다단 타설 긴장식 PSC 거더의 개발

Development of Concrete Girders Placed and Prestressed in Multiple Stage

소 용 두* 김 진 근**
So, Yong Du Kim, Jin Keun

ABSTRACT

A new design method for prestressed concrete girder is proposed in this study, which steps for manufacturing are ; (1) the bottom part of concrete girder is placed and pretensioned by the first post-tensioning performed on the tendons located in the bottom part of concrete girder, and (2) the next step which consists of concrete placing and post-tensioning operation is followed by the previous step if required. This indicates that sufficient compressive stress can be effectively introduced at the bottom face in stepwise manner, when compared to conventional PSC girder.

Two specimens are prepared and tested to investigate the short-term behavior of the PSC girders manufactured by the proposed method. Section Analysis results exhibit good agreements with the test results in terms of strain distribution across the girder section. In addition, flexural strength obtained from the tests is found to be similar to the expected based on Code(Korea). These demonstrate that the method proposed in this study is applicable to the design of PSC girders.

1. 서론

최근 단경간이면서 중경간인 경우에 거치형 형태의 교량이 많이 쓰이고 있다. 이러한 거치형 형태의 교량은 시공기간이 짧고 시공이 용이하며 또한, 공장에서 거더를 생산함으로써 품질관리가 용이하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 다른 거더보다 제품을 생산하는데 있어서 값이 비교적 싸며 유지관리가 용이한 PSC 거더의 제작방법을 변화시켜 단면의 효율을 높이는 방법을 제안하고자 한다. 또한, 제안한 제작방법에 의해 축소형 실험체를 제작한 후 단기거동 실험을 실시하였다. 그리고 실험을 통하여 제안된 거더의 구조적 거동을 파악하고 제작 및 설계방법의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 설계개념

본 연구에서는 (그림 1)과 같은 방법으로 고강도 콘크리트로 제작된 PSC 거더의 제작방법에 차이를 두어 새로운 제작 방법을 제안하고자 한다.

(그림 1)에서 PSC 거더에서의 휨응력 분포는 거더 단면의 형고를 낮출 경우 단면의 제계수가 작아지므로 상·하연에 분포하는 응력이 커지게 된다. 따라서, 고강도 재료를 사용하여 허용압축응력을 크게

*정회원, (주) 서영기술단 구조2팀 과장 **정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

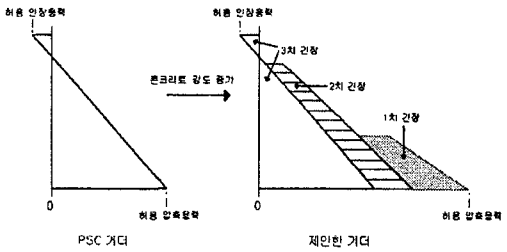


그림 1 PSC 거더와 제안한 거더 사이의 휨응력 분포 차이

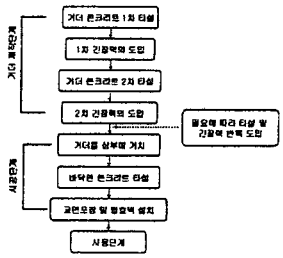


그림 2 다단 타설 긴장식 PSC 거더의 시공순서도

할 수 있으나, 허용인장응력은 증가폭이 매우 작다. 그러므로 거더의 단면형고를 낮출 수 없었다. 본 연구에서는 이러한 단점을 해결하기 위하여 다음과 같은 방법을 제안하고자 한다. 고강도 콘크리트를 사용하여 거더를 타설할 때 2차례 또는 거더에 발생하는 인장응력에 대한 저항능력을 확보하기 위한 만큼 여러 차례 실시하고, 각 타설 단계 콘크리트가 경화 후 긴장력을 도입함으로써 거더 하연에 발생하는 휨 응력을 허용 압축응력까지 증가시킬 수 있다. 또한, 바닥판과 거더가 합성단면으로 거동하면 중립축이 위로 올라가기 때문에 거더 상연에 증가되는 휨 압축응력보다 거더 하연에 증가되는 휨 인장응력이 많게 된다. 따라서, 제안된 방법의 경우 기존의 PSC 거더처럼 단 한차례 긴장력을 도입하는 것보다 하연의 인장응력에 대한 여유가 생기게 되고, 또한 긴장력에 의해 발생되는 상연의 인장응력도 나누어서 도입하여 작아지게 되므로 단면의 효율을 높일 수 있다. 설계방법을 시공순서에 따라 순서도로 간단히 나타내면 (그림 2)와 같다.

3. 실험방법

3.1 사용재료의 특성

(1) 콘크리트

시멘트는 제 1종 포틀랜드 시멘트(비중 3.15), 잔골재는 강모래(비중 2.60), 굵은골재는 최대치수 13 mm(비중 2.68)을 사용하였다. 압축강도 실험결과는 (표 2)에 나타나 있다.

