

내화설계법에 따른 철골조 아파트의 내화피복비용 연구 Cost Analysis for Fire Protection on Structural Members of Residential Steel Building using Fire Engineering Design

권인규 · 정영진[†]

In-Kyu Kwon · Yeong-Jin Chung[†]

강원대학교 소방방재학부
(2009. 12. 15. 접수/2010. 2. 12. 채택)

요 약

건축물의 내화성능은 화재의 피해를 최소화하기 위해 요구되고 있으며, 건축물의 용도 및 층수 등에 따라 일률적으로 정해지고 있으나, 실제 발생하는 건축물 화재의 크기와 구조부재의 응력, 변형은 매우 다양한 조건에 의해 달라진다. 스웨덴, 영국, 뉴질랜드, 호주 및 일본 등의 국가에서는 건축물의 화재크기에 영향을 미칠 수 있는 여러 변수를 공학적인 수단을 활용하여 구조체 안전성을 평가하는 공학적 내화설계를 사용하고 있다. 본 논문은 공학적 내화설계의 경제적 효과를 검증하기 위하여 21층의 철골조 공동주택을 공학적 내화설계와 사양적 내화설계에 의한 내화피복비용을 비교분석하였으며, 그 결과 공학적 내화설계절차에 의한 철골조 아파트의 기둥부재 및 보부재는 무내화피복으로 내화성능을 만족하였으며, 내화피복비용 절감효과는 약 90% 수준으로 나타났다.

ABSTRACT

In general, fire resistance is determined through the building's uses and stories. But recently a fire engineering design that is done by the calculation of design fires from the fire cell and an evaluation of stabilities for structural behavior at fire condition have applied to almost of countries as a major alternative against a prescriptive fire design. To adopt and utilize the fire engineering design into Korea, at first, we evaluated structural stability of 21st stories steel residential building at fire condition through fire engineering design and secondly the fire protection cost was analyzed with fire engineering design method and the prescriptive one, respectively. No fire protection materials for satisfaction of building law at structural members such as columns and beams were needed and about 90 % of fire protection cost was saved.

Key words : Fire engineering design, Prescriptive method, Fire protection, Fire compartment

1. 서 론

건축 구조물은 사회적, 기술적 및 수요가의 요구에 적극적으로 대응하기 위하여 신제품, 신기술을 받아들이는 등 지속적으로 변화, 발전되고 있다. 특히 강구조 건축물은 대형화, 고층화 및 고품질화의 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 구조적 기술발전을 이루고 있으나, 구조물의 화재안전에 관한 기술개발은 다소 미진한 수준으로 판단된다.

강구조 건축물의 기둥부재 및 보부재에 적용되는 구

조용 강재는 고온화될수록 내력의 감소폭이 확대되어 약 550°C 수준에서는 구조적 내력의 전달기능이 현저히 약화된다.¹⁾ 따라서 강구조 건축물의 주요 구조부를 화염으로부터 온도 차단 및 지연을 목적으로 일정 두께의 내화피복을 시공해야만 한다. 우리나라의 내화설계는 건축물의 용도와 규모에 따라서 일률적으로 설정되어 있는 사양적 방법이며, 내화성능은 시간으로 평가되고 있으며, 특정 재료 및 구법의 내화성능은 가열로 시험으로 평가되고 있다.

화재하중이 적은 옥외 노출 주차장 등의 연료 지배형 건축물은 고온 시 구조적 붕괴의 우려가 극히 제한적이지만 반드시 내화피복을 시공해야 하는 불합리한

[†]E-mail: yjchung@kangwon.ac.kr

점이 있으며, 고층 건축물에서는 하중비와 강재의 단면형상계수에 따른 내화피복의 정도가 다양하게 나타날 수 있으나 사양적 내화설계의 범주에서는 과도한 내화피복을 요구하는 문제점을 안고 있다. 반면 영국, 스웨덴, 뉴질랜드 및 미국 등에서는 가열로 시험에 의한 강구조 부재의 구조적 안전성 평가와 병행하여 가연물에 의한 설계화재곡선 도출 그리고 구조부재 열응력 해석 등을 통한 합리적인 구조부재의 화재 시 안전성을 평가하는 공학적 내화설계를 사용하고 있다.²⁾ 최근 국제 표준화 기구의 화재안전 전문위원회(ISO TC92 Fire Safety Engineering)에서는 건축물에서의 화재발생 시나리오, 설계화재곡선 도출 및 구조물의 안전성 평가에 관련된 국제 표준화 문서의 마지막 논의를 하였다.³⁾ 강구조 건축물의 내화성능을 공학적으로 평가하는 우리 나라의 기술적 기준은 일부의 대학 및 연구기관에서 이루어진 연구 성과는 있으나, 아직 실용화에도달되지 못하고 있다.^{4,5)} 따라서 본 논문은 21층의 철골조 아파트를 대상으로 공학적 내화설계 절차에 따라 화재 시의 구조적 안전성을 평가하고, 이에 따른 내화피복비용을 사양적 내화설계에 의한 비용과의 비교분석을 통하여 공학적 내화설계의 필요성, 실용화 제고 및 강구조 건설 산업의 경쟁력 향상에 기여함을 목적으로 한다.

