

무기질계 영구거푸집의 내화성능에 관한 실험적 연구

The Experimental Study of Inorganic Performant's of Fire-Resistance Evaluation

김 영 진^{*} 백 민 수^{**} 정 근 호^{**} 김 우 재^{***} 정 상 진^{****}
Young-Jin Kim Min-Su Baek Keun-Ho Jung Woo-Jae Kim Sang-Jin Jung

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop and to apply this permanent cement mortar form as one of those system forms to improve existing form's problems.

(1) In the fire proof test with combined specimen, the fire proof covering including form section thickness is satisfied with the fire proof criterion. It is considered that form section thickness has no problem

(2) The suitable method of normal pressure steam curing for the form's mass production is 4 hours in 65°C considering production cost, the silica fume admixture is economic

1. 서론

본 연구는 영구거푸집의 내화성능을 시험하여 거푸집이 구조체의 피복두께에 포함될 수 있는지를 조사하기 위해 내화성능 시험을 실시하였다. 또한 영구거푸집을 대량으로 생산하기 위한 방안으로 거푸집의 공장 생산을 위한 증기양생법 즉, 전치시간, 양생온도, 양생온도 유지시간, 양생법 등을 고찰하여 영구거푸집의 제조기법을 도출하여 생산성을 향상시키기 위한 연구를 실시하였다.

2. 내화 성능실험

2.1 개요

본 연구의 내화성능실험 기준은 KS F 2257-1, 4 (건축구조부재의 내화 실험방법, 1999 제정), ISO-FDIS 834-1에 의거하였으며, 시험체의 크기는 150×150×600mm로 하여 실험을 실시하였다. 본 영구거푸집의 구조체 단면은 <그림1~6>과 같이 계획하여 설치하였다.

2.2 실험계획

내화실험용 가열로는 시험체 전면적에 거의 일정하게 온도를 부여하여야 한다. 또한 가열로의 열원은 가스, 증유 등이 가능한데 본 실험에서는 LNG를 사용하였다. 시험체 및 노의 온도는 데이터 기록기 (DATA SCAN)로 측정하였다. 1시간을 가열 후 충격실험을 실시하여 내화피복재의 벗겨짐, 뚫어짐을

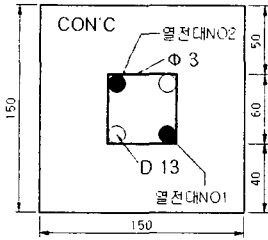
* 정회원. 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원. 단국대학교 건축공학과 박사과정

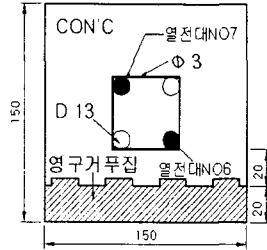
*** 정회원. 시립인천전문대학 건축과 겸임교수

**** 정회원. 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

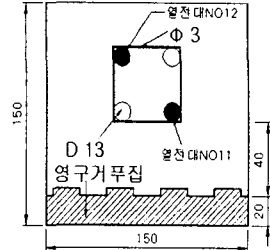
관찰하여 구멍이 뚫어지지 않은 것은 합격으로 한다. 본 실험에서 온도 측정용 열전대는 지름 1mm의 CA 열전대를 사용하였다. 또한 내화시험체의 폭열 현상을 조사하기 위해 콘크리트 공시체를 추가로 노 내부에 설치하여 실험 후 강도저하를 조사하였다.



