



# 구획공간의 화재조건을 고려한 내화성능 평가방법에 대한 검토

## Investigation of Fire Resistance Performance Considering Fire Conditions in Compartments

양승조\* · 이재승\*\*

Yang, Seung-Cho\*, and Lee, Jae-Sung\*\*

### Abstract

A fire resistance design has been applied for the safety of the structure in preparation for the fire that occurred in the building. However, there might be a limit to considering the various fire elements in the design. Particularly, for a natural fire curve, it is difficult to evaluate the structure's fire resistance performance through a full-scale fire test. Thus, the standard fire curve, developed based on time-temperature, has been used instead. In a bid to evaluate the fire resistance performance using the natural fire curve, the procedure proposing that the natural fire curve was first developed depending on the fire load and opening area through the fire test in the compartment, which is then equivalently substituted into the standard fire curve with the same fire load value, was proposed in this study. Heat transfer analysis was performed to verify whether the equivalent-substituted fire curve causes the same temperature gain as the natural fire curve. By comparing the two values, a significantly similar value was found around 20°C.

**Key words :** Fire Compartment Fire Test, Natural Fire Curve, Equivalent Fire Severity

### 요 지

건축물 화재 발생 시 구조물 안전을 위해 내화설계가 적용되고 있으나, 화재에 관한 다양한 인자를 고려하여 내화설계에 반영하기에는 현실적인 한계가 존재한다. 특히 자연화재곡선의 경우 실대형 내화실험을 통해 구조물의 내화성능을 평가하기 어려워 시간-온도로 정해진 표준화재곡선을 적용하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 자연화재곡선을 활용하여 내화성능을 평가하기 위해 구획공간의 화재실험을 통해 화재하중 및 개구부 면적에 따른 자연화재곡선을 도출하고 이를 통해 동일한 화재하중 값을 갖는 표준화재곡선으로 등가치환하는 절차를 제시하였다. 등가 치환된 화재곡선이 자연화재곡선과 부재에 동일한 온도 상승을 유발하는가에 대한 검증을 위해 열전달 해석을 수행하였으며, 비교·분석결과 20 °C 내외로 거의 유사한 결과값으로 나타났다.

**핵심용어 :** 구획화재실험, 자연화재곡선, 등가화재심각도

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건축물 내 화재 발생 시 인명피해 뿐만 아니라 재산피해가 필연적으로 동반하게 되며 이러한 부분을 사전에 방지하고자 내화구조가 법적기준에 따라 건축물에 적용되고 있는 상황이다. 현재 국내의 경우 구조물의 화재안전을 확보하기

위한 성능평가는 표준화재시험에 의해 성능이 확인된 구조를 건축물에 적용하는 것이 보편적이다. 표준화재시험은 정해진 시간에 따른 가열온도를 시험체에 가하여 해당 평가 기준에 부합되는지를 확인하는 시험방법으로써 시험방법이 획일적이고 평가 결과를 직관적으로 확인할 수 있어 가장 보편적으로 내화성능을 판단하는데 사용되고 있다. 이러한 평가 방식은 건축물의 용도, 높이, 구조부재의 종류에 따른

\*정회원, 한남대학교 건축공학과 박사후연구원(E-mail: ysj0785@naver.com)

Member, Post-Doctor. Department of Architectural Engineering, Hannam University

\*\*교신저자, 정회원, 한남대학교 건축공학과(Tel: +82-42-629-7528, Fax: +82-42-629-7528, E-mail: jaesung@hnu.kr)

Corresponding Author, Member, Professor. Department of Architectural Engineering, Hannam University

평가기준 시간에 시험체의 내화성능(차염성, 차열성, 하중지 지력 등)이 만족하는지를 비교하여 성능을 확인한다.

기존 내화설계 평가 방식은 실제 건축물에 존재하는 화재 영향 인자를 전혀 고려하지 않음으로 화재 시 발생하는 거동을 예측할 수 없을 뿐만 아니라 평가방식에 가변성이 현저히 떨어지며 비경제적 설계가 될 가능성이 높다. 이러한 문제점을 해결하고자 최근 많은 국가에서는 화재안전에 대한 성능규정을 채택하여 필요에 따라 법적기준인 사양위주 설계방법과 성능위주 설계방법을 선택적으로 적용할 수 체계를 갖추고 있으며 화재공학의 발달에 따라 성능위주 설계의 활용이 점차적으로 확산되고 있는 추세이다(Kim et al., 2014). 국내의 경우에도 성능위주 내화설계 관련 기준을 『건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 (2011.05)』의 제 3조 9. 나.항에서 “한국건설기술연구원장이 인정한 성능설계에 따라 내화구조의 성능을 검증할 수 있는 구조로 된 것”으로 규정하고 있다. 그러나 해당 기준은 구조물의 화재안전성을 성능위주 평가방식으로 확인할 수 있는 근거를 제시하고 있으나 이러한 성능위주 내화평가를 실질적으로 수행하기 위한 합리적인 세부절차 및 기준, 방법 등에 관한 법적 기준은 현재 부재한 실정이다.

