설비관통부 충전시스템의 성능기준 현황과 현장시공 개선안에 관한 연구

Study of Performance Standard and Improvement of On-Site Construction of Through-Penetration Firestop System

조규환* · 전기수** · 인기호*** · 여인환****

Cho, Gyuhan*, Jeon, Kisoo**, In, Kiho***, and Yeo, Inhwan****

Abstract

According to the detailed guidelines for firestops, a through-penetration firestop system should be installed in a building to prevent the spread of fire when there is a gap in fire compartments due to the penetration of pipes, cable trays, etc. However, the inspection of 39 construction sites in Korea has revealed that the existing firestop system involves complex installation processes of 4~7 steps, resulting in wide variations in the quality of construction depending on situations at the construction site or the proficiency of workers. Furthermore, there are sites where firestop systems are not constructed due to the lack of knowledge of the builders. Thus, this study aims to set up a proper guide for firestop systems as per the rules, notices, and guidelines of Korea, and suggest a technical improvement plan for through-penetration firestop systems that can achieve the required fire resistive-performance while involving only 1~2 steps for the installation processes.

Key words : Fire Compartment, Through Penetration Firestop System, Fire Resistance Performance

요 지

설비관통부 충전시스템은 배관 및 전선트레이 등의 관통으로 인해 방화구획에 틈이 발생하는 경우에 설치하는 것으로서 내화충전구조 세부운영지침에 의거 화재확산 방지를 위해 반드시 시공되어야 한다. 하지만 광역별로 39개의 건설현장을 모니터링한 결과, 4~7단계로 이루어지는 복잡한 시공절차로 인해 현장의 상황이나 시공자의 숙련도에 따라서 품질의 편차가 큰 것을 확인하였다. 심지어, 시공자의 제반지식 부족으로 인해 시공이 아예 이루어지지 않은 현장 또한 존재하는 것으로 나타났다. 이에 본 논문에서는 규칙, 고시, 지침 등에서 기술하고 있는 내화충전구조를 정리하여 충전시스템에 대한 올바른 계도를 목적으로 함과 동시에 1~2단계의 시공절차만으로도 충전시스템의 요구 내화성능을 만족시킬 수 있는 기술적인 개선안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 방화구획, 설비관통부 충전시스템, 내화성능

*정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구원(E-mail: jgh1023@kict.re.kr)

Member, Researcher, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**한국건설기술연구원 화재안전연구소 선임연구원

Research Specialist, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***한국건설기술연구원 화재안전연구소 선임기술원

Senior Technician, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

****교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 화재안전연구소 연구위원(Tel: +82-31-369-0514, Fax: +82-31-369-0670, E-mail: yeo@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Research Fellow, Department of Fire Safety Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

1. 서 론

건축물에서의 방화구획은 화염과 연기 확산을 방지하는 방호공간으로서 중요한 역할을 담당하지만 경계선에 위치하는 구획부재 및 설비가 올바른 내화성능을 발휘하지 못할 경우에는 건잡을 수 없는 대형 화재로 확대될 우려가 있다. 약 130여명의 사상자를 낸 의정부 생활주택 화재는 화재에 취약한 건물 외장재와 함께 방화구획 내 설비관통부를 통한 확산이 급격한 화재의 원인으로 알려져 있다(Fig. 1). 따라서 건물 외장재에 대한 제도적인 규제 및 기술적인 화재안전성 확보와 더불어 건물 내 화재확산의 주된 경로가 될 수 있는 방화구획의 개구부 및 관통부에는 내화성능이 확보된 방화문, 충전시스템 등이 반드시 적용되어야 한다.

Fig. 1. Fire Accident of Uijeongbu Urban Housing

이처럼 설비관통부 충전시스템은 방화구획을 유지하기 위한 필수부가결한 요소이지만 제도적인 측면에서의 미비와 품질확보에 대한 건설현장의 책임의식 부족으로 인해 올바른 시공이 이루어지지 못하는 경우가 많다(Fig. 2). 이에 국토교통부와 한국건설기술연구원은 2015년부터 2016년에 걸쳐 국내 6개 권역 총 39개 아파트 건설현장의 45개 충전시스템을 대상으로 모니터링을 실시하였다. 그 결과, 미시공된 현장이 7곳, 시공오류는 3곳으로 조사되었으며 채취된 시료 35개 중 25개만이 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다(KICT, 2017). 결과적으로 전체 45개 중 25개만 적합한 것으로 나타나 적합률은 55.6%에 그치는 것으로 조사되었다(Fig. 3). 이처럼 적합률이 낮았던 이유로는, 시공자의 책임의식의 결여 외에도 충전시스템이 갖는 복잡한 방식의 시공절차에서도 그 원인을 찾아볼 수 있다. Jang et al. (2017)은 공정별로 충전시스템을 구성하는 재료와 공법, 시공사례 분석을 통해 현장의 상황과 시공자의 숙련도에 지배되는 성능확보의 불확실성을 지적하였으며, 이를 해결하기 위한 방안으로 시공자의 전문성 강화와 더불어

