

# 건축용 단열재의 장기 경시변화에 따른 열성능 특성

## The Thermal Performance of Building Insulation Materials According to Long-Term Aging

최보혜(Bo-Hye Choi), 강제식(Jae-Sik Kang)<sup>†</sup>

한국건설기술연구원 공공건축연구본부 그린빌딩연구실

Green Building Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Republic of Korea

(Received August 2, 2013; revision received October 4, 2013)

**Abstract** This study is to draw thermal property data during long-term aging, by testing the thermal conductivity of building insulation materials in Korea. The thermal resistance of extruded insulation within 3 days from manufacture performed well over the KS Standard. After 50 to 110 days, however, the thermal performance had deteriorated to the level of the KS standard. Eventually, after 4,000 days, the insulation performance had deteriorated to about 25.4~41.8% of the initial performance. Therefore, this research will be utilized as a reference for thermal properties during long-term aging, in order to improve standards and regulations related to building insulation materials.

**Key words** Thermal conductivity(열전도율), Thermal resistance(열전도저항), Insulation materials(단열재), Long-term aging(장기 경시변화)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jskang@kict.re.kr

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건축물에서 단열은 건물의 에너지소비 절감을 위한 가장 기본적인 방법으로 냉난방부하와 에너지소비에 직접적인 영향을 미친다. 건물외피의 단열성능은 사용하는 단열재의 밀도 및 열전도율 등의 열물성 특성에 의해 결정된다. 또한, 건물의 초기시공 후 단열재의 교체는 건물의 수명이 다하거나 장기간 사용 후 리모델링 및 개보수에 의해 이루어진다. 건물의 수명은 50년 이상으로 기대하고 있으며 외피 및 단열재의 개보수 또한 20~25년으로 하고 있다. 이처럼 단열재가 장기간 사용되고 있으나 이에 따른 단열재의 장기 열성능 변화에 관한 연구<sup>(7-9)</sup>가 국내에서는 거의 이루어지지 못하고 있다.

건축물의 에너지 절약을 위한 부위별 단열기준의 강화 및 세분화로 건축물의 단열기준이 단열재의 두께 기준에서 열관류율 기준으로 전환됨에 따라, 단열재의 구체적 성능에 대한 건설업체의 자료 요구 증대 및 단열재별 성능 차별성이 부각되고 있으며 단열재의 정확한 열성능 규명과 이를 이용한 새로운 대응 전략 수립이 필요하다.

본 연구는 건축물에 사용되는 국내 건축용 단열재에 대한 열전도율 시험을 장기간에 걸쳐 실시하여 단

열재의 장기 경시변화에 따른 열물성 자료를 도출하고자 하며, 향후 단열재 시장의 경쟁성 확보를 위한 기초 데이터를 구축하고, 건축용 단열재의 장기 경시변화에 따른 열특성 자료를 통해 건축물 단열재 관련 기준 및 규격의 합리적인 개정을 위한 근거자료로 활용하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법

실험에 사용된 시료는 건축용 단열재인 압출법발포 폴리스티렌 단열재를 대상으로 하였으며, 시험 조건은 단열재 시편이 외기조건에 직접적 및 간접적인 영향을 받을 수 있도록 실험실을 구성하여 장기 경시변화를 측정하였다.

또한 장기 경시 변화 패턴을 장기 거동하지 않고도 확인할 수 있는 촉진 시험법을 활용하여 건축용 단열재의 경시변화에 따른 단열재의 장기 열특성 자료를 도출하고자 하였다.

## 2. 단열재 및 열전도율

### 2.1 단열재 등급별 열전도율 기준

건축물의 단열성능은 외부로 유출되는 냉난방 에너지

Table 1 Thermal conductivity of expanded polystyrene and rigid poly urethane

materials		thermal conductivity W/m · K(kcal/m · h · °C)		density g/cm <sup>3</sup>
expanded polystyrene	EPS	1st	0.036 (0.031)	≥ 30
		2nd	0.037 (0.032)	≥ 25
		3rd	0.040 (0.034)	≥ 20
		4th	0.043 (0.037)	≥ 15
	XPS	special	0.027 (0.023)	-
		1st	0.028 (0.024)	-
		2nd	0.029 (0.025)	-
rigid poly urethane	1 class	1st	0.024 (0.021)	≥ 45
		2nd	0.024 (0.021)	≥ 35
		3rd	0.026 (0.022)	≥ 25
	2 class	1st	0.023 (0.020)	≥ 45
		2nd	0.023 (0.020)	≥ 35
		3rd	0.028 (0.024)	≥ 25

지를 차단하고, 외부의 열기나 냉기가 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 필요한 성능이다. 벽체에 요구되는 단열성은 냉난방을 위하여 투입된 에너지가 실내에서 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 요구되는 성능으로 벽체의 열관류율이 낮을수록 에너지 절감에 유리하다.

