

프리캐스트 프리스트레스트 내화단면 중공슬래브의 부재두께에 따른 화재거동평가

부윤섭¹, 배규웅², 신상민^{3*}

A Evaluation of Fire Behavior According to Member Thickness of Precast Prestressed Hollow Core Slab of Fire Resistance Section

Yoon-Seob Boo¹, Kyu-Woong Bae², Sang-Min Shin^{3*}

Abstract: At construction sites, interest in the production of precast materials is increasing due to off-site conditions due to changes in construction site conditions due to increased labor costs and the Act on the Punishment of Serious Accidents. In particular, the precast prestressed hollow slab has a hollow shape in the cross section, so structural performance is secured by reducing weight and controlling deflection through stranded wires. With the application of structural standards, the urgency of securing fire resistance performance is emerging. In this study, a fire-resistance cross section was developed by reducing the concrete filling rate in the cross section and improving the upper and lower flange shapes by optimizing the hollow shape in the cross section of the slab to have the same or better structural performance and economic efficiency compared to the existing hollow slab. The PC hollow slab to which this was applied was subjected to a two-hour fire resistance test using the cross-sectional thickness as a variable, and as a result of the test, fire resistance performance (load bearing capacity, heat shielding property, flame retardance property) was secured. Based on the experimental results, it is determined that fire resistance modeling can be established through numerical analysis simulation, and prediction of fire resistance analysis is possible according to the change of the cross-sectional shape in the future.

Keywords: Precast, Hollow Core Slab, Fire resistance section, Fire resistance modeling

1. 서 론

국내의 내화설계는 건축법 제50조, 건축법 시행령 제 56조에 내화구조 대상 건축물에 대한 규정에 따라 이루어지고 있으며, 건축법 시행규칙 ‘건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙’에는 건축물 내화 부재의 최소 사양을 규정하고 있다.

또한, 내화성능기준을 만족하기 위해 KS F 2257-1(2019)과 KS F 2257-5(2019)에서 제시하고 있는 시험방법과 표준화재곡선에 따라 실험체에 열을 가해, 법정내화시간에 따른 구조부재의 화재거동을 평가하고 있다. 일반적으로 철근콘크리트 구조(이하 RC 구조)부재의 경우, 콘크리트의 열확산계수가 낮고 고온에서 완전붕괴에 이르기까지의 에너지 소산 능력이 우수하여 내화구조로 높은 평가를 받고 있다(Kim et al., 2011; Choi et al., 2014). 건축물의 바닥판의 경우, 건축물의 층수와 최대 높이에 따라 1시간(4층 이하) 혹은 2시간(4층 초과) 내화성능을 요구하

고 있다. 프리캐스트 슬래브(Precast Slab)의 경우, PC부재와 덧침 콘크리트 사이에서의 합성력이 화재시간 동안 일정 수준 이상 유지되어야 하며 강연선의 설계 긴장력 유지 확보가 내화성능 확보를 위해서 무엇보다 중요하다. 특히 프리캐스트 프리스트레스트 중공슬래브(Precast Prestressed Hollow Core Slab, 이하 PPHCS)는 자중 저감을 위해 단면 내 중공형상을 두어 단면 콘크리트 충진율을 감소시켜 부재 운반과 양중문제를 해결할 수 있고, 긴장력 도입으로 처짐을 제어하고 우수한 구조성능을 확보할 수 있는 장점을 보유하고 있다. 그러나 구조성능과 함께 내화성능이 반드시 검증되어야 PPHCS를 실제 건축물에 적용할 수 있다. 화재 시 일반 RC슬래브와 달리 PPHCS는 중공 사이의 웹를 따라서 슬래브 내부 온도가 급격히 상승하고 철근 혹은 강연선이 화재에 노출됨에 따라 고온에서 항복강도의 50%에 이르게 됨으로 이를 반드시 고려해야 한다(Min et al., 2015). 마찬가지로 화원과 직접 맞닿게 되는 PPHCS의 하부면이 손상되면 콘크리트 탈락과 동시에 콘크리트에 부착된 철근 혹은 강연선의 부착력이 떨어지면서 급격히 붕괴할 수 있으므로 건축물 바닥판에 사용하는 PPHCS의 내화성능 검증은 필수적이다.

현재 국내에서는 PPHCS의 내화성능에 관한 연구가 미비하며, 당연내화구조 기준을 적용하고자 근거 없는 계산법을 적용하여 두께 산정법을 적용하고 있다(KICT, 2021).

