건축방재

내구성 시험에 의한 초고층 건축물 선형조인트 충전시스템의 내화 성능 평가

Fire Resistance Evaluation of Linear Joints for Ultra Tall Buildings Depend on Movement Test

유용호* · 조경숙** · 여인환*** · 신현준****

Yoo, Yong Ho*, Cho, Kyung Suk**, Yeo, In Hwan***, and Shin, Hyun Jun****

Abstract

It is well known that ultra high-rise buildings are constructed to accommodate many facilities in a limited area. However, in this type of buildings, the spread of fire to the upper floor can cause immense financial loss and casualties, compared to normal sized buildings. Hence, to prevent the loss due to the spread of fire, it is recommended that each room or space of building structures should be separated by fire-proof barriers or fire-proof walls. The linear joint system is a key area to determine the spread of fire, so that the gap in the joint must be fully protected from fire. In Korea, it is true that the linear joint applied to practice does not take account the effect of natural thermal movement of building structures that can deteriorate the fire-proof performance of the system. Thus, in this study, a ISO movement test was adopted to reflect the long term condition of the linear joint system in a real world. A new apparatus was developed and used in the tests, in order to follow the ISO code. In this study, two specimens were prepared for a comparison purpose: one is conventional specimens (specimen 1) and the other is the specimen with additional insulation (specimen 2). Mineral wool and fire-stopping spray were the conventional materials, applied to specimen 1, and glass wool was an additional material applied to specimen 2, together with the mineral wool and fire-stopping spray. Test results showed that specimen 1 resisted fire-induced damage for 180 min, whereas specimen 2 did for 153 min. As expected, the fire-proof performance of specimen 2 was better than specimen 1. However, the results obtained from the specimen 2 still did not satisfy the required level. This was due to the ignition of glass wool. Hence, it is required to further explore to find the other insulating materials that can increase the fire resistance time.

Key words : Linear joint, fire resistance evaluation, ultra tall building, movement test, curtain-wall

요 지

초고층 건축물은 좁은 평면위에 수직적으로 집합된 구조물이다. 이러한 건축물에 화재 시 수직으로의 화재확산은 엄청난 인적 물적 자원의 피해를 초래하게 된다. 이러한 화재확산을 막기 위한 방화구획의 설정은 아주 중요하며 방화구획에 틈이 발생하는 경우 화재확산의 통로가 되게 된다. 선형조인트 충전시스템은 이러한 화재확산을 막는 중요한 요소가 된다. 지금까지 선형조인트 충전시스템은 내화성능에만 초점이 맞추어져 있었으며, 건축물의 움직임 대한 내구성을 전혀 고려하지 않았다. 본 연구는 초고층 건축물의 움직임을 고려한 내구성 시험방법과 기준을 ISO 국제표준에서 도입하여 이를 적용한 시험 장치를 개발하였고, 내구성 시험과 내화시험을 실시하였다. 시험체는 암면을 선형의 틈에 채우고 상부에 fire-stop spray를 적용하는 가장 일반적인 형태의 선형조인트 충전시스템(시험체 1)과 시험체 1에 단열재를 포함한 시험체(시험체 2)의 시험을 실시한 결과 시험체 1은 180분의 내화성능을 발휘하였으나, 시험체 2는 153분의 내화성능을 나타내었다. 시험체 2는 차열성능에는 문제가 없었으나 단열재 부분에 불꽃이 발생하여 차열 성능을 상실한 것으로 밀도가 낮은 단열재를 통해 화재확산이 이루어져 추후 연구에서 단열재를 포함한 외벽 커튼월 시스템의 선형조인트 충전시스템에 대한 내화성능의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 선형조인트, 내화성능평가, 초고층빌딩, 움직임시험, 커튼월

*교신저자. 정회원. 한국건설기술연구원 화재안전연구센터 수석연구원(Tel: +82-31-369-0516, Fax: +82-31-369-0540, E-mail:yhyoo@kict.re.kr)
Corresponding Author. Member. Senior Researcher, Fire Research Center, Korea Institute of Construction Technology

**건국대학교 건축공학과 박사과정
Member. Architectural Engineering the Doctoris Course, Konkuk University

***한국건설기술연구원 화재안전연구센터 위원
Member. Researcher Fellow, Fire Research Center, Korea Institute of Construction Technology

****한국건설기술연구원 화재안전연구센터 선임연구위원
Member. Senior Researcher Fellow, Fire Research Center, Korea Institute of Construction Technology

