

20년 이상 경과된 노후건축물의 단열재 성능평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on a Performance Evaluation of Internal Insulation of Buildings Over 20 Years Old

김 현 진¹

최 세 진^{2*}

Kim, Hyun-Jin¹

Choi, Se-Jin^{2*}

Researcher, Korea Land & Housing Corporation, Chungui-ro, Jinju, 52852, Korea ¹

Professor, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, Iksan, 54538, Korea ²

Abstract

Recently, the international community signed a climate change agreement to prevent global warming. Yet currently, the fossil fuels have been widely used in to supply building energy for cooling and heating. The Green Building certification (G-SEED), an energy efficiency rating for new or existing buildings requires that buildings meet certain conditions. Insulation is used as a building material to reduce the energy supply to buildings and to improve the thermal insulation, and it accounts for more than 90% of the total heat resistance provided by the building surface components that meet the energy-saving design standards of new buildings. In this investigation, a performance evaluation study was conducted through an experimental study by directly extracting the foam polystyrene insulation on-site during the remodeling of a building that was in the range of 22~38 years old. Through tests, it was found that the thermal conductivity of the extrusion method insulation (XPS) was reduced by 48% and the compressive strength of XPS decreased by 36% compared to KS M 3808, which is the initial quality standard. For bead method insulation (EPS) with a thickness of 50mm, the thermal conductivity, the compressive strength, and flexural failure load were similar to the initial quality standard. Therefore, in the calculation of the primary energy requirement per unit area per year, the performance of bead method insulation can be estimated simply by considering the thickness of the insulation, while a correction factor that considers its performance deterioration should be applied when extrusion method insulation is used.

Keywords : insulation materials, energy-saving, old building, thermal conductivity, compressive strength, G-SEED

1. 서 론

최근 국제사회는 지구온난화 방지를 목표로 “2015 유엔 기후변화협약(UNFCCC)”을 체결했고, 이에 따라 우리나라도 2030년까지 연간 온실가스 발생량을 BAU대비 37% (315백만Tco₂-eq, 국내: 25.7%, 해외: 11.3%) 감축하는

것을 목표로 당 해도(2030) 목표배출량을 536백만Tco₂-eq으로 설정한 바 있다. 또한 2018년 「2030 온실가스 감축 로드맵 수정(안)」에서는 당초 국내 감축량을 25.7%에서 32.5%로 상향(해외감축분 4.5%)하고 추가 감축분에 해당하는 58백만Tco₂-eq의 50%를 건물부문으로 할당함으로써 건물부문의 경우 9개 분야 총 감축목표량(276.5백만Tco₂-eq)중 산업부문 다음으로 많은 65백만Tco₂-eq를 감축해야 하는 것으로 알려져 있다[1]. 따라서 건축물에서의 에너지절감 필요성이 점차 증대하고 있으며 특히 전국 건축물 710만여 동 중 67%(477만동)을 차지하고 있는 15년 이상 된 노후건축물에 대한 녹색건축물 전환 활성화가 요구되고 있다.

Received : October 3, 2019

Revision received : December 8, 2019

Accepted : December 11, 2019

* Corresponding author : Choi, Se-Jin

[Tel: 82-63-850-6789, E-mail: csj2378@wku.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

한편, 정부는 Table 1과 같이 노후건축물의 냉난방에너지 절감하고자 기존건축물의 녹색건축인증(G-seed, 그린리모델링 인증 포함) 제도를 도입하여 인증등급에 따른 인센티브제도를 부여하고 있다. 이러한 그린 리모델링 인증항목 중 단열재 성능이 좌우하는 에너지성능개선 항목은 매우 중요한 부분으로서 50%이상의 배점에 대해 기존 건축물의 에너지성능 개선전후의 효율 상승률에 따라 점수를 부여하고 있다[2]. 단열재의 열 저항 효율개선과 물리적 성능을 파악하기 위해 기존에는 주로 실험실 조건하에서 축진실험 등을 통한 연구가 있었으나, 실제 건축물에서 시공된 노후 단열재의 성능이 어떻게 발휘되고 유지되는지에 대해서는 연구가 미미한 실정이다.

본 연구는 준공이후 22~38년 경과된 노후건축물을 대상으로 실제 시공된 단열재의 열전도율, 압축강도 및 굴곡과 피하중 등의 성능을 비교·검토함으로써 기존 건축물의 에너지효율등급 및 그린리모델링 시공을 위한 참고자료로 제시하고자 지난 3년('16년~18년)동안 진행하였고, 이를 위해 단열재의 종류(압출법 및 비드법) 및 생산년도별로 열적성능변화 등을 파악하고 현재와 같이 성능변화를 고려하지 않는 건축물의 연간 단위면적당 1차 에너지소요량 산정 방식의 적합성과 단열재의 내구연한을 검토하고자 하였다.

Table 1. G-Seed criteria

| Field | Green remodeling residential building | | |
|------------------------------------|--|-----------------|-------|
| | Item | Sortation | Score |
| Energy and environmental pollution | Energy performance improvement | Required item | 10 |
| | Carbon-point | Evaluation item | 2 |
| Material and resources | Use of environmental statement products | Evaluation item | 2 |
| Water circulation management | Using a water-saving device | Evaluation item | 2 |
| Maintenance | Information related to green remodeling | Required item | 2 |
| Indoor environment | Application of temperature control system and thermal insulation | Evaluation item | 2 |

2. 에너지소요량 및 기존연구 고찰

건축물의 연간 단위면적당 1차 에너지소요량 구성항목 및 요소는 Table 2와 같이 건축물 에너지 효율등급은 실내의 쾌적한 환경을 유지하기 위한 특정조건(내/외부 온도,

재실자수 등)에 따른 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 등의 에너지 총량을 계산하고, 에너지원별 환산계수를 적용하여 연간 단위면적당 1차 에너지소요량(kwh/m²·y)을 산출하고 등급을 분류하게 된다. 이러한 연간 단위면적당 1차 에너지소요량 산출에 있어 단위면적당 에너지요구량 중 냉방·난방항목이 큰 비중을 차지하며, 이로 인해 건물 외피의 단열 성능은 등급판정에 있어 매우 중요하다.

