

## 투습성에 따른 단열재의 단열성능평가 및 고찰

김석현\*, 박종일\*\*, 이민우\*\*\*, 홍진관\*\*\*\*†

국민대학교 기계자동차공학부\*, 동의대학교 건축설비학과\*\*, 삼우설비컨설턴트\*\*\*경원대학교 건축설비학과\*\*\*\*†,

### The estimation on the insulation performance of thermal insulation materials according to water vapor permeance

Seok Hyun Kim\*, Jong Il Park\*\*, Min Woo Lee\*\*\*, Jin Kwan Hong\*\*\*\*†

\* Department of Mechanical Eng., Kookmin University

\*\* Department of Building Equipment & System Eng., Dongae University

\*\*\* Samwoo Mechanical & Electrical Consultant.

\*\*\*\*† Department of Building Equipment & System Eng, Kyungwon University, Sunnam City 461-701, Korea

**ABSTRACT:** In this study, the insulation performance of thermal insulation materials such as glass wool, polyethylene and flexible lastomeric foam according to water vapor permeance was estimated by using experimental correlation equation. The results showed the conductivity increment of flexible lastomeric foam which has very low-permeability ( $\leq 0.15$  [ng/m · s · Pa] or  $\mu \geq 1,000$ ) is about 50% lower than that of glass wool with the lapse of ten years. The conclusion is that moisture inevitably accumulated in permeable insulations reduces insulation performance and also accelerates surface condensation in the case of cold water system.

**Key words:** Water vapor permeance(투습계수), Water vapor resistance(투습저항), Flexible lastomeric foam(고무발포 단열재), Permeability(투습저항계수), Insulation performance(단열성능), Thermal conductivity(열전도율)

#### 기 호 설 명

- Z : 두께 25mm투습계수 [ng/m<sup>2</sup> · s · Pa]
- $\lambda$  : 투습저항계수(=투습계수×단열재두께) [ng/m · s · Pa]
- P : 수증기분압 [Pa]
- $\mu$  : 습기투과저항계수( $\mu = \lambda_a/\lambda_{is}$ )
- k : 열전도율 [W/m · K]
- R : 투습저항 [m<sup>2</sup> · s · Pa/ng]
- D : 보온, 보냉하의 관의 직경 [m]

- $\alpha$  : 표면 열전달율 [W/m<sup>2</sup> · K]
- T : 온도 [°C]
- $\delta$  : 보온 두께 [m]
- q : 습기확산율 [kg/m · h]
- d : 확산저항 [m · s · Pa/kg]

#### 하첨자

- a : 공기 또는 외기, is : 단열재
- o : 외부 또는 초기, s : 표면
- d : 노점, f : 관내부유체
- i : 내부 또는 배관과 단열재의 사이
- t : 경과년수

† Corresponding author

Tel : +82-031-750-5306

FAX : +82-031-750-5314

E-mail : jkhong@kyungwon.ac.kr

## 1. 서론

에너지자원의 부족으로 해외에너지 의존도가 97%인 국내실정에서 에너지절약은 대단히 중요한 문제라 할 수 있다. 한편 국내 전체 에너지 사용량중 건물부분이 차지하는 비율은 약 1/3에 이르고 있으며 건축물의 열성능 향상을 위해서 효과적인 건물의 단열은 대단히 중요하다고 할 수 있다.

특히 단열은 건축물이나 저온장치산업, 공조산업등에서 기타 특별한 기기를 사용하지 않고 에너지를 절약할 수 있는 기초적이며 원천적이며 확실한 방법이라 할 수 있어 단열설계 및 시공에 기초가 되는 기본 열전달기구와 단열재의 기능, 단열재의 종류 및 특성, 효과적인 단열재 시공방법 및 단열설계등에 대한 종합적인 연구와 이해가 필요하다.

