



설기술연구위원장이 내화성능을 확인하여 인정한 구조를 내화구조로 하고, 성능기준으로써 동 고시 제3조에서 건축물의 벽·기둥·보·바닥 또는 지붕 등 일정 부위에서 건축물의 용도별 층수 및 높이의 규모에 따라 화재 가열 시험에 내화구조의 성능기준에 규정된 시간 이상을 견딜 수 있는 구조를 내화구조로 규정하고 있다.

이러한 국내의 내화구조 성능기준은 최근 미국 UBC (Uniform Building Code)의 규정을 수정 및 보완하여 개정되어 나열적 개념에서 일부 성능적 개념이 도입된 것이다. 그러나 이러한 국내의 내화규정은 IBC(International Building Code)와 일본과 같은 신재료, 신공법 등에 대한 성능적 측면의 내화구조 규정 및 그에 대한 대책의 마련이 미흡한 실정임으로 신기술 신공법 등이 적용 가능한 내화성능을 설정하고 내화성능에 부합하는 신재료 및 신공법의 지속적인 개발과 적용이 가능한 성능적 내화기준의 개발이 필요한 상태이다.

이와 더불어, 국내의 경우 고강도콘크리트의 폭발의 위험성으로 인하여 2008년 5월 고강도콘크리트 내화성능 관리기준 마련을 위한 개정(안)이 공고되었으며, 이는 설계기준강도 50MPa 이상을 기준으로 고강도콘크리트의 성능시험을 실시하도록 규정하고 있다.

그러나 이러한 내화기준은 패시브시스템 만에 대한 지방규정으로서의 의미는 있으나 건축물의 화재위험도 및 스프링클러 설치와 같은 액티브시스템 등을 고려되지 않고 있으므로, 향후 콘크리트의 내화성능평가시 내화 및 방화의 총량적 개념 도입이 필요하며,

이에 의한 총량적 개념의 내화설계에 대해서는 유연성과 탄력성을 주어 방화 및 내화의 목적을 달성할 수 있도록 하면서 고강도콘크리트의 활용이 증대될 수 있도록, 선진외국과 같은 성능적 구조내화설계 마련을 위한 대책 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본고에서는 구조내화분야에 대한 선진 각국의 성능설계의 동향 및 그 운영 체계에 대한 분석하였으며, 그에 따른 국내의 구조내화분야에 대한 성능설계를 위한 향후 대책에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 국외의 화재안전을 위한 성능적 내화설계의 동향

일반적으로 성능설계의 목적은 기존의 시방적인 기준으로는 화재안전성을 확보할 수 없는 특수한 건축물에 대하여 공학적인 접근을 통하여 화재에 대한 인명 및 구조적 안전성을 확보하는 것에 있으며, 이러한 성능설계는 <표 1>에 나타난 바와 같이 1985년 영국을 시작으로 미국, 호주, 일본 등 각 국가에서 자국 건축물의 실정에 맞게 성능적인 설계를 도입 및 적용하고 있다.

또한, 유럽의 성능 지향적 건축기준을 보면 <그림 2>와 같이 건축물의 기능적 요구조건과 요구수준, 검토방법, 그리고 공학적인 방법 등을 성능설계에 핵심을 두어 체계적으로 운용하고 있으며, 이러한 성능설계의 목적은 건축물의 화재안전성을 확보하기 위함으로서 이는 <표 2>에 나타난 바와 같이 화재의 양상을 고려하여 단계별 화재감지, 피난 및 화재진압, 내화성능의 확보에 의

표 1. 각국의 성능설계기준의 역사

년도	개최지	영국	스웨덴	호주	뉴질랜드	미국	일본	캐나다	국제
1985		●							
1986		● Building Regulation				○			
1987						○ 국가 위험평가 프로젝트			
1988				건축기준 위원회					● CPD(EU)
1989				○					
1990								○ ISO/TC92 /SC4 Fire Safety Engineering 창립	
1991						○ FSD in 21st Century			
1992									
1993		DD240	BBR94	FCRC설립					
1994		●	●	○					
1995			●	●	●	○ NFPA 기준개정 계획		○ 성능기준 도입계획	
1996	오타와 (캐나다)		계산법	pb-BCA Fire Eng. Guidelines	NZBC				
1997	마우이 (미국)								
1998									
1999									
2000	룬도					● IBC/FC 2000	● BLI 2000		● ISO/TR 13387 Fire Performance Concepts
2001									
2002	멜버른 (호주)								
2003						● Life Safety Code 2003			
2004	룩셈부르크						● FSL 2004		
2005								○ OBC 개정	
2006									