Table 2. Building energy needs and components

| Item (kwh/m ² · y) | Component |
|--|---|
| Energy requirements per unit area per year | Amount of energy required by cooling + heating + Hot water + lighting |
| Energy consumption requirements per unit area per year | Energy consumption for cooling + heating + Hot water + lighting + ventilation |
| Primary energy requirement per unit area per year | Energy consumption+fuel collection processing, transportation, conversion supply. loss, etc |

Table 3. Percentage of thermal resistance of insulation by year

| Building Area | thickness of skin (mm) | Thermal resistance (m ² · k/w) | Thermal resistance ratio of insulation (%) | |
|---------------|--------------------------|---|--|-------|
| 1991 | The bottom floor | 310 | 1.919 | 74.54 |
| | Roof (direct) | 270 | 1.850 | 83.57 |
| | Exterior wall (direct) | 340 | 2.267 | 82.09 |
| | Exterior wall (indirect) | 280 | 2.215 | 74.29 |
| 2018 | The bottom floor | 400 | 4.240 | 84.76 |
| | Roof (direct) | 500 | 6.717 | 95.38 |
| | Exterior wall (direct) | 400 | 6.179 | 93.87 |
| | Exterior wall (indirect) | 450 | 4.596 | 87.04 |

Table 3은 경과년수에 따른 단열재의 열 저항 성능을 나타낸 것으로 1991년 설계시에는 건물 부위별로 열 저항 성능의 75%~83%를 단열재가 차지하였으나, 최근(2018년)에는 설계 기준이 강화되면서 85%~95%로 부위별 단열재가 차지하는 열 저항 성능 비율이 15% 정도 증가하고 있다.

이와 같이 지속적으로 건축물의 에너지효율은 강화되는 추세이나 단열재의 내구연한 및 최소한의 열성능 저하율에 대한 기준이 없는 실정이며 신축건물의 경우는 자재별 KS 인증 및 시험성적서 등으로 열저항값을 신뢰할 수 있으나 준공년수가 오래 경과된 노후건축물의 경우 단열재 성능저

하와 이로 인한 에너지 소비와 상관관계를 알수 없어 기존 노후건축물에 대한 사회적 문제로 부각되고 있다.

Table 4 및 Table 5는 단열재의 열성능 저하율에 따른 건물 외피의 부위별 열 저항 변화율과 단위면적당 1차 에너지 소요량을 산출한 값으로 열성능 저하율에 따라 외피 구성체의 단열성능이 급격히 감소하고 있음을 알 수 있으며 단위면적당 1차 에너지소요량도 증가함으로써 냉·난방을 위한 공급 에너지가 증가하게 된다.

Table 4. Insulation heat resistance ration of the outer jacket according to the thermal degradation rate

| Thermal degradation rate(%) | Thermal resistance rate of insulation of building envelope(%) | | | |
|-----------------------------|---|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| | The bottom floor | Roof (direct) | Exterior wall (direct) | Exterior wall (indirect) |
| 0 | 74.54 | 83.57 | 82.09 | 74.29 |
| 10 | 67.00 | 75.97 | 74.62 | 67.54 |
| 20 | 62.12 | 69.64 | 68.40 | 61.91 |
| 30 | 57.34 | 64.28 | 63.14 | 57.15 |
| 40 | 53.24 | 59.69 | 58.63 | 53.06 |
| 50 | 49.69 | 55.71 | 54.72 | 49.53 |

Table 5. Primary energy requirement according to the thermal degradation rate

| Thermal performance Degraded rate(%) | Primary energy requirement per unit area per year(kwh/ m ² · y) |
|--------------------------------------|--|
| 0 | 195.60 |
| 10 | 197.60 |
| 20 | 199.50 |
| 30 | 201.30 |
| 40 | 203.10 |
| 50 | 204.80 |

발포 폴리스티렌 단열재의 장기 경년변화에 따른 열전도율 변화에 대한 연구는 기존건물에 대한 실증연구보다는 인위적인 환경을 조성하여 실내 실험실내에서 실시하는 연구가 주로 이루어지고 있다. 관련연구 자료를 살펴보면 Table 6과 같이 발포 폴리스티렌 단열재인 압출법(XPS) 제품은 생산 후 1000일 경과 시점에 열 저항성능이 약 20% 저하하고 비드법(EPS)의 경우 생산 후 1000일이 경과함에도 불구하고 열전도 저항 특성의 변화가 거의 나타나지 않았다고 보고 한 바 있다[3].

Table 6. Thermal conductivity measurement result

| Materials | Heat conduction resistance (m ² · k / w) | | Rate of change (%) | |
|-----------|---|--------------------------|--------------------|------|
| | Initial value (3 days) | Final value (1,000 days) | | |
| XPS | type A | 2.157 | 1.696 | 21.3 |
| | type B | 1.982 | 1.568 | 20.8 |
| EPS | type A | 1.417 | 1.417 | 0 |
| | type B | 1.301 | 1.293 | 0.6 |

3. 실험 계획

3.1 대상건축물 선정

본 연구의 실험 대상 건축물은 Figure 1에 나타난 바와 같이 국토교통부가 주관하고 한국토지주택공사(LH)가 시행한 국가온실가스감축 시범사업으로서 2013년부터 에너지성능향상 및 효율개선을 목표로 그린리모델링 공사비의

