

# 하프PC 슬래브에 발생한 균열이 합성 슬래브의 휨 내력에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

Influence of Cracks in Precast Concrete Deck on the Flexural Strength of  
Composite Half PC Slab

서 태 석\*      이 문 성\*      최 창 식\*\*  
Seo, Tae-Seok    Lee, Moon-Sung    Choi, Chang-Sik

## Abstract

Recently, as the concern for the development of a construction method for an environmental protection and for tall building is increasing, the use of the half precast concrete(PC) slab that has the solution of environmental problems and the advantage such as reduction of construction period is being demanded. However, there is shortcoming that the crack can occur easily while constructing, and these cracks can have a bad influence upon the structural performance of PC composite slab. However, there is little studies on the influence of these cracks on the structural performance of composite PC slab. In this study, the specimen caused the crack before pouring topping concrete in the half PC slab and the PC composite slab without the cracks were produced to investigate the structural performance of PC composite slab with crack.

## 요 지

하프PC 슬래브는 시공중에 슬래브 판에 균열이 발생하기 쉽고 이러한 균열들을 보수보강 하지 않은 상태에서 덧침콘크리트를 타설할 경우 합성슬래브의 내력에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 하지만 하프PC 슬래브에 발생한 균열이 합성슬래브의 구조성능에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 하프PC 슬래브에 발생한 균열이 합성 슬래브의 내력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 덧침 콘크리트를 타설하기 전에 하프PC 슬래브에 균열을 발생시킨 시험체와 균열이 없는 합성슬래브 시험체를 제작하여 슬래브의 휨 성능을 검토하였다.

**Keywords** : Composite PC slab, Crack, Half PC slab

**핵심 용어** : 합성 PC 슬래브, 균열, 하프 PC 슬래브

\* 정희원, 한양대학교 건축공학부 BK연구조교수 공학박사

\*\* 정희원, 한양대학교 건축공학부 교수 공학박사

E-mail : tsseo@hanmir.com 02-2220-1721

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 초고층 건물의 시공이 증가하면서 현장에서 콘크리트를 타설 하는 종래의 슬래브 시공법 보다는 환경문제 해결, 공기단축 등의 여러 장점을 보유하고 있는 PC슬래브 공법의 활용이 요구되고 있다. 특히, 현장 타설 공법의 장점과 PC공법의 장점을 절충하여 부재간의 일체성 확보를 용이하게 한 하프 PC슬래브 공법이 1940년대에 유럽을 중심으로 개발되었으며 지금은 독일, 일본 등의 선진국을 중심으로 널리 사용되고 있으며,<sup>(1)</sup> 하프PC 슬래브 개발 및 내력평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.<sup>(2)-(9)</sup> 하지만 하프PC 슬래브는 시공중에 슬래브 판에 균열이 발생하기 쉽고 이러한 균열들을 보수보강 하지 않은 상태에서 덧침콘크리트를 타설할 경우 합성슬래브의 내력에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 하지만 하프PC 슬래브에 발생한 균열이 합성슬래브의 구조성능에 미치는 영향에 관한 연구는 아직까지 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 하프PC 슬래브에 발생한 균열이 합성 슬래브의 내력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 덧침콘크리트를 타설하기 전에 슬래브판에 균열을 발생시킨 시험체와 균열이 없는 합성슬래브 시험체를 제작하여 슬래브의 휨 성능을 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

Table 1에 하프PC 슬래브에 사용된 콘크리트의 배합표를, Table 2에 덧침콘크리트의 배합표를 나타내고, Table 3에 콘크리트의 재료적 성질을 나타낸다. 하중 재하는 덧침콘크리트 타설 후 8일 후에 실시하였으며 그때의 하프PC 슬래브에 사용된 콘크리트의 재령은 49일 이다.