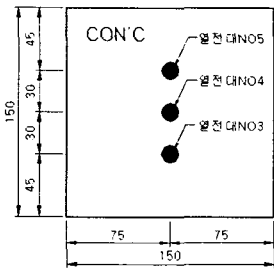
<그림 1> 기준 시험체



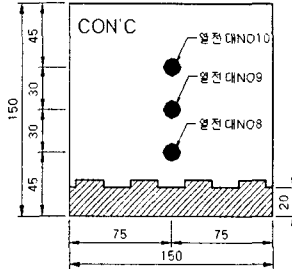
<그림 2> 영구거푸집 : 2cm
콘크리트피복 : 2cm



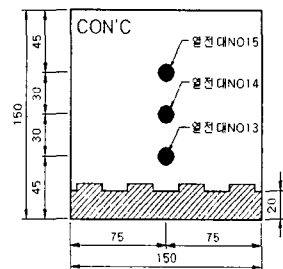
<그림 3> 영구거푸집 : 2cm
콘크리트피복 : 4cm



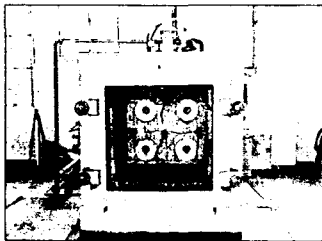
<그림 4> 기준 시험체
열전대 설치위치



<그림 5> 영구거푸집(2cm)
열전대 설치위치



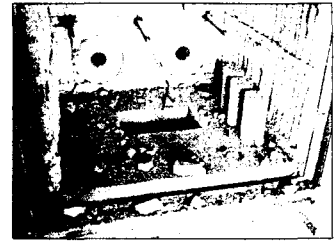
<그림 6> 영구거푸집(4cm)
열전대 설치 위치



<사진 1> 가열로의 형상

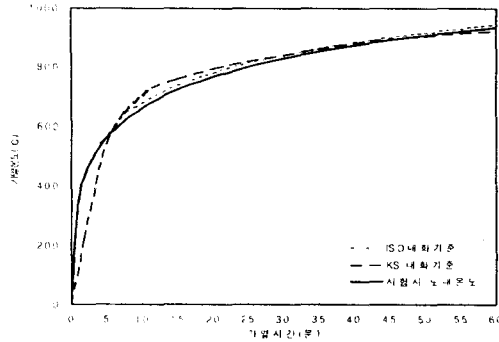


<사진 2> 내화시험 중



<사진 3> 내화 실험후 노 내부

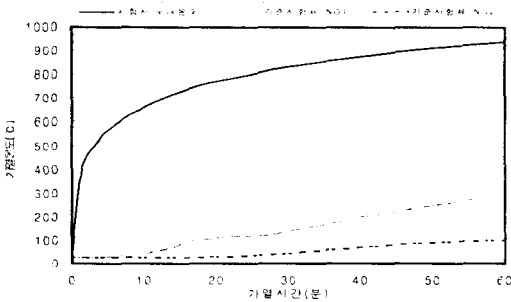
내화시험시 노의 온도는 KS와 ISO의 기준이 다소 차이가 있겠는데 KS기준은 노의 온도가 30분에서는 840℃, 60분에서 925℃로 제한하고 있으며, ISO기준은 30분에서는 841.8℃, 60분에서 945.3℃로 제한하고 있다. 따라서 KS기준보다는 ISO기준이 다소 강화된 것으로 보아 본 내화시험에서는 ISO-FDIS 834-1의 기준으로 노의 온도를 상승시켜 실험을 실시하였으며, 실험시 측정된 노의 온도는 30분에서 830℃, 60분에서 938℃로 조사되었다.<그림 7, 참고>



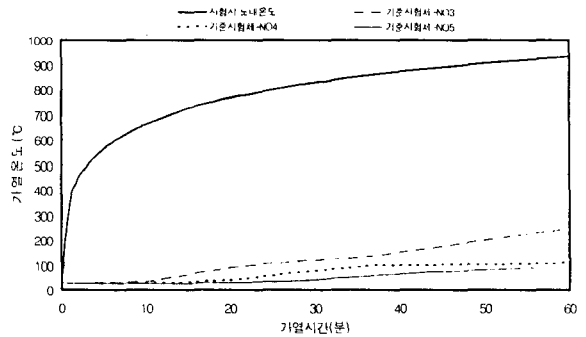
<그림 7> 실험시노온도 (KS, ISO 기준)¹⁾

2.3 내화실험 결과

2.3.1 기준 시험체기준 시험체 내부의 철근 온도를 측정된 결과 외부에서부터 4cm에 위치한 철근은 295℃까지 온도 상승하였고, 외부에서부터 10cm에 위치한 철근은 100℃까지 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 또한 시험체 내부의 온도는 시험체 외부로부터 4.5cm에서 246℃, 7.5cm에서 111℃, 10.5cm에서 94℃로 나타나 KS에서 명시한 강재의 최고온도규정 500℃이하를 만족하는 것으로 나타났다. 노의 온도가 750℃에서 시험체 이면 중앙부의 콘크리트에서 물기가 발생되었고, 800℃에서는 물기의 발생량이 증가하였다.