1. 서 론

선형조인트 시스템은 국토교통부 고시 제2008-154호에 의한 “내화충전구조 세부운영지침”(이하 지침)에서, “하나 또는 두 개 이상의 건축구조부재 사이에 나란히 놓여진 선형 공간으로 길이와 너비의 비율이 10:1 이상인 것”으로 정의하고 있다(내화충전구조 세부운영지침, 2007). 선형조인트 충전시스템은 건축물에서 화재확산 방지를 위해 방화 구획 내에서 부재구성으로 인해 발생하는 선형의 틈(Gap)을 내화충전구조로 메꾸는 것으로, 방화 구획 내에서 발생한 화재는 이 틈을 통하여 상층부 혹은 인접 방화구획으로 화재확산이 이루어진다. 또한 2010년 부산 해운대에서 발생한 우신 골든 스위트 화재 사건에서와 같이 외장재와 내부 단열재(글라스 울)를 통한 화재확산이 이루어진다(유용호 외, 2012).

초고층건축물의 경우 외력에 의한 움직임이 상시적으로 발생하는데, 흔히 바람에 의한 움직임이 대표적이며 온도변화에 의한 열팽창도 이에 해당하고, 지역적인 차이는 있으나 지진에 의한 움직임도 고려되고 있다. 기본적으로 초고층 건축물은 이러한 움직임을 감당할 수 있도록 설계되고 상시적으로 움직임이 발생하게 된다. 부재와 부재 사이에 채워지는 내화충전구조의 경우 움직임으로 인해 필연적으로 변형이 발생할 수밖에 없으며 이러한 변형에 대해 감당할 수 있도록 설계·시공되어야 한다. 그러나 현재 국내의 초고층 건축물에 설치되는 선형조인트 시스템은 이러한 움직임에 대한 고려는 전혀 없이 내화성능만을 확인 하여 시공되고 있다.

국내에서는 선형조인트 충전시스템에 대해 건축법에서 적용대상 건축물과 부위에 대해 규정하고 있으며 국토교통부 고시를 통해 시험방법 및 성능기준을 제시하고 있다. 산업표준화법에 의한 KS 규정은 없는 상태이고, 국토교통부 고시에 의한 지침을 운영하고 있다. 지침에서도 내화성능에 대한 절차와 기준은 제시되어 있으나 건축물의 움직임을 고려한 시험방법이나 기준은 제시되어 있지 않다.

본 연구에서는 국내 관련 기준을 확인하고 이와 유사한 국

외의 기준을 분석하여 국내기준과의 차이점을 확인하고 국내 기준에서 제시하고 있지 않은 움직임에 대한 시험방법 및 기준을 도입하여 선형조인트 충전시스템의 내화성능을 평가하고자 한다. 이를 위해 2012년 선행 연구를 통해 내구성 시험을 위한 시험 장치를 개발하였다(여인환 외, 2012). 내구성 시험과 내화 시험을 함께 실시하여 초고층 건축물의 움직임에 대응할 수 있는 3시간 이상의 내화성능을 갖는 선형조인트 충전시스템을 개발하여 초고층 건축물의 화재안전성을 확보하는데 연구의 목적이 있다. 다음 Fig. 1은 연구 프로세스를 나타낸 것이다.

2. 문헌 조사

2.1 관련 규격 분석

2.1.1 국내 기준

국내에서 선형조인트 충전시스템은 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제14조(방화구획의 설치기준) 2항 2호에 “외벽과 바닥 사이에 틈이 생긴 때나...(중략)...그로 인하여 방화구획에 틈이 생긴 때에는 그 틈을 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것으로 메울 것”으로 규정하고 있으며, 가목은 「산업표준화법」에 따른 KS 규격, 나목은 국토교통부 고시에 따른 내화충전성능 인정 구조를 의미한다. 여기에서 가목 KS의 경우 관련규격이 제정되어 있지 않고, 연구를 통해 ISO 부합화를 통한 KS 제정 작업이 현재 진행 중에 있다(한국건설기술연구원, 2013) 나목의 경우 내화충전구조의 성능확인을 위한 절차와 방법, 기준 등에 대하여 필요한 세부사항을 규정하고 있다. 현재 국내에서 내화충전구조 제품은 모두 나목의 절차에 따라 성능을 확인한 것이다.

