



다양한 설계변수에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 열적 거동 분석을 위한 실험 연구

신영수¹⁾ · 박지은¹⁾ · 문지영¹⁾ · 김희선^{1)*}

¹⁾이화여자대학교 건축공학과

Experimental Studies on the Effect of Various Design Parameters on Thermal Behaviors of High Strength Concrete Columns under High Temperatures

Yeong-Soo Shin,¹⁾ Jee-Eun Park,¹⁾ Ji-Young Mun,¹⁾ and Hee-Sun Kim^{1)*}

¹⁾Architectural Engineering Dept., Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

ABSTRACT Although concrete is considered as fire proof materials, high strength concrete shows severe material and structural damages when exposed to fire. To understand such damages in high strength concrete structures, the effects of various design parameters and fire condition on the thermal behaviors of high strength concrete structures are investigated in this study. In order to achieve this goal, fire tests are performed on high strength concrete columns with different fire conditions and design parameters including cross sectional area, cover thickness, and reinforcement alignment. To investigate thermal behaviors, temperature distributions and amount of spalling are measured. In overall, the columns show rapidly increasing inner temperatures between 30~60 mins of the fire tests due to spalling. In detail, the higher temperature distributions are observed from the columns with the larger cross section and less cover thickness. Moreover, among the columns with same reinforcing ratio, larger number of reinforcements with the smaller diameter causes the higher temperature distribution. The findings from the experimental study allow not only understanding of thermal behaviors of high strength concrete columns under fire, but also guidance in revising fire safety design.

Keywords : high strength concrete, fire, high temperature, thermal behavior, spalling

1. 서 론

건축물의 고층화, 대형화와 더불어 고강도 콘크리트의 사용은 날로 증가하고 있다. 고강도 콘크리트는 일반 강도에 비해 초기 강도 구현률이 높고, 부재의 내구성을 향상시켜 부재 단면 크기를 줄일 수 있다는 측면에서 많은 장점을 지니고 있지만, 일반 강도 콘크리트에 비해 화재에 취약한 단점을 지니고 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 이는 고강도 콘크리트를 사용한 구조 부재가 화재에 노출되었을 경우 폭발 현상을 동반하면서 구조 부재에 심각한 열적, 구조적 손상을 일으켜 일반 강도 콘크리트 구조 부재에 비하여 더 큰 강도 저하를 나타내게 되기 때문이다.

화재에 의한 고강도 콘크리트 재료의 물성치 변화를 알아내기 위한 화재 실험은 Kodur et al.과 Cheng et al.^{1,2)} 등에 의하여 수행, 발표된 바 있으며, 이에 따르면 일반

강도 콘크리트에 비해 같은 온도에서 비열은 낮게 나타나고 열전도율은 더 높게 나타난다. 또한 고온에서 변화하는 고강도 콘크리트의 탄성계수, 압축강도 등의 구조적인 물성치의 감소 또한 일반 강도 콘크리트에 비해 현저하게 나타나는 것으로 실험 결과 발표된 바 있다.

고온하에서의 고강도 콘크리트 구조물에서는 물성치의 변화와 함께 폭발 현상이 동반되어 내부 온도 증가와 구조 성능 감소를 더욱 가속화 하게 되며, 폭발을 일으키는 요소에는 온도, 콘크리트 내 공극의 크기와 분포, 수분의 양 등이 있다. 폭발의 정도 및 발생 깊이는 열에 의한 변형, 공극압에 의한 변형, 크리프(creep)에 의한 변형, 비탄성 변형 등이 종합적으로 작용하여 결정되는 것으로 알려져 있다.

지금까지 발표된 연구 사례를 통하여 고강도 콘크리트의 온도에 따른 물성치 변화 및 폭발의 원인에 대해서는 어느 정도 분석이 가능해졌다고 볼 수 있다. 그러나 실제 고강도 콘크리트 구조물에서 다양한 설계 변수가 작용하였을 때 발생하는 내부 온도 분포 및 폭발의 정도에 대해서는 파악, 예측할 수 있는 기준이 아직 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 설계 변수를 달리한

*Corresponding author E-mail: hskim3@ewha.ac.kr
 Received February 21, 2011, Revised April 14, 2011,
 Accepted May 11, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

고강도 콘크리트 기둥을 제작하고 가열 조건을 달리하는 가열 실험을 수행하여, 다양한 설계 변수가 고온에 노출된 고강도 콘크리트 구조물에 미치는 내부 온도 분포 및 폭열 특성에 대해 파악하고, 실무에서 보다 안전한 내화 설계를 할 수 있도록 역학적인 토대를 마련하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

이 연구에서 고강도 콘크리트 기둥에 고려된 설계 변수는 단면의 크기, 피복 두께, 철근 배근이며, 또한 가열 조건을 다르게 했을 때 나타나는 열적 거동을 분석하기 위하여 ISO 834 표준화재 곡선과 화재 시뮬레이션을 통해 얻은 온도-시간 곡선의 두 가지 다른 가열 조건을 계획하여 가열 실험을 수행하였다. 제작된 시험체 명과 실험 변수는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

시험체 제작에 사용된 고강도 콘크리트는 Table 2의 배합표를 바탕으로 제작되었다. 시험체는 수분의 영향을 최소화하기 위해 타설 후 6개월을 양생하여 가열 실험을 수행하였으며 재료 실험 결과 콘크리트의 6개월 압축 강도는 52.97 MPa로 측정되었다.

시험체는 1,500 mm 높이의 단주로, 단면 크기는 350 × 350 mm, 450 × 450 mm, 550 × 550 mm의 세 가지 정사각형 단면으로 제작하였다. 단면 350 × 350 mm의 시험체는 피복 두께를 40 mm, 60 mm로 다르게 제작하여 피복 두께에 따른 열적 거동을 살펴보도록 계획하였다. 또한 철근 크기와 배근 간격을 다르게 하여 시험체를 제작함으로써 철근 배근에 따라 달라지는 열적 거동을 분석하고자 하였다.