Table 7. Sampling and experimental plan

| Materials | Thickness (mm) | Test date | Test item | Completion year (years of production) | Insulation method | Building name | Test agency |
|--------------|------------------|------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------|
| XPS [type 1] | special | 2017.02.08 | A, B, C, D | 1984 (34 years) | out wall (middle insulation) | D dormitory | KTR |
| EPS [type 2] | 1class (4th) | 2017.04.19 | A | 1979 (39 years) | out wall (middle insulation) | K ward office | LH |
| EPS [type 3] | 1class (3rd) | 2018.04.25 | A, D, E | 1982 (37 years) | out wall (middle insulation) | B university | LH |
| EPS [type 4] | 1class (1st) | 2018.06.25 | A, D, E | 1985 (34 years) | out wall (middle insulation) | T university | LH |
| EPS [type 5] | 1class (1st) | 2018.06.25 | A, D, E | 1985 (34 years) | top floor (insider insulation) | T university | LH |
| EPS [type 6] | 1class (1st) | 2018.07.25 | A, B, C, D, E | 1985 (34 years) | top floor (insider insulation) | T university | LH |
| EPS [type 7] | 1class (4th) | 2019.01.03 | A, B, C, D, E | 1997-bankruptcy (22 years) | out wall (insider insulation) | W hospital | LH |

A: thermal conductivity, B: compressive strength, C: flexural failure load, D: absorption amount, E: density

| | | |
|--------------------|-------------------------------------|--|
| Building | D dormitory |  |
| Scale (total area) | B1F / 4F (6,386 m ²) | |
| Completion year | 1984 year | |
| Method | brick/insulation/brick | |
| Building | K ward office |  |
| Scale (total area) | B1F / 4F (6,386 m ²) | |
| Completion year | 1979 year | |
| Method | brick/insulation/brick | |
| Building | B university |  |
| Scale (total area) | B1F / 4F (5,808 m ²) | |
| Completion year | 1982 year | |
| Method | brick/insulation/brick | |
| Building | T university |  |
| Scale (total area) | B1F / 3F (2,666 m ²) | |
| Completion year | 1985 year | |
| Method | brick/insulation/brick | |
| Building | W hospital |  |
| Scale (total area) | B5F / 12F (56,103 m ²) | |
| Completion year | 1997 year | |
| Method | c.w/wall/insulation | |

Figure 1. Target buildings

일부를 지원 중인 “공공건축물 그린리모델링 지원 사업”에 선정된 노후건축물 중 외벽 단열보강을 위해 기존벽체를 해체하는 건축물과 건축물 정비 선도사업으로 선정된 건축물을 대상으로 선정하였다. 특히, 대상 건축물들은 준공년수가 22~38년 경과된 건축물로서 실험실에서 계획적으로 조건과 환경을 구성하여 연구하는 여건과는 달리 현장 여건(단열재 보존, 철거일정, 기후, 공정율, 교통 등)에 의해 샘플 자재채취도 어려웠으며, 준공당시 설계도면 작성 미흡과 준공도면 분실, 단열재 규격 미표기 등으로 인해 건물 전체의 단열재 시공상태를 정확하게 파악하는데는 다소 한계가 있었다.

3.2 실험 방법

본 연구는 Figure 2와 같이 공공건축물 그린리모델링 지원사업 대상 건축물의 리모델링 현장을 방문하여 단열재를 채취하고 공인인증시험기관에 위탁하여 Table 7과 같이 건축물별로 KS M 3808에 따른 항목을 실험하였으며, 일부 항목에 대해서는 민간건설사 연구소 도움을 받아 직접

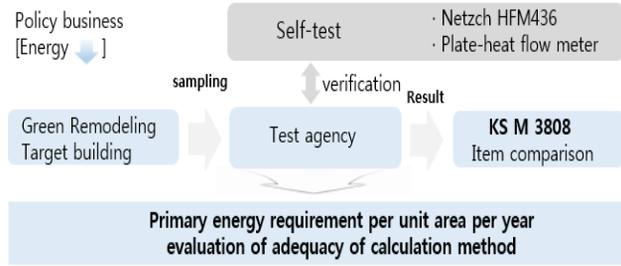


Figure 2. Experimental process

Table 8. KS value of thermal conductivity, compressive strength, density and flexural failure load

| Materials | Thermal conductivity (w/m · k) | Compressive strength (N/cm ²) | Density (kg/m ³) | Flexural failure load(N) | |
|-----------|--------------------------------|---|------------------------------|--------------------------|------|
| special | 0.027 | ≥ 25 | - | ≥ 45 | |
| XPS | 1st | ≥ 18 | - | ≥ 35 | |
| | 2nd | ≥ 14 | - | ≥ 35 | |
| | 3rd | 0.031 | ≥ 10 | - | ≥ 35 |
| EPS | 1st | 0.036 | ≥ 16 | ≥ 30 | ≥ 35 |
| | 2nd | 0.037 | ≥ 12 | ≥ 25 | ≥ 30 |
| | 3rd | 0.040 | ≥ 8 | ≥ 20 | ≥ 25 |
| | 4th | 0.043 | ≥ 5 | ≥ 15 | ≥ 20 |

Netzsch사의 HFM 436으로 평판열류계법에 의한 열전도율을 산정하여 비교·분석하였다. 또한 생산당시의 열전도율 등의 초기값을 알 수 없는 관계로 건축물의 준공시점을 기준으로 건설공사 공정관리상 단열공사 착수시점은 준공 1년 전에 착수함을 감안해 단열재 생산년도는 [준공-1년]으로 설정하였다.

발포 폴리스티렌 단열재 품질기준(KS M 3808) 및 보온재의 열전도율 측정방법(KS L 9016) 개정이력을 조사한 후 Table 8과 같이 단열재의 초기 KS 성능기준을 파악하여 최종 시험성적서 결과값과 비교하는 방법으로 연구를 진행하였다. 실험에 사용된 단열재는 생산년도가 22~39년 된 자재로 시험결과값 분석과정중 혼돈을 방지하기 위해 비드법 2종(2005년 신설) 및 압출법의 장기열전도율(2009년 신설)은 제외하였다.

