

Preloading 을 이용한 손상된 PSC Beam 교량의 보강 방안

유 용 민 · 박 중 면 · 장 석 윤
(서울시립대학교 토목공학과)

Repairs and Reinforcement Analysis of Damaged PSC Beam Bridges using Preloading

Yoo, Yong Min · Park, Jong Myun · Chang, Suk Yoon

ABSTRACT

In basic structures, bridge structures are increasing as economy develops. Design, construction and maintenance relating bridge structures are rapidly developing. Especially bridge structures using prestressing are designed and constructed for many kinds of structures such as expressways, industrial roads and circular expressways. But Because PSC beam bridges are different from steel structures and concrete structures in structural concept, this is designed and constructed differently. And it needs complete maintenance. When PSC beam bridges are damaged, this paper shows repair and reinforcement analysis using prestressing characters. In this paper, basic researches are achieved for repair methods of new form using preloading.

Key Words : Prestressing, PSC Beam, Repair, Reinforcement, Preload

1. 서 론

기간 시설물 중 교량 구조물은 경제 발전과 더불어 수요가 급속히 증가하고 있으며, 관련된 설계, 시공 및 유지관리 기술 또한 발전하고 있다. 특히 관련 교량 형식 중 프리스트레싱(Prestressing)을 이용한 교량구조의 경우 주요 고속도로 및 기간 산업도로,

대도시의 순환 고속화 도로 등 여러 종류의 구조형식으로 설계, 시공되고 있다⁸⁾. PSC 거더교는 높은 강성과 경제성을 지닌 우수한 형식으로 일반교량이나 고가교에 많이 건설되었다. 그러나 장기적으로 발생하는 건조수축과 크리프로 인하여 인장부 콘크리트에 균열이 발생하여 내하력이 급격하게 감소, 그 성능이 저하되는 경우가 빈번하게 발생

하고 있다. 이러한 PSC 거더의 성능저하로 인하여 콘크리트 슬래브에도 손상이 발생되어 교량의 기능을 상실하게 된다. 또한 PSC 교량의 문제는 사용하중으로 발생하는 처짐, 솟음과 응력으로 인한 프리스트레스 손실이다¹⁾.

구조 개념상 PSC 교량은 강구조물, 일반 콘크리트 구조물과는 다르게 설계, 시공되어야 하며 특히 철저한 품질관리 등 매우 다양한 형태의 기술력이 요구되고 있다. 또한 프리스트레싱을 사용하는 구조 특성상 일단의 손상이 발생할 경우 손상을 평가하고 복구하기 위한 보수, 보강에 관련하여 고도의 기술적 문제를 수반하게 된다. 이러한 교량은 현재 텐던을 양단에 고정하여 프리스트레싱을 주어 부 모멘트를 발생시킴으로써 국부적으로 보강하고 있으나 효율성이나 국부손상 등의 부작용을 피할 수 없고, 완벽한 보수는 비용 측면에서 거의 불가능하다. 균열을 막거나 노출된 스트랜드에 보호 코팅을 바르거나 파손된 콘크리트에 임시로 수리하는 보수 방법이 사용된다. 심각하게 손상을 입은 PSC 교량의 보수를 위해서는 잭킹(Jacking)과 외부 포스트 텐던을 사용하거나, 솟음을 회복시킬 수 있는 다른 방법을 적용시켜야 한다. 부서진 텐던은 일반적인 보수 방법으로는 완벽하게 고칠 수는 없다. 그러나 손실된 프리스트레스 힘은 손상된 거더에 외부 포스트 텐던을 사용함으로써 회복시킬 수가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하고 PSC 거더의 손상부위를 보수하고 성능을 향상시켜 내구성 있는 PSC 교량으로 재창출하고자 프리플렉션 방법에 의한 보수방법과 추가적인 텐던의 프리스트레싱으로 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 본 연구에서

적용한 방법은 PSC 교량의 거더 손상 시에 잭업(Jack up)장치를 이용하여 PSC 거더에 손상정도에 맞는 Preload를 가하여 손상부위를 보수한 후 Preload를 제거하여 PSC 교량에 추가적인 프리스트레스 없이 간단하게 원 상태로 보수할 수 있는 공법이다²⁾.