○: 성능설계도입, ●: 성능설계적용

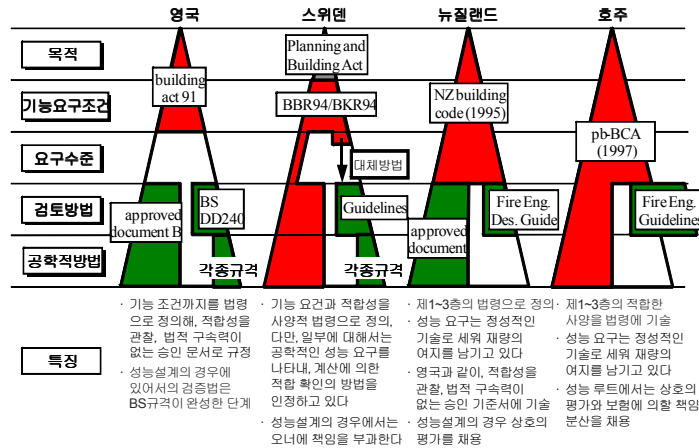


그림 2. 각국의 성능 지향적 건축기준(유형)

표 2. 화재양상에 관련한 화재안전대책의 정의

구분	화재의 진행에 따른 화재안전대책						
화재의 진행							
위험 사항	감지	초기대응			성기화재		감쇠
유연연소의 진행		착화물의 연소확대 플래시오버 연기의 층만			화재온도의 급격한 상승, 연기와 유독가스의 발생, 인접공간간의 연소확대, 구조체의 붕괴		구조물의 붕괴 낙하물
요건	화재감지와 통보	초기확대억제	건물관리자에 의한 재관자의 피난유도	소방대에 의한 피난대상자의 검색과 화재진압	소방대에 의한 화재확대방지와 피난대상자 색출	구조안정성과 구획의 지지	화세진입과피난 대상자의 구조, 구급
주요 대책	화재감지설비	소방설비	내장재료와 수납물의 불연성				
			피난경로	소방활동경로			
			유도설비	소방대용설비			
			출화실 주변의 연기제어		건물전체의 연기억제	방화구획	
대응 성능	화재감지 성능	초기화대 억제성능	피난안전 성능	소방활동 지원성능	소방활동 지원성능	내화구조	
						방화구획설계	
						구조내화설계	
						구획부재성능	

한 화재확대방지, 최종의 화재진압을 목적으로 각 단계별 화재실협에 의한 공학적인 기초 데이터를 바탕으로 화재안전성을 확보하고자 지속적으로 연구하고 있다. 더욱이 최근 방화공학 분야의 발전과 더불어, 컴퓨터 시뮬레이션 및 수치해석 등을 활용하여 화재 안전성에 대해 접근하고 있으며, 이를 평가하는 방안에 대한 규정화를 위해 다각적인 연구가 활발히 이루어지고 있다.

### 3. 콘크리트 건축구조물의 구조내화성능설계

#### 3.1 내화성능을 위한 성능설계의 기본개념

콘크리트구조물에 대해 일반화 되어진 구조내화성능설계 시나리오를 살펴보면 다음 같이 개략하게 소개할 수 있다. 기본적으로 ISO 화재를 외력으로 하고 부재온도분포를 매개로 상온시의 내력, 변형 도출과 같은 수법으로 내력식과 한계 변형식을 도출한 것이다. 운용방법으로써 우선 상온에서 설계된 건축물에 대해 화재가 발생한 실-구획을 설정한다. 그 실-구획에서 어떠한 화재가 발생하는가를 계산하며, 그 화재는 등가의 손상을 미치는 ISO 화재로 변환할 수 있는 것으로 한다. 한편, 화재가 발생한 실-구획에 있는 구조부재 및 가구가 ISO 화재에 노출되었을 때 어느 정도 견딜 수 있는가 내화시간을 산정하며 내화설계는 다음과 같은 순서에 따라 설계를 진행한다.

- (1) 내화성능의 목표수준을 설정한다.
- (2) 방화구획을 설정한다.
- (3) 성상예측에 관계하는 외력, 안전계수 및 설계용 정수를 설정한다.
- (4) 방화구획을 지지-구성하는 부재의 설계안을 작성하며 목표수준에 대응하는 내화성능의 평가기준을 설정한다.
- (5) 이하의 성상예측을 계산한다.
  - 가) 구획내의 화재온도-시간관계
  - 나) 상기의 설계화재 성상에 있어서 부재온도-시간관계
  - 다) 상기의 온도-시간관계에 있어서 부재의 변형 및 내력
- (6) 계산에 의한 예측이 곤란한 경우 표준시험법에 의한 성상예측을 실시한다.
- (7) 성상예측 결과가 내화성능의 평가기준을 만족하는가를 확인한다.
- (8) (3)~(7)의 수순으로 방화구획을 반복하여 계산한다.