Table 1 Summary of specimens

Specimen name	Dimension (mm)	Cover (mm)	Rebar	Ratio of rebar (%)
CI11	350 × 350	40	4-D22	1.26
CI12	350 × 350	60	4-D22	1.26
CI21	450 × 450	40	4-D29	1.27
CI22	450 × 450	40	8-D19	1.13
CI23	450 × 450	40	12-D16	1.18
CI31	550 × 550	40	4-D32	1.05
CR11	350 × 350	40	4-D22	1.26
CR12	350 × 350	60	4-D22	1.26
CR21	450 × 450	40	4-D29	1.27
CR22	450 × 450	40	8-D19	1.13
CR31	550 × 550	40	4-D32	1.05

Table 2 Mixture ratios of the specimens

Compressive strength (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	Weight per unit vol. (kg/m ³)					
			W	C	FA	S	G	AD
50	30.8	44	170	469	83	702	900	5.52

Fig. 1은 가열 실험 동안 기둥 내부의 온도 분포를 측정하기 위해 설치한 열전대의 위치를 나타낸다. 열전대 C1~C3은 콘크리트 기둥 표면으로부터 각각 25 mm, 100 mm, 175 mm에 위치하며, C4, C5는 기둥 표면으로부터 약 30 mm, 100 mm 거리에 위치한 콘크리트의 내부 온도를 측정하게 된다. 열전대 S1, S2는 주철근, S3는 띠철근의 온도를 측정하기 위해 설치되었으며 열전대는 모두 콘크리트 기둥의 중간 높이에 설치되었다.

Fig. 2에서는 기본 시험체 CI11의 입면 및 단면 상세를 나타내었으며 Fig. 3(a)~(e)에서는 단면 크기가 다른 시험체 및 피복 두께와 철근 배근 간격을 달리한 시험체의 상세를 나타내었다.

2.2 실험 방법

가열 실험을 위해 각 시험체들을 수평 가열로에 Fig. 4와 같이 배치하였다.^{4,5)} 수평 가열로 내부의 온도는 Fig. 5에 나타난 ISO 834 표준화재 곡선 또는 화재 시뮬레이션을 통해 실험적으로 얻어진 온도-시간 곡선을 따라 조

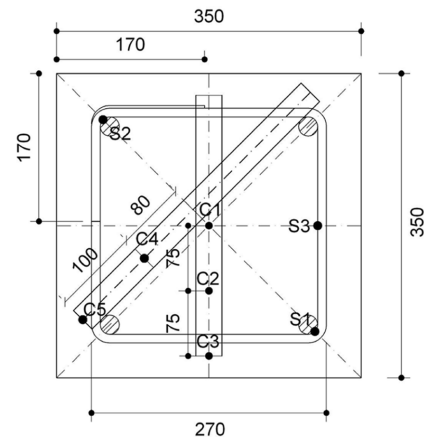


Fig. 1 Location of thermocouples of CI11, CR11 (unit: mm)

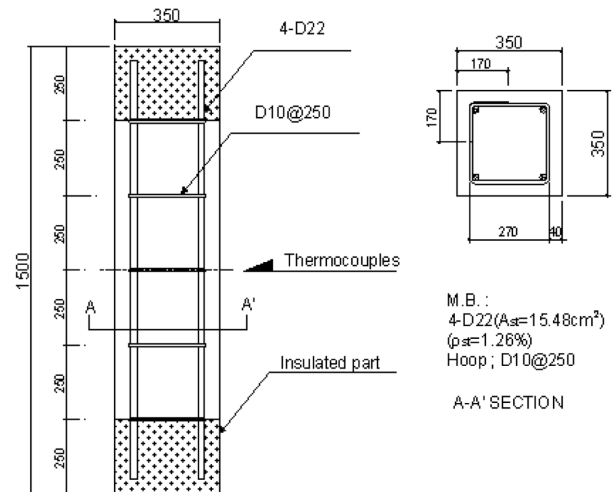


Fig. 2 Elevation and cross sections of C11 column (unit: mm)

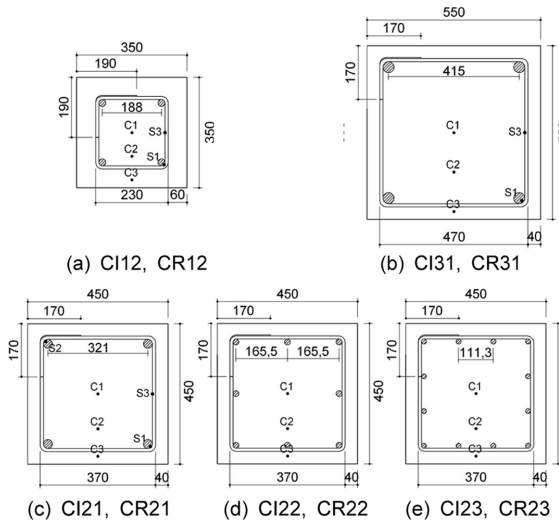


Fig. 3 Cross sections and locations of thermocouples (unit: mm)

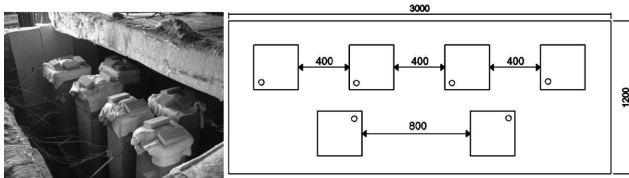


Fig. 4 Fire test set-up of specimens (unit: mm)