손상정도에 적합한 보수, 보강 방법을 실시하기 위해서는 손상 부위를 정확히 측정하여 손상정도를 결정하여야 한다. 본 연구에서 손상을 갖는 PSC 교량을 해석모델로 설정하였으며, 그 손상정도에 따른 거동특성을 파악하고 적절한 Preload를 제시하고자 한다.

2. 손상 정도에 따른 분류

프리스트레스 거더의 파괴 정도를 측정하는 것은 일반적으로 손상된 거더에 대한 정밀한 현장 검사, 변형률 및 균열 게이지 측정, 구조해석에 근거하여 판단할 문제이며, 원 설계 도면과의 비교도 필요하다. 본 논문에서는 손상 정도에 대해 다음과 같이 4가지로 구분하였다.

2.1 미소 손상

주로 교량의 콘크리트 부분에 입는 손상으로, 프리스트레스 스트랜드가 노출되지 않을 정도로 콘크리트가 부서지거나 미세한 균열이 발생하는 정도이다. 일반적으로 미소 손상은 구조해석이 필요하지 않고, 부서진 영역이 광범위할 경우 보통 에폭시 그라우트나 솟크리트 방법으로 보수한다.

2.2 부분 손상

스트랜드의 노출 정도가 광범위하게 부서지거나 플랜지에 균열이 미소 손상보다 더

큰 경우가 이에 해당한다. 간단한 보수와 Preload를 결정하기 위해서 구조해석을 통해 응력계산을 수행한다.

2.3 심각한 손상

플랜지 부분에 심각한 손실이 있거나 스트랜드가 상당할 정도로 변형된 손상으로 거더 전체에 걸쳐 발생한 손실과 노출된 균열, Web 부분의 상당한 손실로 인한 거더의 과도한 수평, 수직 불일치가 발생한 경우이다. 과하중이 지나치면 구조물에 대한 활하중을 제한해야 하며, 남아있는 스트랜드가 필요한 프리스트레싱 힘을 만족하지 못한다면 잭킹 또는 외부 포스트 텐던이나 거더 교체 등으로 프리스트레싱 힘을 회복하는 방법을 고려하여야 한다.

2.4 파괴 손상

심각한 손상보다 구조물에 더 치명적인 손상이 가해진 경우이다. 이러한 경우에는 제반 여건에 대하여 충분히 고려하여야 한다. 거더에 심한 피해 및 손상을 입은 경우 원 상태로의 보수는 거의 불가능하다.

3. Preloading에 의한 보수

Preloading에 의한 보수는 기존의 텐던을 양단에 고정하고 프리스트레싱을 하여 부 모멘트를 발생시킴으로써 국부적으로 보강하는 방법과는 달리 균열 상부에 손상 정도에 맞는 적정량의 Preload를 가하여 균열을 넓힌 후에 보수하는 새로운 방법이다. 이러한 방법은 손상된 프리스트레스 거더를 보수하는 동안 손상 부위에 일시적으로 수직하중을 작용시켜 프리스트레스의 추가 없이 거더를 원 상태로 회복시킬수 있다. 이를

위해서 거더에 손상되지 않고 남아있는 단면 특성을 계산하여야 하며 단면 감소로 인한 하부 플랜지가 최대 허용 압축 응력을 초과한다면 일부나 전체 프리스트레스 힘을 회복하기 위해서 허용 한계 내에서 보수하는 동안 적절한 Preload를 적용하여야 한다.

그림 1은 손상부와 지점부의 Preload를 적용시키는 방법을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 PSC 교량의 거더 손상 시에 잭업 장치를 이용하여 PSC 교량에 Preload를 가하여 거더 손상부위를 보수한 후, Preload를 제거하여 PSC 교량에 추가적인 프리스트레스 없이 간단하게 원 상태의 PSC 교량으로 보수하는 방법을 적용하였다.

