건축물의 성능기반 구조내화설계 가이드라인(안) 개발 연구

A Study on Development of the Guideline (Draft) for Performance-based Structural Fire Engineering Design in Building Structures

권인규*

Kwon, Inkyu*

Abstract

A building fire can cause severe loss of life and damage to the property and is regarded as a social disaster. Therefore, employing the fire resistant structures appears to be a potential solution of the stated problem. In this study, the guideline (draft) of the structural fire engineering design, using scientific and engineering methods for evaluation of the structural stabilities in a fire, was developed. Further, by application of the guideline when the desired building is under construction, the rational solution for the improved fire safety and cost competitiveness is expected.

Key words : Structural Fire Engineering Design, Fire Resistant Structures, Design Fires, Parametric Fire Curve

요 지

건축물 화재발생에 의한 주요 구조부재의 내력저하는 인명과 재산피해를 유발하는 중대한 재해이며, 내화구조의 적용은 구조체의 피해규모를 최소화하기 위한 요구조건이다. 본 연구에서는 건축물에서의 화재발생 크기, 구조부재의 내력저하 등을 과학적이고 공학적인 방법을 통하여 예측, 계산함으로써 합리적인 내화성능을 확보할 수 있는 성능기반 구조내화설계의 가이드라인(안)을 개발하였고, 우리나라에서도 구조내화설계 요소기술의 가이드라인을 적용하므로 선진외국과 동일하게 화재 시 건전하고, 합리적인 건축 생산활동이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 구조내화설계, 내화구조, 설계화재, 변수화재곡선

1. 서 론

1.1 연구의 목적

인류의 보다 나은 삶의 질 개선과 안전한 생활 영위를 위한 방향으로 건축기술은 발달하고 있으며, 건축물과 구조물 내에서 발생될 수 있는 화재로부터 안전한 구조 시스템의 개발은 화재 기술자뿐만 아니라 건축주, 건축과 구조설계자 및 감리자 등 모든 건축 관계자에게 매우 중요한 사항으로 인식되고 있다. 특히 우리나라의 경우, 건축물 화재로부터의 인명과 재산을 보호하기 위한 구조체의 보강 노력은 건축

법규와 관련 산업표준의 적용으로 도출된 내화피복 적용으로 이루어지고 있으나, 유럽 및 미국 등에서는 주어진 건축물의 화재 발생 위험성과 건축물의 제반 조건 등을 종합적으로 판단함으로써, 구조부재의 안전성을 확보할 수 있는 구조내화설계 방식을 적용하고 있다. 이와 같은 성능기반 구조내화구조의 합리성에 대해서는 Kwon (2019), LaMalva (2018)는 주장하고 있다.

본 연구에서는 건축 구조물을 대상으로 구획공간에서 발생될 수 있는 화재로부터 재실자와 이용자의 인명 피해 및 재산 피해를 최소화하고, 건축물과 구조물의 안전성을

*교신저자, 정회원, 강원대학교 소방방재공학전공 교수(Tel: +82-33-570-6433, Fax: +82-33-570-6819, E-mail: kwonik@kangwon.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Protection Engineering, Kangwon National University

확보할 수 있는 구조내화설계 가이드라인(안) 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구방법 및 범위

건축 구조물의 화재 시 구조거동 평가는 크게 두 가지 방법으로 진행되어 왔다. 첫째는 구조부재 자체의 고온 시거동을 일정한 크기와 정형화된 시험방법으로 평가하는 사양적 내화설계방법이다. 본 방법은 현재 우리 나라 및 전 세계 공통으로 적용하고 있는 방법으로써, 우리 나라에서는 한국산업규격에서 평가방법을 제시하고 있으며(KS F 2257-1, 2019; KS F 2257-6, 2019; KS F 2257-7, 2019), 건축물의 주요 구조부재인 기둥, 보 등의 표준크기를 대상으로 일정한 화재조건 즉 표준온도 가열곡선과 특정 가열로에 노출시킴으로써 처짐과 순간 변형률 및 온도 변화 등의 구조적 특성 한계를 측정, 평가하고 있다. 따라서 시험 수행, 자료의 축적과 용이한 활용 등의 장점은 있으나, 건축물과 구조부재의 다양성을 충족시키기에는 한계가 있다. 두 번째는 주어진 건축물을 대상으로 화재의 위험성이 가장 높다고 판단되는 구획을 설정하고, 본 구획에서의 화재발생으로 인한 주변 구조부재의 거동을 과학적이고 공학적인 방법으로 평가하는 성능기반 내화설계방법이 있다. 본 연구에서는 후자인 성능기반 내화설계방법을 체계적으로 수행할 수 있는 가이드라인(안)의 요소 기술을 제시하고자 한다.

