



재하방법에 따른 프리플렉스빔의 역학적 거동에 관한 연구

방한서* · 주성민** · 김규훈** · 안해영***

*조선대학교 항공·조선공학부
**조선대학교 대학원 선박해양공학과
*** (주)삼현 P.F

A Study on the Mechanical Behavior of Preflex Beam under Different Preflexion Loading Conditions

Han-Sur Bang*, Sung-Min Joo**, Kyu-Hun Kim** and Hae-Young An***

*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University, Gwangju 501-719, Korea
**Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate school of Chosun University, Gwangju 501-719, Korea
***SAMHYUN P.F Co. Ltd, Seoul 138-858, Korea

Abstract

Since the preflex beam is fabricated by welding, the pre-compressive stresses that should occur over the concrete pier are diminished by the welding residual stresses. For this reason distribution of welding residual stresses must be analyzed accurately and welding residual stresses should be relieved during the fabrication.

In this study strain history, displacement of beam and re-distributed welding residual stresses by different loading conditions are measured and compared to choose more appropriate preflex condition.

* Corresponding author : hsbang@chosun.ac.kr

(Received April 3, 2003)

Key Words : Preflex beam, Preflexion load, Welding residual stress relief, Plastic strain

1. 서 론

프리플렉스빔은 강재와 콘크리트의 합성형 부재로 프리플렉스빔의 콘크리트케이싱부에 미리 압축의 초기 응력을 지니게 하여 취성재료인 콘크리트가 인장응력에 저항하도록 하는 공법이다.

이 공법에서는 빔 제작시 프리플렉션하중을 가하고 콘크리트를 타설, 양생한 후에 하중을 제거함에 따라, 설계단계에서 의도된 초기압축응력이 정확히 빔 내부에 발생되어 사용하중과 서로 상쇄되도록 하는 것이 가장 중요하지만, 프리플렉스거더의 제작 중에 필연적으로 발생하게 되는 용접에 의한 잔류응력의 영향으로 프리플렉션하중이 불균일하고 부정확하게 부재 내부로 가하여지고 비선형적으로 거동하게 되어 초기응력 역시 불균일하게 발생되고 일부는 소실된다.

따라서 콘크리트 케이싱부에 정확한 압축응력(프리스트레스)을 발생시키기 위해서는 용접잔류응력의 완화공정이 필요하며 이에 본 연구에서는 실물 프리플렉스빔을 시험편으로 하여 프리플렉션하중을 1회와 2회에 걸쳐 재하 및 제거하는 공정을 재현하고, 각각의 경우에서의 변위 및 스트레인 거동과 잔류소성변위량, 재하실험 후의 내부응력분포를 비교하여 프리플렉스빔 제작시의 보다 효과적인 프리플렉션 하중 조건을 선정하고자 하였다.

2. 연구 목적 및 방법

본 연구는 프리플렉스빔 내의 불균일한 프리스트레스를 발생하게 하는 가장 중요한 원인이 되고 있는 용접 잔류응력을 제거하기 위한 수단인 프리플렉션하중의 효율적인 재하조건을 선정하기 위하여, 두 개의 실물 시험편을 동일한 크기와 방법으로 제작하여 프리플렉션하중

Table 1 The contents of experiment and measurement

Specimen	Experiment	Measurement
1	Loading and releasing the preflexion load (80% of base metal yield strength) once.	<ul style="list-style-type: none"> · deflection after loading · permanent deflection · strain history · redistributed welding residual stresses
2	Loading and releasing the preflexion load (80% of base metal yield strength) twice.	<ul style="list-style-type: none"> · deflection after loading after 1st loading · permanent deflection after 1st releasing · deflection after loading after 2nd loading · permanent deflection after 2nd releasing · strain history · redistributed welding residual stresses

을 재하하고, 처짐 및 변형 발생과 잔류응력이 완화되어 재분포되는 정도를 평가, 비교하여 프리플렉스빔 제품의 안전성과 신뢰성을 효과적으로 보장할 수 있는 재하 및 제거 조건을 선정하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 프리플렉스빔을 제작할 때 현장 용접조건과 동일한 용접법(Submerged arc welding, 이하 SAW)과 용접조건(35V, 700A, 4.5cm/min)으로 2개의 실험용 시편(시편 1, 시편 2)을 용접하여 준비하고, 각각의 시험편에 대해 변위량 계측지점(빔의 중심부와 재하점)에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 시험편의 상부 플렌지로부터 복부를 거쳐 하부 플렌지에 이르는 빔표면의 변형률(strain)계측을 위해 시험편의 중심부에는 한 시편당 최소 40개소에 스트레인게이지를 부착한 후, 하중의 증감에 따른 빔의 처짐과 변형률을 측정하였다.

