

# 강섬유 보강 데크플레이트 콘크리트 슬래브의 장기 거동

홍건호<sup>1\*</sup>, 황승구<sup>2</sup>

## Long-term Behavior of Deck-plate Concrete Slab Reinforced with Steel Fiber

Geon-Ho Hong<sup>1\*</sup>, Seung-Koo Hwang<sup>2</sup>

**Abstract:** Recently, research on the development of a composite slab system for shorting the construction period by simplifying the process by omitting the form work and the reinforcement placing is underway. The purpose of this study is to evaluate the long-term behavior of a simplified slab system that replaces the form work and tensile reinforcement using structural deck-plate and replaces the temperature reinforcement using steel fiber reinforced concrete. In the conventional composite deck-plate slab method, w.w.f is generally used for crack control by drying shrinkage. But previous research results by various researchers were pointed out it is not effective to control the shrinkage and temperature cracking. In this study, the long-term cracking and structural behavior of steel fiber reinforced deck plate slab specimen with two continuous spans constructed under typical load conditions were evaluated. Experimental results showed that the number and width of long-term cracks decreased remarkably in the simplified slab specimen, and the deflection was also decreased compared with conventional RC slab specimen. However, in the continuous end of the slab where the negative moment is applied, it is analyzed that reinforced details are necessary to control the crack width in the service load and to recover deflection at load removal.

**Keywords:** Steel fiber, Deck-plate slab, Cracking behavior, Drying shrinkage of concrete, Deflection

### 1. 서 론

철근 콘크리트 구조는 건설 구조재료 중 경제적이고 전체 구조가 일체화되어 있어 안전성이 우수하며, 외부환경에 대한 내구성 또한 양호하다. 그러나 건축물의 규모가 클수록 시공에 소요되는 공사 기간이 길어 다른 구조방식에 비해 시간이 많이 소요되고 이는 인건비를 포함한 공사비 상승을 초래한다는 단점이 된다.

거푸집 설치 및 철근 배근 공정은 공사 기간에 중요한 항목들이다. 철근 콘크리트 구조 시공 시 구조 부재 중 비중이 가장 큰 것은 슬래브이며 최근 건축물들의 고층화로 인하여 그 비중이 더욱 증가하는 추세이다. 즉, 기존 철근 콘크리트 공법에서 슬래브의 거푸집과 철근 공사에 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

본 연구의 최종 목적은 이를 개선하기 위해 거푸집과 인장 철근의 역할을 수행하는 구조용 데크플레이트를 적용하고, 균열 방지용 온도철근을 대체하는 강섬유보강 콘크리트를 사

용한 합성슬래브를 개발하는 것이다. 즉, 본 연구에서 개발하고자 하는 강섬유보강 데크플레이트 슬래브는 현장에서 거푸집 및 철근을 배근하지 않아 공기단축이 가능하며, 구조 성능 및 우수한 균열 저항 성능을 가진 바닥 슬래브 시스템이다.

선행 연구에서 강섬유 혼입량에 따른 구조용 데크플레이트 단순 슬래브의 휨 실험을 진행한 결과 공칭강도 대비 내력 발현율에서 보통의 철근 콘크리트 슬래브보다 우수한 성능을 나타내었고, 약 3배 이상의 강성을 가지는 것으로 평가되었다. 휨 실험 시 최대변위 또한 약 2배에 달하는 결과를 얻었으며 이는 데크플레이트가 상당한 곡률 연성을 가지는 것으로 평가된다. 데크플레이트 슬래브 실험체 중 강섬유 혼입 여부에 차이를 가진 실험체들의 모멘트-곡률 관계는 상당히 유사한 것으로 나타났으며, 강섬유를 혼입하는 것이 휨 내력 및 곡률 측면에서는 큰 차이가 없는 것으로 평가되었다(Hong, 2014 and 2015).

기존의 데크플레이트 슬래브 공법은 건조수축에 의한 균열 제어를 위해 상부 철근으로 D6의 용접 철망을 현장 배근하고 있으나 피복 두께가 작은 슬래브의 특성상 용접 철망의 횡보 강근을 따라 균열이 다수 발생할 잠재적인 가능성이 지적되었다(Yang et al., 2005). 이러한 용접 철망의 문제점을 보완하고 강섬유를 혼입한 콘크리트를 타설하여 철근 배근 공정 생략, 인건비 감소 등 상승효과를 유도하는 것이 본 연구의 목적

<sup>1</sup>정회원, 호서대학교 건축공학과 교수, 교신저자

<sup>2</sup>학생회원, 호서대학교 건축공학과, 석사과정

\*Corresponding author: honggh@hoseo.edu

Dept. of Architectural Engineering, Hoseo University, Asan, 31499, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

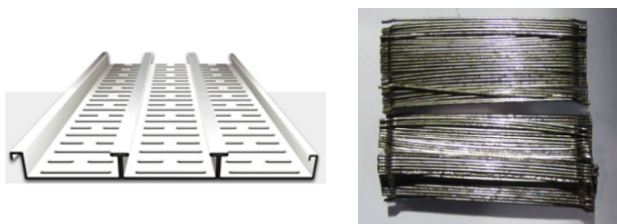
이다. 이 연구에서는 개발 슬래브시스템의 장기 균열거동과 철근이 배근되지 않는 상황에서의 연속슬래브 부모멘트 구간의 구조 및 사용성능을 평가하기 위하여 보통 철근 콘크리트 슬래브와 강섬유보강 데크플레이트 슬래브를 동시에 제작한 후 초기 건조수축 균열, 자중으로 인한 처짐 및 재령 28일 이후 사용 하중 작용 시의 균열 및 구조적 거동을 평가하고, 이후 슬래브의 극한 구조성능 및 균열양상을 비교, 분석하도록 하였다.

