

## 모듈러 슬래브교량의 횡방향 연결부 구조적 거동 및 사용성 평가

### Evaluation of Structural Behavior and Serviceability on Transverse Connection for Modular Slab Bridge System

최진웅<sup>1)</sup> 이상승<sup>2)</sup> 박선규<sup>3)</sup> 홍성남<sup>4)\*</sup>  
Jin-Woong Choi Sang-Seung Lee Sun-Kyu Park Sung-Nam Hong

#### Abstract

Recently, in field of bridge construction, modular technology has been studied to reduce construction period, traffic impact and environmental impact. This study is a part of research related to the modular bridges. The aim of the study is to analyze the structural behavior and evaluate a serviceability for transverse connection of modular slab bridge. A total of four specimens were fabricated, including a control beam for finding the maximum load by static test. And one control beam and two segmental beams were fabricated for cyclic loading test. As the test result, the beams that were introduced 100% of the design prestressing force showed a smaller maximum deflection, residual deflection and crack width than the control beam. The beam for serviceability evaluation was satisfied with structural serviceability limits of the deflection and crack.

Keywords : Modular bridge, Slab, Transverse connection, Prestressing, Cyclic load, Serviceability

#### 1. 서론

콘크리트 모듈러 교량은 기계, 플랜트 등의 분야에서 적용되어 오던 플러그 인 기술을 교량 건설 분야에 적용한 것으로, 프리캐스트 콘크리트 기술에 기반을 둔 교량 가설 공법이다 (Modular Bridge R & BD, 2012). 모듈러 교량은 최근 구조물의 노후화로 인한 교체 및 신규 교량 건설시 공사기간 단축, 교통 혼잡 및 환경 영향 최소화 요구에 부합하는 가설 공법으로 다양한 연구가 진행 중이다 (Kang, 2012). 특히 국내의 경우 “도로교량 및 터널현황 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010)”에 따르면 준공 후 30년 이상, 교량 연장 20m미만인 교량은 대부분 슬래브교량으로 시공되어 있어, 향후 교체수요를 대비하여 다양한 현장 조건에 대응할 수 있도록 폭, 길이방향으로 확장이 가능하고 간편 조립이 가능한 모듈러 슬래브 교량이 연구·개발 중에 있다 (Lee, 2012). 모듈러 슬래브 교량은 교축방향으로 제작된 세그먼트

를 횡방향으로 연결하는 프리캐스트 형식으로, 불가피하게 연결부가 발생하게 되며 연결부의 구조적 거동 및 사용성, 안전성에 대한 검증이 필요하다. 그러나 모듈러 슬래브 교량의 횡방향 연결부에 대한 구조적 거동을 파악하고 사용성 및 안전성을 검증하기 위한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 모듈러 슬래브 교량에 적용된 횡방향 연결부를 대상으로 반복 하중 재하 실험을 수행하여 하중 반복에 따른 연결부의 거동 특성을 파악하고 사용성을 검증하고자 한다.

#### 2. 문헌연구

모듈러 슬래브 교량의 경우 여러 개의 세그먼트가 횡방향으로 조립되어 형성되기 때문에 세그먼트 간 연결부에는 힘의 불연속면이 존재하게 된다. 이러한 세그먼트와 세그먼트 사이의 전단기 및 프리스트레싱 도입은 연결부의 변형 불연

1) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학 박사과정  
2) 정회원, 대림산업 기술개발원 특수교량팀  
3) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학 교수  
4) 정회원, 성균관대학교 공과대학 연구교수, 교신저자

\* Corresponding author : cama77@skku.edu

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2015년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

속 및 응력 집중현상을 최소화하는데 주된 기능이 있다.

전단기를 갖는 연결부에 그라우팅 후 프리스트레싱을 도입하는 방법과 관련된 연구는 여러 연구자들에 의해 다양하게 수행되고 있다. Roberts (2011)와 Zane (2012)은 프리스트레싱 도입 방법에 대한 연결부 정적 휨 실험을 수행하였고 또한 그 영향을 분석하였다. Badwan (2007)은 그라우팅 재료와 프리스트레싱 손실량을 변수로 FEM 해석을 수행하였다. Lee (2012)는 모듈러 슬래브교량의 횡방향 연결에 적합한 전단기의 형상결정을 위하여 유한요소해석을 통한 매개변수해석을 통하여 전단기의 형상 및 개수를 제안하였으며, 수직전단실험 (Push-Out Test)을 실시해 매개변수 분석의 타당성 검토 및 최종적인 연결부의 제원을 결정하였다.

그러나 횡방향 연결부는 횡방향 연결부에 대한 휨 성능 검증이 필요함에도 불구하고 대부분이 연결부에 대한 전단과 해석적 연구 및 프리스트레싱 도입 방법에 관련된 연구가 대부분이며 반복 하중에 따른 거동 분석 및 사용성 검증과 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선행 연구에 의해 결정된 연결부의 형상에 대하여 반복하중 재하 실험을 통하여 연결부를 갖는 구조의 거동 특성을 파악하고 사용성을 검증하고자 한다.