프리플렉스빔의 용접잔류응력을 제거하기 위한 프리플렉션하중이 부하되는 과정을 재현하기 위해 1000톤 용량의 대형 UTM 시험기를 사용하여 각각의 시험편의 상하 플렌지 표면에 모재 항복강도의 80%에 해당하는 크기의 굽힘응력이 발생하도록 하중제어방식으로 프리플렉션 하중을 가하였으며 재하속도는 현장작업조건과 동일하게 하여 5tonf/min으로 하였다.

실험에 사용된 모재의 재질은 전부 SM490A이며 SAW용접에 사용된 플럭스와 와이어의 화학조성과 기계적 성질을 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

재하점과 지지점 및 게이지의 부착위치는 Fig. 1과 Table 4와 같다.

Table 2 Chemical composition of flux and wire

(1) flux					
Chemical composition of flux (wt%)					
SiO ₂ +TiO ₂	CaO+MgO	Al ₂ O ₃ +MnO	CaF ₂	FeO	ZrO ₂
50	10	20	5	5	-
(2) wire					
Chemical composition of wire (wt%)					
C	Si	Mn	P	S	Cu
0.11	Tr.	1.98	0.017	0.012	0.045

Table 3 Mechanical properties of filler metal

Tensile test			
YP(kgf/mm ²)	TS(kgf/mm ²)	EL(%)	RA(%)
48.2	53.7	33.2	72.2
min. 40.8	49.3~66.8	min. 22.0	—

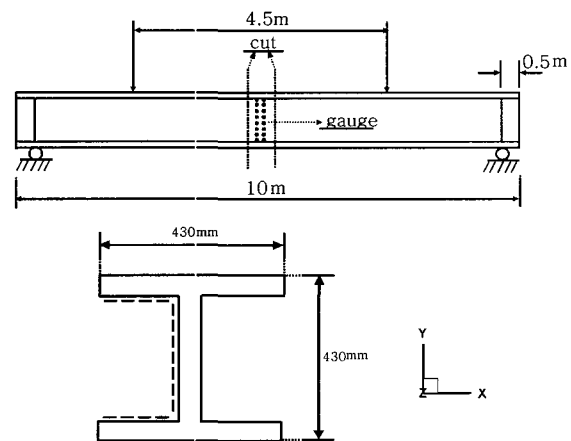


Fig. 1 Schematic view of loading point and location of strain gage

Table 4 gaging point

	Attached point of gage (from the end of bead) [mm]
Upper and lower flange	5, 10, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 130, 160
Web	5, 10, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 130, 160, 180, 210, 240, 260, 275, 310, 320, 330, 335

3. 실험 및 계측결과 분석

3.1 1회 재하시편 실험 및 계측결과 분석

Fig. 2는 시편 1의 변위거동을 나타낸 그림이다. 그림에서 실선이 빔의 중앙부에 대한 하중-변위 곡선이며 점선으로 나타낸 것이 재하지점의 하중-변위 곡선이다. 하중이 도달치인 122.84tonf에 달하였을 때의 변위량

은 중앙점이 54.72mm, 재하점이 40.53mm이었으며, 작용된 하중의 크기가 항복강도의 80%이지만 잔류응력의 영향으로 하중을 제거한 후에도 중앙점에서 3.91mm, 재하점에서 3.02mm의 잔류(소성)변형량이 발생하였다.

Fig. 3은 시편 1의 하부플렌지의 용접비드 끝단에서부터 바깥방향까지 순차적으로 위치한 게이지의 변형률 변화를 나타낸 것으로 프리플렉션하중이 가해짐에 따라 하부플렌지에는 인장변형이 발생하는 것을 보여주고 있다. 이때 하중이 목표치에 도달하였을 때의 최대변형률 값을 Fig. 4에 그래프화하였다. 계측된 최대 변형률값은 1,210으로 응력값으로는 25.41kgf/mm²에 해당하고 계측된 최소값은 1015로 21.34kgf/mm²의 응력에 해당한다.