여기서 내화성능은 차열 성능과 차염 성능을 측정하며 차열 성능은 이면온도가 어느 한 부위라도 초기온도보다 180K를 초과하지 않아야 한다. 차염 성능의 경우 KS F 2257-1에 의해 결정되며 이면으로 부재를 관통하여 10초 이상 화염이 발생되지 않아야 한다.

2.1.2 국외 기준

국제표준의 경우 “ISO 10295-2 Fire tests for building elements and components-Fire testing of service installations-Part 2: Linear joint(gap) seals”에서 시험 방법 및 성능기준을 제시하고 있다. 이 규격은 국내의 지침과 내화시험방법이 유사하며 성능기준도 동일하나 Movement Test에 대한 기준이 추가되어 있으며, 이는 내화충전구조 제조사에서 필요한 경우 이를 추가하여 시험 후 73시간동안 어떠한 수정도 가하지 않은 상태로 존치한 후 내화시험을 하도록 규정하고 있다. 또한 Movement Test에 대한 타입 별 기준을 다음 Table 1과 같이 제시하고 있다.

미국의 경우 커튼월에 적용되는 선형조인트 시스템과 커튼

Fig. 1. Process of Study.

Table 1. Conditions of Movement Test

Movement Type	Minimum Cycling Rates (cpm)	Minimum Number of Movement Cycles
Thermal	1	500
Wind Sway	5	
Seismic	20	

Table 2. Conditions of Test Specimen Cycling

Movement Type	Minimum Cycling Rates(cpm)	Minimum Number of Movement Cycles
Type I-Thermal	1	500
Type II-Wind Sway	10	500
Type III-Seismic	30	100
Type IV-Combined Movement followed by	30	100
	10	400

월을 제외한 선형조인트 시스템에 대한 시험 방법을 구분하고 있다. “ASTM E 1966-07 Standard test method for fire-resistive joint systems”의 경우 일반적인 선형조인트에 대한 시험방법이며, 커튼월에 적용되는 선형조인트 시스템은 “ASTM E 2307 Standard test method for determining fire resistance of perimeter fire barriers using intermediate-scale, multi-story test apparatus”에 의해 시험하도록 규정되어 있다. 일반적인 선형조인트 시스템의 내화성능시험은 국내의 지침과 유사하며 ISO 규격과 같이 Movement test(ASTM은 Cycling test로 명명함)가 있으며 그 기준은 Table 2와 같다.

ISO 규격과 비교하여 Cycling rate에 차이가 있으며 Cycle 횟수도 ISO는 타입에 상관없이 500회로 되어 있으나 ASTM은 타입에 따라 다르게 정하고 있고, 두 가지 타입을 함께 고려하는 부분에 대해서도 규정을 하고 있다. 이는 바람과 열의 경우 지속적인 움직임을 유발하지만 지진의 경우 간헐적이며 짧은 시간에 발생함으로 이를 고려한 것으로 판단된다. 그리고 소방활동에 의한 영향을 고려하기 위한 주수시험에 대해서도 규정을 하고 있다. 다음 Table 3은 내화성능(시간)별 주수압력과 시간을 나타낸 것으로 주수시험 후 이면에 균열이 발생하지 않아야 한다.

커튼월에 적용되는 선형조인트 시험방법인 ASTM E 2307의 경우 내화시험을 주로 하는 수직 혹은 수평가열로가 아닌

Table 3. Water Pressure & Duration of Hose Stream

Fire Resistance Ratings (min)	Water Pressure at Base of Nozzle (kPa)	Duration of Application (s/m ²) exposed area
240<480	310	32
120<240	207	16
90<120	207	10
<90	207	6

커튼월을 적용한 2층 규모의 공간을 구성하여 내화시험을 실시하도록 하고 있으며, 온도 구현 또한 표준 화재 곡선과 다르게 적용하고 있다.