### 3. 실험 계획

#### 3.1 실험 개요

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 모듈러 슬래브 교량의 횡방향 연결부 형식 (Lee, 2012)을 적용하여 연결부를 갖는 실험체의 하중 교변에 따른 휨 거동 특성 및 사용성을 검증하기 위하여 반복하중 재하 실험을 수행하였다.

#### 3.2 실험 변수

연결부의 하중 교변에 따른 휨 거동 특성을 파악하고 사용성을 검증하기 위하여 총 4개의 보를 제작하였다. 반복 하중

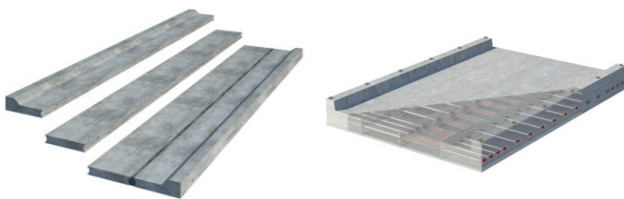


Fig. 1 Shape of modular slab bridge

재하 실험에 적용될 하중의 크기를 결정하기 위하여 철근 콘크리트로 설계된 일체형 기준 보를 1개 제작하였다. 반복 하중 재하 실험을 위하여 총 3개의 실험체를 제작하였으며, 철근 콘크리트로 제작된 일체형 기준보와 설계 프리스트레싱력을 100% 도입한 연결부를 갖는 실험체 2개를 제작하였다. 실험의 변수는 반복하여 재하하는 하중의 크기이다.

실험체명과 변수를 Table 1에 정리하였다. 실험체명의 뒤의 숫자는 기준 보의 최대하중대비 반복 재하된 하중의 크기를 의미한다. 예를 들어 "C-100-60"은 설계 프리스트레싱력을 100%도입하고 S-Control 정적 최대하중의 60%를 반복하여 재하한 실험체를 의미한다.

실험에 사용된 실험체는 도로교설계기준 및 콘크리트구조설계기준을 준용하여 설계되었다. S-Control과 C-Control-60은 순지간이 3000mm로 총길이, 높이, 폭은 각각 3400mm, 450mm, 300mm로 제작하였다. 연결부를 갖는 분절형 실험체는 총길이 1690mm, 높이 450mm, 폭 300mm의 모듈을 두 개 제작하여 모듈과 모듈 사이에 고성능 모르타르를 그라우팅한 후 프리스트레싱을 도입하였다. 연결부는 건설기술연구원에서 제안한 연결부 형상을 적용하였다. 연결부에 제원은 Fig. 2와 같으며 실험체 제원은 Fig. 3과 같다.

Table 1 Variable of the tested beams

Name of Specimens	PS force [kN]	Loading method	Remarks
S-Control	RC	Static	Control beam
C-Control-60	RC	Cyclic loading	Control beam
C-100-60	609.0	Cyclic loading	
C-100-Serviceability	609.0	Cyclic loading	Service loads

