

# I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판의 유효 휨강성 분석

## Analysis of Effective Flexural Rigidity of Corrugated Steel-Concrete Composite Deck with I-beam Welded

손 창 두\*                      홍 성 남\*\*                      박 준 명\*\*                      박 선 규\*\*\*  
Son, Chang-Du              Hong, Sung-Nam              Park, Jun-Myung              Park, Sun-Kyu

### Abstract

Steel-Concrete Composite Deck with I-beam welded is lighter and easier to construct than conventional in situ reinforced concrete slabs due to the I-beam embedded in the corrugated slab. For the calculation of effective flexural rigidity of conventional reinforced concrete structures, methods suggested in Design Standard for Roads and Bridges and ACI have been used. In this paper, the calculation methods were applied to steel-concrete composite deck with I-beam welded and then results of the steel-concrete composite deck were compared with those of reinforced concrete slabs. In addition, applicability of the methods to steel-concrete composite deck with I-beam welded was estimated. In order to compare the effective flexural rigidity, flexural experiments were conducted. Fifteen slabs were built and the variables considered in the experiments were studs, length of the slab, shape of the section and connecting methods.

### 요 지

강합성 절곡 바닥판 중에서 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판은 절곡바닥판내에 I형강을 매입시켜 기존의 현장타설 RC바닥판보다 경량화되고 시공성을 향상시킨 바닥판이다. 현재 일반적인 철근콘크리트 구조물의 유효휨강성에 대한 계산은 도로교설계기준 및 ACI에서 제안하고 있는 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 도로교설계기준 및 ACI에서 제안된 유효휨강성에 대한 산정 방법을 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판에 적용하여 그에 대한 적용성을 평가하고 철근콘크리트 바닥판과 비교를 하였다. 또한 실험변수로서 스티드의 유무, 지간의 변화, 단면의 형태, 부재연결방법에 걸쳐 4가지 변수를 두고 총 15개의 실험체를 제작하여 실제의 휨강성과 ACI에서 제안된 식에 의해 계산된 유효휨강성을 비교, 분석하였다.

**Keywords :** Corrugate deck, Effective flexural rigidity, Steel-concrete composite

**핵심 용어 :** 절곡바닥판, 유효휨강성, 강-콘크리트 합성

\* 학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

\*\* 학생회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

E-mail : orioncell@skku.edu 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

현재 국내에 있는 거더교 형식의 교량 중 많은 수의 교량이 현장가설 콘크리트 바닥판으로 제작되어 있다. 하지만 현장 타설 콘크리트 바닥판은 망상균열 발생에 의한 편칭파괴가 빈번히 발생해 공용중인 교량보수에 어려움이 있고, 숙련된 건설기술인의 감소 및 인건비의 상승으로 시공성과 경제성이 떨어지는 단점을 지니고 있다.

이상의 문제점들을 해결하고 시공성과 경제성을 모두 고려하여 연구되고 있는 바닥판이 강합성절곡바닥판이다. 강합성절곡바닥판중에서 I형강으로 보강된 강합성절곡바닥판은 절곡바닥판내에 I형강을 매입하여 기존의 강합성절곡바닥판 보다 하중저항성능 및 시공성을 향상시킨 것이다. 또한 하중저항성능의 감소 없이 자중을 줄여줄 수 있고 현장 제작시 절곡강판을 거푸집으로 사용 가능하기 때문에 공기단축을 통한 경제성을 높일 수 있는 장점이 가지고 있다. 이러한 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판의 효율적인 사용을 위해서 보다 많은 연구가 이루어져야 하며, 효과적인 처짐 예측을 위한 유효휨강성에 대한 연구가 필수적이다.

본 논문에서 참고한 선행 연구는 다음과 같다. Branson<sup>(8)</sup>(1965)은 응력도와 변형도의 탄성해석을 사용하여 식(1)을 제안했고, Porter<sup>(11)</sup>는 균열시 단면2차모멘트( $I_{cr}$ )와 비균열 상태의 단면 2차모멘트( $I_g$ )의 평균값을 유효단면 2차모멘트로 제안하였다. 또 Lamport<sup>(10)</sup>는 Branson이 제안한  $I_e$ 값에 통계적 처리를 이용해 적절한 상수와 지수의 수정을 가해 보다 잘 일치하는 유효단면 2차 모멘트값을 제시하였다.<sup>(1)</sup>

이흥수(2005)<sup>(6)</sup>는 ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재를 제작하여 직접 전단시험에 의한 직접전단 거동을 분석하였다. Isabel Valente(2004)<sup>(9)</sup>는 Perfobond Rib 전단연결재와 경량콘크리트사이에서 나타는 역학적 거동을 연구하였다. 또한 이준구(2004)<sup>(5)</sup>는 교량용 I형강접합절곡강합성 바닥판의 휨실험을 통해 실험체의 역학적 거동을 분석 하였다. 김태협(2006)<sup>(2)(3)</sup>은 전단지간의 변화에 따른 절곡 강합성바닥판의 수평 전단강도에 대해 연구하였다.

도로교설계기준<sup>(4)</sup> 및 ACI<sup>(7)</sup>에서 제안하고 있는 유효휨강성의 평가방법들은 Fig. 1의  $M_{cr} < M_a$ 인 구간에서 일반 철근콘크리트 구조물의 유효휨강성을 평가할 때 적용된다. 본 연구에서는 기존에 제시된 유효휨강성의 평가방법을 철근콘크리트 바닥판과 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판에 각각 도입해 제시된 식의 적용성 및 적합성을 분석하였다.