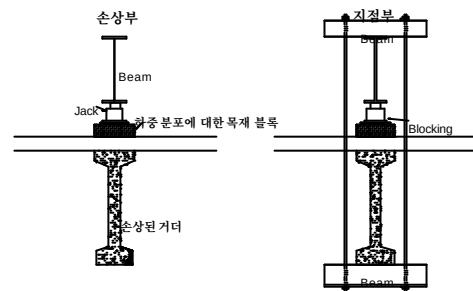


그림 1. 손상된 거더에 Preload를 적용하는 방법

Preload는 손상된 빔의 현장 보수 중 일시적으로 사용하는 잭킹하중으로 매우 간단하게 적용시킬 수 있는 공법이다. 프리스트레스 힘은 손상에 의한 감소와 프리스트레싱 스트랜드나 스트랜드 감소에 의해서 손실된다. 거더의 상태를 결정하기 위해서 손상 거더에 남아있는 단면의 감소 단면 특성이나 제 기능을 발휘하고 있는 스트랜드 수에 근거하여 구조해석을 수행하여야만 한다. 이러한 구조해석에 근거하여 손상정도에 맞는 적정량의 Preload를 적용하여 보수, 보강을 실시한다.

4. 해석모델 및 방법

그림 2는 본 연구에서 수행하고자 하는 PSC 교량의 해석모델로 순수거더, 외측 거더와 슬래브, 내측 거더와 슬래브 등에 대해 각각 응력을 검토하고 거동특성을 파악하여 Preload를 결정한다. 여기서, e_1 는 거더의 중립축에서 스트랜드까지의 거리, e_2 은 거더와 슬래브의 중립축에서 스트랜드까지의 거리로 정의하였다. 표 1에서는 각 부재의 단면특성을 문자로 정의하여 나타낸 것으로 A 는 면적, I 는 단면 2차 모멘트, Z 는 단면 계수를 의미한다.

$$\begin{aligned} f_d &= DL / g_z \\ f_i &= (LL + I) / g_s \\ f_b &= (s \cdot f_s) / g_a + (s \cdot f_s \cdot e) / g_z - f_i - f_d \quad (1) \end{aligned}$$

해석모델의 손상 전, 사하중과 활하중 및 충격하중 그리고 프리스트레싱에 의한 거더와 슬래브에서의 응력을 각각 구하여 거더의 하부에서 발생하는 총 응력 f_b 을 구하면 식(1)과 같다. s 는 스트랜드 개수, f_s 는 스트랜드의 최종 긴장력, DL 은 사하중 모멘트이며, $LL+I$ 는 활하중 및 충격하중 모멘트이다.

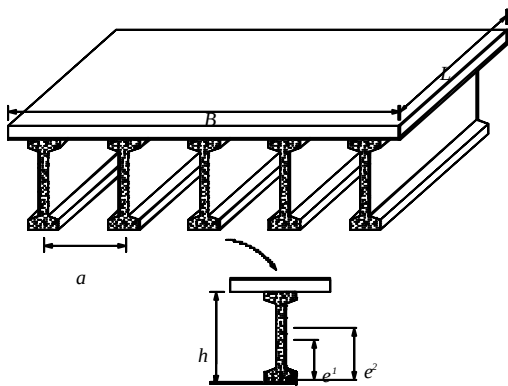


그림 2. PSC 교량의 해석 모델

표 1. 각 부재의 단면특성

부재	A	I	Z
거더	g_a	g_i	g_z
거더+슬래브	gs_a	gs_i	gs_z
손상된 거더	dg_a	dg_i	dg_z
손상된 거더+슬래브	dgs_a	dgs_i	dgs_z

4.1 부분 손상

활하중 및 충격하중에 의한 응력 f_i 가 설계하중 작용시 허용 인장응력 f_{dat} 을 초과하면 거더의 하부에 인장균열이 발생할 수 있다. 여기서, f_{ck} 는 콘크리트의 설계기준 강도이다.

$$f_i = (LL + I) / g_s \quad (2)$$

$$f_{dat} = 1.60\sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

$$f_{dac} = 0.40f_{ck} \quad (4)$$

균열이 진전되는 것을 막기 위해서는 보수, 보강을 수행하여야 하며, 이 때 프리스트레싱과 사하중이 손상된 거더와 슬래브에 작용할 경우 발생하는 응력을 각각 식(5)와 식(6)과 같이 구하여 검토한다. 계산된 응력이 허용 인장응력 f_{pat} 를 초과한다면 추가적인 프리스트레싱을 도입하여야 한다.