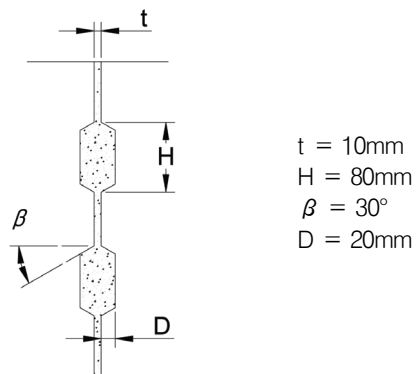
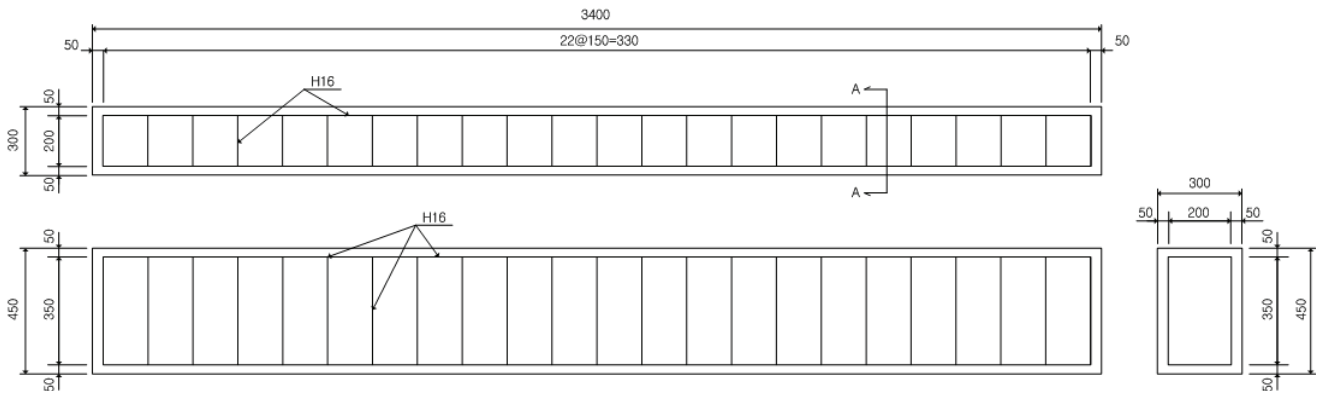
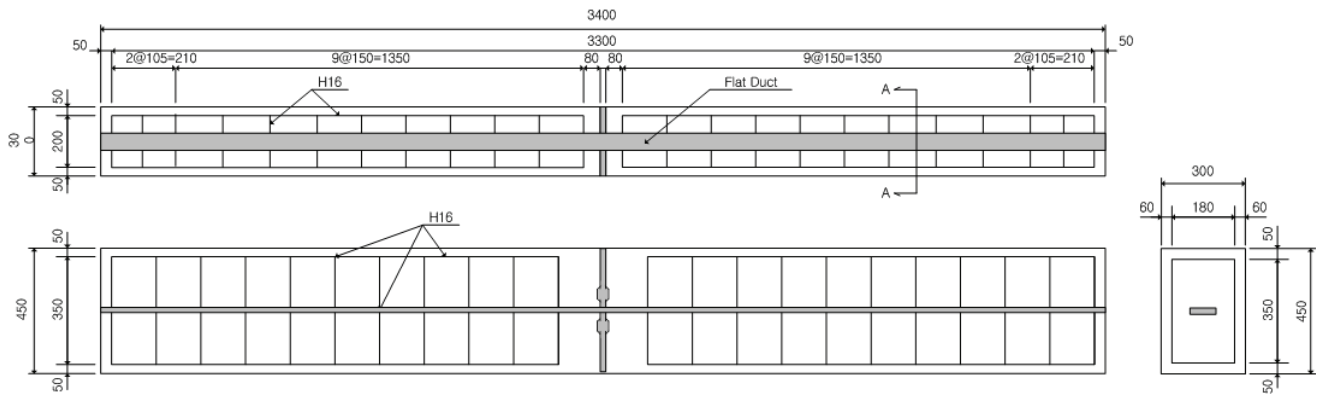


Fig. 2 Dimensions of transverse joint



(a) Control specimens (S-Control & C-Control-60) (All in mm)



(b) Segment type specimens (C-100-60, C-100-Serviceability) (All in mm)

Fig. 3 Detail of each specimen

### 3.3 실험 재료

콘크리트는 설계기준강도 50MPa의 레디믹스트 콘크리트를 사용하였다. 연결부에는 직경 23 $\mu$ m, 길이 12mm의 폴리아미드 섬유 (Polyamide fiber)로 보강된 80MPa의 고성능 모르타르를 적용하였다. 사용된 모르타르는 공시체를 제작하여 압축강도 및 휨 강도를 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 정리하였다.

실험체에 사용된 철근은 직경 15.9mm의 이형철근을 사용하였으며 프리스트레싱력 도입을 위하여 직경 12.7mm의 SWPC 7B 스트랜드 5가닥을 사용하였다. 실험에 사용된 재료 물성치를 Table 3에 정리하였다.

### 3.4 실험체 제작

일체형 기준 실험체의 경우 철근배근 후 콘크리트 (50MPa)를 타설하여 제작하였고, 연결부를 갖는 실험체는 Fig. 4와 같은 작업과정을 거쳐 제작이 되었다. 각 모듈을 거푸집을

Table 2 Mechanical properties of the used mortar

Curing days	Compressive Strength, [MPa]	Tensile Strength, [MPa]
7	77.5	11.5
28	88.2	12.2

Table 3 Mechanical properties of steel bar and strand

name of steel [mm]	Cross-sectional area [mm <sup>2</sup> ]	Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]
D16 (15.9)	198.6	400	560
SWPC 7B	98.71	1578.6	1856.6

Table 4 Load intensity and number of cycles

Name of specimens	Loading intensity [kN]	Number of cycles
C-Control-60	6.29~62.88 [0.6 $P_{max}$ ]	200,000
C-100-60	6.29~62.88 [0.6 $P_{max}$ ]	200,000
C-100-serviceability	3.45~34.5 [Service Load]	2,000,000