또한 합성능력 및 부재연결방법의 변화가 휨강성에 미치는 영향을 알아보기 위해 4가지 변수(전단연결재의 유무, 단면의 형태, 시간, 연결방법의 변화)를 통해서 15개의 실험체를 제작하였다. 정적 휨실험의 방법으로 제작된 실험체들을 실험하고 하중의 증가에 따른 처짐의 변화를 분석하였다. 측정된 하중-처짐관계로부터 단면2차모멘트를 계산하고 실험변수에 따른 휨강성의 영향을 분석 하였다.

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

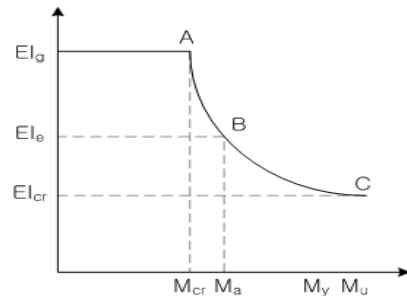


Fig. 1 모멘트에 따른 EI의 변화

## 2. 실험조건

### 2.1 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판의 제작 및 실험 변수

앞에서 언급한 변수에 따라 총 13개의 실험체를 제작하였다. 바닥강판은 SM400( $t=6\text{mm}$ ,  $f_y=240\text{MPa}$ )을 사용 하였고, 콘크리트의 강도는  $30\text{MPa}$ , 이형철근은 H16과 H19, 전단연결재는  $\text{Ø}13 \times 80\text{mm}$ ,  $\text{Ø}16 \times 80\text{mm}$ , 고장력 볼트는 M Type을 사용하였다. 바닥판의 형상과 제원은 길이 별로 Table 1과 같다.

Table 1 바닥판의 재원 및 규격

구분	지간 2.5m의 바닥판			지간 3.5m의 바닥판		
	폭	높이	길이	폭	높이	길이
형상 (mm)	1000	180	2500	1000	200	3500
보강재	t6 × 113mm			t6 × 133mm		
보강재구멍	Ø55 × 9개 × 2층 (양쪽 대칭)			Ø65 × 13개 × 2층 (양쪽 대칭)		
전단연결재	Ø13 × 65mm			Ø13 × 85mm		
전단연결재배열	3개 × 4열 × 2층 (양쪽대칭)			3개 × 6열 × 2층 (양쪽대칭)		
배력철근	10@125=1125mm			13@125=1625		

### 2.1.1 단면 Type

바닥판 단면의 종류는 단면의 형태와 높이에 변화를 주어 총 4가지로 분류된다. Type A와 Type B로 구분해 단면의 형태에 변화를 주었다. 또 2.5m 실험체의 경우 실험체의 높이가 180mm, 3.5m의 실험체의 경우 높이가 200mm로 제작되었다. Type A의 바닥판의 형상은 Fig. 2에 Type B의 바닥판 형상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2와 Fig. 3에 나타나 있는 수직들은 단면의 높이가 180mm인 실험체이며, 괄호 안의 수직들은 단면의 높이가 200mm인 실험체를 나타낸다.

### 2.1.2 연결방법

I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판이 실제로 사용되기 위해서는 바닥판과 바닥판의 연결방법에 대한

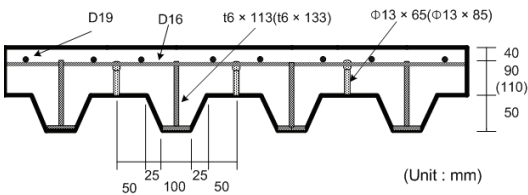


Fig. 2 Type A 바닥판의 형상

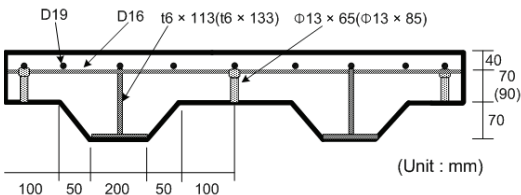


Fig. 3 Type B 바닥판의 형상

고려가 필수적이다. 따라서 연결방법의 거동특성을 분석하고 연결방법이 유효 휨강성의 변화에 미치는 영향을 고려하였다. 연결은 실험체 지간중앙에 실시하고 연결방법을 연결방법 없음, 연결방법 1, 연결방법 2와 같이 3가지 방법으로 실시하였다.

#### (1) 연결방법 1

절곡강판 단부에 55mm의 수직벽을 만들어 수직벽과 수직벽을 단일 볼트로 체결하는 방법이다. 볼트 규격은 M14-10.9t 볼트간격은 125mm로 하였다. 또한 전단연결재 간격은 500mm 간격으로 엇갈리게 설치하였다.

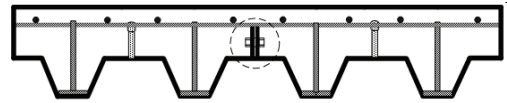


Fig. 4 연결방법 1 형상

연결방법 1의 경우 전단연결재 위치에 볼트를 체결하게 되기 때문에 연결부위에서 전단연결재가 불연속적으로 설치된다. 따라서 본 실험에서는 다음 Fig. 5에서와 같이 전단연결재를 일정한 간격으로 엇갈리게 배치하여 전단연결재의 불연속으로 인한 오차를 최소화 하였다.