$$\begin{aligned} f_{p_1} &= (s \cdot f_s) / dg_a + (s \cdot f_s \cdot e_1) / dg_z \\ f_{d_1} &= DL / dg_z \\ f_{girder} &= f_{p_1} + f_{d_1} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{p_2} &= (s \cdot f_s) / dgs_a + (s \cdot f_s \cdot e_2) / dgs_z \\ f_{d_2} &= DL / dgs_z \\ f_{girder+slab} &= f_{p_2} + f_{d_2} \quad (6) \end{aligned}$$

$$f_{pat} = 0.8\sqrt{0.8f_{ck}} \quad (7)$$

$$f_{pac} = 0.55 \times 0.8 f_{ck} \quad (8)$$

$$f_{preload} = 4M / L \quad (9)$$

$$f_i = (LL + I) / g s_z$$

$$f_{post} = f_{pt} + f_i \quad (10)$$

허용 응력을 초과하지 않는 경우에는 추가적인 프리스트레스가 필요하지 않다. 사하중, 활하중 및 충격하중, 프리스트레싱에 의해 손상된 거더 하부에서 발생하는 응력을 검토하여 적절한 모멘트 M 을 설정한다. 모멘트 M 에 의해 보수, 보강시 필요한 Preload의 크기를 식(9)와 같이 결정한다. 결정된 $f_{preload}$ 에 의해 손상된 거더의 하부에 적절한 압축강도를 유지하도록 한다.

4.2 심각한 손상

심각한 손상은 스트랜드가 파손되고, 프리스트레싱이 손실된 경우로, 보통 포스트 텐션에 의해 보수, 보강을 수행한다. 본 연구에서는 포스트 텐션 하중과 활하중 및 충격하중에 의한 응력을 검토하고 추가 균열이 더 이상 발생하지 않도록 Preloading에 의한 PSC 교량의 거동특성을 파악하고자 한다.

여기서, P_t 는 포스트 텐션 하중, e_p 는 중립축에서 포스트 텐션까지의 거리를 의미한다. 포스트 텐션과 활하중 및 충격하중에 의한 응력 f_{post} 가 허용 인장응력 f_{dat} 보다 크게 발생하면 보수할 부위에 균열이 발생할 수 있다. 포스트 텐션 하중을 적용하여 압축응력이 발생하도록 유도하여도, 손상에 의해 거더의 하부에 인장응력을 줄일 수가 없다는 것이다. 그러므로 f_{post} 를 손상전 거더의 하부에서 발생한 응력 f_b 로 감소시키고, 더 이상의 균열이 진전되지 않도록 Preloading를 적용한다.

$$f_{preload} = 4(f_{pt} + f_i + f_b) \cdot g s_z / L \quad (11)$$

식(11)에서 구한 Preload를 적용하여 보수하면 응력을 f_b 로 감소시킬 수 있다.

5. 해석 및 결과분석

본 논문에서 적용한 해석단면은 그림 2와

$$f_{pt} = P_t / g s_a + (P_t \cdot e_p) / g s_z$$

표 2. 손상정도에 의한 단면특성치

구 분	손상정도	A, cm^2	I, cm^4	Z, cm^3
거더	0.2%	6,705	32,939,240	342,597
	0.4%	6,687	32,811,440	340,402
	1.0%	6,644	32,444,680	334,138
외측 거더+슬래브	0.2%	11,551	71,309,730	491,759
	0.4%	11,537	71,014,300	488,995
	1.0%	11,494	70,157,390	481,013
내측 거더+슬래브	0.2%	11,326	70,251,740	488,989
	0.4%	11,312	69,961,820	488,239
	1.0%	11,269	69,121,020	478,297

같이 $L=30m$, $h=2m$, $a=2.1m$ 인 PSC 교량으로, 거더의 콘크리트 설계기준 강도는 $f_{ck}=400\text{ kg/cm}^2$ 이다. 여기서, 스트랜드의 개수 $s=4$ 이고, 스트랜드의 최종 인장력은 $f_s=152.566\text{ ton}$ 이다. 표 2는 손상정도에 따

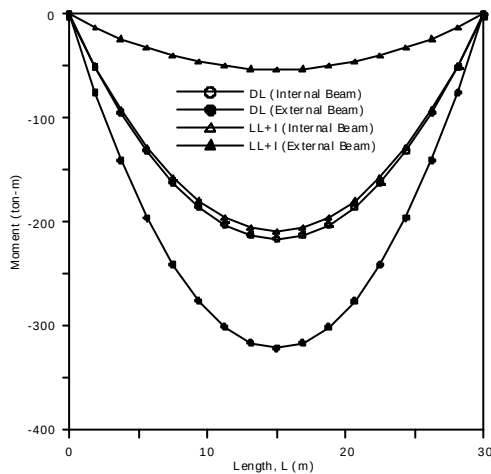


그림 3. 시간에 따른 모멘트 분포

른 단면특성을 나타낸 것이다. 손상을 입지 않은 경우를 기준으로 0.2%, 0.4%, 1.0%의 손상정도에 대하여 해석을 수행하였다.