이용해 타설한 후 매치캐스팅을 이용하여 연결부에 거푸집을 설치한 뒤 모르타르 (80MPa)를 타설하였다. 타설 후 28

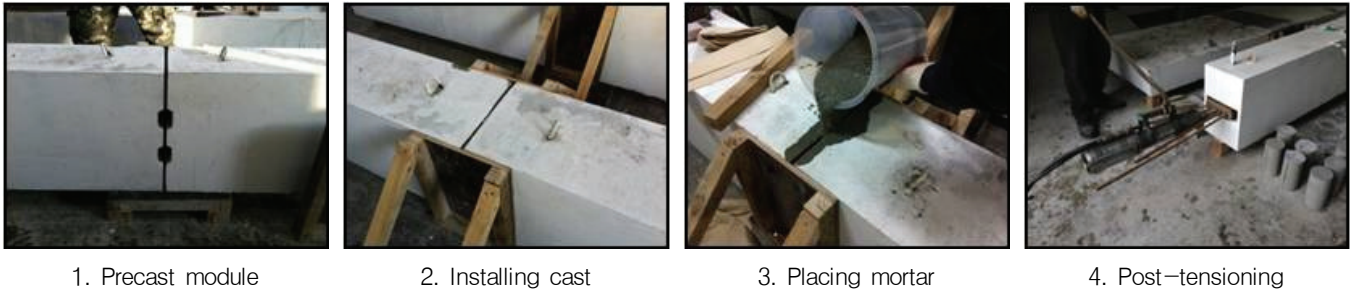


Fig. 4 Procedure of building specimen

일 강도가 발현되는 시점에 긴장력을 도입한 후 그라우팅을 실시하여 실험체를 일체화 시켰다.

### 3.5 하중재하 및 측정 방법

본 연구에 사용한 실험체는 정적 휨 실험체 1개 및 반복하중 실험체 3개로써 총 4개의 실험체를 대상으로 실험을 수행하였다. 먼저 S-Control을 대상으로 정적 휨 실험을 실시하였으며 정적 휨 실험에는 2000kN급 액추에이터를 사용하였고 파괴시까지 변위제어 방식으로 4점 재하 하였다. 하중 가력 위치는 실험체 순지간에 L/3 및 2L/3이다.

반복하중 재하 실험에는 500kN급 액추에이터를 사용하여 기준 실험체 정적 최대 하중의 60% 및 사용하중을 응력비 ( $R = P_{min}/P_{max}$ )가 0.1이 되도록 3hz의 속도로 sine 함수의 반복하중을 재하하였으며 이를 Table 4에 정리하였다. 하중은 4점 재하 방식으로 정적 휨 실험과 동일한 위치에 가력하였다.

C-Control-60 및 C-100-60은 하중 반복 횟수 1회, 100회, 1000회, 10,000회, 50,000회, 100,000회, 200,000회에서 최대 재하 하중까지 ( $0.6P_{max}$ ) 정적 실험을 수행하였으며, C-100-serviceability는 1회, 100회, 1000회, 10,000회, 50,000회, 100,000회, 500,000회, 1,000,000회, 1,500,000회, 2,000,000회에서 사용하중인 34.5kN까지 정적 실험을 수행하였다.

실험데이터 측정을 위하여 컴퓨터와 데이터로거 (U-CAM)을 사용하였으며, 실험체 중앙에 LVDT를 설치하여 처짐을 측정하였다. 또한 반복하중 실험시 균열게이지를 최초 균열 발생 위치에 설치하여 하중 반복 횟수 증가에 따른 균열폭을 측정하였다. 실험 셋팅 및 게이지 위치는 Fig. 5와 같다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 정적 휨 실험

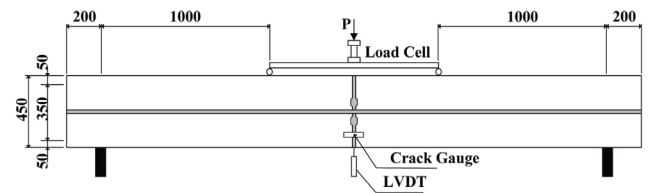


Fig. 5 Test setup and location of gauge

Table 5 Results of static test

Name of Specimens	Cracking Load [kN]	Ultimate Load	
		Load [kN]	Deflection [mm]
S-control	57.44	104.80	28.6

반복 하중 재하 실험을 수행하기 이전 반복 재하 하중의 크기를 결정하기 위하여 정적 휨 실험체에 대하여 실험을 수행한 후 최대 하중 및 변위를 측정하였으며 그 결과를 Table 5에 정리하였다.

S-Control은 일반적인 RC 보의 휨 파괴 양상을 나타내었으며, 균열하중 57.44kN, 최대하중 및 최대하중에서의 처짐은 각각 104.8kN과 28.6mm로 나타났다.

### 4.2 반복하중 재하 실험

#### 4.2.1 C-Control-60 및 C-100-60 실험 결과

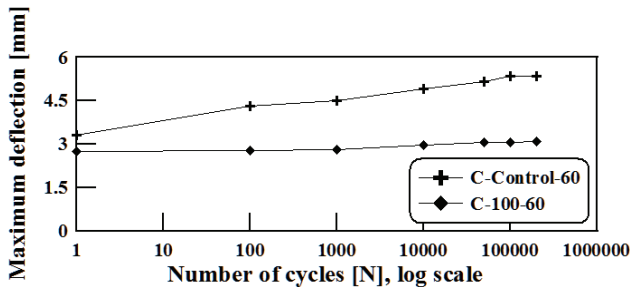
정적 휨 실험을 수행한 후 S-Control의 최대하중을  $P_{max}$  (=104.8kN)로  $0.6P_{max}$  및 사용하중으로 반복하중 재하 실험이 수행하였다. Table 6은  $0.6P_{max}$  (=62.88kN)를  $R=1.0$ 으로 재하한 C-Control-60과 C-100-60에 대하여 하중 반복 횟수에 따른 처짐과 균열을 나타낸 것이며, Fig. 6은 Table 6을 도식화한 것이다.