건축물의 성능위주 내화설계는 크게 설계화재 산정, 열전달 해석, 구조 해석으로 구분할 수 있다. 화재 온도에 의한 열전달 해석, 온도상승으로 인한 강도 저감 및 구조 해석 등에 관한 다양한 연구들은 지속적으로 수행되어 오고 있으나, 구획공간의 용도 및 가연물의 조건 등 화재성상에 영향을 주는 요소 및 이에 따른 설계 화재 시간 산정, 요구내화시간 산정 등에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 성능위주 규정적용의 흐름을 반영하고 성능위주 내화설계 방법에 따른 구획화재에 대한 정량적 분석의 필요성에 부합하고자 실제 구획화재 실험을 통해 화재하중 및 개구부 면적에 따른 등가화재시간에 대해 분석하였다. 또한 등가화재시간의 개념을 통해 구획공간의 실제화재에 따른 내화성능 평가시간 계산법과 법정내화구조의 요구내화시간과의 연관성에 대해 분석하였다. 이처럼 구획화재 실험을 통한 등가화재심각도 개념에 대한 검증과 성능위주 내화성능 평가시간 계산법을 제시함으로써 성능위주 내화설계 기준 도입의 적정성 및 개선방향을 제안하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법

본 연구에서는 성능위주 내화설계에 필요한 내화성능 평가시간 산정을 위해 구획 내 화재하중 및 개구부 면적에 따른 실험대형 구획 화재실험을 실시하였다. 분석된 구획공간의 상승온도를 통해 실제화재곡선과 표준화재곡선 간 등가화재심각도에 대하여 분석하였으며 이에 대한 검증을 위해 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용한 열전달 해석을 수행하여 화재곡선에 따른 구조 단면의 상승온도를 예측하였다. 또한 추가적으로 유로코드에서 제시하고 있는 등가

화재심각도의 개념을 활용한 실제화재곡선의 내화성능 평가시간 계산법을 간략히 설명하여 법정내화구조에 의한 요구내화시간과 차이점에 대해 분석하였다.

## 2. 등가화재심각도

사양위주 내화성능 기준이란 건축물의 용도, 층수, 높이, 구조체의 종류에 따라 30분, 1시간, 2시간, 3시간 등으로 구분하여 구조적 기능을 유지해야 하는 요구내화시간을 법적으로 정해놓은 것을 의미한다. 또한 요구내화시간 동안 구조부재의 상승온도가 제한된 값을 넘지 않도록 내화피복 두께 및 종류, 부재의 단면 크기 등을 설계하기 위한 목적으로 표준화재곡선을 통한 실험대형 내화실험을 수행하나 이는 실제 구획 내 온도-시간에 미치는 영향인자를 고려할 수 없어 합리적인 내화성능 설계 및 평가를 수행하는데 한계가 있다.

이와 반대로 성능위주 내화성능 기준이란 정해진 법적 기준 없이 화재 시 구획 내에서 발생하는 가연물, 개구부 면적 등을 고려한 실제화재곡선(Real Fire Curve)에 의해 구조체가 구조적 기능을 유지해야 하는 요구 내화시간을 도출하는 것을 의미한다(Hull and Ingberg, 1925). 그러나 이러한 실제화재곡선을 실험대형 내화실험에서 구현하기에는 기술적인 한계가 있어 사실상 활용하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 점을 보완하고자 Ingberg (1928a, 1928b)는 구획 내 화재의 규모를 판단하는 척도인 화재심각도(화재강도)의 개념을 활용하여 실제화재곡선과 표준화재곡선의 상관관계에 대한 연구를 수행하였다.

$$\text{Fire Severity} = \text{Maximum Temperature} \times \text{Fire Duration} \quad (1)$$

Eq. (1)과 같이 화재심각도는 최고온도와 화재가 지속되는 시간과 연관되어 있다. 또한 최고온도는 연소열, 가연물의 비표면적, 공기의 공급량 및 속도, 구획공간의 구성재료에 따른 열관성 등에 따라 변화하며, 지속시간은 화재하중(가연물의 양 및 연소속도, 가연물의 흡수율 등)에 영향을 받는다. 따라서 이러한 요소들 간의 상관관계를 통해 구획공간의 온도-시간 그래프의 면적을 화재심각도로 정의하게 된다.

실제화재곡선에서 표준화재곡선으로 치환하기 위해서는 동일 면적을 갖는 온도에 따른 시간을 선택하여 등가화재심각도를 계산한다. 단, Ingberg는 가열온도가 특정온도(불연성 재료의 경우 300°C, 가연성 재료의 경우 150°C) 이하의 온도에서 구조적 영향을 주기 어려워 면적계산에서 제외시키는 것을 제안하였다. 이러한 화재심각도의 등가면적을 활용한 표준화재곡선으로 치환을 통해 구획 내 실제화재의 영향을 고려할 수 있어 보다 합리적으로 내화성능을 판별하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 단 기존 수행되었던 Ingberg의 등가화재심각도에 관한 실험은 동일한 개구부 면적 대비 가연물의 중량을 증가시켜 등가화재심각도에 대하여 비교·검증하였다. 본 연

구에서는 화재하중에 영향을 주는 개구부 면적을 변수로 하여 실제화재곡선과 표준화재곡선 간의 연관성을 분석하여 등가 화재심각도를 통한 내화성능 평가를 수행하고자 한다.