Fig. 2. Omitted Through Penetration Firestop System and Spread of Fire

Fig. 3. Monitoring Results of Through Penetration Firestop System

체계적인 공정관리시스템의 도입을 주장하였다.

이처럼 일반적인 설비관통부 충전시스템은, 내부에 충전재(팽창재, 단열재/보온재)를 포함하고 외부에 구획부재(슬래브, 벽)와의 결합 및 지지를 위한 고정재 등이 설치되기 때문에 여러 단계의 시공절차를 필요로 한다. 이 같은 복잡한 구성과 다단계의 시공절차는 건설현장의 상황이나 시공자의 숙련도에 따라 품질이 좌지우지되는 우려를 낳게 되는 것이다.

따라서 본 논문에서는 우리나라의 규칙, 고시, 지침 등에서 기술하고 있는 내화충전구조를 정리하여 충전시스템에 관한 올바른 계도를 목적으로 함과 동시에 1~2단계의 시공절차만으로도 충전시스템의 요구 내화성능을 만족시킬 수 있는 기술적인 개선안을 제시하여, 건설현장에서 발생될 수 있는 시공오차를 줄이는데 도움이 되고자 한다.

2. 우리나라의 내화충전구조

우리나라의 경우, 내화충전구조와 관련해 규칙, 기준, 지침으로 세분화 또는 변경되어 오는 과정에서 용어 표기에 대한 변경이 수차례에 걸쳐 이루어 졌다. 지금에 사용되고 있는 내화충전구조는 국토교통부 고시 제2016-416호에서 정의한 용어로서 배관, 전선관 등이 관통하는 부분에 설치되는 설비관통부 충전시스템과 커튼월 벽체와 바닥판 틈새에 설치되는 선형조인트 충전시스템(일반 선형조인트 충전시스템/커튼월 선형조인트 충전시스템)으로 분류할 수 있다. Fig. 4는 규칙, 기준, 지침에서 사용되고 있는 내화충전구조와 관련한 용어들을 구분하여 정리한 것이다.

Fig. 4. Classification of Firestop Words used in Enforcement Rule, Criteria/Notification, Guideline

내화충전구조는 화염 및 열의 전파를 제어하는데 있어 기본적으로 구획부재와 동일한 내화성능을 확보해야 하며 방화구획 밖으로 일정시간 동안 화재가 확산되지 않도록 방호해야 하는 의무를 가지고 있다.

우리나라에서는 1999년을 시작으로 지금의 [내화충전구조 세부운영지침]에 이르기까지 방화구획 관통부에 대한 제도들을 계속해서 변경해 왔다. Table 1은 방화구획 관통부와 관련된 제도의 변천을 나타낸 것이다(KICT, 2008, 2013, 2015).