건축물 부위의 열관류율 산정을 위한 단열재의 열전도율 값은 KS L 9016 보온재의 열전도율 측정방법에 따른 국가공인기관의 시험성적서에 의한 값을 사용하되 열전도율 시험을 위한 시료의 평균온도는 20±2°C로 한다. Table 1은 KS M 3808, 3809 및 KS L 9016에 의한 건축용 보온재의 등급별 재료에 따른 열전도율 기준 및 환산값<sup>(4-6)</sup>을 나타내며, 각 등급별 해당 단열재의 밀도 범위를 추가하였다.

## 2.2 플라스틱계 단열재의 경시변화 매커니즘

### 2.2.1 플라스틱계 단열재의 경시변화 특성

플라스틱계 단열재는 단열재 내부의 독립기포(closed cell) 형성 및 단열 성능 향상을 위해 발포제(blowing agent)를 사용하며 발포제는 일반적으로 열전도율이 공기에 비해서 낮다.

플라스틱계 단열재의 열성능이 시간에 따라 저하되는 이유는 공기 중의 질소와 산소가 빠른 속도로

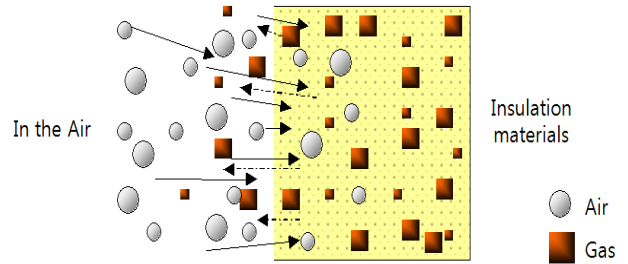


Fig. 1 Aging mechanism of closed-cell plastics insulation materials.

기포 속으로 침투하여 일차적인 열성능 저하(thermal drift)를 초래시키고, 열저항이 비교적 큰 내부 가스가 공기의 침투에 비해 느린 속도로 천천히 외부로 방출되기 때문이다. Fig. 1은 발포가스와 공기의 치환에 의해 단열성능이 저하되는 원리를 나타내고 있다.

- (1) 1단계 변화(A Primary stage) : 외부 공기의 침투로 인한 단열재 내부 기포의 구성 가스 비율이 급격히 변화함에 따른 변화로서 열표류 현상을 발생(일반적으로 5년 이내에 변화 종료)
- (2) 2단계 변화(A Secondly stage) : 외부 공기의 침투는 중단되나 내부기포에 주입된 충전 가스가 서서히 외부로 빠져나감으로서 발생하는 열성능의 저하(10년 이상에 걸쳐 발생하며 경우에 따라서는 100년 이상 걸리기도 함)

### 2.2.2 경시변화에 의한 열저항 변화 특성 및 축진 시험 방법의 원리

단열재의 경시변화는 같은 재료에서는 두께가 얇을수록 축진되며, 변화의 패턴이 무차원화 될 경우 동일한 특성을 갖는다. 따라서 시료를 얇게 잘라(slicing) 내어 내부 가스의 방출을 축진시킴으로서 시험기간을 단축시킬 수 있으며, 원재료와 얇게 잘려진 시료와의 관계는 치수계수(scaling factor)로서 보정하여 최종적인 예정된 기일이 경과한 후의 열저항 변화를 추정할 수 있다. 축진 시험 방법은 KS M ISO 11561 : 2009 「단열재 경시변화-독립 기포 플라스틱의 열저항 장기변화 결정(실험실 가속 시험법)」에서 정하고 있으며, 실제 성능과 축진시험에서 도출된 시험결과 값은 10% 이내에서 일치하는 것으로 설명<sup>(2,3)</sup>하고 있다. 또한 축진 시험 시 주요변수인 시료 두께는 10 mm로 정하고 있으며, Fig. 2-Fig. 4는 시료 두께에 따른 실제 측정된 열저항과 스케일링 인자 적용 후 나타나는 상대적 열저항 결과를 시간에 따라 나타내고 있다.