실험대상은 대부분 1979년~1985년에 준공된 건물로 당시 설계도서의 작성·관리 미흡으로 단열재의 종류(호)가 미 표기된 경우 육안(비드크기) 및 시험값(밀도, 압축강도, 흡수량)등 으로 판단하였으며, 일부 단열재(Type 1, Type 7)는 자재 표면의 KS표시가 있어 종류 및 규격을 확인하였다. Figure 3은 시험재료들을 나타낸 것으로 일부 시료의



Figure 3. Test materials

경우 보존상태가 양호하지 않은 경우도 있었으며 단열재 종류별, 시공부위별로 KS M 3808에 의한 시험항목을 측정하였다. 발포 폴리스티렌 단열재의 장기적인 물성변화에 대한 시험은 KS M ISO 11561 [단열재 경시변화-독립 기포 플라스틱의 열 저항의 장기변화결정(실험실 가속시험법)]으로 제시하고 있으며 이는 실험실에서 슬라이스(slicing)기법과 스케일링(scaling) 기법에 기초를 두고 있다. 단열재 생산시 첨가한 발포제는 셀의 크기가 상대적으로 균일하고 초기 열 저항을 증가시킬 수 있으나 발포이후 공기중의 질소, 산소 등 가스성분이 셀 내부로 확산되고, 이로 인해 셀 내부의 가스압력이 증가하면서 셀 내부 가스 혼합물의 열전도가 증가할 수 있다. 이를 개선하기 위해 2009년 KS M 3808 개정 시에 압출법 발포 폴리스티렌 단열재는 발포가스의 시간경과에 따른 확산으로 장기 단열 성능이 변화하는 것을 보완하고자 KS M ISO 11561에 규정하는 시험방법 B에 따라 생산된 시점부터 최소 25년간의 평균 열 저항의 추정치를 산출한 후 장기 열전도율을 계산하고, 생산자는 열 저항에 대한 경시변화를 측정하기 위해 매년 1회 이상 공인시험기관에서 시험을 실시하고 있다[4,5].

4. 실험결과 및 고찰

4.1 열전도율 성능 변화

단열재의 주요 성능으로 볼 수 있는 열전도율은 Table 9와 같이 측정되었다. Type 1(압출법, 특호)은 준공년수가 33년 된 건축물에서 채취한 시험체로 경과년수는 34년으

로 산정하였으며 경시변화에 의해 Figure 3과 같이 단열재 단면 색상이 본래 분홍색에서 하얗게 변화된 상태를 알 수 있었다.

Table 9. Test result of thermal conductivity

| Materials | | | Thermal conductivity (w/m·k) | Result (after-before/before)x100(%) |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| XPS | type 1 [special] | before | 0.027 | 48.15 |
| | | after 34 | 0.040 | |
| | type 2 [1class,4th] | before | 0.043 | 18.60 |
| | | after 39 | 0.051 | |
| | type 3 [1class,3rd] | before | 0.040 | - 2.50 |
| | | after 37 | 0.039 | |
| | EPS | type 4 [1class,1st] | before | 0.036 |
| after 34 | | | 0.034 | |
| type 5 [1class,1st] | | before | 0.036 | - 2.78 |
| | | after 34 | 0.035 | |
| type 6 [1class,1st] | | before | 0.036 | - 8.33 |
| | after 34 | 0.033 | | |
| type 7 [1class,4th] | before | 0.043 | - 6.98 | |
| | after 22 | 0.040 | | |

Table 10. Test results of expanded polystyrene insulation

| Materials | Result value |
|----------------------|--|
| thermal conductivity | 0.0412 (w/m·k) - similar to new material |
| compressive strength | 59Kpa(6N/cm ²) (10% increase) |
| density | 14.72kg/m ³ - similar to new material |
| absorption volume | 0.5% within - very dry |

실험결과 열전도율은 0.040(w/m·k)로 생산초기 열전도율인 0.027(w/m·k)와 비교하여 약 48%의 열전도율이 증가하여 단열성능 저하현상을 보였다. Type 2(비드법, 4호)는 생산년수 39년된 단열재로 열전도율 시험결과 열전도율이 0.051(w/m·k)로 생산초기의 열전도율 0.043(w/m·k)보다 약 18%의 증가하여 열 저항성능이 저하됨을 알 수 있었다. 그러나 비드법 Type 3~Type 7의 시험체는 생산 경과년수가 22~37년 경과했음에도 불구하고 생산초기 열전도율을 유지하고 있으며 일부는 Table 8의 KS M 3808 열전도율보다 낮게 나타났다. Table 10은 독일 패시브협회에서 발표한 자료로 준공년수가 25년 된 건축물 외벽(단열재 두께 275mm, 이중 단열재 150mm + 125mm)에서 채취한 비드법 단열재를 시험한 결과값으로 열전도율과 밀도는 신규제품과 동일한 품질기준을 보였고, 압축강도는 생산초기 보다 10% 증가한 것을 알 수 있다[6]. 이와 비교

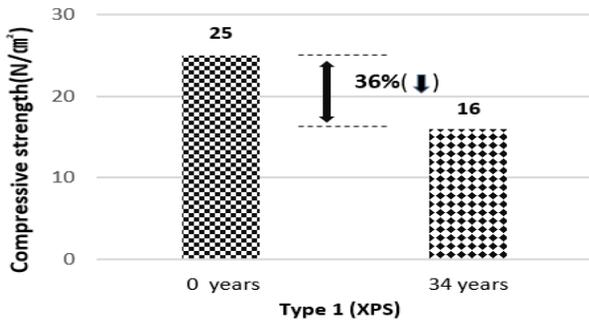


Figure 4. Compressive strength of insulation material (XPS Type)

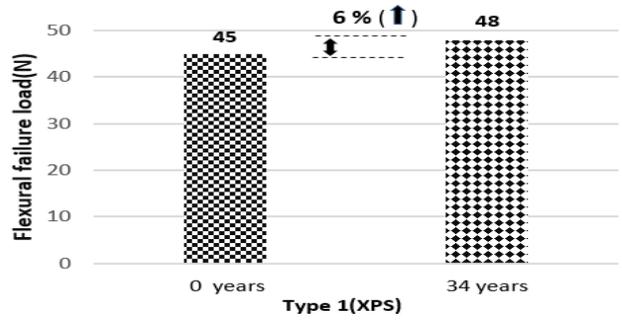


Figure 6. Flexural failure load of insulation material (XPS Type)