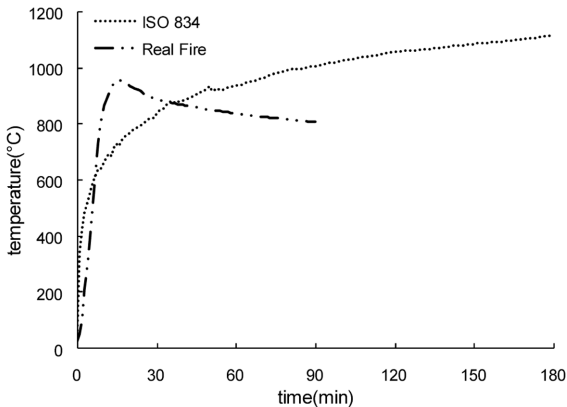


Fig. 5 Time-temperature curves for heating furnace

절되며, 가열로 내부에 배치된 열전대로부터 실시간으로 모니터링 된다. 화재 시뮬레이션을 통해 얻어진 온도-시간 곡선은 실험을 위해 제작된 주거 용도의 단일 구역에 화재를 인위적으로 발생시킨 후, 일정 시간 동안 실내의 온도 변화를 측정하는 것으로 ISO 834 표준화재 곡선에 비하여 초기 온도 상승률이 빠르나, 최대 온도 약 950°C에 도달한 이후에는 불이 줄어들면서 온도가 저감하는 것으로 나타났다. 두 가열 조건의 누적 온도 × 시간 곡선은 Fig. 6과 같이 거의 일치하는 것으로 보아 시간에 따른 에너지 총량이 같음을 알 수 있다. 이 연구에 사용된 시험체들 중 CI 시험체는 ISO 834 표준화재 곡선에 따라 180분 동안 가열하였으며, CR 시험체는 화재 시뮬레이션을 통해 얻어진 온도-시간 곡선에 따라 90분 동

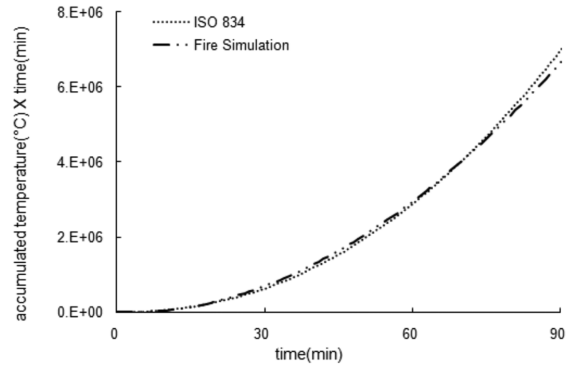


Fig. 6 Accumulated time-temperature curves

안 가열하였다. 가열 실험이 수행되는 동안 콘크리트 기둥 내부의 온도 분포는 시험체 내부에 설치된 열전대를 통해 측정·기록되며, 고강도 콘크리트의 폭발 정도를 수치화 하기위하여 가열 실험 후의 단면 손실을 측정하고, 가열 실험 전·후의 무게 손실률을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 부재 크기에 따른 열적 거동

Fig. 7에서 Fig. 9는 부재 단면 크기가 다른 시험체 CI11, CI21, CI31의 내부 온도 분포를 시간에 따라 나타낸 것이다. 가열을 시작한지 약 10분 후에 피복 부분에서 측정된 온도(C3)가 100°C에 도달하면서 폭발이 일어나 이후 온도가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 기둥 표면에서 100 mm와 175 mm 깊이에 위치한 열전대(C1, C2, C4)의 온도는 90분까지 약 100°C를 유지하다가 그 이후부터 온도 증가 속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 부재 단면 크기가 다른 시험체를 180분 동안 가열한 후 단면 깊이별로 측정된 온도를 나타낸 것이다. 여기서 0 mm 깊이에서의 온도는 가열로의 온도를 나타낸 것이다. 기둥 단면 크기가 커질수록 내부 온도가 전반적으로 증가하는 것으로 나타났으나 피복 부분에서 단면 크기에 따른 영향력이 높게 나타나고, 단면의 중심