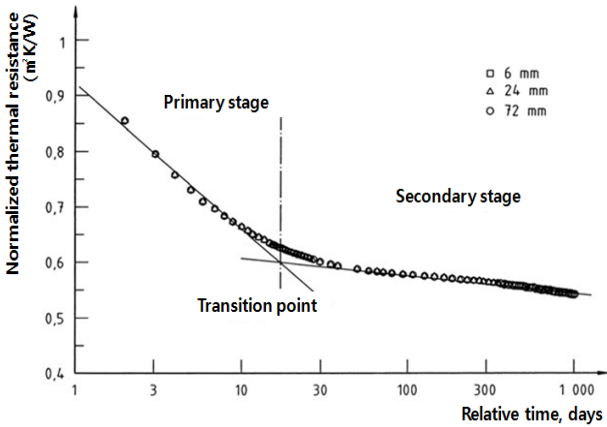


Fig. 2 Aging characteristic of closed-cell plastics insulation materials by normalize process.

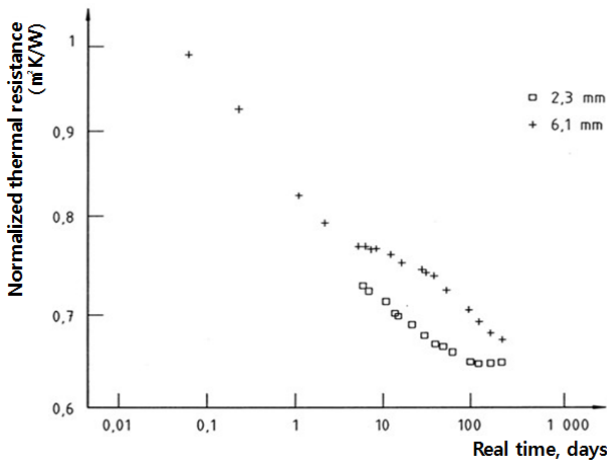


Fig. 3 Aging characteristic without scaling factor.

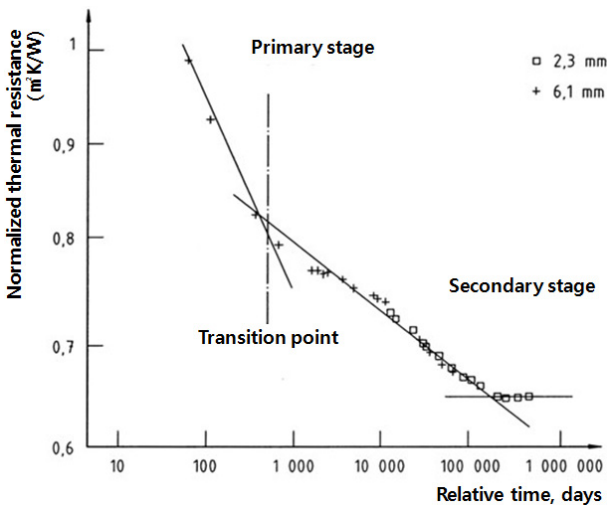


Fig. 4 Aging characteristic with scaling factor.

### 3. 실험개요

#### 3.1 실험조건 및 장비

본 연구에서 사용된 열전도율의 측정장비는 ASTM C 518(Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus)과 ISO 8301(Thermal Insulation--- Determination of Steady-State Thermal Resistance and Related Properties)의 측정방법을 따른 HOLOMETRIX사의 Rapid-k (RK30)와 Netzsch사의 Heat Flow Meters HFM 436 Lambda Series 2종의 열전도율 측정기기를 사용하였으며 그 개요는 Table 2, Fig. 5와 같다.

열전도율 측정을 위한 시편은 KS A 0006(시험장소의 표준 상태) 및 KS M 3808(발포 폴리스티렌 보온재)에 따라 온도  $20\pm 5^\circ\text{C}$ , 상대습도  $40\pm 5\%$ 의 항온항습실에서 보관 및 관리되었다. Fig. 6은 시편이 보관된 항온항습실의 전경이다.

Table 2 Outline of thermal conductivity measurement apparatus

measuring range	0.015~0.43 W/m · K
size of specimens	300×300 mm, d = 5~100 mm
accuracy	$\pm 2 \sim \pm 5\%$
reproducibility	$\pm 1\%$



Fig. 5 Thermal conductivity measurement apparatus.