최대처짐의 경우 C-100-60은 거의 일정한 최대처짐을 나타낸 반면에 C-Conrtol-60은 최대처짐이 꾸준히 증가하여

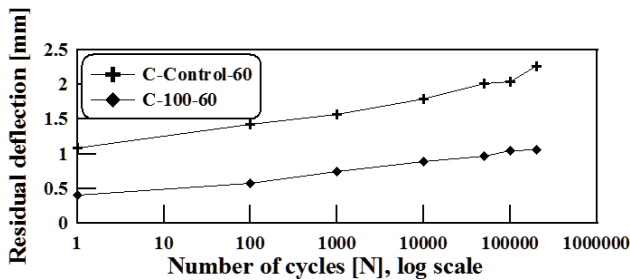
20만회 이후에는 초기 최대처짐의 162%로 나타났다. 최초 정적 실험 결과 C-100-60은 기준 실험체인 C-Control-60 최대처짐의 84% 정도의 최대처짐이 나타났으나 하중이 반복됨에 따라 20만회 이후에는 C-Control-60의 58% 최대처짐을 나타내었고, 평균적으로 65% 수준의 최대처짐을 나타냈다.

Table 6 Results of cyclic load test

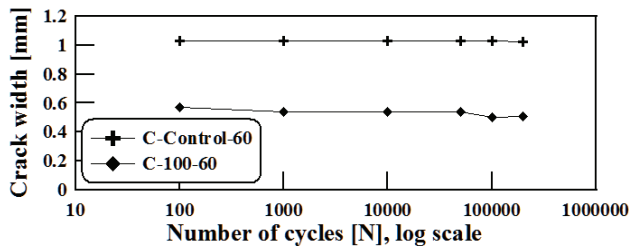
Number of cycle	Max deflection [mm]		Residual deflection [mm]		Crack width [mm]	
	C-Control-60	C-100-60	C-Control-60	C-100-60	C-Control-60	C-100-60
1	3.31	2.77	1.09	0.4	-	-
100	4.31	2.78	0.34	0.18	1.03	0.57
1,000	4.50	2.82	0.14	0.16	1.03	0.54
10,000	4.91	2.96	0.22	0.15	1.03	0.54
50,000	5.17	3.06	0.22	0.08	1.03	0.54
100,000	5.34	3.07	0.03	0.07	1.03	0.50
200,000	5.36	3.09	0.22	0.02	1.02	0.51



(a) Max deflection-cycle



(b) Residual deflection-cycle



(c) Crack with-cycle

Fig. 6 Curves of cyclic load test

이는 처짐에 영향을 미치는 휨강성은 최초 정적 하중 재하시에는 비균열 단면에 대한 휨강성 ( $EI_g$ )으로 C-Control-60와 C-100-60이 2,278,125,000Nmm<sup>2</sup>으로 동일한 값을 가지기 때문에 처짐에 큰 차이가 발생하지 않았으나, 균열발생 이후의 휨강성 ( $EI_{cr}$ )은 C-Control-60와 C-100-60이 각각 294,621,977Nmm<sup>2</sup>, 373,909,000Nmm<sup>2</sup>으로 균열 이후 실험체의 강성에 차이가 발생하여 최대처짐의 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다.

잔류처짐의 경우 C-Control-60은 하중 반복 횟수가 증가함에 따라 지속적으로 증가하였다. C-100-60의 경우 일정 잔류처짐 (약 1 mm)으로 수렴하는 경향을 나타내었으며, C-100-60은 C-Control-60 보다 평균적으로 55% 작은 잔류처짐이 발생했다.

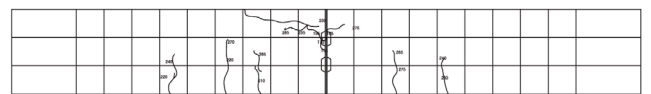
C-Control-60 및 C-100-60의 균열 패턴을 Fig. 7에 나타냈다. C-Control-60은 반복 하중 횟수가 증가함에 따라 중앙부에서 단부로 균열이 진행되었으며 C-100-60은 하중 반복 횟수 증가에 따라 중앙 연결부에서 균열이 발생한 후 연결부를 따라 균열이 진전되었으며 하중 재하점인 L/3 및 2L/3 지점에서 균열이 관찰되었다. 중앙부의 균열폭은 C-Control-60과 C-100-60 모두 하중 반복 횟수가 증가함에 따라 거의 일정한 균열폭이 관측되었으며 C-Control-60의 균열폭과 비교하여 C-100-60의 균열폭은 50% 작은 균열폭을 나타냈다.