2. 기존 연구의 고찰

건축 구조물의 화재 시 안전성 평가를 위한 구조내화설계는 유럽 지역에서의 축적된 내화시험자료의 활용에 기반을 두고 있다고 판단된다. 즉, 구조내화설계는 그 동안의 지속적인 구조부재의 내화시험을 통하여 축적된 자료의 유사성과, 화재분야와 공학분야의 기술적 진보에 의한 화재크기 예측과 구조부재의 고온 거동 예측의 신뢰성 향상이 중요한 요소로 작용되었다고 판단되며, 이의 근거로 스웨덴의 SBI (Pettersson et al., 1976), 영국의 BSI (BS 5950-8, 1990) 및 ISE (2020) 등의 기술적 자료를 제시할 수 있다.

뉴질랜드의 경우, 사회 전반적인 개혁의 일환으로 건축법규 또한 성능기반 법률로 개정되면서(Buchanan, 1994), 구조내화설계법이 적용되는 계기가 되었다. 일본의 경우, 종래의 건축법에 제시된 예외적 조항을 확대 개편, 적용하고 있으며, 싱가포르 역시 축적된 화재와 공학분야의 국내외적 성과를 활용하는 성능기반 내화설계를 도입하여 활용하고 있다(SCDF, 2020). 미국의 구조내화설계는 일부 대도시 중심으로 간헐적으로 적용되고 있었으나, ASCE (2018)를 중심으로 연구, 개발된 매뉴얼을 바탕으로 점차 기술의 수준과 적용범위를 확대하는 추세에 있다.

3. 성능기반 구조내화설계 가이드라인(안)개발

주어진 건축물에서의 화재 발생 시 재실자를 건물내외의 피난처로 안전하게 대피할 수 있는 구조 성능 확보가 성능기반 구조내화설계의 목표이다. 본 연구에서는 재실자의 피난에 관한 사항은 논외로 하고, 화재 시의 구조체 성능확보가 가능한 구조설계 방법을 다음과 같이 제시하고자 한다.

3.1 구조내화설계 목적과 적용 범위

본 가이드라인(안)은 화재 시 재실자가 피난층 또는 안전한 곳으로 대피하기 위한 시간을 확보하기 위하여 기둥부재, 바닥부재 및 보부재 등 각 내력적 요소의 단독 및 연속적 붕괴방지를 위한 내화성능확보 방안 제시를 목적으로 하고, 건축 구조물에서 화재 발생 시 재실자, 이용자의 인명피해를 최소화하기 위하여 표준온도 가열곡선 또는 대상 화재구획 내의 가연물량을 열원으로 화재크기를 예측하고, 열전달 및 열응력해석 등을 통하여 구조부재의 구조적 안전성 평가를 범위로 한다.

3.2 용어 정의

본 가이드라인(안)에 적용되는 용어는 다음에 제한된 용어와 한국산업규격에 정의된 용어(KS F ISO 13943 (화재관련용어, 2017))과 KS B ISO 8421-1 (소방 용어-제1부: 화재 현상 및 일반 용어, 2017)의 용어를 사용할 수 있다.