Table 1. Transition of Domestic Systems Related to Firestops of Fire Compartment

Date of proclamation (Related regulations)	Details	Remarks
May 7, 1999 (Ministry of Construction and Transportation Degree No.184 'Enforcement Rule*')	<Article 14, Paragraph 2, Subparagraph 2> If water pipe, electric rid, or other pipes are penetrating the fire compartment part, the gap between such pipe and fire compartment shall be filled with cement mortar or other incombustible material.	Transfer of Enforcement Rule of Building Act according to enactment of 'Enforcement Rule of Criteria on Evacuation, Fire Protection Construction, Etc. of Buildings'
June 29, 2006 (Ministry of Construction and Transportation Degree No.523 'Enforcement Rule*')	<Article 14, Paragraph 2, Subparagraph 2> If water pipe, electric rid, or other pipes are penetrating the fire compartment part and a gap in fire compartment is caused accordingly, the gap shall be filled with one of the following items: A. A structure with fire resistance performance approved by Korean Industrial Standard according to 「Industrial Standardization Act」; B. A structure with fire resistance performance approved by the President of Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology according to the criteria decided and announced by the Minister of Construction and Transportation.	—
May 15, 2008 (Ministry of Land Infrastructure and Transport Notification No. 2008-154 'Fire Resistance Structure Recognition and Management Standards')	<Article 7, Subparagraph 7> "Firestops" are structures for preventing spread of fire through the gap between horizontal/vertical penetration part, joints, curtain walls and floor in fire compartment, and they are conforming to the following items: A. Incombustible materials under Article 6 of enforcement rule which are sealed tightly and have no crack after hardening; B. Materials or systems with the approved result of the test performed according to procedures, methods and criteria decided by "Detailed Guidelines for Firestops" under Article 21.	Define systems such as through penetration firestop system as firestop and prepare technical standards
July 8, 2008 (Detailed Guidelines for Firestops)	<Article 1, Paragraph 1> The purpose of 「Detailed Guidelines for Firestops」 is to regulate details required for procedures, methods and criteria of verifying performance of fireproof structures among 「Fire Resistance Structure Recognition and Management Standards」(Ministry of Land Infrastructure and Transport Notification No. 2008-154), which is announced according to Article 3, Subparagraph 8 and Article 14, Paragraph 2, Subparagraph 2 of 「Enforcement Rule of Criteria on Evacuation, Fire Protection Construction, Etc. of Buildings」.	Specify performance verification procedures, test methods and judgment criteria Recently, the revision was made to 2016

* Enforcement Rule: Enforcement Rule of Criteria on Evacuation, Fire Protection Construction, Etc. of Buildings

한편, 우리나라는 설비관통부 충전시스템에 대한 표준화된 시험방법 및 평가기준이 마련되어 있지 않다가 2008년 3월 KS F ISO 10295-1(건축 부재의 내화 시험방법-충전시스템-제1부: 설비관통부 충전시스템)이 제정되었다. 이 KS 표준은 2007년에 제1판으로 발행된 ISO 10295-1(Fire tests for building elements and component-Fire testing of service installing-Part1:Penetration seals)에 기초하여 작성된 것으로서 설비관통부 충전시스템의 내화성능 평가방법을 구체적으로 설명하고 있다. 그러나 KS F ISO 10295-1은 시험 표준으로서, 국토교통부 정책에 따른 후속 기준으로서의 활용에 한계가 있으며 내화성능 시험을 의뢰한 신청자와 시험기관 사이의 협의 또는 시험 중 임의적 판단이 가능한 부분에 대해서 선택적으로 적용할 수 있도록 구성되어 있다. 이에 한국건설기술연구원에서는 이러한 부분들을 일원화하여 일관성 있는 시험이 될 수 있도록 [내화충전구조 세부운영지침]을 작성, 국토교통부의 승인을 받아 내화시험에 활용하고 있다.

Table 2는 설비관통부 충전시스템의 내화시험과 관련해 국내외 평가제도와 내화성능 판정기준을 비교한 것이다 (Cho et al., 2004; Yeo and Yoon, 2010). 미국이 주수시험을 추가한 것 외에 대부분의 국가에서는 내화시험을 수행하도록 되어 있으며, 차열성능과 차염성능을 내화성능의 판단 근거로 삼고 있다.

3. 설비관통부 충전시스템의 기술적 개선안

3.1 일체형 방식

Fig. 5는 종래의 설비관통부 충전시스템과 함께 개선안인 일체형 충전시스템을 비교한 것이다. 모든 충전시스템은 화재 시 발포재가 발포됨으로서 관통부를 메우는 원리를 기본으로 하고 있다. 본 논문에서 제안한 일체형 충전시스템도 발포 원리를 기본으로 하는 점은 종래의 시스템과 동일하지만 시공절차의 간소화 측면에서는 차이가 많다. 종래의 충전시스템은 콘크리트를 타설하기 전, 관통부의 확보를 위해 슬리브를 우선 설치하며 이후, 슬리브와 파이프 사이에 충전재(발포재, 단열재/보온재)를 삽입하는 방식이다. 그러나 본 연구에서는 슬리브 자체에 발포기능을 도입하여 화재 시에 관통부를 메울 수 있도록 유도하였다.