## 2. 슬래브 장기 하중 재하 실험

### 2.1 사용 재료

#### 2.1.1 데크플레이트

데크플레이트는 크게 거푸집용과 합성구조용으로 구분할 수 있다. 거푸집용 데크플레이트는 상부에 용접 된 철근이 구조적 역할을 수행하며 하부 강판은 시공 시 거푸집의 역할을



(a) Flat steel deck-plate (b) End-hook type steel fiber

Fig. 1 Main material figuration

담당하나 시공 후에는 구조적 역할을 수행하지 못하는 반면, 합성구조용 데크플레이트는 타설 시 강판과 콘크리트가 일체화되어 합성슬래브를 구성하게 된다.

콘크리트가 경화되기 전에는 데크플레이트강판이 거푸집 역할을 하고 경화 후에는 인장철근의 역할을 수행하기 때문에 거푸집 설치작업과 철근 배근 공정을 생략 가능함으로서 공사 기간 단축을 할 수 있는 장점을 갖는다. 본 연구에서는 Fig. 1(a)와 같은 구조용 데크플레이트 제품 중 하부가 평판형상이며 타설 시 콘크리트의 단면이 일정하게 유지되는 구조적 성능과 사용성을 유리하게 확보하는 Y사의 ‘파워데크’ 제품을 적용하였다. 1.0 mm 두께의 아연도금 강판으로 제작되었고 내화성능을 인정받은 제품으로, 리브가 콘크리트에 매립되어 일체성을 확보할 수 있도록 개발되었다. 제품의 기계적 성능 Table 1과 같다.

#### 2.1.2 강섬유

일반적으로 슬래브는 온도변화나 콘크리트의 건조수축으로 인한 균열방지용 수축온도 철근을 배근한다. 강섬유를 콘크리트에 혼입하여 구조용 데크플레이트 상부에 배근 되는 온도 철근을 대체하고자 하며 강섬유를 혼입한 콘크리트는 높은 인장강도, 휨 파괴 계수, 전단 강도, 균열제어 성능, 연성적인 거동특성, 건조수축의 제어, 피로 강도의 증가 등 성능이 우수한 것으로 밝혀졌다. 이번 실험체 제작에 사용한 강섬유 형상은 Fig. 1(b)과 같으며 직경 0.75 mm, 길이 60 mm의 형상 비 80인 단부 후크형태이다. Table 2에는 강섬유의 주요 성능을 나타내었다.

Table 1 Properties of steel deck-plate

Standard	Symbol	Mechanical property			Thickness (mm)	Weight (kg/m <sup>2</sup> )	Section property(1 m)		
		Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation(%)			Area (mm <sup>2</sup> )	Neutral axis (mm)	Moment of inertia (mm <sup>4</sup> )
KS D 3506	SGC400	295	400	18	1.0	15.45	1,947	17.72	948,000

Table 2 Properties of end-hook type steel fiber

Diameter(mm)	Length(mm)	Aspect ratio(L/D)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Elastic modulus (×10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )
0.75	60	80	7.85	200	The average over 500

Table 3 Mix design and properties of concrete

Specimen	W/B(%)	S/a(%)	Mix design (kg/m <sup>3</sup> )								28 days compressive strength(MPa)
			W	OPC	S/P	F/A	S1	S2	G	Steel fiber	
RC	47.0	52.0	174	222	93	56	446	446	810	0.0	23.8
SFSD	47.0	52.0	174	222	93	56	446	446	810	15.7	27.5

### 2.1.3 콘크리트 및 철근

실험체에 사용된 콘크리트는 설계기준 압축강도 24 MPa로써 배합표는 Table 3과 같다. 재령 28일에 실시된 압축강도 실험결과에서 강섬유를 혼입하지 않은 보통 콘크리트는 23.8 MPa로 나타났으며, 강섬유를 혼입한 콘크리트는 27.5 MPa로 측정되었다. 실험체 제작에 사용된 철근은 모두 SD400 철근을 사용하였다.

## 2.2 균열 성능

### 2.2.1 실험 계획

기존에 수행한 단순슬래브 실험결과와의 적용성 확대를 위해 실제 건축물에서 발생할 수 있는 연속 슬래브 구간에 대한 실험을 실시하여 슬래브의 균열을 평가하도록 하였다. 실험체의 제작은 양중 및 운송과정에서 생길 수 있는 균열, 손상, 경계조건의 변동이 일어나지 않도록 하기 위해 구조실험 장소에서 직접 거푸집 설치부터 타설, 양생, 실험을 진행하였다.

실험체의 계획은 대조군으로써 보통 철근 콘크리트 슬래브와 실험군인 강섬유 혼입 테크플레이트 슬래브로써 두 실험체 모두 두 경간을 갖도록 하여 중앙부에 연속 단부가 존재하도록 하였다. Fig. 2와 같이 길이는 7.1 m, 한쪽 슬래브 순경간은 3.4 m, 두께는 180 mm로 제작하였으며 주택 설계 하중을 바탕으로 슬래브를 설계하여 철근을 배근하였다. 강섬유는

철근보다 단가가 높은 경제적인 조건과 기존 강섬유 콘크리트 연구 동향(Yang, 2008) 및 사전 연구(Hong, 2014 and 2015)를 통하여 슬래브 수축온도철근비 0.2%에 해당하는 철근량의 중량(31.4 kg/m<sup>3</sup>)를 산정한 후 이의 절반(15.7 kg/m<sup>3</sup>)만 혼입하도록 하였으며, 이는 부피비로 환산할 경우 콘크리트의 0.5%에 해당한다.

