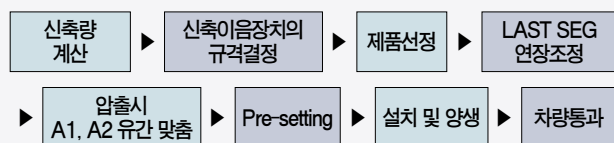
교량신축이음장치는 온도변화에 의한 신축, 콘크리트 재력에 따른 건조 수축과 크리프, 활하중에 의한 상부구조의 변위와 변형을 원활하게 함으로써 2차 응력의 발생을 최소화하고 차륜이 교면을 안전하게 주행하도록 평탄성을 유지하여야 한다.

신축이음장치는 설계변경이 가장 빈번하게 발생하는 품목이고 전체 공정이 상당부분 진행된 시점에서 신축이음장치에 대한 구체적인 협의가 이루어지는 것이 일반적이기 때문에 이로 인한 검토가 불충분하여 상부 Girder의 변화가 심한 장대교량에서는 과다한 유간발생 및 적정치 못한 규격선정, Pre - Setting 등의 오류로 인하여 준공 후 빈번한 하자가 발생한다.

특히 신축이음장치 설치부위의 구조물 유간이 적정하지 못할 경우 지지 조건의 불안정으로 내구성이 저하되고, 방수기능 상실에 따른 누수로 교량상부 및 받침에 부식이 발생되어 교량전체의 수명과 안전성에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 장대교량에서는 각 제품사양에서 제시하고 있는 유간을 토대로 구조물이 시공되어야 하며 각 현장마다 가장 큰 부실요인이 유간 조정의 실패에 있다. 또한 신축이음장치는 승인, 제작, 설치단계가 공정상으로 거의 임계경로(critical path)상태에 놓이게 되어 부실의 우려가 있음이 현실이다.

본인은 이러한 부분을 실제 현장에서 경험하고 연구한 기술자로서 보다 완벽한 장대교량의 신축이음장치 시공을 위하여 교량상부Girder의 연장과 신축이음장치 설치시 재령과의 관계에서 신축이음장치의 규격선정을 정립하고 신축량계산에서부터 유간결정에 이르는 과정을 기술하고자 한다.

《I.L.M교량의 신축이음장치 Flow - chart》



2. 신축량계산 및 신축이음장치 규격검토

가. 개요

신축이음장치의 형식결정에서 중요한 요소는 신축량이기 때문에 먼저 신축량을 산정하여 그 형식을 정하고 또한 설치하는 장소에서는 어떤 요소가 우선하는가 등을 종합적으로 판단하여 형식을 결정하여야 하며 해당교량의 신축이음장치에 대한 설계현황을 검토하여 가장 적절한 규격을 적용함으로써 구조적으로 안전하고 경제적인 시공이 되도록 한다. 장대교량에서 신축이음장치의 규격은 현 설계가 현장여건을 상세히 반영할 수 없어 규격이 과다하게 설계되어 있고, 시공자는 충분한 검토없이 설계대로 설치하여 빈번한 하자를 유발시킨다. 실제 현장에서는 신축이음설치시기에 수축량이 상당히 진행되어 실제 이동량이 설계보다 적은 것이 현실이며 아울러 장대교량에서의 신축이음장치는 규격이 큰 240mm 이상에서 하자발생이 빈번한 것으로 알려져 있다.

나. 신축량 계산

(1) 일반식

신축이음 및 가동받침을 설계하는 경우, 신축량(계산이동량)의 산정은 일반적으로 다음식에 의한다.

$$\Delta L = \Delta Lt + \Delta Ls + \Delta Lc + \Delta Lr + \text{여유량}$$

여기서, ΔL = 계산이동량

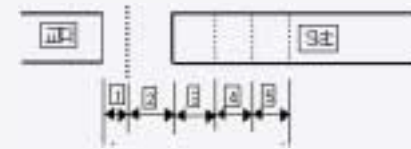
ΔLt = 온도변화에 의한 이동량

ΔLs = 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량

ΔLc = 콘크리트의 Creep에 의한 이동량

ΔLr = 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

(개요도)



- (1) : 최고온도시 신장에 의한 여유량
- (2) : 온도변화 신장량
- (3) : 온도변화 수축량
- (4) : 건조수축, Creep 수축량
- (5) : 최저온도시 수축에 의한 여유량

(2) 신축량 산정기준(도로교 시방서)

1) 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창계수 (도표1)

교량종류	온도 변화		선팽창계수
	보통지방	한랭한 지방	
PC교, RC교	-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10 ⁻⁵

2) 콘크리트재력에 따른 저감계수(β) (도표2)

콘크리트 재령(月)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
건조수축, 크리프 저감계수(β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

3) 콘크리트의 탄성계수 (도표3)

Fck	210	240	270	300	400	500
Ec	2.15	2.30	2.40	2.60	2.80	3.00

정밀해석의 경우 점선탄성계수(Ei)를 사용해야하나 본검토는 일반적인 활선탄성계수(Ec)를 적용함.

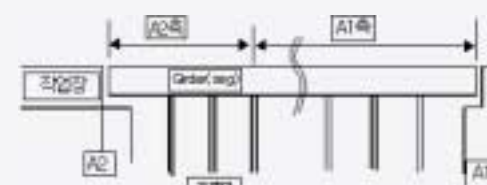
4) 신축량 계산 (도표4)

구분	산식	비고
온도변화(ΔLt)	$= \alpha \cdot \Delta T \cdot L$	
건조수축(ΔLs)	$= \Delta T \cdot \alpha \cdot \beta \cdot L$	ΔT:20° 하강상당
크리프(ΔLc)	$= -(Pi/Ec \cdot Ac) \cdot \phi \cdot \beta \cdot L$	
보의 처짐(ΔLr)	$= \Sigma (hi \times \theta i)$	
설치여유량	±10mm	
부가여유량	±20mm	

PI : 프리스트레싱직후 Psg강재에 작용하는 인장력

다. 장대교량(I.L.M)에서의 신축이음장치 규격검토

(1) 순서



1) 고정단을 중심으로 A1,A2측 각각 상부Girder의 제작평균재령을 구한다.

- 2) A1,A2측 제작평균재령을 포함하여 신축이음장치 설치 시기를 예상하고 이때까지의 전체 평균재령에 맞는 건조수축 및 Creep저감계수(β)를 (도표2)에서 구한다.
- 3) 교량에 대한 각 제원(Pi, Ac, Ec.....등)을 구하여 (도표4)에 표기된 대로 전체 신장량(ΔL)을 구하고 규격을 결정한다.