발포성 슬리브의 원료는 팽창흑연, 폴리에틸렌, 기타 조성제(응집제, 소성제), 펠릿 등이 적정 비율로 혼합된 것이며, 일반적인 슬리브와는 다른 형태를 가지고 있으므로 몰드를 따로 제작하여 성형하였다. 상기 원료들 중 발포를 위해 사용된 흑연(Graphite)은 탄소 원자가 평면 육각형의 형태로 결합된 결정체로서 겹겹하게 쌓인 층상구조의 형상을 하고 있다. 이 층상 사이에 황 또는 질소화합물을 주입한 후, 열을 가하게 되면 그 층이 아코디언과 같이 분리되면서 입자가 수백 배 이상 팽창하게 되는데 이것을 발포흑연(Expandible Graphite)이라 불리 운다. 본 발포성 슬리브에 사용된 발포흑연은 입자의 크기가 50MESH이고 팽창률은 200%이다. Fig. 6은 제작이 완료된 발포성 슬리브의 모습과 함께 구획부재에 매립된 모습을 나타낸 것이다.

Table 2. Evaluation Criteria on Through Penetration Firestop System by Country

Classification		Korea	Japan	USA	UK	ISO
Test standard		Detailed Guidelines for Firestops KS F 10295-1	4.9.2 fire compartment Penetration of fire performance · Semi-fire performance Test · Evaluation Method	ASTM E 814-11a	BS EN 1366-3	ISO 10295-1
Test item		Fire resistance test	Fire resistance test	Fire resistance test Hose stream test	Fire resistance test	Fire resistance test
Performance criteria	Insulation	The maximum temperature of the unexposed surface shall not exceed 180 K	—	The maximum temperature of the unexposed surface shall not exceed 180 °C	The maximum temperature of the unexposed surface shall not exceed 180 K	The maximum temperature of the unexposed surface shall not exceed 180 °C
	Integrity	Occurrence status of flame or ignition on the cotton pad	Occurrence status of flame	No flame or penetration on the unexposed surface of the fireproof structure	No flame or penetration on the unexposed surface	No flame on the unexposed surface or ignition on the cotton pad
	Hose stream test	—	—	No gap or crack caused by the test	—	—

Fig. 5. Comparison of Existing Through Penetration Firestop System and Unified Firestop System

Fig. 6. Unified Firestop System Installed at Separating Element

3.2 내화성능 평가

Table 3은 설비관통부 충전시스템의 내화시험 방법을 세부적으로 정리한 것이다(Ahn et al., 2014; Jang et al., 2016). 개발된 일체형 충전시스템의 내화시험은 KS F 10295-1에 따라 진행하였으며, 내화성능의 판정기준인 차열성능과 차열

성능은 KS F 2257-1(건축 부재의 내화 시험방법-일반 요구사항)에 따라 평가하였다. 일반적으로 구획부재에서의 내화성능은 하중지지력, 차열성능, 차열성능으로 결정되며 차열성능의 경우, 시험 중 부재의 비가열면에서 측정된 온도 상승이, 제한된 허용온도 범위를 만족하는지에 따라 판정하게 된다. 그러나 현행 KS 표준에서는 시험 중 시험체 비가열면의 평균 상승온도가 140K 이상이거나 최고 상승온도가 180K 이상인 경우 차열성능이 실패한 것으로 규정하고 있는 반면, [내화충전구조 세부운영지침]에 의한 설비관통부 충전시스템은 차열성능, 차열성능만을 판정기준으로 삼고 있으며, 차열성능은 최고 상승온도만을 기준으로 하고 있으며 차열성능은 면 패드의 착화나 균열 게이지 적용에 의하여 판정하게 된다.

Fig 7은 내화성능 확인을 위한 일체형 충전시스템 시험체의 구성을 나타낸 것이다. 100A PVC 파이프가 관통하는 부분에 적용된 발포성 슬라이브는 두께가 10 mm이며 무게는 880 g이다. 200A PVC 파이프에 적용된 발포성 슬라이브의

Table 3. Fire Resistance Performance Test of Through Penetration Firestop System

Finishing of pipe penetration		Tightly seal the both ends of the pipe with mineral wool or ceramic wool with density of 100 kg/m ³ or over to the depth of 100±10 mm.
Thermocouple	Unexposed surface thermocouple	Refer to the example of the installation location for the unexposed surface thermocouple in the Detailed Guidelines for Firestops.
	Movable thermocouple	Apply the unheated surface of the part on which high temperature is expected during the test (excluding the support for fixing the equipment)
Number of test piece		Vertical separating element: Once on both sides Horizontal separating element: 2 times on the exposed surface to fire (if the same sealing system is used for both vertical and horizontal separating elements, each of the vertical separating element and the horizontal separating element is tested once. However, if the vertical element sealing system is asymmetric, both sides of the vertical separating element are tested once.)
Performance criteria	Insulation	The temperatures of the unexposed surface thermocouple and movable thermocouple shall not exceed 180K from the initial temperature.
	Integrity	Flame interruption shall be determined by KS F 2257-1. 1) Cotton pad application: No ignition when contacting the cotton pad with the hole or flame occurred on the surface of the test piece for 30 seconds. 2) Flame on unexposed surface: No flame on the unexposed surface of the test piece that lasts over 10 seconds. However, crack gauge is not applied.