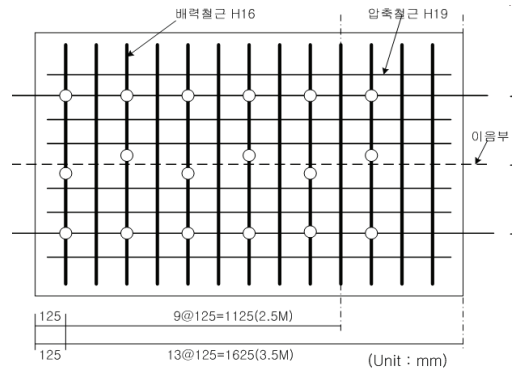


Fig. 5 연결방법 1에서 전단연결재 배치

#### (2) 연결방법 2

실험체 절곡강판의 수직벽을 매입형강의 높이와 일치시키고 I형강과 수직벽을 볼트로 체결하여 접합연결

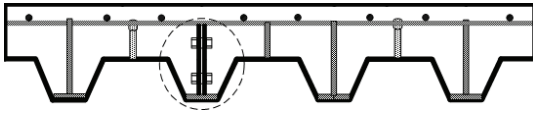


Fig. 6 연결방법 2 형상

효과와 플랜지 제거된 I형강 매입효과를 동시에 얻도록 의도된 방안이 Fig. 6과 같이 연결방법 2이다.

## 2.2 철근콘크리트 바닥판의 제작 및 실험 변수

강합성바닥판과 비교를 위해 각 실험체와 같은 지간을 갖는 철근콘크리트바닥판실험체를 제작하였다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도는 27MPa이다.

이형철근은 각각 지간에 따라 지간이 2.5m인 실험체는 H16를 사용하였고, 지간이 3.5m인 실험체는 H19를 사용하였다. 철근의 강도는 모두  $f_y = 400$  MPa이다. 철근콘크리트 바닥판의 단면형상은 Fig. 7과 같으며, 표시된 수치는 지간이 2.5m인 경우에 해당되며 괄호 안의 수치들은 지간이 3.5m인 경우를 나타낸다.

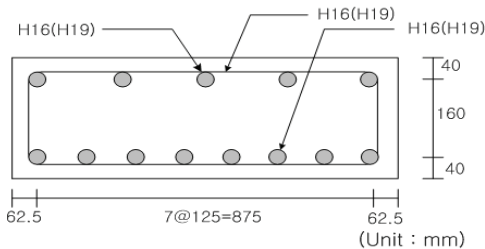


Fig. 7 콘크리트단면의 형상

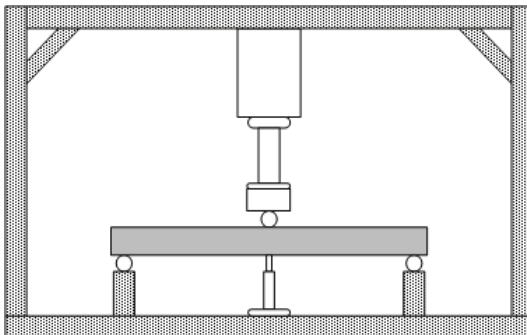


Fig. 8 2.5m 실험체 1점 재하 정면도

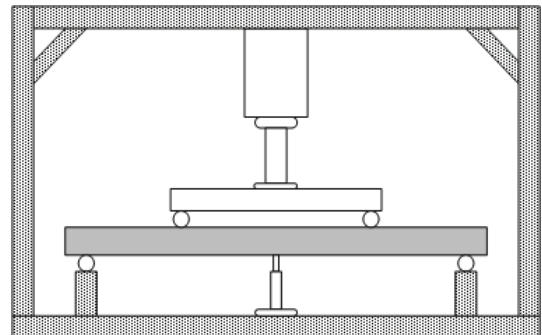


Fig. 9 3.5m 실험체 2점 재하 정면도

Table 2 실험체의 변수 및 자원

실험체명	실험체 종류	규격 (mm)	전단연결재 보강	연결
SAD-1	I형강 으로 보강된 강합성 절곡 바닥판	2500×1000×180	○	없음
SAD-2			×	없음
SAD-3			○	방법 2
LAD-1		3500×1000×200	○	없음
LAD-2			○	방법 1
LAD-3			○	방법 2
SBD-1			○	없음
SBD-2		2500×1000×180	×	없음
SBD-3			○	방법 2
LBD-1	3500×1000×200	○	없음	
LBD-2		×	없음	
LBD-3		○	방법 1	
LBD-4		○	방법 2	
SRC-1	철근	2500×1000×240	.	.
LRC-1	콘크리트	3500×1000×240	.	.

앞에서 설명한 실험변수에 따라 Table 2와 같이 15개의 실험체를 제작하였다. Table 2에서 S, L은 실험체 지간의 변화를, AD, BD는 I형강으로 보강된 강합성절곡바닥판의 단면종류를 나타낸다. RC는 철근 콘크리트 실험체임을 뜻하고, 표시 1, 2, 3, 4는 전단 연결재의 유무와 연결방법 따른 구분을 나타낸다.

