

건축물의 지하공간을 위한 단열재의 특성 분석 및 설계 기준 수립

Establishment of Design Standard and Analysis of Insulation Property for Underground Space in Architecture

황민규* 조우진** 김강수***
Hwang, Min-Kyu Cho, Woo-Jin Kim, Kang-Soo

Abstract

The purpose of this study is to analyze an insulation property and to establish a design standard for the underground space in architecture. Insulation materials for this study are 12 kinds of Insulation which qualified KS standards(3 classes of EPS type 1, 3 classes of EPS type 2(Neopor), 3 classes of XPS and 3 classes of PU Boards). For insulation materials of underground space, insulating and water tightening property are desired. So conductivity for insulating and water absorption for water tightening are measured in this study.

Temperature, insulation is exposed to in the underground space, is different from temperature above the ground. Conductivity is measured in a temperature of 17°C, 20°C, 23°C and 26°C. In KS standards, water absorption are measure after 24 hours, but insulation is exposed to water for a long time in the underground. So after 110 days, water absorption are measured. As time goes by, increasing of water absorption means decreasing of water tightening and insulating. So after water absorption had measured for 110 days, conductivity has measured again.

As a result, XPS is selected as optimized insulation for underground. And Conductivity of XPS insulation with water should be added by 20%.

키워드 : 결로, 단열, 단열재, 비드법, 압출법, 경질우레탄폼, 열전도율, 흡수량, 지하공간

Keywords : Condensation, Insulation, Insulating Material, Eps, Xps, Poly Urethane, Thermal Conductivity, Water Absorption, Underground Space

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 7년간의 지하주차장의 하절기 결로 발생 현황을 분석했을 때 2008년 하절기부터 지하주차장의 결로가 크게 증가하였다. 이러한 증가 추세의 원인으로 우리나라의 하절기 기후가 고온다습한 환경으로 변화하고 있는 외부적인 원인과, 아파트의 주차장이 지하 2~4층까지 깊어지고 산을 깎아서 설치되어 저온의 흠에 접하게 되는 내부적인 원인을 들 수 있다.

이러한 지하주차장에서 발생하는 결로의 원인을 살펴보면 주차장 실내 표면온도가 저온의 지하수와 흠에 의해 주차장 공기의 노점온도에 비해 낮아졌을 때 결로가 발생한다.

다. 예를 들어 주차장 내부 온습도가 26°C, 90%일 때, 주차장 공기의 노점온도는 24.2°C로 표면온도가 24.2°C보다 낮은 곳에서는 결로가 발생하게 된다.

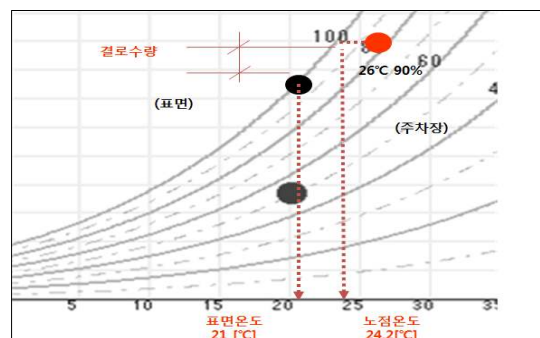


그림 1. 지하주차장 결로 발생 예시

결로를 저감하기 위한 대책으로는 표면온도를 상승시키거나 공기 중의 절대습도를 낮춰 노점온도를 낮추는 방법

* 주저자, 고려대학교 대학원 박사과정 (minkyu79@korea.ac.kr)
** 부저자, 삼성물산 주택ENG팀, 공학박사 (armvdr1@naver.com)
*** 교신저자, 고려대학교 건축학과 정교수, 공학박사 (kskim@korea.ac.kr)

이 있다. 지하 주차 공간의 경우에는 공간이 매우 넓고 주차장 램프와 드라이어리어, 채광창 등을 통해 거의 무한대의 수증기가 유입되어 공조를 통해 절대습도를 낮추는 것은 매우 어렵다. 그러므로 표면온도를 높이기 위한 단열보강이 지하공간에 적합한 해결책이라 판단할 수 있다.