2. 내화공학설계법의 최신 동향 및 내화피복 비용 분석

건축물 화재는 다양한 환경과 조건에 의해서 발생되며, 그 영향은 연기와 유독가스에 의한 인명피해와 구조물 손상, 극한상황에서의 붕괴로 유발되는 인명과 재산 피해의 재해와 재난을 야기시킬 수 있다. 따라서 각 국가별로 이에 대한 대책으로 고열에 견딜 수 있는 구조를 사용하도록 의무화하고 있다. 각종 건축물에서의 화재발생과 피해 건축물의 재사용 등에 관한 안전성은 종래 건축 관련 법규와 규정으로서는 평가가 거의 불가능한 상황이다. 따라서 건축물의 화재하중과 열응력 해석을 통한 구조 안전성 평가가 건축물 내화설계의 대안으로 부각되고 있으며, 상용화되고 있는 실정이다. 최근 국제 표준화 기구(ISO TC92)의 전문위원회(SC4: fire safety engineering)에서는 화재 시 구조물(Structures in fire)이란 국제 표준화 문서작업을 진행하고 있으며, 그 결과는 곧 국제 표준으로 공표될 것으로 예측되고 있다. 화재 시 구조물이란 국제 표준화 문서의 주요 작업 내용은 건축물에서의 다양한 시나리오에 의한 설계 화재 예측, 구조부재의 고온에서의 내력 평가 등으로

이루어져 있다. 이와 같은 성능적 내화설계방법은 영국, 스웨덴 등의 유럽지역과 뉴질랜드, 호주의 대양주 지역 그리고 일본 및 중국을 포함하는 아시아 지역, 미국과 캐나다의 북미 지역을 포괄하는 전 세계에서 공통 사항으로 인지되고 있다. 반면 우리 나라는 건축물의 공학적인 내화설계에 대한 기술적 검토의 일부가 진행되었으나 체계적이고 종합적인 접근이 미진한 실정으로 판단된다.

2006년도 이후부터는 성능적 내화설계를 통한 비저니스의 국제화도 크게 부가되고 있다. 프랑스의 민간 종합연구기관인 CTICM의 화재연구그룹과 네덜란드 국가 연구기관의 TNO 내화연구소 그리고 핀란드의 국가 연구기관인 SINTEF 내화연구 부서가 참여한 EFFCTUS이란 국제 벤처기업을 설치함으로써 공학적인 내화설계의 영역은 점차 그 범위를 넓혀가고 있는 추세이다.

건물의 용도 및 환기조건 등에 따른 화재의 발전상황은 매우 다양하게 전개된다. 따라서 뉴질랜드, 호주, 유럽, 일본 및 미국 등에서는 화재하중과 개구부 조건 등에 의한 건축물의 화재 시 구조 안정성의 평가 후, 적절한 내화피복을 실시하는 성능적 기법을 적용하고 있다. 그러나 국내에서는 이에 대한 기술적 연구와 기준 제시는 있었으나, 아직 법률적인 집행은 되지 않고 있는 실정이다. 따라서 국내외에서 개발되고 상용화되고 있는 공학적 내화설계방법을 국내의 21층 규모의 철골조 아파트에 적용하여 화재 발생시의 구조 안전성을 검증하고, 이를 바탕으로 구조부재에 대한 내화피복 유무 판단 및 내화피복 비용을 분석한다.

2.1 강구조 건축물의 공학적 내화설계법⁶⁾

강구조 건축물의 화재 시 구조적 안전성 평가는 크게 설계화재 도출과 구조물 안전성의 평가로 진행되며, 각각의 요소기술은 다음과 같다.