일반적으로 단열재는 제품의 형태에 따라 Closed-cell과 Open-cell로 나눌 수 있으며 이러한 재질의 특성이 보온재에 미치는 영향이 크므로 용도에 따른 적절한 선택이 필요하다. 단열재의 생명은 열전도율이라 할 수 있으며 재료가 투습하면 단열성능이 급격히 저하되며, 시간의 경과후 수축과 변화를 일으킬 수 있다. Open-cell구조는 스폰지와 같아서 물이나 수증기가 쉽게 통과하고 쉽게 축축해져서 열전도율을 증가시키고 단열성능을 저하시킨다. 이에 반해 Closed-cell 구조는 수증기투과에 저항력을 가지고 있으며, 습기투과 저항계수가 증가할수록 수증기투과에 대한 저항력이 커진다. 습기투과 저항계수의 단위가 복잡하여 1987년 ISO 9346에 따라  $\mu$  factor 혹은 습기투과저항계수로 명명되었다. 이상에서 보듯이 Open-cell재료는 흡습성이 대단히 높으므로 보관시 주의를 요하며 자체의 충격에도 주의가 필요하다. 반면에 Closed-cell 재료는 재질에 따라 약간 다른 양상을 보이지만 대개 흡수성이 대단히 낮은 특징을 지니고 있어 보냉용 배관의 단열재로 우수한 성능이 있다.

본 연구에서는 단열재의 투습이 단열재의 단열성능에 미치는 영향을 Closed-cell 구조를 갖고 있어 투습성이 낮아 최근의 보냉배관용 단열재로 널리 사용되고 있는 발포고무 단열재 (Flexible lastomeric foam)를 중심으로 알아보고 투습성이 단열재의 단열성능의 경년열화에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

## 2. 건축 재료의 투습저항

건축물 및 구조체에서 결로는 빈번하게 발생하고 있으며, 결로는 건축물 내외의 미관 손실뿐만 아니라 곰팡이 발생등의 건강상의 문제와 응축수에 의한 단열성능 저하를 발생시키는 요인으로 작용하고 있다. 결로를 방지하기 위해서는 설계단계에서 결로 예상부위에 대한 면밀한 검토를 통하여 효과적인 단면상세의 작성 및 적용재료를 선택하여야 한다. 결로발생 여부를 정확히 알기 위해서는 재료의 투습저항에 대한 물성치가 기본적으로 필요한 것으로 알려져 있다. 투습저항의 역수로 나타나는 투습계수는 재료 양쪽의 수증기압차를 일정하게 유지하였을 때, 단위 시간에 대해 투과하는 수증기의 무게를 재료 양 표면 사이의 단위 수증기압차 및 재료의 단위 면적에 대하여 환산한 값으로 정의된다.

Table 1 Water vapor permeance of insulation materials<sup>(1)</sup>

재료	두께 (mm)	투습계수(Z) [ng/m <sup>2</sup> sPa]	투습저항(R) [m <sup>2</sup> sPa/ng]
Asbestos cement board	3	220~458 <sup>d</sup>	0.0017~0.0035
Aluminum foil	0.025	0.0 <sup>d</sup>	∞
Aluminum foil	0.009	2.9 <sup>d</sup>	0.345
Polyethylene	0.1	4.6 <sup>d</sup>	0.217
Polyethylene	0.25	1.7 <sup>d</sup>	0.588
Polyester	0.025	42 <sup>d</sup>	0.042
Polyester	0.09	13 <sup>d</sup>	0.075
Polyvinylchloride, unplasticized	0.051	39 <sup>d</sup>	0.026
Polyvinylchloride, plasticized	0.1	46~80 <sup>d</sup>	0.032
Cellulose acetate	0.25	263 <sup>d</sup>	0.0035
Cellulose acetate	3.2	18 <sup>d</sup>	0.054

d : Dry-cup method

건축재료의 투습 저항값에 대한 자료는 여러 가지 문헌에서 제시되고 있으나 아직 국내에서 사용되는 각종 단열재 종류에 따른 정리된 자료<sup>(2)</sup>는 없는 실정이다. Table 1에는 해외자료 중 실무에서 가장 널리 사용되고 있는 ASHRAE 에서 제시되고 있는 투습 저항치 중 일부를 나타내고

있다.