표 1 시멘트 종류별 물성

W/C (%)	S/a (%)	단위중량 (kgf/m³)				
		W	C	S	G	S.P.
33	43	175	534	728	1,005	6

표 2 압축강도 실험결과

	1차 타설 콘크리트		2차 타설 콘크리트	
	압축강도	재령	압축강도	재령
1차 긴장시점	422	10	-	-
2차 긴장시점	502	25	408	13
휨거동 실험시점	523	57	511	45

(2) 철근 및 강연선

철근과 강연선은 각 시편당 인장시험을 세 번 실시하여 (표 3)과 (표 4)에 나타내었다.

3.2 실험체 제작

(1) 실험체 제작순서

실험체 제작순서는 ①1차 철근조립 및 쉬스관 배치 ②1차 거푸집 조립 ③1차 콘크리트 타설 및 양생 ④1차 긴장 및 양생 ⑤2차 거푸집 조립(상부거더) ⑥2차 철근조립 ⑦2차 콘크리트 타설 및 양생 ⑧2차 긴장 및 양생 ⑨단기거동 실험 순으로 진행하였다.

(2) 제작방법

철근도에서 ①,②철근은 가외철근으로서 공칭지름 6 mm를 사용하였고, ③철근은 배력철근으로서 공칭지름 13 mm를, ④철근은 전단 및 계면에서의 파괴를 방지하는 철근으로서 공칭지름 13 mm를 사용

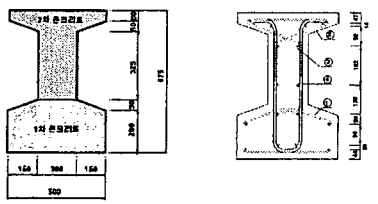
표 3 철근의 물성치

공칭지름 mm	공칭단면적 mm^2	항복강도 kgf/cm^2	인장강도 kgf/cm^2	탄성계수 kgf/cm^2
9.53	71.33	4,208	6,545	2.04E06
12.7	126.7	3,783	5,630	2.22E06
12.7	126.7	4,559	6,631	2.07E06

표 4 강연선(SWPC 7B)의 물성치

구 분	공칭단면적 mm^2	항복강도 kgf/cm^2	인장강도 kgf/cm^2	탄성계수 kgf/cm^2
15.2 MM (0.6")	138.7	18,927	19,955	2.0E06

하였다. 또한, 실제 시공되는 거더와 비슷하게 하기 위해 철근비가 0.9 %가 되게 종방향 철근을 배치하였다. 1차 타설 후 8일 후에 ①, ②번의 텐던에 각각 54 tonf의 긴장력을 도입하고, 2차 타설 후 13일 후에 ③,④번의 텐던에 각각 54 tonf의 긴장력을 도입하였다. 여기서 ①, ②번의 텐던은 직선 모양으로 텐던을 배치하였고, ③,④번의 텐던은 곡선 모양으로 텐던을 배치하였다.



(a) 단면도 (b) 철근도 (c) 스터럽의 간격

그림 3 거더의 단면도 및 철근도 (단위 : mm)

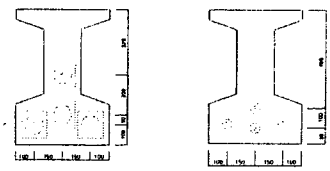


그림 4 텐던 프로파일 (단위 : mm)

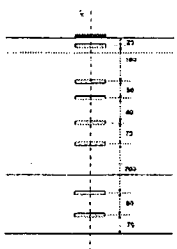


그림 5 경간중앙에서의 게이지 위치

3.3 하중가력 방법

하중가력 방법은 250톤 용량의 만능재료시험기를 사용하여 휨하중을 변위제어법(0.02mm/s)으로 가하여 실험을 수행하였다. 보 실험에 있어서 하중은 보의 중앙으로부터 각각 보의 깊이의 1/2 만큼 떨어진 지점에서 2점 가력하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 휨강도와 균열 모멘트

우리나라 설계기준에서 제안한 휨강도 예측식으로 계산한 값과 실험으로부터 얻은 값을 비교한 것과 재료가 인장강도에 도달할 때 균열이 발생한다고 보고 계산한 균열 모멘트와 실험에서 관찰된 균열 모멘트를 비교한 것이 (표 5)에 나타나 있다. 기존에 제안된 식과 실험에 의한 결과가 일치함을 알 수 있다. 따라서, 기존에 적용된 합성거더에 대한 식을 적용하여 설계하여도 무방하다고 판단된다.