- 성능적 구조내화설계: 건축 구조물을 대상으로 하고, 설정된 구획내의 가연물량을 열원으로 구획 내부의 화재크기 예측과 구획 내부의 기둥부재, 보부재 등의 내력 평가를 수행하는 과학적이고 공학적 기술을 적용한 설계 방법. 공학적 내화설계, 성능기초 내화설계로 통용되기도 함.
- 화재해중밀도: 화재가 발생할 때 주어진 공간내의 가연물량의 총에너지량(Kcal/m²)
- 가용안전대피시간(Available Safe Egress Time, ASET): 재실자가 피난할 수 있는 시간 또는 부적합한 구조적 상태와 개인적 방어가 불가능한 조건이 되기 전에 피난할 수 있는 시간
- 요구안전대피시간(Required Safe Egress Time, RSET): 재실자가 착화시점부터 대피하거나 안전한 장소에 도착할 때까지 소요되는 시간

3.3 기술적 기준

화재 시 구조부재의 성능적 내화설계를 위해서는 본 가이드라인(안)에 제시된 기술적 기준을 준수하여야 함과 동시에 각 구조형식별 건축 관련법령 및 한국표준규격에 적합하여야 한다. 특수한 구조인 경우는 별도의 규정으로 정할 수 있으며, 본 기술적 기준에 제시되지 않은 새로운 방법은 제3의 평가(동료평가)를 통하여 적용할 수 있음을 원칙으로

한다. 본 연구에서는 개발된 기술적 기준의 주요 부분만 요약하여 제시하고자 한다.

3.3.1 가용안전대피시간 및 요구안전대피시간

가용안전대피시간과 요구안전대피시간 산정방법은 한국의 산정방법 및 국제표준화기구(ISO/TR 16738, 2009), 미국의 화재기술자협회(SFPE, 2003)에서 적용하고 있는 자료를 이용할 수 있으며, 그 결과는 충분히 검증 가능하여야 한다.

3.3.2 화재크기 산정

구획내의 화재크기 도출은 크게 두 가지로 대별된다. 첫 번째는 한국산업규격에 제시된 각종 내화성능평가실험 등에 적용되는 표준온도가열곡선이다. 즉 한국산업규격인 KSF 2257-1 (2019)에 정의된 표준화재곡선이 여기에 해당된다. 두 번째는 주어진 건축물의 구획내 가연물량과 개구부 특성에 따라 결정되는 자연화재곡선이다. 자연화재곡선은 전 세계에서 다양한 실험과 해석으로 도출된 자료가 있으며, 대표적인 방법으로써는 기존 연구의 사례 등에 적용된 스웨덴 방법과 유러코드에 제시된 방법이 있다.

3.3.2.1 표준화재곡선(Standard Fire Curve)

건축재료와 구조요소의 내화성능은 대부분의 국가에서 대형크기의 내화시험(Full-size Fire Resistance Tests)에 의존하고 있다. 이와 같이 내화시험에 적용되는 시간-온도곡선을 표준화재곡선(Standard Fire)라 한다.

전 세계적으로 알려진 대표적인 시험규격은 한국의 KS F 2257-1 (2019), ISO 834 (2019), ASTM E119 (2019)과 BS 476: Parts 20 (1987)가 있다.

KS F 2257-1 및 ISO 834규격에서의 온도 $T(^{\circ}\text{C})$ 는 Eq. (1)과 같다.

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + T_0 \quad (1)$$

여기서, t = 시간(분), T_0 = 주위 온도($^{\circ}\text{C}$)이다.

3.3.2.2 설계화재(Design Fires)

건축물 화재크기는 건축물 내부의 가연물량, 환기계수 및 구획재료의 열 특성에 좌우되고, 이에 따라 발생된 시간-온도 특성을 설계화재라고 한다. 설계화재를 구하는 방법으로는 수계산법(Hand Methods), 기준곡선 이용법(Published Curves) 및 변수화재곡선법(Parametric Fires) 등이 있다.

(1) 수계산법

가장 간단하면서 정밀성이 떨어지는 방법으로서, Fig. 1과 같이 연소기간 동안 화재는 일정한 온도를 가진다고 가정하는 방법이다.

