

반복하중을 받는 모듈러 슬래브의 거동 및 단면2차모멘트 평가

박종호¹, 최진웅², 이홍명³, 박선규⁴, 홍성남^{5*}

Evaluation of Structural Behavior and Moment of Inertia on Modular Slabs Subjected to Cyclic Loading

Jongho Park¹, Jinwoong Choi², Hong-Myung Lee³, Sun-Kyu Park⁴, Sungnam Hong^{5*}

Abstract: Recently, the maintenance activity for aging of bridge structures was difficult because of traffic jam, environment pollution and increasing cost. And to solve these problems, modular bridge research has been studied. After static and cyclic loading test was conducted for serviceability and bending performance with one way slab, effective moment of inertia of modular specimen was analyzed to estimate the deflection by KCI(2012). To conduct the test, one integral slab and three modular slabs were made for static loading and one integral and modular slab were made for cyclic. As a result of the test, the modular slab had the similar bending performance of the integral. But the ultimate deflection showed the insufficient which was smaller than 20%. In the cyclic loading test, the modular slab has different behavior of deflection with the integral, so it was evaluated difficult for serviceability. In addition, effective moment of inertia by KCI(2012) was not estimated for modular slab with connection. The new value of m which was ratio between moments is 4.53 based on result of test for predicting deflection of modular.

Keywords: Modular bridge, Modular slab, Deflection, Moment of inertia, Cyclic loading

1. 서 론

최근 선진국을 중심으로 교량의 노후화가 심화되면서 보수 및 보강, 교량 재건설에 관한 요구가 증가되고 있다(ASCE, 2013). 그러나 유지관리 공사로 인한 교통체증, 환경피해, 막대한 비용의 투입 등이 문제가 되면서 구조물의 유지관리는 점점 더 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 선진국에서는 이를 효과적으로 해결하기 위하여 조립식 교량에 관한 연구를 진행하고 있으며, 미국의 경우 이를 ABC(Accelerated Bridge Construction) 공법으로 명명하여 활발히 개발, 연구하고 있다(FHWA, 2011). 이에 따라 국내에서도 기계, 플랜트 등의 분야에서 적용되던 플러그 인 기술을 도입한 모듈러 교량에 관한 연구가 진행되고 있다(Modular bridge R & BD, 2012).

모듈러 교량은 프리캐스트 부재를 활용하여 공장에서 표준 모듈을 생산하고 이를 운반하여 현장에서 연결하는 형식이

다. 이에 따라 공사기간의 단축, 부재의 품질 확보, 현장작업의 최소화, 안전, 내구성, 유지관리 비용의 감소 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 프리캐스트 부재 간에 발생하는 연결부로서 인하여 힘의 불연속면이 존재하게 되고, 이로 인하여 일반적인 철근콘크리트 부재와 비교하여 휨 성능 확보가 어려우며, 상이한 휨 거동을 보일 것으로 예상된다.

두 개 이상의 프리캐스트 부재들을 사용한 구조물에 대한 성능 평가에 관하여는 여러 연구자에 의하여 수행되어져 왔다. Issa(2007)는 full-depth male-female 형상의 전단키를 가지는 실험체를 제작하여 단일 전단키의 성능 실험과 기온 변화에 따른 연결부의 피로에 관한 실험들을 수행하였다. Shah(2007)와 Zhu(2012)는 DBT(Decked Bulb Tee) 거더의 연결부에 대한 휨 성능 검증실험들을 수행하고 분석하였다. 이영학(2009)과 신현섭(2012)은 프리캐스트 부재의 새로운 접합부들을 제시한 후에 실험들을 통하여 성능을 검증하였다. 이와 같이 프리캐스트 부재를 사용한 조립식 구조물들에 관하여 연결부의 형상 및 성능 향상을 위한 다양한 방법을 제안하고 그에 대한 성능을 검증하는 연구는 많이 수행되었다.