Table 1 하프PC슬래브 콘크리트 배합표

W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		W	C	S	G		
40	45.2	155	388	817	1001	15	4.0

W: 물, C: 시멘트, S: 잔골재, G: 굵은골재

Table 2 덧침 콘크리트 배합표

W/C (%)	s/a (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )				슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		W	C	S	G		
50	48.7	180	360	840	909	19	5.2

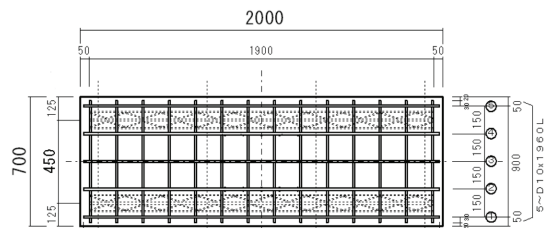
Table 3 콘크리트의 역학적 성질

재령	압축강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
49일(하프PC슬래브)	54.9	3.7	31.1
8일(덧침콘크리트)	45.4	3.6	27.2

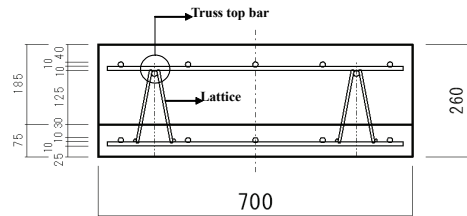
재령 49일에서의 하프PC 슬래브 콘크리트의 압축강도와 8일에서의 덧침콘크리트의 압축강도는 각각 54.9MPa와 45.4MPa 였으며, 탄성계수는 각각 31.1GPa와 27.2GPa 였다.

### 2.2 시험체의 형태와 종류

총 두개의 시험체(CS, NCS)를 제작하였다. 여기서 CS시험체는 덧침콘크리트 타설전에 하프PC 슬래브에 균열을 발생시킨 시험체를 의미하며, NCS 시험체는 균열이 없는 시험체를 의미한다. Fig. 1에 길이 2000mm, 폭 700mm, 두께 75mm의 하프PC 슬래브와 두께 185mm의 덧침콘크리트를 타설한 합성슬래브를 나타낸다.



(a) 슬래브 평면도



(b) 합성슬래브 단면도

Fig. 1 시험체의 형상(단위: mm)

Table 4 철근의 재료적 성질

	φ6	φ13	D10
항복강도(MPa)	350	358	384
탄성계수(GPa)	187	188	191
항복변형률(μ)	1871	1904	2010

철근은 D10의 상부근과 하부근을 사용하였으며 φ6의 래티스근(lattice bar), φ13의 트리스 상부근(truss top bar)를 사용하였다. 철근의 재료적 성질을 Table 4에 나타낸다.

### 2.3 실험 방법

Fig. 2에 나타난 것처럼 프리스트레싱 강봉과 잭을 이용하여 하프PC 슬래브에 균열을 발생시켰다. 잭을 제거한 후에도 프리스트레싱 강봉의 너트를 조여서 하중을 유지시켰으며 유지시킨 상태로 덧침콘크리트를 타설하여 합성슬래브를 제작하였다(CS시험체). 또다른 시험체는 균열 없이 하프PC 슬래브에 덧침콘크리트를 타설하여 제작하였다(NCS). 실험체는 Fig. 3과 같이 지지점 간격 1800mm로 3등분점 재하를 실시하였고, 철근의 항복 부근에서 1회 반복 재하를 실시하였다. 재하시의 콘크리트 재령은 하프PC 슬래브용 콘크리트는 49일, 덧침콘크리트는 8일이었다. 콘크리트의 압축연과 트리스 상부근, 인장주근에 철근 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였고 중앙부에 다이얼 게이지를 설치하여 슬래브의 처짐을 측정하였다. 균열폭