2.1.1 설계화재 도출

화재구획에서의 설계화재 산정은 다음의 두 가지 방법으로 이루어질 수 있다. 일반적으로 사용되는 것은 표준온도 가열곡선이며, 우리 나라는 KSF 2257-1에 규정되어 있다. 다음으로 공학적인 내화설계에서 대표적으로 사용되는 설계화재곡선은 해당 건축물의 가연물량, 개구부 특성 및 화재구획 주변재료의 열특성로 평가되는 자연화재곡선이 있다. 자연화재곡선을 구하는 방법으로는 수 계산법(hand methods), 기준곡선 이용법(published curves) 및 변수화재곡선법(parametric fires) 등이 있다.

2.1.2 구조물 안전성 평가

가. 열전달 해석방법

표준온도 가열곡선 또는 설계화재곡선을 이용하여 화재구획내의 구조부재 온도를 예측할 수 있는 방법은 대류 및 복사에 의한 열전달 해석과 해당 구조부재 내부의 온도예측을 위한 열전도에 의한 열전달 해석이 있다. 일반적으로 구조부재의 표면온도 예측은 대류 및 복사에 의한 열전달 해석으로 이루어지고, 정밀 열응력 해석을 위해서는 다차원의 열전도해석이 요구된다.

나. 고온 특성

고온에서의 항복강도, 탄성계수의 물리적 특성 변화와 열전도를 등과 같은 강재의 열적 특성은 화재 시 기동부재와 보부재의 내력을 평가하여 구조적 붕괴를 방지할 수 있는 방법을 제공할 수 있는 매우 중요한 자료이다. 구조용 강재의 고온 특성은 한국산업규격 KS D 0026(철강재료 및 내열합금의 고온인장시험방법)에 의한 시험결과와 합리적으로 검증된 방법과 절차로 수행된 고온 시의 강재 특성 자료 등이 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

다. 화재 한계상태 설계법

식(1)과 같은 화재 한계상태설계법과 이에 따른 하중비의 산정 및 적용이 필요하다.

$$r \cdot Q \leq \phi \cdot R \tag{1}$$

여기서,

Q: 작용 하중, R: 부재 저항, r: 화재 시의 하중계수,

ϕ : 화재 시 강도저감계수 = 1

좌변항은 하중에 의한 설계력을 의미하고, 우변항은 공칭 부재력을 나타내고 있다. 뉴질랜드의 화재한계상태설계에서는 좌변항에서의 하중계수로서 고정하중 및 적재하중은 1과 0.6이 사용되고 있다.

화재 시 한계상태설계법의 우변항을 양변에 나누게 되면 다음과 같이 된다.

$$\frac{r \cdot Q}{\phi \cdot R} \leq 1 \tag{2}$$

즉 좌변의 아래 항은 상온 시의 공칭 부재력을 나타내고 있으며, 좌변의 위 항은 고온영역에서 하중량을 나타낸다. 따라서 좌변의 항은 화재한계상태설계법에 의한 각 온도에서의 부재의 하중비를 나타내고 있다.

라. 간략법

축력과 모멘트 그리고 모멘트를 전달하는 기동부재와 보부재는 화재와 같은 고열에 노출되면 재료강도 및 탄성계수 저하로 인하여 본래 유지하던 하중량을 견디지 못하고 구조적 붕괴(critical failure)에 도달하게 된다. 이와 같은 구조 안전성 평가는 부재의 경계조건과 고온특성을 고려하여 평가하는 것으로써 다소 복잡한 과정을 거치게 된다. 따라서 화재 시 구조부재의 안전성 평가를 위한 간략적 방법이 요구되었으며, 이의 평가방법은 구조부재의 한계온도(T_1)와 해당 부재의 최고 온도(T)의 크기를 비교, 평가한다. 구조부재의 한계온도는 구조적 능력을 상실하는 온도를 의미하며, 최고온도는 화재구획에서의 화재크기로 계산되는 부재의 최고온도를 나타낸다.

간략법에 의한 구조적 안전성의 평가에서 $T_1 < T$ 이면 붕괴에 도달될 것이며, $T_1 > T$ 이면 구조적 붕괴에 도달되지 않는다.

2.2 내화공학설계 수행

내화설계법에 따른 강구조 건축물의 내화피복비용 분석을 위하여 건축법에 정의된 사양적 내화설계와 실내 가연물량에 따른 화재크기 도출, 구조부재의 내력적 성능평가를 통한 공학적 내화설계를 수행하였다.