Fig. 8과 Fig. 9에 C-Control-60 및 C-100-60의 중앙부에서의 하중-처짐 곡선을 각각 나타냈다. Fig. 8을 살펴보면 S-Control의 최대하중의 60%를 반복하여 재하한 결과 잔류처짐이 지속적으로 증가하였으며, 최종 잔류처짐의 약 50%에 해당하는 잔류처짐이 최초 정적 실험에서 발생하였다.

Fig. 9의 C-100-60의 하중-처짐 곡선을 살펴보면 최초 정적 실험에서 연결부에 균열이 발생하면서 전체 잔류처짐 1.07mm의 약 40%에 해당하는 0.4mm의 잔류처짐이 발생하였다. 이후 하중 반복 횟수가 증가함에 따라 잔류처짐이 증가하는 경향을 나타내었다. 최종 잔류처짐은 C-Control-60의



(a) C-Control-60



(b) C-100-60

Fig. 7 Crack patterns of beams



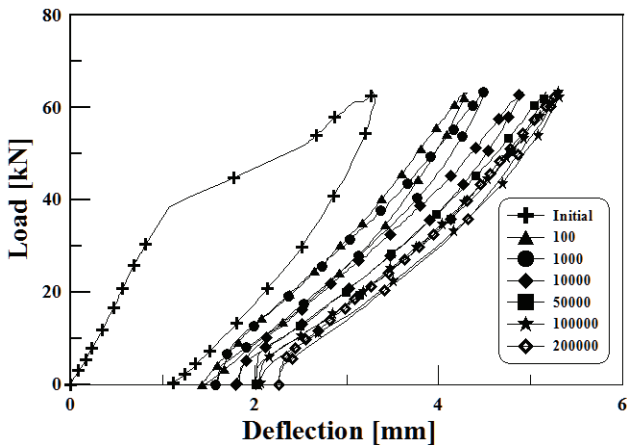


Fig. 8 Load-deflection curve : C-Control-60

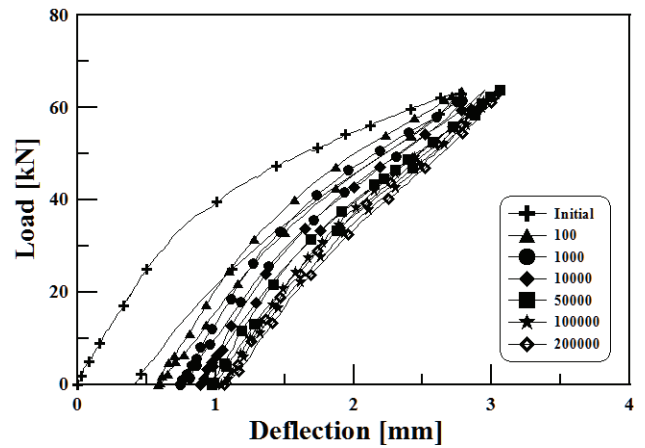


Fig. 9 Load-deflection curve : C-100-60

약 47%로 작게 나타났으며 이는 프리스트레싱으로 인한 복원력 향상으로 인한 것이라 판단된다.

#### 4.2.2 C-100-Serviceability 실험결과

설계 프리스트레싱력은 100% 도입한 연결부를 갖는 실험체를 대상으로 사용하중 (=34.5kN)을 2백만회 반복 재하하였다. Fig. 10은 하중 반복 횟수에 따른 균열폭을 나타낸 것이며, Fig. 11은 C-100-Serviceability의 하중 반복 횟수에 따른 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다.

Fig. 10의 하중-처짐 곡선을 살펴보면 사용하중 이하의 하중에서도 반복 횟수가 증가함에 따라 잔류처짐과 최대처짐이 증가하는 것을 알 수 있다. 2,000,000회 반복하중이 재하된 후 최대처짐은 약 1.05 mm 이며, 잔류처짐은 0.44 mm로 예측되어 초기 최대처짐 및 잔류처짐보다 각각 약 114%, 120% 증가한 것으로 나타났다. 또한 C-100-Serviceability의 균열폭은 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 평균 0.04 mm로 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. C-100-Serviceability는 반복하중이 100,000회에서 500,000회로 증가하면서 잔류처짐이 상대적으로 크게 증가하였다. 이는 하중 반복횟수가 증가함에 따라 단면 상부 콘크리트가 압축에 의해 부분적으로 박락이 발생하고, 연결부의 이격이 하부에서 상부로 진전됨에 따라 중앙부에서 긴장재와 콘크리트의 부착력 손실로 인하여 상대적으로 잔류처짐이 크게 증가한 것으로 판단된다.