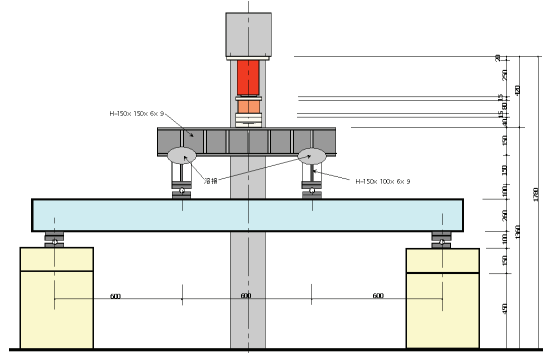


Fig. 3 시험체 재하 방법

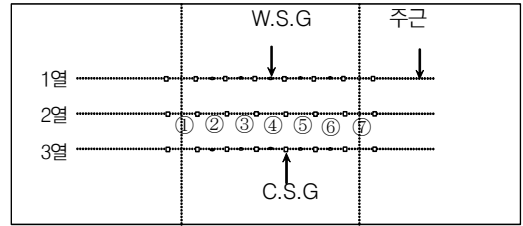


Fig. 4 스트레인 게이지와 콘택트 포인트의 위치

은 콘택트 스트레인 게이지를 이용하였으며 인장주근을 따라 콘크리트 표면에 100mm 간격으로 측정하였다. Fig. 4에 철근에 부착된 스트레인 게이지와 콘택트 게이지의 위치를 나타낸다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 하프PC 슬래브 판에의 균열 도입

덧침 콘크리트를 타설하기 전에 Fig. 2의 프레임을

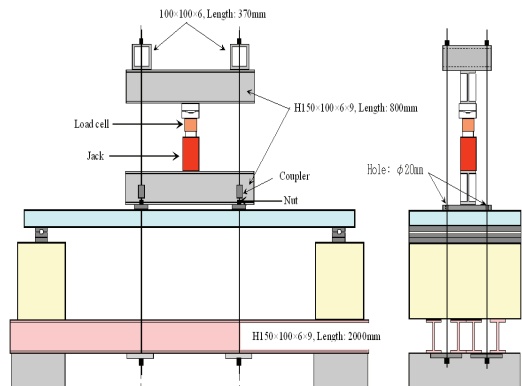


Fig. 2 균열발생 프레임

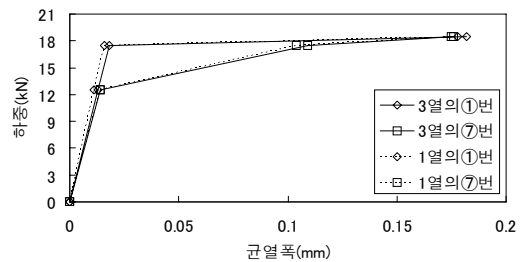


Fig. 5 균열 도입시의 하중과 균열폭의 관계

이용하여 하프PC슬래브에 균열을 발생시켰으며 균열은 슬래브 판의 콘크리트 포인트 번호 ①과 ⑦의 위치(Fig. 4 참조)에서 약 15kN의 하중에서 발생하였으며 균열폭은 약 0.17mm였다. 균열 도입 시의 하중과 균열폭의 관계를 Fig. 5에 나타낸다.

### 3.2 합성 슬래브의 처짐과 균열폭의 경시 변화

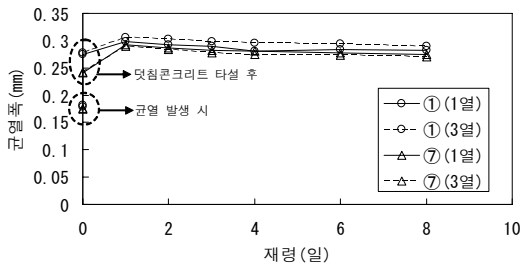
합성슬래브의 처짐과 균열폭의 경시변화를 Fig. 6에 나타낸다. 균열을 발생시킨 시험체의 콘크리트 타설 전의 처짐은 약 1.8mm, 균열폭은 약 0.17mm였으며, 콘크리트 타설 후에는 처짐과 균열폭이 각각 2.0mm와 0.25mm로 약간 증가하였다. 그 후 시간의 경과에 의한 처짐과 균열폭의 변화는 대략 2.3mm와 0.28mm로 큰 변화를 보이지 않았다. 균열이 발생했음에도 처짐과 균열폭의 변화가 적었던 이유는 덧침 콘크리트에 의한 슬래브 단면의 증가에 따른 강성의 증가로 인하여 변형이 제어되었기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 6(b)에는 균열이 없는 합성슬래브 시험체

(NCS)의 시간에 따른 처짐의 변화도 나타내고 있으며 처짐은 약 0.28mm였다.