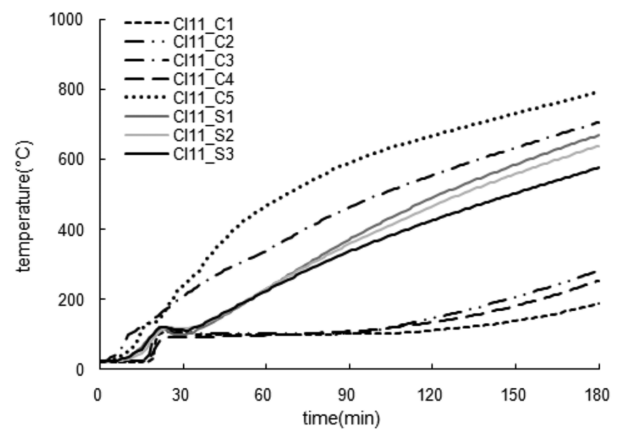


Fig. 7 Temperature distributions of CI11 column

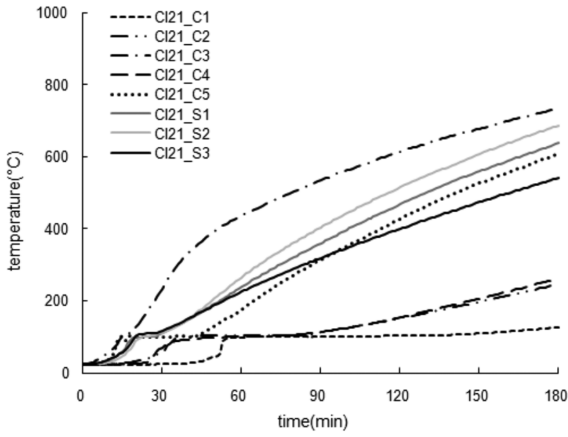


Fig. 8 Temperature distributions of CI21 column

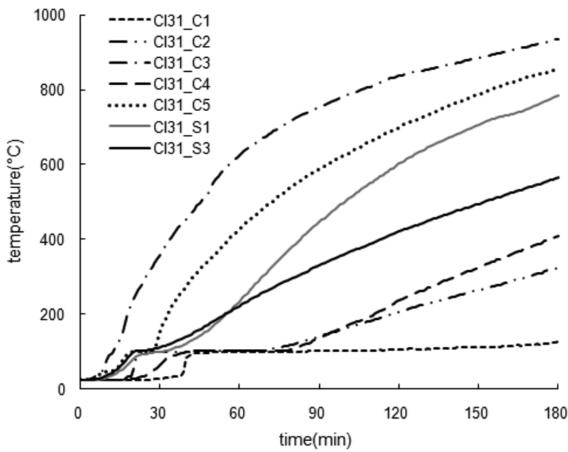


Fig. 9 Temperature distributions of CI31 column

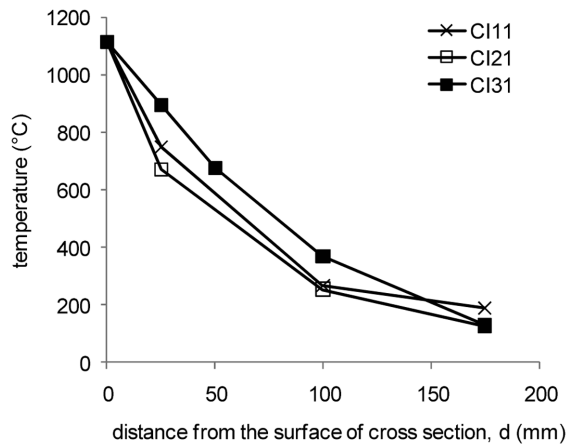


Fig. 10 The effect of cross sectional area on temperature distributions measured at the end of the fire tests

으로 갈수록 단면 크기가 내부 온도 증가에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 기둥 표면에서 25 mm 떨어진 거리에서 측정된 온도 변화를 살펴보면, 단면이 350 × 350 mm에서 450 × 450 mm 증가했을 때, 피복 온도가 약 15% 증가하고, 단면이 450 × 450 mm에서 550 × 550 mm로 증가했을 때의 피복 온도가 약 20% 증가하는

것으로 나타났다. 세 시험체에서 살펴본 바로는, 단면이 10% 증가할 때 마다 피복에서의 온도는 약 3% 정도 증가하는 효과를 나타내었다.

고온에 노출된 고강도 콘크리트에서는 폭렬 현상으로 인한 단면의 감소가 구조 성능의 저감을 야기시키는 결정적인 역할을 하게 된다. 따라서 이 연구에서는 폭렬 현상을 보다 자세히 관찰하기 위하여, 가열 실험 중 고강도 콘크리트 기둥에 발생한 폭렬양을 수치화 하고 각 실험 변수별로 폭렬양을 비교, 분석하였다.

가열 후 시험체의 네 측면에서 50 mm 높이 간격으로 폭렬 깊이를 측정 한 후, 이를 바탕으로 Fig. 11과 같이 잔존 단면을 파악하여 단면 손실률을 계산하였다. 또한 가열 실험 전후 시험체의 무게를 측정하여 무게 손실률을 계산하고 이를 Fig. 12와 같이 나타내었다. 폭렬의 정도를 측정하는 방법에 있어서는 무게 손실률을 측정하는 것이 단면 손실률을 측정하는 것보다 훨씬 용이하고 시간이 단축된다는 장점이 있으나, 무게 손실률에는 폭렬로 인하여 손실된 부분의 무게뿐 아니라, 가열 실험 동안 증발한 수분의 무게와 콘크리트의 화학적 성분 변화로 인한 무게의 변화도 포함되어 있으므로 단순히 폭렬로 인한 무게 손실만을 나타낸다고는 보기 어렵다. 그러나 이 연구 결과에서 보면 실험 변수에 따른 단면 손실

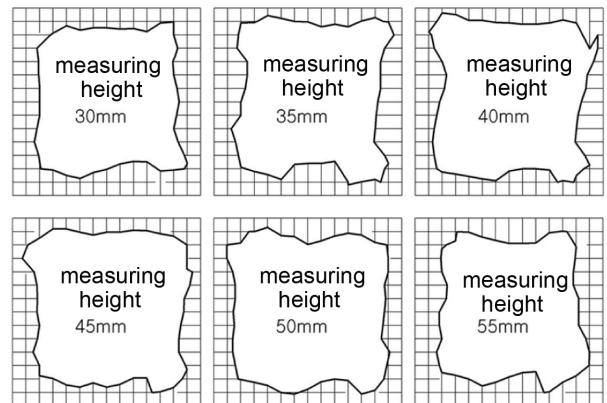


Fig. 11 Calculation of area loss from the spalled specimen

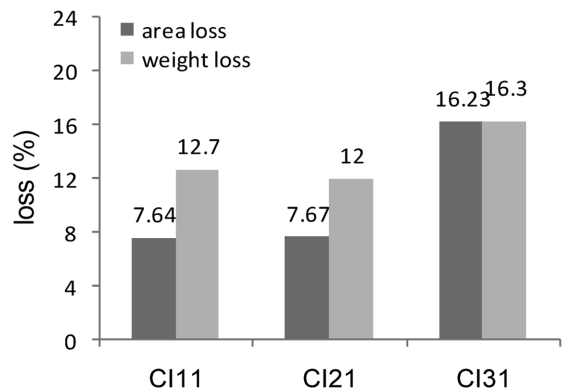


Fig. 12 The effect of cross sectional area on area/weight loss of the tested columns

률과 무게 손실률의 변화가 유사한 경향성을 보여주고 있는 것으로 보아, 다른 시험체에서 폭렬의 정도를 상대적으로 비교할 때에는 무게 손실률을 통해 폭렬의 정도를 추정, 비교하는 것이 가능하다고 사료된다.

Fig. 12에서 시험체 CI11과 CI21은 단면·무게 손실률에 있어서 큰 차이를 보이지 않으나 단면 크기 550×550 mm를 갖는 시험체 CI31의 경우 2배정도 증가한 단면 손실률을 보인다. 따라서 단면이 CI11에서 CI21으로 50%정도 증가했을 때는 폭렬이 크게 증가하지 않으나, CI21에서 CI31으로 65%정도 증가한 경우에는 폭렬이 현저하게 증가함을 알 수 있다.