### 2.2.2 실험 방법

실험체의 균열저항성능을 평가하기 위하여 콘크리트 타설 후 양생이 진행됨과 동시에 실험체 상부면의 건조수축 균열과 자중에 의한 균열을 측정하기 시작하였으며, 재령 28일 이후에는 콘크리트 블록을 장기재하하여 재하하중에 의한 장기 균열 거동을 분석하도록 하였다.

균열의 측정은 먼저 육안에 의한 균열의 발생여부를 관찰하였으며, 육안으로 확인된 균열에 대해서는 Fig. 3(a)와 같은 균열측정기(FAST FCV-30)를 사용하여 균열폭을 계측하였다. 균열측정기로 측정된 결과는 Fig. 3(b)처럼 사진으로 저장되고 범위 내의 균열을 수백 개의 점으로 폭을 측정된 뒤 측정값의 상·하위 5%를 제외한 평균으로 계측되며, 측정된 균열값의 오차는 0.02 mm 이내이다.

재령 28일부터는 Photo 1 및 Fig. 4와 같이 양측 슬래브 중앙에 콘크리트 블록을 장기하중으로 재하하여 실험체에 발생

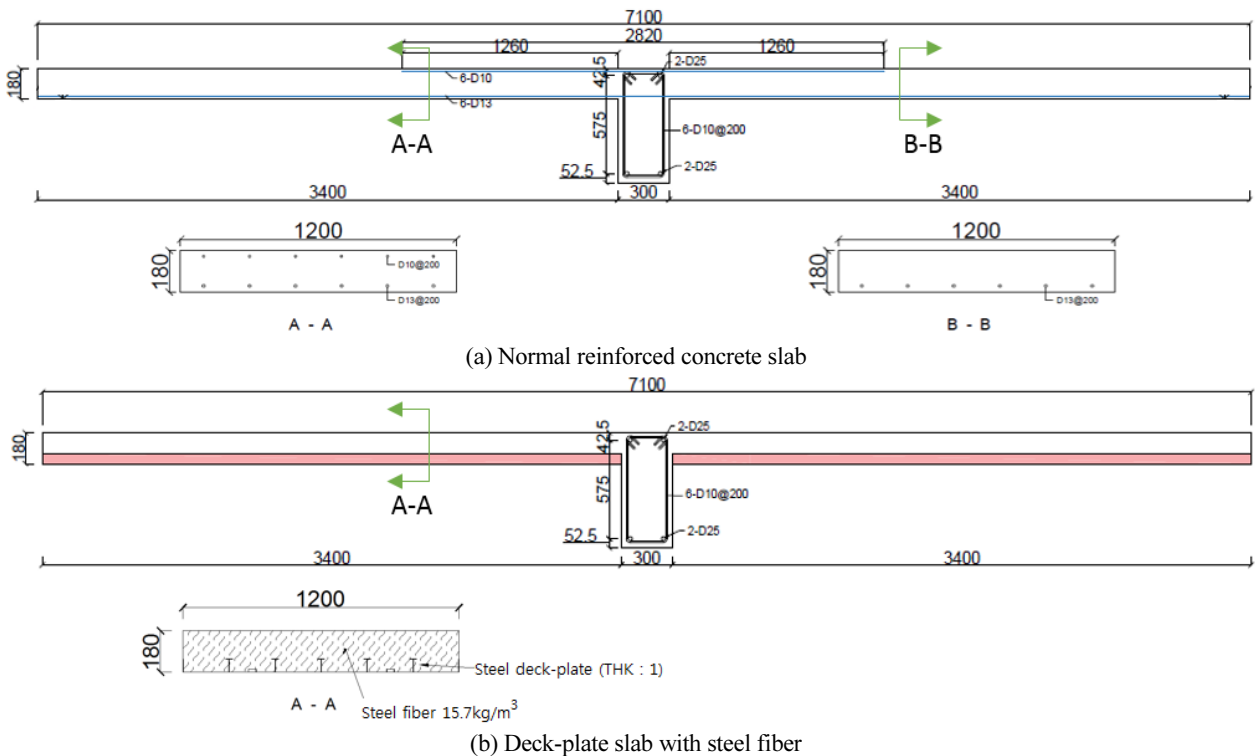


Fig. 2 Specimen detail

하는 균열을 측정, 자료를 수집하도록 하였다. 콘크리트 블록은 일반 주택에서 부하되는 등분포 하중이 재하 되었을 경우를 모사한 것으로 이는 실험을 진행하는 동안 등분포 하중을 지속적으로 재하 하는데 어려움이 있기 때문에 Fig. 5처럼 등분포 하중 재하시 슬래브 한 경간의 최대 모멘트 값과 콘크리트 블록을 쌓아 발생하는 최대 모멘트 값을 동일하게 유도하였다. 장기재하 하중은 실험체의 자중을 제외하고 추가적인 고정하중  $1.5 \text{ kN/m}^2$ , 활하중  $2.0 \text{ kN/m}^2$ 을 가정하여 하중을 설정하였다. 콘크리트 블록은  $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$  크기로 제작되었으며, 모서리 가공 등을 고려하여 블록 하나의 무게는