### 3. 투습성과 단열성능의 경년열화

#### 3.1 투습 저항에 대한 기준

건축물의 결로발생에 중요한 영향을 끼치는 단열재의 투습저항 측정방법<sup>(3),(4)</sup>에 대한 관련 기준으로는 국내에서는 KS F2607이 있으며, 해외 규격으로는 ISO9346, ASTM E96, DIN52615, BS4370 p2가 있다. KS M3808 발포폴리스티렌 보온재의 부속서에는 KS A 1013방습포장재료의 투습도 시험방법과 관련하여 건축재료의 투습계수(Z)시험방법이 제정되어 있다.

국내의 경우 건축재료의 투습성 측정방법인 KS F2607에서는 건축재료의 투습량을 같은 온도의 같은 두께의 부동공기층의 투습량과 비교하는 습기투과 저항계수( $\mu$ )를 측정하도록 하고 있다. 습기투과 저항계수에 대한 해외규격으로는 ISO 12572(건축재료와 제품의 다습한 단열의 시행-수증기 전달의 정도를 결정), EN12086 : 1997(건축용의 단열재-수증기전달의 정도를 결정), EN13469 : 2001(건축과 산업용 설치를 위한 단열재-파이프 배관의 수증기전달의 정도를 결정)를 들 수 있다.

#### 3.2 습기투과저항계수에 대한 국내외의 시공 기준

결로방지를 위한 설비시공을 위한 습기투과 저항계수에 대한 유럽기준은<sup>(5)</sup> DIN 4140(산업시설과 건축장비의 단열-보온과 보냉의 시공), DIN1988, p2(음용수 공급 : 재료, 성분, 장비, 설계와 시공)에서 냉매배관을 시공할 경우에는 반드시 독립기포 구조로 된 습기투과 저항계수가 높은 재료로 시공하도록 되어 있다.

또한 유럽표준협회 기술위원회 CEN TC88에 따른 구분(건축용도와 산업용도의 단열재)에도 사용조건에 따른 습기투과 저항계수에 대한 레벨을 지정하고 있다. 습기투과 저항계수에 대한 구체적인 기준제시는<sup>(6)</sup> BS 5422:1990의 예에서 확인할 수 있는데 냉매배관의 관내온도에 따라 결로방지와 단열재의 성능저하를 방지하기 위해 요구되는 투습계수의 한계치를 제시하고 있다.

Table 2 Water vapor permeance requirements of insulation materials(ambient temp.=10 °C)

냉매배관 관내온도	요구되는 투습계수한계치 [ng/m <sup>2</sup> ·s·Pa]	습기투과 저항계수 $\mu$ 값
0°C	10	732
-5°C	4	1,830
-10°C	2	3,660
-15°C	1.5	4,880
-20°C ~ 40°C	1	7,320

국내기준으로는 이 BS 5422를 근간으로 KSF 2803 : 1996(보온 보냉공사의 시공표준)이 제정 적용되고 있으나 보온재로는 압면, 유리면, 규산칼슘, 발수성 필라이트와 보냉재로는 압면, 유리면, 폴리스티렌 폼, 우레탄 폼등만 포함되고 고무발포 보온재등은 누락되어 있으며 보냉재의 결로방지 두께 산정시 단열재 표면의 열전달율( $\alpha$ )을 8W/m<sup>2</sup> K등으로 고정된 값을 사용하는<sup>(7)</sup>등 외국 기준과 비교하면 실제적용상 보완의 소지가 있다고 생각된다. 따라서 보냉배관의 단열성능에 중요한 영향인자인 투습성을 고려하여 투습계수 한계치가 낮은 발포고무 단열재를 포함시키고 유속에 따른 대류효과와 표면온도나 표면방사율을 고려한 복사효과가 포함된 표면 열전달율의 값이 변하는 조건에서 결로방지 두께를 산정하는 방향으로 개정이 필요한 시점에 와 있다.

미국의 경우에도<sup>(8)</sup> ASTM C-534에서 요구되는 투습계수 한계치로 5.76ng/m<sup>2</sup>·s·Pa이하로 하고 있으며 ASHRAE에서는 단열재의 외표면에 불침투성의 막을 형성하거나 단열재 자체가 수증기 투습에 높은 저항성을 가져야 한다고 제시하고 있으며 습기투과 저항계수  $\mu$ 값이 최소 1,000 이상이 되는 단열재를 사용하도록 권고하고 있다.