Table 1. Summary of Residential Steel Apartment

항 목	내 용	비 고
층수 및 평형	21층, 38평	
내화요구성능 (시간)	보	3
	기둥	3
내화피복형태	보	암면스프레이 40mm
	기둥	SRC
적용강재량 (Ton)	보	560
	기둥	244
	합계	804
스프링클러	16층 이상 층에 설치	소방기본법 시행령 제28조

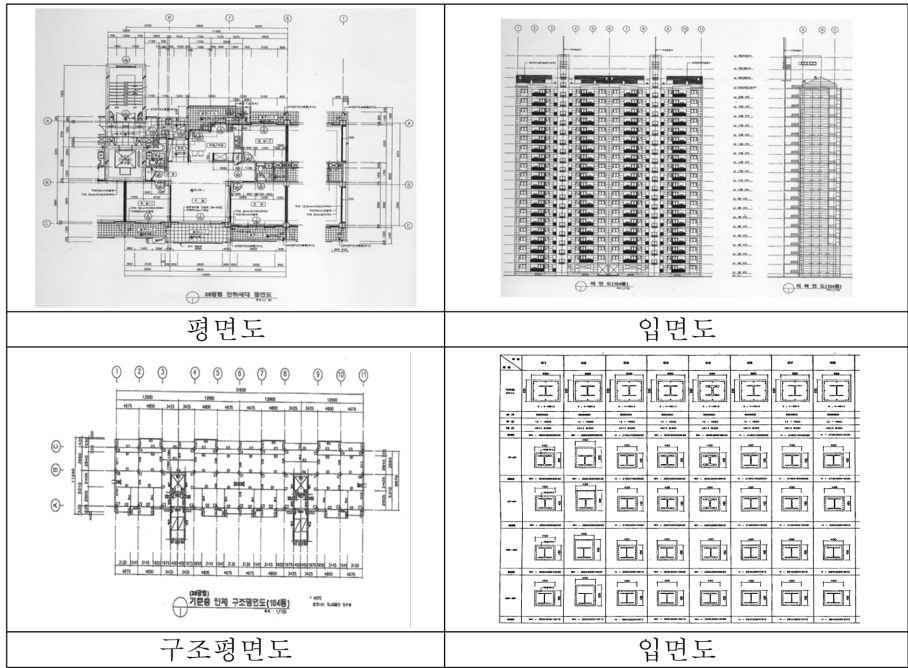


Figure 1. Drawings of residential steel apartment.

내화설계 및 내화피복 비용의 비교분석은 38평형 21층 철골조 아파트를 대상으로 수행하였으며, 비교 대상 건축물의 개요는 Table 1 및 Figure 1과 같다.

1) 공학적 내화설계

가. 화재크기 산정

공학적 내화설계는 국내의 연구결과, 뉴질랜드의 기준 및 유리코드를 활용하였다.^{4,6-9)} 21층 38평형 철골조 아파트를 대상으로 공학적 내화설계를 수행하기 위하여 Table 2와 같은 조건을 설정하였다.

내화설계 대상 아파트는 각 층별 4세대가 배치되어 있으며, 각 세대별 개구부 조건은 모두 동일하다. 따라서 아파트 임의의 층에서 도출된 설계화재는 각 세대 모두 동일하다고 가정할 수 있다. 설계화재를 산출하기 위한 임의 세대의 개구부 조건은 다음 Table 3과 같다.

Table 2. Scenario for Design Fires

항목	내용	비고
설계화재밀도	각 세대의 전체 바닥면적 포함	
수직 개구부	출입구, 발코니 창문 포함	
화재크기 변화	소방대에 의한 진압 영향 없음	화재크기 변화없음

각 세대당 바닥면적과 개구부의 비율을 분석한 결과 (Table 4), 상대적으로 다소 높은 수치를 보이고 있다 (0.27). 이 수치는 빠른 연소와 강재의 최고온도가 다소 높게 나타나는 경향이 있다. 그러나 이러한 특징은 연소가 느리면서 장시간 지속되는 화재에 비하면 구조체에 미치는 영향은 적은 특징을 가지고 있다.