Photo. 1 The foreground of the specimens

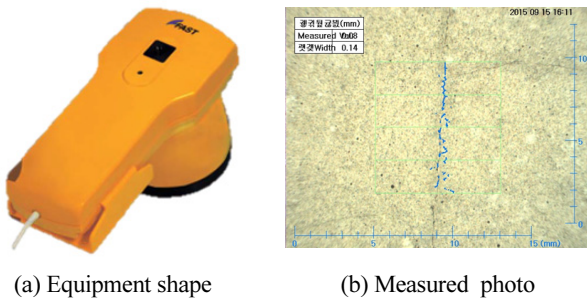


Fig. 3 Crack viewer

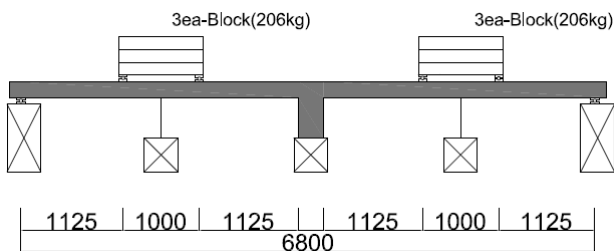


Fig. 4 Long-term load drawing

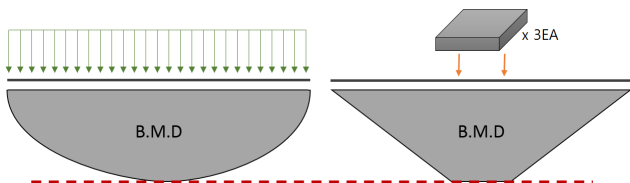


Fig. 5 Drawing of the alternative loading plan

206kg으로 실험시에는 양측 슬래브에 각각 3개씩의 블록을 적치하였다.

양생 및 재하기간이 경과되면서 두 실험체 간의 균열개수와 폭의 변화를 관찰하도록 하였으며, 하중 재하 이후 약 110일(재령 138일) 경과 시까지 장기하중에 의한 변화를 관찰하였다. 균열의 관찰은 휨모멘트에 의한 균열과 건조수축에 의한 균열을 분리하여 분석하기 위하여, 휨에 의한 균열은 휨모멘트가 가장 크게 걸리는 중앙부 보 상부 및 슬래브 경간 중앙하부를 중점적으로 관찰하고, 건조수축에 의한 균열은 인장력의 크기가 작은 슬래브 단부 부분 등을 측정하도록 하였다. 또한, 장기 하중의 제거 후 탄성회복 거동을 분석하기 위하여 재령 138일 차에 변화가 예상되는 부모멘트 구간의 균열을 측정 후 콘크리트 블록을 제거하고 재령 140일 차에 동일한 균열들을 측정하여 균열의 회복 여부를 평가하였다.

### 2.2.3 균열 양상, 개수 및 균열폭

두 실험체에서 발생한 건조수축 균열을 육안으로 관찰하여 위치 및 크기를 도식한 결과는 Fig. 6과 같다. 양생 초기에 보통 철근 콘크리트 슬래브의 균열들은 단부 지점 상부에 단변 방향으로 다수 발생하였으며, 균열의 길이도 강섬유보강 데크플레이트 슬래브보다 전반적으로 큰 것으로 관찰되었다. 또한, 실험체 중앙의 보 상부에서는 우물 井 모양의 균열들이 발생하였는데, 이는 중앙 보에 배근된 철근 및 슬래브 상부 철근 간격과 유사하게 나타난 것으로 판단할 때 철근 상부의 피복을 따라 길이 방향으로 발생한 균열로 추정된다. 강섬유보강 데크플레이트 슬래브는 슬래브의 양 끝 지점 상부에 단변 방향으로 비교적 적은 양의 균열이 발견되었다.

타설한 지 한 달 부근부터 보통 철근 콘크리트 슬래브의 단변방향 균열들은 전체적으로 증가하였고 중앙 보 상부의 균열들도 철근의 길이 방향을 따라 길이가 증가 하였으며 정모멘트 구간에 장변 방향 균열들이 나타났다. 강섬유보강 데크플레이트 슬래브 또한 단변 방향 균열들이 늘어나고 부모멘트의 영향으로 판단되는 단변방향 균열들이 중앙 보와 슬래브가 연속되는 곳에 나타났다.

재령 5일차에 보통 철근 콘크리트 슬래브의 균열 개수는 37개, 강섬유 혼입 데크플레이트 슬래브는 6개로 보통 철근 콘크리트 슬래브 균열 개수에 비해 약 16% 정도의 균열이 나타났다. 두 실험체의 균열 개수가 재령 11일 차 이후 급격하게 증가하였으며, 이는 최하진의 3명의 기존 연구에서 섬유보강 콘크리트의 구속건조수축량 실험 결과로부터 재령 10일 전후로 균열의 발생과 더불어 변형률이 급격한 변화를 보인다고 보고한 것과 유사한 결과인 것으로 판단된다(Choi et al., 2012). 상기 재령 이후로는 28일 차까지 균열의 개수가 완만하게 늘어났으며 재령 28일 차에 보통 철근 콘크리트 슬래브



의 균열 개수는 88개, 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 균열 개수는 51개로 약 42% 적은 개수를 나타냈다. Fig. 7은 양생 일수 별 균열 개수를 정리하여 나타낸 상관 곡선으로, 그림에서 콘크리트 단면 전체에 확산되어 있는 강섬유들이 균열 발생에 유효하게 저항하고 있음을 확인하였다.

Figs. 8과 9는 콘크리트에 인장응력이 크게 작용하지 않는 슬래브 자유단 상부(이하 비 내력부)와 부모멘트에 의한 인장응력이 작용하는 지점 상부의 균열들 중에서 폭이 크게 발생한 것을 대상으로 양생 일수 별로 균열폭의 진전상황을 나타낸 그래프이다. 비 내력부의 초기 건조수축 균열폭은 두 실험

체 동일하게 0.14 mm이었다. 균열폭의 증진은 완만하였으며 하중을 재하한지 한 달이 지난 후에는 철근 콘크리트 슬래브의 균열폭이 0.20 mm, 강섬유 혼입 데크플레이트 슬래브의 경우 0.17 mm로 큰 진전이 발생하지 않았다.