3.2 피복 두께에 따른 열적 거동

Fig. 13은 단면 크기가 350×350 mm인 콘크리트 기둥에서 피복 두께가 60 mm인 시험체 CI12의 온도 분포를 나타낸 것으로, 피복 두께 60 mm인 시험체는 피복 두께 40 mm인 시험체와 마찬가지로 온도 100°C 부근에서 수분 증발로 인한 온도의 지연 현상을 보이거나 이후의 온도는 급격한 온도 증가 없이 완만하게 증가하여 최대 온도 500°C에 그치는 것을 볼 수 있다. Figs. 7과 13을 비

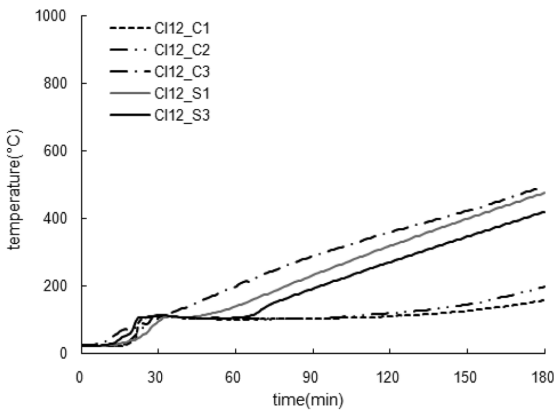


Fig. 13 Temperature distributions of CI12 column

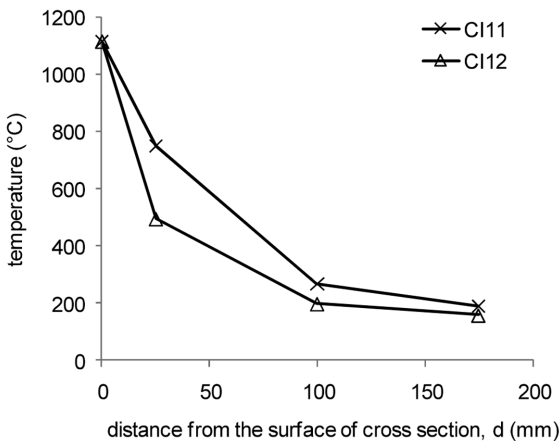


Fig. 14 The effect of cover thickness on temperature distributions measured at the end of the fire tests

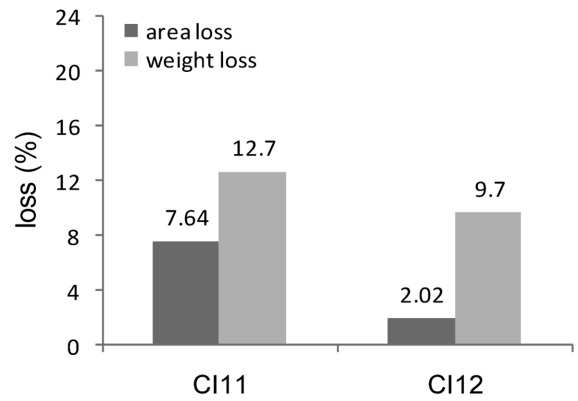


Fig. 15 The effect of cover thickness on area/weight loss of the tested columns

교하여 보면, 피복 두께가 50% 증가했을 때, 주철근의 온도가 100°C 이상 감소한 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 14에서, 단면 크기는 일정하게 유지한 상태에서 피복 두께가 50% 증가한 시험체의 피복 부분 온도는 약 35%까지 감소하는 것으로 나타났다.

피복 두께가 폭렬에 미치는 영향은 Fig. 15의 단면, 무게 손실률을 통해 확인할 수 있다. 피복 두께가 50% 증가했을 때 단면 손실률은 1/3가까이 감소하여, 같은 단면 크기에서 피복 두께만 늘어난 경우라도 폭렬의 정도가 현저히 감소하며 따라서 내부 온도의 증가도 지연되는 것을 알 수 있다.

3.3 철근 배근에 따른 열적 거동

이 장에서는 철근비는 비슷하되 철근의 크기와 간격을 달리하여 배근한 시험체의 열적 거동을 살펴보았다. Figs. 8, 16, 17에서 보이는 바와 같이 시험체 CI21, CI22, CI23의 시간에 따른 온도 증가 곡선은 철근 배근 간격에 관계없이 유사한 경향성을 나타낸다. 그러나 Fig. 18에서 내부 온도를 살펴보면, 철근 배근 간격이 좁을수록 내부 온도는 증가하는 것으로 나타났다. 특히 시험체 CI22와