Fig. 1. Hand Method

이러한 시간-온도 곡선은 간단한 설계에 대해서는 정확하며, 적용 화재온도는 화재하중의 크기에 따라 구분하고, 화재하중이 높은 곳에서는 Eqs. (2)와 (3)을 적용한다.

$$T_{max} = 6,000(1 - e^{-0.1\Omega})/\sqrt{\Omega} \quad (2)$$

$$\text{여기서 } \Omega = \frac{A_t - A_v}{A_v \sqrt{H_v}} \quad (3)$$

여기서, A_t : 내부 전체면적(개구부 포함, m^2)

A_v : 창개구부 면적(m^2)

H_v : 창문높이(m)

화재하중이 낮은 곳에서는 Eqs. (4)와 (5)를 적용한다.

$$T = T_{max}(1 - e^{-0.05\psi}) \quad (4)$$

$$\text{여기서 } \psi = \frac{L}{\sqrt{A_v(A_t - A_v)}} \quad (5)$$

여기서, L = 화재하중(kg, 목재환산량)

화재하중의 높고, 낮음에 대한 기준은 설계자의 재량에 따를 수 있으나, 본 연구에서는 유러코드 제시된 용도 중에서 상대적으로 낮은 공공용 운송수단의 화재하중밀도 100 MJ/m^2 로 설정하였다.

(2) 변수화재곡선

본 화재곡선은 모든 종류의 화재하중, 환기 개구부 및 벽체 마감재료와의 조합으로 도출될 수 있으며, 유러코드(EN 1991-1-2, 2002)에 규정되어 있고, 크기는 Eq. (6)을 이용한다.

$$T = 20 + 1,325(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*}) \quad (6)$$

여기서

$t^* = \Gamma t$ 로 주어진 시간[시간]

t : 시간[시간]

$\Gamma = [O/b]^2 / (0.04/1,160)^2$ [-]
 $b : \sqrt{\text{열관성}} = \sqrt{\rho c \lambda}$ [$J/m^2 s^{1/2} K$]
 ρ : 구획경계 밀도 [kg/m^3]
 c : 구획경계의 비열 [J/kgK]
 λ : 구획경계의 열전도율 [W/mK]
 O : 개구부 계수, $A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$ [$m^{1/2}$]
 A_v : 모든 벽체의 수직 개구부 전체 면적 [m^2]
 h_{eq} : 모든 벽체의 창문 높이의 평균 [m]
 A_t : 구획의 전체 면적 [m^2]

이외 다양한 지역과 기관에서 개발된 설계화재곡선이 있으며, 이러한 곡선을 사용할 경우, 그 타당성에 대해서 명확한 자료의 제시와 검증이 가능하여야 한다.

3.3.3 열전달 해석

표준화재곡선 또는 설계화재곡선을 이용하여 해당 화재 구획내의 구조부재의 온도를 예측할 수 있는 방법은 대류 및 복사에 의한 열전달 방법과 해당 구조부재 내부의 온도 예측을 위한 열전도에 의한 열전달 방법으로 구분될 수 있다. 화재곡선과 강구조 부재 표면간의 열량은 Eq. (7)과 같다.

$$Q = \alpha F_s (\theta_t - \theta_s) \Delta t \quad (Kcal/m, J/m) \quad (7)$$

여기서,

α : 곡선과 강재표면간의 표면열전달계수
 ($Kcal/m^2 \text{ } ^\circ C h, W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 F_s : 화재에 노출되는 단위길이 당 강재 단면
 표면적 (m^2/m)
 θ_t : 시간 t에서의 화재구획내의 화재온도곡선 ($^\circ C$)
 θ_s : 시간 t에서의 강재단면의 온도 ($^\circ C$)
 Δt : 시간 간격 (h, s)

열량의 계산은 Eq. (8)과 같다.

$$Q = c_{ps} \Delta \theta_s V_s \gamma_s \quad (Kcal/m, J/m) \quad (8)$$

여기서,

c_{ps} : 강재의 비열 ($Kcal/kg \text{ } ^\circ C, J/kg \text{ } ^\circ C$)
 $\Delta \theta_s$: 강재의 온도상승 ($^\circ C$)
 V_s : 강재단면의 길이 당 체적 (m^3/m)
 γ_s : 강재 밀도 (kg/m^3)

3.3.4 열응력 해석

건축 구조물이 화재조건에 노출되었을 때 주요 구조부 각 요소의 열 반응을 예측하는 것은 해당 구조물의 안전성 확보에 매우 중요한 요소이다. 화재 시의 각 구조 요소들은

열에 의한 팽창 및 수축으로 해당 부재의 내력저하뿐만 아니라 인접 구조부재로의 압축, 인장 및 처짐 등을 유발시킴으로써 점진적인 내력저하를 발생시켜 전체적인 구조적 안전성을 저하시킬 수 있다.