그림 3은 PSC 교량에 작용하는 모멘트의 시간에 따른 분포를 나타낸 것이다. 시간 30m 인 PSC 교량을 8구간으로 설정하여 각 구간에서 외측, 내측 Beam에 대한 사하중 모멘트 DL 와 활하중 및 충격하중 모멘트 $LL+I$ 를 구하였다. 그림에서 보듯이 사하중과 활하중 및 충격하중에 의한 모멘트는 외

표 3. 최대 휨모멘트 단위 : $\text{ton} \cdot \text{m}$

구 분	외측 Beam	내측 Beam
DL	321.26	215.94
$LL+I$	52.921	204.37

측 Beam에서 큰 차이를 보이고 있으며, 내측 Beam에서는 유사한 분포를 나타내고 있다.

표 3은 교량의 중앙점에서 발생하는 최대 휨모멘트를 표시한 것이다. 표 4는 손상이 발생하지 않은 교량의 외측과 내측

표 4. 거더의 하부에 발생하는 응력 단위 : kg/cm^2

구 분	외측 Beam	내측 Beam
f_d	-93.248	-62.678
f_i	-10.051	-39.000
f_s	225.393	225.393
f_b	122.094	123.715

Beam 하부에서 발생하는 응력 f_b 를 식(1)에 의해 계산하여 나타낸 것이다. 거더하부에서 압축거동을 보이고 있다.

5.1 부분 손상

손상된 거더 하부에서 추가적으로 작용하

표 5. 활하중 및 충격하중에 의한 응력 단위: kg/cm^2

구분	외측 Beam	내측 Beam
f_i	-10.051	-39.000
f_{dat}	-30.000	-30.000

는 활하중 및 충격하중에 의한 응력 f_i 과 허용 인장응력 f_{dat} 을 식(2), (3)을 이용하여 구하였고, 표 5에 표시하였다.

표에서 보듯이 외측 Beam에서는 활하중 및 충격하중에 의한 응력이 허용 인장응력보다 작기 때문에 균열이 발생하지 않지만, 내측 Beam에서는 작용응력이 허용 인장응력을 초과하므로 균열이 발생할 수 있다. 이러한 균열이 진전되지 않도록 하기 위해서 손상전후의 응력분포를 분석하고 그에 맞는 보수를 수행하여야 한다.

내측 Beam에서 손상정도에 따라 프리스트레스와 사하중 모멘트에 의한 거더와 슬

표 6. 내측 Beam의 응력

단위: kg/cm^2

손상정도	f_{girder}	$f_{\text{girder+slab}}$	f_{pac}
0.2%	163.6	164.0	176
0.4%	164.6	164.5	
1.0%	167.7	167.7	

래브의 응력 f_{girder} , $f_{\text{girder+slab}}$ 의 거동을 파악하고, 허용압축응력 f_{pac} 과 비교하여 표 6에 나타내었다.

모든 경우에서 허용 압축응력을 초과하지 않고, 인장응력이 발생하지 않으므로 추가적인 프리스트레스가 필요하지 않다. 따라서 Preload방법으로 보강시 작용하는 모든 활하중 및 충격하중을 고려하여 f_{preload} 를 결정한다.

그림 4는 프리스트레스와 사하중에 의해 내측 Beam에 발생하는 거더의 응력, 거더와 슬래브의 응력을 손상정도에 따라 응력분포를 나타낸 것이다. 거더만이 아닌 슬래브의 단면특성까지 고려한 경우 손상전·후 가장 큰 응력변화를 나타내고 있으며, 손상전과 1.0%의 손상정도를 갖는 경우를 비교하면

7.3%의 거동차이를 보인다. 그림 5는 내측 Beam의 손상정도에 따른 프리스트레스와 사하중에 의한 각각의 응력분포를 나타낸 것이다. 손상정도에 따라 단면의 중립축과 단면특성값이 변화하여 프리스트레스에 의한 응력의 변화가 크게 발생한다.