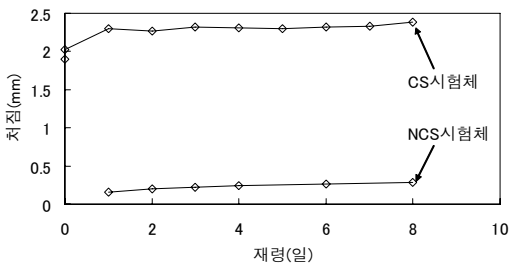
### 3.3 하중-처짐 관계

Fig. 7에 합성슬래브의 하중-처짐 관계를 나타낸다. 하중 재하 시점에서의 CS 시험체의 처짐은 2.3mm였다. Fig. 7(b)에 하중-처짐관계의 확대도를 나타내고 있으며 여기에서는 비교의 편리를 위하여 하중 0에서 처짐도 0으로 하여 표현하였다.

NCS와 CS 시험체의 내력은 각각 109kN와 114kN에서 균열이 발생했고, 인장주근은 각각 133kN와 130kN에서 항복했으며, 트러스 상부근은 각각 160kN와 150kN에서 항복하는 등 거의 비슷한 휨 내력을 나타냈다. 이러한 결과로부터 시공시에 발생한 균열이 합성 슬래브의 휨 내력에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 사료된다. 따라서 시공시에 슬래브 판에 균열이 발생할 경우, 특별한 보수보강이 없이도 부재 내력을 확보할 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 처짐에 대해서는 주의를 요할 필요가 있다.