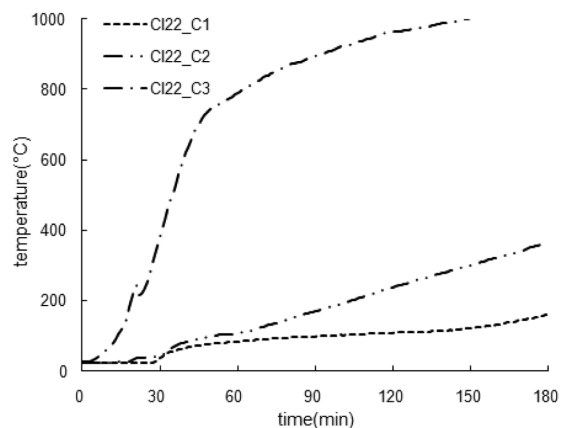


Fig. 16 Temperature distributions of CI22 column

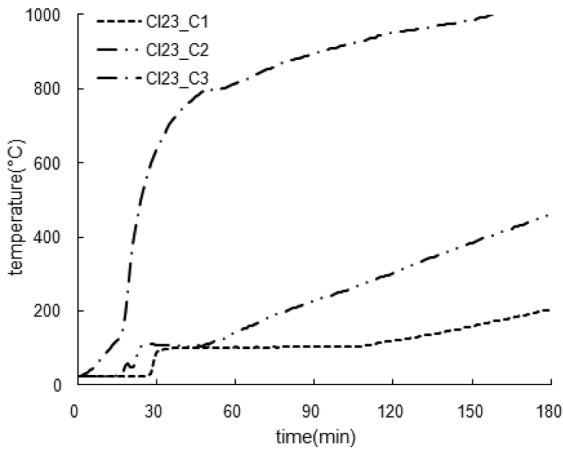


Fig. 17 Temperature distributions of CI23 column

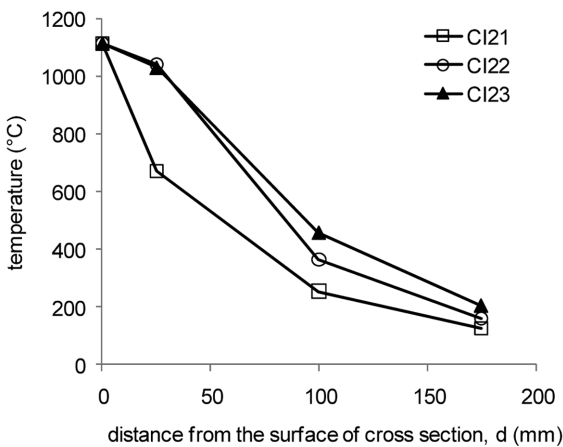


Fig. 18 The effect of rebar arrangement on temperature distributions measured at the end of the fire tests

CI23에서, 피복 부분에서 측정된 온도가 가열로의 온도와 거의 같은 것으로 미루어 볼 때, 폭렬이 극심하게 일어나 피복 부분이 떨어져 나가면서 열전대가 외부에 거의 노출되었음을 알 수 있다.

또한 Fig. 19에서 철근 배근 간격이 좁을수록 단면, 무게 손실률이 증가하는 것을 알 수 있으며, CI21과 CI23을 비교하여 철근 배근 간격이 약 1/3로 감소했을 때 단면 손실률은 약 3배 증가한 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 기 발표된 연구 내용⁷⁾에서 500°C에서는 철근과 콘크리트의 부착 강도가 50%까지 감소한다는 실험 결과를 토대로, 고온에서 철근과 콘크리트 사이의 부착 강도가 감소하면서 폭렬이 발생하기 쉬운 환경이 조성될 수 있으며, 따라서 철근이 많이 배근된 시험체에서는 부착 강도 감소에 따라 주철근 주변으로 폭렬이 더 쉽게 발생할 수 있고, 폭렬의 증가가 내부 온도의 상승으로 이어지는 것으로 유추할 수 있다.

3.4 가열 조건에 따른 열적 거동

이 장에서는 가열 조건을 ISO 834 표준화재 곡선과 달

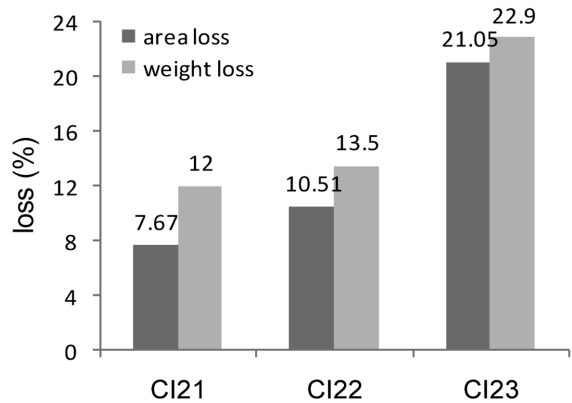


Fig. 19 The effect of rebar arrangement on area/weight loss of the tested columns

리하여 시험체를 가열했을 때 나타나는 열적 거동 및 폭렬 현상을 비교, 분석한 것이다. Figs. 20~24는 화재 시뮬레이션을 통해 얻은 온도-시간 곡선에 따라 가열한 CR 계열 시험체의 시간에 따른 내부 온도 증가 곡선을 나타낸 것이다. 주목할 만한 사항은 가열로 온도는 가열 실험 약 20분 이후부터 감소하기 시작하는 것에 비해 콘크리트 피복 부분의 온도는 가열 실험 45분까지 계속 증가하는 현상을 보이다가 이후에 감소하기 시작한다는 것이다. 단면이 크고 주철근 배근 간격이 좁은 시험체 일