또한 부재의 처짐을 예측하고자 유효단면2차모멘트를 제안하는 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되었다. Branson(1963/1965)이 철근 콘크리트 부재에 등분포하중을 가하여 휨실험을 수행한 후 단면2차모멘트의 변화량을 분석하고 유

¹정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학 박사과정

²정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학 박사수료

³정회원, 성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과 석사과정

⁴정회원, 성균관대학교 건축토목공학 교수

⁵정회원, 성균관대학교 공과대학 연구교수, 교신저자

*Corresponding author: cama77@skku.edu

•본 논문에 대한 토의를 2015년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

효단면2차모멘트를 제안하였다. 재하하중과 균열모멘트의 하중 관계에서 차수를 3을 제시하였고, 모멘트가 일정한 구간에서 인장증강효과를 고려하였을 때에는 차수를 4로 제시하였다. 이후에 Al-Zaid(1991)과 Al-Shaikh(1993)은 Branson식에서 다루지 못한 등분포 하중, 중앙점 집중하중, 3등분점 집중하중, 등분포 하중과 중앙점 집중하중의 조합 등의 재하 방법들을 고려하여 수정된 유효단면2차모멘트의 식을 제안하였다. 이기열(2008)은 MC-90, Eurocode2, ACI 318-08 등의 한계를 극복하기 위하여 균열거동과 부착특성에 대한 역학적 조건 및 물리적 현상을 만족하는 식을 개발하였고 타당성 및 적용성을 검증하였다. 강주오(2010)는 기존의 유효단면2차모멘트의 개념을 수정 보완하지 않고 균열폭과 처짐의 상관 관계를 통하여 새로운 처짐 산정식을 제안하고 검증하였다. 그러나 이처럼 일반적인 철근콘크리트를 대상으로 유효단면2차모멘트를 판단하는 여러 연구는 다수 수행되었지만, 연결부가 존재하는 프리캐스트 모듈러 부재에 관하여 단면2차모멘트에 관한 검증은 미흡한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 김동현(2014)의 연구에서 수행된 하중의 반복재하 실험의 결과를 통하여 단면2차모멘트의 변화를 분석하고, 정확한 처짐 예측을 위하여 국내 콘크리트구조 기준(2012)에서 제시하고 있는 유효단면2차모멘트의 적용 가능성을 알아보려고 한다.

2. 힘 성능 실험

2.1 실험계획

본 논문의 대상은 콘크리트 T형 거더 모듈러 교량의 횡방향 연결부(Modular bridge R & BD, 2012)를 대상으로 한다. 실험을 위하여 T형 거더의 플랜지와 이음부를 1방향 슬래브로 하여 6개의 실험체를 제작하였다. 정적 휨 성능을 검증하기 위하여 일체형 슬래브 1개와 모듈러 슬래브 3개를 제작하

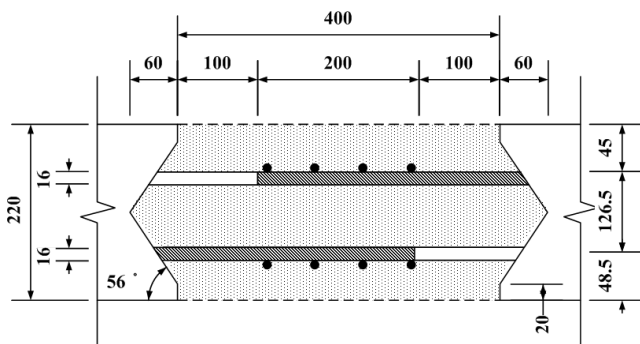


Fig. 1 Specification of module connection

Table 1 Variable of the tested Slab

Loading method	Connection	Name of specimens	Remark
Static load	N	STS	Control
		STM-1	
		STM-2	
Cyclic load	Y	STM-3	
		CTS	Control
		CTM	

였으며, 반복하중 재하 시 휨 성능을 비교·분석하기 위하여 일체형 슬래브와 모듈러 슬래브를 각각1개씩 제작하였다. 연결부 단면은 Fig. 1과 같이 H16 철근을 겹이음 하였으며, 실험체 명을 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용된 실험체는 콘크리트구조설계기준(KCI, 2012)과 도로교 설계기준(KRTA, 2010)을 준용하여 설계 및 제작되었다. 실험체 모두 총길이 3400 mm, 높이 220 mm, 폭 1000 mm로 제작하였고, 순지간은 3000 mm이다. 실험체 제원은 Fig. 2와 같다.

2.2 실험체 제작

일체형 실험체는 철근배근 후 50 MPa 콘크리트를 사용하여 제작하였다. 연결부를 가지는 모듈러 실험체는 연결부를 제외한 양쪽 모듈을 50 MPa 콘크리트를 사용하여 제작하였고 28일 양생하였다. 이후 중앙에서 철근겹이음 후에 120 MPa 초고강도콘크리트를 타설하여 제작하였다. 주철근은 H16을 사용하였으며, 제작과정은 Fig. 3에 나타내었다.