¹정회원, 한국건설기술연구원 건축연구본부, 전임연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 건축연구본부, 선임연구위원

³정회원, 한국건설기술연구원 건축연구본부, 수석 연구원, 교신저자

*Corresponding author: shinsangmin@kict.re.kr

Korea Institute of Civil Engineering & Building Technology, Seoul, 10223, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2023년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2023년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이 연구에서는 PPHCS의 내화성능을 검증하기 위하여 국내 PC업체에서 생산하고 있는 중공슬래브의 단면을 변형한 신형상의 내화단면을 개발하였다. 개발된 내화단면이 적용된 PPHCS의 내화성능 평가를 위하여, 슬래브 단면 두께를 실험 변수로 고려하였고 슬래브의 2시간 내화시험을 통해 부재의 화재 거동을 평가하고자 하였다. 이와 별도로 실험결과를 기본으로 하여 수치해석적으로 개발된 내화해석모델링과 비교 분석하여 내화성능에 대한 적정성을 검토하고자 하였다.

2. 국내외 PC 슬래브 내화구조 기준

2.1 국내 내화구조 기준

국내의 경우 RC 슬래브 두께가 100mm 이상인 구조는 3시간 법정내화구조로 인정하고 있다. 그리고 콘크리트구조 설계 기준(2021)에서는 슬래브의 최소 피복두께를 규정하고 있으며, 화열 온도, 골재 물성, 지속시간 등을 고려하여 구조물의 내화 피복두께를 정하도록 되어있다. 이처럼 건축재료 및 두께에 따른 기준을 충족하게 되면 당연내화구조로 인정된다. 또한, KS F 2257-5(2019)에 명시된 실험방법에 따라 부재 내화성능은 내화시험을 통해 평가되고 이때의 하중지지력 및 차염성과 차열성을 통해 슬래브의 내화시간이 결정된다. 하중 지지력은 KS F 2257-1(2019)에 제시된 휨 부재 성능평가 기준인 식 (1)과 식 (2)의 허용변형량과 허용변형률을 통해 평가되며, 식 (1)과 식 (2)를 통해 산정된 값 이하로 평가된 경우 내화성능을 만족한 것으로 간주한다.

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot d} \text{ (mm)} \quad (1)$$

$$\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9,000 \cdot d} \text{ (mm/min)} \quad (2)$$

여기서 L 은 시험체의 경간(mm)이고, d 는 휨 시험체의 구조 단면에서 압축 측의 최대 휨 응력을 받는 위치부터 인장측의 최대 휨 응력을 받는 위치까지의 거리(mm)이다.

차염성과 차열성은 각각 화염 확산 방지 성능과 비가열면의 온도를 규정하는 기준이다. 균열 등으로 인해 비가열면에서의 화염이 10초 이상 지속되지 않을 경우 차염성을 만족하는 것으로 보며 차열성은 비가열면의 온도를 규정하는 것으로 초기온도보다 180K를 초과하지 않는 것을 기준으로 한다. 이와 같이 하중지지력, 차열성과 차염성에 대한 성능 기준을 만족하게 되면 인정내화구조로 내화성능을 인정받게 된다.

2.2 국외 내화구조 기준

미국에서는 ACI 216.1(2014)과 PCI Handbook(2017)에서

PC 슬래브의 내화기준을 규정하고 있으나, 두 가지 기준이 서로 유사한 경향을 나타낸다. 덧침 콘크리트 두께에 따라 최소 내화성능 시간, 피복두께에 따라 단부조건, 골재종류에 따라 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간의 내화성능으로 구분하여 규정하고 있다. 일본의 경우, 건설성고시 제1399호(2000)에서 철근콘크리트와 PC 구조물은 동등한 내화성능을 요구하며, 구조부재별 내화시간에 다른 최소 내화피복두께를 제시하고 있다. 바닥 슬래브 부재 두께가 100mm 이상인 경우는 내화 2시간, 70mm 이상인 경우는 내화 1시간으로 적용하고 있다. EN 1992-1-1(2004)을 적용하는 유럽에서는 1방향, 2방향 슬래브 두께 60mm부터 175mm에 대해서 콘크리트 최소 내화 피복두께를 각각 10~65mm 및 10mm~50mm로 제시하고 있다.

3. 내화단면 개발 및 실험계획

3.1 내화단면 개발

국내 PC 중공슬래브 제조업체가 생산하는 중공슬래브 단면을 개선하여 내화단면을 개발하였다. 기존 생산 부재와 동등한 내력을 발현하기 위해 하부 강연선의 피복두께를 동일하게 유지하였다. 부재 생산 시 물량을 감소시키기 위해 단면 내 중공을 제외한 콘크리트 충전율이 59%~61%인 기존 단면의 중공형상을 개선하여, 비율을 41%~49% 수준으로 낮춤으로서 경제성을 확보하였다. 이에 따라 단면의 웨브 두께가 기존 제품 대비 74% 수준으로 얇아지면서 수직전단 성능저하에 대한 우려가 있었으나 구조검토 결과 기존단면과 5% 이내로 차이가 미비한 것으로 나타났다. 또한 단면 내 긴장력 도입에 따른 단부 복부의 전단균열 발생여부를 확인하고자 하였으며 공장의 부재 생산 시 균열 현상은 없는 것으로 관측되었다. 휨 내력과 처짐의 경우, 하부 강연선의 유효폭을 동일하게 유지함과 동시에 단면 2차모멘트 값이 기존 단면의 95% 수준으로 유지되면서 기존단면과 동등한 성능을 발현하는 것으로 나타났다. Fig. 1과 같이 기존 중공 형상의 상부를 원형으로 변형시