부모멘트가 크게 작용하는 중앙보 상부 구간의 균열은 초기에 철근 콘크리트 슬래브와 강섬유보강 데크플레이트 슬래브 순으로 0.29 mm, 0.2 mm의 균열이 발생하여 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 균열제어가 비교적 우수한 것으로 판단되었다. 그러나 콘크리트 블록을 적재하여 장기하중을 재

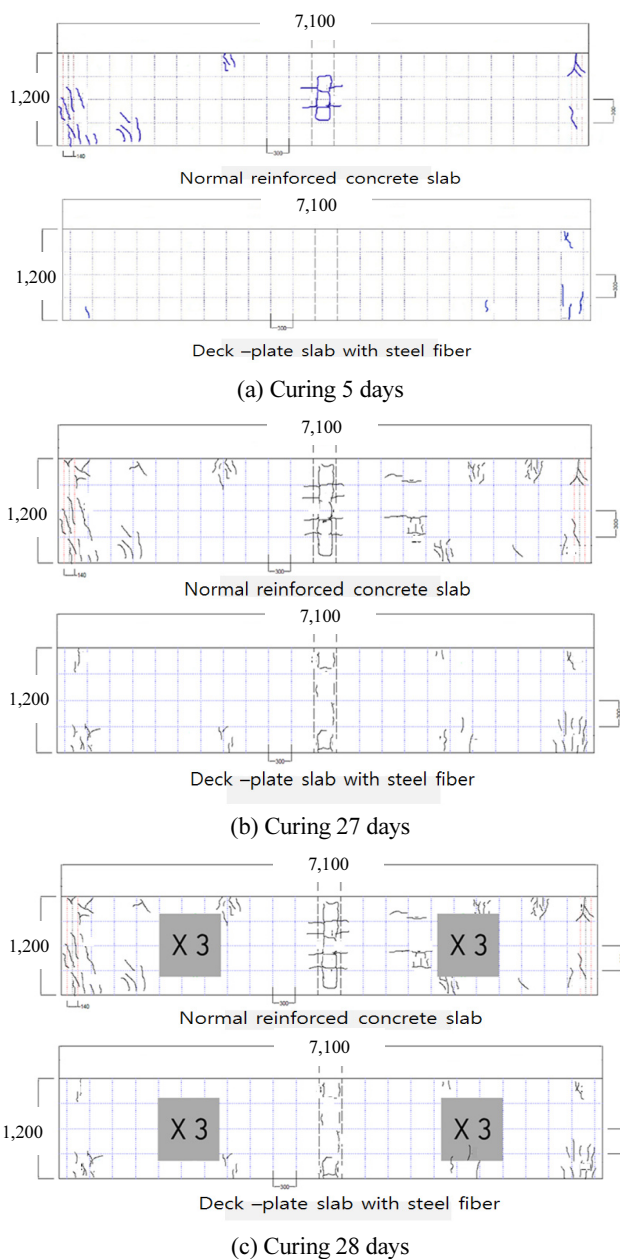


Fig. 6 Crack patterns

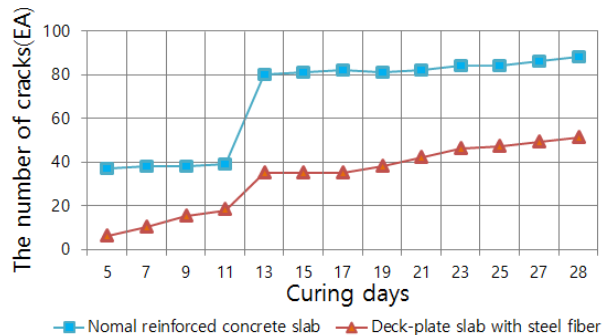


Fig. 7 The number of cracks-curing days relationship curve

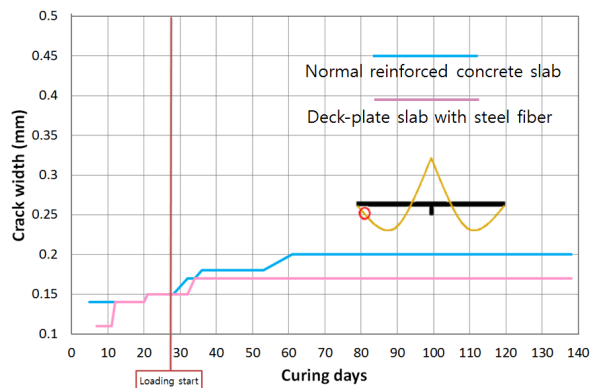


Fig. 8 Crack width curve in the non-resisting force section

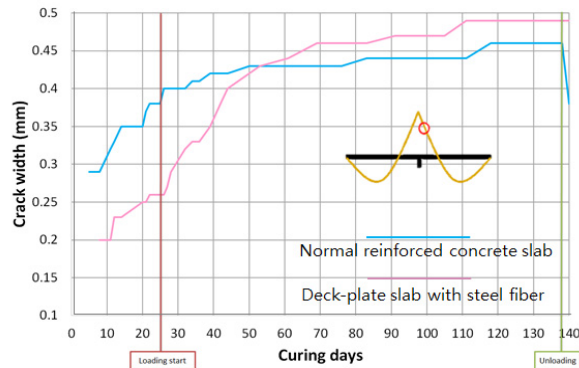


Fig. 9 Crack width curve in the resisting force section

하한 후 약 30일이 지났을 때부터는 강섬유보강 데크플레이트 실험체의 지지점 균열폭이 대조군보다 커지기 시작하였으며, 재령 138일 차의 부모멘트 구간 최대 균열폭은 각각 0.46 mm, 0.49 mm로 측정되어 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 부모멘트 구간 균열폭이 더 커진 것을 확인할 수 있었다.