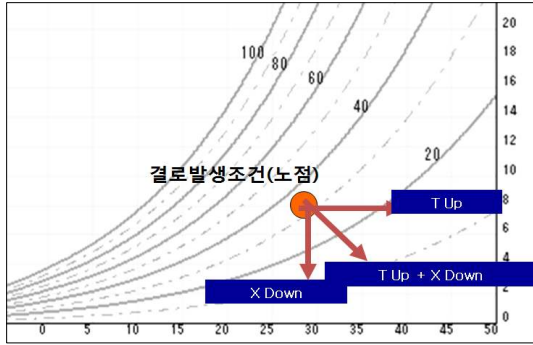


그림 2. 결로 저감 대책

그러나 지하공간은 세대 내부에 비해 온도가 낮게 형성되며, 항상 습하거나 지하수에 접하게 되는 환경을 형성하고 있다. 이에 지하 공간에는 위와 같은 환경이 고려된 단열재가 설계, 시공되어야 하겠다.

1.2 연구의 방법

본 연구의 목적은 지하공간의 환경에 적합한 단열재를 선정하고 그 특성에 대한 설계 기준을 정하는데 있다. 이를 위해 지하공간의 특성과 그에 필요한 성능을 규정하고 여러 단열재 중 요구 성능에 대한 검증을 하고자 하였다.

기존 연구에서는 단열재의 종류를 구체적으로 구분하지 못했으며, 함수 보다는 투습에 의한 영향을 중심으로 진행되었다. 지하공간의 경우 투습보다는 함수의 영향을 받으며, 설계 가이드를 위해 단열재를 구체적으로 구분하고 단열재의 성능변화를 수치화하였다.

- 이를 위해 아래와 같은 방법으로 연구를 진행하였다.
- 가. 지하공간의 결로 방지에 적합한 단열재의 요구 성능 규정
- 나. 단열재의 기본적인 성능 및 요구 성능 측정
- 다. 지하공간의 단열재 설계 가이드라인 수립

2. 단열재 및 열전도율

2.1 단열재

열은 전도, 대류, 복사 3가지 방법에 의해 한쪽에서 다른 쪽으로 전달된다. 이때 대부분의 단열재는 이러한 열의 흐름을 차단하거나 크게 줄일 수 있는 재료이며, 건축물의 에너지 절약설계 기준 상의 단열재 등급에 따르면 열전도율이 0.051W/m·K 이하인 재료부터 라군 단열재라 정의하고 있다.

단열재는 크게 유기질 단열재와 무기질 단열재로 구분할 수 있다. 유기질 단열재는 발포 폴리스티렌 단열재(비드법, 압출법), 우레탄폼 단열재(경질, 연질, 페놀 우레탄) 등이 있

으며, 무기질 단열재는 그라스울, 미네랄울 등이 있다.

2.2 열전도율

열전도율은 단열재의 열전달 능력을 측정하는 단위로서, 단위 두께를 가진 평판재로 두면 사이의 단위 온도차에 대하여 단위 면적을 통해 단위 시간당 전도되는 열의 양을 말한다. 이는 아래와 같은 식으로 표시가 되며 비례 상수 k는 열전도율이라고 하고 단위는 [W/m·K]이다.

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{d} \dots\dots\dots\text{식(1)}$$

- Q : 열량
- A : 물체의 면적 (m²)
- T₁, T₂ : 양면의 온도 (°C)
- d : 물체의 두께 (m)

간단히 요약하면 1m 간격의 2개의 평행 평면사이에 단면적 1m²에 대해 온도차 1°C당, 1시간에 전달하는 열량을 열전도율(W/m·K)이라고 하며 열전도율 k값이 큰 물질일수록 좋은 열 전도체이며 작을수록 열 절연체이다.

2.3 단열재의 등급별 열전도율 기준

국토해양부 고시인 '건축물의 에너지 절약 설계 기준'에서 제시된 단열재의 등급 분류 및 열전도율 범위는 아래 표와 같다.

<표 1>은 한국 산업 규격 KS L 9016에 따른 열전도율 측정 방법으로 시료의 평균온도를 20±5°C로 한 시험조건 결과에 따른다.

표 1. 단열재 등급분류에 따른 열전도율 범위

| 분류 | 열전도율의 범위 | 해당 단열재 및 기타 단열재 |
|----|---------------|---|
| | W/m·K | 참고사항 |
| 가 | 0.034 이하 | - 압출법단열판 특호, 1호, 2호, 3호 - 비드법단열판 2중 1호, 2호, 3호, 4호 - 경질우레탄폼단열판 1중 1호, 2호, 3호 및 2중 1호, 2호, 3호 - 그라스울 단열판 48K, 64K, 80K, 96K, 120K - 기타 단열재로서 열전도율이 0.034 W/m·K(0.029 kcal/m·h·°C) 이하인 경우 |
| 나 | 0.035 ~ 0.040 | - 비드법단열판 1중 1호, 2호, 3호 - 미네랄울 단열판 1호, 2호, 3호 - 그라스울 단열판 24K, 32K, 40K - 기타 단열재로서 열전도율이 0.035 ~ 0.040 W/m·K(0.030 ~ 0.034 kcal/m·h·°C) 이하인 경우 |
| 다 | 0.041 ~ 0.046 | - 비드법단열판 1중 4호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.041 ~ 0.046 W/m·K(0.035 ~ 0.039 kcal/m·h·°C) 이하인 경우 |
| 라 | 0.047 ~ 0.051 | - 기타 단열재로서 열전도율이 0.047 ~ 0.051 W/m·K(0.040 ~ 0.044 kcal/m·h·°C) 이하인 경우 |