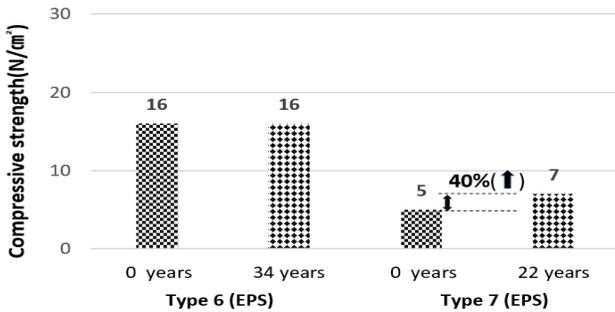


Figure 5. Compressive strength of insulation material (EPS Type)

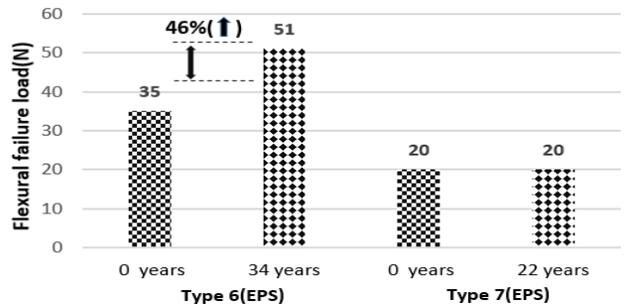


Figure 7. Flexural failure load of insulation material (EPS Type)

하면 기존 연구와 동일하게 시간경과에 따라 압축법은 열 저항성이 저하되나 비드법은 열 저항성이 유지됨을 확인할 수 있다.

4.2 압축강도 변화

단열재가 주택의 층간바닥에 시공되는 경우 단열 및 소음 차단 성능과 함께 상부하중의 입력에 견딜 수 있는 압축강도가 유지되어야 한다. Figure 4 및 Figure 5는 경과년수에 따른 압축강도의 실험값으로 Type 1(압출법, 특호)의 경우 생산초기의 압축강도는 25N/cm² 이었으나 34년 경과 후에는 16N/cm² 로 측정되어 생산초기에 비해 압축강도가 약 36% 저하된 것으로 나타났다. 또한 비드법인 Type 6 및 Type 7의 경우 경과년수에 따른 압축강도 성능변화가 거의 없거나, 일부 시료는 기준 값보다 다소 상회하는 값을 보이고 있어 Table 10의 독일 패시브협회에서 발표한 자료와 유사한 경향임을 알 수 있다. 비드법의 경우 압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, Type 7(생산년수 22년)과 독일 패시브하우스(준공년수 25년) 문헌에서 사용된 시료는 비슷한 생산년수를 보이고 있다. Type 6(생산년수 34년)은 초기 KS 기준값과 동일하게 나타났고, 비드법 생산

시 품질 기준값(KS M 3808)보다 높게 생산하였다고 추정할 수도 있으나, 일정 시간동안 자연건조되며 압축강도가 증가한 측면도 있을 것으로 사료된다.

4.3 굴곡파괴하중 변화

Figure 6 및 Figure 7은 경과년수에 따른 굴곡파괴하중 결과값으로 Type 1(압출법, 특호)의 경우 굴곡파괴하중이 48N으로 KS M 3808의 생산초기 기준값인 45N 보다 약 7% 정도 높게 나타났다. 또한 Type 6(비드법, 1호)은 생산초기의 굴곡파괴하중인 35N에서 34년 경과 후에 굴곡파괴하중이 51N으로 약 46% 높게 나타나 경과년수가 상당히 증가했음에도 불구하고 굴곡파괴하중이 증가하였다.

또한 Type 7(비드법, 4호) 시험체의 경우 초기 굴곡파괴하중이 20N에서 생산년수가 22년이 경과한 후의 굴곡파괴하중이 20N으로서 준공 경과년수에 따른 굴곡파괴하중의 성능변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 압축강도와 연계하여 분석해 보면 생산년수가 34년 된 Type 6(비드법, 1호)의 압축강도는 초기값과 일정했으나 굴곡파괴하중은 증가한 반면 생산년수가 22년 된 Type 7(비드법, 4호)는 압축강도는 증가했으나 굴곡파괴하중은 초기값이 일정하

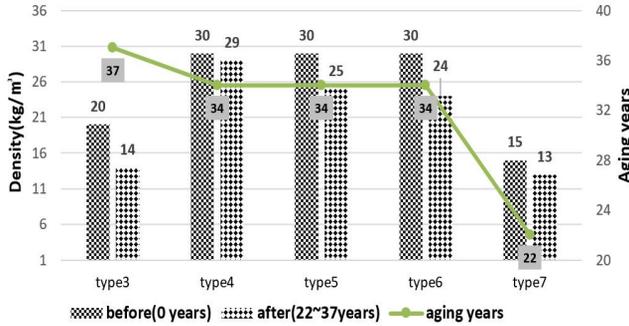


Figure 8. Density of insulation material

여 성능저하 없이 시간경과에도 불구하고, KS M 3808의 기준을 만족하는 것으로 보인다.

4.4 밀도 변화

단열재의 종류별 경과년수에 따른 밀도변화를 나타낸 Figure 8에서 볼 수 있는 바와 같이 Type 3~Type 7(비드법)의 밀도는 생산년수가 경과함에 따라 약 3~30% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 단열재 시공부위(보존환경-공기순환)에 따른 밀도변화를 검토하기 위해 단열재 종류와 시공시점 및 건물 주변 환경이 동일한 T대 건축관의 Type 4(외벽 중단열, 완전밀폐상태) 시험체와 Type 5, 6(최상층지붕 내단열, 노출)시험체를 비교한 결과 완전밀폐상태인 Type 4 시험체의 밀도변화가 다소 적게 감소하는 결과를 보이고 있는데 이는 밀폐된 환경에 시공된 시험체가 주변의 영향을 크게 받지 않아 보존상태가 양호했기 때문인 것으로 추정된다.