Fig. 6 Chamber with specimens.

### 3.2 실험 방법

열전도율의 측정은 ISO 8301, KS L 9016(보온재의 열전도율 측정방법)에 준한 평판 열류계법에 따라 각 단열재 시편을 대상으로 하였다. Fig. 7은 평판 열류계법에 의한 열전도율 시험법 개요를 보여준다.

단열재 시편은 생산일로부터 3일 이내에 수집하여 Fig. 8과 같이 실제 벽체에 구성되도록 설치하였다. 실험 조건은 외기의 직접적인 영향을 받을 수 있도록 유리면 뒤편(1층)에 설치한 경우와 벽체 내부(2층)에 설치한 조건을 대상으로 하였다. 각 단열재 시편은 300(W)×500(H)×

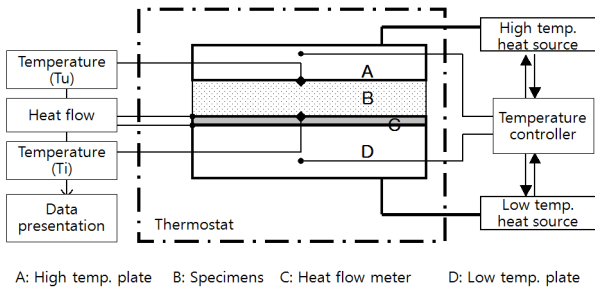


Fig. 7 Outline of thermal conductivity test method by heat flow meter.

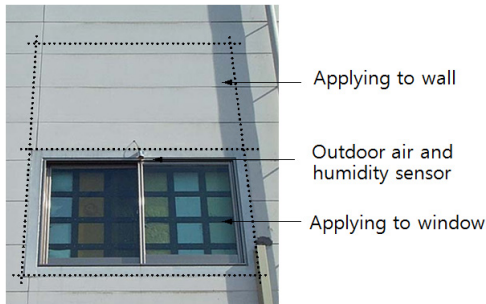


Fig. 8 The exterior of test room.

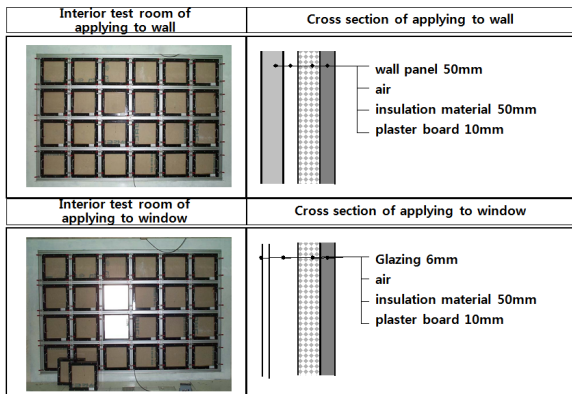


Fig. 9 The interior of test room and cross section of wall.

Table 3 Specimens under aging test

materials		density [kg/m <sup>3</sup> ]	Aging	accelerated test	
expanded polystyrene	type 1	special	35.4	○	○
	type 2	1st	32.3	○	-
		special	33.2	○	-
	2nd	30.5	○	-	

50(D) mm의 크기이며 Fig. 9와 같이 각각 독립된 셀로 구성되도록 하였다. Fig. 8은 실험실 외부 전경이며, Fig. 9는 각 시험 단열재의 설치부위 구성 단면도를 나타낸다.

또한 압출법 발포폴리스티렌 단열재의 촉진시험에 따른 경시변화 특성을 살펴보기 위해 KS M ISO 11561 : 2009 Aging of thermal insulation materials-Determination of the long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics(accelerated laboratory test methods)에 따라 시험을 실시하였다. 압출법 단열재 type 1의 특호를 대상으로 시험하였으며, 촉진 시험방법은 열선에 의한 slicing과 세톱에 의한 cutting 방법을 활용하였다. Table 3은 각 경시변화 시험 대상 시료를 나타낸다.

### 4. 장기 경시변화 결과 및 고찰

#### 4.1 압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 1

압출법 단열재 type 1의 특호와 1호의 시험 초기, 즉 생산 후 3일 이내의 열전도 저항값은 그 성능이 범규 기준에서 요구하는 KS 규격보다 상당히 높은 값을 보였다.