이상을 고려하여 내화설계의 시나리오를 진행하며, 여기서는 고온 시 구조재료의 역학적 성질에 대한 정식화가 특히 중요하다. 이러한 고온 시 재료의 역학적 성질의 정식화로는 유로코드를 일반적으로 이용하고 있으며, 이러한 내화설계에 따른 주요구조부재의 요구 성능은 <표 3>에 나타난 바와 같다.

표 3. 화재시 주요 구조부재의 요구 성능

소요성능	주요구조부						
	외벽	간막이벽	기둥	보	바닥	계단	지붕
실내 화재	비손상성	●	●	○	○	○	○
	차열성	○					○
실외 화재	비손상	●					
	차열성	○	○			○	

- 내력벽인 경우 필요
- (1) 비손상성(非損傷性) : 구조 내력상 지장이 있는 손상을 일으키지 않는 것.
- (2) 차열성 : 가열면 이외의 면 온도가 가연물의 연소를 일으킬 우려가 있는 온도가상으로 상승하지 않는 것
- (3) 차열성 : 건축구조의 구획부재의 한쪽 면을 가열했을 경우 화염이나 열기가 그 부재를 관통하거나 또는 이면에 발연(發煙)이 생기지 않는 것

#### 3.2 일본의 내화성능설계 및 검증 방법

일본의 경우 2000년 건축기준법을 개정하여 내화구조에 대한 성능규정을 도입하였으며, <그림 3>에 나타난 바와 같이 내화성능 규정은 정해진 루트에 의해 간단하게 내화성능을 검증할 수 있다. 이러한 그 내화성능에는 과거의 사양 규정에 의하여 설계된 경우를 평가법 A, 내화성능 검증법에 의해 설계된 경우를 평가법 B 및 C로 체계화 하였다. 이러한 내화성능 검증법에서 루트B는 법적 규정에 의한 틀에 의하여 수치적 계산에 의해 내화성능의 안전성 여부를 검증하는 것으로써, 주요 구조부재의 내화성능 검증 방법은 <그림 4>의 수순에 따라 내화성능의 검증이 이루어지고 있다. 이는 먼저 검증대상의 부분을 추출하여 실내의 가연물 발열량 및 인접실의 발열량 등을 통해 화재지속시간을 산정한 후, 구조물이 견딜 수 있는 보유내화시간과 비교하여 내화성능의 검증이 이루어진다.

이러한 수치적 계산에 의한 루트B의 검증법은 설계자의 능력에 따라 다른 경향이 나타나는 것을 방지하기 위해 구체적으로 계산하는 순서 및 단계별 계산식을 규정하고 있다. 이는 후후에 발생할 수 있는 문제를 사전에 예방하고자 하는 것이며, 이러한 단계별 계산식은 <그림 5>에 나타난 바와 같다. 또한, 화재지속시간 및 화재온도상승계수의 산정을 위한 기초로써 건축물의 용도별 가연물 조사를 통하여 바닥면적당 발열량의 기준도 규정으로써 마련하고 있다.

고강도콘크리트의 경우 루트C에 의하여 내화설계가 이루어지며, 여기서는 설계기준강도가 60 MPa 이상으로 규정되어있다. 주된 이유는 고강도콘크리트 부재의 경우 단면손실을 유발하는 폭렬의 가능성이 높고, 탄성계수가 크며, 초기의 고온에 의한 온도변화로 열응력이 커지기 쉽고, 내부에서 증발한 수분으로 인해 공극 내의 수증기압을 형성하여 단면결손을 유발하는 폭렬의 가능성이 크고, 더불어 60 MPa를 초과하는 고강도콘크리트를 적용하는 기회가 증가하고 있기 때문이다. 이 경우 평가법 A 및 B에 의한 내화성능 검증법을 적용할 수 없으므로 실험을 통한 내

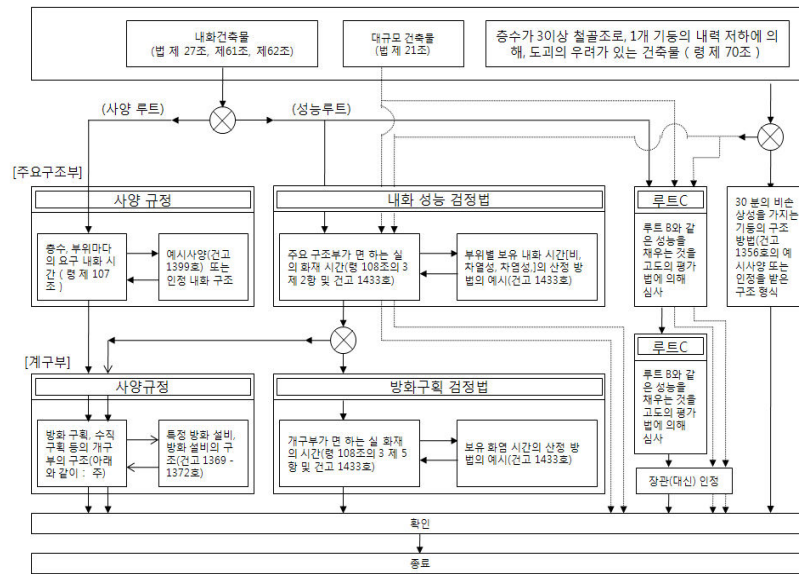


그림 3. 일본의 적합 루트(법 제21조, 제27조, 제61조, 제62조, 정령 제70조 관련)