3. 실험 개요

3.1 검토 대상 단열재 선정

본 연구에서 검토한 단열재는 습기에 취약한 섬유질계 단열재 보다는 판상형 단열재가 적합하다고 판단하여 시중

에서 가장 많이 사용하는 비드법 단열판 1종, 비드법 단열판 2종, 압출법 단열판, 경질우레탄 폼 단열판 2종으로 4가지 종류를 선정하였다. 그리고 각 종류의 단열재 마다 상위 성능의 호수로 각각 3개씩 선정하여 아래 표와 같이 총 12개의 단열재를 검토대상으로 선정하였다.

표 2. 단열재 별 KS 표준 및 시험평균온도 조건

| | | KS표준 | 평균온도 | 이하 명기 | | |
|-----------------|----|-----------|-------|-------|--|------|
| 비드법 단열판 1종 | 1호 | KS M 3803 | 23±2℃ | 단1-1 | | |
| | 2호 | | | 단1-2 | | |
| | 3호 | | | 단1-3 | | |
| 비드법 단열판 2종 | 1호 | | | 단2-1 | | |
| | 2호 | | | 단2-2 | | |
| | 3호 | | | 단2-3 | | |
| 압출법 단열판 | 특호 | | | | | 단3-1 |
| | 1호 | | | | | 단3-2 |
| | 2호 | | | | | 단3-3 |
| 경질 우레탄 폼 단열판 2종 | 1호 | KS M 3809 | 20±5℃ | 단4-1 | | |
| | 2호 | | | 단4-2 | | |
| | 3호 | | | 단4-3 | | |

3.2 지하공간의 단열재 요구 성능

지하공간은 세대 내부와는 온습도 환경이 매우 다르다. ISO, ASHRAE, 국내 기준에서 하절기, 동절기 실내 공간의 온습도 조건을 어느 정도 규정하고 있는 것과는 달리 지하 공간에 대해서는 온습도 환경이 규정되어 있지 않다.

KS M ISO 9774:2012(건축용 단열재-특성 선정 지침서)에 의하면, 건축물의 다양한 지붕, 벽, 천장 및 기초에 사용되는 단열재의 필요 특성에 대한 가이드라인을 제공하고 있으며, 지하 공간의 벽체와 기초에 사용되는 단열재에는 사용온도 범위에 대한 열전도율, 장기 습윤에 대한 안정성, 투습성을 고려하여야 한다는 가이드라인을 제시하고 있다. 즉, 지하공간의 단열재에 요구되는 성능을 차수성능과 단열성능으로 규정하였다.

사용온도를 고려해 보면, 지중 온도는 간단한 이론식을 통해 아래 그림과 같이 실내보다 낮은 13℃, 지하공간의 공기 온도는 실내 온도보다 높은 30℃ 정도로 예측할 수 있다고 하겠다.

장기 습윤 및 투습성에 대해 고려해 본다면, 지하공간은 항상 지하수가 흐르는 지중에 면하고 있다.

그러므로 지하공간에 적용되는 단열재는 13~30℃ 정도의 범위에서 최적의 단열성능을 가지고 있는 동시에 다습 또는 침수에 대해 차수성능을 가지고 있어야 할 것이다.

이를 위해 본 연구에서는 단열성능은 KS L 9016:2010에 따라 단열재의 열전도율로 성능을 평가하였고 차수성능은 KS M 3808:2011과 KS M 3809:2006의 흡수량으로 평가하였다.

KS 표준에 따라 열전도율과 흡수량을 측정하기 위해 단열재는 같은 날, 같은 공장에서 생산된 300mm×300mm×50mm : 열전도율과 100mm×100mm×25mm : 흡수량, 2가지로 준비하였다.