영국의 경우 “BS EN 1366-4:2006 Fire resistance tests for service installations- Part 4: Linear joint seals”에 시험방법과 성능기준이 명기되어 있다. BS 규격은 앞서 언급한 ISO와 ASTM 규격과는 건축물의 움직임에 대해서는 다른 방법으로 접근을 하고 있다. ISO와 ASTM의 경우 최소조인트폭과 최대조인트폭 사이를 cycling rate 즉 일정 속도에 따라 일정한 횟수를 반복하여 움직임을 구현하도록 한 반면, BS는 내화시험 전이나 시험 중에 Movement Capability, 즉 생산자가 지정한 최대 움직임량 만큼 축방향력 또는 전단력이 생기도록 힘을 가하여 최대 폭에서 내화시험을 실시하도록 규정하고 있다. 또한 커튼월 시스템에 적용하는 선형조인트 시스템은 별도의 시험기준을 마련하고 있고 “BS EN 1364-4:2014 Fire resistance tests for non-loading elements curtain walling. Part configuration”에 명기되어 있다. 이 규격은 커튼월에 대한 내화시험방법을 규정한 것으로 커튼월 부분 요소에 대한 시험방법을 나타낸 것이며, 수직, 혹은 수평 가열로에 선형조인트와 함께 커튼월을 설치하여 선형조인트 시스템의 내화성능을 측정하는 방법을 나타내었다.

이렇듯 국내를 제외한 국외의 규정은 건축물의 움직임에 대해 이를 수용할 수 있도록 성능 검증을 위한 기준과 시험방법을 제시하고 있다. 이러한 각국의 기준들 중에서 국내에 이를 적용하기 위해 ISO 국제표준을 도입하였다. BS를 제외한 다른 국가들은 최소 조인트 폭과 최대 조인트 폭을 반복적으로 회전하는 방식을 채택하고 있어 보편적인 시험방법으로 판단되어 BS는 제외하였고, ASTM의 경우 국내 시험 여건에 의해 주수시험을 고려하지 않아 ISO 국제 표준의 기준을 적용하였다.

2.2 관련 연구 조사

초고층 건축물의 커튼월 벽체에 적용되는 선형조인트 충전 시스템에 대한 연구는 사실 아주 미미하다. 대부분 관련 기업에서 규정이 요구하고 있는 수준에 맞추어 기술을 개발하거나 해외에서 이를 수입하는 정도의 수준이다. 여인환 외(2011) 연구에 따르면 선형조인트 틈에 U자 형태의 아연도금 강판을 사용하여 다양한 내화재료를 채워서 내화성능을 측정하였으며, 이중 석고보드와 내화뿔철재로 채운 형태가 가장 안정적인 온도상승을 나타낸 것으로 보고하였다. 이는 채움 재료에 대한 내화성능을 연구한 것으로 U자 형태의 아연도금 강판은 건물의 움직임에 대응하기에는 부족한 것으로 판단된다. 조경숙 외(2013)는 선형조인트에 설치되는 내화재료(암면)의 압축여부에 따른 내화성능 차이를 연구한 것으로 내화재료가 압축된 시험체가 압축하지 않은 시험체에 비해 내화성능이 떨어지는 것을 확인하여 현장 적용 시 품질 확보를 위해

압축률에 대한 현장검증의 필요를 언급하였다. 또한 선행연구인 여인환 외(2012)를 통해서 선형조인트 시스템을 성능 확보를 위한 내구성 시험에 대한 시험기준을 정하고 이를 확인하기 위한 내구성 시험 장치를 개발, 적용하였다.

3. 내구성 시험 장치 개발

내구성 시험 장치는 ISO 규격에서 제시하고 있는 기준에 따라 제작하였다. ISO에서는 “지정된 두 지점 사이를 지속적으로 반복적으로 거동할 수 있는 기능을 가지고 있어, 시험체를 최소 조인트 폭과 최대 조인트 폭 사이에서 회전시킬 수 있어야 하며, 회전 수를 자동으로 계산하는 기능이 장착되어야 한다”라고 규정하고 있다. 이를 토대로 다음 Fig. 2, 3과 같이 시험 장치를 개발하였다.

Fig. 2는 선형조인트 시스템이 설치되는 지지구조로 양쪽에 달린 유압장치에 의해 일정 속도로 움직이도록 고안된 장치이다. Fig. 3의 제어장치는 Fig. 2의 지지구조와 연결하여 지정된 속도와 반복 횟수를 설정 한 후 최소 조인트 폭과 최대 조인트 폭 사이를 반복적으로 움직이도록 설계 제작하였다.