### 3. 구획 화재실험 및 결과

본 연구에서는 실규모 구획화재실험을 통해 화재하중에 영향을 주는 개구부 면적 및 화재하중에 따른 상승온도를 측정하고자 하였다. 본 실험과 별개로 Kweon and Kwon (2019)에 의해 플래시오버 예측에 관한 실험이 동일 실험체에서 수행되었으며 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 구획 공간에 설치된 개구부는 2가지 종류로써 Fig. 1(a)는 0.8 (L) × 2.4 (H) m, Fig. 1(b)는 0.4 (L) × 2.4 (H) m이다. 화재하중 및 개구부 크기에 따른 구획 내 상승온도를 측정하기 위해 구획 내 열전대를 설치하였으며, 개구부 근처 및 개구부 반대편에 수직 방향으로 200 mm 간격으로 8개씩 총 16개의 열전대를 설치하였으며 Fig. 1과 같다.

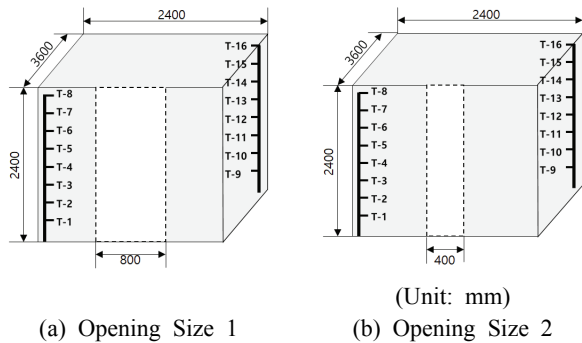


Fig. 1. Compartment Fire Test Plan

화재실험에 사용된 화원은 함수율 15% 미만의 목재크립을 4개로 등분포 배치시켜 사용하였으며 초기 착화를 위해 햅탄을 1개의 등분포당 0.5 L를 사용하였다. 목재크립의 화재하중은 Magnusson and Thelandersson (1970)이 기존 연구에서 적용하였던 데이터와 화재실험 시설 규모를 고려하여 30, 60 Mcal/m<sup>2</sup>로 정하였다.

실규모 구획 화재실험은 Table 1과 같이 2가지 면적의 개구부와 2가지 화재하중 값을 통해 총 4차례 수행하였으며, 구획공간은 철제틀과 세라크울로 구성하여 외부공간으로 방출되는 열을 최소화하였다. Figs. 2, 3에서는 구획 화재실험 중 동일 시간대(8분)와 종료 시간대 화염 크기를 나타내고 있다. 동일 화재하중에서 개구부 크기의 차이별 화재실험 결과는 앞서 개구부 크기의 차이와 유사하게 외부로 출화되는 시간은 유사한 형태를 보이지만 개구부의 크기에 따라 출화되는 화염의 크기는 다르게 나타났다. 개구부 크기에 따라서 초기에 화재가 확산하는 상황은 유사하게 보이지만 구획 공간 내부의 공기량과 초기 이후에 외부에서 유입되는

공기량의 차이로 인해서 구획 공간 내부의 화재 성장의 차이가 발생하는 것으로 판단된다(Kweon, 2018).

Table 1. Scenario of Compartment Fire Experiment

Compartment Size	2.4 (L) × 3.6 (W) × 2.4 (H) m
Opening Size	#1: 0.8 (L) × 2.4 (H) m #2: 0.4 (L) × 2.4 (H) m
Fire Source	Wood Crib
Moisture content	10~15 %
Ignition Source	Heptane
Fire Load	30 Mcal/m <sup>2</sup> , 60 Mcal/m <sup>2</sup>
Measurement	HRR (Heat Release Rate)

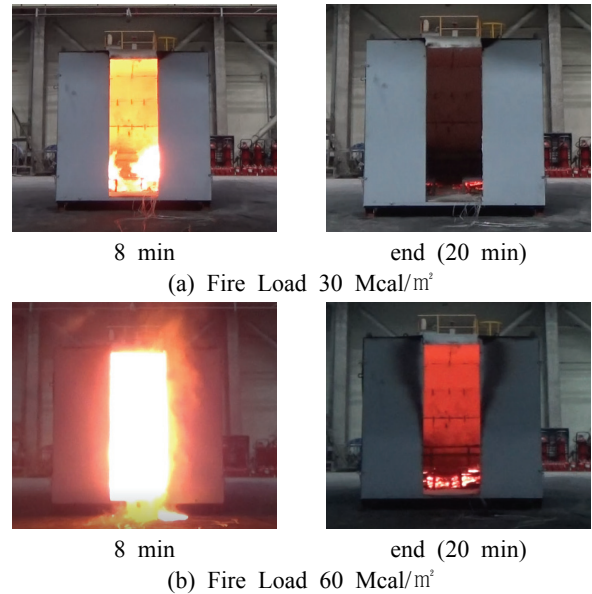


Fig. 2. Photo of Real Scale Fire Experiment (#1)