(2) 연장 및 재령에 따른 신축이음규격 적용

- 1) 다음 (도표5)는 일반적인 I.L.M교량을 연장별로 신축이음설치 시기까지의 재령에 따라 적용되어야 할 신축이음규격을 검토하여 정리한 것이다.
- 2) (도표5)는 아래와 같은 가정하에 계산되었으며 I.L.M교량의 일반적인 시공현황을 표기한 것으로 현장여건에 따라 다소 변경될 수 있다.

-아 래-

- ① 교량경사는 A2→A1으로 상향으로 가정(작업장 위치 : A2)
- ② 고정단은 중앙부에 위치하고 경사가 낮은 Pier에 위치 (Pier고 50m이상 교량에서 고정단을 2개소(Pier)에 두는 예가 있다.)
- ③ SEG제작기간 : 12.5일/1SEG
- ④ 신축이음설치는 압출완료 후 최소 5개월로 가정하여 Seg.의 제작평균재령을 계산하여 콘크리트 저감계수(β)를 적용함.
- 상부Girder 제작완료후 공정
(작업장철거→ 교대벽체시공→ 뒷채움→ 접속 슬래브설치→ 교면포장→ 본포장→ 신축이음설치 = 최소 5개월)

(도표5)

교량별 (연장·M)	SEG (EA)	제작 기간 (월)	신축장 (M)	seg제작 완료까지 평균재령	신축이음 설치까지 평균재령 (β)	총신축량	신축이음 규격적용	비 고 β=0일때	
630	27	11.3	A1: 340	8.7월	13.7월	0.186	226	240	172.5
			A2: 290	2.6월	7.6월	0.273	219	240	152.5
530	23	9.6	A1: 290	7.4월	12.4월	0.197	200	240	152.5
			A2: 240	2.2월	7.2월	0.280	189	240	132.5
430	19	7.9	A1: 240	6.1월	11.1월	0.215	176	240	132.5
			A2: 190	1.8월	6.8월	0.287	158	160	112.5

(3) (도표5)의 결과에 대한 설명

- 1) 고정단을 중심으로 A1, A2측 상부Girder의 제작기간(재령)이 다르므로 이에 따라 저감계수를 달리 적용하였으며 수축량이 상이하여 430m의 교량에서와 같이 A1, A2측의 신축이음규격이 달라진다.
- 2) 신축이음장치 설치시 상부Girder 제작이 완료된 후 공정상 5개월로 계산되었으나 신축이음설치 시기가 더욱 지연되어 극단적으로 건조수축 및 Creep수축이 종료된 β=0일때로 가정하면 실제 신축량은 여유량 30mm가 포함되었음에도 매우 적게됨을 알 수 있다.
- 3) 또한 Last seg제작은 기시공된 Seg의 총누계거리를 측정하여 건조

수축 및 Creep수축이 끝났을 때의 길이를 고려하여 수축할 양 만큼 연장시공한다. 이러한 과정없이 L/Seg를 제작하면 신축이음설치 시점에 유간이 과다하여 검토된 규격보다 큰 신축이음을 사용하게 되는 경우와 검토된 규격을 무리하게 설치하여 하자발생을 초래한다. L/Seg길이 조정은 제3장 “현장적용사례” 편에서 상세히 설명하기로 한다.

- [도표5]에 대한 계산 예 -

제원1 : 교량연장 630m (A1축 SEG :340m)
신축이음설치까지 평균재령 13.7개월, 저감계수($\beta=0.186$)

① 온도변화에 의한 신축량

$$\Delta L_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$
$$= 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 340 \cdot 10^3$$
$$= 136 \text{ mm}$$

② 건조수축에 의한 수축량

A1축 : $\beta=0.186$ (재령 13.7개월)

$$\Delta L_s = 20 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot L$$
$$= 20 \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 0.186 \cdot 340 \cdot 10^3$$
$$= 12.65 \text{ mm}$$

③ 크리프에 의한 수축량

A1축 : $\beta=0.186$ (재령 13.7개월)

$$\Delta L_c = \frac{\pi}{E_c \cdot A_c} \cdot \varphi \cdot L \cdot \beta$$
$$= \frac{7963.96 \cdot 10^3}{2800 \cdot 8.764 \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot 340 \cdot 10^3 \cdot 0.186$$
$$= 41.04 \text{ mm}$$

※ $P_i = P_t - \Delta f P_s$ (아래 제원은 우리현장의 제원임)

$$P_i = \{(4 \cdot 7 + 35 \cdot 12 + 12 \cdot 19) \cdot 18.7\} \cdot 70\% - \Delta f P_s$$
$$= 8848.84 \text{ ton} - 884.8 \text{ ton}$$
$$= 7963.96 \text{ ton}$$

- P_t : jacking force (= $P_u \cdot 70\%$ or $P_y \cdot 90\%$ 中 적은값 적용)
(P_u : 18700kg/cm², P_y : 16000kg/cm²)
- $\Delta f P_s$: 초기긴장력에 대한 손실분 (P_t 의 10~15%적용)
- central tendon : 7 * 12.7mm (4EA)
12 * 12.7mm (35EA)
- continuity tendon : 19 * 12.7mm (12EA)

④ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

$$\Delta L_r = 2/3 \cdot 2,950 \text{ mm} \cdot 1/300$$
$$= 6.5 \text{ mm}$$

⑤ 여유량

$$\Delta L' = 30 \text{ mm}$$

[계산결과]

구분	온도변화	건조수축	크리프	보의 처짐	여유량	총신축량(mm)
A1축	136	12.65	41.04	6.5	30	226.19
$\beta=0$ 일때	136	0	0	6.5	30	172.5

라. 규격검토 결과

[도표6]

교량연장별 (m)	신축이음장치 규격(rail식)(mm)		비고
	현설계	검토결과(변경)	
630	320~400	240	
530	320~400	240	
430	240~320	160~240	

마. 신축이음장치 설계규격에 대한 검토

(1) 개요

현재 설계되어지는 모든 교량의 신축이음장치 규격은 온도변화와 수축 등 발생할 수 있는 극한상황을 대비하여 설계되어진다. 현장검토의 부족 및 부재로 인하여 설계의 이러한 한계를 현장에서 여과없이 적용함으로써 공사비의 낭비는 물론 부실시공으로 커다란 손실을 초래한다. 공사가 진행됨에 따라 건조수축, Creep수축, 온도변화 등의 설계에서 주어진 극한 한계는 현장여건별로 자동으로 소멸되고 신축이음장치는 가장 적정하고 안정하게 현장에서 재설계(규격)할 수 있다. 이러한 점을 지적하고자 “제2장 3, 4항에서 언급한 바를 더욱 심도있게 논의하도록 한다.