본 시험장치에 설치되는 공칭 조인트 폭은 선형조인트 정의에 따른 10:1의 기준에 따라 최대 300 mm까지 가능하며 속

Fig. 2. Supporting Construction of Movement Test.

Fig. 3. Control System of Cycling Test.

도는 분당 1회에서 20회까지 조절이 가능하다.

4. 내구성 및 내화시험

초고층 방화 구획내에 선형조인트 시스템을 적용하기 위해 3시간 이상의 내화성능이 필요하다. 국내 건축법에서 12층 이상의 건축물의 주요 구조부는 3시간 이상의 내화성능을 요구하고 있다. 따라서 초고층의 방화 구획내에 설치되는 선형조인트의 경우도 3시간 이상의 내화성능을 요구하게 된다. 또한 초고층은 수직적 요소로 인해 외력에 의한 움직임이 크므로 그에 대한 고려도 필요하다. 최근에 에너지 절약으로 커튼월 건축물의 경우 스펀드럴 부위에 단열을 하도록 하고 있으며 대부분 시공이 간편한 유리섬유를 단열재로 많이 채택하고 있다. 이 부분 또한 우신 골드스위트 화재사례와 같이 방화구획의 화재확산통로가 되고 있다. 따라서 건축물의 움직임에 대한 내구성 시험을 실시하고 이를 내화시험에 적용하여 그 성능을 확인하고자 한다. 시험체는 2개 시험체를 제작하였으며, 가장 보편으로 설치되는 압면과 상부에 fire-stop Spray를 도포하는 형태의 시험체(시험체 1)와, 일반적인 형태에 단열재가 포함(시험체 2)된 두 가지 형태로 제작하여 시험을 실시하였다.

4.1 시험체 제작

성능 시험을 위한 시험체는 다음 Table 4에서 제시한 재료를 사용하여 제작하였으며 제작순서는 다음 Fig. 4와 같다. 시험체는 200×4000 mm의 선형의 틈에 압면(100kg/m³)을 100×125 mm 단면으로 절단하여 300 mm 두께를 200 mm 공간에 압축하여 설치하였다. 그리고 상부에 아크릴 소재의 Fire-stop Spray를 약 3 mm(건조 후 1.5 mm) 도포하여 약 2주간 양생하였다. 시험체 2는 시험체 1의 한쪽면에 단열재(Glass Wool)와 팽창테이프를 함께 시공하였다. 팽창테이프는 고온시 단열재의 연소를 지연시키기 위해 일정온도가 되면 팽창하여 연소를 막아주는 역할을 한다.

Table 4. Detail for Specimen

Classification	Specimen 1	Specimen 2
Open Size	200×4000 mm	
Mineral Wool	Density : 100 kg/m ³ , Depth : 125 mm condensation : 300 mm->200 mm	
Fire-stop Spray	THK : 1.5 mm, Overlap : 15 mm	
Maximum Joint Width	220 mm	
Minimum Joint Width	180 mm	
Insulation(Glass wool)	-	Density : 25 kg/m ³ THK : 75 mm
Intumescent material	-	THK : 4 mm Wide : 25 mm

Fig. 4. Making Process of Specimens.

Fig. 5. Specimens for Tests.

4.2 내구성 시험(Movement Test)

내구성 시험 방법은 ISO 10295-2에 따라 Table 4의 조건 중 가장 열악한 조건인 지진을 적용하여 분당 20회의 속도로 500회를 실시하였다. 시험 실시 후 표면의 변형을 관찰하였으며 다음 Fig. 6과 같다.

시험 결과 기존의 3시간 내화성능이 확보된 시험체를 내구성 시험을 실시한 결과 fire-stop spray 표면이 찢어지는 현상이 발생하였다. 이는 fire-stop spray가 수축 팽창을 흡수할 수 있는 정도의 탄성을 가지지 못한 것으로 판단하였다. 이에

Fig. 6. Specimen's Appearance after Cycling Test (before Modification of Property).

Fig. 7. Specimen's Appearance after Cycling Test (after Modification of Property).

fire-stop spray의 물성을 변경하여 탄성을 조절하였다. Fire-stop spray는 아크릴로 이루어진 고분자계 물질로 단량체 (Monomer selection)의 조성에 따라 물성을 조절하게 된다. 단량체의 조성을 변경하여 신장률을 향상시켜 변형이 잘 일어나도록 조절하였다. 또한 도포방식에 있어 붓을 이용하는 경우 두께가 일정하게 도포되지 않아 품질을 균일하게 확보할 수 없어 스프레이 방식을 도입하여 균일한 도포 두께를 확보하도록 변경 하였다.