### 5. 사용성 평가

200만회 사용하중 재하 실험 이후 실험 결과와 현재 국내 설계기준에서 제시하고 있는 허용 기준을 비교하여 모듈러

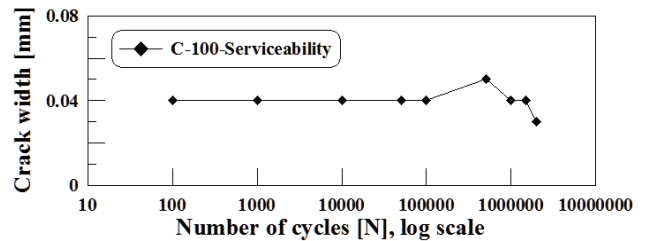


Fig. 10 Crack width of C-100-Serviceability

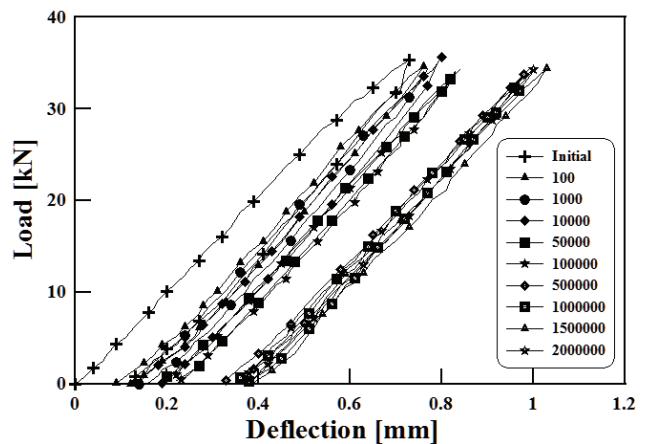


Fig. 11 Load-deflection curve of C-100-Serviceability

슬래브교량의 횡방향 연결부 사용성을 검증하였다.

국내 도로교 설계기준 (2010)에서는 단순 또는 연속 경간을 갖는 부재는 사용하중과 충격으로 인한 처짐이 경간의 L/800을 초과해서는 안 된다고 규정하고 있다. 콘크리트 구조설계기준 (2012)에서는 Table 7과 같이 1방향 구조물 (보)에 대하여 장기처짐 효과를 고려한 처짐량이 부재 형태에 따라 L/480~L/180을 초과해서는 안 된다고 규정하고 있다.

실험 부재의 순지간은 3000mm이며 사용하중에 따른 실험

Table 7 Allowable deflection (Concrete structure design code, 2012)

Type of member	Deflection to be considered	Deflection limitation
Flat roofs not supporting or attached to nonstructural elements likely to be damaged by large deflections	Immediate deflection due to live load L	$\frac{l}{180}$
Floors not supporting or attached to nonstructural elements likely to be damaged by large deflections	Immediate deflection due to live load L	$\frac{l}{360}$ *
Roof or floor construction supporting or attached to nonstructural elements likely to be damaged by large deflections	That part of the total deflection occurring after attachment of nonstructural element (sum of the long-term deflection due to all sustained loads and the immediate deflection due to any additional live load)	$\frac{l}{480}$
Roof or floor construction supporting or attached to nonstructural elements not likely to be damaged by large deflections		$\frac{l}{240}$

Table 8 Limit states of deflection for serviceability

Code	Limit states [mm]		Max deflection	Check
Highway bridge design code	L/800	3.75	1.05mm	O.K.
Concrete structure design code	L/180	16.67		O.K.
	L/360	8.33		
	L/480	6.25		
	L/240	12.5		

시 최대처짐은 1.05mm 이다. 각 설계기준에서 제시하는 기준 가운데 보수적인 기준을 적용하였고 이를 Table 8에 정리하였으며, 검토 결과 처짐에 대한 사용성 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

허용균열폭에 대하여 도로교 설계기준 (2010)에서는 피복두께 100mm 이하에 대하여 적용이 가능한 균열폭 기준을 Table 9와 같이 노출 환경 및 보강재 종류에 따라 구분하여 제시하고 있다.  $t_c$ 는 최외단 주철근의 외측 표면에서 콘크리트 표면 사이의 최소 피복두께 (mm)를 나타낸다.

본 연구에서 대상으로 선정된 모듈러 슬래브교량 횡방향 연결부는 옥외에 시공되어 습윤환경이며, 보강재로 PS강재를 사용하였다. 모듈러 슬래브교량 횡방향 연결부 실험체는 최외단 철근 중심까지 50mm로 H16 철근의 지름을 고려하여 피복두께 ( $t_c$ )가 42mm이기 때문에 0.2mm와 0.004 $t_c$  (0.168mm) 중 큰 값을 만족해야 한다. 실험을 통한 최대 균열폭은 0.05mm이며, 피복두께를 고려한 허용균열폭은 0.2mm로 허용균열폭 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 9 Allowable crack widths

Type of reinforcement	Exposure conditions for reinforcement of the corrosion			
	Dry condition	Humidity condition	Corrosive condition	High corrosive condition
Rebar	Greater of 0.4mm or 0.006 $t_c$	Greater of 0.3mm or 0.005 $t_c$	Greater of 0.3mm or 0.004 $t_c$	Greater of 0.3mm or 0.0035 $t_c$
PS strand	Greater of 0.2mm or 0.005 $t_c$	Greater of 0.2mm or 0.004 $t_c$	-	-