거더와 슬래브에서 손상정도에 따른 응력분포의 특성을 파악하였으며, 결정된 거더당 Preload는 $f_{\text{preload}} = 27.3\text{ton}$ 이다.

손상된 거더와 슬래브는 손상정도가 커질수록 단면의 중립축이 상향조정되고, 단면 특성치가 작아지므로, 사하중 및 프리스트레스에 의한 응력이 크게 발생한다. 단부보다는 교량의 중앙부에서의 손상정도에 따른 거동차이가 크게 나타난다. 부분손상시 보수를 위해 PSC Beam 교량의 거더에 작용할 f_{preload} 는 활하중 및 충격하중에 비례하며 거더의 길이에 반비례한다. 따라서 재하하중의 모멘트에 따라 적절한 Preload를 거더에 적용함으로써 충분한 보수, 보강을 수행할 수가 있다.

5.2 심각한 손상

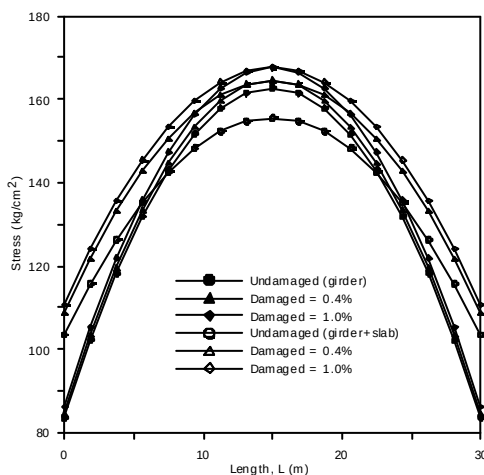


그림 4. 프리스트레스와 사하중에 의한 거더, 거더+슬래브의 응력분포

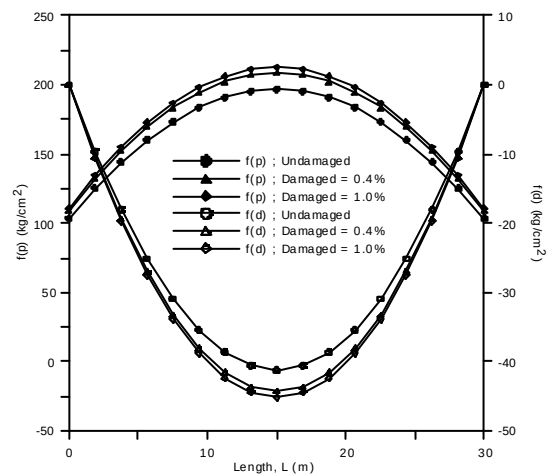


그림 5. 프리스트레스와 사하중에 의한 거더+슬래브의 응력분포

부분 손상과는 달리 스트랜드 파손등의 손상을 입은 거더와 슬래브에서는 응력 재분배가 발생하고, 프리스트레싱이 재기능을 상실하게 된다. 포스트 텐션과 Preloading을 병행하며, 그에 따른 거동특성을 파악하고 적절한 Preload를 제시하고자 한다. 본 절에서 부분손상시 고려한 내측 Beam을 해석모델로 포스트 텐션 하중 $P_t = 30.0 \text{ ton}$ 이고, 거더 하부에서 포스트 텐션 작용점까지의 거리는 60 cm 으로 설정하였다. 또한 차량증가로 인해 활하중 및 충격하중에 의한 모멘트가 1.5배 증가하였다고 가정한다.