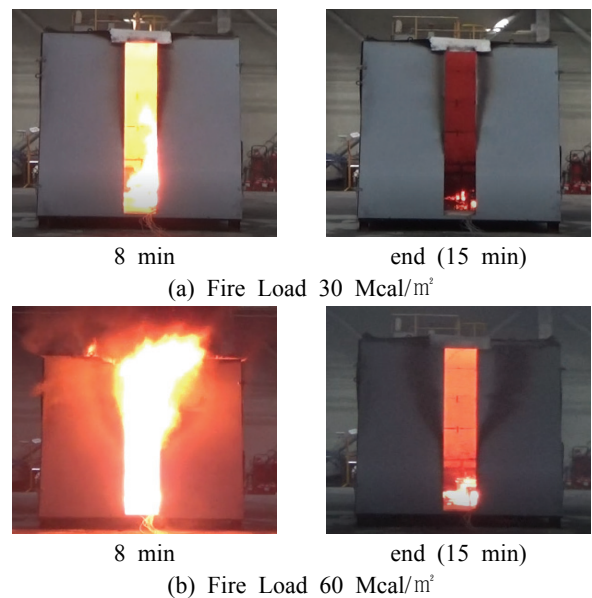
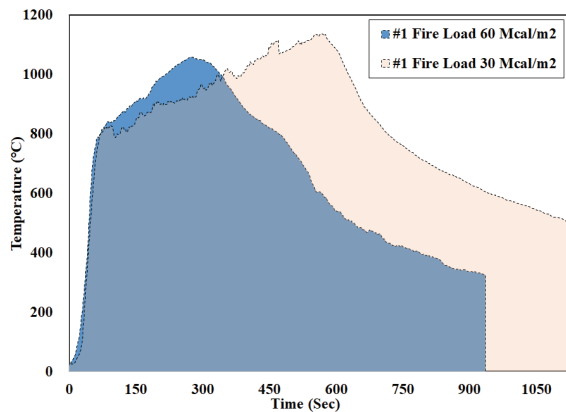


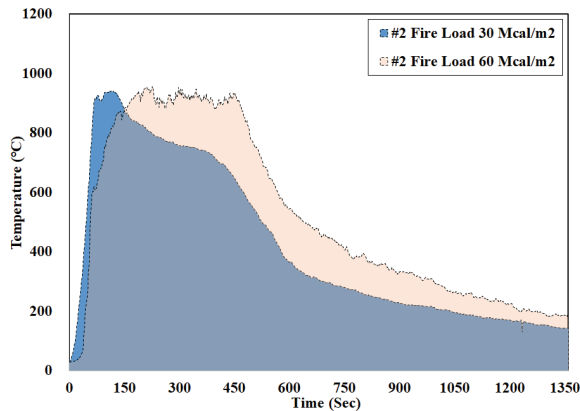
Fig. 3. Photo of Real Scale Fire Experiment (#2)

실규모 화재실험을 통해 측정된 온도 데이터는 내부 가연 물에 의한 화재하중과 개구부의 크기에 따라 다르게 측정되었다. Fig. 1의 T-1~T-16의 열전대를 통해 구획 내 위치에 따른 온도를 측정하였다. 일반적으로 개구부와 근접해 있는 T-1~T-8 열전대가 T-9~T16 열전대에 비해 약 100°C 높은 것으로 나타났으며, 하부 열전대에 비해 상부 열전대가 10 0°C~150°C 높은 것으로 나타났다. 구획공간 실험을 통한 온도-시간 곡선은 최고온도 및 최저온도를 기록한 열전대 데이터를 제외한 각 열전대 데이터의 평균값을 통해 비교·분석하였다.

Fig. 4는 개구부 크기 #1 (0.8 (L) × 2.4 (H) m)과 개구부 크기 #2 (0.4 (L) × 2.4 (H) m)에 대하여 화재하중 30, 60 Mcal/m<sup>2</sup>를 변수로 한 구획공간의 상승온도 값을 나타내고 있다. 상기에서 언급한 바와 같이 화재심각도의 최고온도는 연소열, 비표면적, 공기량 등으로 결정된다. 개구부 크기 #1에서 최고온도는 1080°C, 1120°C를 기록하였으며, 개구부 크기 #2에서는 약 940°C를 기록하였다. 따라서 본 실험을 통해 개구부 면적이 증가할수록 공기 유입량이 증가하고 최고온도 값이 증가함을 확인할 수 있으며, 해당 실험 조건에서 개구부 면적이 2배 커질수록 최고온도 값이 150°C 이상 증가하는 것으로 나타났다.