<그림 8> 기준 시험체의 철근온도



<그림 9> 기준 시험체의 콘크리트 내부온도

2.3.2 영구거푸집 시험체 (피복두께 : 4cm)

영구거푸집 시험체(4cm) 내부철근 온도측정 결과 외부에서부터 4cm에 위치한 철근은 243℃까지 온도가 상승하였고, 외부에서부터 10cm에 위치한 철근은 75℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 또한 시험체 내부의 온도는 시험체 외부로부터 4.5cm에서 211℃, 7.5cm에서 106℃, 10.5cm에서 81℃로 나타나 KS에서 명시한 강재의 최고온도규정 500℃이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 노의 온도가 800℃에서 시험체 이면 상부의 콘크리트에서 물기가 발생되었다. 실험 전에 우려하였던 영구거푸집의 내화 성능은 기준 시험체보다 우수하게 나타났고, 영구거푸집을 설치한 시험체가 기준 시험체 보다 내부철근 및 콘크리트 온도가 낮게 나타났다. 이런 현상은 “열전달”의 개념으로 유추될 수 있을 것으로 판단된다. 식 (1)은 열전달에 대한 식이다.

$$\text{열전달시간} : \tau_t = \frac{\rho V C_p}{h A_s} \quad \text{식 (1)}$$

여기서 h : 벽체외부의 대류 열전달 상수
 ρ : 밀도(Density) V : 체적

A_s : 벽체의 표면적
 C_p : 비열비(specific heat)

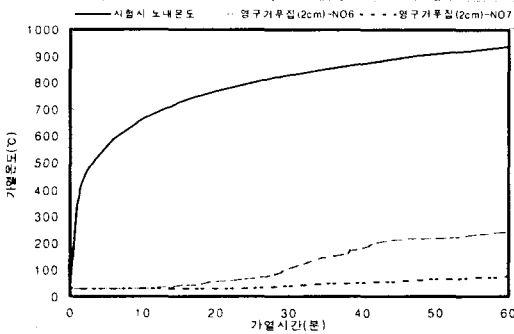
여기서 식 1에 의하면 분모 h 는 벽체 외부의 대류 열전달 상수이고, A_s 는 벽체의 표면적이므로 본 실험에서는 모든 시험체가 동일한 값을 가지게 된다.

분자의 ρ 는 밀도, V 는 체적, C_p 는 비열비를 나타내는데 철근이 콘크리트보다 밀도가 약 3배가 크므로 비열비는 약 2배가 작으므로 철근이 혼입된 시험체가 열전달시간이 길어지게 된다. 따라서

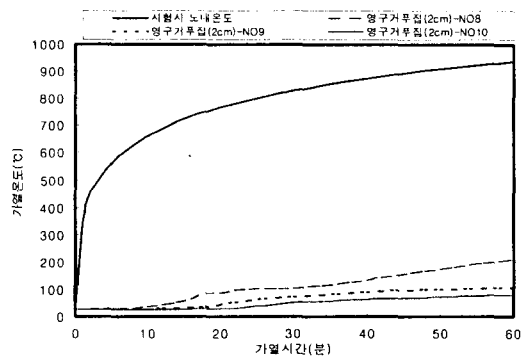
본 실험에서와 같이 시간에 따른 온도의 변화를 볼 경우 영구거푸집이 일반 콘크리트 시험체보다 반응이 느리기 때문에 같은 시간에서 온도를 비교하면 기준 콘크리트 시험체보다 영구거푸집의 온도가 낮게 나타난 것이므로 영구거푸집의 내화성능이 기준 시험체보다 우수하다고 판단할 수 있다.