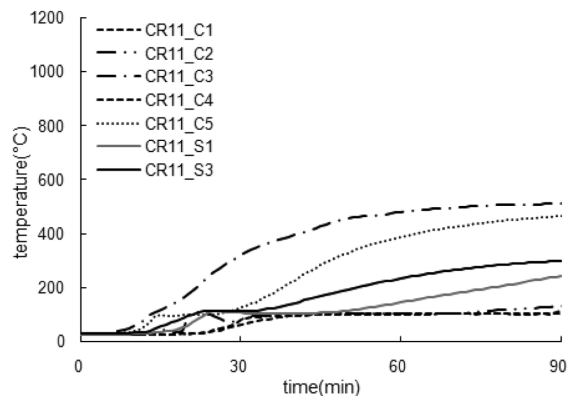


Fig. 20 Temperature distributions of CR11 column

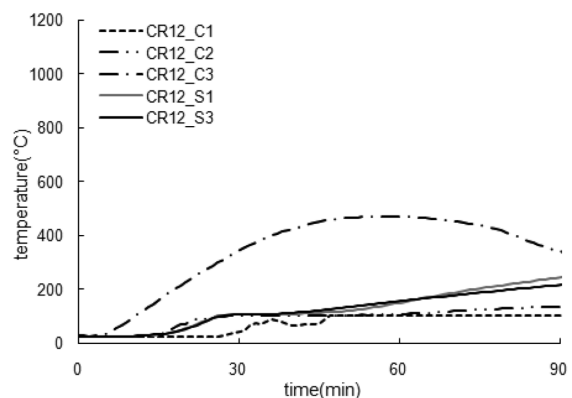


Fig. 21 Temperature distributions of CR12 column

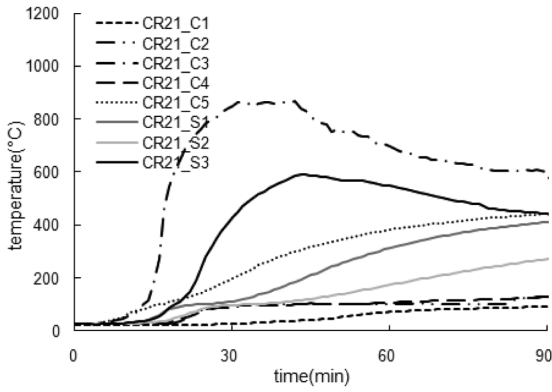


Fig. 22 Temperature distributions of CR21 column

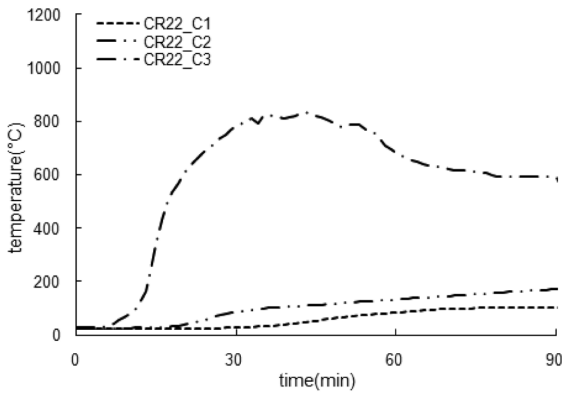


Fig. 23 Temperature distributions of CR22 column

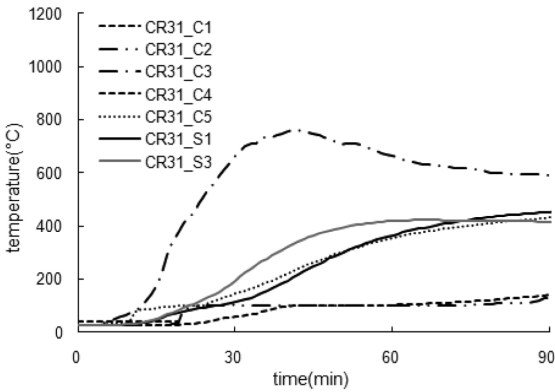


Fig. 24 Temperature distributions of CR31 column

수목 피복 부분에 위치한 C3의 온도 증가 곡선이 가열 온도 곡선과 비슷한 경향을 띄는 것을 알 수 있으며, 이들 시험체에서 폭렬이 많이 발생하여 열전대가 외부에 가까워 졌기 때문인 것으로 유추할 수 있다. 그러나 콘크리트 부재 표면에서 100 mm 이상 떨어진 위치에서 측정된 온도는 ISO 834 표준화재 곡선에 따라 가열한 시험체의 온도 증가 곡선 및 분포와 유사한 것을 알 수 있다.

Figs. 25, 26은 각각 가열 조건에 따라 다르게 나타나는 단면 및 무게 손실률을 비교한 것이다. 전반적으로 화재 시뮬레이션을 통해 얻은 온도-시간 곡선에 따라 가열한 시험체의 단면 및 무게 손실률이 ISO 834 표준화

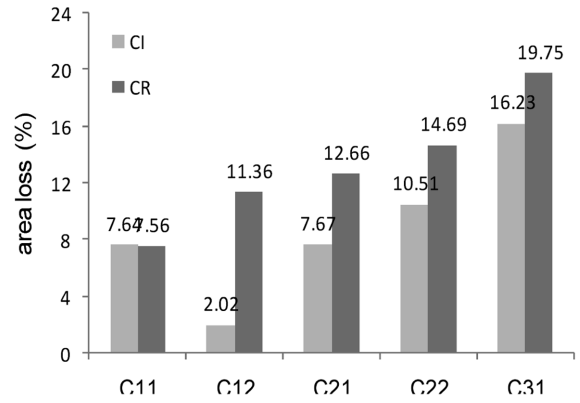


Fig. 25 The effect of fire condition on area loss of the tested columns

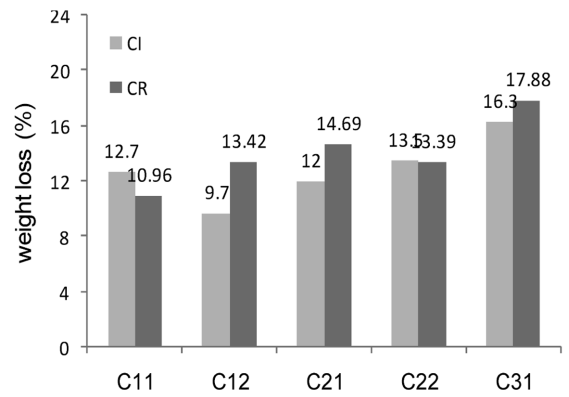


Fig. 26 The effect of fire condition on weight loss of the tested columns

재 곡선에 따라 가열한 경우보다 높게 나타났으나, 그 차이는 단면 손실률에서 보다 확실하게 드러난다. CI11과 CI22와 같이 가열 조건에 따라 폭렬의 정도가 크게 차이나지 않는 시험체도 있으나, ISO 834 표준화재 곡선에 따라 가열한 시험체는 180분 동안 가열되었고, 화재 시뮬레이션을 통해 얻은 온도-시간 곡선에 따라 가열한 시험체는 90분 동안 가열된 후 무게 및 단면 손실률을 측정하여 비교한 점을 고려하면, 화재 시뮬레이션을 통해 얻은 온도-시간 곡선을 따라 가열한 시험체에서 같은 가열 시간 동안 무게, 단면 손실이 훨씬 더 많이 발생한다고 말할 수 있다.