콘크리트 블록을 제거하고 이를 뒤 부모멘트 구간의 균열 폭을 측정하였을 때 철근 콘크리트 슬래브의 가장 큰 균열폭은 0.46 mm에서 0.38 mm로 감소하였으나, 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 균열폭은 큰 변화가 없었다.

장기하중 재하시 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 부모멘트 구간 균열폭 크기가 증가하는 현상은 실험체 슬래브의 부모멘트 구간에 철근이 배근되지 않으며 강섬유에 의한 콘크리트 인장응력으로는 작용되는 부모멘트에 효과적으로 저항하지 못하기 때문인 것으로 분석된다.

### 2.3 처짐

#### 2.3.1 실험 방법

처짐실험은 균열 제어 성능 실험과 동일한 변수와 하중조건 하에 진행하였다. 실험체의 양생 28일 차부터 장기하중을 재하하면서 처짐을 측정하였으며, 슬래브 순경간 중앙 하부에 다이얼 게이지를 Fig. 10과 같이 설치하였다. 실험에 사용한 다이얼 게이지는 Fig. 11과 같으며 0.01 mm 단위로 측정을 하며 최대 50 mm까지의 수직 변위를 나타낼 수 있다.

다이얼 게이지는 슬래브 상부에 블록 등을 쌓지 않은 상태에서 영점을 잡고 힌지와 콘크리트 블록을 하나씩 쌓는 것부터

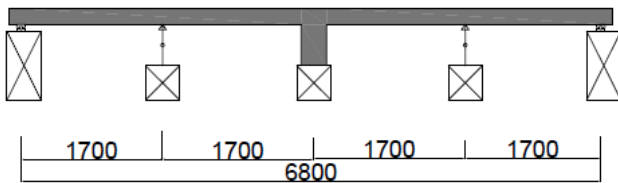


Fig. 10 Position of the dial gauge



Fig. 11 Dial gauge shape for measuring deflection

터 처짐의 변화량을 측정하였다. 이후 약 110일 간의 장기 측정이 끝난 후 하중 제거할 시에도 힌지와 콘크리트 블록 하나씩 제거할 때 마다 처짐의 회복량을 관찰하였다.

#### 2.3.3 결과 분석

처짐을 측정하여 양생 일자 별로 나타난 거동은 Fig. 12와 같다. 다이얼 게이지를 배치한 상태에서 양생 28일 차에 힌지와 콘크리트 블록을 쌓아 발생한 처짐량부터 관찰을 시작하였다. 처짐 거동을 보면 하중을 제거 할 때까지 두 실험체의 처짐량은 모두 지속적으로 증가하는 모습을 보였는데, 전반적인 처짐 증가의 양상은 유사한 모습을 나타내었다.

강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 처짐량 크기가 대조군에 비하여 적은 것으로 나타나 예상대로 구조용 데크플레이트를 적용한 슬래브가 단면성능의 증가로 처짐에 견디는 성능이 우수한 것으로 판단된다. 두 실험체 모두 하중 제거 후 처짐량이 회복 되는 것을 나타내었고, 보통 철근 콘크리트 슬래브의 회복량이 더 큰 것으로 확인되었다. 이는 보통 철근 콘크리트 실험체의 단부 부모멘트 구간에 배근된 상부철근에 의

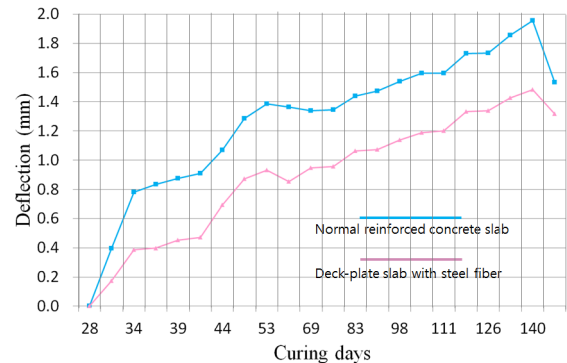


Fig.12 Deflection-Curing days relationship curve

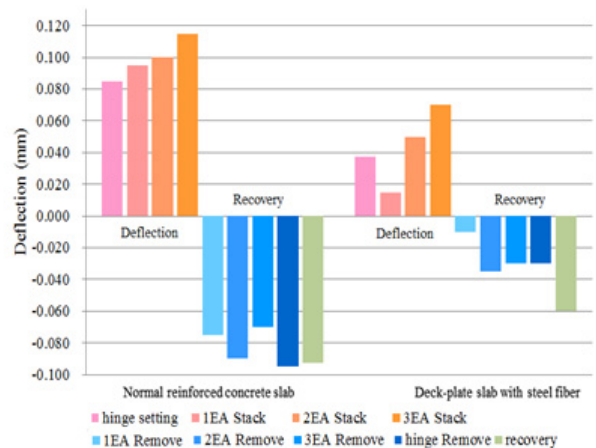


Fig. 13 The amount of deflection or recovery by specific items

해 탄성 회복이 강섬유보강 테크플레이트 슬래브보다 크게 발생된 것으로 판단된다. Fig. 13은 각 실험체 별 힌지와 콘크리트 블록을 한 개씩 쌓거나 제거할 때마다 발생한 처짐과 회복량을 나타낸 그래프이다. Fig. 13에서 처짐 또는 회복량 모두 강섬유보강 테크플레이트 슬래브의 변화량이 적은 것으로 나타났다. 실험체의 처짐을 자중과 추가하중을 고려하여 이론적으로 계산하여 보면, 하중에 의한 즉시 처짐( $\delta_i$ )은 0.95 mm, 2개월 경과된 경우의 장기 처짐( $\delta_l + \delta_a$ )은 1.66 mm, 3개월 경과된 경우의 장기 처짐은 1.90 mm로 산출되었다. 보통 철근 콘크리트 슬래브 실험체의 실험결과를 살펴보면, 하중 재하 후 4일 뒤 첫 측정값은 0.780 mm, 약 2개월 후에는 1.540 mm, 약 3개월 후에는 1.855 mm로 측정하였다. 이에 따라 이론값과 측정값이 차이가 크지 않음을 알 수 있었으며 이론값이 본 연구의 측정값보다 보수적인 것으로 평가되었다.