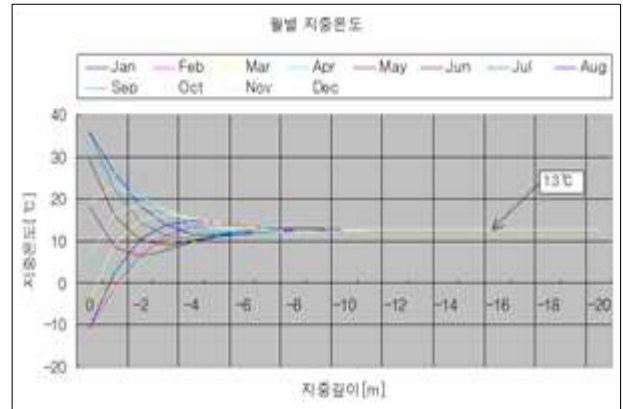


그림 3. 지중 불역층 온도분포

3.3 실험 장비

본 연구에서 열전도율을 측정하기 위해 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 측정방법이 가능한 HC-074-314 측정 장비를 사용하였으며 기본 사양은 아래 표와 같다.¹⁾

표 3. 열전도율 측정장비 HC-074-314 기본 사양

| | 값 |
|-------|-------------------|
| 시편 크기 | 300mm×300mm |
| 최대 두께 | 100mm |
| 측정 범위 | 0.005 ~ 0.35W/m·K |

KS 표준에 따라 흡수량을 측정하기 위해서는 0.01g까지 측정할 수 있는 저울과 담수를 위한 담수조가 필요한데 담수는 단열재를 수면 아래 50mm를 담가야 하므로 깊이 150mm 이상의 수조를 마련하였고 저울은 2가지(MH-200, AND GF-200)를 사용하였으며 기본 사양은 아래 표와 같다.

표 4. 저울 기본 사양

| | MH-200 | AND GF-200 |
|-------|--------|------------|
| 정밀도 | 0.01g | 0.1g |
| 측정 범위 | 0~200g | 0~20kg |

3.4 열전도율, 흡수량의 측정 방법

열전도율의 측정은 KS L 9016(보온재의 열전도율 측정 방법)에 따른 평판 열류계법에 따라 각 단열재 시편의 열전도율을 측정하였다. 아래 그림²⁾은 평판 열류계법의 구성을 나타내고 있다. 평판열류계법은 그림과 같이 고열판, 저열판, 열류계, 고열원, 저열원, 온도측정기, 열류 측정기 등으로 구성된다.

1) 이승언 외, 환경 및 시간경과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 2003
 2) KS L 9016: 2010 보온재의 열전도율 측정 방법

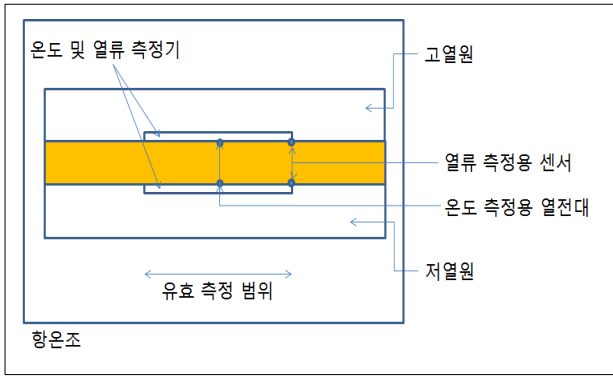


그림 4. 평판열류계법의 구성도

측정 장비에서 자동으로 시험체를 통과하는 열류량과 온도차를 측정하여 열전도율을 측정하였다.

흡수량 측정은 KS M 3808:2011, KS M 3809:2006에서 규정하고 있는 시험방법에 준하여 측정하였으며 그 방법은 아래와 같다.

100mm×100mm×25mm 시험편을 3개 준비하고 23±3℃의 맑은 물을 넣은 용기의 수명에서 50mm 아래로 담근 다음 10초 후 시험편을 꺼내 연직에서 30° 기울인 눈금 크기 3mm 철망에 놓고 30초가 방치 후 무게를 0.01g 정밀도로 측정하고 이를 기준무게(A)로 한다. 다시 맑은 물에 담그고 24시간 흡수 시킨 후 기준무게를 측정할 때와 같은 방법으로 무게(B)를 측정한다. 흡수량은 다음 식(2)에 따라 구한다.

$$\text{흡수량 (g/100cm}^2\text{)} = \frac{B-A}{\text{표면적}} \times 100 \dots \dots \dots \text{식(2)}$$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 시험 관련 단열재 기본 성능

비드법 단열판 1종, 비드법 단열판 2종, 압출법 단열판에 대한 표준은 KS M 3808:2011 발포 폴리스티렌(PS) 단열재에 포함되어 있으며 KS L 9016:2010 보온재의 열전도율 측정 방법에 따라 평균온도 23±2℃에서 열전도율을 측정하도록 규정되어 있다. 경질우레탄폼 단열판 2종의 표준규격은 KS M 3809:2006 경질 폴리우레탄 폼 단열재에 포함되어 있으며 KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법에 따라 평균온도 20±5℃에서 열전도율을 측정하도록 규정되어 있다.