(a) Opening Size #1



(a) Opening Size #2

Fig. 4. Results of Real Scale Fire Experiment

화재심각도의 지속시간은 화재하중에 의해 결정된다. 개구부 크기 #1의 경우 일정한 최고온도를 유지하지 않고 100초 이후 완만한 온도상승을 보여 해당 구간에 대한 지속 시간을 비교하였으며, 개구부 크기 #2의 경우 940°C까지 상승한 이후 최고온도를 유지하여 해당 구간까지 도달한 시간을 비교하였다. 개구부 크기 #1의 경우 최대온도 도달시간이 화재하중 30 Mcal/m<sup>2</sup>의 경우 280초, 화재하중 60 Mcal/m<sup>2</sup>의 경우 600초로 약 2배 이상 증가하였다. 개구부 크기 #2의 경우에도 최대온도 도달시간이 화재하중 30 Mcal/m<sup>2</sup>의 경우 75초, 화재하중 60 Mcal/m<sup>2</sup>의 경우 200초로 약 3배 증가하여 개구부 크기 #1과 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 구획공간의 개구부 면적을 동일한 조건에서 화재하중이 다른 경우 화재하중이 클수록 화재 지속시간은 증가한다는 것을 확인할 수 있다. Table 2는 본 실험에서 수행된 개구부 크기 및 화재하중에 따른 상승온도에 대한 결과값을 나타내고 있다.

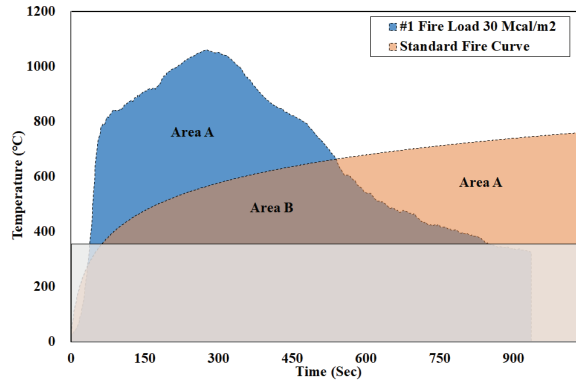
Table 2. Test Results

Fire Load (Mcal/m <sup>2</sup> )	Maximum Temperature Duration Time (sec)	Max. Temperature (°C)
Opening Size #1 (0.8 (L) × 2.4 (H))		
30	280	1120
60	600	
Opening Size #2 (0.4 (L) × 2.4 (H))		
30	75	940
60	200	

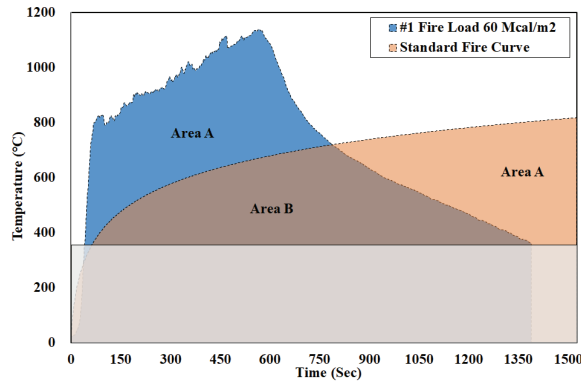
#### 4. 등가화재심각도 및 요구내화시간 산정

성능위주 내화설계 및 평가를 도입하기 위해 국내외적으로 다양한 연구 및 실험이 수행되고 있으며, 캐나다, 영국, 뉴질랜드 등 국가의 경우 약 20년 전부터 성능위주 내화설계를 건축법에 도입하여 건축물에 적용 중에 있다. 국내의 경우 성능위주 내화설계를 위한 설계 절차 및 해석 방법, 제도 등에 관한 연구는 지속적으로 수행되고 있으나, 이를 평가하기 위한 성능위주 내화설계 평가 기준에 대한 연구는 미비한 실정이다.

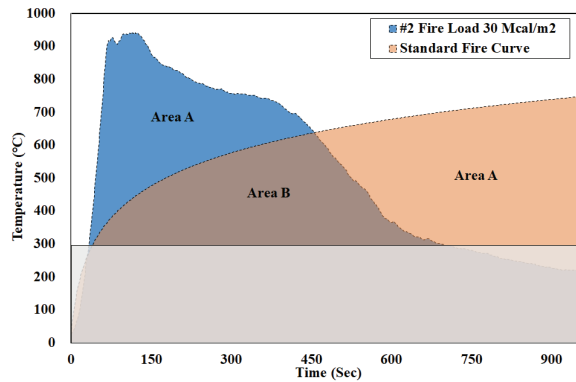
본 연구에서는 화재하중 및 개구부 크기를 변수로 한 구획 화재실험을 통해 실제화재곡선을 표준화재곡선으로 등가치 환하여 성능위주 내화설계 평가 기준으로 활용하고자 한다. 이를 위해 EN 1991-1-2 Annex A Parametric Temperature-Time Curve, Annex F Equivalent Time of Fire Exposure의 개념을 활용하였다(EN 1991-1-2, 2002). Parametric Temperature-Time Curve는 화재 온도 및 시간에 영향을 주는 실제 구획공간 내의 영향인자를 고려한 온도-시간 그래프이며, Equivalent Time of Fire Exposure는 구획공간 화재의 영향인자를 고려