3.3.4.1 내화시험을 통한 부재의 열응력 평가

우리 나라의 경우는 기둥부재와 보부재 그리고 바닥 구조 부재를 대상으로 한국산업규격에 의한 표준온도가열곡선에 의한 재하가열, 비재하가열시험이 수행되고 있다.

영국의 경우, 형강의 크기에 따른 화재노출비의 성능 저하률이 다름에 주목하여 단면형상계수를 설정되고, 가열 환경에 노출된 금속부재에서의 온도상승은 가열주장(H_p)과 단면적(A)간의 비로써 평가된다. 본 비는 BS 5950-8 (1990)에 단면형상계수(m^{-1})로 언급되고 있다. 이와 같은 부재의 내화시험을 통한 열응력 평가는 해석적 조건으로 예측하는 것보다 더 정확한 거동을 실증적으로 수행할 때 요구된다.

3.3.4.2 부재의 고온 설계

화재 시 구조부재는 부재의 표면온도의 변화에 다른 내력적 변화를 수반하게 되고, 이와 동시에 구조물에 부가되는 하중의 크기에 지배를 받게 된다. 따라서 구조부재는 작용하중에 의한 부재력이 유지되어야만 구조적 안전성을 확보할 수 있는 상태가 되며, 고온 시의 각 구조부재의 내력 평가 시에 적용한다.

화재 시 구조부재의 한계상태를 평가하기 위해서는 하중 조건 설정 시 하중계수의 설정이 요구되나, 우리 나라에서는 화재 시 한계상태설계를 위한 하중계수가 설정되어있지 않다. 따라서 향후 구조적인 화재 시 한계상태설계를 수행하기 위해서는 다음과 같은 하중계수의 설정이 요구되며, 유럽과 미국에서 사용되는 하중계수값이 적용될 수 있을 것이다. 구조부재가 화재가 발생하였을 때의 안전성을 유지할 수 있는 경계를 판단하기 위함으로 항상 Eqs. (9)와 (10) 그리고 AISC, ASCE의 기준을 만족해야만 한다.

$$R_{d,t} \geq E_{d,t} \quad (9)$$

하중계수는 전체 설계하중($E_{d,t}$)을 계산하기 위해서 건축물의 고정하중(G_k), 적재하중(Q_k)과 관련되어 있고, 부분안전계수는 Table 1과 같다.

$$E_{d,t} = \gamma_G G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,1} Q_{k,1} + \Sigma F_d \quad (10)$$

AISC (2016)에서는 화재 시의 하중조합 및 요구강도를 Eq. (11)과 같이 정의하고 있다.

$$(0.9 \text{ 또는 } 1.2)D + AT + 0.5L + 0.2S \quad (11)$$

Table 1. Reduction Factors

Loads	Ψ_1	Ψ_2
Dead load	1.0	-
Additional loads: Fixed partition	1.0	1.0
Live loads (DD ENV 1991-2-2): Escape stairs, lobby	1.0	1.0
Residential	0.5	0.3
Office	0.5	0.3
Complex	0.7	0.6
Commercial	0.7	0.6
Industrial	0.9	0.8
Roof	0.0	0.0

여기서, D : 공칭고정하중, AT: 설계화재에 의해 발생한 힘과 변형, L: 공칭 점유자 적재하중, S: 공칭 적설하중

ASCE/SEI 7-16 (ASCE, 2016)에서는 특이한 경우에 대한 하중조합에 대해서 Eq. (12)와 같이 제시하고 있다.

$$(0.9 \text{ 또는 } 1.2)D + Ak + 0.5L + 0.2S \quad (12)$$

0.9는 고정하중의 효과가 구조체에 안정적일 때 적용하고, 그렇지 않을 경우는 1.2를 사용한다.

여기서, D : 고정하중, Ak: 특이한 사건 A에 의해서 유발되는 하중 또는 하중효과, L: 적재하중, S: 적설하중

따라서 부재의 고온 설계 시에는 적용 하중조합의 크기 등을 포함하는 설계기준에 대한 명확한 근거를 제시하여야 한다.