4.5 흡수량 변화

Figure 9는 단열재의 종류에 따른 흡수량 변화를 나타낸 것으로 Type 3~Type 7(비드법)시험체의 경우 건축물에 따라 22~37년의 생산년수가 경과함에도 불구하고 현재의 KS M 3808 흡수량 품질기준인 1.0g/cm²이하를 모두 만족하는 결과를 보이고 있다. 또한 Type 1(압출법, 특호) 시험체의 경우 흡수량에 대한 품질기준은 없으나 생산년수 경과에 따라 흡수량이 높아져 단열성능이 저하될 수 있다는 기존 상식(토사매립부위 시공자재)에 대한 검토측면에서, 흡수량 시험을 실시한 결과 0.3g/cm²으로 Type 3~Type7(비드법) 시험체에 비해 상대적으로 양호한 품질을 나타내었다.

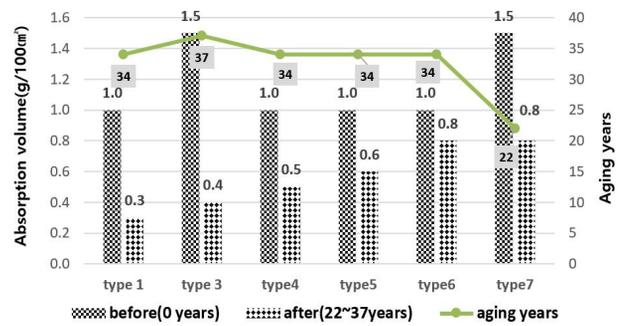


Figure 9. Absorption volume of insulation material

Table 11. The combustion test result of expanded polystyrene

| Materials | Quality standard (before 2011) | Quality standard (after 2011) | Result (after 2011) |
|--------------------------|---|-------------------------------|---------------------|
| XPS type 1 [special] | the flame goes out within 3 seconds | within 120 seconds | fitness |
| type 6 [1class, 1st] | and have no residue and | burning time and | |
| EPS type 7 [1class, 4th] | done not burn above the limit of combustion | within 60mm burning length | |

따라서 자외선 노출이 없는 외부 단열 및 토사 매립구간에 발포 폴리스티렌 단열재만 비교한 경우 압출법을 시공해도 흡수량으로 인한 성능 저하 우려는 크지 않을 것으로 판단된다.

4.6 연소성 성능 변화

연소성 시험기준은 1973년 KS M 3808 제정당시 Table 9와 같이 3초 이내에 불꽃이 꺼져야 하고, 찌꺼기가 없고 연소한계선을 초과하지 않는 것이 품질기준이었으나 2011년 개정으로 연소시간은 120초 이내이며 연소길이 60mm 이하로 변경된 바 있다. 본 연구에서는 외부공인시험기관에 의뢰하여 현재의 KS M 3808 기준에 따라 시험을 실시하였으며 시험결과 Type 1(압출법) 및 Type 6~7(비드법) 시험체 모두 적합한 것으로 나타났다. 따라서 생산년수가 22~37년 경과한 건조된 단열재는 화재위험성이 클 것으로 우려하였으나 Table 10과 같이 난연성이 없는 현재의 단열재 물질기준인 KS M 3808의 연소성을 만족하는 값을 확인할 수 있었으며, (그린)리모델링공사 계획시 기존 벽체를 유지하고 신규로 단열 보강하는 공법에 대한 화재 안전성측면에서 참고자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 12. The Combustion test report of expanded polystyrene