Fig. 5은 프리플렉션하중이 0부터 최대값까지 변화할 때 아래플렌지의 각 위치에서의 변형률 변화를 분석한 것이며 용접비드 근처에서 값의 변동이 심하고 하중이 증가하면서 경향은 더 심해지는 모습이다.

Fig. 6는 동일한 방법으로 빔의 복부에서 하중증가에 따른 변형률 변화를 분석한 것으로 중심부를 기준으로 하부로 갈수록 인장변형률이, 상부로 갈수록 압축의 변형률이 선형적으로 증가하는 모습을 볼 수 있으며 빔의 중간지점인 215mm 지점에서 중립축이 형성되고 있는

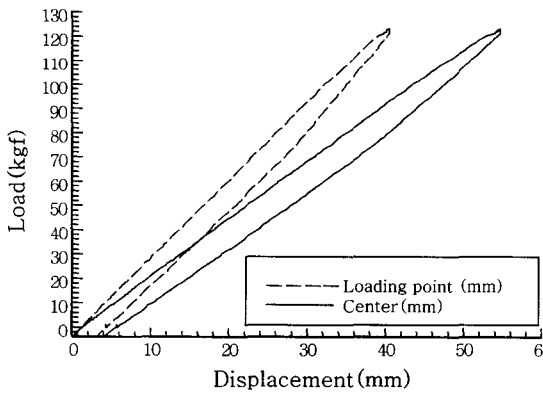


Fig. 2 Load-deflection curve of specimen 1

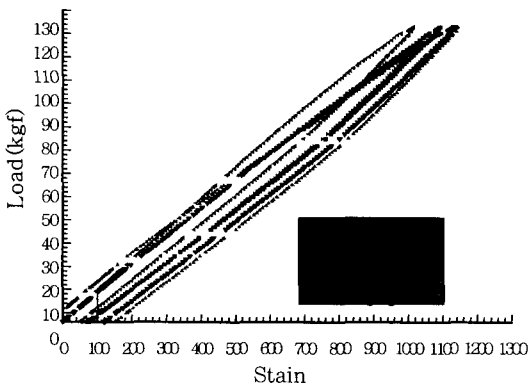


Fig. 3 Load-strain curve of specimen 1

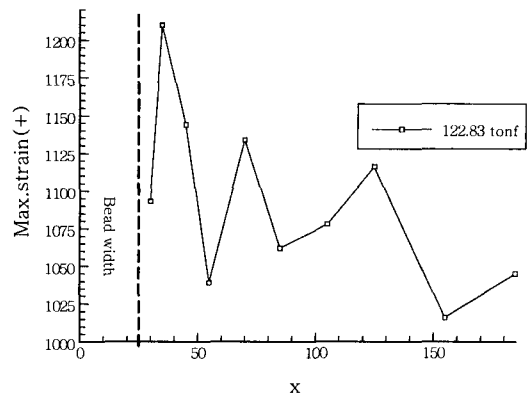


Fig. 4 Tensile strains of lower flange at maximum load

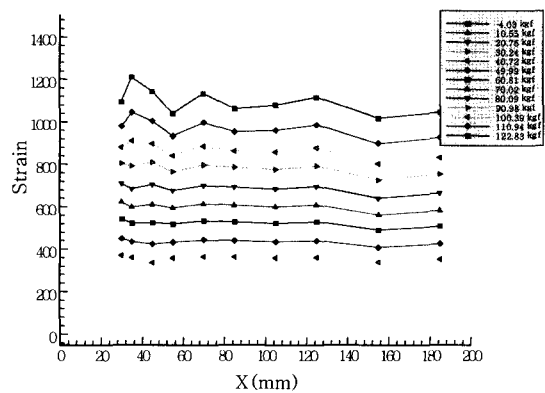


Fig. 5 Strain variation by loading (lower flange)

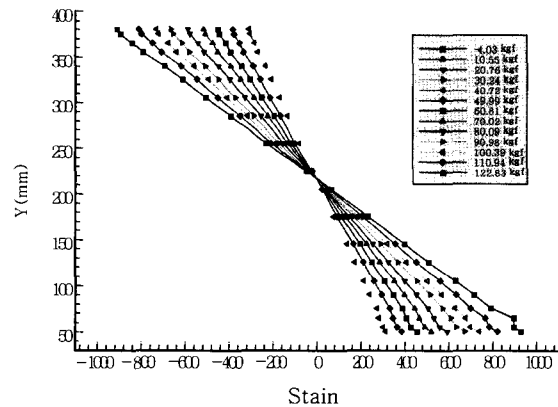


Fig. 6 Strain variation by load (web of specimen 1)

것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 시험체에 대한 재하실험이 완료된 후에 절단법으로 계측한 값들이다.