화재구획의 설계화재곡선으로부터 기둥부재 및 보부재의 표면온도 계산을 위하여 기둥부재 및 보부재는

Table 3. Opening Condition of Residential Steel Apartment

창문/문 종류	폭 (m)	높이 (m)	바닥에서 문틀하단까지 높이(m)
창(1)	3.0	1.8	0.5
창(2)	0.58	1.4	0.7
창(3)	0.9	0.45	0.945
문(1)	3.6	2.1	0
문(2) × 2	2.1	2.3	0
문(3)	1.48	2.3	0

Table 4. Coefficient of Ventilation

화재구획의 바닥면적(A_f)	환기면적(A_v)	A_v/A_f
100	27	0.27

Table 5. Properties for Heat Transfer

항목	열특성치	비고
방화석고보드	0.18kcal/mh °C	0.21W/mK
강재보의 방사율, 형태계수	1	
대류 열전달계수	25W/m ² K	
구획 벽체의 열특성치	1160J/m ² 0.5K	콘크리트 + 석고보드

9.5mm의 석고보드로 시공된 구조체로 가정하였다. 설계화재곡선의 도출은 변수화재곡선의 관련 자료를 참고하여 개발된 프로그램을 이용하였으며, 계산에 적용된 전열 특성치는 다음 Table 5와 같다.

설계화재 계산에는 전열 특성치외에 화재하중밀도, 구획 전체면적, 구획 높이, 수직 개구부 면적, 수직 개구부 높이 등의 자료가 요구되며, 철골조 아파트의 화재하중은 뉴질랜드 자료인 400MJ/m²을 이용하였고, 강재와 초기의 공기온도는 20°C로 가정하였다.

도출된 화재크기의 사례는 Figure 2와 같다.

구획높이 2.65m, 개구부율 0.128, 화재하중밀도 400MJ/m²의 화재구획에서 도출된 설계화재곡선은 7.5분 경과 시에 980°C를 나타냈으며, 이 화재곡선에 의

한 강재기둥(H-200×200×6×9, 단면형상계수 211m⁻¹)의 최고온도는 18분 30초 경과 시 541°C로 나타났다.

나. 구조 안전성 평가

화재구획의 개구부 조건과 주변 재료 열특성을 고려하여 계산된 설계화재로부터 기둥부재와 보부재에 적용된 H형강의 표면온도를 계산하였다(Table 6). 표면온도 계산에는 복사, 대류에 의한 열전달과 화재에 노출되는 강재기둥 및 보부재의 실제 표면적을 고려하였다.

구조 안전성 평가는 뉴질랜드의 내화설계법을 적용하였으며, 화재한계상태 설계와 하중비에 따른 한계온도 비교평가 절차로 진행하였다. 화재 시 구조물의 하중계수는 고정하중 1.0 및 적재하중 0.6을 적용하였으며, 하중비는 구조부재의 화재 시 부재력을 상온의 최대 내력에 대한 비율로 산정하였다.

기둥부재와 보부재에 적용된 H형강의 표면 최고온도, 하중비에 따른 구조적 붕괴온도인 한계온도 그리고 이에 따른 구조적 안전성 평가 결과를 각각 Table 7~8에 제시하였다. Table 7~8에 제시된 강재의 한계온도는 모든 아파트 전 세대에서 동일하다.

Table 7~8에 나타난 바와 같이 기둥부재 및 보부재의 예측된 최고온도는 강재의 한계온도보다 낮게 나타났다. 따라서 기둥부재 및 보부재는 화재가 발생되는 기간에 걸쳐 충분히 하중전달을 지속하는 안전한 상태