<표 1> 재료의 특성

구분	밀도 [kg/m ³]	열전도 [W/m.K]	비열비 [J/kg.K]
concrete	2300	1.4	880
iron	7870	80.2	447
Carbon steel(c=0.5%)	7833	54	465
Carbon steel(c=1%)	7801	43	473
Carbon steel(c=1.5%)	7753	36	486



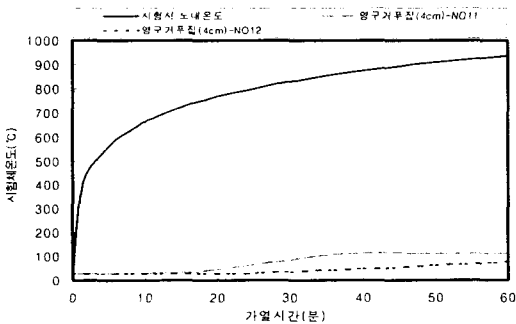
<그림 10> 영구거푸집 내부의 철근온도
(영구거푸집 두께 + 콘크리트 두께 = 4cm)



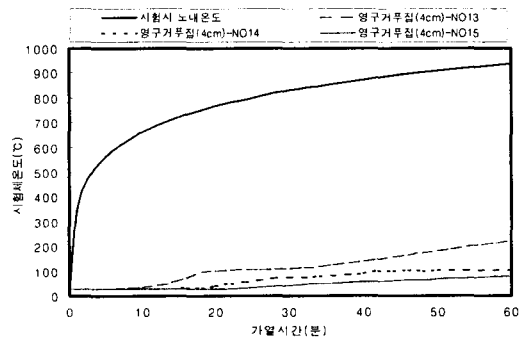
<그림 11> 영구거푸집 내부의 콘크리트온도
(영구거푸집 두께 + 콘크리트 두께 = 4cm)

2.3.3 영구거푸집 시험체 (피복두께 : 6cm)

영구거푸집 시험체(6cm)내부의 철근 온도를 측정된 결과 외부에서부터 4cm에 위치한 철근은 110°C까지 온도가 상승하였고, 외부에서부터 10cm에 위치한 철근은 75°C까지 상승하는 것으로 나타났다. 또한 시험체 내부의 온도는 시험체 외부로부터 4.5cm에서 220°C, 7.5cm에서 102°C, 10.5cm에서 79°C로 나타나 KS에서 명시한 강재의 최고온도규정 500°C이하를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 노의 온도가 780°C에서 시험체 이면 중앙부 및 우측부에서 콘크리트에 물기가 발생되었다. 본 시험체는 법적 기준치보다 내화 피복두께를 2cm 가산하여 시험체를 제작하였기 때문에 내화성능이 가장 우수하게 나타났다. 또한 내충격성을 조사하기 위하여 5kg의 추를 2m에서 낙하시켜도 영구거푸집 및 기준 시험체 모두 탈락이나 뒷면까지 구멍이 뚫어지지 않아 KS기준을 만족하는 것으로 판정되었다.



<그림 12> 영구거푸집 내부의 철근온도
(영구거푸집 두께 + 콘크리트 두께 = 6cm)



<그림 13> 영구거푸집 내부의 콘크리트온도
(영구거푸집 두께 + 콘크리트 두께 = 6cm)

<표 2> 내화시험 후 결과

시험체		기준시험체 (피복두께 4cm)	영구거푸집 (피복두께 4cm)	비탈형거푸집 (피복두께 6cm)	시험시 노내온도
온도					
철근온도	4cm	295℃	243℃	110℃	
	10cm	100℃	75℃	75℃	
콘크리트 온도	4.5cm	246℃	211℃	220	
	7.5cm	111℃	106℃	102℃	
	10.5cm	94℃	81℃	79℃	

영구거푸집용 재료의 폭열현상으로 인한 강도 저하를 조사하기 위해 내화 시험을 한 결과 콘크리트는 고온에 노출되면 내부 수분 및 골재의 팽창압력을 견디지 못해 표면에 많은 균열을 나타내게 된다. 기준 콘크리트의 압축강도는 평균 223 kgf/cm²으로 나타나고, 내화 실험체의 압축강도는 평균 39 kgf/cm²로 나타나 고온에 의한 강도저하가 큰 것으로 조사되었다.