내측 Beam에서 포스트 텐션 하중과 증가된 활하중 및 충격하중에 의해 조합된 응력은 다음과 같이 $f_{post} = -51.12 \text{ kg/cm}^2$ 이며, 허용 인장응력은 30 kg/cm^2 이다.

$$f_{pt} = \frac{30000}{11537} + \frac{30000 \times 84.82}{524022} = 7.38 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_i = \frac{30655500}{524022} = -58.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{post} = f_{pt} + f_i = -51.12 \text{ kg/cm}^2$$

외부 포스트 텐션을 주어도 허용 인장응력을 21.12 kg/cm^2 초과하므로 거더하부에 균열이 발생하게 된다. 무리하게 포스트 텐션 하중을 증가시키면 정착부 부근의 응력 집중으로 압축균열이 발생할 수 있다. 또한 파열응력(bursting stress)과 할렬응력(spalling stress)이 매우 크게 발생하여 인장균열을 일으켜 역효과를 보일 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 Preload방법에 의해 포스트 텐션과 병행하여 안정적으로 구조체를 형성할 수 있다.

표 7, 8은 각각 내측 Beam에서 거더, 거더+슬래브의 프리스트레스와 사하중에 의한

표 7. 거더의 응력변화 단위 : kg/cm^2

손상정도	f_{p_1}	f_{d_1}	f_{girder}
0.2%	113.29	-63.03	50.26
0.4%	114.03	-63.44	50.60
1.0%	116.16	-64.63	51.53

표 8. 거더+슬래브의 응력변화 단위 : kg/cm^2

손상정도	f_{p_2}	f_{d_2}	$f_{girder+slab}$
0.2%	104.09	-44.16	59.93
0.4%	104.35	-44.23	60.13
1.0%	106.41	-45.15	61.26

응력변화를 나타낸 것이다. 스트랜드 2개 파손으로 프리스트레싱이 크게 손실되었고, 거더 하부에서는 파손전 응력과 비교하여 64% 이상의 압축응력 감소를 보이고 있다. 또한 f_{girder} 와 $f_{girder+slab}$ 는 스트랜드 파손전 비슷한 응력분포를 보인 반면 파손된 후 대략 16.67% 정도의 응력차이가 발생하였다. 그림 6은 프리스트레스와 사하중에 의한 거더 하부의 응력분포를 나타낸 것이다.

포스트 텐션 하중과 활하중 및 충격하중에 의해 발생한 응력 51.12 kg/cm^2 을 최소한 허용 인장응력 30 kg/cm^2 내로 감소시켜야 한다. 그에 적절한 Preload 하중은 다음과 같이 결정하였으며, 거더 당 14.76 ton 이상을 재하시켜 보수할 수 있다.

$$f_{total} = f_{dat} - f_{post} = 21.12 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = f_{total} \times g s_z = 11067344.64 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$f_{preload} = 4M / L = 14.76 \text{ ton}$$

그림 7은 손상정도에 따라 Preload에 의해 보수시 거더의 하부에서 발생하는 응력의 변화를 나타낸 것이다. 보수하는 동안 Preload는 거더에 인장응력은 주며, 압축응력은

표 9. 손상된 거더의 Preload에 의한 응력변화

단위 : kg/cm^2

f_{preload}	손상정도	Preload의 인장응력	거더의 압축응력
14.76 ton	0.2%	22.639	27.625
	0.4%	22.673	27.925
	1.0%	23.145	28.387
19.76 ton	0.2%	30.307	19.956
	0.4%	30.354	20.245
	1.0%	30.985	20.547
24.76 ton	0.2%	37.976	12.287
	0.4%	38.035	12.564
	1.0%	38.825	12.706
29.76 ton	0.2%	45.645	4.6179
	0.4%	45.715	4.8833
	1.0%	46.666	4.8660

그만큼의 거더에서 실질적으로 받는 응력이 다. 심각한 손상에서 Preload 크기는 포스트 텐션 하중 P_t 에 반비례하며 활하중 및 충격 하중에 대해서 비례관계를 나타내고 있다. 또한 포스트 텐션만으로 보수·보강을 수행하기가 어려우므로 Preload를 추가로 적용하여 수행하여야 한다.