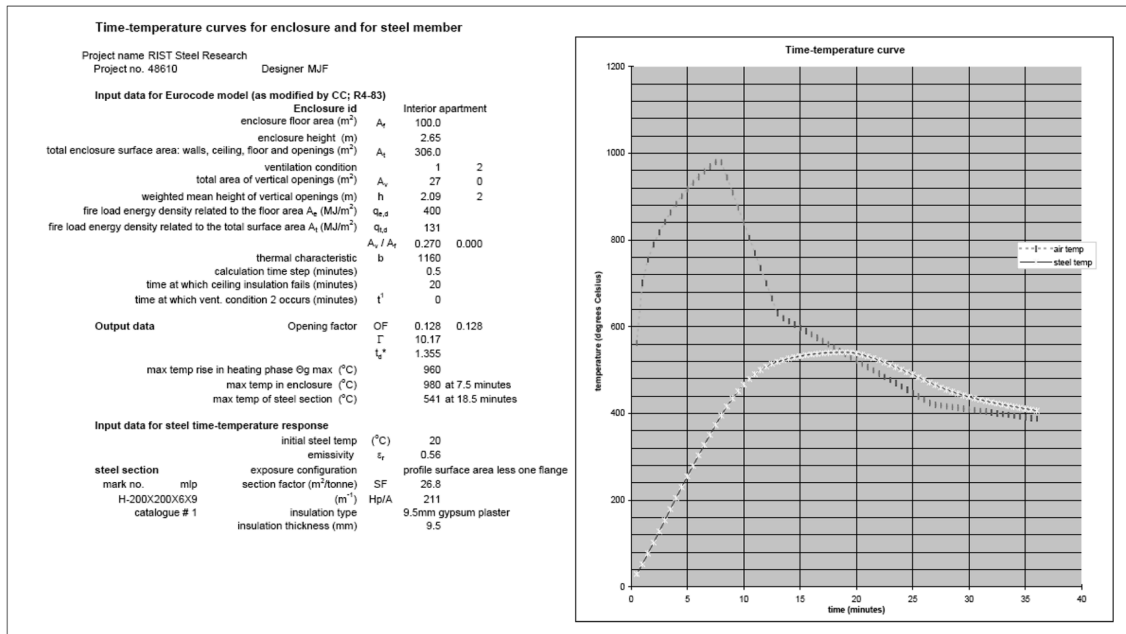


Figure 2. Design fire curve.

Table 6. Maximum Temperatures of Steel Sections

강재단면	강재의 최고온도		강재단면	강재의 최고온도	
	도달시간(분)	최고온도(°C)		도달시간(분)	최고온도(°C)
H-200 × 200 × 6 × 9	18.5	541	H-300 × 300 × 20 × 25	30.5	408
H-200 × 200 × 8 × 12	22	492	H-300 × 300 × 20 × 30	34.5	394
H-200 × 200 × 12 × 12	23	475	H-300 × 300 × 20 × 35	36	381
H-200 × 204 × 12 × 12	23	475	H-300 × 300 × 20 × 35	36	381
H-200 × 200 × 12 × 20	26.5	423	H-300 × 300 × 30 × 35	36	369
H-200 × 200 × 15 × 25	33.5	396	H-300 × 300 × 30 × 40	36	356
H-294 × 302 × 12 × 12	21.5	501	H-310 × 305 × 15 × 15	23.5	469
H-300 × 300 × 10 × 10	19.5	533	H-310 × 305 × 15 × 20	25.5	441
H-300 × 300 × 10 × 15	22.5	486	H-310 × 310 × 20 × 20	26	429
H-300 × 305 × 15 × 15	23.5	469	H-300 × 300 × 20 × 35	38.25	381
H-300 × 300 × 10 × 20	24.5	454	H-300 × 300 × 30 × 35	40.5	371

Table 7. Evaluation for Structural Stabilities of Columns

하중비	최고온도(°C)	한계온도(°C)	구조안전성 판정	비고
0.57	501	509	OK(단열재 보완 권장)	H-294 × 302 × 12 × 12
0.42	533	613	OK(단열재 보완 권장)	H-300 × 300 × 10 × 10
0.56	486	518	OK	H-300 × 300 × 10 × 15
0.53	469	537	OK	H-300 × 305 × 15 × 15
0.48	454	577	OK	H-300 × 300 × 10 × 20
0.55	408	522	OK	H-300 × 300 × 20 × 25
0.55	394	527	OK	H-300 × 300 × 20 × 30
0.50	381	563	OK	H-300 × 300 × 20 × 35
0.57	356	509	OK	H-300 × 300 × 30 × 40
0.53	469	536	OK	H-310 × 305 × 15 × 15
0.55	441	522	OK	H-310 × 305 × 15 × 20
0.58	429	504	OK	H-310 × 310 × 20 × 20
0.56	371	517	OK	H-300 × 300 × 30 × 35

Table 8. Evaluation for Structural Stabilities of Beams

하중비	최고온도(°C)	한계온도(°C)	구조안전성 판정	비고
0.32	541	686	OK	H-200 × 200 × 6 × 9
0.54	492	531	OK	H-200 × 200 × 8 × 12
0.37	475	650	OK	H-200 × 200 × 12 × 12
0.51	475	554	OK	H-200 × 204 × 12 × 12
0.37	423	650	OK	H-200 × 200 × 12 × 20
0.53	396	536	OK	H-200 × 200 × 15 × 25

임을 보여주고 있으며, 별도의 내화피복이 요구되지 않는다. 다만, 9.5mm 1겹의 석고보드로 시공된 강재 기둥의 일부는 붕괴온도와 최고온도의 차이가 불과 20°C 이하로 단열재의 보강이 권장되지만 대부분의 기둥부재는 최고온도가 붕괴온도에 미치지 못하는 안전한 결과를 보였다.