압출법 단열재 type 1 특호 시험체의 열전도 저항값은 2.485 m<sup>2</sup>·K/W로 상당히 높은 값을 보이나, 초기의 높은 열저항은 시간이 경과하면서 점차 낮아지는 특성을 보였다. 100일이 경과하면서 1.964 m<sup>2</sup>·K/W로 나타났고, Fig. 10에 나타난 바와 같이 1000일이 경과한 후에는 1.491 m<sup>2</sup>·K/W, 현재 4000여일이 경과한 시점에는 1.469 m<sup>2</sup>·K/W로 나타났다. 압출법 단열재 type 1의 특호는 Fig. 10의 경시변화 특성에서 볼 때 약 110일 이후 압출법 단열재 특호 KS 규격 이하로의 열성능 저하를 보였다.

1호 시험체의 경우도 초기값은 2.222 m<sup>2</sup>·K/W이나, 1000일이 경과한 후에는 1.368 m<sup>2</sup>·K/W, 4000여일 경과한 시점에는 1.367 m<sup>2</sup>·K/W로 낮아졌다. 따라서 압출법 발포폴리스티렌 단열재는 생산 초기의 단열성능이 1000일의 시간 경과에 따라 38.5~40.9% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 약 4000여일 경과한 현 시점에도 열전도저항 값이 비슷하게 유지되는 것으로 보아 1000일 이후에 안정화 상태에 접어든 것으로 판단된다. 압출법 단열재 type 1의 1호의 경우 실험조건에 설치 이후 50~60일이 경과된 이후 압출법 단열재 1호 KS 규격

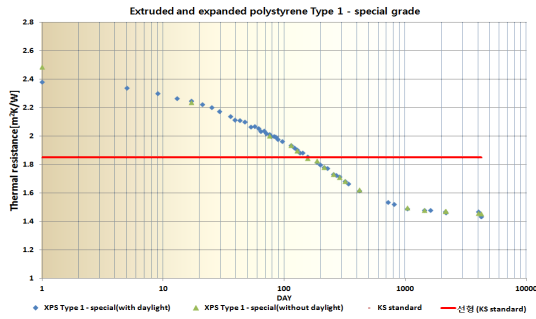


Fig. 10 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 1-special grade.

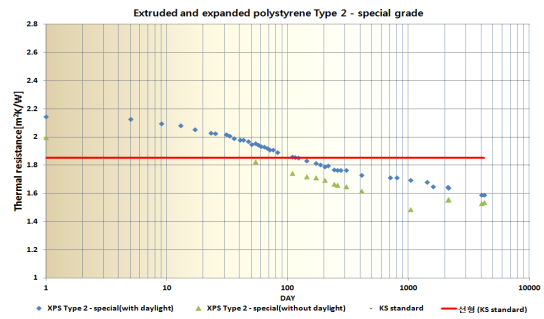


Fig. 12 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 2-special grade.

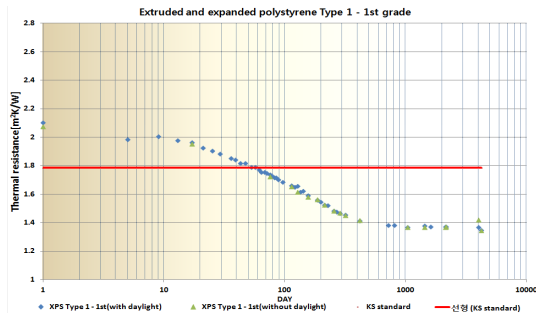


Fig. 11 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 1-first grade.

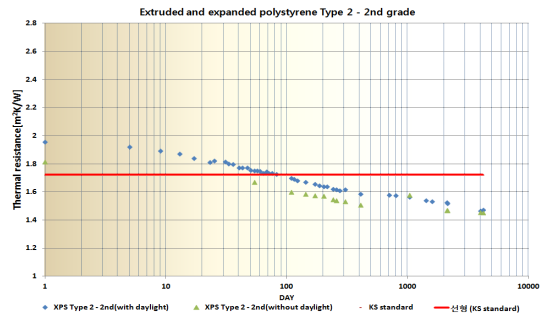


Fig. 13 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 2-second grade.

을 넘어서는 열성능 저하를 보여 기준 규격을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다.