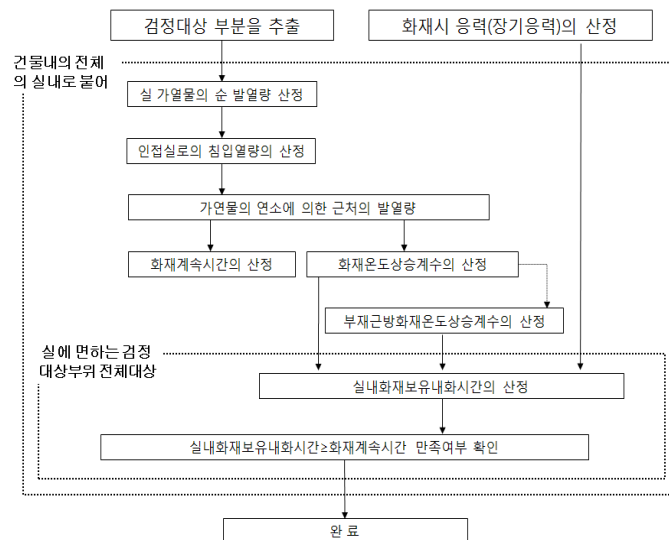


그림 4. 루트 B - 실내화재에 대한 주요구조부재의 검정 방법

화성능의 검증이 필요하다. 이러한 고강도콘크리트 부재의 경우 재하 및 비재하에 의한 평가방법을 도입하여 적용하고 있다.

### 3.3 국내 내화성능설계를 위한 주거시설의 가연물 특성을 고려한 화재성상에 관한 실험

화재가 발생할 수 있는 공간에서 가연물의 양과 내용에 따른 화재하중은 인명안전 및 구조적 내화도를 결정하는 매우 중요한 자료이며, 가연물의 특성을 고려한 화재성상에 관한 연구는 그

의미가 매우 중요하다. 이러한 연구는 <표 4>에 나타난 바와 같이 구조내화설계를 위한 기본적 수행과정에서 방화구획의 설정과 화재성상예측에 관한 과정에 해당되는 것으로, 국외의 경우 실험 및 가연물 조사를 통하여 건축물의 용도별 화재하중을 규정하고 있는 것에 반하여 국내의 경우 이러한 연구가 있음에도 불구하고 명확하게 규정되어 있지 않은 실정이다.

여기서 화재하중은 공간 내 가연물의 총량이며 이것을 구획된 바닥 면적으로 나눈 값을 화재하중분포라고 한다. 본고에서 일반적으로 구조부재와 창호, 실내 마감재 등은 설계 시 그 양과 종류