| Materials | Quality inspection report | Result | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|----------------------|------------------|------------------|------|------------|---------------|----|------------------|------------|------------------|--------|------------------|-------|----|----------------------|------------------|-------------------|------|----------------------|------------------|--------|-----|------------|------------------|------------------|--------|--------|------------------|--------|------------------|-------------------------|------------------|--------|-----|---|------------------|---------------------------------|
| type 1 |  <p>TEST REPORT</p> <p>우 17182 경기도 용인시 처인구 용인읍 용부대로207번길 45-27 TEL. (031) 679-9515 FAX. (031) 338-0427</p> <p>생체서번호 : TAY-000709 접수 일자 : 2017년 05월 25일 대 표 자 : 이희정 시험일자 : 2017년 05월 26일 발 행 처 : 한국화학융합시험연구원 시험일자 : 2017년 05월 26일 주 소 : 경기도 용인시 처인구 용부대로 172 (성지동) 사 료 명 : 압출폼의스탈락시험용재질인출폼25mm</p> <p>시험결과</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시험항목</th> <th>단위</th> <th>시험구분</th> <th>결과치</th> <th>시험방법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>표기밀착도(밀착도) 표준</td> <td>WV</td> <td>-</td> <td>0.04</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>공극과외하중</td> <td>N</td> <td>-</td> <td>48</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>압축강도</td> <td>N/cm²</td> <td>-</td> <td>18</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>연소성</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>비대응</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>흡수율</td> <td>g/100g</td> <td>-</td> <td>0.3</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> </tbody> </table> <p>• 품목 : 압출폼인출 비고 : 1. 이 시험은 시험자가 제시한 시험 방법 및 시험방법에 시험한 결과에 의해 발행된 결과에 대한 책임이 없으며, 시험자의 업무범위인 한국화학융합시험연구원(KRISS)의 ISO 9001에 관한 인증 범위를 초과하여 발행된 결과에 대한 책임이 없습니다. 2. 이 시험은 시험자가 제시한 시험 방법 및 시험방법에 시험한 결과에 의해 발행된 결과에 대한 책임이 없습니다. 3. 이 시험은 시험자가 제시한 시험방법에 따라 시험결과를 발행하고 있습니다. 4. 이 시험은 시험자가 제시한 시험 방법 및 시험방법에 따라 시험결과를 발행하고 있습니다.</p> <p>한국화학융합시험연구원 KTR 한국화학융합시험연구원</p> | 시험항목 | 단위 | 시험구분 | 결과치 | 시험방법 | 표기밀착도(밀착도) 표준 | WV | - | 0.04 | KS M 3808 : 2011 | 공극과외하중 | N | - | 48 | KS M 3808 : 2011 | 압축강도 | N/cm ² | - | 18 | KS M 3808 : 2011 | 연소성 | - | - | 비대응 | KS M 3808 : 2011 | 흡수율 | g/100g | - | 0.3 | KS M 3808 : 2011 | No damage [KS M3808] | | | | | | |
| 시험항목 | 단위 | 시험구분 | 결과치 | 시험방법 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 표기밀착도(밀착도) 표준 | WV | - | 0.04 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 공극과외하중 | N | - | 48 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 압축강도 | N/cm ² | - | 18 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 연소성 | - | - | 비대응 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 흡수율 | g/100g | - | 0.3 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| type 6 |  <p>품질검사 성적서</p> <p>시험일자 : 2017년 05월 26일 (월) / 시험장소 : 용인시 처인구 용부대로 172 (성지동) / 시험구분 : 압출폼 시험대상 : KS M 3808 : 2011 / 시험항목 : 압출폼의스탈락시험용재질인출폼25mm 시험결과 : 압출폼의스탈락시험용재질인출폼25mm / 시험방법 : KS M 3808 : 2011</p> <p>시험결과</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>시험구분</th> <th>시험결과</th> <th>시험방법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 연소성(연소)</td> <td>연소</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>2. 연소성(밀착)</td> <td>연소</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>3. 밀도</td> <td>밀도</td> <td>24 kg/m³</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>4. 압축강도</td> <td>압축강도</td> <td>18 N/cm²</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>5. 흡수율</td> <td>흡수율</td> <td>0.3 g/100g</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>6. 공극과외하중</td> <td>공극과외하중</td> <td>48 N</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>7. 흡수율</td> <td>흡수율</td> <td>0.3 g/100g</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>8. 연소성</td> <td>연소성</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> </tbody> </table> <p>이 시험 결과에 대한 책임은 시험자가 제시한 시험 방법 및 시험방법에 따라 시험한 결과에 의해 발행된 결과에 대한 책임이 없으며, 시험자의 업무범위인 한국화학융합시험연구원(KRISS)의 ISO 9001에 관한 인증 범위를 초과하여 발행된 결과에 대한 책임이 없습니다.</p> <p>한국화학융합시험연구원 KTR 한국화학융합시험연구원</p> | 항목 | 시험구분 | 시험결과 | 시험방법 | 1. 연소성(연소) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | 2. 연소성(밀착) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | 3. 밀도 | 밀도 | 24 kg/m ³ | KS M 3808 : 2011 | 4. 압축강도 | 압축강도 | 18 N/cm ² | KS M 3808 : 2011 | 5. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | 6. 공극과외하중 | 공극과외하중 | 48 N | KS M 3808 : 2011 | 7. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | 8. 연소성 | 연소성 | 비 | KS M 3808 : 2011 | time [60s] length [30mm] |
| 항목 | 시험구분 | 시험결과 | 시험방법 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 연소성(연소) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 연소성(밀착) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 밀도 | 밀도 | 24 kg/m ³ | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 압축강도 | 압축강도 | 18 N/cm ² | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. 공극과외하중 | 공극과외하중 | 48 N | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. 연소성 | 연소성 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| type 7 |  <p>품질검사 성적서</p> <p>시험일자 : 2017년 05월 26일 (월) / 시험장소 : 용인시 처인구 용부대로 172 (성지동) / 시험구분 : 압출폼 시험대상 : KS M 3808 : 2011 / 시험항목 : 압출폼의스탈락시험용재질인출폼25mm 시험결과 : 압출폼의스탈락시험용재질인출폼25mm / 시험방법 : KS M 3808 : 2011</p> <p>시험결과</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>시험구분</th> <th>시험결과</th> <th>시험방법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 연소성(연소)</td> <td>연소</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>2. 연소성(밀착)</td> <td>연소</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>3. 밀도</td> <td>밀도</td> <td>24 kg/m³</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>4. 압축강도</td> <td>압축강도</td> <td>18 N/cm²</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>5. 흡수율</td> <td>흡수율</td> <td>0.3 g/100g</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>6. 공극과외하중</td> <td>공극과외하중</td> <td>48 N</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>7. 흡수율</td> <td>흡수율</td> <td>0.3 g/100g</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> <tr> <td>8. 연소성</td> <td>연소성</td> <td>비</td> <td>KS M 3808 : 2011</td> </tr> </tbody> </table> <p>이 시험 결과에 대한 책임은 시험자가 제시한 시험 방법 및 시험방법에 따라 시험한 결과에 의해 발행된 결과에 대한 책임이 없으며, 시험자의 업무범위인 한국화학융합시험연구원(KRISS)의 ISO 9001에 관한 인증 범위를 초과하여 발행된 결과에 대한 책임이 없습니다.</p> <p>한국화학융합시험연구원 KTR 한국화학융합시험연구원</p> | 항목 | 시험구분 | 시험결과 | 시험방법 | 1. 연소성(연소) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | 2. 연소성(밀착) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | 3. 밀도 | 밀도 | 24 kg/m ³ | KS M 3808 : 2011 | 4. 압축강도 | 압축강도 | 18 N/cm ² | KS M 3808 : 2011 | 5. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | 6. 공극과외하중 | 공극과외하중 | 48 N | KS M 3808 : 2011 | 7. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | 8. 연소성 | 연소성 | 비 | KS M 3808 : 2011 | time [60s] length [30mm] |
| 항목 | 시험구분 | 시험결과 | 시험방법 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. 연소성(연소) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. 연소성(밀착) | 연소 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. 밀도 | 밀도 | 24 kg/m ³ | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. 압축강도 | 압축강도 | 18 N/cm ² | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6. 공극과외하중 | 공극과외하중 | 48 N | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7. 흡수율 | 흡수율 | 0.3 g/100g | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8. 연소성 | 연소성 | 비 | KS M 3808 : 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5. 결론