외부환경에 따른 온도 및 습도의 변화가 컸던 유리창 설치 시편의 열성능 저하가 외부영향이 상대적으로 적었던 벽체 설치 시편보다 클 것으로 예상되었으나, 벽체 설치 시편 실험 결과 그 성능저하의 차이는 크게 보이지 않는 것으로 나타났다. Fig. 10과 Fig. 11은 압출법 단열재 type 1의 특호 및 1호의 열전도저항 변화를 나타낸다.

#### 4.2 압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 2

시험 초기, 즉 생산 후 3일 이내의 압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 2의 열전도 저항값은 특호 시험체의 경우  $2.157 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 상당히 높은 값을 보였다. 그러나 초기의 높은 열저항은 type 1과 마찬가지로 시간이 경과하면서 점차 낮아지는 특성을 보였다. 100일이 경과하면서  $1.892 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 나타났고, Fig. 12에 나타난 바와 같이 1000일이 경과한 후에는  $1.694 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , 현재 4000여일이 경과한 시점에는  $1.588 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 나타났다. 압출법 단열재 type 2의 특호는 생산된지 약 80일이 경과된 이후 KS 규격을 넘어서는 열성능 저하를 보였다.

2호 시험체의 경우 초기값은  $1.984 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 이나, 1000일이 경과한 후에는  $1.566 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ , 4000여일 경과한 시점에는  $1.471 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 낮아졌다. 압출법 단

열재 type 2의 2호는 Fig. 13의 경시변화 특성에서 볼 때 생산된지 약 50일이 경과된 이후 KS 규격을 넘어서는 열성능 저하를 보였다.

압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 2는 생산 초기의 단열성능이 1000일의 시간 경과에 따라 21.0~21.4% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 4000여일의 시간이 경과한 현 시점에도 25.9~26.4% 감소하는 것으로 나타났으며, 열저항 성능 저하가 현재까지 계속 진행되는 것으로 판단된다.

일사에 노출된 유리창 설치 시편과 벽체 설치 시편의 열성능 저하 비교 결과, Fig. 12, Fig. 13에서 보는 바와 같이 초기값에 따른 그 차이가 균일하게 현재까지 진행되는 것으로 나타났다.

Fig. 12, Fig. 13은 압출법 보온판 type 2의 특호 및 2호의 열전도저항 변화를 나타내며, Table 4와 Table 5는 type 1, 2의 유리창 및 벽체 적용 시 열전도저항 측정 결과와 주요 측정일을 나타낸다.

#### 4.3 소결

압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 1과 type 2의 생산 후 3일 이내의 열전도 저항값은 그 성능이 KS 규격보다 상당히 높은 값을 보였으나 Table 4에서 나타나듯이 계속해서 단열 성능이 저하되는 것으로 나타났다.

경시변화 특성에서 볼 때 type 1의 특호는 생산된지 약 110일 이후, 1호는 50~60일 경과 후 KS 기준 규격을 넘어서는 열성능 저하를 보여 기준 규격을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 또한 type 2의 특호와 2호 역시, 초기 측정 이후 시간이 지남에 따라 KS 기준보다 낮은 열성능을 보였다. Fig. 14는 type 1과 type 2의 경시변화를 열전도율 측정값으로 나타낸 그래프이며, 측정 횟수에 따라 열전도율 값이 높아지는 패턴을 나타내고 있다.

이러한 압출법 단열재의 열성능 저하는 플라스틱계 (closed-cell plastics) 압출 발포 보온재의 특성에 의한 것으로 파악된다. 시간이 경과함에 따라 단열재 내부에 형성된 독립기포 내에 공기가 침투하고 단열성능을 가진 발포제가 외부로 천천히 방출됨으로써 단열재의 열성능이 저하되는 것으로 보인다.

국토해양부 고시 제2013-149호 건축물의 에너지절약 설계기준에서는 압출법 보온판을 ‘가’ 등급으로 분류하여 실제 건물 적용시 단열재 등급별 허용 두께가 기타 등급에 비해 상대적으로 낮게 정해지고 있다.<sup>(1)</sup>

향후 지속적인 연구를 통하여 단열재의 경시변화에 따른 단열재 등급별 허용 두께에 대한 합리적인 고시

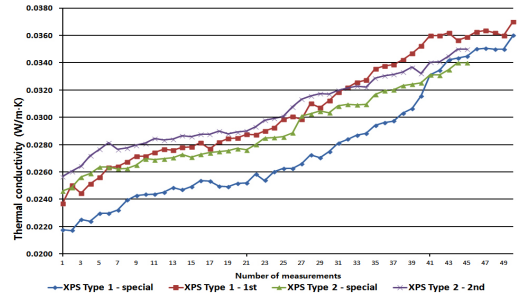


Fig. 14 Thermal conductivity of type 1 and 2(with daylight).