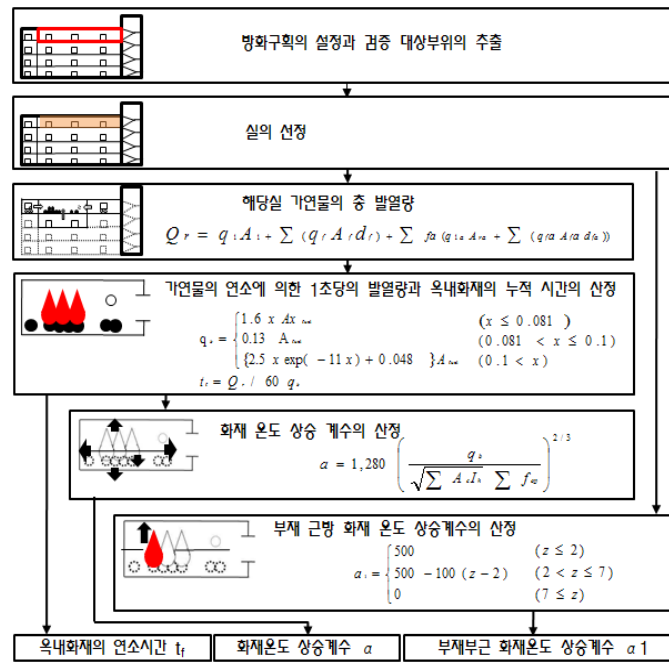


그림 5. 화재지속시간, 화재온도상승계수, 부재부근 화재온도상승계수의 산정방법

표 4. 구조내화설계를 위한 기본적 수행과정

내용 및 유의점	
1) 방화 구획 설정	<p>건축설계시 방화구획을 적절히 설정하여, 화재의 범위를 한정한다.                      구조내화의 관점에서는, 하기에 유의한다.                      층 붕괴의 방지 : 1개의 층을 복수로 분할                      과도한 열변형의 방지 : 구획실은 가급적 작게 한다.</p> 
2) 화재 성장 예측	<p>설정된 방화구획(실)에 발생하는 화재성장을 상정한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국소화재 엔트런스 홀 등의 가연물이 극히 적은 공간에는, 국소화재가 되는 일이 많다.</li> <li>- 이동화재 주차장에 있어서, 가연물이 비연속적 존재하는 공간에는 가연물이 순차적으로 연소하므로 조건에 의한 플래시오버에 이르지 않음.</li> <li>- 전체화재 일반적인 실에는, 플래시오버 화재를 상정함.</li> </ul>
	<p>국소화재</p> 
	<p>이동화재</p> 
3) 구획 성능 체크	<p>상정된 화재에 대하여, 방화구획의 경계를 넘어 연속하지 않을 것을 확인                      차열성 : 구획부재 (벽, 바닥)                      차염성 : 방화설비 (개구부)</p> 
4) 가구 안전 성능 체크	<p>상정된 화재에 대하여, 기둥, 보 등의 구조 프레임이 붕괴하지 않은 것을 확인</p> 

를 파악할 수 있기 때문에 건물 완공 후 거주자가 반입한 물품 즉 이동 하중에 대한 분포를 조사하여 실증적으로 평가할 필요가 있다. 따라서 국내 주거시설의 화재성상을 분석하고자 <그림 6>에 나타난 바와 같이 가연물을 배치하여 실물실험화재실험 등으로 연구되고 있으며, 그 결과 각 시간대별 화재성상의 변화 및 화염 온도분포는 <그림 7>에 나타난 바와 같으며, 30분 전후에 약 1,000℃에 육박하는 온도분포를 나타내었고, 이러한 결과는 기존 자료와의 비교검토한 결과, ISO 시험곡선과 유사한 성상을 나타내는 것이 확인된 사례이다.

### 3.4 구조내화설계 사례

대한건축학회의 고강도콘크리트 구조내화설계 지침서(안)에 따라 내화층을 형성하여 폭발제어 및 수열온도를 저감하는 대책에 관한 설계사례를 검토한 일례로서, 대상부재는 <그림 8>과 같이 폭 500×500mm, 높이 3.6m의 고강도콘크리트 기둥을 대상으로 검토하였다. 단, 초기폭렬에 의한 강도저하 특성을 고려하지 않았으며, 검토조건은 다음과 같다.

·설계 기준 : 상온에서의 부재내력 검토(ACI 318-05)

화재규모에 대한 부재내력 검토(본 지침 적용)