## 2.3 가력 및 측정

지간길이 2.5m의 실험체는 Fig. 8과 같이 중앙 1점 재하를 하였다. 지간길이 3.5m의 실험체는 Fig. 9에서와 같이 중앙을 기준으로 양쪽으로 L/4거리의 지점에서 2점 재하를 실시했다. 실험체의 거치시에는 힌지부에서 실험체 끝단까지 거리를 125mm로 하였다.

처짐 측정을 위해 중앙부에 LVDT를 설치하였다. 그리고 연결부위의 벌어짐 변위를 관찰하기 위해 실험체 지간 중앙(L/2)위치의 측면 하부에 벌어짐 변위계 이자를 설치하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 실험결과

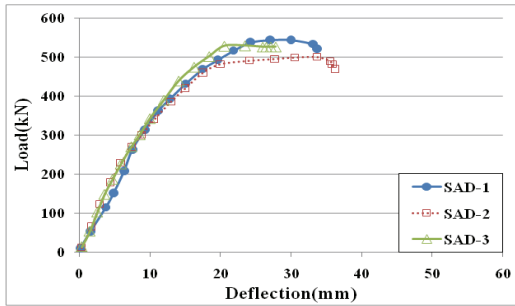
본 연구에서 실시한 정적 휨실험의 결과를 다음의 Table 3과 같이 나타내었다. 다음 Table 3의 항목은 각각  $P_{max}$ 는 최대하중,  $\delta_{max}$ 는 최대하중시의 처짐을 나타낸다. 또한  $P_a$ 와  $\delta_a$ 는 항복강도와 항복처짐을 나타낸다. 하중-처짐 그래프에서  $P_{max}$ 의 75%인  $P$ 점과 원점을 직선으로 연결하고, 이 직선과 최대하중의 접선이 만나는 교점에서의 처짐값을 항복처짐으로 결정하였다. 그리고 항복처짐과 만나는 하중값을 항복강도로 결정했다. Fig. 10는 지간이 2.5m인 실험체의 하

Table 3 실험체별 휨실험 결과

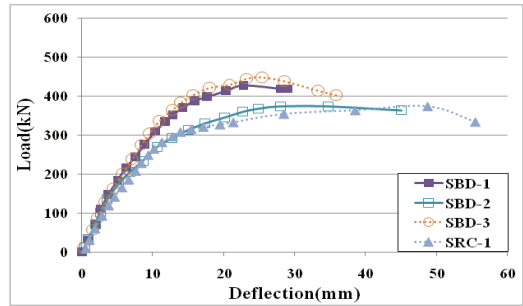
실험체명	$P_{max}$ (kN)	$P_a$ (kN)	$\delta_{max}$ (mm)	$\delta_a$ (mm)	설계하중 (kN)	Stud 보강	연결 방법
SAD-1	543	482	29.4	18.4	463	○	x
SAD-2	498	439	30.9	16.2		×	x
SAD-3	544	474	34.8	16.5		○	2
SBD-1	430	378	23.4	14.7	364	○	x
SBD-2	372	307	27.9	14.6		×	x
SBD-3	448	389	24.9	14.6		○	2
LAD-1	801	749	34.4	29.8	742	○	x
LAD-2	746	678	32.4	28.7		○	1
LAD-3	725	661	30.3	22.7		○	2
LBD-1	678	626	37.3	27.6	610	○	x
LBD-2	565	503	37.1	24.2		×	x
LBD-3	727	672	32.9	25.9		○	1
LBD-4	677	620	26.9	22.5		○	2
SRC-1	383	322	51.0	21.1	184	.	.
LRC-1	502	480	22.8	15.4	357	.	.

중-처짐곡선, Fig. 11은 지간이 3.5m인 실험체의 하중-처짐곡선을 나타내었다.

Table 3을 분석하면 전단연결체가 설치되어 있는 실험체의 최대하중저항 능력이 설치되지 않은 실험체

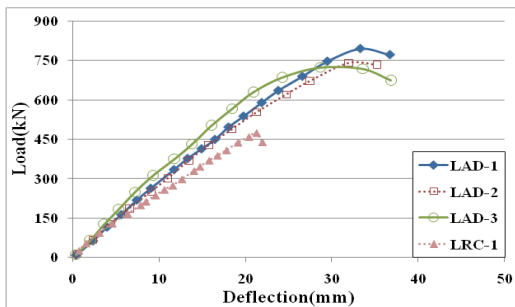


(a) Type A 지간 실험체

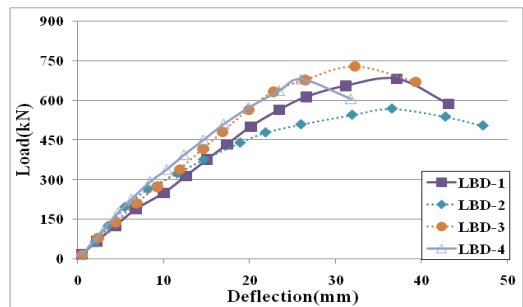


(b) Type B 지간 실험체

Fig. 10 지간 2.5m 실험체 하중-처짐 곡선



(a) Type A 지간 실험체



(b) Type B 지간 실험체

Fig. 11 지간 3.5m 실험체 하중-처짐 곡선

와 비교해 전반적으로 약 9%정도 큰 것으로 나타났다. 이것은 전단연결재의 설치로 인해 실험체의 합성 능력이 증대되어 나타난 결과로 보인다.