KS M 3808과 KS M 3809에서 열전도율을 측정하는 평균온도가 상이한데 평균온도는 결국 그 단열재가 사용하게 될 환경을 대표하고 있다고 생각할 수 있다. 그래서 건축물의 에너지 절약설계 기준에 따르면 KS 표준에서는 평균온도가 상이하나 이를 20±3℃ 조건에서 측정한 값이나 환산한 값을 이용하도록 규정하고 있다.

KS 표준에 따라 시험에 사용된 단열재 4종 12개의 초기 열전도율과 밀도, 흡수량을 측정하였을 때 아래 표와 같다. 단열재는 모두 KS 표준에 준하는 밀도, 열전도율, 흡수량을 가진 제품을 연구에 사용하였다.

표 5. 연구 관련 단열재의 기본 성능

(밀도 kg/m³, 열전도율 W/m·K, 흡수량 g/100cm²)

| 종류 | 밀도 기준 | 밀도 측정 | 열전도율 기준 | 열전도율 | 흡수량 기준 | 흡수량 |
|------|-------|-------|----------|-------|--------|------|
| 단1-1 | 30 이상 | 33 | 0.036 이하 | 0.034 | 1 이하 | 0.64 |
| 단1-2 | 25 이상 | 27 | 0.037 이하 | 0.035 | 1 이하 | 0.72 |
| 단1-3 | 20 이상 | 23 | 0.040 이하 | 0.035 | 1 이하 | 0.55 |
| 단2-1 | 30 이상 | 32 | 0.031 이하 | 0.032 | 1 이하 | 0.44 |
| 단2-2 | 25 이상 | 27 | 0.032 이하 | 0.032 | 1 이하 | 0.99 |
| 단2-3 | 20 이상 | 24 | 0.033 이하 | 0.032 | 1 이하 | 0.73 |
| 단3-1 | - | 28 | 0.027 이하 | 0.024 | 1 이하 | 0.57 |
| 단3-2 | - | 27 | 0.028 이하 | 0.024 | 1 이하 | 0.46 |
| 단3-3 | - | 27 | 0.029 이하 | 0.023 | 1 이하 | 0.28 |
| 단4-1 | 45 이상 | 47 | 0.023 이하 | 0.019 | 3 이하 | 1.44 |
| 단4-2 | 35 이상 | 36 | 0.023 이하 | 0.018 | 3 이하 | 1.61 |
| 단4-3 | 25 이상 | 34 | 0.024 이하 | 0.020 | 3이하 | 2.43 |

4.2 시험 평균온도에 따른 열전도율 측정결과

건축물 부위별 열관류율 산출을 위한 단열재의 열전도율 시험 기준온도는 국내에서 가장 많이 사용되는 플라스틱계 단열재의 시험온도인 20℃±5℃를 기준으로 설정하여 이 온도를 기준으로 한 단열재의 열전도율을 사용하도록 요구하고 있는데 이와 같은 조건이 지하공간에 적용될 단열재의 열전도율 측정에 적합한지 검토하였다.

지하공간의 온도변화는 13~30℃ 정도의 범위에서 이뤄지므로 시험평균온도를 17℃(고온측 30℃/저온측 4℃), 20℃(고온측 33℃/저온측 7℃), 23℃(고온측 36℃/저온측 10℃), 26℃(고온측 39℃/저온측 13℃)로 나눠 단열재의 열전도율을 측정하였다. 열전도율의 수치뺏음법은 KS Q 5002에 따라 유효숫자 2자리이나 열전도율의 변화를 보기 위해 유효숫자 4자리까지 기입하였다.