6. 결론

기존에 사용되었던 보수·보강방법은 손상된 단면을 그대로 유지한 상태에서 손상부위를 보수하므로, 단면 손상에 의한 단면특성치의 감소로 인하여 보강후의 안전도를 확신할 수 없었다. Preload는 손상부위를 보

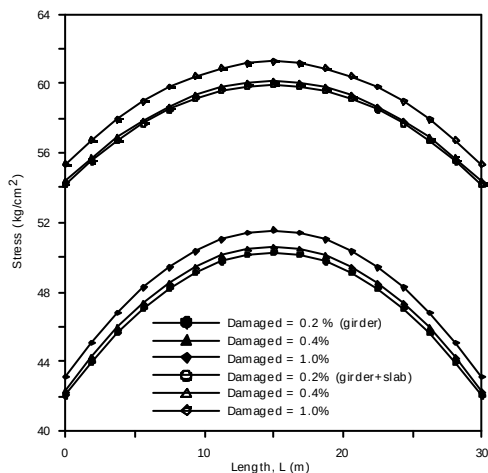


그림 6. 프리스트레스와 사하중에 의한 거더, 거더+슬래브의 응력분포

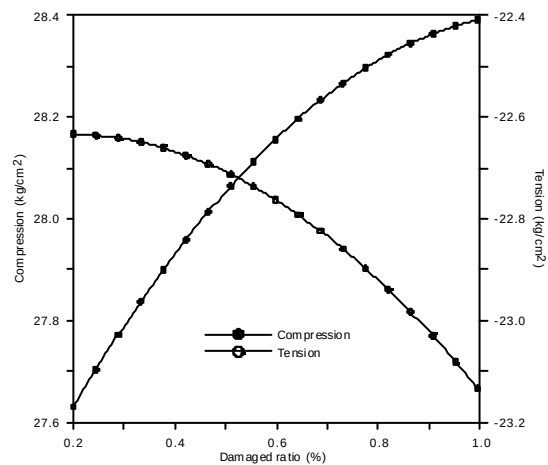


그림 7. 심각한 손상시 Preload에 의한 거더하부의 응력변화

수하는 동안 거더에 적절한 응력상태를 유지시켜주어 교량의 수명을 연장 할 수 있는 장점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 부분 손상과 심각한 손상이 발생한 교량의 거더에 Jacking에 의한 Preload를 가하여 손상부위를 보수한 후 Preload를 제거하여 원 상태의 교량으로 보수하는 방법을 제시하고, 그에 따른 거동특성을 분석하였다.

본 논문에서 해석·제시한 바와 같이 부분 손상에서는 거더와 슬래브의 응력이 모두 허용 응력을 초과하지 않고, 충분한 압축응력을 유지하고 있으므로 Preload는 모든 활하중 및 충격하중을 고려할 수 있다. 심각한 손상에서는 스트랜드의 국부적인 파손으로 프리스트레싱이 손실되어 추가적인 포스트 텐션 하중이 요구되며, 그에 적절한 Preload를 손상된 거더에 적용하여 보수, 보강을 수행하여야 한다. 이 때의 Preload는 외부하중에 대해서 포스트 텐션과 병행하여 거더하부의 응력이 압축거동을 나타내도록 적절히 크기를 조절, 확보하는 것이 유리하다. 본 연구에서 제시한 Preload, 손상정도에 따른 PSC 교량의 거동특성은 교량의 보수, 보강을 수행하는데 있어서 참고자료로 큰 도움을 줄 것을 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의해서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(1995), "외부프리스트레스를 도입하는 구조물의 설계 및 시공

에 관한 연구"

2. 동아건설기술연구서(1997), "PC교량의 내하력평가법의 적용기준 연구보고서"
3. 사단법인 한국도로교통협회(1999), "도로교 표준 시방서"
4. 사단법인 한국도로교통협회(2000), "도로교 설계 기준"
5. 건설교통부(1996), "도로교 표준시방서"
6. 건설교통부(1999), "콘크리트 구조설계기준"
7. 건설교통부(2000), "도로교 설계기준"
8. 정선국도유지건설사무소(2001), "국도 38호선 하정1교 정밀안전진단 용역보고서"
9. Edwin H. Gaylord, Jr., Charles N. Gaylord and James E. Stallmeyer, "Structural Engineering Handbook"
10. Leslie G. Jaeger and Baidar Bakht, "Bridge Analysis by Microcomputer"
11. E. C. Hambly, "Bridge Deck Behaviour"
12. Demetrios E. Tonias, "Bridge Engineering"
13. Conrad P. Heins, Richard A. Lawrie "Design of Modern Concrete Highway Bridges"
14. C. P. Heins, D. A. Firmage "Design of Modern Steel Highway Bridges"
15. Micheal P. Vollinsd, Dens Mychell, "Prestressed Concrete Structures"