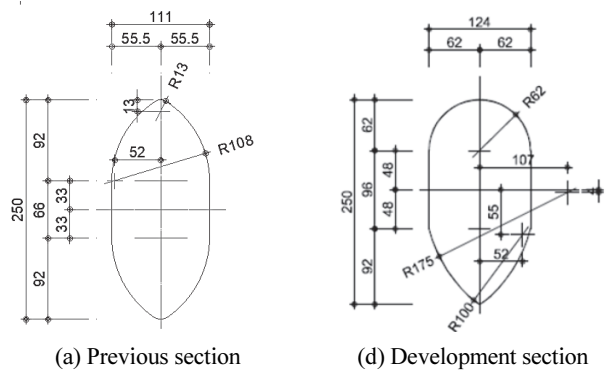


Fig. 1 Shape of hollow core on Fire resistance

커 콘크리트 단위 물량의 저감 뿐만 아니라, 부재 자동 생산 시 중공 형상을 그대로 유지 할 수 있도록 개선하였다. 변경된 내화 단면에 맞추어 생산설비의 신규 코어를 별도 제작하였고, 중공슬래브의 사이드 형상을 개선하여 제품별 수평 조인트에 대한 내화성능을 증강코자 신규 사이드 폼을 제작하였다. 화재 시 단면의 웹 및 하부 플랜지 탈락을 막기 위해 실험체의 중공부의 단부보강을 하였고 실험을 통해 그 효과를 검증하고 화재 시 붕괴에 대한 안전성을 확보하였다.

3.2 실험 계획

3.2.1 실험체 상세

내화 단면이 적용된 PPHCS의 합성 슬래브에 대한 내화성능 시험을 계획하여 총 3개의 내화 성능 평가용 시험체를 제작하였다. 모든 시험체의 콘크리트 설계압축강도는 PPHCS 45MPa, 덧침 콘크리트 27MPa로 설정하였다. 실험체 제작 시 적용된 콘크리트의 압축강도를 확인하고자 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체를 제작하였다. 강연선은 단면 내 긴장력을 도입하기 위하여 시험체 단면 하부에 인장강도(f_{pu})가 1,860MPa인 7연선 $\phi 9.5$ 와 $\phi 12.7$ 강연선을 적용하였다. Jacking force는 인장강도의 71%로 고려하여 비균열 단면의 허용응력을 만족하도록 설계하였다. 상부면에는 솟음을 제어하기 위하여 동일 인장강도인 3연선 $\phi 2.9$ 와 7연선 $\phi 9.5$ 강연선을 적용하였다.

KS F 2257-5(2019)에서 제시하고 있는 내화 가열로의 폭

Table 1 Details of specimens

No.	Name of Specimens	Specimens				
		Thk. [mm]	Width [mm]	Span length [mm]	Cover Thk. [mm]	Topping Thk. [mm]
1	PPHCS-200	200				90
2	PPHCS-265	265	3,000	6,700	35	120
3	PPHCS-315	315				

Compressive strength of concrete (f_{ck})

PPHCS : 45 MPa – Topping concrete : 27MPa

Tensile strength of 7 wire strand (f_{pu}) : 1,860MPa

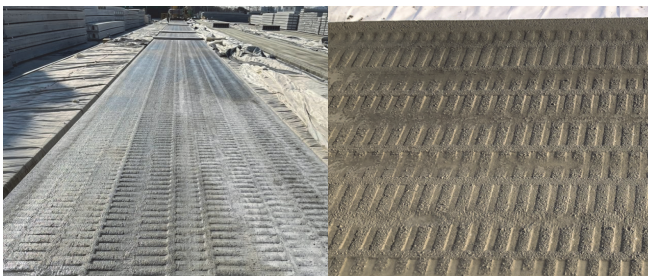
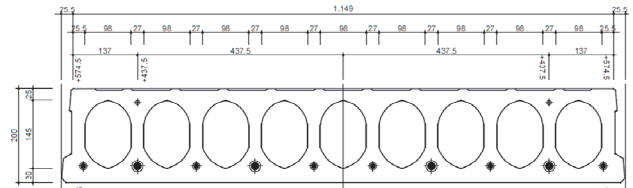