그림 6. 실물화재실험의 계획 및 시간대별 화재성상의 변화

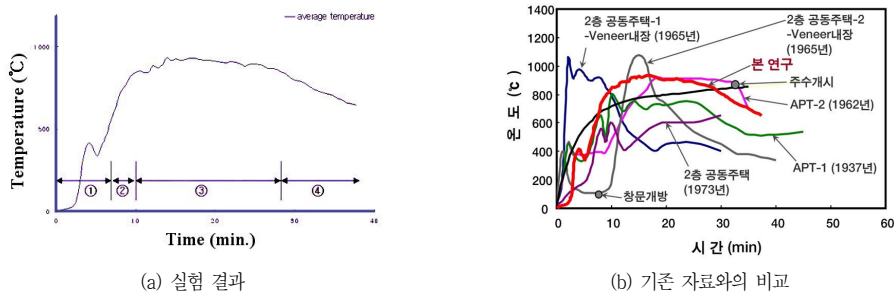


그림 7. 각 시간대별 온도분포

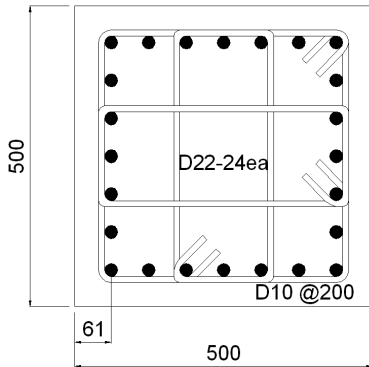


그림 8. 대상 기둥의 단면 상세

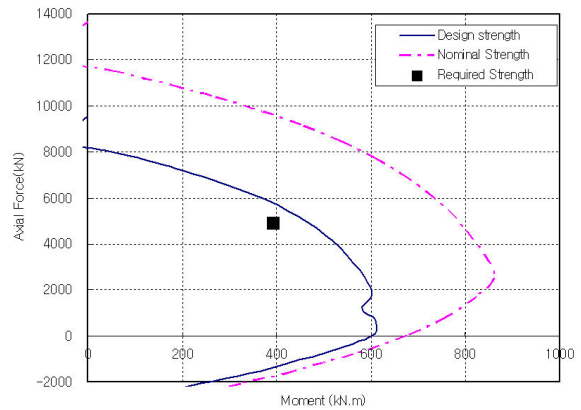


그림 9. 상온에서의 P-M 상관관계

- 부재 조건 : 단면=500×500 mm, 높이=3.6 m
- 재료 조건 : 콘크리트  $f_{ck}=50$  MPa  
 주근  $f_y=400$  MPa(D22-24ea), 전단보강근  $f_y=400$  MPa(D10@200)
- 하중 조건 : 고정하중에 의한 축력 ( $P_D$ )=000 kN  
 활하중에 의한 축력 ( $P_L$ )=820 kN  
 고정하중에 의한 모멘트 ( $M_D$ )=200 kN·m  
 활하중에 의한 모멘트 ( $M_L$ )=100 kN·m
- 화재 조건 : ISO 834 가열곡선 (3시간)

3.4.1 설계 개요

설계순서는 먼저 상온에서의 소요강도에 대한 설계의 적절성을 검토한 후, 상정한 화재규모에 대한 열전달해석을 수행하여 이를 근거로 내화시간 별 부재내력을 검토하며, 내력검토 결과 필요시 내화대책을 수립하게 된다. 본 설계에서는 내화모르타르를 이용하여 내화층을 형성하는 방법을 적용하였으며 설계과정을 살펴 보면 다음과 같다.

3.4.2 화재가 발생하지 않은 상태(상온)에서의 부재내력 검토

(1) 상온에서의 소요강도 계산

소요축하중

$$1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 3000 + 1.6 \times 820 = 4912 \text{ kN}$$

소요모멘트

$$1.2M_D + 1.6M_L = 1.2 \times 200 + 1.6 \times 100 = 400 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 설계강도 계산 및 상온에서 설계의 적절성 검토

소요강도 및 기둥 단면 조건에 대한 P-M 상관도를 <그림 9>에 나타내었다. 그림으로부터 소요 축하중 및 소요모멘트에 대한 설계강도를 비교해 보면 설계가 적절하게 이루어졌음을 알 수 있다.

3.4.3 설정된 화재규모에 대한 열전달해석

콘크리트의 열적 특성값을 이용하여 단면에 대한 열전달해석을 수행하였다. 열전달해석에서는 정상상태 및 비정상상태의 해석 방법이 모두 적용될 수 있으며, 본 설계 예에서는 범용 CFD프로그램인 STAR-CD를 이용하여 비정상 열전달해석을 수행하고 수열온도를 이용하여 내화성능을 검토하도록 하였다. 입력하는 콘크리트의 열적 특성치는 다음과 같다.

(1) 고강도콘크리트의 열전도율(W/m°C)

$$\lambda_c = 2 - 0.245(\theta_c/100) + 0.0107(\theta_c/100)^2 \quad (1)$$

(2) 고강도콘크리트의 비열(J/kg°C)

$$c_{c,\theta} = \begin{cases} 900 & 20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 100^\circ\text{C} \\ 900 + (\theta - 100) & 100^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 200^\circ\text{C} \\ 1000 + (\theta - 200)/2 & 200^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 400^\circ\text{C} \\ 1100 & 400^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2)$$

115°C에서의 비열  $c_c^* = 2020$ (고강도콘크리트의 함수율은 3% 가정)

해석 결과는 <그림 10>과 같다.

3.4.4 수열온도를 고려한 구조물의 안전성을 검토한다.

(1) 500°C 등온선을 기준으로 콘크리트 단면 검토

ISO834 3시간에서의 500°C 등온선에 대한 깊이  $c_f \approx 60$  mm 이므로

$$b_f = b - 2c_f = 500 - 2 \times 60 = 380 \text{ mm}$$

이므로 단면은 380×380mm로 가정하고, 500°C 이상의 콘크리트 강도  $f_{ck} = 0$ , 나머지는  $f_{ck}$ 를 갖는 것으로 가정한다.