### 3. 구조성능 실험

#### 3.1 실험 방법

장기 하중 재하 실험을 종료한 후 슬래브 상부의 콘크리트 블록을 제거하고, 중앙 하부의 다이얼 게이지를 LVDT로 대체하여 구조성능 실험을 실시하며 실험체의 구조성능을 평가하였다. LVDT는 슬래브 한 경간 당 중앙 하부 1개와 이를 기준점으로 하여 양 옆으로 500 mm 떨어진 지점에 1개씩 더하여 총 3개, 연속슬래브 실험체 두 경간 합쳐 6개를 배치하였다. 하중은 300 kN 및 500 kN 용량의 Load cell을 하나씩 외곽 프레임에 고정시켜 연속슬래브 순경간의 중앙부를 가력하도록 하였다. Fig. 14은 연속슬래브 내하성능 실험을 위한 실험체 배치를 나타낸다.

#### 3.2 실험결과 분석

Table 4는 연속 슬래브의 구조성능 실험 결과를 나타내고, Fig. 15는 실험 결과를 하중-변위 관계 곡선으로 나타낸 것이

다. 여기서 실험체는 보통 철근 콘크리트 슬래브(이하 RC), 강섬유보강 테크플레이트 슬래브(이하 SFSD)로 약칭하여 정리하였다. Table 4에서  $K_e$ 는 탄성강성으로 원점과 최대강도 75%점을 잇는 직선의 기울기를 의미하며,  $\delta_u$ 는 최대 하중 시의 처짐값을 나타낸 것이다.

실험은 최대하중 이후 부모멘트 구간에서 실험체 폭을 가로지르는 큰 폭의 균열이 발생한 후 연속슬래브 실험체의 완전 파단을 방지하고자 중앙부 수직변위가 35~40 mm에 이를 때 종료하였다. 두 실험체 모두 파괴양상은 유사하게 부모멘트로 인하여 슬래브 실험체 연속단부인 보와 슬래브의 경계 상부에서 실험체 폭을 가로지르는 큰 관통 균열이 발생하였다.

강섬유보강 테크플레이트 슬래브 실험체가 보통 철근 콘크리트 슬래브 보다 높은 강성, 최대 변위 및 2배 이상의 내하력을 나타내었으며 실험을 종료할 때 까지 완만하게 하중과 변

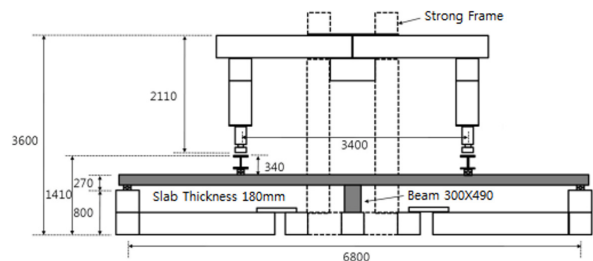


Fig. 14 Layout of continuous slab strength test

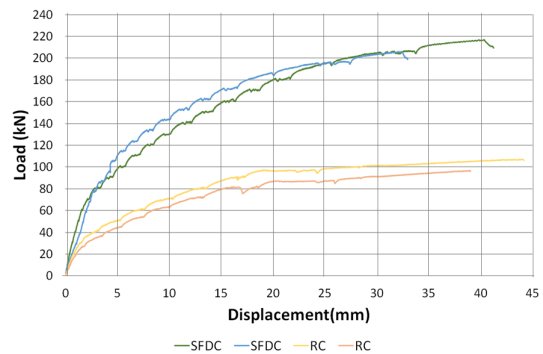


Fig. 15 Load-displacement curve of continuous slab strength test

Table 4 Structural performance test result of continuous slab

Specimen	Concrete compressive strength (MPa)	Steels (P: Positive moment regions, N: Negative moment regions)				Load carrying performance						
		Area (mm <sup>2</sup> )		Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (kN)		Nominal strength, [A] (kN)		Experimental results, [B] (kN)	B / A	$K_e$ (kN/mm)	$\delta_u$ (mm)
		P	N		P	N	P	N				
RC	23.8	760	428	400	291.2	171.2	85.1	40.7	105.6	2.59	6.43	35.77
SFSD	27.5	2336	-	295	689.1	-	121.6	-	213.3	1.75	9.86	40.02

위는 상승하였다. 보통 철근 콘크리트 슬래브의 경우 하중이 95 kN을 넘어가면서 단부 상부철근의 항복이 발생하면서 하중의 상승 기울기가 감소하는 현상을 나타내었다.