## 6. 결론

본 연구에서는 모듈러 슬래브 교량에 적용된 연결부의 반복 하중에 따른 구조적 거동을 파악하고 사용성을 평가하였다. 총 4개의 실험체를 대상으로 실험을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) S-Control을 대상으로 정적 휨 실험을 수행한 결과, 균열하중 및 최대하중은 각각 57.44kN, 104.80kN으로 나타났으며, 최대하중에서의 처짐은 28.6mm로 나타났다.
- (2) 설계 프리스트레싱력을 100% 도입하여 정적 휨 실험 최대하중의 60%를 반복하여 재하한 결과, C-Control-60은 최대처짐이 꾸준히 증가한 반면에 C-100-60은 일정한 최대처짐을 나타냈다.
- (3) C-Control-60은 하중 반복 횟수가 증가함에 따라 균열이 중앙부에서 단부로 발생하며 잔류처짐이 지속적으로 증가하였으나, C-100-60은 지속적으로 증가하다가 약 1mm로 수렴하는 경향을 나타냈다. 또한 C-Control-60 및 C-100-60 모두 하중 반복 횟수가 증가함에도 거의 일정한 균열폭을 나타냈으며, C-100-60이 C-Control-60보다 약 50% 작은 균열폭을 나타냈다.
- (4) 사용하중을 200만회 반복하여 재하한 결과, 200만회 반복하중 재하된 후 최대처짐은 약 1.05mm, 잔류처짐은 약 0.44mm, 균열폭은 평균 0.04mm로 나타났으며, 10만회에서 50만회로 하중 반복 횟수가 증가하면서 잔류처짐이 상대적으로 크게 증가하였다.
- (5) 사용성 검토 결과 처짐에 대하여 도로교 설계기준 및 콘크리트 구조설계기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 균열폭에 대하여 도로교 설계기준에서 제시하고 있는 노출환경에 따른 허용균열폭 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

---

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(10기술혁신 B01-모듈러교량 기술개발 및 실용화 연구단)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. Badwan, I., and Liang, R. (2007), Performance Evaluation of Precast Posttensioned Concrete Multibeam Deck, *J. Perform. Constr. Facil.*, 21(5), 368-374.
2. Kang, H. T., Gil, H. B., Lee, I. G. (2007), Primary Research and Conceptual Design of Prefabricated Bridge Elements and Systems on Highway, Expressway & Transportation Research Institute.
3. Korea Bridge Design & Engineering Research Center (2010), Design Code of Concrete Bridge.
4. Korea Concrete Institute (2012), Concrete Structure Design Code.
5. Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planning (2012), Modular bridge technology development and commercialization mid report, Modular Bridge R & BD.
6. Lee, S. Y., Song, J. J., Kim, H. Y., Lee, Y. H., Lee, J. M. (2012), Study on the Shape of a Longitudinal Joint of the Slab-type Precast Modular Bridges, *Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 16(5), 98-111.
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010), Status of Bridge and Tunnel, Korea.
8. Roberts, K. S. (2011), Performance of Transverse Post-Tensioned Joints Subjected to Negative Bending and Shear Stresses on Full Scale, Full-Depth, Precast Concrete Bridge Deck System, M.S. thesis, Utah State Univ., Logan, UT.
9. Zane B. Wells (2012), Performance of Post-Tensioned Curved-Strand Connections in Transverse Joints of Precast Bridge Decks, M.S. thesis, Utah State Univ., Logan, UT.

Received : 07/24/2014

Revised : 09/15/2014

Accepted : 09/29/2014

---

## 요 지

최근 구조물의 노후화에 따른 급속 교체, 교통 영향 및 환경 영향 최소화의 요구에 따라 프리캐스트 기술을 활용한 모듈러 교량 연구가 활발하게 진행중에 있다. 본 연구는 모듈러 교량과 관련된 연구의 일환으로 모듈러 슬래브 교량의 횡방향 연결부를 대상으로 반복하중 재하 실험을 통하여 횡방향 연결부의 반복 하중에 따른 구조적 거동 특성을 파악하고 사용성 평가하였다. 반복하중의 크기를 결정하기 위하여 RC 보를 1개 제작하였으며 반복하중 재하 실험을 위하여 일체형 RC 보 1개와 분절형 실험체 3개를 제작하였다. 실험결과, 분절형 실험체는 하중 반복 횟수가 증가함에 따라 처짐 및 균열폭이 거의 일정하거나 수렴하는 경향을 나타냈으며, 일체형 RC 보와 비교하여 최대 처짐, 잔류처짐, 균열폭 모두 작게 나타났다. 또한 사용하중을 반복 재하한 실험체의 경우, 처짐 및 균열에 대한 사용성 기준을 모두 만족하였다.

**핵심 용어** : 모듈러 교량, 슬래브, 횡방향 연결부, 프리스트레싱, 반복하중, 사용성 평가

---