따라서 단면, 무게 손실률 역시 초기 가열 온도 증가 속도와 관련이 있다고 볼 수 있으며, 같은 시간 동안 같은 누적 온도를 받은 구조물이라 할지라도 화재 발생 초기에 가열 온도 증가 속도가 빠를수록 폭렬이 많이 발생하여 그로인한 열적, 구조적인 성능 피해가 증가할 것을 예측할 수 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 다양한 설계 변수를 고려한 고강도 콘크리트 기둥이 고온에 노출되었을 때의 열적 거동과 폭

렬 현상을 실험으로 연구하여 다음과 같이 정리하였다.

기둥 단면 크기가 증가할수록 내부 온도 분포 및 단면 손실률과 무게 손실률이 높게 나타났으며, 단면 크기는 일정하게 유지한 상태에서 피복 두께가 증가할수록 내부 온도 분포와 단면·무게 손실률이 감소되었다. 비슷한 철근비에서 단면이 큰 철근이 적게 배근된 기둥에 비교하여 단면이 작은 철근이 여러개 배치된 기둥에서 내부 온도 분포와 단면·무게 손실률이 높게 나타났다. 가열 조건을 다르게 한 경우에는 초기 가열 온도 증가 속도가 빠른 가열 환경에 노출된 시험체의 내부 온도 분포, 단면과 무게 손실률 역시 높게 나타났다.

이 연구를 통해 알아낸 바와 추후 연구가 필요한 부분은 다음과 같다. 현 내화 성능 관리 기준에 의하면 50 MPa 이상의 고강도 콘크리트는 주철근의 온도를 내화 구조 성능 기준에서 규정한 시간까지 평균 538°C 최고 649°C 이하로 확보하도록 하고 있다. 따라서 이러한 기준을 만족하기 위하여 고강도 콘크리트 구조 부재 설계시 부재 단면의 크기나, 피복 두께, 철근 배근 방식에 대한 고려가 포함되어야 함을 이 연구를 통해 알 수 있다. 또한 내화 성능 관리 기준에서 제시하는 가열 조건인 ISO 834 표준화재 곡선을 따라 가열한 구조 부재가 내화 성능 관리 기준을 만족하였다고 하더라도 실제 화재 발생시 가열 속도에 따라 열적 거동 및 폭렬로 인한 피해 정도가 달라질 수 있으므로 보다 다양한 화재 현상에 대한 구조물의 피해 정도가 연구되어야 함을 알 수 있다. 따라서 이 연구 결과에 따르면, 구조 부재의 단면 크기, 피복 두께, 철근 배근 방식을 고려하여 고강도 콘크리트 구조 부재가 화재에 대해 안전하도록 설계되어야 하며 또한 다양한 화재 현상이 반영된 내화 성능 관리 기준이 정립되어야 한다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부이다(과제번호 : 20100027581).

참고문헌

1. Kodur, V. K. R. and Sultan, M. A., "The Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete," *ASCE Journal of Materials in Civil Eng.*, Vol. 15, No. 2, 2003, pp. 101~107.
2. Cheng, F. P., Kodur, V. K. R., and Wang, T. C., "Stress-Strain Curves for High Strength Concrete at Elevated Temperatures," *Journal of Material in Civil Engineering*, Vol. 16, No. 1, 2004, pp. 84~90.
3. Kalifa, P., Menneteau, F. D., and Quenard, D., "Spalling and Pore Pressure in HPC at High Temperatures," *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, 2000, pp. 1915~1927.
4. 박지은, "다양한 설계변수를 고려한 고온에서의 고강도 콘크리트 기둥의 열적거동에 관한 연구," 석사학위논문, 이화여자대학교, 2011, 18 pp.
5. 김희선, 박지은, 문지영, 신영수, 권영진, "철근비와 콘크리트 강도에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 열적 거동 파악," 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, 22권, 2호, 2010, pp. 257~258
6. 김봉찬, 신이철, 정기창, 김홍, 권영진, "단일화재구역의 실물화재 실험에 대한 FDS 해석," 한국화재소방학회 추계 학술논문 발표회 논문집, 2008, pp. 80~85.
7. Buchanan, A. H., *Structural Design for Fire Safety*, John Wiley & Sons, 2001, pp. 250, 254.

요약 화재에 취약한 고강도 콘크리트 구조물의 화재 피해를 보다 정확하게 예측하기 위해서는 다양한 구조물의 설계 조건과 가열 조건 하에서 열적 특성을 고려하는 연구가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 단면 크기, 피복 두께, 철근 배근을 다르게 한 고강도 콘크리트 기둥을 제작하여 다른 가열 조건하에서 가열하였을 때 발생하는 내부 온도 분포와 폭렬을 관찰하였다. 내부 온도 분포는 콘크리트 타설 전 설치한 열전대를 통해서 측정하였으며 가열 전후에 측정된 콘크리트 기둥 실험체의 무게 손실률과 단면 손실률을 통해서 폭렬을 수치화 하였다. 가열 실험은 비재하 상태에서 ISO 834 화재 곡선을 따라 가열하는 실험과 화재 시뮬레이션을 통해 측정된 온도-시간 곡선을 따라 가열하는 실험의 두 가지로 나누어 수행하였다. 고강도 콘크리트 기둥은 일반적으로 고온에서 폭렬이 발생하여 내부 온도의 급격한 증가와 단면 손실을 나타내었으며, 설계 변수에 따라서는 단면이 클수록, 피복 두께가 작을수록 내부 온도 분포와 단면 손실률이 높게 나타났다. 또한 철근비가 동일한 상태에서 철근 배근을 다르게 하였을 때, 단면이 작은 철근을 여러개 배치하는 것이 단면이 큰 철근을 적게 배치하는 것 보다 높은 온도 분포와 단면 손실을 보였다. 이 연구를 통하여 화재로 인한 고강도 콘크리트 구조물의 열적 변화를 정확하게 파악함으로써, 내화 안전성을 평가하고 현재 적용되고 있는 내화 성능 관리 기준을 보다 효율적이고 안전하게 정립할 수 있도록 하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

핵심용어 : 고강도 콘크리트, 화재, 고온, 열적 거동, 폭렬