2.3 하중재하 및 측정방법

본 연구에서 사용된 슬래브 실험체의 실제 사용하중은 30 kN이나 본 실험에서는 모듈러 슬래브의 유효단면2차모멘트를 평가하기 위하여 정적하중 재하 실험을 진행하여 실험체의 구조성능을 파악하고 이후 반복하중 재하 실험을 진행하였다.

정적 휨 실험은 UTM(Universal Test Machine)을 사용하였고, 모듈러 실험체의 연결부에 최대 모멘트가 작용하도록 4점 재하 방식으로 실험체의 상부가 압축과괴할 때까지 0.05 mm/s의 속도로 재하하였다. 데이터의 측정은 실험체가 파괴되는 시점까지 수행하였다. 반복하중 재하 실험에는 500 kN 액츄에이터를 사용하여 4점 재하 하였다. 반복하중의 형태는 sine 함수 형태로 최대 하중과 최소 하중의 비는 0.1이다. 반복재하 최대 하중의 크기는 정적하중 재하 실험에서 측정된 극한하중의 60%를 사용하여 사용하중의 범위에서 최대로 설정하였으며, 그 결과 79.1 kN을 재하하였다. 데이터의 측정은 초기,

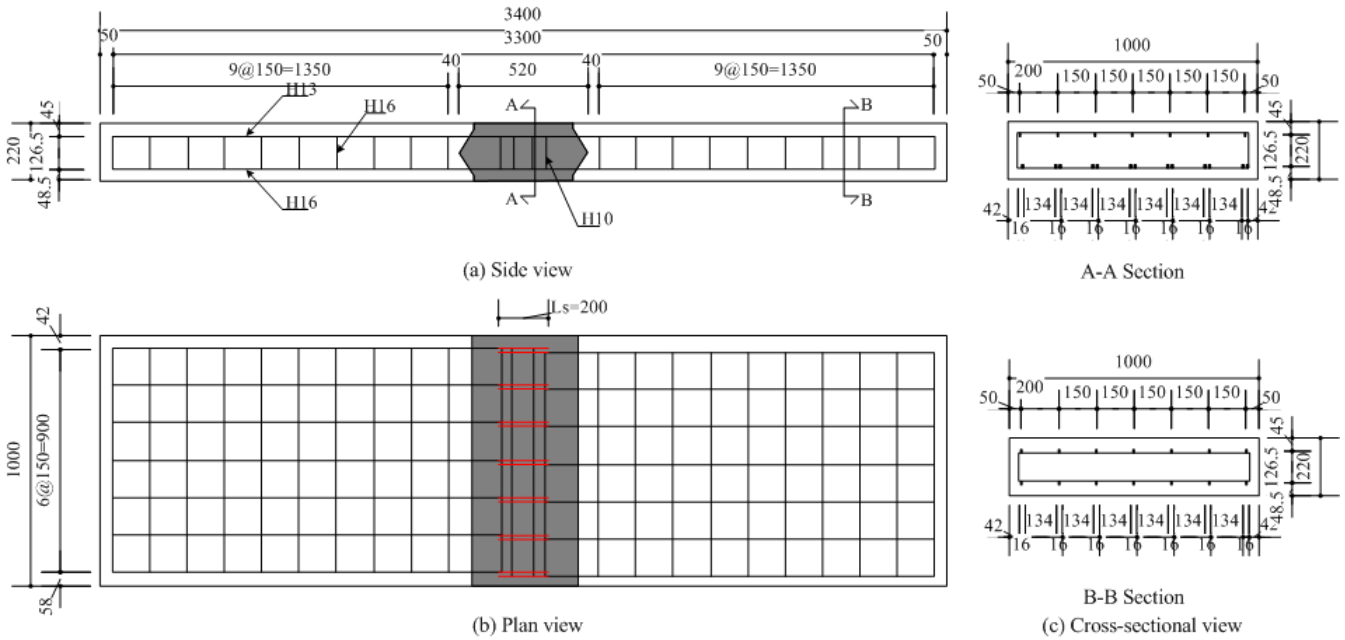


Fig. 2 Specification of specimen

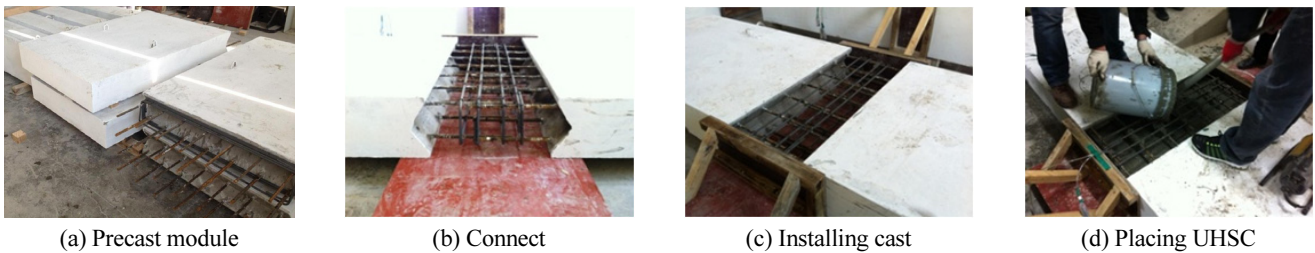


Fig. 3 Procedure of building modular slab specimen

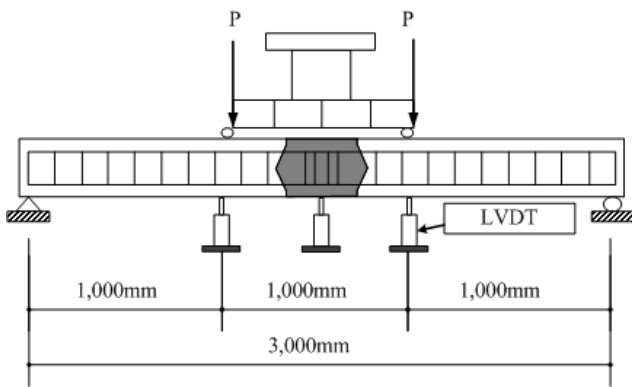