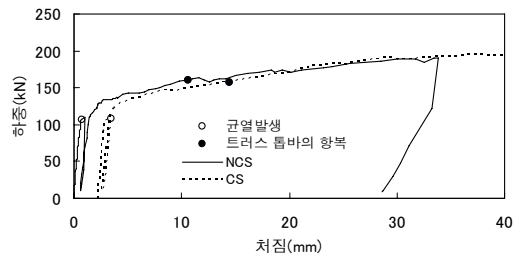


(a) 균열폭의 경시변화

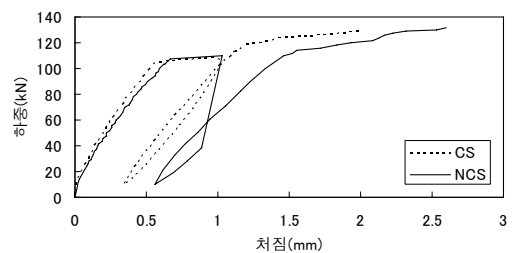


(b) 처짐의 경시변화

Fig. 6 처짐과 균열폭의 경시변화



(a) 하중-처짐 관계

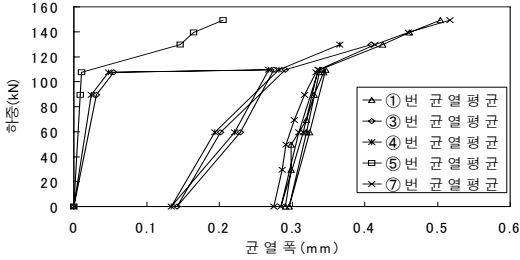


(b) 하중-처짐관계의 확대도

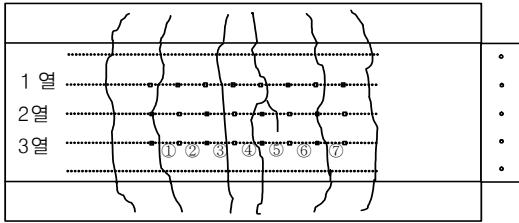
Fig. 7 하중-처짐 관계

Table 5 균열하중과 최대하중

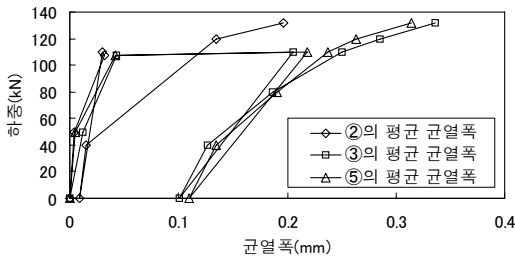
	NCS	CS
균열하중(처짐)	109kN(1.03mm)	114kN(3.45mm)
최대하중(처짐)	192kN(33.96mm)	194kN(39.77mm)



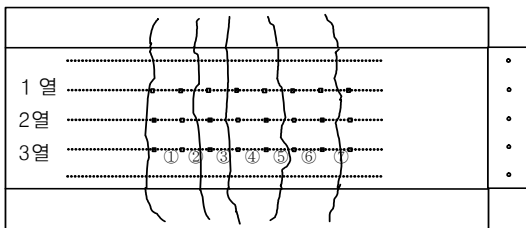
(a) CS 시험체의 하중-균열폭 관계



(b) CS시험체의 균열발생 상황



(c) NCS시험체의 하중-균열폭 관계



(d) NCS시험체의 균열발생 상황

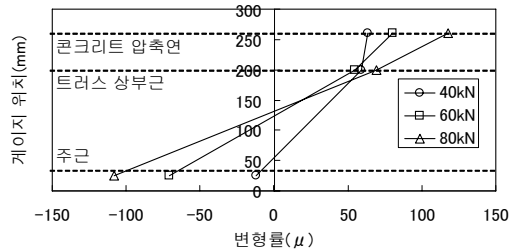
Fig. 8 균열폭과 균열 발생 상황

### 3.4 균열폭과 균열발생 상황

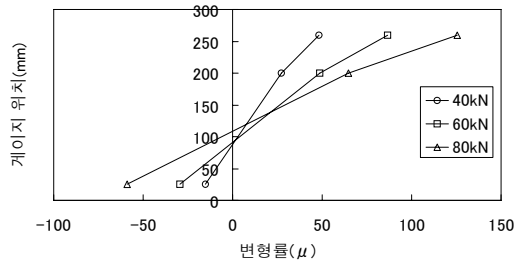
Fig. 8에 균열폭과 균열발생 상황을 나타낸다. CS 시험체의 콘크리트 타설 전에 발생시킨 균열(①, ⑦)은 하중이 증가를 해도 균열폭의 증가가 크지 않았으며, 약 110kN의 하중에서 균열폭이 급격히 증가하기 시작하였다. 그리고 약 105kN의 하중에서 ③과 ④의 위치에서 새로운 균열이 발생하였다. NCS시험체에서는 약 110kN의 하중에서 ②, ③, ⑤의 위치에서 거의 동시에 균열이 발생하였으며 ⑦의 위치에서 약 130kN의 하중에서 균열이 급격히 발생하였다. CS 시험체의 ①과 ⑦에 발생한 균열을 제외한 최대 균열폭은 0.4mm, NCS 시험체에 발생한 최대 균열폭은 0.34mm로 CS 시험체의 최대균열폭이 약간 컸지만 그 차이는 크지 않았다.

### 3.5 하프PC슬래브 단면의 변형률 분포

Fig. 9에 합성 슬래브 단면의 변형률 분포를 나타낸다. 가장 아래의 변형률은 인장 주근의 변형률, 가



(a) NCS 시험체



(b) CS 시험체

Fig. 9 슬래브 단면의 변형률 분포

운대의 트리스 상부근의 변형률, 가장 위의 변형률은 콘크리트의 압축 변형률을 나타낸다. Fig. 9로부터 CS와 NCS 시험체는 평면 유지의 가정이 성립하고 있음을 알 수 있다.