표 6. 시험 평균온도에 따른 열전도율

(단위 : 열전도율 W/m·K)

| 종류 | 평균온도 | 17 | 20 | 23 | 26 | |
|------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | dT | 26 | 26 | 26 | 26 | |
| | | 기준이하 | 4vs30 | 7vs33 | 10vs36 | 13vs39 |
| 단1-1 | 0.036 | 0.03344 | 0.03368 | 0.03390 | 0.03414 | |
| 단1-2 | 0.037 | 0.03449 | 0.03476 | 0.03504 | 0.03537 | |
| 단1-3 | 0.038 | 0.03465 | 0.03496 | 0.03521 | 0.03549 | |
| 단2-1 | 0.031 | 0.03121 | 0.03144 | 0.03169 | 0.03191 | |
| 단2-2 | 0.032 | 0.03119 | 0.03142 | 0.03170 | 0.03196 | |
| 단2-3 | 0.033 | 0.03131 | 0.03156 | 0.03180 | 0.03206 | |
| 단3-1 | 0.036 | 0.01826 | 0.01854 | 0.01882 | 0.01913 | |
| 단3-2 | 0.037 | 0.01781 | 0.01808 | 0.01842 | 0.01874 | |
| 단3-3 | 0.038 | 0.01896 | 0.01923 | 0.01955 | 0.01985 | |
| 단4-1 | 0.031 | 0.02285 | 0.02325 | 0.02365 | 0.02408 | |
| 단4-2 | 0.032 | 0.02299 | 0.02335 | 0.02376 | 0.02415 | |
| 단4-3 | 0.033 | 0.02225 | 0.02261 | 0.02299 | 0.02339 | |

평균 온도별 열전도율은 아래의 표와 같으며, 시험 평균온도가 낮을수록 열전도율은 작은 값으로 측정이 되고 있어, 하절기 지하공간 평균 온도인 26℃를 기준으로 하는 것

이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 26℃일 때의 열전도율은 20℃±5℃ 기준일 때의 평균온도에서 0.0052를 더한 값으로 유추할 수 있다.

4.3 경시에 따른 단열재별 흡수량 측정결과

지하공간에 단열재가 설치될 경우 KS 표준의 흡수량 시험과 같이 24시간만 물에 접하는 것이 아닌 장기간 물과 접하는 환경에 노출된다. 이에 본 연구에서는 단열재의 흡수량 측정 시험을 110일간 수행하여 단열재의 장기 흡수량을 측정하였다.

KS 표준과 같이 24시간 경과 시에는 1~3g 이내의 흡수량이 110일이 경과되었을 때는 아래 표와 같이 비드법 단열판 1종은 10~15g, 비드법 단열판 2종은 6~10g, 압출법 단열판은 1~3g, 경질우레탄 폼 단열판 2종은 10~13g으로 흡수량이 증가하였다.

표 7. 경시에 따른 단열재별 흡수량

(단위 : 흡수량 g/100cm²)

| 경과 | 1日 | 10日 | 30日 | 40日 | 50日 | 60日 | 70日 | 110日 |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 단1-1 | 0.64 | 6.20 | 9.46 | 9.59 | 9.66 | 9.91 | 9.99 | 10.45 |
| 단1-2 | 0.72 | 5.15 | 12.49 | 13.52 | 14.01 | 14.2 | 14.75 | 15.2 |
| 단1-3 | 0.55 | 7.17 | 11.1 | 11.09 | 11.27 | 11.29 | 11.66 | 11.93 |
| 단2-1 | 0.44 | 2.09 | 3.99 | 4.50 | 4.69 | 5.18 | 5.60 | 6.71 |
| 단2-2 | 0.99 | 6.19 | 7.49 | 7.92 | 8.21 | 8.35 | 9.16 | 10.04 |
| 단2-3 | 0.73 | 5.42 | 6.78 | 7.06 | 7.34 | 7.45 | 8.15 | 8.85 |
| 단3-1 | 0.57 | 1.80 | 2.12 | 2.18 | 2.40 | 2.61 | 3.19 | 2.72 |
| 단3-2 | 0.46 | 0.52 | 1.11 | 1.33 | 1.46 | 1.50 | 1.99 | 1.83 |
| 단3-3 | 0.28 | 0.35 | 1.09 | 1.28 | 1.28 | 1.52 | 1.90 | 1.63 |
| 단4-1 | 1.44 | 6.00 | 8.32 | 9.26 | 9.61 | 10.25 | 11.44 | 13.11 |
| 단4-2 | 1.61 | 5.84 | 7.02 | 7.68 | 8.02 | 8.46 | 9.95 | 10.88 |
| 단4-3 | 2.43 | 6.20 | 7.96 | 8.75 | 9.27 | 9.72 | 10.88 | 12.01 |

흡수량의 증가 추이를 알기 위해 흡수량 누적그래프와 로그추세선 그래프를 그려보았을 때 아래 그림과 같이 비드법 단열판 1종이 가장 많은 물을 흡수하였고, 다음으로 경질 우레탄 폼 단열판, 그리고 비드법 단열판 2종순으로 물을 흡수하였다. 압출법 단열판이 최종 3g 이내로 흡수되어 차수능력이 가장 우수한 것으로 분석이 되었다.