Fig. 4 Test setup

100회, 1000회, 1만회, 5만회, 10만회, 20만회 반복하중 재하 후에 79.1 kN까지 정적 하중 재하하면서 측정하였다.

정적 휨 실험 및 반복하중 재하 모두 Fig. 4와 같이 실험체 1/3, 2/3, 중앙부에 LVDT를 설치하였고, 하중은 1/3, 2/3 지점에 재하하였다.

3. 실험 결과

3.1 균열 양상

정적 휨 실험 및 반복하중 재하 실험의 최종 균열의 모습은 비슷한 경향을 보였으며 Fig. 5에 균열도를 나타내었다. 그러나 균열의 진행 양상은 다르게 나타났다. STS 및 CTS는 중앙부 인장 측에서 초기 균열이 발생하여 지점부로 균열이 진전되는 일반적인 철근콘크리트 보의 균열 양상을 보였다.

최종 파괴는 변위와 균열폭이 증가하다가 중앙부 압축 부분에서 압축파괴가 일어나면서 파괴되어 일반적인 철근콘크리트 보의 양상과 동일하였다.

STM 및 CTM 실험체는 연결부의 접합부에서 부착탈락이 발생한 이후 반복재하 횟수가 증가 할수록 접합부의 이격거리가 증가하였다. 이후 하중가력점에서 균열이 발생하여 지점부로 진전되었고, 중앙부에서 인장파괴가 일어났다.

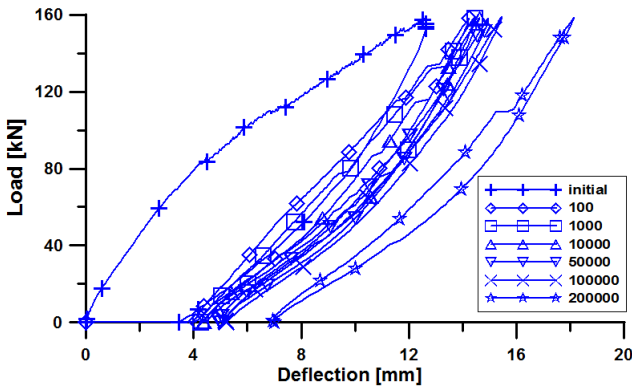


Fig. 8 Result of CTM cyclic test

며, 이후 감소하다가 200000회에서 급격히 증가하여 1.31 mm의 차이를 보였다.