Fire-stop spray의 물성 및 도포 방식을 변경한 후 선형조인트 시스템을 재시공 후 움직임 시험을 실시한 결과 팽창 수축에 의한 약간의 늘어짐 현상은 있으나 1차 시험에서 보인 찢김 현상은 나타나지 않았으며, 시험체 2(단열재 포함)의 경우, 단열재가 가진 특성 때문에 표면의 수축 팽창이 많이 이루어지지 않아 시험체 1에 비해 표면 상태가 더욱 좋게 나타났다.

4.3 내화 시험(Furnace Test)

내화시험은 KS F 2257-1, 내화충전구조 세부운영지침에 따라 표준 화재 곡선을 적용하여 실시하였으며, 앞서 내구성 시험을 완료한 시험체를 어떠한 수정도 가하지 않은 상태에서 73시간 존치한 후 내구성 시험 장치를 가열로로 이동하여 수평가열로 상부에 설치한 후 내화시험을 실시하였다. 차열성능 측정을 위해 시험체 이면에 열전대를 설치하였으며, 선형

a) Install to thermocouples on specimen 1

b) Install to thermocouples on specimen 2

1,3,6 : surface of linear joint, 2,5 : supporting structure, 4 : splice

c) Location of thermocouples of specimen 1

1,3,6 : surface of linear joint, 2,5 : supporting structure, 4 : splice

d) Location of thermocouples of specimen 2

Fig. 8. Furnace Test Specimen.

조인트 충전시스템 상부에 3곳, 지지구조 2곳 그리고 이음 부위 1곳 총 6부위를 선정하여 측정하였으며 다음 Fig. 8과 같이 설치하였다.

4.4 결과 분석

내화 시험 후 이면온도 측정 결과는 다음 Table 5, Fig. 10과 같다. 시험체 1의 경우 예상한 180분의 내화성능시간을 만족하였으나 시험체 2의 경우 약 153분경에 차열 성능을 상실하여 시험을 종료하였다. 내화 시험 후 시험체 1의 경우 표면이 고온으로 인해 부풀어 오르는 현상이 발생되었으나 180분

Table 5. Results of Fire Resistance Tests

Specimen	Initial Temp. (mean/max)	Temp. at 153 min. (mean/max)	Temp. of fire resistance (3hours, max)
1	17.56/19.9	93.75/109.5	199.9
2	26.3/27.1	125.2/168.1	207.1

이 경과될 때 까지 180 K를 초과하지 않았다. 시험체 2의 경우도 표면 상태는 시험체 1과 비슷한 양상을 나타내었다. 시험체 2의 시험이 종료된 153분의 두 시험체의 온도를 비교해

a) Specimen 1 after furnace test

b) Specimen 2 after furnace test

Fig. 9. Specimen after Furnace Test.

a) Time-temperature curve of specimen 1

b) Time-temperature curve of specimen 2

c) Compare with mean and max temperatures

Fig. 10. Furnace Test Specimen.

보면 시험체 1의 경우 평균온도 93.7°C, 최고온도 109.5°C, 시험체 2의 경우 평균온도 125.2°C, 최고온도 168.1°C로 측정되었다. 시험체 2의 이면온도는 최고온도는 180 K를 초과하지 않았지만 단열재인 그라스 울을 통해 화염이 발생하여 차열 성능을 상실하였다.

이는 그라스 울은 자체가 불연성이며 단열성이 우수한 재료이나 고온에 노출 시 한계에 도달하면 연소하게 된다. 밀도가 낮은 경우 열에 대한 저항성이 떨어지는데 본 시험에 사용된 그라스 울은 25 kg/m³로 밀도가 낮아 1,000°C 이상의 고온에 장시간 노출되어 연소가 발생한 것으로 판단된다. Fig. 10을

보면 초기 온도 상승은 시험체 1이 더 빠르게 상승하나 약 1시간 이후부터 상승속도가 느려지는 반면 시험체 2는 온도 상승이 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다. 시험체 2의 경우 압면 300 mm에 그라스 울 75 mm가 추가된 상태로 단면만 본다면 375 mm가 시공되어 시험체 1에 비해 밀도가 높아 내화 성능이 뛰어날 것이라 판단하였으나 온도 상승이 시험체 1에 비해 높게 나타났다. 이는 그라스울이 압면보다 먼저 연소함에 따라 시험체 전체의 이면의 온도 상승을 끌어올린 것으로 보여 진다(시험체 1의 열전대 6번의 경우 시험시 측정 오류가 발생하여 분석대상에서 제외하였다).