### 3.6 균열 모멘트와 종국 휨 모멘트

Fig. 10에 합성슬래브의 변형률 분포와 응력분포를 나타낸다. 힘의 평형조건과 평면 유지의 가정으로부터 식(1)이 유도되고 식(1)로부터 이질 재료의 특성을 고려할 수 있는 식(2)와 같은 중립축( $X_n$ )의 산정식이 얻어진다.

합성슬래브의 균열 모멘트는 식(3)의 대한 건축학회 기준식으로 검토하였고, 종국 휨 내력은 등가응력 블록을 고려한 식(4)로 검토하였다.

균열 모멘트와 종국 휨 모멘트를 Table 6와 Fig. 11에 나타낸다. 균열모멘트의 실측값은 계산값 보다 약 30% 정도 높았으며, 종국 휨 모멘트의 실측값도 계산값 보다 약 27% 정도 높게 나타났다. 따라서 식(3)과 식(4)에 의한 합성 슬래브의 균열 모멘트 및 종국 휨 내력에 대한 검토가 적합한 것으로 사료된다.

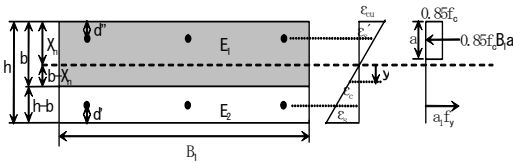


Fig. 10 합성슬래브 단면의 변형률 분포와 응력분포

$$\int_{-(b-X_n)}^{X_n} \epsilon_c E_1 B_1 d_y + \int_{-(h-X_n)}^{-(b-X_n)} \epsilon_c E_2 B_1 d_y + a_p E_s \epsilon_s' - a_1 E_s \epsilon_s = 0 \quad (1)$$

여기에서,

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{cu}}{X_n} y, \quad \epsilon_s' = \frac{(X_n - d'')}{X_n} \epsilon_{cu}, \quad \epsilon_s = \frac{(h - X_n - d')}{X_n} \epsilon_{cu}$$

$E_1$ : 덧침콘크리트 탄성계수(MPa),  $E_2$ : 하프PC 슬래브 콘크리트 탄성계수(MPa),  $a_1$ : 인장주근 단면적( $\text{mm}^2$ ),  $a_p$ : 트리스 상부근 단면적( $\text{mm}^2$ ),  $B_1$ : 슬

래브 폭(mm),  $E_s$ : 철근 탄성계수(MPa),  $d'$ : 인장연에서 주근까지의 거리(mm),  $d''$ : 압축연에서 트리스 상부근까지의 거리(mm),  $\epsilon_c, \epsilon_{cu}, \epsilon_s, \epsilon_s'$ : Fig. 10참조

$$X_n = \frac{0.5E_1 B_1 b^2 - 0.5E_2 B_1 (b^2 - h^2) + (a_p d'' + a_1 h - a_1 d') E_s}{B_1 b (E_1 - E_2) + E_2 B_1 h + (a_p + a_1) E_s} \quad (2)$$

$$M_{cr} = 0.63 \sqrt{f_{ck}} Z \quad (3)$$

여기에서,

$$Z = I_g / (h - X_n)$$

$$I_g = B_1 X_n^3 / 3 + B_1 (h - X_n)^3 / 3 + n a_p (X_n - d')^2 + n a_1 (h - X_n - d')$$

$$M_n = a_1 f_y (h - a / 2) \quad (4)$$

여기에서,

$$a = \frac{a_1 f_y}{0.85 f_{ck} B_1}, \quad f_y: \text{철근 항복강도(MPa)},$$

$f_{ck}$ : 콘크리트 압축강도(MPa)