Fig. 2 Top surface of PPHCS

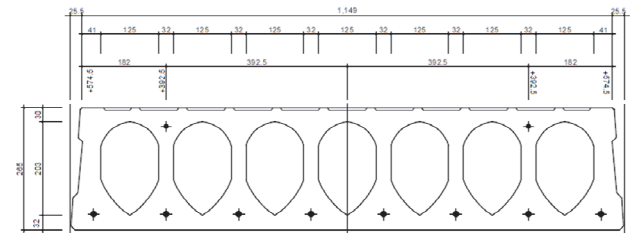
과 길이는 각각 3,000mm와 4,700mm로 명시되어 있다. 따라서 이에 맞춰 시험체를 제작해야 하나 현장 적용 시 장경간으로 사용되는 PPHCS의 특성에 맞춰 시험체 폭 3,000mm 및 스패 길이 6,700mm(순스패 6,500mm)인 실대형 실험체를 제작하였다. 현장에서 주 적용되는 PPHCS 단면 두께를 실험 변수로 하여 200mm, 265mm, 315mm로 고려하였다. Table 1과



- Top: 3-wire strand $\phi 2.9(2ea)$
- Bottom: 7-wire strand - $\phi 9.5(6ea)$ and $\phi 12.7(4ea)$



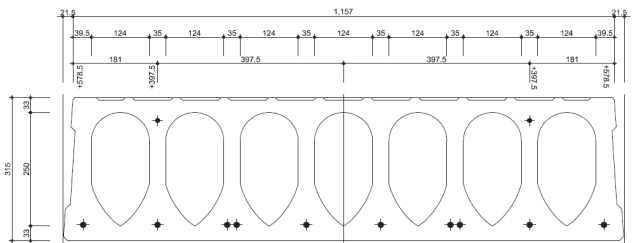
(a) PPHCS-200



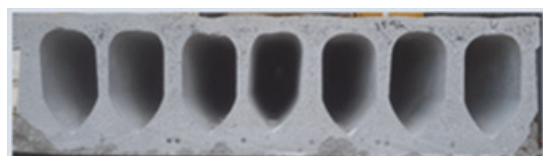
- Top: 3-wire strand $\phi 9.5(2ea)$
- Bottom: 7-wire strand - $\phi 12.7(8ea)$



(b) PPHCS-265



- Top: 3-wire strand $\phi 9.5(2ea)$
- Bottom: 7-wire strand - $\phi 12.7(10ea)$



(c) PPHCS-315

Fig. 3 Cross section of specimens

Fig. 3는 실험체 상세를 나타내었다.

PPHCS의 상부면에는 깊이 3mm인 장방형 엠보싱을 두어 덧침콘크리트와의 부착성을 확보하였다. 덧침 콘크리트 두께는 90mm와 120mm를 적용하여 합성단면에 대한 화재지속 시간 내 거동을 평가하고자하였다. Fig. 2는 실험체 상부면의 엠보싱 형상과 거칠기를 나타내었다.

3.2.2 실험체 하중조건 및 설치

4층 이상 건축물에 적용할 수 있도록 2시간의 법정내화시간을 만족하는 PPHCS의 내화성능을 목표로 하였다. 실험체 지지조건은 단순지지로 하였다. 하중조건은 KBC 2016(2016)의 돌발하중에 대한 하중조합 중 슬래브 두께에 따라 적용되는 용도별 활하중(L)의 50%를 내화 시험 시 재하 하중으로 고려하였다. Fig. 4과 같이 PPHCS 두께 200, 265, 315mm에 대한 재하하중 값은 각각 55.8kN, 111.6kN, 135.0kN이며, 단면 내력(휨강도)에 대해서는 각각 54%, 65%, 48%에 해당하는 값으로 화재 지속시간동안 모래통을 사용하여 등분포 하중으로 재하하였다.

KS F 2257-1(2019)의 표준화재곡선을 따라 가열대 내에서 내화실험을 진행하였고, 실험체 양 옆으로 보조장치를 설치

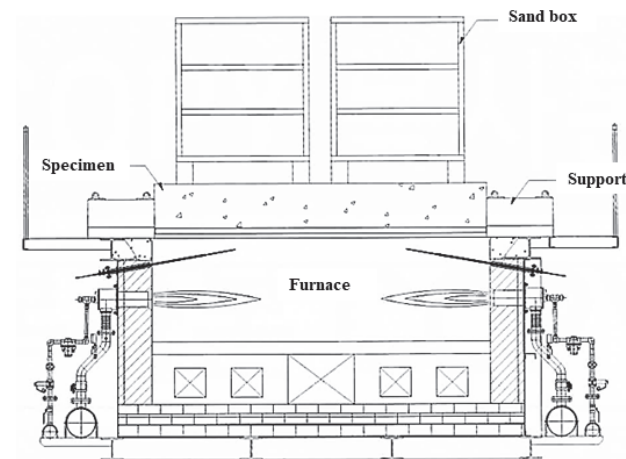


Fig. 4 Test Setting

한 후 양옆으로 고온용 세라믹 단열재를 덮어 내화시험을 진행하는 동안 화원이 밖으로 노출되지 않도록 하였다.