4. 모듈러 슬래브 휨 강성

4.1 단면2차모멘트 변화

철근콘크리트 부재의 처짐은 단면2차모멘트에 영향을 받으며, 4점 재하로 중앙부에 균일한 모멘트를 받는 슬래브의 처짐은 식 (1)과 같다.

$$\delta = \frac{Pa}{24EI}(3l^2 - 4a^2) \quad (1)$$

이때 실험체의 유효단면2차모멘트 I_{exp} 는 중앙 처짐 데이터를 대입하여 식 (2)과 같이 구한다. 콘크리트의 탄성계수는 모듈러 부재에 사용된 50 MPa를 기준으로 콘크리트구조기준 (2012)에 따라 사용하였다.

$$I_{exp} = \frac{Pa}{24E_c \delta_m}(3l^2 - 4a^2) \quad (2)$$

여기서 a 는 지점에서 가력점까지의 거리이며, l 은 슬래브 부재의 순지간이다. δ_m 은 중앙점의 처짐값으로 Table 3에 그 값이 나타나있다. Table 4에 CTS와 CTM의 실험을 통한 단면2차모멘트를 나타내었다.

CTS 실험체는 초기 정적 재하에서 전단면2차모멘트의 22.9%의 값을 가졌다. 이후 100회부터 200000회 까지 1% ~ 2%의 비율로 꾸준히 감소하였으며, 총 86%의 단면2차모멘트 손실이 발생하였다. CTM 실험체는 초기 정적 재하 실험에서 전단면2차모멘트의 18.5%의 값을 보여 CTS 보다 4.4% 작은 값을 보였다. 이는 초기 균열이 연결부 접합부의 부착탈락의

Table 4 Effective moment of inertia of experiment

Number of Cyclic (N)	CTS		CTM	
	I_{exp-S} ($\times 10^{-6} mm^4$)	Ratio	I_{exp-M} ($\times 10^{-6} mm^4$)	Ratio
None	887.33	1	887.33	1
initial	202.84	0.229	164.10	0.185
100	185.91	0.210	145.33	0.164
1000	178.69	0.201	143.52	0.162
10,000	159.31	0.180	141.65	0.160
50,000	148.35	0.167	138.43	0.156
100,000	134.05	0.151	133.87	0.151
200,000	127.92	0.144	114.29	0.129

형태로 발생하여 상대적으로 큰 균열이 발생하였기 때문에 판단된다. 이후 100회부터 50000회 까지 1%내의 변화가 있었으며, 100000회 때 0.5%, 200000회에서 2.2% 감소하였다. 100회부터 100000회 까지 CTS와 달리 2% 내의 작은 감소폭을 보인 것은 CTM 실험체의 파괴 시에 발생한 중앙부 균열을 제외하면, 초기 균열이 접합부 부분에서 대폭 발생한 후 이후의 균열의 수와 폭이 CTS 실험체보다 작게 발생하였기 때문에 판단된다. 이후 200000회에서 초기 부착탈락으로 인하여 접합부 철근에 응력이 집중되고, 철근의 항복이 급격하게 진행되면서 단면2차모멘트가 급격히 감소되는 것으로 판단된다.

연결부를 가지는 CTM 실험체는 접합부로 인하여 초반에 급격한 단면2차모멘트의 감소가 이루어졌다. 따라서 본 연구에서 사용된 모듈러 슬래브에서 초기 접합부의 부착탈락을 방지할 수 있도록 추가적인 공법을 사용한다면 접합부에서 사용된 고강도콘크리트, 추가적인 공법으로 인하여 보다 더 효율적인 휨 거동을 보일 것으로 예상된다.

4.2 유효단면2차모멘트

철근콘크리트에서의 단면2차모멘트는 부재의 처짐 검토를 위한 중요한 요소이다. 이를 위하여 콘크리트구조기준에서는 Branson이 제안한 식 (3)을 사용하고 있으며, Table 5에 콘크리트구조기준에 근거한 일체형 실험체를 기준으로 전단면2차모멘트, 균열단면2차모멘트, 균열모멘트를 나타내었다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} I_{cr} \quad (3)$$

Table 5 Coefficient of efficient moment of inertia

Coefficient	$I_g (\times 10^6 mm^4)$	$I_{cr} (\times 10^6 mm^4)$	$M_{cr} (kN \cdot m)$
Value	887.33	141.29	35.9