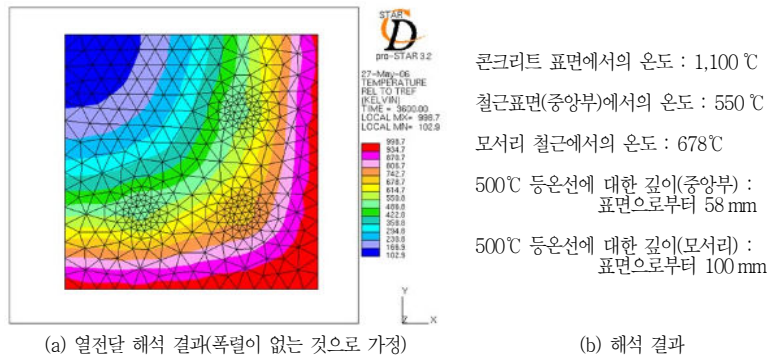


그림 10. 고강도콘크리트 기둥의 열전달 해석 결과(ISO834, 3hr, STAR-CD이용)

(2) 철근의 강도 저하 고려

단부 4-D22의 온도 678°C( $f_{y1}$ )

나머지 2-D22의 온도 550°C( $f_{y2}$ )

$$f_{y1} = 400(750 - 678)/470 = 61 \text{ MPa}$$

$$f_{y2} = 400(750 - 550)/470 = 170 \text{ MPa}$$

(3) 화재규모를 고려한 단면검토를 행한다.

화재시 소요축하중 계산

$$P_D + 0.4P_L = 3000 + 0.4 \times 820 = 3328 \text{ kN}$$

화재시 소요모멘트 계산

$$M_D + 0.4M_L = 200 + 0.4 \times 100 = 240 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

화재 규모를 고려한 각 하중 조건에서의 P-M 상관도는 <그림 11>과 같으며, 소요 축하중 및 소요 모멘트를 공칭강도와 비교해 보면 화재시 설계강도를 소요강도가 초과하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 내화층을 형성하여 온도를 제어하고 이를 검토하였다.

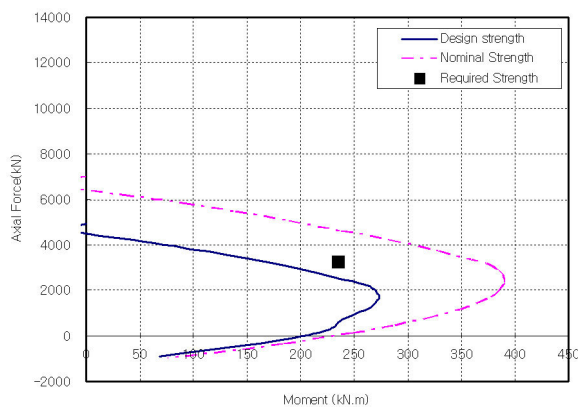


그림 11. 화재규모를 상정한 고온에서의 P-M상관관계

3.4.5 내화모르타르를 고려한 열전달해석을 수행한다.

콘크리트의 열적 특성치를 이용하여 단면에 대한 열전달해석을 수행한다. 여기서는 내화모르타르의 하나인 ECC(thk=40 mm)를 이용하였으며, 열적특성은 <표 5>와 같다(본 설계 예에서 내화층을 형성하는 기타 재료를 이용하는 경우는 각 재료에 대한 열적 특성값을 이용하여야 하며, 만약 내화층을 형성하는 재료의 열적 특성치가 명확하게 규정되어 있지 않은 경우에는 내화시험을 통해 이를 검증해야 한다).

전술한 STAR-CD를 이용하여 비정상 열전달해석을 수행한 결과는 <그림 12>와 같다.

3.4.6 검토 결과 및 내화설계

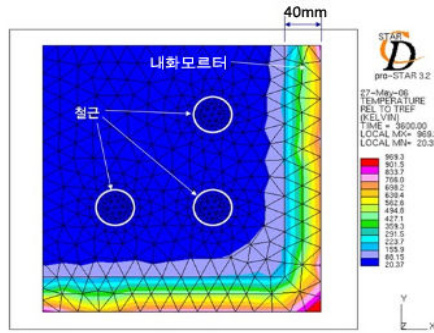
해석 결과 콘크리트 표면에서의 온도는 250 °C로써 콘크리트 전체단면이 500 °C 이하이므로 설계기준강도  $f_{ck}$ 를 만족하며, 철근의 온도도 20.5 °C로  $f_y$ 를 만족하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 내화설계조건을 만족하며, 최종 설계단면은 <그림 13>과 같다.

5. 맺음말

본 고에서는 국내의 내화성능 규정 및 콘크리트구조물의 내화 성능설계 사례를 통해 고강도콘크리트구조물의 성능적 구조내화 설계의 필요성과 국내 향후 대책에 대하여 고찰하였다. 그 결과, 선진외국에서는 화재성상을 고려한 성능위주의 내화설계를 적용하고 있으며, 구조내화설계시 목표 내화성능을 설정한 후, 이에 대한 열해석과 응력해석을 토대로 사용재료, 부재치수 및 강도, 마감재료 등을 결정하고, 더욱이 고강도콘크리트를 사용한 경우에는 이와 더불어 폭발성상을 추가적으로 고려하여 대책을 수립