따라서 선형조인트의 내화 성능이 뛰어나다 하더라도 측면에 구성되는 단열재의 내화 성능이 저하하면 화재 확산의 우려가 커질 것으로 판단되어 이에 대한 고려가 필요한 것으로 판단되며 단열재를 포함한 선형조인트의 내화 성능을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 더 필요할 것으로 보여 진다.

5. 결 론

내구성 시험을 적용한 초고층 건축물의 선형조인트 충전시스템의 내화 성능에 관한 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내외의 선형조인트 충전시스템의 내구성 시험에 대한 관련규정을 분석하여 국내에 적용하기 위해 시험기준과 시험방법을 국제표준인 ISO 10295-2의 규격을 도입하였다.
- 2) ISO 국제표준을 기준으로 내구성 시험을 위한 시험 장치를 개발하여 내구성 시험을 실시하여 기존 3시간 내화 시험체의 내구성을 향상시켰다.
- 3) 내구성이 향상된 일반 선형조인트 시험체(시험체 1)와 단열재가 포함된 시험체(시험체 2)를 표준화재곡선을 적용하여 내화 시험한 결과 시험체 1은 180분의 내화 성능을 갖는 반면, 시험체 2는 약 153분의 내화 성능을 나타내었다.
- 4) 커튼월 스펀드럴 부분의 단열 강화를 위한 그라스 울을 적용한 경우 밀도가 낮은 재료가 고온에 장시간 노출됨으로 인해 이를 통한 연소가 발생되어 화재 확산의 우려가 있는 것으로 나타났다.
- 5) 추후 단열재가 포함된 선형조인트 시스템의 내화 성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “초고층빌딩 시공기술 연구단-초고층 화재안전 기술 개발”의 연구비 지원에 의해 수행 되었으며, 지원에 감사드립니다.

References

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2007) "Guideline of the Fire Stop for Building Structure".
- Yeo, I.-H. and Cho, K.-S. (2011) "Fire Resistance Performance of Box Type Linear Joint Fire Stop System for Curtain Wall", *Proceedings of 2011 Spring Annual Conference, Korea Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 357-360.
- Yeo, I.-H., Cho, K.-S., and Cho, B.-Y. (2012) "A Study on Test Methods and Standards for Improving Durability of Linear Joint Systems", *Proceedings of 2012 Fall Annual Conference, Korea Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 357-360.
- Cho, K.-S. *et al.* (2013) "An Experimental Study of the Effect of Fire Resistance depend on Compression of Mineral Wool and with/without Insulation in Linear Joints", *Proceedings of 2013 Fall Annual Conference, Architectural Institute of Korea*, Vol. 33, No. 2, pp. 581-582.
- Yoo, Y.-H. *et al.* (2011) "A Case Study on the Fire Spread Prevention of Building Exterior", *Proceedings of 2011 Fall Annual Conference, Korea Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 119-122.
- Korea Institute of Construction Technology (2013), "Super Development on High-Rise Safety Technology"
- ISO 10295-2, "Fire Tests for Building Elements and Components- Fire testing of service installations-Part 2 : Linear Joint(Gap) Seals" 2009.
- ASTM E 1966-07 "Standard Test Method for Fire-Resistive Joint Systems" 2007.
- ASTM E 2307 "Standard Test Method for determining Fire Resistance of Perimeter Fire Barriers Using Intermediate-Scale, Multi-Story Test Apparatus".
- BS EN 1366-4:2006+A1:2010 "Fire Resistance Test for Service Installations-Part 4: Linear Joint Seals".
- BS EN 1364-4 "Fire Resistance Tests for Non-Loading Elements Curtain Walling. Part Configuration".

Received ■ April 22, 2014

Revised ■ May 2, 2014

Accepted ■ May 12, 2014