두께는 20 mm이며 무게는 3,700 g이다.(본 연구에서 사용된 발포성 슬리브의 두께는 관경의 크기에 비례하여 임의 설정된 것임을 알려드립니다.) 고정재를 따로 설치하진 않았으나 상부 마감으로 방화실란트를 도포하였다. 비가열면의 온도 측정은 KS F ISO 10295-1에 기술되어 있는 지정된 위치에 따라 측정하였다. 온도측정을 위한 열전대의 위치는 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7. Composition of Unified Firestop System Test Piece and Temperature Measurement Position

가열로 내 평균온도는 KS F 2257-1에 근거하여 표준시간-가열온도 곡선을 적용하였다. Fig. 8은 표준시간-가열온도 곡선과 함께 내화시험 당시의 가열로 내 실제 온도분포를 나타낸 것이다.

Fig. 8. Temperature Distribution within Heating Furnace

4. 결과 및 분석

Fig. 9는 일체형 충전시스템의 위치별 온도분포를 나타낸 것이다. [내화충전구조 세부운영지침]에 의한 차열성능의 판정기준은 이면열전대의 온도가 어느 하나라도 초기온도보다 180 K를 넘지 않는 것으로 기술하고 있다. 관통재로 100A PVC 파이프를 사용한 충전시스템 A는 초기온도가 25.0 °C였으며 200A PVC 파이프를 사용한 충전시스템 B의 내화시험 당시의 초기온도는 24 °C였다. 2시간의 내화시험에 따른 차열성능의 결과, A-1(1), A-1(2), A-2(1), A-2(2) 각각의 최고 상승온도가 33.9 °C, 26.9 °C, 38.9°C, 54.3 °C로 나타나 모두 180K(°C)를 넘지 않은 것으로 나타났다. 반면, B-1(1), B-1(2), B-2(1), B-2(2)의 최고 상승온도는 각각 261.3 °C, 141.5 °C, 509.4 °C, 303.3 °C로 나타나 180K(°C)를 초과하는 것으로 나타났다.

Fig. 9. Temperature Distribution of Unified Firestop System by Fire Resistance Performance Test

한편, 차열성능의 판정기준인 면패드의 착화 또는 화염발생 유무에 의거, 내화시험을 진행하는 동안 모든 시험체들을 관찰하였다. 시험체 A의 경우, 착화나 화염발생이 없었으나 시험체 B의 경우, B-1은 60분 전후로 B-2는 100분 전후로 화염발생을 확인하였다. Fig. 10은 내화시험 종료 후의 100A, 200A의 관통부 모습을 나타낸 것이다. A 시험체의 경우,

가열면 방향의 PVC 파이프는 전소되어 사라졌으나 슬리브 자체의 발포팽창으로 인해 관통부의 틈을 완전히 메운 것으로 확인하였다. 반면, B 시험체의 경우, 발포팽창이 충분하지 않아 관통부의 틈을 완전히 메우지 못한 것으로 나타났다.

(a) Pipe Size - 100A

(b) Pipe Size - 200A

Fig. 10. Images of Penetration Part of Unified Firestop System after Fire Resistance Performance Test

차열성능과 차염성능에 관한 판정기준에 근거할 때, A-1, A-2는 모든 기준에 적합한 것으로 나타나 2시간의 내화성능을 확보한 것으로 판단된다. 반면, B-1, B-2는 차열성능 및 차염성능 기준을 모두 만족하지 못하는 것으로 나타나 내화성능을 확보하지 못한 것으로 판단된다. 이와 같은 경향을 비취볼 때, 관통부를 안정적으로 메우기 위해서는 관통부 크기에 맞춰 충분히 발포될 수 있는 슬리브의 적정 두께가 반드시 고려되어야 하는 것으로 사료된다.