표 5. 내화모르타르의 열적 특성 값

밀도(kg/m <sup>3</sup> )	열전도율(W/m°C)	비열(J/g°C)
1,800	0.463	1.49



(a) 열전달 해석 결과(폭렬이 없는 것으로 가정)

(b) 해석 결과

그림 12. 고강도콘크리트 기둥의 열전달 해석 결과(ISO 834(3hr), STAR-CD 이용)

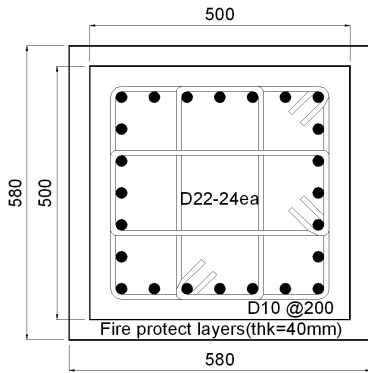


그림 13. 검토 결과 고강도콘크리트 기둥의 단면(내화층 40 mm를 형성)

함을 알 수 있다.

국내의 경우 상술한 성능위주 구조내화설계를 도입하기 위해서는 건축물 용도별 화재하중, 가연물 종류양의 조사 및 이에 따른 구조적 내화도, 화재성상 예측기술 등 성능설계를 위한 기초 자료 확보 및 이에 대한 연구가 선결되어야 할 것으로 사료된다. 한편, 성능을 고려한 구조내화설계를 위해서는 국내 실정에 적합한 재료·공법의 열적특성치에 대한 자료구축과 각 단계별 화재 시험을 통한 공학적 기초데이터를 바탕으로 화재안전성을 확보하기 위한 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 권영진, “내화재료 및 구조로서 콘크리트의 한계성능과 초고층 주거시설의 화재안전성,” 콘크리트학회지, 17권, 5호, 2005, pp. 8~13.
2. 권영진, “내화재료 및 구조로서 콘크리트의 한계성능과 초고층주거시대를 맞이하여,” 한국화재소방학회 하계세미나발표자료, 2005. 8.

콘크리트 표면에서의 온도 : 250 ℃  
 철근표면(중앙부)에서의 온도 : 20.5 ℃  
 모서리 철근에서의 온도 : 20.5 ℃  
 500 ℃ 등온선에 대한 깊이(중앙부) :  
 표면으로부터 0 mm  
 500 ℃ 등온선에 대한 깊이(모서리) :  
 표면으로부터 0 mm

3. 권영진, 장재봉, 나철청, 김무한, “고성능 콘크리트의 폭렬 현상,” 콘크리트학회지, 17권, 3호, 2005, pp. 19~44.
4. 최은규, 신영수 이차돈, “고성능콘크리트의 폭렬현상과 구조적 성능,” 콘크리트학회지, 17권, 3호, 2005, pp. 26~32.
5. 권영진, “국내 초고층 주거시설의 화재안전상의 과제,” 한국초고층 건축포럼, 2007.4.10.
6. 권영진, 조명래, 이승일, “초고층(주상복합)아파트, 시대적 대안인가 재앙인가? 그 쟁점과 과제,” 경실련 도시개혁센터의 창립 10주년 토론회, 2007.9.19, pp. 5~62.
7. Young-Jin Kwon, Byung-Chan Han, Jae-Hwan Kim, Sun-Gyu Park, and Jae-Young Lee, “Structural Behaviors of Reinforced Concrete Frames Exposed to Fire,” *3rd International Symposium Tokyo University of Science*, 2008.3.10, pp. 89~100.
8. 이재영, 김재환, 한병찬, 이상수, 권영진, “화재온도를 받는 고강도콘크리트 내화층의 폭렬에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회, 가을 학술발표회 논문집, 2007, pp. 909~912.
9. 대한건축학회, “KBC-S 고강도콘크리트 구조내화설계 지침서(안),” 대한건축학회, 2007.8.
10. 한국콘크리트학회, “철근콘크리트구조물의 내화특성,” 한국콘크리트학회, KCI SP4, 2005.3.
11. 原田和典, “성능설계 PBD & 고강도콘크리트의 폭렬메커니즘에 관한 연구,” 호서대학교 초청세미나 강연자료, 2008.5.17.
12. 原田和典, “建築火災のメカニズムと火災安全設計,” 社團法人 日本建築学会.
13. 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省建築研究所, 日本建築主事會議, 財團法人日本建築センター, “耐火性能證政法の解説及び計算例とその解説,” 第1版 第1刷發行, 2001.3.15.
14. “건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙,” 일부 개정안, 고강도콘크리트 내화성능 관리기준 근거 규정(안 제3조 제3호 및 제4호), 국토해양부(도시정책관), 2008.4.
15. Eurocode 4, *Design of Composite Steel and Concrete Structures*, Structural Fire Design, 2004.