(2) 설계에서 규격결정의 배경과 현장검토

아래와 같은 교량상황일 경우를 가정하여 설계가 적용된 배경과 현장여건에 따라 신축이음장치의 규격을 얼마나 축소할 수 있는지 검토하여 보자.

- 630m ILM교량, 보통지방 기준
- 최대신축장 315m
- 고정단을 중심으로 L/Seg.축 Girder의 평균재령 : 2.5개월
- girder완료 후 신축이음설치까지의 재령 : 최소 2개월로 가정
- pre-setting시 온도를 최대 35℃로 가정

1) 설계적용

① 온도변화에 의한 신축량(제2장 [도표2]참조)

$$\Delta L_t = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 315 \cdot 10^3 = 126 \text{ mm}$$

② 건조수축에 의한 잔여수축량

$$2.5 \text{ 월} + 2 \text{ 월} = 4.5 \text{ 개월} (\beta=0.35)$$

$$\Delta L_s = 20 \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 0.35 \cdot 315 \cdot 10^3 = 22.05 \text{ mm}$$

③ 크리프에 의한 잔여수축량

$$\Delta L_c = \frac{7963.96 \cdot 10^3}{2800 \cdot 8.764 \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot 315 \cdot 10^3 \cdot 0.35$$
$$= 71.56 \text{ mm}$$

④ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

$$\Delta L_r = 6.5 \text{ mm}$$

⑤ 여유량

$$\Delta L' = 30 \text{ mm}$$

계 (1+2+3+4+5) = 256.1mm ∴신축이음장치는 320mm 선정

2) 현장검토

상기 1)항에서 320mm로 선정된 규격을 아래와 같은 극한상황에서도 240mm의 규격으로도 가능한 지를 검토하여 보자.

여기서 극한상황이라 함은 Girder완료 후 신축이음장치를 설치하는데 최소한의 공기와 시방에서 규정한 최고 · 최저 평균온도(-5℃~35℃)를 가정한 것임.

① rail식 240mm의 적정설치 유간(“a”)이 제품에 따라 다소 차이는 있으나 300mm라고 하자. 이것은 온도가 섭씨15℃에서 모든 수축이 종료되었을 때의 설치 값이다. pre - setting은 이러한 기준을 조건으로 조정하여 설치하는 작업이다.(제3장 pre - setting란에서 상세히 설명)

- 온도변화에 의한 신축량(제2장 [도표2]참조)

$$\Delta L_t = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot (35-15) \cdot 315 \cdot 10^3$$
$$= 63 \text{ mm}$$

- 건조수축과 크리프수축량(상기 1)항에서)

$$\Delta L_s + \Delta L_c = 22.05 + 71.56$$
$$= 93.61 \text{ mm}$$

- 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

$$\Delta L_r = 6.5 \text{ mm}$$

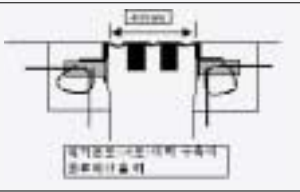
그러므로 240mm의 pre - setting 은 300 - 63 - 93.61 - 6.5 = 136.89mm로 하여야 하나 240mm의 최대이동량은 전 · 후 120mm이므로 300 - 120 = 180mm로 setting한다.

결과적으로 43.11mm(180-136.89)의 수축이 반영되지 못한 것이다.

② 상기 ①항으로 pre - setting후 온도가 보통지방 평균 최저온도인 -5℃ 내려간다고 가정한다.

$$\Delta L_t = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot (15-(-5)) \cdot 315 \cdot 10^3 = 63 \text{ mm}$$

결국 온도가 최대로 내려가고 수축이 완전히 끝났을 때의 유간(“a”)은 300+43.11+63= 406.11mm이다.



여유량을 감안하지 않는다면 Rail식 240mm의 최대범위(“a”)인 300±120mm의 범위에 포함되므로 240mm의 규격으로도 가능하다. (406.11mm≤420mm : O.K)

(3) 결과

상기 (2)항은 최대 극한상황으로 검토되었고 설계당시에도 이러한 상황 을 가정하여 적용함이 타당하다고 사료된다. 현장에서도 이러한 점은 충분히 고려되어야 한다. 그러나 실제 현장 여건은 상부Girder가 완료되고 관련공종의 공기를 고려하면 통상 5개월 이상 지나야 신축이음이 설치 된다. 이점이 당초 설계를 현장에서 검토해야 할 부분이다. 신축이음장치 설치가 늦어질수록 영구적인 수축으로 총신축량은 그만큼 줄어들게 되어 신축이음장치의 규격 또한 작아질 것이다.

가령 신축장이 315m인 총연장 630m ILM교량의 건조 및 creep수축은 총 203mm에 달하며 평균재령 6개월이면 70%의 수축이 종료된다. 수축이 종료되면 온도변화(-5℃~35℃)에 의한 126mm 만이 거동되고 전,후 거동량은 63mm(126÷2)뿐이다. 다시말해서 63mm의 거동량은 630m의 교량에서도 rail식 160mm(전,후이동량 : ±80mm) 규격의 신축이음장치를 사용해도 가능하다는 결론이다.

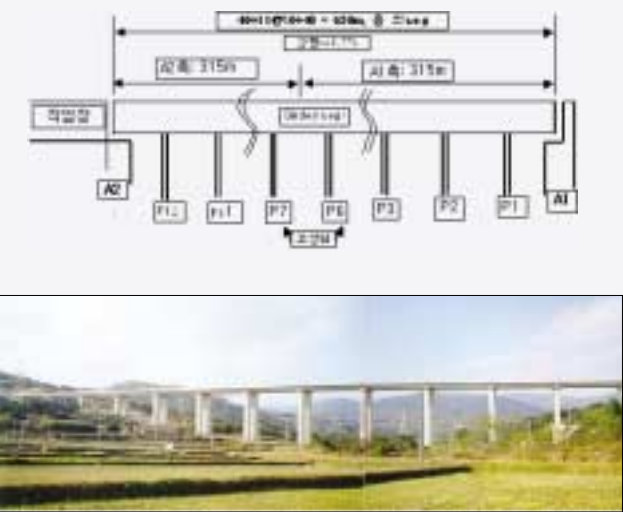
이것은 시공여건 및 여유량을 고려하지 않은 모순된 방법이지만 앞에서 언급한 내용을 고려하여 현장에서 적용하고 실제 거동량을 파악한다면 제2장 3,4항에서 검토된 규격보다 더욱 경제적이고 안정된 신축이음을 시공할 수 있을 것이다.