Table 6 균열 모멘트와 종국 휨 모멘트

$X_n$ (mm)	$I_g$ ( $\text{mm}^4$ )	$Z$ ( $\text{mm}^3$ )	균열모멘트		종국휨모멘트	
			식(3)	실측값	식(4)	실측값
134.8	536663964	4286461	20.2	NCS: 29.9 CS: 29.3	26.8	NCS: 37.7 CS: 36.8

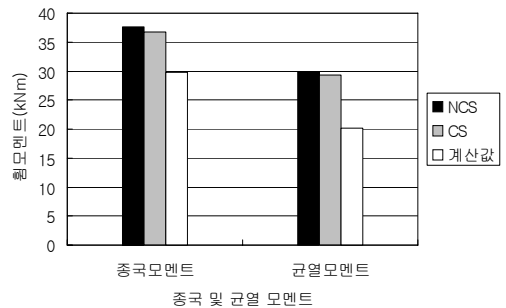


Fig. 11 균열 모멘트와 종국 휨 모멘트

#### 4. 결 론

합성슬래브의 휨 재하 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 균열을 발생시킨 시험체의 콘크리트 타설 전의 처짐은 약 1.8mm, 균열폭은 약 0.17mm 였으며, 콘크리트 타설 후에는 처짐과 균열폭이 각각 2.0mm와 0.25mm로 약간 증가 하였다. 그 후 시간의 경과에 의한 처짐과 균열폭의 변화는 대략 2.3mm와 0.28mm로 큰 변화를 보이지 않았다.
- 2) NCS와 CS 시험체는 거의 비슷한 휨 내력을 나타냈다. 이러한 결과로부터 시공시에 발생한 균열이 합성 슬래브의 휨 내력에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 사료된다. 하지만 처짐에 대해서는 주의할 필요가 있다.
- 3) 균열모멘트의 실측값은 대한 건축학회 식에 의한 계산값 보다 약 30% 정도 높았으며, 종국휨 모멘트의 실측값도 등가 응력 블록을 고려한 계산값 보다 약 27% 정도 높게 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(R01-2008-000-11381-0)

#### 참고문헌

1. 김윤일, "[특집]부분 PC슬래브 구조", 대한건축학회 제39호 제8호, 1995년 8월, pp. 39-42.
2. 정란 외, "와이어 매쉬를 이용한 부분 프리캐스트 콘크리트 바닥판 공법의 구조성능에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, 제14권 제12호, 1998년 12월, pp. 19-25.
3. 서태석, 최창식, "트러스 철근을 갖는 하프 프리캐스트 슬래브의 휨 내력에 관한 실험적 연구", 구조물진단학회지, 제12호 제6호, 2008년 11월, pp. 71-80.
4. 鈴木裕士ほか, "トラス鉄筋を有するハーフPCa合成床板の構造性能に関する研究(その2)", 日本建築學會學術講演梗概集, 2004年 8月, pp. 153-154.
5. 前田よしかずほか, "トラス鉄筋を有するハーフPCa合成床板の構造性能に関する研究(その3)", 日本建築學會學術講演梗概集, 2006年 9月, pp. 193-194.
6. 石倉敦ほか, "一方向PCa合成スラブの構造性能", 日本建築學會學術講演梗概集, 2006年 9月, pp. 233-234
7. フジモリ産業, 段着付FSボイドスラブ・FSボイドスラブおよびFSスラブ設計・製造・施工要領.
8. 杉原啓輪ほか, "トラス筋入りプレキャスト鉄筋コンクリート板のひび割れ耐力", 日本建築學會學術講演梗概集, 2008年 9月, pp. 633-634.
9. 狩野直樹ほか, "トラス鉄筋を有するハーフPCa合成床板の構造性能に関する研究(その1)", 日本建築學會學術講演梗概集, 2004年 8月, pp. 151-152.

(접수일자 : 2008년 11월 19일)

(심사완료일자 : 2009년 2월 3일)