3.2 2회 재하시편 실험 및 계측결과 분석

Fig. 8은 시편 2의 하중-처짐량 선도이다. 실선이 프리플렉스빔의 중앙부의 처짐량 선도이며, 점선이 재하점에서의 하중-처짐량 선도이다.

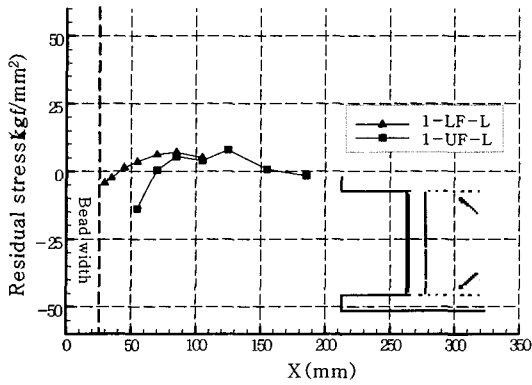


Fig. 7 Welding residual stresses of lower and upper flange (longitudinal component of specimen 1)

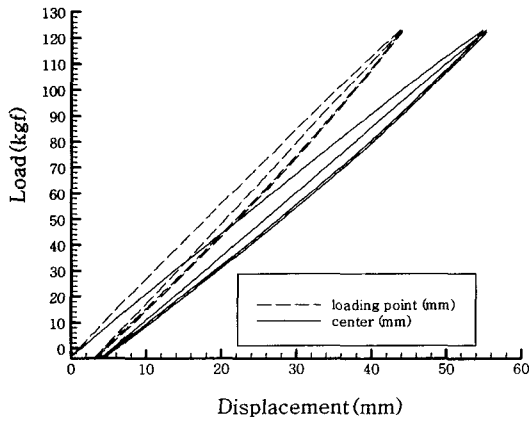


Fig. 8 Load-deflection curve of specimen 2

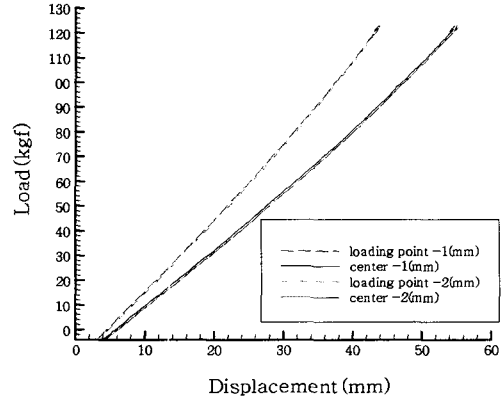


Fig. 9 Load-deflection curve of 1st and 2nd releasing (specimen 2)

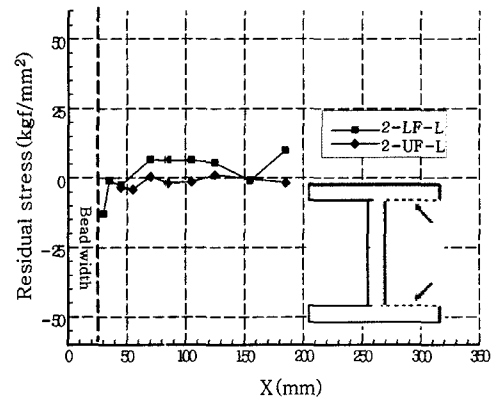


Fig. 10 Welding residual stresses of lower and upper flange (longitudinal component of specimen 2)

Fig. 9는 1회재와 2회재의 최대하중점에서 제거될 때의 이력만을 도시한 것으로 결국 80%의 하중에서는 추가변위가 발생하지 않으며 정확히 거동이 일치하고 있음을 알 수 있다.