결과적으로 현장여건을 충분히 반영하지 못하는 설계의 한계로 인해 신축이음이 과다하게 설계되어있고 현장여건을 반영한 신축이음 규격검토는 시공자의 몫인 바, 검토부족으로 인해 과다한 규격을 사용하는 경우가 흔하다.

또한 설계규격을 검토하여 적용하였더라도 시공자가 상부Girder (Seg.)시공시 콘크리트의 성질을 이해하지 못하여 거동량을 파악하지 못한다면 과다한 수축으로 인해 유간은 커질 것이고 결국은 검토된 규격보다 큰 신축이음장치를 설치함으로써 4항 [도표6]에 표기된 바와 같이 비경제적이고 하자발생빈도가 커질 것이다. 결과적으로 신축장이 315m인 총연장 630m의 ILM교량에서 앞서 언급한 극한상황이 아니라면 240mm이상의 규격사용은 과대한 것임을 알 수 있다.

3. 현장적용사례

가. 교량현황



〈그림〉사천교 전경

〔교량개요〕

- (1) 교량명 : 사천교 (편도2차선)
- (2) 상부구조 : Post Tension방식
전경간연속 PSC BOX GIRDER(I.L.M공법)
- (3) 상부공 가설방법 : 연속압출공법(Incremental Launching Method)
- (4) 교각형식 : 중공벽형(최대높이 : 52m), 고정단위차: P6,P7
- (5) 연장 : 630m(40+11@50+40), 총27seg(12.5+15+25@23+15+12.5)
- (6) 강선배치 : central tendon 7 * 12.7mm(4EA)
12 * 12.7mm(35EA)
continuity tendon 19 * 12.7mm(12EA)
- (7) 시공일 : First seg 타설일 : 2000년 5월 20일
14 seg(중앙)타설일 : 2000년 10월 16일
Last seg 타설일 : 2001년 3월 20일
신축이음 설치일 : 2001년 10월 24일

나. LAST SEG 길이조정

(1) 개요

I.L.M교량이 매 SEG.마다 연결되어 Last Seg.의 시공 후 압출이 완료됨으로써 상부Girder가 완료된다. 이번 장에서는 앞장에서 결정된 신축이음장치의 규격에 맞춰 L/seg.의 연장조정에 관해 논의하기로 한다. L/Seg.의 연장조정은 Girder의 수축이 정지되었을 때 기 결정된 규격의 신축이음장치가 적용되도록 교대와 Girder와의 유간을 맞추는 작업이

다. 이는 콘크리트의 건조수축 및 Creep, Pre-stress에 의한 부재의 탄성변형으로 인해 생기는 구조물의 수축길이를 고려하여 조정한다. 또한 온도변화에 의한 이동량은 온도하강과 상승에 의한 구조물의 수축과 팽음이 발생하며, 이와 같은 구조물의 신축량은 슈 및 신축이음장치 설계와 설치시에 이미 고려되고 있으나 연장이 긴 I.L.M교량에 있어서는 L/Seg.의 시공시 15℃를 기준으로 수축, 신장량을 고려하여 Seg.연장을 조정하여야 한다.

L/Seg.의 연장조정을 고려하지 않아 신축이음장치 설치부의 구조물 유간이 적정하지 못할 경우 신축이음장치의 지지조건 불안정으로 내구성 이 저하되고, 방수기능 상실에 따른 누수로 교량상부 및 받침, 하부구조에 부식이 발생되어 결국 신축이음장치의 수명단축뿐만 아니라 총체적으로 교량의 구조적 안정성에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

특히 장대교량에서는 수축, 신장량이 매우 커서 설치시 유간이 신축이음장치의 규격범위를 벗어나는 경우가 종종있어 부실의 요인이 되므로 신중을 기해야 한다.

(2) 시공현황



- Girder의 평균재령 : 4.8월

(3) Last Seg연장 조정방법

- 1) 기시공된 A1,A2의 교대간 거리를 측정한다.
(신축량에 의해 결정된 신축이음장치의 A1,A2 설치유간은 제외)
- 2) L/seg. 직전까지의 전체seg.에 대한 누계거리를 측정한다.
- 3) L/seg.시작일까지의 평균재령을 구한다.
- 4) 전체Seg.(상부Girder)에 대하여 L/seg.시작일부터 콘크리트재령에 따른 건조수축, Creep수축량과 2차Tendon 인장에 의한 탄성수축량 및 L/Seg. 시공당시의 온도와 15℃의 차이에 의한 수축, 신장량을 구한다.
- 5) 계산된 신장, 수축량에 따라 L/Seg.의 연장을 조정한다.
(조정Last seg. = 상부Girder 총연장(신축이음 설치유간제외) - 직전까지의 누계거리 + 수축, 신장량)

(4) 수축, 신장량계산 결과

구분	계산결과	비고(적용값)
온도변화	68 mm	L/seg 시공당시 48시간 평균온도
크리프수축	139.0 mm	평균재령에 의한 저감계수
건조수축량	42.8 mm	〃
2차강선에 의한 탄성수축량	76.6 mm	=(P * l)/(Ec * Ac) : P=70%적용

(5) 연장조정 결과

- 사천교제원: (1) A1,A2간 설계연장 : 630.64m
- (2) Last Seg.설계연장 : 12.5m
- (3) 교대(A1,A2)간 실측거리 : 630.66m
- (4) 신축이음규격은 검토결과 Rail식 240mm로 결정
(Rail식 240mm의 15℃일 때 적정 유간 = 300mm)

- ① 상부girder의 총연장 = 630.66 - (0.3 * 2) = 630.06m
- ② 수축, 신장량 계산결과 (상기 (4)항)
(온도변화, Creep수축, 건조수축, 2차강선에 의한 탄성수축량)
= - 0.068 + 0.139 + 0.0428 + 0.0766 = 0.19m
- ③ L/Seg.직전까지의 Seg. 총 누계 실측거리
= 617.52m
- ④ L/Seg. 시공연장
= 630.06 - 617.52 + 0.19
= 12.73m (girder총연장 = 630.25m)

위에서 계산된 바와 같이 630m의 교량에서 L/Seg.시공직후(4.2℃)부터의 수축, 신장량이 19cm였으며, 이는 L/Seg.의 설계길이를 추가로 연장해야 할 부분이다. 만일 L/Seg시공시점이 온도가 높은 여름철이었다면 30cm정도의 수축을 감안하여 Seg.를 연장시공해야 할 것이다. 이러한 고려없이 설계수치대로 시공한다면 신축이음설치시에는 A1, A2 각각 예상된 유간보다 10~15cm를 초과하게 되어 보다 큰 신축이음장치를 사용하게되므로 비경제적이며 하자발생빈도가 높게 된다. 또한 시공사의 부담으로 설계보다 큰 신축이음장치를 설치하기에는 가격이 매우 높아 큰 유간에다 무리하게 시공함으로써 더욱 비경제적이고 불안전하며 결국에는 교량의 전체수명을 단축시키는 결과를 초래하게 된다.