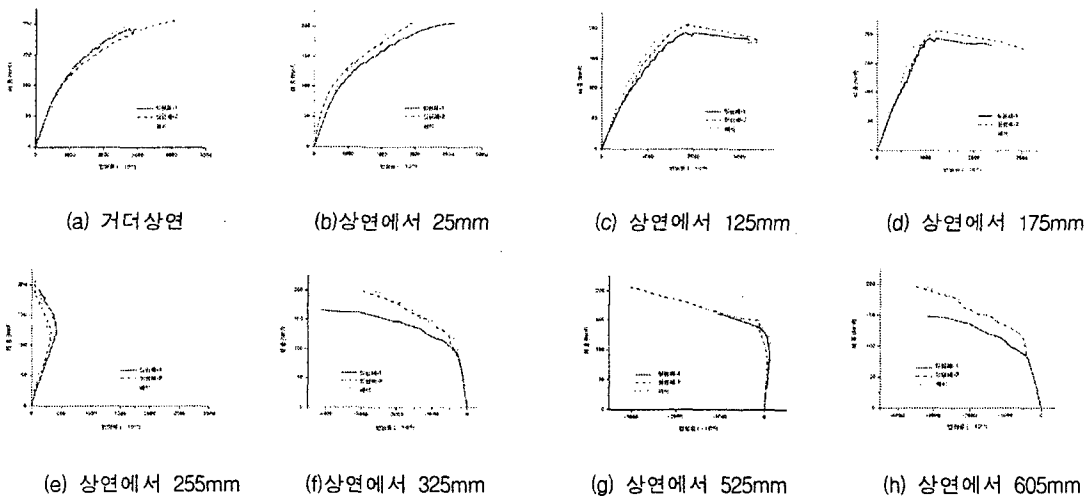
4.2 하중과 단면의 변형률 관계

아래 (그림 6)에 나타나 있는 관계는 UTM 하중이 가해짐에 따라 단면에서 측정한 변형률과의 관계를 나타낸다. (그림 5)는 거더의 경간 중앙에서 단면의 변형률을 측정한 콘크리트 게이지의 위치를 나타낸다. (그림 6)에서 해석은 서로 다른 재료의 합성을 고려한 단면해석결과이다.

표 5 휨강도와 균열 모멘트의 비교

	Mn(실험) tonf-m	*Mn*(설계기준) tonf-m	*Mn*(실험)/ *Mn*(설계기준)	*Mcr*(실험) tonf-m	*Mcr*(계산) tonf-m	*Mcr*(실험)/ *Mcr*(계산)
실험체-1	150.8	146.6	1.03	74.7	73.21	1.02
실험체-2	160.2	146.6	1.09	71.9	73.21	0.98

(그림 6)의 (e)에서 하중이 증가함에 따라 압축 변형률이 증가하다가 100 tonf 에서 변형률의 증가량이 감소하다가 125 tonf에서 변형률이 오히려 줄어든 현상을 발견할 수 있다. 이는 휨균열이 진전됨에 따라 중립축 위치가 거더 상연 쪽으로 옮겨감에 따라 발생되는 현상이라고 사료된다. 마찬가지 현상이 (그림 6)의 (f)에서도 관찰된다. 또한, 보가 탄성변형을 할 때 중립축이 거더 상연에서 375 mm 떨어진 곳에서 형성된다. 상연에서 325 mm 떨어진 곳은 중립축에 가깝기 때문에 압축 변형률이 휨균열이 발생하기 전까지 작게 증가하는 현상을 볼 수 있다. 또한, 중립축이 위로 올라감에 따라 인장 변형률로 바뀜을 알 수 있다. 이와 같이 기본적인 단면의 변형이 일반적인 PSC 거더와 비슷하게 나타남을 확인할 수 있다.



(a) 거더상연 (b)상연에서 25mm (c) 상연에서 125mm (d) 상연에서 175mm

(e) 상연에서 255mm (f)상연에서 325mm (g) 상연에서 525mm (h) 상연에서 605mm

그림 6 경간 중앙에서의 위치별 하중에 따른 변형률 분포

5. 결론

본 연구에서는 다단 타설 긴장식 프리스트레스트 거더의 단기거동 에 대한 연구를 수행하였으며, 다단 타설 긴장식 프리스트레스트 거더의 설계방법을 제안하였다. 단기거동 실험을 통하여 얻은 휨강도와 우리나라 구조설계기준에서 제시한 식에서 얻은 단면의 휨강도와 유사하게 나타났다. 또한, 콘크리트의 복부전단강도 및 균열 휨모멘트에 대해서도 설계기준에서 제시한 값보다 실험값이 유사하게 나타났다. 따라서, 구조설계기준에 의하여 다단 타설 긴장식 프리스트레스트 거더의 설계가 가능하다고 사료된다.

참고문헌

1. 김성겸, "IPC 거더교의 구조적 거동에 관한 실험적 연구", 아주대학교, 2001.
2. 서영재, "시공단계를 고려한 합성형 교량의 장기거동 해석", 한국과학기술원, 2002.
3. "콘크리트 구조설계 기준", 사단법인 한국콘크리트학회, 1999.
4. "도로교 설계기준 · 해설(공통 · 강교 · 콘크리트교)", 사단법인 대한토목학회, 2003