3.3.4.3 고온 특성

고온 시 열응력 해석을 수행하기 위해서는 다양한 재료의 고온 기계적 특성이 요구되며, 대표적인 특성치인 항복강도, 탄성계수가 필요하게 된다. Fig. 2는 일반적인 구조용 강재의 응력-변형특성이며, 국내 대표적 강종의 고온 기계적 특성은 Table 2와 같다(KICT, 2018).

Fig. 2. Stress-strain Model for Structural Steels**Table 2.** Mechanical Properties at High Temperatures of Structural Steels

Sorts	Properties	Range	Regression equations
SM 275A	YP	$T \leq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$	240 MPa
		$200 \text{ }^{\circ}\text{C} < T$	$-0.29T + 293.44$
	EM	$T \leq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$	210 GPa
		$200 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T$	$-0.26T + 216.18$
SM 355A	YP	$T \leq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$	450 MPa
		$200 \text{ }^{\circ}\text{C} < T$	$-0.41T + 396.58$
	EM	$T \leq 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$	210 GPa
		$200 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T$	$-0.26T + 264.35$

고온 시의 열응력 해석을 위한 구조용 재료의 고온 기계적, 열적 특성은 국내 및 국외 자료의 활용이 가능하며, 적용 재료의 출처 등은 반드시 제시하여야 한다.

3.3.4.4 고온 거동해석 프로그램

화재와 같은 고온에 노출된 구조부재의 거동을 평가하기 위해서는 다양한 구조해석 프로그램이 사용될 수 있다. 대표적인 상업용 유한요소 해석 프로그램에는 DIANA, ABAQUS, ANSYS 등이 있고, 기타 화재 전용 해석 프로그램인 VULCON, SAFIR 등이 있다. 기타 이외에 구조물 해석을 위한 프로그램을 사용할 수도 있다.

이와 같은 해석 프로그램을 사용하는 것은 설계자가 자유의사이며, 가장 중요한 것은 해석된 결과의 신뢰성이다. 따라서 어떠한 해석 프로그램을 사용하더라도 입력된 자료와 결과를 반드시 보고서에 제시하여야 한다.

3.3.4.5 거동 허용범위

설계자는 화재 발생 시 재실자가 안전하게 피난중이나 피난안전구역 등으로 대피할 수 있는 시간적 제한에 대한 구조물의 안전성은 확인이 되어야 하며, 대안으로 건축물에 존재하는 가연물질의 전소에 의한 열영향으로부터 해당 구조물의 안전함이 확인되어야 한다. 즉, 화재 시 구조부재의 거동한계는 원칙적으로 구조적 붕괴가 발생되지 않아야 한다. 따라서 본 가이드라인(안)에 따라 기둥부재 및 보부재 등의 구조적 내력을 평가하였을 경우, 다음과 같은 범위내임을 확인하여야 한다.

(1) 축부재

기둥부재와 내력벽체와 같은 축방향 부재에 대해서는 한국산업규격(KS F 2257-1, 2019)에 정의된 축방향 수축과 축방향 변형량이 발생되지 않아야 함을 증명하여야 한다. 축방향 수축량은 Eq. (13)과 같다.

$$C = \frac{h}{100} \quad (13)$$

여기서, C : 처짐량(mm)
h : 부재의 높이

(2) 수평부재

보부재와 바닥부재의 경우, 본 가이드라인(안)에 따라 구조적 내력을 평가하였을 때, 변형량이 다음과 같은 범위 이내 임을 확인하여야 한다. 변형량은 Eq. (14)와 같다.

향후 콘크리트 바닥부재의 멤브레인 작용에 의한 작은 보부재의 거동에 대해서는 해석과 실험 등의 연구가 필요하다고 판단된다.

$$D = \frac{L^2}{400d} \quad (14)$$

여기서, D : 변형량(mm)

L : 부재의 스펜

d : 구조단면의 최대 압축력을 받도록 설계된 위치에서 최대 인장력을 받도록 설계된 위치까지의 거리(mm)

(3) 피난경로와 피난계단

설계자는 재실자 피난 경로를 지지하는 바닥의 화재유발 처짐을 평가해야 하고, 처짐의 한계는 수평부재 평가한계인 L/30로 한다. 또한 피난계단을 지지하는 구조적 시스템의 능력을 평가해야 하며, 처짐한계는 보수적인 L/480을 적용한다.