내화시험이 진행되는 동안 하중지지력 평가를 위하여 중앙부에 변위계를 설치하였고 화재지속시간 내 1분 간격으로 중앙부 변위량 및 변형을 데이터를 측정하였다. 비가열면에는 총 5개의 온도 계지를 부착하고 내화시간동안 변화하는 온도를 측정하여 차열성을 확인하였다. 실험이 진행되는 동안 10초이상 화염발생여부, 균열계지 관통여부, 면패드 착화현상 등 차열성과 관련된 성능도 관측하였다.

4. 실험결과

Table 2에는 콘크리트 압축강도 결과를 나타냈으며, Table 3과 Fig. 5는 내화단면이 적용된 PPHCS의 2시간 내화시험 결과를 나타내었다. 이를 도식화하여, Fig. 6 및 7에 제시하였다.

4.1 콘크리트 압축강도 측정 결과

Table 2에는 내화 시험체와 덧침콘크리트에 적용한 콘크리트 압축강도 결과를 나타내었다. 총 6개의 공시체를 시험체 제작과 동시에 제작하여 28일 기건양생 후 압축강도를 평가하였다. 대상별 3개의 공시체에 대한 평균 압축강도 결과는 설계 압축강도(f_{ck}) 45MPa와 27MPa 대비 각각 14%, 8% 높게 측정되었다.

Table 2 Compressive strength of concrete

No.	Specimens	Compressive strength [MPa]		
		f_{ck}	Test (Avg.)	Ratio
1	PPHCS	45	51.3	114%
2	Topping concrete	27	29.2	108%

Table 3 Test Results for specimens

No.	Specimens	Allowable deformation [mm]		
		Eq.(1)	Test	Ratio
1	PPHCS-200	480.5	165.3	34.4%
2	PPHCS-265	362.6	86.6	23.9%
3	PPHCS-315	323.3	186.2	57.6%

No.	Specimens	Allowable strain [mm]		
		Eq.(2)	Test	Ratio
1	PPHCS-200	21.4	4.2	19.6%
2	PPHCS-265	16.1	2.8	17.4%
3	PPHCS-315	14.4	8.5	59.0%

4.2 실험체별 내화실험결과

4.2.1 PPHCS-200

가열시간 120분까지의 변형량은 165.3mm(허용 변형량의 34.4%), 변형률은 4.2mm/min(허용변형률의 19.6%)으로 매우 안정적인 휨 거동을 하였다. 내화시험 26분경과 시 단변방향 수증기 및 수분이 발생하였고 62분경과 시 장변방향 수증기 및 수분이 발생하였으며, 120분 가열 종료 후 시험체 단면 내 최외단 중공 부분이 탈락되는 손상이 발생하였으나 전체적으로 큰 손상은 없는 것으로 관측되었다(Fig. 5(a)).

4.2.2 PPHCS-265

Fig. 5(b)와 같이 단면 두께가 265mm인 실험체의 2시간동안 변형량은 허용변형량의 23.9%인 86.6mm으로 측정되었다. 변형률은 허용변형률의 17.4%에 해당하는 2.8mm/min으로 내화시험이 종료되는 2시간동안 시험체 단면 내 큰 손상 없이 매우 안정적인 휨 거동을 나타내었다.

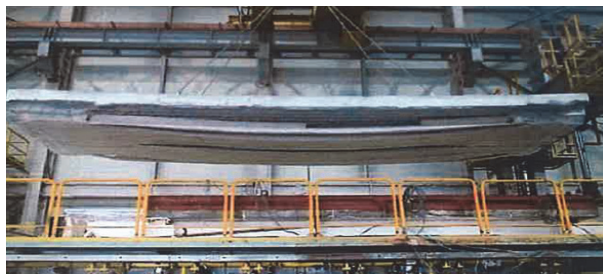
내화시험 44분경과 시 단변방향 수증기 및 수분이 발생하였고 73분경과 시 장변방향 수증기 및 수분이 발생하였다.



(a) PPHCS-200



(b) PPHCS-265



(c) PPHCS-315

Fig. 5 Test results

4.2.3 PPHCS-315

120분 가열 종료 후 변형량은 186.2mm(허용 변형량의 57.6%), 변형률은 8.5mm/min(허용변형률의 59.0%)으로 우수한 하중지지를 나타내었다. 내화시험 29분경과 시 단변방향 수증기 및 수분이 발생하였고 31분 경과 시 장변방향 수증기 및 수분이 발생하였다. 120분 가열 종료 후 PPHCS-200과 유사하게 중공부분의 손상이 발생하였으나 법적내화시간을 만족하는 것으로 관측되었다(Fig. 5(c)).