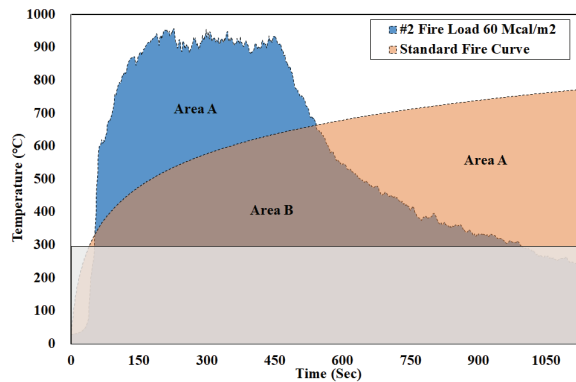
(a) Opening Size #1, Fire Load 30 Mcal/m<sup>2</sup>



(b) Opening Size #1, Fire Load 60 Mcal/m<sup>2</sup>



(c) Opening Size #2, Fire Load 30 Mcal/m<sup>2</sup>



(d) Opening Size #2, Fire Load 60 Mcal/m<sup>2</sup>

Fig. 5. Real Fire vs Standard Fire

하여 표준화재곡선의 시간으로 등가치환하는 것을 설명하고 있다.

Fig. 5는 구획공간의 자연화재곡선을 화재심각도 개념을 통해 등가면적으로 치환하여 표준화재곡선으로 변환한 것을 나타내고 있다. 자연화재곡선과 표준화재곡선의 동일 면적을 갖는 Area B와 구조체에 미비한 영향을 주는 300°C 이하 면적을 제외하고 남은 Area A 면적을 일치시켜 자연화재곡선에서 표준화재곡선으로 등가치환하여 동일한 등가화재심각도를 갖도록 하였다. Fig. 5의 자연화재곡선을 등가치환하여 표준화재곡선의 온도-시간 그래프로 변경한 결과 (a)는 17분, (b)는 25분, (c)는 15분, (d)는 19분으로 계산되었다.

이러한 자연화재곡선과 표준화재곡선간의 등가화재심각도 개념을 통해 실제화재 영향인자를 고려한 구조물의 요구 내화시간을 계산하는 것이 가능하다. EN 1991-1-2에서는 개구부 면적, 구획 구성재료의 열관성, 화재하중 밀도를 통해 구조물의 요구내화성능시간을 산출할 수 있는 등가화재노출 시간을 제시하고 있다. 이 계산법을 통해 최종 도출된 시간은 표준화재곡선의 요구 내화성능 시간을 의미하며 이는 법정내화구조를 통해 정해진 1시간, 2시간, 3시간의 내화성능 기준이 아닌 구획공간의 화재영향인자를 고려한 합리적 내화성능 기준이다. 이러한 내화성능 평가 시간에 따라 구획공간에 적용되는 구조부재의 내화 피복 두께 및 재료 등은 실험내화실험, 화재공학 계산법, 사양 설계 기준을 통해 적용해야 한다. Eq. (2)는 구획공간의 실제화재 영향인자를 고려한 구조물의 요구내화성능시간에 관한 것이며, 이에 대한 상세한 사항은 Yang et al. (2014)에 의해 분석되었다.

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad (2)$$

Eq. (2)에서  $t_{e,d}$ 는 구획공간의 내화성능 기준 시간(분),  $q_{f,d}$ 는 설계화재하중밀도(MJ/m<sup>2</sup>),  $w_f$ 는 환기계수(-),  $k_b$ 는 전환계수(min · m<sup>2</sup>/MJ),  $k_c$ 는 재료보정계수이다.

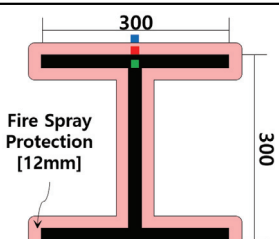
## 5. ABAQUS를 통한 화재곡선별 내화성능 평가

본 연구에서는 구획화재실험을 통해 실제화재곡선과 동일한 화재강도를 갖는 표준화재곡선으로 치환하는 방법에 대해 분석하였다. 추가적으로 등가면적으로 치환된 표준화재곡선이 구획화재의 실제화재곡선과 동일한 화재강도를 나타내는지 검증하기 위해 ABAQUS를 통한 열전달 해석을 수행하였다.