3. 공장생산을 위한 양생법 개발

3.1 실험계획

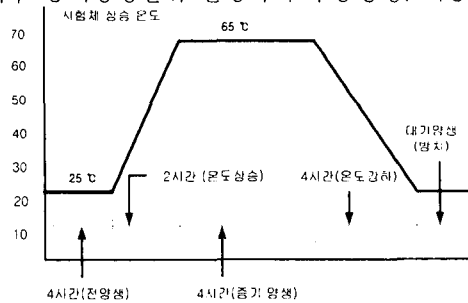
본 연구는 영구거푸집의 대량생산 및 제작기간을 단축하여 생산성을 향상시키기 위한 방안으로 영구거푸집용 모르터를표준양생이 아닌 상압 증기양생법으로 제작하기 위한 연구이다.

3.2 공시체 제작 및 양생

공시체의 제작은 JIS R 5201(시멘트의 물리적 시험기기 비법에 의한 방법)에 의하여 4×4×16cm 몰드를 사용하여 제작하였으며, 양생은 제작 후 전치 4시간이후 증기양생한뒤 탈형하여 수중양생, 기중양생으로 나누어 실시하였다. 배합은 <표 3>과 같다.

<표 3> 모르터 배합표

W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	중량배합 (kgf/m)				
		C	S	F	Si	SP
40	280	595	1130	35	70	5.95
45	315	595	1040	35	70	5.95
50	350	595	965	35	70	5.95



<그림 14> 증기양생온도 및 시간 조건

3.3 실험방법

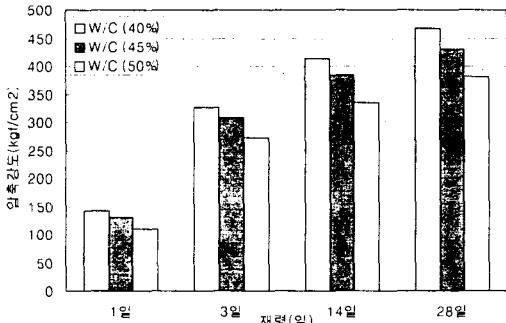
압축, 휨 강도는 실험재령일까지 양생한 공시체를 함수율이 10±2%가 되는 표준상태로 건조시켜 실시하였으며, 강도측정은 용량 10톤의 만능시험기를 사용하였다.

3.4 실험결과 및 고찰

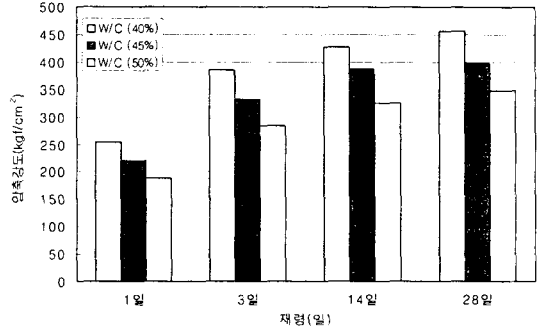
영구거푸집용 모르터를 전양생 및 최대양생온도 65℃, 4시간으로 시험한 결과 압축강도 및 휨강도를 <그림 15~18>에 나타내었다. 증기양생에 있어서 초기강도는 시멘트의 주요조성광물종의 C₃S에 의해 결정되며, C₃S의 수화는 초기온도가 높을수록 촉진되기 때문에 증기양생을 실시하면, 재령초기에는 높은 강도를 나타낸다. 그러나 증기양생이 장기 재령에는 나쁜 영향을 미치는데, 이는 모르터의 구성요소의 열팽창률에 기인하는 것으로 초기의 높은 양생온도로 인한 공기와 물의 팽창이 크기 때문에 공극이 증가하며, 이에 의해 내부응력이 생기며 이것은 균열을 발생시킨다. 이와 같은 균열은 양생온도가 높아짐에 따라 가열속도가 빨라짐에 따라, 전치시간이 짧음에 따라 많이 발생한다.