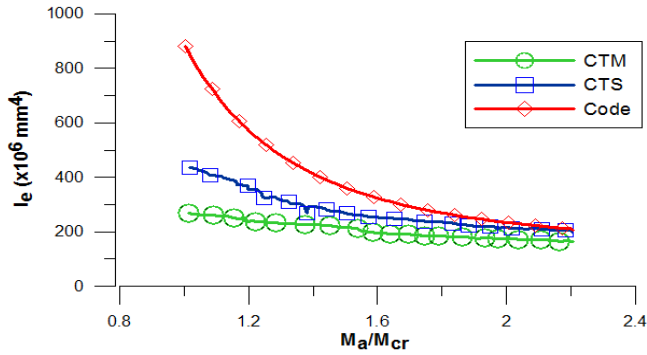


Fig. 9 Comparison of moment of inertia

Fig. 9에 휨 모멘트에 따른 Branson식과 CTS, CTM의 유효 단면2차모멘트를 나타내었다. M_a/M_{cr} 의 비는 균열모멘트 시작 구간인 1부터 최대하중 재하 시점인 2.2 구간이다. CTS 실험체의 경우 균열모멘트가 시작되는 구간에서는 Branson식과 큰 차이를 보였으나 최종 4%의 차이를 보였다. 그러나 CTM 실험체의 경우 22%의 오차를 보여 기존 모듈러 슬래브의 처짐을 과소평가 하고 있는 것으로 나타났다. 이는 실험체에 사용된 고강도콘크리트 그리고 모듈러 실험체의 이음부의 존재로 인한 영향이 있는 것으로 판단된다.

4.2 모듈러 슬래브의 유효단면2차모멘트

콘크리트구조기준(2012)의 Branson식의 적용성을 살펴본 결과 모듈러 슬래브의 유효단면2차모멘트의 평가는 어려움이 있음을 확인하였다. 이는 모듈러 슬래브의 특수한 균열 양상, 접합부와 프리캐스트 모재와의 콘크리트 강도차이, 고강도 콘크리트의 사용의 영향을 적절히 고려하지 못하였기 때문으로 예상된다. 따라서 모듈러 슬래브의 초기 처짐을 정확히 예측하고, 사용성을 평가하고 검증하기 위하여 식 (4)와 같이 Branson 식의 휨 모멘트의 차수를 변수로 두었다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^m I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^m\right\} I_{cr} \quad (4)$$

이후 식 (5)와 같이 변형한 후 반복재하 횟수 각 단계마다 실험값을 적용하여 m값을 도출하였다. 반복재하 횟수가 증가할수록 기준에서 제시하고 있는 균열단면2차모멘트의 값보다 실험체의 단면2차모멘트가 작아지는 현상이 발생하여 함수 내부의 단면2차모멘트에 절대값을 취하여 값을 도출하였다.

$$m = \frac{\ln\left(\left|\frac{I_{exp} - I_{cr}}{I_g - I_{cr}}\right|\right)}{\ln\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)} \quad (5)$$

Table 6 Result of m

Number of Cyclic (N)	CTS	CTM
initial	3.34	4.53
100	4.30	8.28
1000	4.55	7.82
10000	5.63	7.50
50000	7.73	6.45
100000	5.88	5.82
200000	5.32	4.49

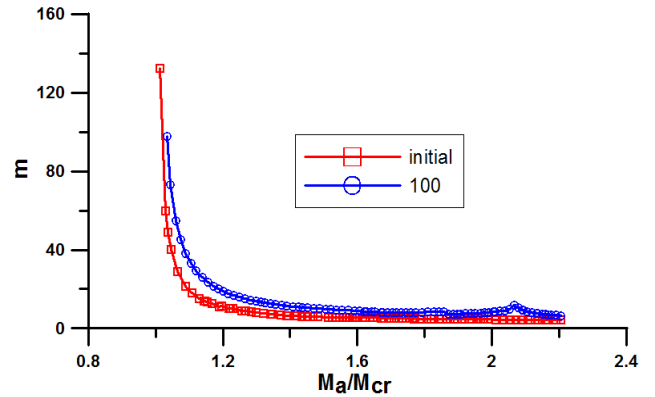


Fig. 10 m of CTM

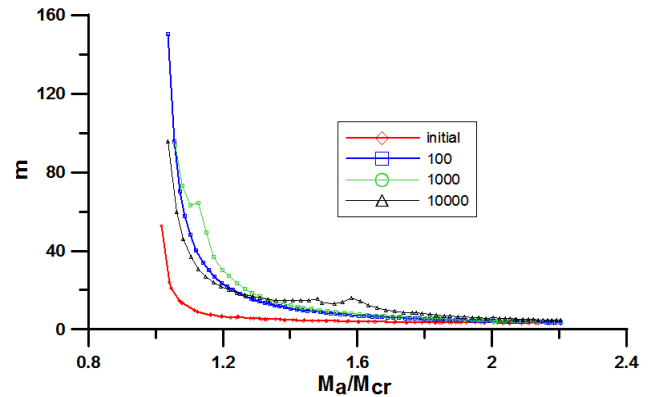


Fig. 11 m of CTS

Table 6에 각 반복재하 단계별로 구한 m값을 모두 나타냈으며, Fig. 10과 Fig. 11에 식 (5)에서 CTS와 CTM 실험체의 유효한 m값을 도출하였다. 하중 단계별로 도출된 m값 중 일정하게 수렴되는 양상을 보이는 구간인 $M_a/M_{cr} = 1.8 \sim 2.2$ 구간의 값을 평균하였다.