다. 압출시 A1, A2의 유간조정

(1) 개요

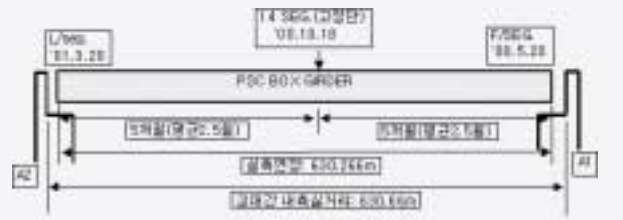
L/Seg. 제작 및 양생이 완료되면 Central tendon 긴장 후 압출장치에 의해 주형을 교축방향으로 밀어내는 압출이 시행된다. 이 때 Box Girder전체길이는 상기 2항에서 언급된 L/Seg.의 연장 조정된 길이만큼 긴 상태이며, 고정단을 중심으로 A1, A2측 Girder의 제작 재령이 상이하므로 항후의 건조수축 및 크리프수축량이 다를 것이다. 이러한 점을 고려하여 압출시 A1, A2측의 유간을 차이나게 하여 압출을 완료하고 고정단을 용접한다. 그러면 늦게 제작된 A2측 Girder는 A1측 보다 상대적으로 재령이 짧아 수축이 많이 발생되어 결국 수축이 완료된 상태에서는 A1, A2의 유간이 동일하게 될 것이다.

(2) 유간조정량 계산

우리현장에서 최종압출시점이 4월5일이었으며 이때 실측한 girder의 총

연장(630.266m)을 기준으로 A1,A2의 유간을 최종 압출시 조정한다.

〔현황도〕



〔계산결과〕

구분	재령(월)	크리프 수축(m)	건조수축(m)	계
A1측 (1)	7.5월	0.0662	0.0173	0.0735
A2측 (2)	2.5월	0.092	0.0283	0.1203
차이 = (2)-(1)				0.0468

- 상기 결과에 의하여 A2측 Girder의 재령이 짧아 수축량이 큰 점을 고려하여 A1유간은 A2유간보다 0.0468m 크게 압출을 완료해야 하며 각각의 유간 계산은 다음과 같다.
- 온도변화에 의한 수축, 신장량은 A1, A2측이 동일하므로 고려하지 않는다.
- 계산
 - A1, A2의 교대간 내측거리(630.66m)
 - 압출직전에 실측한 Girder의 총 연장(630.266m) = 0.394m
 - 0.394 / 2 = 0.197cm(조정전 A1,A2 각 유간)
 - 즉 A1유간 = 0.197 + (0.0468 / 2) = 0.220m
 - A2유간 = 0.197 - (0.0468 / 2) = 0.174m



- ① : 압출이 완료된 직후의 유간 (A2=17.4cm, A1=22.0cm)
- ② : 수축이 종료되었을 때의 유간(15℃기준)
(A2=A1=30cm=당현장에서 적용된 rail식 신축이음장치 240mm의 적정유간 “a”)

위에서 표기한 바와 같이 A1, A2의 유간은 반드시 고정단을 중심으로 한 Girder의 재령차이에 의해 달리 적용되어야 하며, Box Girder가 건조수축 및 크리프수축이 모두 끝난 시점이라면 양 유간의 크기는 동일하게 되어 신축이음규격에 맞는 적정유간이 유지될 것이다. 그리고 최종 압출이 완료된 시점부터 신축이음설치까지의 수축량과 2차 강선인장에 의한 탄성수축량으로 인해 신축이음설치때의 유간은 압출시 조정된 유간보다 커져 있을 것이다. 마지막으로 신축이음설치 시에는 잔여수축량과 온도변화를 고려하여 Pre - Setting을 하고 설치하면 마무리 된다.

라. Pre - Setting

(1) 목적

Last Seg.의 연장조정, 압출시 A1, A2의 유간조정이 끝나면 공정상 수개월 후 신축이음장치를 설치한다. Pre - Setting이란 신축이음설치 이후에 발생하는 온도변화에 의한 수축 및 신장, 크리프 및 건조수축, 활하중에 의한 수축량을 계산하여 제품의 허용 신축범위를 벗어나지 않도록 함. 정확히 말하자면 교량상부 콘크리트 구조물이 수축이 완료되고 15℃일 때 신축이음장치의 유간이 표준상태가 되도록 하는 작업이다.

(2) Pre - Setting방법

현상태의 온도가 15℃보다 높거나 낮은 상태로 간주할 때 신축이음장치는 표준유간보다 좁히거나 넓히는 방향으로 설치된다. 일반적으로 pre - setting 작업은 jack을 이용하여 수평력을 발생시켜 제품의 유간을 인위적으로 조절하여 계산된 pre - setting 값에 맞추으로써 고무씰의 폭이 변화된다. 이때 주의할 점은 신축이음장치의 가로지시대(profile)가 수평으로 되지 않고 edge profile간 단차가 발생하는데 이것을 신축이음장치의 단부회전 및 수직단차라고 하며 제품에서 규정한 회전허용량 및 허용단차가 초과되지 않도록 수평자 등을 사용하여 주의를 기울여야 한다. (참고로 우리현장 사천교에서의 허용 회전량은 수평에서 2.5°, 허용 단차는 5mm로 규정되었다.)

수직단차는 종단구배가 큰 교량, 부분적인 활하중 통과시 또는 교대부의 지점침하 혹은 전도 등으로 인하여 인접 상판사이에서 수직단차가 발생한다.

이와 같은 상판의 상·하 운동 발생시 써포트빔 상부에 위치한 탄성받침의 전단 및 휨변형과 하부에 위치한 스페리컬 베어링의 구름작용을 통하여 무리없이 수직방향 변위를 수용한다. 또한 하우징을 통해 써포트빔과 연결된 중간 profile은 수직단차에 의해 발생된 경사면을 따라 자연스럽게 차륜통과면의 레벨을 맞추어 간다. 근래의 신축이음장치는 설계 당시 이미 인접슬라브 단차에 의한 회전을 가능토록 설계된 형식으로서 pre - setting으로 발생하는 단부 회전은 제품의 특성상 문제는 없다. 다만, 단부 회전량이 클 경우 지지보를 지지하는 스페리컬베어링의 이탈 혹은 편압에 의한 스페리컬 베어링의 파손 등이 문제가 될 수 있으므로 허용량으로 제한하고 있다.