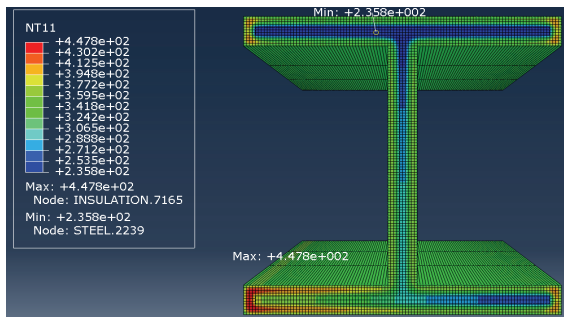
열전달 해석을 위한 화재곡선은 구획공간의 실험화재 실험을 통해 분석된 자연화재곡선과 표준화재곡선을 활용하였다. 단, 본 연구의 개구부 계수 및 화재하중에 따른 자연화재곡선의 경우, 실험 여건상 화재하중을 비교적 작게 설정하여 각 타입별 열전달 해석 결과값이 거의 유사함으로 대표적인 Opening Size #1, Fire Load 30 Mcal/m<sup>2</sup>의 자연화

재곡선에 대해 열전달 해석을 수행하였다. 구조체의 경우 내화피복이 적용된 SS400 (일반구조용압연강재) H형강이며 표준화재곡선과 자연화재곡선의 동일 화재강도를 갖는 16분대까지 내화피복 표면, 내화피복 중심부, 강재의 온도를 비교하였으며 Table 3과 같다.

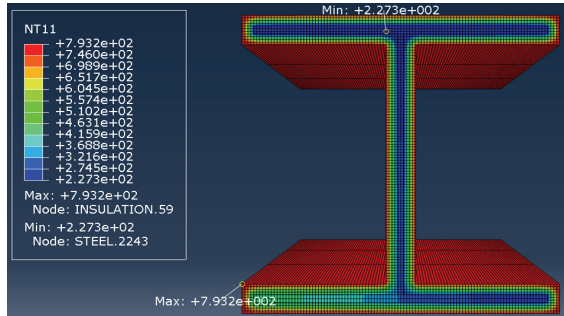
**Table 3.** Analysis Variable and Cross Section

Cross Section & Location of Temperature	Fire Curve, Time
	Natural Fire Curve [NA], 16 mins
	Standard Fire Curve [ST], 16 mins

자연화재곡선 및 표준화재곡선을 변수로 하여 Table 3의 단면에 대한 열전달 해석을 수행한 결과는 Figs. 6, 7과 같다. Fig. 7(a)는 자연화재곡선에 의한 내화피복 표면, 내화피복 중심부, 강재 중심부의 온도를 나타낸 것으로 초기 온도가 상승함에 따라 내화피복 온도가 급상승하다 화재온도가 하강하는 구간부터 내부의 강재로 열전달이 이루어지지 않아 내화피복 중심부 온도가 미소하게 하강하는 것으로 나타났다. 또한 화재시작 후 16분 이후 강재 중심부의 온도는 약 210°C를 나타내었다.



(a) Cross Sections Temperature by Natural Fire

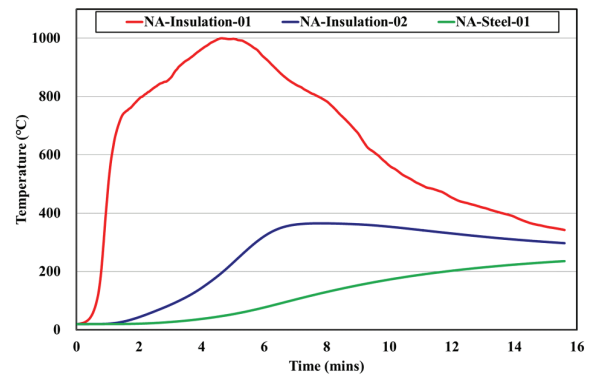


(b) Cross Sections Temperature by Standard Fire

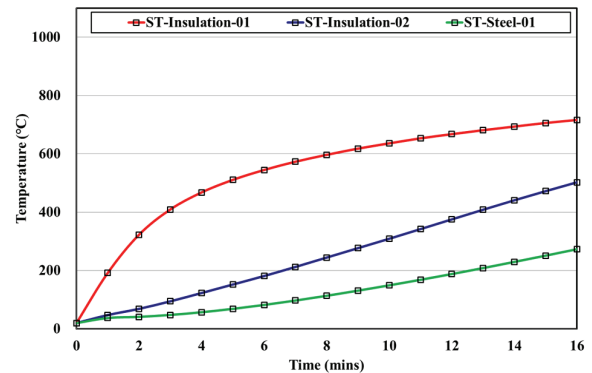
**Fig. 6.** Prediction of Cross Sections Temperature

Fig. 7(b)는 ISO 834의 표준화재곡선을 적용하여 단면의 온도거동을 예측하였다. Fig. 7(a)의 자연화재곡선에 비해 초기 온도상승 폭이 적어 내화피복의 중심부 온도가 완만하게 상승하는 것으로 나타났으며 이에 따라 강재의 중심부 온도는 16분 경과 시 약 220°C로 예측되었다.