4.3 실험변수에 따른 화재거동분석

화재지속시간 2시간동안 PPHCS의 내화성능 시험결과를 기반으로 슬래브 단면 두께에 따른 내화성능과 화재거동에 대한 영향력을 분석하였다. 하중지력, 차염성과 차열성 3가지 항목에 대해서 내화성능 평가를 하고 하중지력을 우선적으로 확보하지 못하는 경우에는 차염성과 차열성에 대한 성능은 인정받지 못하게 된다.

Fig. 6는 내화시험 시간동안의 하중-처짐 관계를 나타내었다. 내화 시험이 진행되면서 초기 40분 동안 거의 유사한 화재 거동을 보이다가 1시간 이후부터 실험체별로 격차를 보이기 시작하였다. 단면두께 200mm 대비, 두께 265mm인 경우, 동일 시간대비 수직 처짐이 작게 관측되었으나, 두께 315mm 경우 Fig. 5(c)와 같이 중공부분의 일부 손상으로 처짐이 다소 많이 발생하였으나, 기준에서 제시하는 허용변형량과 변형률을 만족하여(Table 3) 내화성능을 충분히 발현한 것으로 판단된다. KS F 2257-1(2019)에서 제시하는 차열성기준을 만족시키기 위해 120분 후의 PPHCS-200, 265, 315 시험체의 비가열면 최고온도는 각각 213°C, 208°C, 192°C를 만족해야하고, 비가열면 평균온도는 각각 173°C, 168°C, 152°C 이하를 만족해야 한다. 내화시험 종료 후 시험체 비가열면의 평균 온도 측정 결과는 Fig. 7에서 나타난 것처럼 비가열면 최고온도는 54°C, 38°C, 23°C로 측정되고, 비가열면 평균온도는 51°C, 37°C, 21°C로 측정되어 차열성도 확보된 것으로 나타났다.

또한, KS F 2257-1(2019)에 명기된 차염성기준의 3가지

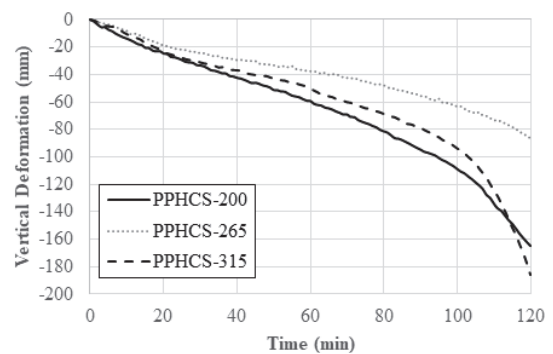


Fig. 6 Vertical deformation for specimens

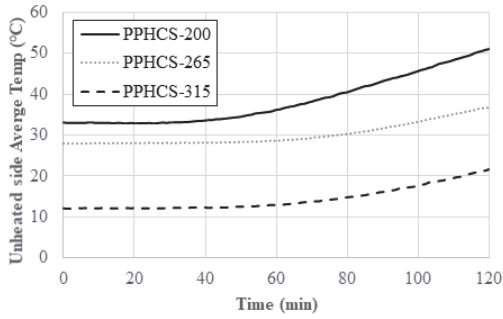


Fig. 7 Unheated side temperature for specimens

조건인 ‘규정 면 패드 적용 시 착화현상’, ‘규정 균열 게이지의 관통여부’, ‘10초 이상 지속되는 시험체 비가열면에서의 화염 발생여부’에 대해서도 모든 시험체가 만족하였다.

5. 내화시뮬레이션 평가

5.1 개요

PPHCS는 기존 RC 슬래브와 달리 강연선을 적용하여 단면 내 다양한 중공을 형성하고 있어 기존 평가방법으로 내화성능을 확인하는데 어려움이 있다. PPHCS의 슬래브 두께에 대한 내화시험 결과를 바탕으로 열해석과 구조해석을 위한 모델링을 구축하였고 PPHCS의 내화성능을 이론모델과 시험결과를 비교 분석하여 평가하였다. 또한 이를 통해 다양한 변수의 PPHCS를 대상으로 내화성능 예측 모델을 확립하고자 하였다.

5.2 해석방법 및 순서

PPHCS 열해석과 구조해석을 통한 내화성능을 평가하기 위해 상용 유한요소해석 소프트웨어인 SAFIR를 사용하였다. 수치해석은 단면의 열적 특성을 바탕으로 온도 분포를 산정하고, 적용된 재료의 이론 모델을 통해 부재의 거동과 전체 처짐을 산정하였다. 가열 조건은 기준에서 제시하는 표준화 재곡선을 적용하였으며 내화 시험과 동일한 부재의 단면형상 (덧침콘크리트 포함) 및 구속조건을 적용하였다.