본 연구에서는 준공후 22~39년 경과된 노후 건축물에 시공된 단열재를 채취하여 KS M 3808에 규정된 품질기준 항목에 따라 단열재 성능을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열전도율 성능변화를 KS M 3808 품질기준과 비교 분석 한 결과 생산년수 34년 경과한 압출법은 48% 증가하여 열 저항성이 저하하였고, 생산년수 22~37년 경과한 비드법은 열전도율은 미비하게 2~8% 저하되어 열 저항성능이 다소 높게 나타났다. 특히 생산년수가 39년 된 비드법 Type 2의 열전도율은 18.6% 상승했으나 두께가 25mm로 타 시험체(두께 50mm)에 비해 얇으며, KS M ISO 11561[단열재 경시변화-독립기포 플라스틱의 열저항의 장기변화결정(실험실 가속시험법)]을 기준으로 분석해 보면 단열재 두께가 얇아 공기중의 산소, 질소가스의 침입이 타 시험체보다 깊숙하게 이루어져 열 저항성능이 떨어진 것으로 판단된다[7,8].
- 2) 압축강도 성능변화는 압출법은 생산초기 25N/cm²에서 16N/cm²로 약 36% 강도저하현상을 보였고, 비드법은 생산 초기와 동일하거나 약간 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 굴곡과외하중은 압출법은 생산초기 45N에서 48N으로 약간 증가했으며 비드법 Type 6, Type7은 동일하거나 다소 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 밀도성능 변화는 비드법은 생산년수 경과에 따라 3~30% 감소하는 현상을 보였고 흡수율 성능변화는 비드법인 경우 현재의 KS M 3808을 만족하였다
- 5) 건축물의 에너지성능 판단기준인 단위면적당 1차 에너지 소요량 산정에 있어 단열재의 열 저항성능이 큰 영향을 미치는 바, 압출법인 경우 장기열전도율이 제정(2009년)된 이전의 자재는 생산년수 경과에 따라 열 저항성능이 저하되고 있으나, 기존 건축물의 단위면적당 1차 에너지 소요량 산출은 이를 적절히 반영하지 못하고 있어 이에 대한 생산년도별 열전도율 저감계수를 반영해야 할 것으로 사료되며, 비드법의 경우 열전도율의 변화가 없어 현재와 같은 KS M 3808의 기준 값을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

최근 국제사회는 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약을 체결하고 건축물의 냉방 및 난방 에너지로 공급하는 화석연료 사용을 줄이고자 신축 또는 기존건물에 대한 녹색건축인증(G-SEED) 및 에너지효율등급, 건축물 에너지절약 설계기준 등을 일정조건 이상인 건축물에 의무적으로 적용하고 있다. 건물에 공급하는 에너지 공급을 줄이고 보온성을 향상시키는 건축자재로 단열재가 사용되고 있으며 신축 건축물의 에너지절약 설계기준을 만족하는 건물외피 구성 재료 중 총 열 저항성의 90% 이상을 차지하고 있다.

그러나 기존건축물에 시공된 단열재의 경시변화에 대한 명확한 자료가 부족하여 건축물의 에너지성능 판단기준인 단위면적당 1차에너지 소요량 산정에 대한 의문점을 갖게 되었다. 이에 20년 이상 된 노후 건축물의 리모델링 현장에서 단열재(압출법, 비드법)를 직접 채취하여 단열재성능을 비교·평가하였다. 실험결과, 압출법(XPS)은 생산초기 품질기준인 KS M 3808보다 열전도율은 48%, 압축강도는 36%가 저하되어 본래의 성능을 발휘하지 못함을 알 수 있었고, 비드법(EPS)의 경우 단열재 두께가 50mm인 경우 열전도율과 압축강도, 굴곡파괴하중 등이 생산초기 품질기준을 유지함을 알 수 있었다. 따라서 비드법의 경우 단열재 두께를 고려하여 현재의 단위면적당 1차 에너지소요량을 기존대로 산정하고, 압출법의 경우는 단위면적당 1차 에너지소요량 산정시 보정계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.

키워드 : 단열재, 에너지절약, 노후 건축물, 열전도율, 압축강도, 녹색건축인증

Funding

Thank you to the officials of the Korea and Housing Corporation for your cooperation in collecting and testing the insulation materials.

ORCID

Hyun-Jin Kim, <https://orcid.org/0000-0002-8373-0724>

Se-Jin Choi, <https://orcid.org/0000-0002-2142-3745>

1. Amendment of the 2030 GHG Reduction Roadmap and 2018-2020 Emissions Allocation Plan [Internet]. Sejong(Korea): Ministry of Environment, 2018-[cited 2019 Dec 17]. Available from: <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/1540853>
2. Ministry of land, Infrastructure and Transport, Rules for Green Building Certification, 2016.
3. Kang JS, Jeong YS, Kim GW, Choi GS, Lee SE, An experimental study on thermal conductivity change of building insulation materials with long-time elapse III. Journal of the Architectural Institute of Korea, 2005 Oct;25(1):164-8. <http://www.aik.or.kr/html/search.jsp>
4. KS M ISO 11561, Ageing of thermal insulation materials-Determination of the long-term change in the thermal resistance of close-cell plastics(accelerated laboratory test methods). Korea Industrial Standards, Seoul(Korea): Korea Standards & Certification Information Center; 2009.
5. KS M 3808, Cellular polystyrene(PS) for thermal insulation, Korea Industrial Standards, Seoul(Korea): Korea Standards & Certification Information Center; 2011.
6. Feist W, Ebel W, Pfluger R, Kirchmair M, 25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein [Internet]. Hessem(Deutschland): Passivehaus Institut damstadt; 2016 Sep[cited 2019 Dec 17]. 40 p. Available from: [https://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030101_neubau_wohnungsbau/06_passivhaus_kranichstein_25_jahre_bericht.html](https://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/030101_neubau_wohnungsbau/06_passivhaus_kranichstein_25_jahre_bericht/06_passivhaus_kranichstein_25_jahre_bericht.html).
7. Lim SH, Lee GC, Changes in insulation performance of organic insulating materials for building construction by accelerated durability test conditions, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2016 Dec;16(6):595-601. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2016.16.6.595>
8. Choi BH, Kang JS, The thermal performance of building insulation materials according to long-term aging. journal of the Korea Institute of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 2013 Nov;25(11):617-23.