는 3시간 이상의 내화성능을 확보해야 한다. 따라서 내화피복비용 분석을 위하여 기둥부재의 경우는 설계도면대로 SRC조 시공에 소요되는 공사비를 산출하였고, 보부재는 일반적으로 강구조 건축물에 많이 사용되고 있는 압면 습식계에 의한 피복 공사비를 계산하였다. 공사비 분석에 적용된 보부재의 압면 습식 뿔칠 내화피복비용의 일위대가, 콘크리트 타설 및 합판거푸집의

3. 내화피복비용 분석

건축물 내부의 화재하중, 개구부 조건 및 구획공간의 주변재료 열특성을 고려한 철골조 아파트의 내화공학 설계 결과, 기둥부재와 보부재는 9.5mm 석고보드 마감으로 무내화피복이 가능한 것으로 평가되었다. 21층 철골조 아파트의 내화공학 설계법에 따른 내화피복비용의 비교분석을 위하여 사양적 내화설계에 의한 내화피복비용을 동시에 산출을 하였다. 현행 건축법규에 따른 건축물의 요구 내화성능은 용도 및 층수에 따라 구분되며, 12층 이상의 건축물의 기둥부재 및 보부재

Table 9. Cost for Fire Protection of Beam (Won/mm²)

항 목	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
압면	kg	0.394	500	197.00	
공구손료	인건비3%	-		6.535	
도장공	인	0.00093	93,715	87.154	
기계공	인	0.00053	81,297	43.087	
특별인부	인	0.00039	85,320	33.274	
보통인부	인	0.00080	67,909	54.327	
합 계				421.377	

Table 10. Cost for Concrete Construction

(M³)

종 별	단위	기준수량	단 가			금 액		
			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비
펌프카	Hr	0.0279	30,143	-	-	840.9		
펌프카	Hr	0.0279		20,033			558.9	
콘크리트공	인	0.049		100,639			4,931.3	
보통인부	인	0.024		67,909			1,629.8	
경비			-	-	1501			1,501
소 계						840.9	7,120	1,501
합 계								9,461.9

Table 11. Cost for Formwork Construction

(M²)

종 별	단위	기준수량	단가		금액	
			재료비	노무비	재료비	노무비
합판	M ²	0.7931	9,775.6	-	7,753	-
각재	M ³	0.02926	313,009	-	9,158.6	-
철선	kg	0.29	1,090	-	316.1	-
못	kg	0.2	900	-	180	-
박리제	l	0.19	1,000	-	190	-
형틀목공	인	0.22	-	101,873	-	22,412
보통인부	인	0.12	-	67,909	-	8,149
소 계					17,597.7	30,561
합 계						48,158.7

Table 12. Total Cost for Fire Protection of Beam

항 목	단 위	금 액(원)	비 고
시공비	원/mmM ²	421	
피복두께	mm	40	3시간
피복면적	M ² /Ton	20	
강재량	Ton	560	
비 용		188,608,000	

일위대가는 각각 Table 9~11과 같다.¹⁰⁾

철골조 아파트의 SRC 기둥부재에 사용된 콘크리트와 거푸집의 총 수량은 각각 318.07M³, 3,186M²이다.

사양적 내화설계에 의한 SRC기둥부재의 공사비는 거푸집 제작비용과 콘크리트 타설비용의 합으로써 156,443,165원이 소요되었다. 또한 강재 총중량 560Ton, 습식계 암면 뿔칠재의 총면적 11,200M²인 보부재의 내화피복비용은 188,608,000원으로 계산되었다(Table 12).

공학적 내화설계에 의해서 무내화피복이 가능하다고 평가된 석고보드 적용 기둥부재의 공사비 일위대가는 Table 13에 제시하였다.

적용된 석고보드 면적은 기둥의 단면을 300×300으로 가정하였으며, 석고보드의 총면적은 2,194.8 M² 그리고 공사비는 35,709,600원으로 계산되었다. 일반적으로 암면계 뿔칠로 내화피복된 기둥부재는 석고보드 또는 평판 마감재료에 의한 수장공사가 부가적으로 필요하게 된다. 따라서 석고보드에 의한 내화피복 비용은 생략된다고 가정할 수 있으나, 석고보드에 의한 수장공사를 내화피복 비용으로 산정하였다. 공학적 내화설계

Table 14. Comparisons between Two Types of Fire Design Methods

항 목	사양적 내화설계	
종래피복(원)	보	188,608,000
	기둥	156,443,165
	합계	345,051,165
내화설계(원)	보	0
	기둥	35,709,600
	합 계	35,709,600
절감액(원)	보	188,608,000
	기둥	120,733,565
	합 계	309,341,565(90%절감)

에 의한 내화피복비용과 SRC 및 암면계 뿔칠에 의한 3시간 내화구조의 성능을 만족시키는 21층 철골조 아파트의 내화피복 공사비 결과는 다음 Table 14와 같다.