단면 Type에 따른 최대하중저항 능력을 비교하면 A단면을 사용한 실험체가 B단면을 사용한 실험체 보다 최대하중저항 능력이 약 9~13%정도 높음을 알 수 있다. 이런 결과의 원인은 절곡바닥판의 부착면적이 Type A가 Type B보다 10% 크기 때문으로 보인다.

연결방법에 대한 영향을 고려할 경우, 실험체가 합성구조이기 때문에 2번의 항복이 일어나거나 항복후에 하중이 증가하는 경우도 있었다. 따라서 동일하중에서 처짐을 비교하였다. 연결을 한 모든 실험체가 동일 하중에서 처짐값이 3~8% 감소했고 연결방법 2가 연결 방법 1보다 동일하중에서 처짐이 더 작게 일어났다.

또한 연결부위에서의 벌어짐 변위를 측정된 결과, LAD-2의 경우에 강판항복발생시 0.24mm 발생하였고 최대하중작용시에 0.42mm 발생하였다. LAD-3의 경우에 연결부위에서의 벌어짐 변위는 강판항복발생시 0mm로 측정되었고, 최대하중작용시에는 0.28mm로 측정되었다. 이것의 원인으로는 연결로 인한 연결부위의 강성의 차이로 생각되어지는데, 연결방법 2의 경우 볼트연결 위치가 I형강과 하부강판에 직접연결되어 있어 연결방법 1보다 처짐의 감소에 보다 큰 영향을 미친 것으로 보인다.

### 3.2 파괴 양상

모든 실험체가 하중증가에 따라 균열의 개수와 폭이 증가하고 하부강판의 항복후에 콘크리트 상부에 압축 파괴가 일어나는 전형적인 휨파괴거동을 하였다.

모든 2.5m 실험체의 초기균열이 중앙부위에서 발생된 반면, SAD-1은 하중재하초기에 실험체와 하중가압판 사이의 편심에 의해 균열이 중앙부에서 12.5cm 떨어진 위치에서 발생하였다.

3.5m 실험체의 초기균열은 하중재하점에서 발생하였다. 파괴양상중 전단연결재가 설치되지 않은 SBD-2의 경우 167kN에서 절곡강판과 콘크리트사이에 계면 파괴를 일으켰다. 반면 SAD-2의 경우 전단연결재가 없음에도 콘크리트와 절곡강판의 완전분리는 일어나지

않았는데 이는 Type A가 Type B에 비해 부착면적이 크기 때문으로 생각된다. 또한 LBD-2의 경우 245kN에서 절곡강판과 콘크리트의 분리가 발생하였으며, 539kN에서 콘크리트와 강판이 크게 분리되며 파괴되었다.

철근콘크리트 바닥판 실험체의 경우, SRC-1 실험체의 초기균열은 29kN의 하중일 때 중심에서 0.35m 떨어진 위치에서 바닥판 밑에서부터 발생하고, 휨균열의 개수와 폭이 증가하면서 파괴를 이루었다. LRC-1의 실험체의 경우에 초기균열은 117.6kN의 하중일 때 중심부에서 0.25m 떨어진 곳에서 바닥판 밑에서부터 발생하였고, 균열개수가 증가하면서 지점부 근처에서 휨전단균열 형태로 발전하며 파괴 되었다.

## 4. 기존 유효 휨강성의 평가 및 변수에 따른 휨강성의 영향 분석

### 4.1 유효휨강성의 적용성 평가

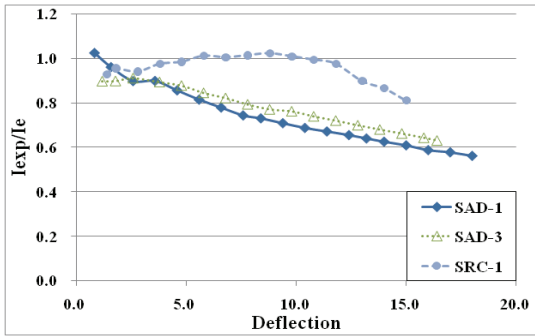
유효휨강성의 적용성을 평가하기 위해서, 측정된 하중-처짐 관계로부터 휨강성( $E_c I_{exp}$ )을 계산하고, ACI에서 제안된 식(1)을 사용하여 유효휨강성( $E_c I_e$ )을 구하였다.  $E_c I_e$ 을 기준으로  $E_c I_e$ 과  $E_c I_{exp}$ 의 차이를 보기 위해 처짐에 따른  $I_{exp}/I_e$ 의 변화를 분석하였다.

유효휨강성의 적용성을 평가한 구간은 초기균열하중부터 Table 3에 정의된 각 실험체의 항복하중까지이다.  $I_{exp}/I_e$ 과 처짐과의 관계를 시간과 단면에 따라 각각 Fig. 12과 Fig. 13에 나타내었다.

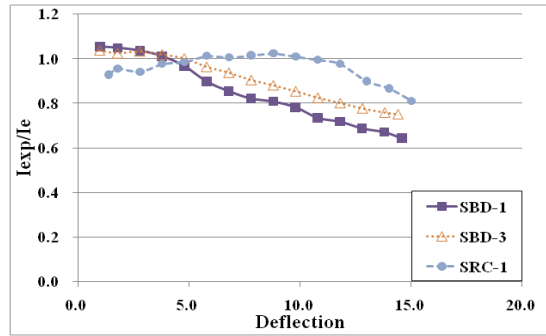
초기의  $I_{exp}/I_e$  값의 변화를 살펴보면 초기 균열이 시작되는 처짐부터 처짐이 대략 3~6mm인 지점까지 처짐이 증가할 때  $I_{exp}/I_e$ 이 약간 증가하는 현상이 나타난다. 이것은 하중재하초기 재하판과 실험체에 일어나는 슬립과 마찰 때문으로 보인다.