(3) Pre - Setting량 산정

신축의 영향 인자 중에서 온도와 활하중에 의한 지점회전은 신장과 수축을 반복하는 반면, 크리프와 건조수축은 교량상부가 수축하는 방향으로만 발생하는 특성이 있다. 특히 크리프 및 건조수축의 영향이 큰 콘크리트교에서는 크리프와 건조수축에 비해 상부구조의 수축량이 신장량에 비해 크게 나타나므로 신축장치 설치시 온도 이외에도 재령에 따른 크리프, 건조수축을 고려한 Pre - setting량을 검토하는 것이 바람직하다.

우리현장의 사천교에서 적용된 것을 기준으로 Pre - setting량을 산정하여 보자.

- Girder가 완료되었을 때 고정단을 중심으로 제작평균재령은 A1축이 7.5개월, A2축이 2.5개월
- 신축이음설치는 Girder제작 완료 후 7개월(2001.10월 중순~하순경)
- 그러므로 A1축 = 7.5개월 + 7개월 = 14.5개월($\beta=0.179$)
A2축 = 2.5개월 + 7개월 = 9.5개월($\beta=0.242$) 이후에 일어나는 수축량을 감안하고
- 신축이음 설치시기(2001.10.24)의 48시간 평균온도는 15.7℃였다.
- (“별첨” 강릉지방기상대 일평균기온값 참조(현장은 강릉기상대보다 계절에 따라 1~2℃낮음))
- 활하중에 의한 보의 처짐에 대한 수축량은 미세하고 공사를 위한 중차량이 수개월동안 통과로 인해 이미 반영된 것으로 보고 Pre-Setting량에서는 제외하였다.

(계산결과)

구분	온도변화신축	크리프수축	건조수축	계(mm)
A1축 (1)	2.20	36.60	11.28	50.08
A2축 (2)	2.20	49.48	15.25	66.93

계산결과와 같이 우리현장 사천교의 신축이음 설치시기는 건조수축 및 creep수축이 진행되고 있는 중이고 설치시의 온도를 고려하면 아래 도표와 같이 기 선정된 신축 이음장치의 “a”값을 조정하여 설치하여야 한다. 그러면 수축이 끝나고 온도가 15℃일때를 가정하면 rail식 240mm의 신축이음장치에서 지정한 “a”값 300mm에 맞춰질 것이다.

Pre-setting시 “a”값 적용 (우측그림 참조)		
ABUT 1	300-50.08 = 249.92 mm	
ABUT 2	300-66.93 = 233.07 mm	

마. 신축이음장치의 시공

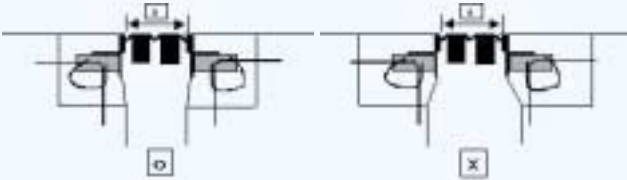
(1) 일반사항

신축이음장치의 제품선택은 교량공사 초기단계에서 결정하는 것이 바람직하며, 앞장에서 언급된 바와 같이 설계 신축량과 결정된 신축이음에 맞는 설계유간, 블록아웃의 크기 등 신축이음장치와 관련된 사항을 사전에 확인한다.

(2) 시공시 유의사항

- 1) 신축이음장치 설치시에는 슬라브 유간을 실측하여 온도변화 및 건조수축, Creep수축 등을 고려하여 설치하고 구조물의 유간은 가급적 각 제품에서 제시하고 있는 유간을 준수한다.

- 슬라브 유간 과다시 : 유간에 맞도록 설계보다 큰 규격의 신축이음장치를 설치하거나 슬라브를 약간 경사지게 시공하여 유간을 맞추는 방법을 적용하되 경사가 크면 신축이음이 차량하중을 지지하는데 불리하여 무수축콘크리트 상부에 횡균열이 발생하는 원인이 된다.



- 슬라브 유간 부족시 : I.L.M교량은 수축량이 커서 신축이음장치의 설치시 유간이 과다한 현상이 대부분이긴 하나 수축량의 계산오류로 인해 상부Girder의 연장이 길어지면 대책수립이 곤란하므로 유의해야 한다.

2) 제품설치를 위한 거푸집은 콘크리트의 다짐이 충분히 이루어질 수 있도록 튼튼하여야 하며, 블록아웃부로 굳지 않은 콘크리트가 흘러나오지 않도록 조치한다.

3) 블록아웃부의 교대철근 및 슬라브철근은 신축이음설치를 최대한 고려하여 설치한다. (교대철근은 일반적으로 포장 final level에서 5cm정도 피복으로 설계되어지나 교면포장시 철근주위의 다짐부족으로 향후 소성변형이 발생하며 신축이음설치시 대부분 절단 후 재시공되는 바, 피복을 충분히(10~15cm)하고 적정하게 배근하여 교면포장 후 블록아웃 치평작업을 어렵게 만드는 일이 없어야 한다.)

4) 신축이음장치는 교면포장면보다 2m/m정도 낮게 시공한다. 단, LMC포장은 교면포장과 동일하게 한다.

5) 기존 슬래브 및 교대에 노출된 철근은 최소 개소만 절단하여 설치하고 용접부위는 해머 타격시 떨어지지 않도록 용접장 5cm 이상으로 한다.

6) 콘크리트 타설방법

- 콘크리트 타설온도는 섭씨 5℃이상으로 한다.
- 무수축 콘크리트 초기 양생이 완료되기 전에 블록아웃 콘크리트의 미장작업을 실시하고, 균열이 발생되지 않도록 철저한 양생관리를 한다.
- 콘크리트를 다짐시 신축이음장치로 유입되지 않도록 한다.
- 신·구콘크리트 접합부를 깨끗이 청소후 정착제를 도포한다.

7) 양생방법

- 표면마무리 직후 양생포를 덮고 물을 충분히 가한 후 비닐을 덮는다.
- 최소 7일간 습윤양생을 실시하고 교통개방은 최소 7일후 강도 확인후 개방한다.

바. PSC BOX GIRDER의 실DATA에 대한 해석

(1) 개요

사천교(I.L.M)를 시공하면서 L/Seg.의 연장조정에서부터 상부공 완료, 신축이음의 설치 이후까지 온도변화 등 여러 요소에 의한 Girder의 변화상태를 직접 관찰함으로써(“별첨” 도표1 참조) 시방서에 표기된 콘크리트의 성질을 이해하며 시공에 직접 적용하였다.