개정이 필요할 것으로 판단된다.

### 5. 촉진시험 결과 및 고찰

#### 5.1 열선 Slicing에 의한 촉진 시험 결과

시험은 압출법 단열재 type 1의 특호를 열선에 의해 두께 10mm로 얇게 슬라이싱(slicing) 하였다. 촉진 시험한 결과, 초기 측정값  $0.485 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 에서 600시간(약 25일)이 경과한 시점까지 열전도저항이 감소하여  $0.302 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 가 되었으며 이후 안정화되어 최종 측정된 3,206시간(약 134일)에는  $0.303 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 으로 측정되었다. 이는 열전도저항 값이 초기보다 약 37.5%가 감소하여 열성능이 저하된 것으로 나타났다. 경시변화 특성에서 볼 때 생산된지 약 40시간이 경과된 이후 KS 규격을 넘어서는 열성능 저하를 보였다. Fig. 15는 slicing 촉진시험에 의한 압출법 보온판 type 1 특호의 열전도저항 변화를 나타낸다.

#### 5.2 Cutting에 의한 촉진 시험 결과

압출법 단열재 type 1의 특호를 가는 톱으로 두께 10mm로 얇게 썰어(cutting) 열전도 저항값의 경시변화를 측정하였다. 촉진 시험한 결과, 초기 측정값  $0.486 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 에서 360시간(약 15일) 이후  $0.287 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 감소하였으며 이후 안정되어 최종 3,156시간(약 132일)이 지난 후에는  $0.285 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 로 나타나 초기보다 약 41.4%가 감소한 것으로 측정되었다. 경시변화 특성에서 볼 때 생산된지 약 20시간이 경과된 이후 KS 규격을 넘어서는 열성능 저하를 보였다. Fig. 16은 cutting 촉진 시험에 의한 압출법 보온판 type 1 특호의 열전도저항 변화를 나타낸다.

#### 5.3 소결

압출법 단열재의 촉진 시험을 위해 열선 및 세톱으로 두께 10 mm로 얇게 썰어 열전도 저항값의 경시변화

Table 4 The results of thermal resistance of expanded polystyrene

specimens	thermal resistance [m <sup>2</sup> · K/W]				density [kg/m <sup>3</sup> ]	deterioration ratio [%]	
	initial value	100 days	1000 days	4000 days			
window	type 1	2.485	1.964	1.491	1.469	35.4	40.9
		2.222	1.686	1.368	1.367	32.3	38.5
	type 2	2.157	1.892	1.694	1.588	33.2	26.4
		1.984	1.726	1.566	1.471	30.5	25.9
wall	type 1	2.498	2.004	1.497	1.454	35.4	41.8
		2.222	1.725	1.370	1.346	32.3	39.4
	type 2	2.158	1.825	1.486	1.535	33.2	28.9
		1.968	1.671	1.578	1.453	30.5	26.2

Table 5 The production day and major measurement days of expanded polystyrene

specimens	production day	initial measurement day	major measurement days			
			about 100 days	about 1000 days	about 4000 days	
window	type 1	(2001) 11.01	(2001) 11.06	(2002) 02.07	(2004) 09.13	(2012) 10.31
	type 2	(2001) 11.16	(2001) 11.22	(2002) 02.15	(2004) 09.20	(2012) 11.06
wall	type 1	(2001) 11.01	(2001) 11.06	(2002) 01.29	(2004) 09.21	(2012) 10.23
	type 2	(2001) 11.16	(2001) 11.22	(2002) 01.31	(2004) 09.30	(2012) 10.22

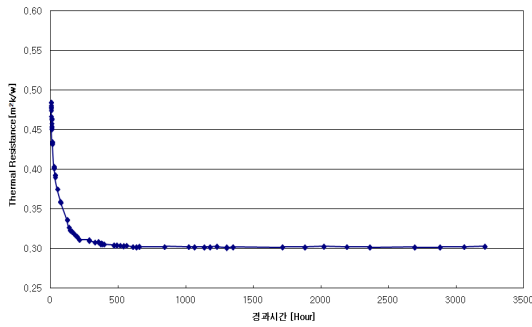


Fig. 15 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 1 special grade by slicing accelerated test.