철근콘크리트 바닥판 실험체를 살펴보면, SRC-1의 경우 초기균열시의 처짐부터 11mm까지는  $I_{exp}/I_e$ 의 값이 거의 1에 근접한 결과를 나타냈지만 11mm 이후에  $I_{exp}/I_e$  값은 감소하는 경향을 나타냈다.  $I_{exp}/I_e$ 의 감소원인은 처짐 11mm이후에 하중-처짐의 관계가



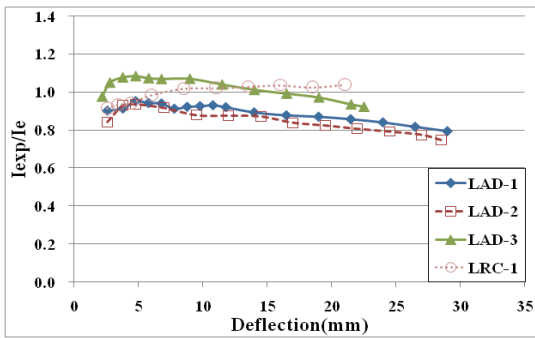


(a) Type A 기간 실험체

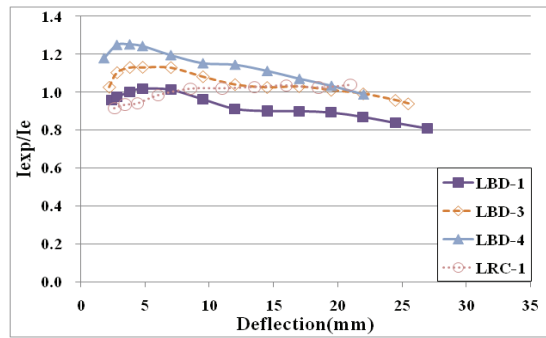


(b) Type B 기간 실험체

Fig. 12 기간 2.5m 실험체  $I_{exp}/I_e$ -처짐 곡선



(a) Type A 기간 실험체



(b) Type B 기간 실험체

Fig. 13 기간 3.5m 실험체  $I_{exp}/I_e$ -처짐 곡선

하중이 거의 증가하지 않는 반면 처짐이 계속 증가하면서  $I_{exp}$ 의 값이 감소했기 때문이다. 반면, LRC-1의 경우에는  $I_{exp}/I_e$ 의 값이 초기에 처짐이 5mm 발생 한 이후에는 이론값과 실제의 값이 상당히 근접하다는 것을 알 수 있었다.

ACI나 도로교 설계기준에서 사용성 평가 구간으로 정하고 있는 처짐의 한계는  $\delta=L/800$ 이다. I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판의 경우, 처짐이  $\delta \leq L/800$ 인 구간에서  $I_{exp}/I_e$  값들의 편차는 0.84~1.26으로 나타났고, 평균은 1.02로 평균오차율 2%로 나타났다. 이 범위 내에서는 콘크리트와 바닥판의 합성작용이 충분하고 따라서 실험체가 일체거동을 함으로 약간의 편차는 발생하지만 비교적 잘 맞는 것으로 나타났다.

하지만 처짐이  $\delta \geq L/800$ 인 구간의  $I_{exp}/I_e$  값의 편

차는 0.56~1.26으로 나타났고, 평균은 0.90로 평균 오차율 10%로 나타났다. 또한  $\delta=L/800$ 을 기준으로 처짐이 증가할수록  $I_{exp}/I_e$  값이 계속해서 떨어지는 것을 알 수 있다. 이런 현상의 원인은 대부분의 실험체가 처짐이  $\delta=L/800$ 인 지점에서 초기 균열이 발생한 이후, 하중이 증가할수록 균열개수와 균열폭이 발달하면서 콘크리트와 바닥판의 합성능력이 떨어지기 때문으로 보여 진다. 다음 Table 4는 처짐이  $\delta \leq L/800$ 인 구간에서  $I_{exp}/I_e$ 의 평균 및 최대편차와 처짐이  $\delta \geq L/800$ 인 구간에서  $I_{exp}/I_e$ 의 평균 및 최대편차를 나타낸 것이다. ACI에서 제안된  $I_e$  값은  $I_g$  값부터  $I_{cr}$  까지를 최대, 최소로 결정하고  $(M_{cr}/M_a)^3$ 을 변수로 하여 이 변수 만큼 일정비율로 감소하며 계산된다. ACI에서 제안된 방법으로 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판을 계산 할 경우에 계면파괴, 콘크리트와 바닥