사용성 검토에 주로 이용될 초기 m값을 살펴보면 CTS 실험체의 경우 3.34의 값으로 Branson 식의 값보다 11% 큰 값이 나왔다. 100회 43.3%, 1000회 51.6%, 10000회 87.7%으로 커지는 것을 확인하였다. 50000회 때는 유효단면2차모멘트가 과소평가 되었고, 이후의 m값은 단면2차모멘트가 점차 감소

하는 경향을 반영하지 못하였다. 100000회 부터는 실험을 통하여 구한 단면2차모멘트의 값이 균열단면2차모멘트보다 작은 값을 보이기 때문에 계산된 m값의 신뢰할 수 없는 값이다. CTM 실험체의 경우 초기 m값은 4.53으로 콘크리트구조기준보다 45% 큰 값이며, Branson이 제안한 인장증강효과를 고려한 m값인 4보다는 13% 큰 값을 나타냈다. 100회 때의 m값 8.28은 처짐이 급격하게 증가하는 CTM 실험체의 거동을 적절히 반영한 것으로 판단되나 처짐이 과대평가되었다. 그러나 이후의 값은 처짐 거동을 적절히 반영하지 못하는 것을 확인하였으며, 50000회 이후의 m값은 CTS 실험체의 100000회 이후와 동일하게 신뢰할 수 없는 m값이 도출되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 연결부가 존재하는 모듈러 슬래브의 사용하중의 반복 재하 실험결과를 바탕으로 반복하중에서 처짐 거동을 파악하고 콘크리트구조기준(2012)에 따라 유효단면2차모멘트를 평가 및 검증하고자 수행하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) CTS 실험체의 단면2차모멘트는 반복하중 재하 횟수가 증가할수록 1% ~ 2%씩 꾸준히 감소하였으며, 최종 85.6% 감소하였다. 반면에 CTM 실험체의 경우 초기 18.5% 감소하였고, 200000회에서 최종적으로 87.1% 감소폭을 보였다.
- (2) 콘크리트구조기준(2012)에서 유효단면2차모멘트의 예측에 사용하고 있는 Branson식을 이용하여 모듈러 슬래브 실험체의 유효단면2차모멘트를 예측하였다. 균열이 시작되는 구간부터 사용하중이 증가할수록 오차는 줄었으나 최종적으로 22%의 오차를 보여 콘크리트구조기준(2012)의 유효단면2차모멘트 식의 적용은 불가능 한 것을 확인하였다.
- (3) 연결부를 가지는 모듈러 슬래브의 유효단면2차모멘트를 예측하기 위하여 기존 Branson식을 변형하여 m값을 도출하였다. CTM 실험체의 경우 초기 m값은 4.53으로 기존 식의 계수인 3보다 45% 증가된 값을 보였다. 인장증강효과가 고려된 Branson의 m값 4보다는 13% 큰 값을 나타냈다. 100회 까지는 처짐의 경향을 반영하였으나 이후의 거동에서는 CTS 실험체가 10000회 까지 유사한 경향을 예측하는 것과는 다르게 상이한 예측값을 보였다.
- (4) 본 연구에서는 모듈러 슬래브의 정적 휨 실험 및 반복하중 재하 실험을 바탕으로 유효단면2차모멘트의 경향을 분석하였다. 초기 처짐의 예측을 위하여 4.53의 m값이 도출되었다. 향후 연결부를 가지는 슬래브의 유효단면2차모멘트

의 평가 시에는 4.5이상의 m값이 사용이 정확할 것으로 판단된다. 또한 모듈러 슬래브의 장기적인 거동에서는 초반과 최종 파괴 전의 단면2차모멘트가 급격하게 낮아지는 것을 확인하여 일체형 실험체와는 다른 단면2차모멘트의 변화를 파악할 수 있었다. 이는 연결부로 인한 연결부 부분의 미세한 철근 뿔힘, 철근접이음의 시공상태, 콘크리트 강도의 차이 등의 변수가 영향을 미칠 것으로 예상되며 추후 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