여기서 L : 스펜(mm)

4. 결 론

건축물과 구조물의 화재 발생 시 재실자와 재산의 피해를 최소화하기 위한 성능기반 구조내화설계 가이드라인(안)을 개발하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 성능기반 구조내화설계 가이드라인(안)의 궁극적 목적은 인명피해 최소화이며, 구조체는 화재 시 재실자가 피난을 할 수 있는 시간을 확보하여야 하고, 붕괴되어서는 안된다.
- (2) 구조물의 고온 내력평가에 적용되는 요소기술은 설계 화재결정, 부재온도 계산 및 고온내력평가 등으로 이루어진다.
- (3) 부재의 고온내력평가에 적용되는 요소기술은 반드시 검증, 가능하여야만 한다.
- (4) 향후 구조내화설계된 건축 구조물의 검증, 시공, 검사 및 유지관리의 종합 시스템 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구비는 국토교통부 도시건축사업 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 20AUDP-B100356-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- American Institute of Steel Construction (AISC). (2016). *Specification for structural steel buildings*. ANSI/AISC 360-16, Chicago, IL, USA.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *Minimum design loads and associated criteria for building and other structures*. ASCE Standard ASCE/SEI 7-16, American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2018). *Structural fire engineering*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 138.
- ASTM E119. (2019). *Standard test methods for fire test of building construction and materials*. American Society for Testing and Materials.
- BS 476: Part 20. (1987). *Fire tests on building materials and structures. Method for determination of the fire resistance of elements of construction (general principles)*. British Standards Institution (BSI).
- BS 5950-8. (1990). *Structural use of steelwork in buildings. Code of practice for fire resistant design*. British Standards Institution (BSI).
- Buchanan, A.H. (1994). *Fire engineering design guide*. Christchurch, New Zealand: Centre for Advanced Engineering (CAE).
- EN 1991-1-2. (2002). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions- Actions on structures exposed to fire*. European Committee for Standardization (CEN).
- ISO 834. (2019). *Fire resistance test. Elements of building construction*. London, UK: International Standard for Organization.
- ISO/TR 16738. (2009). *Fire-safety engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*. International Standard for Organization.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2018). *Development of standard for the performance based fire design and guideline*. Fire Research Group, KICT.

- KS B ISO 8421-1. (2017). *Fire Protection – Vocabulary- Part 1: General terms and phenomena of fire*. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS F 2257-1. (2019). *Methods of fire resistance test for elements of building construction – General requirement*. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS F 2257-6. (2019). *Methods fire resistance test for elements of building construction – Specific requirements for beams*. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS F 2257-7. (2019). *Methods fire resistance test for elements of building construction – Specific requirements for columns*. Korean Agency for Technology and Standards.
- KS F ISO 13943. (2017). *Fire Safety- Vocabulary*. Korean Agency for Technology and Standards.
- Kwon, I.K. (2019). Current status and prospect of performance based fire engineering design. *Review of Architecture and Building Science*, Vol. 63, No. 11, pp. 29-32.
- LaMalva, K.J. (2018). *Developments in structural fire protection design: A US perspective*. New ASCE/SEI 7 Standard, The Institute Structural Engineer, pp. 25-29.
- Pettersson, O., Magnusson, S.E., and Thor, J. (1976). *Fire engineering design of steel structures*. Swedish Institute of Steel Construction.
- Singapore Civil Defence Force (SCDF). (2020). *Fire safety*. Retrieved from www.scdf.gov.sg.
- Society of Fire Protection Engineer (SFPE). (2003). *Engineering guide to human behavior in fire*. Bethesda, MD: Society of Fire Protection Engineers.
- The Institute of Structural Engineers (ISE). (2020). *Introduction to structural fire engineering*.

Received	March 19, 2020
Revised	March 20, 2020
Accepted	April 2, 2020