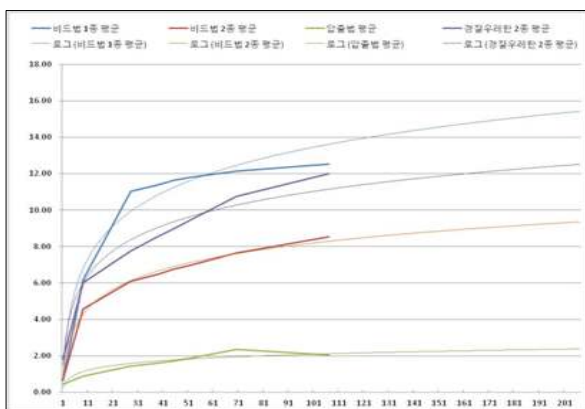


그림 5. 경시에 따른 단열재별 흡수량 변화

4.4 흡수량에 따른 단열재의 열전도율 변화 측정결과

경시에 따른 흡수량의 증가는 차수능력이 떨어지는 것과 동시에 단열능력이 떨어진다고 볼 수 있다. 단열재의 단열 성능은 단열재의 closed cell에 의해 확보가 되는데 흡수량이 많이 진다는 것은 기공이 물과 치환된다고 추측할 수 있다. 이에 흡수량 측정 이후 열전도율 측정을 다시 하여 흡수량 시험 전 초기 열전도율과 비교하였다.

비드법 단열판 1종과 경질우레탄 폼 단열판 2종의 단열재에서 열전도율의 증가가 120~150% 정도로 가장 크게 증가하였다. 비드법 단열판 2종과 압출법 단열판에서 20% 내외로 작은 열전도율 증가가 분석 되었는데, 흡수량이 가장 적은 압출법 단열판의 경우 경시변화에 따른 단열성능 저하가 함께 기인했다고 볼 수 있다. 흡수에 따른 단열성능 저하 면에서 지하에 적합한 단열재는 비드법 단열판 2종과 압출법 단열판이나 차수능력과 함께 고려한다면 압출법 단열판이 지하공간에 가장 적합한 단열재라고 할 수 있다. 또한 지하공간에 압출법 단열판을 설치할 경우, 기준 열전도율과 함께 물에 의한 단열성능 저하 20% 정도를 함께 적용해야 할 것으로 판단된다.

표 8. 흡수량에 따른 단열재의 열전도율 변화

(단위 : 열전도율 W/m·K)

| 종류 | 열전도율기준 | 초기열전도율 | 최종열전도율 | 증가율 |
|------|----------|--------|--------|------|
| 단1-1 | 0.036 이하 | 0.034 | 0.043 | 126% |
| 단1-2 | 0.037 이하 | 0.035 | 0.052 | 149% |
| 단1-3 | 0.040 이하 | 0.035 | 0.043 | 123% |
| 단2-1 | 0.031 이하 | 0.032 | 0.037 | 116% |
| 단2-2 | 0.032 이하 | 0.032 | 0.040 | 125% |
| 단2-3 | 0.033 이하 | 0.032 | 0.041 | 128% |
| 단3-1 | 0.027 이하 | 0.024 | 0.029 | 121% |
| 단3-2 | 0.028 이하 | 0.024 | 0.029 | 121% |
| 단3-3 | 0.029 이하 | 0.023 | 0.028 | 122% |
| 단4-1 | 0.023 이하 | 0.019 | 0.025 | 132% |
| 단4-2 | 0.023 이하 | 0.018 | 0.023 | 128% |
| 단4-3 | 0.024 이하 | 0.020 | 0.028 | 140% |

5. 결론 및 향후 연구

본 연구의 목적은 지하공간의 환경에 적합한 단열재를 선정하고 그 특성에 대한 설계 기준을 정하는데 있다. 연구에 사용된 단열재는 비드법 단열판 1종, 비드법 단열판 2종, 압출법 단열판, 경질우레탄 폼 단열판 2종으로 4가지, 각 단열재 마다 각각 상위 성능의 3개 호수씩 총 12개의 단열재이다. 모든 단열재는 열전도율, 밀도, 흡수량이 모두 KS 표준에 준하는 제품으로 선정하였다.

지하공간에 적용되는 단열재는 지하공간의 환경을 대표하는 13~30℃ 정도의 범위에서 최적의 단열성능 및 차수 성능을 가지고 있어야 한다. 이에 단열성능을 측정하기 위한 열전도율을 측정하였고 차수성능을 측정하기 위한 흡수량을 측정하였다.