Table 4 실험체별  $I_{exp}/I_c$ 의 구간별 최대값 및 평균값

실험체명	$\delta \leq l/800$	$\delta \leq l/800$	$\delta \geq l/800$	$\delta \geq l/800$
	평균	최대편차	평균	최대편차
SAD-1	0.95	0.90	0.70	0.56
SAD-2	0.96	0.94	0.75	0.59
SAD-3	0.90	0.89	0.76	0.63
SBD-1	1.05	1.06	0.81	0.64
SBD-2	1.18	1.19	0.88	0.62
SBD-3	1.03	1.04	0.89	0.75
LAD-1	0.92	0.90	0.89	0.78
LAD-2	0.90	0.84	0.85	0.75
LAD-3	1.05	1.08	1.03	1.09
LBD-1	0.99	0.96	0.91	0.80
LBD-2	1.13	1.20	0.96	0.74
LBD-3	1.10	1.13	1.04	1.13
LBD-4	1.24	1.26	1.12	1.25
SRC-1	0.94	0.93	0.96	0.78
LRC-1	0.93	0.91	1.02	0.94

판의 합성능력저하에 의한 전단슬립 발생등 I형강으로 보강된 절곡강합성 바닥판에서만 발생하는 특수한 요인들이  $I_c$ 값 계산에 미치는 영향이 작다. 따라서 이러한 하중이 증가할수록 실험에 의해 얻어지는 휨강성파 계산되는 유효휨강성과는 차이가 커지게 된다.

## 4.2 변수에 따른 휨강성의 영향 분석

### 4.2.1 전단연결재에 의한 영향

SAD-1실험체와 SAD-2실험체를 비교하면 휨강성의 차이가 최대 9.1%까지 나타났지만, 처짐이 증가하면서 파괴시에는 둘의 휨강성이 거의 비슷한 값을 나

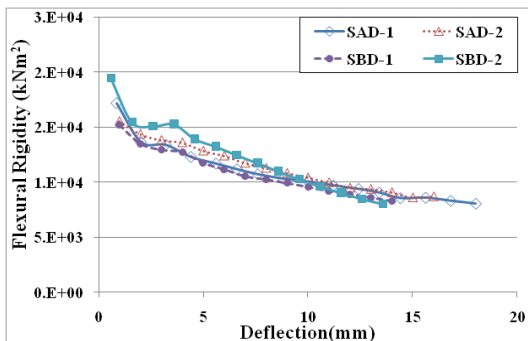


Fig. 14 전단연결재 영향에 따른 실험체의 휨강성-처짐

타냈다. 그리고 SBD-1과 SBD-2 역시 휨강성의 차이가 최대 14.2%까지 나타났지만, 위의 두 실험체와 유사하게 파괴시에는 휨강성의 차이가 거의 없었다.

초기에 두 비교 실험체 사이에 휨강성의 차이는 콘크리트와의 바닥판의 합성능력차이 때문으로 보여지며 그에 따라서 처짐값이 다르기 때문에 각 처짐에 대한 휨강성 역시 다르게 나타난 것이다. 그리고 하중이 증가함에 따라 휨강성의 차이는 줄어들며 실험체의 파괴 시에서 휨강성은 거의 같아지는 것을 알 수 있다. 이는 실험체가 파괴에 이르렀을 때 압축부분 콘크리트의 압축파괴가 일어나 전단면에서의 콘크리트가 받는 하중저항능력이 없어서 바닥판과 I형강만이 휨강성을 발휘하기 때문이다. 다음 Fig. 14는 전단연결재 영향에 따른 비교실험체들의 휨강성-처짐 그래프이다.

### 4.2.2 바닥판 Type에 대한 영향

바닥판Type이 휨강성에 미치는 영향을 고려하기 위하여 SAD-1과 SBD-1, LAD-1과 LBD-1을 각각 비교 분석하였다. SAD-1과 SBD-1은 각각의 처짐에 대한 휨강성이 약 2~5% 정도의 차이로 SAD-1이 높게 나타났다. 그리고 LAD-1은 LBD-1보다 휨강성이 각 처짐에 대해서 4~10% 높게 나타났다.

단면 Type A를 사용한 실험체들의 휨강성이 Type B를 사용한 실험체들의 휨강성 보다 높게 나타나는 원인은 바닥판과 콘크리트의 부착면적이 Type A를 사용한 실험체가 10%정도 높기 때문인 것으로 보여 다. Fig. 15는 바닥판 Type영향에 따른 실험체의 휨강성-처짐의 관계에 대해서 나타낸 그래프이다.

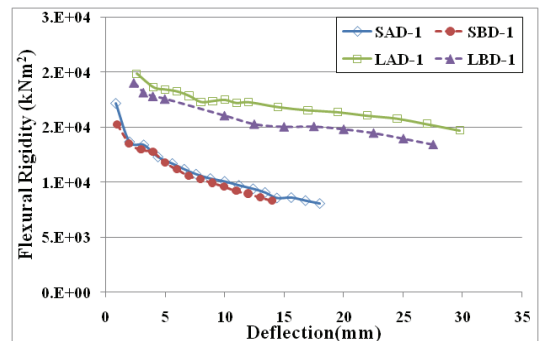


Fig. 15 바닥판 Type영향에 따른 실험체의 휨강성-처짐



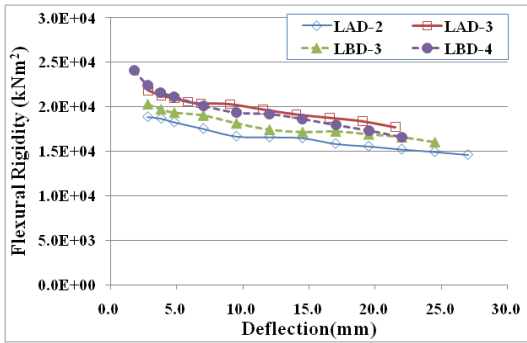


Fig. 16 연결방법에 따른 각 실험체의 휨강성-처짐

#### 4.2.3 바닥판 연결방법에 대한 영향

바닥판 연결방법이 휨강성에 미치는 영향을 고려하기 위하여 LAD-2과 LAD-3, LBD-3과 LBD-4를 각각 비교 분석하였다. 연결방법 2로 연결된 실험체 LAD-3과 LBD-4가 연결방법 1로 연결된 LAD-2와 LBD-3보다 각 처짐에 따른 휨강성이 13~19% 높은 것으로 나타났다.