5. 결 론

첫째, 2008년도부터 [내화충전구조 세부운영지침]이 시행되고 있으나 현재에 이르기까지도 시공이 제대로 이루어

지지 않은 건설현장들이 존재하며 또한 공인된 시험기관에서 발급한 시험성적서와는 다른 방식의 시공으로 인해, 그 문제점들이 지속해서 나타나고 있다. 이는 시공자의 책임의식 및 제반지식의 결여에서 비롯된 것으로서 정부는 건설현장에 대한 지속적인 모니터링과 함께 내화충전구조에 대한 제도를 통해서 화재안전성을 확보하는데 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

둘째, 종래의 설비관통부 충전시스템은 슬리브, 충전재(팽창재, 단열재/보온재), 방화실란트, 고정재를 시공하는 4~7단계의 시공절차가 필요하므로, 부적합한 시공 및 공사원가 상승의 원인으로 작용될 수 있다. 이에 본 연구에서는 별도의 충전재 시공 없이 슬리브 자체만을 발포성 소재로 하는 일체형 충전시스템을 제안하였다. 이는 시공절차의 간소화를 유도하여 건설현장에서의 시공오차를 줄이는데 도움이 될 것으로 기대한다.

내화충전구조의 문제점을 제도적인 측면에서 접근한다면, 설비관통부 충전시스템은 여러 개의 부속품으로 이루어진 것으로 각각의 부속품에 대한 내화성능 검증이 필요하나 하나의 시스템으로만 확인할 뿐 부속품들에 대한 검증은 이루어지지 않고 있다. 이는 결국 부속품의 종류 및 규격, 무게 등이 현장마다 임의적으로 적용될 우려가 있어 부적절한 시공으로 이어질 가능성이 크다. 따라서 내화충전구조의 공급자격을 내화성능에 주된 영향을 미치는 재료의 제조 및 생산을 주업으로서 증빙할 수 있는 자로 한정시켜야 하며 추후에는 내화 인정제도 방향으로 유도하여 엄격한 관리 감독이 이루어질 수 있도록 지향해야 할 것이다.

내화충전구조에 대한 체계적인 현장관리와 함께 제도, 기술적인 관점에서의 허점들을 지속해서 개선해 나간다면 국내 내화충전구조 시장의 기술력 향상 및 국민 생활안전 향상에 유용이 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업(19AUDP-B100 356-05)에 의해 수행되었으며, 관계제위께 감사드립니다.

References

- Ahn, J.H., Heo, Y.S., Yeo, I.H., Hwang, G.J., and Seo, H.W. (2014). Improvement plan for criteria on fireproof performance of fire structures for fire compartment penetration part. *Proceedings of 2014 Annual Spring Conference*, Korea Institute of Fire Science and Engineering, pp. 261-262.
- Cho, H.S., Park, J.H., Son, B.S., and Im, J.S. (2004). A study on assessment of penetration seals performance of nuclear power plants. *Transaction of Korean*

- Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 93-102.
- Jang, Y.T., Choi, J.H., and Choi, D.M. (2016). A study on fire preventive block of penetration type of fire proof structures. *Proceedings of 2016 Annual Spring Conference*, Korea Institute of Fire Science and Engineering, pp. 281-282.
- Jang, Y.T., Choi, J.H., and Choi, D.M. (2017). A study on the status and performance improvement of the firestop. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 235-243.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2008). *A Study on the Plan for the Prevention of Fire Spread and Decreasing Life Damage in Building Fire Compartment*. Report No. 2008-002.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2013). *Development of Fire-resistive Penetration System using Non-flammable FRP*. Report No. 2013-235.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2015). *Development of through penetration fire stop system using intumescent sleeve*. Report No. 2015-248.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2016). *Detailed guidelines for firestops*.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT). (2017). A study on the monitoring for the safety of construction. Report No. 2017-036.
- KS F ISO 10295-1. (2013). *Fire tests for building elements and component — Fire testing of service installing — Part 1: Penetration seals*.
- KS F 2257-1. (2014). *Methods of fire resistance test for elements of building construction — Specific requirements for columns*.
- Yeo, I.H., and Yoon, M.O. (2010). Performance criteria and improving method of firestop systems in fire compartmentation: Focused on through- penetration sealing system. *Proceedings of 2010 Annual Spring Conference*, Korea Institute of Fire Science and Engineering, pp. 354-359.

Received	January 9, 2019
Revised	January 14, 2019
Accepted	January 23, 2019