5.3 해석결과

3가지 단면에 대한 표준화재곡선을 적용하여 열해석을 수행한 결과를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 8은 시험체 PPHCS의 2시간 경과 후 단면의 온도분포를 나타내었다. 화염이 직접 닿지 않는 비가열면의 온도 변화에 대한 양상은 비가열면 평균온도와 최고온도 모두 성능기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 화원이 직접 닿는 하단부에서는 최대 가열온도에 도달하여 전체적으로 온도가 상승함에도 불구하고 피복

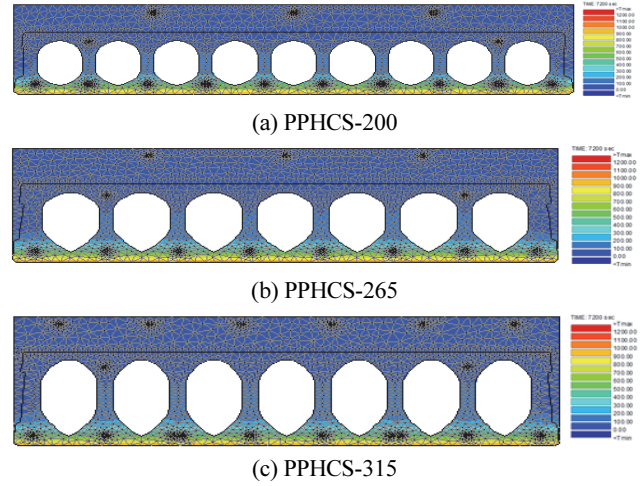


Fig. 8 Distribution of temperature for specimens after 2hrs

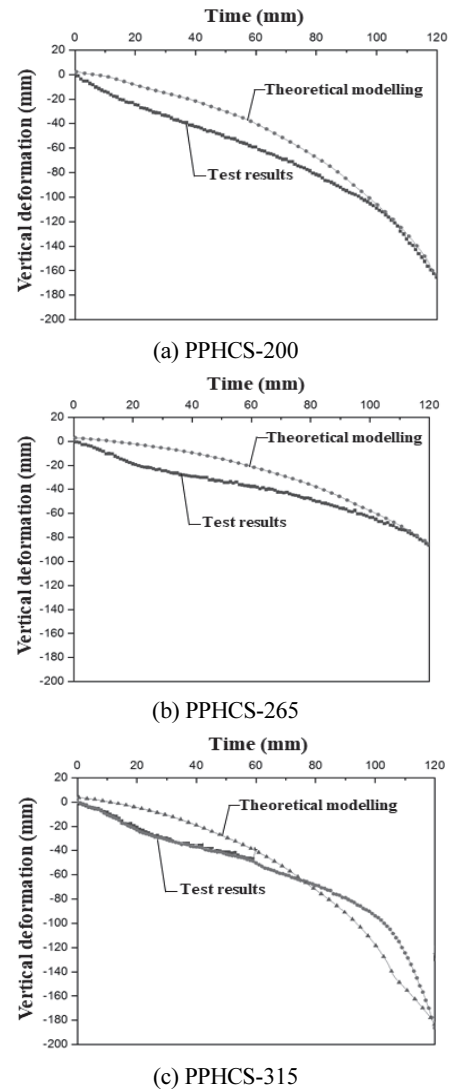


Fig. 9 Load-vertical displacement relationship under the elevated temperature

콘크리트와 강연선과의 탈락 현상이 발생하지 않는 것으로 해석되었다. 이는 2시간 화재 지속시간동안 취성적으로 붕괴되지 않고 내화성능을 발휘하는 것으로 볼 수 있다.

내화 시험과 동일한 하중조건을 반영한 내화단면 부재에서 화재지속시간동안 발생한 수직변위에 대한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. PPHCS-200의 경우, 100분 경과 시까지 변위는 실험결과 대비 이론모델 값이 50% 정도로 과소평가 되었으나 이후 최종 처짐은 거의 유사하게 나오는 것으로 평가되었다. 이와 마찬가지로 PPHCS-265도 초반부에는 실험결과와 이론모델 값의 차이가 발생하였으나, 100분경과 부터 최종 처짐까지 유사하게 모사하였다. 화재 지속시간 80분을 기준으로 PPHCS-315의 실험 초반부에는 이론모델이 과소평가가 되고 80분 이후 과대평가가 되었으나 최종 처짐은 유사하게 모사하는 것으로 나타났다. 모든 시험체는 시험 초반부에는 시험결과와 이론모델의 값이 차이가 발생하나 전체적으로 화재지속시간에 따른 최종 처짐은 실험결과를 잘 모사하는 것으로 나타났다.