LAD-2과 LAD-3의 경우를 예로써 살펴보면 두 실험체의 최대하중이 비슷함에도 불구하고 연결방법 2로 연결된 LAD-3 실험체의 처짐이 LAD-2의 실험체와 비교하였을 때 약 8% 적게 나타냄을 알 수 있다. 차이의 원인은 연결방법 2로 실험체 중앙부분을 연결할 때, 수직벽과 I형강을 볼트로 체결하여 연결하기 때문에 연결방법 1보다 단면 하부에서 연결에 의한 강성의 증가 더 높기 때문으로 고려되어 진다. Fig. 16은 바닥판 연결방법의 변화에 따른 각 실험체의 휨강성과 처짐의 관계에 대해서 나타낸 그래프이다.

## 5. 결론

I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판의 유효휨강성 평가를 위해 총 15개의 실험체를 통해 정적휨실험을 실시한 실험체의 유효휨강성의 평가 결론은 다음과 같다.

- 1) 기존에 사용되고 있는 유효휨강성에 대한 계산 방법을 I형강으로 보강된 강합성 절곡 바닥판에 적용했을 경우에 초기균열 이후 처짐이 증가함에 따라  $I_{exp}/I_e$  값이 일정한 비율로 감소하였고 모든 실험체가 선형적으로 비슷한 양상을 보이며 감소했다.

- 2) 전단연결재가 없는 경우 콘크리트와 바닥판의 합성 능력 저하로 인한 계면파괴가 발생하였다. 또한 콘크리트와 바닥판의 분리가 시작되고 계면파괴가 발생되면서 실험체의 처짐이 크게 증가하며, 휨강성 또한 전단연결재가 있는 실험체보다 작게 나타났다.
- 3) 바닥판 형상이 Type A인 경우에서 Type B인 경우보다 동일 처짐에서 하중저항과 휨강성이 높게 나타났다. 바닥판과 콘크리트의 접촉면적이 높은 경우에 하중저항성능과 실험체의 휨강성이 높게 나타났다.

또한 바닥판의 연결방법을 2가지로 실험한 결과, 연결방법1로 연결한 실험체보다 연결방법2로 연결한 실험체의 처짐이 평균 8% 정도 작게 나타났다.

결과적으로 사용성 검토 측면을 고려해볼 때, 사용성 평가구간인  $\delta \leq L/800$ 에서는 ACI 및 도로교설계기준에서 제시하고 있는 방법이 비교적 잘 맞는 것으로 나타났다. 하지만 ACI와 도로교설계기준에서 제안하고 있는 유효휨강성의 계산방법은 처짐이  $\delta \geq L/800$ 인 구간에서 적용하기에는 적당하지 않았다.

## 참고문헌

1. 김동규, "합성용 테크플레이트를 이용한 합성바닥판의 구조적 거동에 관한 연구" 한양대학교, 석사 학위 논문, 1996.
2. 김태협 "전단지간의 변화에 따른 절곡 강합성바닥판의 수평전단강도" 성균관대학교, 석사학위논문, 2006.
3. 김태협, 박준명, 홍성남, 박선규, 김형렬, "전단지간의 변화에 따른 PSC거더용 강-콘크리트 합성 바닥판의 역학적 거동" 한국콘크리트학회, Vol. 19, No. 3, 2007, pp. 275-281.
4. 대한토목학회 교량설계핵심기술연구단, "도로교설계기준 해설" 2008.
5. 이준구 "교량용 I형강 집합 절곡 강합성 바닥판의 역학적 거동"성균관대학교, 석사학위논문, 2004.
6. 이홍수 "ㄱ형 Perfobond 리브 전단연결재의 전단거동" 단국대학교, 박사학위논문, 2006.
7. ACI Committee 318, Building Code Requirements for structural Concrete(ACI 318R-02), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2002.

- 
8. Branson, D. E., "Instantaneous and Time-Dependent Deflections of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams" HPR Rep. No. 7, Part 1, Alabama Highway Department, Bureau of Public Roads, Montgomery, Ala.
  9. Isabel Valente, Paulo J.S. Cruz "Experimental analysis of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete" Journal of Constructional Steel Research, Vol 60, Issues 3-5, March-May 2004, pp. 465-479.
  10. Lamport, W. B "Deflection predictions for slabs reinforced with steel decking" ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 5, Sep-Oct 1990.
  11. Porter, M. L, Carl E. Ekberg, Jr., "Design recommendations for steel deck floor slabs", Journal of Structural Division Proceedings of the ASCE, Vol. 102, No. ST11, November 1976.

(접수일자 : 2008년 12월 26일)

(심사완료일자 : 2009년 3월 9일)