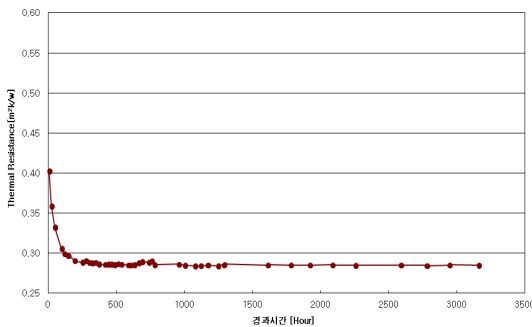


Fig. 16 Thermal resistance of extruded and expanded polystyrene type 1 special grade by cutting accelerated test.

를 측정하였다. 그 결과, 약 130여일이 경과된 후 초기값 대비 37.5~41.4%의 열저항 성능이 감소되었으며, slicing에 의한 촉진방법보다 cutting에 의한 촉진방법 적용시 더 빠른 경시변화를 보였다. 향후 장기간의 시험을 하지 않더라도 촉진시험을 통해 건축용 단열재의 장기 경시변화 특성을 파악하기 위한 두 시험방법 간의 관계식을 도출할 계획이다.

## 6. 결론

본 연구는 건축물에 사용되는 국내 건축용 단열재에 대한 열전도율 시험을 장기간에 걸쳐 실시하여 단열재의 장기 경시변화에 따른 열물성 자료를 도출하고자 하였다. 시료는 밀도와 충전가스에 의한 4종류의 압출법 발포폴리스티렌 단열재를 대상으로 하였으며, 외기에 직접 및 간접 영향을 받을 수 있도록 실험실을 구성하여 장기 경시변화를 측정하였다. 또한 촉진 시험법을 활용하여 건축용 단열재의 경시변화에 따른 단열재의 장기 열특성 자료를 도출하고자 하였다. 압출법 단열재의 장기 경시변화 결과는 다음과 같다.

(1) 압출법 발포폴리스티렌 단열재 type 1과 type 2의

생산 후 3일 이내의 열전도 저항값은 그 성능이 KS 규격보다 상당히 높은 값을 보였으나 시간이 경과할수록 단열 성능이 저하되는 것으로 나타났다. type 1은 1000일 이후에 안정화 상태에 접어들었으며, type 2는 열저항 성능 저하가 4000여일이 경과된 현재까지 계속 진행되는 것으로 판단된다.

(2) 압출법 발포폴리스티렌 단열재의 촉진시험에 따른 경시변화 특성을 살펴보기 위해 열선에 의한 slicing과 세톱에 의한 cutting을 활용하여 측정한 결과, slicing 촉진에 의한 열전도율 변화가 cutting 방법에 의한 변화보다 적은 것으로 나타났다. 이는 슬라이싱 할 때 열선에 의해 시편에 막이 생김으로써 cutting 방법보다 단열재의 내부 가스가 공기 중으로 천천히 방출되기 때문인 것으로 판단된다.

상기 건축용 단열재의 장기 경시변화에 따른 열특성 자료를 통해 건축물 단열재 관련 기준 및 규격의 합리적인 개정을 위한 근거자료로 활용하고자 한다.

## Reference

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013, Building energy saving design standards.
2. KS M ISO 11561 : 2009 Aging of thermal insulation materials-Determination of the long-term change in thermal resistance of closed-cell plastics(accelerated laboratory test methods).
3. ASTM C1104(Standard Test Method for Determining the Water Vapor Sorption of Unfaced Mineral Fiber Insulation).
4. KS M 3808 : 2011 Cellular polystyrene(PS) for thermal insulation.
5. KS M 3809 : 2006 Rigid polyurethane foam for thermal insulation.
6. KS L 9016 : 2010 Test methods for thermal transmission properties of thermal insulations.
7. Jeong ,Y. S., 2002, An experimental study on the thermal conductivity change of building insulation materials with long-time elapse, an Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 1, pp. 485-488.
8. Choi, H. J., 2003, An experimental study on thermal conductivity change of building insulation materials with long-time elapse II, an Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 1, pp. 605-608.
9. Kang, J. S., 2005, An experimental study on the thermal conductivity change of building insulation materials with long-time elapse III, an Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 1, pp. 163-166.