6. 결론

개발된 내화단면이 적용된 PPHCS의 내화성능 평가를 위한 연구를 위해서 내화시험과 이에 대한 내화모델링을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내에서 PC중공슬래브에 대한 내화성능검증에 대해서 연구가 미비하다. 이 연구에서는 중공형상을 개선한 내화단면을 적용한 PPHCS를 국내 기준에 의거하여, 2시간 화재지속시간동안 내화성능을 평가하였다.
2. 개발된 내화단면은 기존 피복두께를 유지하면서 상부쪽 중공형상을 원형으로 변형시키면서 기존 단면내력 충족 및 시공성을 향상시켰으며 화재 시 내화성능을 발휘할 수 있도록 개발하였다.
3. 단면 두께를 변수로 둔 내화단면 PPHCS의 2시간 내화 시험결과, 하중지지력은 기준 변형량의 23.9%~57.6%, 기준 변형률의 17.4%~59.0% 수준으로 기준치 만족과 동시에 차열성(기준치 이하 이면 최고온도 관측)과 차염성(10초 이내 화염 미발생)도 만족하여 주거용 건축물에 즉각 적용 가능할 것으로 판단된다.
4. 2시간 내화 PPHCS 시뮬레이션 결과는 내화시험결과와의 비교하였을 때 비교적 잘 모사하는 것으로 나타나 이를 기반으로 내화 모델링을 정립하였다. 추후 단면형상 변화에 따른 내화성능 예측이 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20220337-001 OSC 대응 고비탄성 내진용 하이브리드 스플라이스 슬리브 개발).

References

1. KS F 2257-1. (2019), Methods of fire resistance test for elements of building construction-general requirements. (in Korean).
2. KS F 2257-5. (2019), Methods of fire resistance test for elements of building construction-Specific requirements for loadbearing horizontal separating elements, Korea Standard Association. (in Korean).
3. Kim, H., Kim, H., Cho, B., Yeo, I., and Kwon, I. (2011), An Experimental Study on the Fire Behavior of Concrete Void Slab under Standard Fire with Loading Condition, *Journal of Korean Institute of Science and Engineering*, 25(6), 64-72 (in Korean).
4. Choi, H., Chung, J., and Choi, C. (2014), Estimation Method of Residual Performance for Hollow Slab at Elevated Temperature, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 26(5), 643-650 (in Korean).
5. Min, J., and Woo, Y. (2015), Numerical Study on Fire Performance of Hollow core Slabs, *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, 15(3), 95-102 (in Korean).
6. KICT. (2022), A Development on the PC Hollow Core Slab with 2hrs Fire Resistance Performance for Residence Building, p.5.
7. KDS 14 20 80. (2022), Concrete Structure Durability Design Criteria. (in Korean).
8. ACI 216R-07. (2007), Requirements for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies, ACI, pp.1-48.
9. PCI. (2017), PCI Design Handbook, Design for Fire Resistance of Precast and Prestressed Concrete.
10. Japanese government. (2000), Construction Notification No. 1399 (Regarding construction methods for fire-resistant structures).
11. CEN (European Committee for Standardization) Eurocode 2 (2004), Design of Concrete Structures - Part1 -2: Generalrules-Structural fire design.

Received : 08/23/2022

Revised : 01/18/2023

Accepted : 01/18/2023

요 지 : 최근 건설현장은 인건비 상승, 중대재해처벌법 등으로 인한 건설 현장 여건의 변화로 탈현장 여건으로 프리캐스트 부재 생산에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히, 프리캐스트 프리스트레스트 중공슬래브는 단면 내 중공형상을 두어, 중량감소 및 강연선을 통한 처짐 제어 등으로 구조성능은 확보하고 있으나, 현재 내화 성능 개선에 대한 미비한 연구 뿐만 아니라, 기업들의 근거 없는 당연내화구조 기준을 적용함에 내화성능 확보에 대한 시급성이 대두되고 있다. 이 연구에서는 기존 중공 슬래브와 비교하여 동등이상 구조성능, 경제성을 갖기 위하여 슬래브 단면 내 중공 형상 최적화를 통해 단면 내 콘크리트 충전률 감소 및 상하부 플랜지 형상 개선으로 내화단면을 개발하였다. 이를 적용한 PC 중공 슬래브에 대하여 단면두께를 변수로 하여 2시간 내화시험을 진행하여, 실험결과 내화 성능(하중지지력, 차열성, 차염성)을 확보 하였다. 실험 결과 기반으로, 수치해석 시뮬레이션을 통해 내화모델링을 정립하여, 추후 단면형상 변경에 따라 내화 해석 예측이 가능한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 프리캐스트, 중공슬래브, 내화단면, 내화모델링