본 실험에서 실시한 압축 및 휨 강도의 강도 발현 성상은 서로 유사한 경향을 나타내었고, 증기양생 후 기중 양생 및 수중 양생을 하여 강도의 증진성을 시험한 결과, 증기양생 시험체

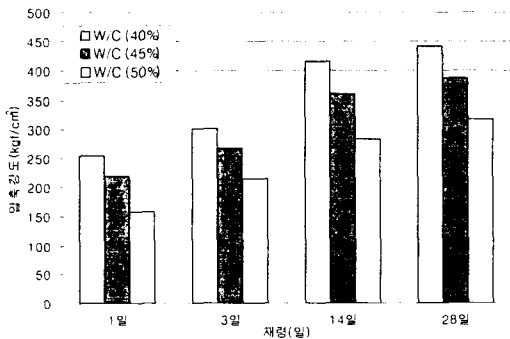
는 기증양생 시험체에 비해 증기양생후의 양생방법이 압축강도의 증진성에 미치는 영향이 적어지고, 또한 재령의 진행에 따른 강도의 증진성의 저하도 적음을 알 수 있다. 이러한 현상은 압축 및 휨강도에 동일한 경향을 나타내고 있다. 따라서 영구거푸집을 공장에서 대량으로 생산하기 위해 증기양생을 실시한 후 기증양생을 실시하여도 시험체의 강도증진에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.



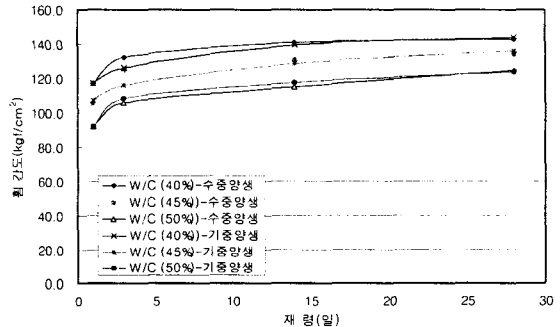
<그림 15> Plain 압축강도 시험결과



<그림 16> Plain 압축강도 시험결과-수증양생



<그림 17> Cast-in-place 압축강도 시험결과-기증양생



<그림 18> Cast-in-place 휨 강도 시험결과-기증,수증양생양생

4. 결론

영구거푸집의 내화성능실험 및 영구거푸집을 대량으로 생산하기 위한 양생법에 대한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 영구거푸집용 복합시험체로 내화실험을 실시한 결과 영구거푸집 단면을 내화피복 두께에 포함시킨 시험체가 내화기준을 만족하므로 거푸집의 단면을 구조체의 피복두께에 포함 할 수 있는 가능성을 알 수 있었다.
- (2) 공장생산을 위한 영구거푸집용 증기양생법은 전치시간 4시간, 최고온도 65°C로 4시간을 유지하는 것이 적절한 것으로 나타났으며, 증기양생 후 기증양생 및 수증양생으로 나누어 실험한 결과 강도 발현에는 큰 차이를 보이지 않았다.
- (3) 추후 영구거푸집의 대량 생산을 위한 시스템 몰드의 개발 및 현장 적용시 시공성을 확보할 시스템 가설재에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 廣田技男, "混合セメントを用いたコソートの蒸氣養生における強度狀", 세技年報 34, 1982.
2. 김우재, 비탈형거푸집 개발에 관한 연구, 단국대 대학원 박사학위 논문, 2002.2.
3. ACI Committe 308, "Standard Practice for Curing Concrete (ACI308-92)", ACI Standard, 1992.
4. Introduction to heat transfer, incropera & dewitt jon, waily and jons, 1996.