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

References

1. ASCE (2013), 2013 Report Card for America's Infrastructure
2. FHWA (2011), Accelerated Bridge Construction Manual
3. Issa, M. and Abdalla, H. (2007), Structural Behavior of Single Key Joints in Precast Concrete Segmental Bridges, *J. Bridge Eng.*, 12(3), 315-324
4. Shah, B., Sennah, K., Kianoush, M., Tu, S., and Lam, C. (2007), Experimental Study on Prefabricated Concrete Bridge Girder-to-Girder Intermittent Bolted Connections System, *J. Bridge Eng.*, 12(5), 570-584
5. Zhu, P. Ma, Z., Cao, Q., and French, C., (2012), Fatigue Evaluation of Transverse U-Bar Joint Details for Accelerated Bridge Construction, *J. Bridge Eng.*, 17(2), 191-200
6. Lee, Y. H., Kim, M. S., Jung, B. N., Kim, H. C., and Kim, K. S., (2009), Experimental Study on Structural Behavior of Joints for Precast Concrete Segment, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 13(6), 59-65
7. Shin, H. S., Lee, C. H., and Park, K. T., (2012), An Experimental Study on Bending Behavior of Steel Grid Composite Deck Joint, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(5), 68-77
8. Branson, D. E., (1963/1965), Instantaneous and Time-Dependent Deflection of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams, HPR Report, Alabama Highway Department/U.S. Bureau of public Roads, 7(1), 78-
9. Al-Zaid R. Z., and Al-Shaikh A. H., and Abu-Hussein, M., M. (1991), Effect of Loading Type on the Effective Moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural Journal*, 88(2), 184-190
10. Al-Shaikh A. H., and Al-Zaid R. Z. (1993), Effective of Reinforcement Ratio on the Effective moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural journal*, 65(9), 144-149
11. Kim, W., Lee, K. Y., and Jung, S. H., (2002), Dflection in

- High-Strength Concrete Flexural Members, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 22(3-a), 631-640
12. Kang, J. O., Kim, K. S., Lee, D. H., (2010), Correlation Between Crack Widths and Deflection in Reinforced Concrete Beams, Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 14(2), 184-192
 13. Kim, D. H, (2014) An Experimental Study on Behavior of Top Flange for a modular T Girder Concrete Bridge, master thesis, Sungkyunkwan Univ.
 14. Korea Concrete Institute (2012), Concrete Structure Design Code.
 15. Korea Road Association (2010), Korea Highway Bridge Code
 16. Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planing (2012), Modular bridge technology development and commercialization mid report, Modular Bridge R& BD.
 17. Park, J. H, (2015), A Study on the Curvature of Flexural Members with Connection in Cyclic Load, master thesis, Sungkyunkwan Univ.

Received : 03/10/2015

Revised : 06/15/2015

Accepted : 10/22/2015

요 지 : 최근 교량의 노후화에 따른 유지관리 활동이 교통체증, 환경오염, 막대한 비용의 소모로 인하여 어려움을 겪으면서 조립식교량 공법을 이용하는 모듈러 교량 연구가 진행 중이다. 본 연구는 모듈러 교량과 관련된 연구의 일환으로 연결부를 가지는 1방향 모듈러 슬래브를 대상으로 반복하중 재하시 단면2차모멘트의 변화를 분석하고 콘크리트구조기준의 유효단면2차모멘트 식과 비교하였다. 반복하중 재하 실험을 위하여 일체형, 모듈러 실험체 각각 1개씩을 제작하였다. 실험결과, 모듈러 실험체는 일체형 실험체의 비슷한 휨 성능을 가지고 있었으나, 극한 변위는 20% 부족한 모습을 보였다. 반복하중 재하 실험에서는 모듈러 실험체는 일체형 실험체와는 상이한 처짐 거동을 보였고 단면2차모멘트의 변화가 상이하였다. 또한 콘크리트구조기준의 유효단면2차모멘트 계산식은 모듈러 슬래브의 단면2차모멘트를 적절히 반영하지 못하고 있음을 확인하였고, 실험값을 기반으로 하중과 균열모멘트의 비율을 새로운 값인 4.53을 구하였다.

핵심용어 : 모듈러 교량, 모듈러 슬래브, 처짐, 단면2차모멘트, 반복하중