내화피복비용의 분석결과, 무내화피복에 따른 철골 공사비의 절감액은 약 3억 9백만원 수준으로 나타났으며, 이 금액은 3시간 내화성능 충족을 위한 내화피복 비용의 약 90%에 해당된다. 따라서 건축물의 화재 성상에 따라 구조적 붕괴방지를 위한 합리적 내화피복재의 설계와 건축물의 생산 경쟁력 향상을 위해서 공학적 내화설계의 국내 제도화가 조속히 필요하다고 판단되었다.

4. 결 론

건축물의 화재 위험성과 기술적 기준을 활용하여 건

Table 13. Cost for Gypsum Wallboard Construction (Won/m²)

항 목	규 격	단 위	수 량	단 가	금 액	비 고
석고보드	9.5	M ²	1.05	1,975	2,073.75	한 겹
메탈런너	67/40/0.8t	M	1.1	1,260	1,386	
메탈스터드	67/40/0.8t	M	2.7	1,470	3,969	
코너비드	(0.5T)	M	0.2	700	140	
힐티양카	NK-27	EA	3	252	756	
강제고정스크류	4.2×13	EA	2	7.2	14.4	
석고보드스크류	3.5×31.8	EA	10	8.6	86	
석고보드스크류	3.5×38.1	EA	20	9.4	188	
조인트 콤파운드		KG	2.43	440	1069.2	
건축목공	내장공	인	0.06	101,873	6,112.38	
보통인부	내장공	인	0.007	67,909	475.363	
합 계					16,270.093	

축 구조부재의 내화성능을 합리적으로 평가할 수 있는 공학적 내화설계의 필요성과 실용성 제고의 목적으로 철골조로 시공된 21층 공동주택을 대상으로 내화설계를 수행하였으며, 이에 따른 공사비 비교를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 구획의 높이 2.65m, 개구부율 0.128, 화재하중밀도 400MJ/m^2 의 화재구획 조건에서 설계화재곡선을 도출하였으며, 그 결과 7분 30초 경과 시 최고온도 980°C 를 나타냈다. 또한 설계화재곡선으로 평가된 강제기동 ($H-200 \times 200 \times 6 \times 9$, 단면형상계수 211m^{-1})의 최고온도는 18분 30초 경과 시 541°C 로 나타났다.

2) 설계화재곡선에 의해 도출된 9.5mm 석고보드 마감 기동부재와 보부재의 최고온도는 구조적 붕괴를 예측하는 붕괴온도보다 모두 낮게 나타나, 기동부재와 보부재는 무내화피복이 가능한 것으로 판단되었다.

3) 공학적 내화설계를 통한 무내화피복에 의한 공사비와 현행 3시간 내화구조의 확보를 위한 사양적 내화설계의 공사비 비교분석을 통하여 약 90%의 내화피복비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2009년 강원대학교 도계캠퍼스 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권인규, “고열 환경에서의 구조용 강재 특성 데이터베이스 구축”, 한국화재소방학회논문지, Vol.21, No.3, pp.47-55(2007).
2. 한국표준협회, “건설안전 및 친환경 전자재 표준화 기반구축 성과발표회 자료집(건축물 화재안전 표준화)”(2009).
3. ISO TC92 SC4 WG12 Project, “Fire safety engineering- Performance structures in fire”(2009).
4. 건설교통부, “건축물 내화설계기술”(2004).
5. 포항산업과학연구원, “강구조 내화공학설계 기술개발(III)”(2004.12).
6. 권인규, “강구조 건축물의 성능적 내화공학설계지침 개발에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, Vol.24, No.6, pp.69-76(2008).
7. A.H. Buchanan, Fire Engineering Design Guide, p.199(1994).
8. Standards New Zealand, NZS 3404:Part1:1997, Steel Structures Standard(1998).
9. CEN, “Eurocode 3 : Design of Steel Structures Part 1.2 : General Rules Structural Fire Design”, pp.15-21(1995).
10. 한국물가정보, “종합적산정보”(2009).