1회재의 하중이 가하여질 때 시편 2의 최대변위는 하중 122.76ton일 때 재하점이 40.99mm, 중앙점이 54.86mm였으며 재하점의 변위량은 동일지점에서 측정한 두 값의 평균값이다. 또한 1회재의 프리플렉션하중을 제거하였을 때 잔류변위량은 재하점이 3.30mm, 중앙점이 3.67mm였다. 2회재의 프리플렉션하중을 빔에 재하하여 최대하중 122.83ton에 도달하였을 때 빔의 재하점에서의 처짐량은 41.30mm, 중앙점의 처짐은 55.29mm 이었다. 다시 제거하여 하중이 시험체에 작용하지 않을 때의 잔류처짐량은 재하점에서 3.01mm, 중앙점에서 3.90mm였다. 즉 1회 이상의 추가하중으로 인한 변형량의 증감은 발생하지 않았으며 잔류변형 역시 1회의 프리플렉션하중 재하시에 발생한 크기가 유지되는 것을 알 수 있었으며 시편 1과 시편 2의 경우에서 그 크기는 동일하였다.

Fig. 10은 하중재하를 마친 시험편에 대해 계이지

주위를 절단하여 절단전후에 이완된 량으로부터 얻은 값들을 도시하고 있다.

4. 결 론

본 실험에서는 실제 현장에서 시공되는 실물 프리플렉스빔을 실험체로 하여 1000톤 용량의 대형 UTM시험기를 이용, 프리플렉스빔 제작에서 필수공정인 프리플렉션하중 재하공정을 정밀하게 재현함으로써, 프리플렉션하중의 재하와 하중의 제거에 따른 빔의 거동을 실험하였다. 프리플렉션 공정의 반복회수에 따른 빔의 처짐량 이력과 잔류처짐량을 계측하여 비교하여보았으며 용접잔류응력의 완화정도를 계측하였다.

용접으로 인하여 발생하는 잔류응력은 일반적으로 비드중심부에는 항복강도에 가까운 정도의 크기임을 고려하였을 때 본 실험에서와 같이 프리플렉션하중을 경험한 후의 내부응력분포는 상당히 작은량이 잔존하는것을 살펴 볼 수 있었으며, 시편1과 시편2의 최대처짐량의 차이와 잔류소성변위량의 차이는 각각 0.57mm와 0.01mm만큼 미소한 차이가 발생하여 결과적으로 두

조건에 따른 역학적 거동에는 차이가 없는 것으로 판명되었다.

결국 발생한 최대 처짐량이나 0.01mm의 차를 보이는 소성변위량이 말해주듯이 프리플렉스빔에 가하는 프리플렉션하중의 크기가 항복강도 이하인 80%수준에서는 재하 및 제거 공정의 반복회수에 상관없이 빔의 거동은 역학적으로는 일치하며, 잔류응력의 완화효과도 큰 차이가 나지않는다. 즉 동일 하중크기가 재하되는 경우 1회 이상의 반복되는 하중 재하과정은 잔류응력완화 및 빔의 거동에서 역학적으로 의미가 없으며 또한, 프리플렉스빔 제작시의 실제 현장상황을 고려하면 실물 시험시의 시험실 조건과는 달리 완벽하게 모든 조건이 제어되지 못하는 경우가 많으므로 추가적인 (불필요한) 하중재하 공정을 줄임으로써 잠재적인 재료의 손상확률을 줄이는 것이 제품의 건전성과 신뢰성 확보에 바람직하다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 2004년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H.S.Bang, G.B.An, J.M.Kim, H.G.Suk and W.S.Chang : Study on the Characteristics of Welding Residual Stresses and Groove Shape of Corner Joint in Box Column with Ultra Thick Plate, Journal of KWS, 17-1(1999), 97-103 (in Korean)
2. C.H.Yang, L.S.Beedle and B.G.Johnston : Residual Stress and the Yield Strength of Steel Beams, Welding Journal, Apr. (1952), 205-229
3. Y.Y.Kim and H.J.Kim : The Principle of Mechanical Residual Stress Relaxation and its Effect on the Mechanical Properties, Journal of KWS, 5-2(1987), 1-8 (in Korean)
4. S.H.Kim, J.C.Jeon and D.I.Chang : A Study on the Residual Stress Relief Method in Welded Joint, 7-3(1995), Journal of KSSC, 207-214
5. Y.S.Yang, A Study on Mechanical Stress Relieving in a Butt-Welded Pipe, Journal of KWS, 14-1(1996), 38-44 (in Korean)
6. A.W.Huber and L.S.Beedle : Residual Stress and the Compressive Strength of Steel, Welding Journal, Dec.(1954) 589-614