열전도율의 경우 시험평균온도를 17℃(고온측 30℃/저온측 4℃), 20℃(고온측 33℃/저온측 7℃), 23℃(고온측 36℃/

저온측 10℃), 26℃(고온측 39℃/저온측 13℃)로 나눠 단열재의 열전도율을 측정하였다. 그 결과 시험 평균 온도가 낮을수록 열전도율은 작은 값으로 측정이 되고 있어, 하절기 지하 공간 평균 온도인 26℃를 기준으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 26℃일 때의 열전도율은 20℃ ± 5℃ 기준일 때의 열전도율에서 0.0052를 더한 값으로 유추할 수 있어 지하공간 단열 설계시 보정할 필요가 있다.

또한 지하공간의 단열재는 KS 표준의 흡수량 시험과 같이 24시간만 물에 접하는 것이 아닌 장기간 물과 접하는 환경에 노출된다. 이에 본 연구에서는 단열재의 흡수량 측정 시험을 110일간 수행하여 단열재의 장기 흡수량을 측정하였고, 그 결과, KS 표준과 같이 24시간 경과 시에는 1~3g 이내이던 흡수량이 110일이 경과되었을 때는 아래 표와 같이 비드법 단열판 1종은 10~15g, 비드법 단열판 2종은 6~10g, 압출법 단열판은 1~3g, 경질우레탄 폼 단열판 2종은 10~13g으로 흡수량이 증가하였다.

경시에 따른 흡수량의 증가는 차수능력이 떨어지는 것과 동시에 단열성능이 떨어진다고 볼 수 있어 단열재의 흡수량 측정 시험을 110일간 수행한 뒤 열전도율 측정을 다시 하여 흡수량 시험 전 초기 열전도율과 비교하였다.

비드법 단열판 1종과 경질우레탄 폼 단열판 2종의 단열재에서 열전도율이 120~150% 정도로 가장 크게 증가하였다. 비드법 단열판 2종과 압출법 단열판에서 20% 내외로 작은 열전도율 증가가 분석 되었다.

따라서 압출법 단열판이 지하공간에 가장 적합한 단열재라고 할 수 있으며, 지하공간에 단열재를 설치할 경우, 기준 열전도율과 함께 물에 의한 단열성능 저하 20% 정도를 함께 적용하여 설계해야 할 것으로 판단된다.

결론적으로 지하공간의 단열을 설계할 때는 압출법 단열판 사용이 가장 적합할 것이며, 이 때 적용 열전도율은 20℃ ± 5℃ 기준일 때의 열전도율에서 0.0052를 더한 값을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 지하수 등 물에 장기간 노출되는 부위일 경우 열전도율에 20%의 안전치를 두는 것을 권장하고자 한다.

후 기

본 연구는 삼성건설 '12년도 "지하골조부위 단열시스템 개발" 과제의 결과 성과물에 의한 것임

참고문헌

1. 황민규 외, 지하 주차장의 환기성능평가에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, 제27권, 제3호, 2007
2. 이승언 외, 환경 및 시간경과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 계획계, 제19권, 제12호, 2003
3. 정영선 외, 건축 단열재의 장기 경년변화에 따른 열전도율 변화에 관한 실험 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제22권, 제1호, 2002
4. 고진수 외, 건축물의 옥상단열재의 수분축적현상에 관한 실험

- 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제16권, 제1호, 1996
5. 이재운 외, 지하층 구조체의 단열재 설치방법에 따른 열전달 특성, 설비공학논문집, 제15권, 제11호, 2003
 6. 방이배 외, 단열재의 함수율에 따른 단열성능의 평가, 대한설비공학회 학술발표논문집, pp.761, 2002
 7. 김석현 외, 투습성에 따른 단열재의 단열성능평가 및 고찰, 대한설비공학회 학술발표논문집, pp.1012, 2006
 8. 유기형 외, 방습 단열재의 투습 저항 평가에 관한 연구, 공기조화냉동공학회 학술발표논문집, pp.1237, 1998
 9. KS M ISO 9774:2012 건물용 단열재-특성 선정 지침서
 10. KS M 3808: 2011 발포 폴리스티렌(PS) 단열재
 11. KS M 3809: 2006 경질 폴리우레탄 폼 단열재
 12. KS L 9016: 2010 보온재의 열전도율 측정 방법

투고(접수)일자: 2013년 2월 5일

수정일자: (1차) 2013년 3월 26일

게재확정일자: 2013년 3월 26일