Fig. 7과 같이 화재곡선에 따라 강재의 상승온도를 예측해 본 결과 시간-온도가 다른 화재곡선일지라도 동일한 화재강도를 갖는 화재곡선이 적용되는 경우 강재의 상승온도는 거의 유사하게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 실제 구획의 특성을 구현하여 자연화재곡선에 의한 내화실험이 불가능한 경우 표준화재곡선을 등가치환하여 내화실험을 수행하는 것이 가능할 것으로 판단된다.



(a) Cross Section Temperature by Natural Fire Curve



(b) Cross Section Temperature by Standard Fire Curve

**Fig. 7.** Results of Heat Transfer Analysis

## 6. 결론

구조물의 내화성능을 평가하기 위한 실험대형 내화실험의 경우 실제 구획공간의 화재영향인자를 고려한 자연화재조건에 따라 내화성능을 평가하는 것이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 화재하중 및 개구부 면적을 달리하여 실제 구획공간의 화재온도곡선을 도출하였으며, 이러한 자연화재곡선을 등가 치환하여 내화성능 실험에 적용할 수 있는 표준화재곡선에 대해 제시하였다. 또한 이를 토대로 자연화

재곡선과 표준화재곡선이 특정 시간에 동일한 화재하중을 갖는지 예측하기 위해 열전달 해석을 수행하였다.

개구부 면적 및 화재하중을 변수로 하여 실제 구획공간의 온도상승을 측정된 결과 최고온도는 공기의 공급량과 공기 유입속도에 영향을 주는 개구부 면적에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 화재 지속시간은 최고 온도 도달 후 온도가 지속되는 시간으로써 화재하중에 따라 변화하는 것으로 나타났다.

자연화재곡선을 통한 내화성능평가를 수행하기에는 현실적인 한계성이 존재함으로 본 연구에서는 자연화재곡선과 동일한 화재하중을 갖는 표준화재곡선으로 등가치환하여 내화성능을 평가하는 절차에 대해 제시하였다. 등가치환 후 특정 시간대에 대한 표준화재곡선이 결정되면 해당 시간까지 실험 내화실험을 수행하거나 해석을 통해 내화성능을 평가하는 것이 가능하며 이러한 결과는 실제화재곡선과 동일한 화재하중이 적용되었으므로 동일한 결과값을 얻게 된다.

실제화재곡선과 등가치환된 표준화재곡선이 동일한 화재하중을 가지므로 구조부재에 대하여 동일한 온도상승을 나타내는지를 검증하기 위해 ABAQUS를 통한 열전달 해석을 수행하였다. 자연화재곡선에 의한 구조부재의 온도의 경우 온도 상승 후 냉각구간에 접어들어 온도가 일정하게 유지되었다. 표준화재곡선에 의한 구조부재의 온도의 경우 내화회복의 온도상승이 1차적으로 발생한 후 구조부재가 거의 일정한 비율로 온도가 증가하는 것으로 나타났다. 등가치환된 표준화재곡선의 특정시간대에 대한 구조부재의 상승 온도를 예측한 결과 약 10 °C차이로 거의 유사한 것으로 나타났으므로 등가 치환방식을 통해 실제화재곡선을 표준화재곡선으로 구현하는 것이 가능할 것으로 판단하였다. 단, 본 연구에서는 실험 여건상 화재하중 30, 60 Mcal/m<sup>2</sup>에 대한 자연화재곡선만을 고려하여 1시간 이상 구간에 대한 내화성능을 비교하지 못하였으므로 구획공간의 1시간 이상 화재곡선에 대한 추가적인 연구 및 실험이 보완되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2019년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Buchanan, A.H. (2001). *Fire engineering design guide*. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury.
- EN 1991-1-2. (2002). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*. Comité Européen de Normalisation (CEN).
- Hull, W.A., and Ingberg, S.H. (1925). Fire resistance of concrete columns. Notes from the U.S. bureau of standards, Tech paper 272. *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 200, No. 3, pp. 379-381.
- Ingberg, S. (1928a). Fire test of brick joisted buildings. *NFPA Quarterly*, Vol. 22, pp. 62-68.
- Ingberg, S. (1928b). Tests of the severity of building fires. *NFPA Quarterly*, Vol. 22, pp. 43-61.
- Kim, H.Y., Chae, S.U., and Kim, H.J. (2014). Development of frame work for fire resistant design based on performance in domestic. *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 26, No. 6, pp. 35-38.
- Kweon, O., and Kwon, K. (2019). Experimental study of flashover prediction for building. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 1, pp. 161-168.
- Magnusson, S.E., and Thelandersson, S. (1970). *Temperature - Time curves of complete process of fire development*. Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 16, Lund Institute of Technology.

---

<b>Received</b>	September 2, 2019
<b>Revised</b>	September 4, 2019
<b>Accepted</b>	September 16, 2019