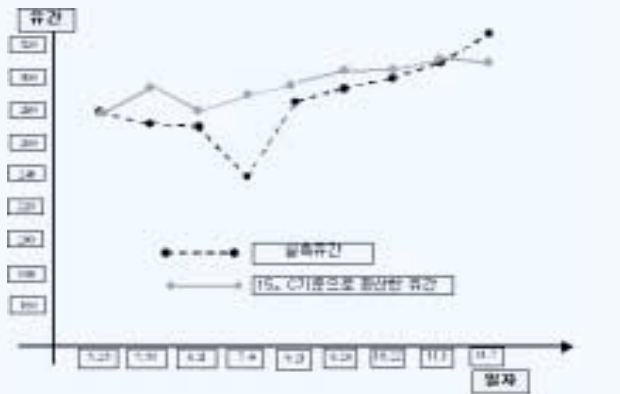
(2) Box girder의 신축량 분석

(“별첨” 도표1)은 PSC BOX GIRDER를 완료 후 온도변화에 따른 매일의 신장, 수축량을 측정한 결과이다.

측정방법은 교량받침(SHOE)콘크리트에 고정점을 마련하고 GIRDER의 변화량을 측정하였으며 4월26일 최초 측정일의 A1, A2의 신축이음부 유간은 별첨(도표1)에 나타난 바와 같다. 그리고 측정결과에 의한 유간의 변화량과 우리현장 인근에 위치한 강릉지방기상대의 일평균 기온값을 참고로 신축이음장치의 설치기준 온도인 15℃로 환산하여 아래 그래프에 표기하였다.

그래프의 결과를 토대로 본 장대교량의 신축이음장치 시공시 고려되어야 할 시방규정 및 계산값들이 현장에서 실제 나타난 결과와 얼마나 차이가 있으며 그 차이가 현장에서 무리없이 적용될 수 있는가를 검토하여 다음 교량시공을 위한 경험치로 활용코자 한다.

1) 하행선 A1축 GIRDER변화에 대한 비교분석 (그래프1)



(도표1)

월.일	5.23	5.31	6.21	7.4	9.21	9.26	10.22	11.1	11.7
실측유간	278	272	267	238	284	293	298	308	325
15℃기준으로 환산한 유간	277	294	279	284	294	304	304	309	306

· (별첨 도표1)에서 하행선 A1의 오전 8:00에 측정한 신축이음부 유간 적용
· (별첨 도표2)의 강릉지방기상대의 48시간 일평균온도 기준으로 15℃일때의 유간으로 환산하였음.
(예) 9월 21일= (19일+20일+21일)÷3 = 18.2℃ (별첨 도표2 참조)
$$\Delta L_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$
$$= 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot (18.2-15) \cdot 315 \cdot 10^3$$
$$= 10.1 \text{ mm} \quad \therefore 284\text{mm} + 10.1 \approx 294\text{mm}$$

- 현장조건 (하행선 A1축 GIRDER의 재령 및 저감계수)

L/SEG(3.20일)까지의 평균재령 : 7.5개월

5월 23일까지의 평균재령 : 9.6개월 ($\beta= 0.24$)

11월 7일까지의 평균재령 : 15.1개월 ($\beta= 0.174$)

① 건조수축에 의한 수축량

$$\begin{aligned} \Delta L_s &= 20 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot L \\ &= 20 \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot (0.24 - 0.174) \cdot 315 \cdot 10^3 \\ &= 4.16\text{mm} \end{aligned}$$

② 크리프에 의한 수축량

$$\Delta L_c = \frac{\pi}{E_c \cdot A_c} \cdot \varphi \cdot L \cdot \beta$$

$$= \frac{7963.96 \cdot 10^3}{2800 \cdot 8.764 \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot 315 \cdot 10^3 \cdot (0.24 - 0.174)$$

$$= 13.49\text{mm}$$

③ 2차강선 인장에 의한 탄성수축량

：4월29일 인장이 완료되어 5월23일 현재 수축이 종료된 것으로 간주함.

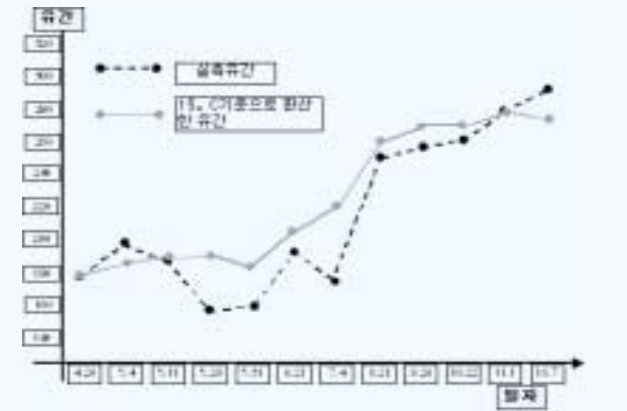
∴ 결과 ㉔ 시방규정에 의한 수축량 : ①+②+③ = 17.65mm

㉕ 현장실측에 의한 수축량(11월7일 - 5월23일)

306 - 277 = 29mm

차이 ㉔ - ㉕ = 17.65 - 29 = -11.35mm

2) 하행선 A2축 GIRDER변화에 대한 비교분석 (그래프2)



(도표2)

월.일	4.26	5.4	5.11	5.20	5.31	6.21	7.4	9.21	9.26	10.22	11.1	11.7
실측유간	176	197	187	157	161	193	176	249	257	261	278	291
15℃기준으로 환산한 유간	177	186	190	190	183	205	222	259	268	267	279	272

- 현장조건 (하행선 A2축 GIRDER의 재령 및 저감계수)

L/SEG까지의 평균재령 : 2.5개월

4월 26일까지의 평균재령 : 3.7개월 ($\beta=0.377$)

11월 7일까지의 평균재령 : 10.1개월 ($\beta=0.232$)

① 건조수축에 의한 수축량

$$\Delta L_s = 20 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot L$$

$$= 20 \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot (0.377 - 0.232) \cdot 315 \cdot 10^3$$

$$= 9.14 \text{ mm}$$

② 크리프에 의한 수축량

$$\Delta L_c = \frac{P_t}{E_c \cdot A_c} \cdot \varphi \cdot L \cdot \beta$$

$$= \frac{7963.96 \cdot 10^3}{2800 \cdot 8.764 \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot 315 \cdot 10^3 \cdot (0.377 - 0.232)$$

$$= 29.65\text{mm}$$

③ 2차 강선 인장에 의한 탄성수축량

$$\Delta L_e = \frac{P \cdot l}{E_c \cdot A_c}$$

$$= \frac{2.984.52 \cdot 315.0}{2.8 \cdot 10^6 \cdot 8.764}$$

∴ 결과 ㉔ 시방규정에 의한 수축량 : ①+②+③ = 77.09mm

㉕ 현장실측에 의한 수축량(11월7일 - 4월26일)