#### 4. 결 론

현장 시공성을 개선한 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 구조적 성능 및 사용성을 평가하기 위하여 대조군인 철근 콘크리트 슬래브와 실험군인 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 장기 균열거동, 처짐 및 구조적 성능에 대한 실험적 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 휨에 의한 인장응력이 크게 작용하지 않는 부분에서 대조군과 실험군의 균열폭은 유사하였으나 균열개수는 강섬유보강 데크플레이트 슬래브가 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 휨에 의한 부모멘트가 직접적으로 작용하는 단부 구간에서는 철근이 배근되지 않은 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 균열이 보통 RC 슬래브보다 큰 것으로 나타났으며 하중제거에 의한 탄성회복량이 크게 감소하는 것으로 평가되었다. 이는 강섬유보강콘크리트의 인장응력보다 큰 부모멘트가 작용되는 구간에서는 강섬유보강콘크리트 만에 의한 구조성능의 확보에 문제가 있는 것으로 평가되며, 적절한 보강 디테일의 개발이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 대조군 실험체의 단기 및 장기 처짐량은 이론값과 크게 다르지 않은 것으로 평가되었으며, 실험 종료 시 장기 하중에 따른 실험군 처짐량은 대조군 처짐량보다 약 30% 작게 나타났다. 이는 구조용 데크플레이트의 단면 성능에 기인하는 것으로 판단된다.
- 4) 장기재하 실험 이후 실험체의 구조적 성능에 대한 실험결과, 실험군은 대조군의 약 2배의 하중 저항능력을 나타내었고 1.5배 이상의 탄성강성을 지닌 것으로 분석되었다. 이에 따라 부모멘트 구간에 철근을 배근하지 않고서도 슬래브의 구조 성능은 확보할 수 있는 것으로 판단할 수 있으나, 단부 균열의 제어 및 슬래브의 연성적 파괴를 유도하기 위해서는 단부보강에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(과제번호: 2016R1D1A3A03918164)을 받아 수행

된 기초연구사업임.

#### References

Hong, G. (2015), Structural Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Continuous Slab without Reinforcement, *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 31(8), 11-18.

Park, J., Shim, H., Yang, K., Lee, Eun., and Chung, H. (2004), The Experimental Study of Cracking Behavior in the Negative Moment Region of Continuous Composite Slabs Reinforced with Structural Steel Deck Plate, *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, 24(2), 107-110.

Choi, H., Choi, K., Choi, O., and Hwang, Y. (2012), A Prediction Model of Shrinkage Cracking of Steel Fiber Reinforced Concrete, *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(6), 59-66.

Hong, G. (2014), Structural Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Slab with the Steel Deck-Plate, *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 30(7), 13-20.

Hwang, H., Park, H., Hong, G., Kim, G., and Choi, S. (2015), Flexural Performance and Cracking Resistance of Continuous Composite Slab using Micro Steel Fibers, *Journal of The Korea Concrete Institute*, 27(4), 387-397.

Kim, S., Choi, K., and Choi, S. (2014), Characteristics of Restrained Drying Shrinkage Cracking of Amorphous Steel Fiber-Reinforced Concrete, 30(7), 63-70.

Kim, Y., Park, Y., Park, S., Ko, Y., Yang, K., and Chung, H. (2003), An Experimental Study on the Flexural Behavior of Structural Deck Plate Continuous Slabs, *Proceeding of Korea Institute Concrete*, 15(2), 202-205.

Korea Concrete Institute (2012), The Korean Concrete Structural Design Code, Korea Concrete Institute.

Shim, H., Yang, K., Lee, E., and Chung, H. (2004), The Experimental Study of Flexural Behavior of Continuous Composite Slab Reinforced with Structural Steel Deck Plate, *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 24(2), 111-114.

Yang, K. and O, S. (2008), Effect of Volume Fraction and Length of Fiber on the Mechanical Properties of Fiber Reinforced Concrete, *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, The Korea Institute of Building Construction, 8(1), 43-48.

Yang, K., Ko, Y., and Chung, H. (2005), Cracking Behavior in the Negative Moment Region of Continuous Composite Slabs Reinforced with Structural Steel Decking, *Journal of The Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 21(1), 21-30.

Received : 12/05/2016

Revised : 04/24/2017

Accepted : 06/15/2017



---

**요 지 :** 최근 거푸집 작업과 철근 배근 공정을 생략하여 공정의 단순화를 통한 공기단축 합성 슬래브 시스템의 개발 연구가 진행 중이다. 이 연구에서는 구조용 데크플레이트를 활용하여 거푸집 및 인장철근의 배근을 대체하고 강섬유보강 콘크리트를 사용하여 온도철근의 역할을 대체하는 단순슬래브 시스템의 장기거동을 평가하는 것이 목적이다. 구조용 데크플레이트를 활용하는 기존 합성슬래브 공법은 건조수축에 의한 균열 제어를 위해 용접 철망을 배근하는 것이 일반적이거나, 이는 균열을 억제하는 데 효과적이지 못한 것으로 선행연구들에서 지적되었다. 본 연구에서는, 일반적인 건축물의 하중 조건으로 제작된 연속 두 경간을 갖는 강섬유보강 데크플레이트 슬래브의 장기적인 균열 및 처짐 거동을 평가하도록 하였다. 실험 결과, 실험체의 비 내력부에서는 장기균열의 개수 및 폭이 현저하게 감소하는 것으로 나타나 강섬유보강 콘크리트의 건조수축과 균열 제어 성능이 우수한 것으로 평가되었으며, 처짐량도 강섬유보강 데크플레이트 슬래브가 우수한 것을 확인하였다. 다만, 부모멘트가 작용되는 슬래브 연속단부에서는 사용하중 단계에서 균열폭을 제어하고 하중 제거 시 처짐을 회복하기 위한 디테일의 적용이 필요한 것으로 분석되었다.

**핵심용어 :** 강섬유, 데크플레이트 슬래브, 균열 거동, 콘크리트의 건조수축, 처짐

---