272 - 177 = 95mm

차이 ㉔ - ㉕ = 77.09 - 95 = -17.91mm

(3) 결과설명

1) 상기 (1), (2)항에서 언급한 하행선 A1,A2축 신축이음부 유간은 현장 실측결과 시간이 경과함에 따라 (그래프1, 2)에서 나타난 바와 같이 GIRDER가 꾸준히 수축하고 있음을 알 수 있고 A1, A2축 모두 시방서의 규정보다 많이 수축하였다. 실측기간이 길었던 A2축의 수축량은 11월7일까지 실측한 결과 시방규정보다 약 20%정도 (17.91mm) 많이 수축되었다. 수축량은 A1, A2축 공히 시방규정에 근접한 값이었으나 20~30mm정도 차이는 측정시간과 평균기온과의 불일치 및 콘크리트 배합의 차이, 2차강선의 인장오차 등으로 추측되고 유감스럽게도 상부 GIRDER 완료 후 즉시 신축량 측정에 임하였다면 보다 정확한 수축량을 알 수 있었음을 아쉽게 생각한다. 아울러 수축이 완전히 종료되지 않은 상태임을 첨언한다.

2) 상기 [도표1. 2]에서 5월31일~11월7일까지의 수축량은 A1축은 12mm(306 - 294), A2축은 89mm(272-183)로 상대적으로 재령이 짧은 A2축에서 수축이 많이 발생하였음을 알 수 있다.

3) 장대교량의 신축이음장치 설치는 설치여유량 30mm를 포함하여 수개월 후 pre - setting에 의해 조정이 가능하며, 각 제품의 신축이음장치마다 허용범위가 충분하므로 20~30mm정도 수축이 많이 발생한 것은 L/Seg의 조정, 압출시 유간조정, pre - setting 등 일련의 신축이음장치를 설치하는데 있어서 수축량을 시방규정대로 예상하고 시공함에는 문제없을 것으로 판단된다.

4) 결과적으로 (별첨 도표1)에서 11월 7일 현재의 사천교 A1, A2유간은 잔여 건조수축 및 Creep수축의 추가진행과 온도를 고려한다면 당 현장에서 선택한 제품의 rail식 240mm의 적정 유간("a")은 300mm에 근접하게 되어 가장 이상적인 유간이 형성될 것이다. 아래 사진은 우리현장 "사천교"의 신축이음장치를 설치하고 일정기간 경과 후 적정한 유간("a")을 유지하고 있는 장면이다.



사천교 A2하행선의 신축이음장치의 유간("a") ('01년 11월 20일 현재)



사천교 A1하행선의 신축이음장치의 유간("a") ('01년 11월 20일 현재)

4. 결론

가. 장대교량에서 신축이음장치 규격은 현장여건을 충분히 고려하지 못하는 설계의 한계로 인해 과다하게 설계되어 상당한 공사비가 손실되고 있으며 Rail식 신축이음장치의 경우 규격 240mm이상에서 하자발생이 많고 이로 인한 교량수명단축 및 보수 시 교통소통에 지장을 초래하는 점을 고려할 때 총 손실량은 더욱 크다 하겠다.

나. 신축이음장치의 규격이 630m의 ILM교량에서 240mm, 330m의 교량에서 160mm 이상을 적용한다면 일반적인 여건을 고려할 때 과대한 것이다.

다. 장대교량은 GIRDER의 신축량이 매우 커서 신축이음장치가 설치될 각 지점의 GIRDER에 대한 건조수축 및 CREEP수축, 2차강선 인장에 의한 수축 등을 재량별로 검토하여 적절한 유간을 확보하는 것이 매우 중요하다.

라. 실제로 기 시공되어진 대부분의 ILM교량은 연장에 비해 과다한 규격의 신축이음장치가 설치되었고 또한 GIRDER의 수축량을 정확히 예상하지 못하여 과다하게 벌어진 교대와 GIRDER사이의 유간에 기 선정된 규격의 신축이음장치를 무리하게 설치함으로써 부실을 초래하는 경우가 흔히 있다. 상기와 같은 문제점은 설계보다는 현장기술자의 검토부족에 기인된 것이므로 교량에 대한 관심과 기초교육이 필요할 것으로 사료된다.

사천교 상부Girder 신장, 수축량(유간) 측정

※ 매일 관측하였으나 지면관계상 일부만 표기함.

(별첨 도표1)

월.일	시간	온도 (℃)	수축,신축량(mm)				신축이음부 유간				비고
			상행		하행		상행		하행		
			A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	
5.23.	7:30	13.5	19	-24	-9	-58	159	246	185	278	
	16:00	14.5	21	-25	-7	-60	157	247	183	280	
5.30.	7:30	23	34	-26	27	-46	144	248	149	266	
	16:00	22	30	-24	28	-39	148	246	148	259	
5.31.	7:30	15	15	-36	15	-52	163	258	161	272	
	16:00	20	14	-38	14	-53	164	260	162	273	
6.21.	8:30	18	-24	-44	-22	-54	202	266	193	267	
	16:00	20	-15	-36	-15	-46	193	258	191	266	
6.22.	7:30	22	-21	-43	-19	-53	199	265	195	273	
	16:00	24	-13	-34	-10	-45	191	256	186	265	
7.4.	7:30	29	-2	-10	0	-18	180	232	176	238	
	16:00	39	10	0	9	-8	168	222	167	228	
11.7.	8:00	-1	-115	-104	-115	-105	293	326	291	325	

일평균값(기온 (℃))

(별첨 도표2): 강릉지방 기상대 발표

일자	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
1일	4.4	9.6	10.3	19.7	23.2	26.6	22.9	15.1	13.7
4일	-0.4	13.2	13.5	28.5	30.4	26.9	22.4	18.9	10.0
7일	1.3	11.2	16.8	18.9	25.1	27.5	21.7	16.2	8.0
11일	0.0	11.1	16.8	19.4	27.9	23.1	21.4	16.4	
20일	16.0	8.4	28.5	18.4	26.0	24.8	19.9	15.7	
21일	15.6	12.1	17.0	18.8	27.7	25.8	14.5	17.5	
22일	13.4	12.0	13.1	21.9	29.5	25.6	14.3	17.4	
23일	13.5	18.8	13.9	24.1	27.8	26.7	18.5	16.4	
26일	6.4	16.9	20.1	26.5	26.9	22.7	17.9	16.2	
31일	5.3		17.2		24.3	24.6		17.5	

※ 상기 (도표)는 강릉기상대의 강릉지방 일평균 기온이며 "사천교"현장의 기온은 계절에 따라 인근 강릉지방보다 1~2℃ 낮은 것으로 나타났다.