Table 3에 상온의 일반공기를 1로 했을 때 일반공기에 대한 단열재의 종류에 따른 일반적인 습기투과 저항계수의 대표치를 나타내고 있다.

Table 3  $\mu$  factor of insulation materials

Air	1
Mineral wool, Fiber glass	3~5
Urethane foam	34~103
Phenolic foam	5.2~150
Polystyrene	2,000~5,000
Polyethylene(P.E)	500~1,000
Flexible elastomeric (고무발포단열재)	1,000~50,000
Celluar glass(유리폼)	134,500

### 3.3보냉시 보온재의 두께

보온을 포함한 보냉시의 보온재 시공두께는 관과 평판에 대해서 각각 아래와 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$(D_o/D_i) \cdot \ln(D_o/D_i) = [2k/(a \cdot D_i)] \cdot [(T_f - T_s) / (T_s - T_a)]$$

$$\delta = (D_o - D_i) / 2 \quad (1)$$

$$\delta = (k/a) \cdot [(T_f - T_s) / (T_s - T_a)] \quad (2)$$

결로방지조건으로는 보온,보냉하의 관표면온도( $T_s$ )가 배관을 시공하는 설치공간의 노점온도( $T_d$ )보다 높게 되도록 단열재의 두께산정이 필요하다.

$$T_s \geq T_d \quad (3)$$

### 3.4투습성과 단열재의 단열성능 경년열화

보온재에서 투습에 따른 단열재의 경년열화는 주어진 외기온도와 상대습도에서 관내에 일정한 온도의 유체가 흐르는 조건에서 단열재 외벽면 열전달율에 대해 실험식의 형태로 아래와 같이 주어진다. 여기서 단열재 종류에 따른 습기투과 저항계수( $\mu$ ) 값을 측정하여 시간경과에 따른 수증기의 체적분율( $V_t$ )을 구하여 시간의 경과에 따른 단열재의 경시변화를 아래의 식으로 산정할 수 있다<sup>(9)</sup>.

$$k_t = k_o + 0.0377 v V_t \quad (4)$$

여기서  $k_t$ 는  $t$ 년 경과후의 열전도율이며  $k_o$ 는 초기의 열전도율이며,  $v$ 는 열전도율에 대한 수증기 계수이며  $V_t$ 는  $t$ 년 경과후의 수증기의 체적분율로 알려져 있다.

$$V_t = 3.5 \times 10^6 \cdot q_t / [\rho \pi (D_o^2 - D_i^2)] \quad (5)$$

$$q_d = (P_a - P_i) / d \quad (6)$$

$$d = [1 / (2 \pi \lambda_{is})] \cdot \ln(D_o / D_i) \quad (7)$$

$$\lambda_{is} = \lambda_a / \mu \quad (8)$$

여기서  $P_a$ 와  $P_i$ 는 외기와 배관과 단열재사이 공간에서의 수증기 분압(Pa)을 나타내며,  $\lambda_a$ 와  $\lambda_{is}$ 는 [kg/m.h.Pa] 단위로 표시한 공기 투습저항계수와 단열재 투습저항계수를 나타내며  $\rho$ 는 물의 밀도로 1,000kg/m<sup>3</sup>을 나타낸다.

## 4. 결과 및 고찰

앞서 설명한 보온, 보냉시의 두께산정식과 투습성에 따른 단열성능의 경년열화를 대표적인 Closed-cell과 Open-cell 단열재에 대해 주어진 식에 의해 산정해 보았다.

Fig. 1은 외기온도 30℃, 상대습도 70%, 배관내 온도 10℃ 조건에서 외경 1,000mm인 보냉을 필요로 하는 배관에 동일두께 25mm의 3종류의 보온재를 단열시공했을 때 시간경과에 따른 단열재의 단열성능 경년열화를 주어진 식(4)~식(8)으로부터 산정하여 도시한 것을 나타내었다. 그림에서 FE25는 고무발포단열재 25mm, GW25는 글라스울 25mm, PE25는 폴리에틸렌 25mm를 시공한 경우를 나타내었고 초기 열전도율은 각각 순서대로 0.035 W/mK, 0.037 W/mK, 0.037 W/mK로 하였으며 외표면 열전달율은 각각 9.0 W/m<sup>2</sup>K, 5.7 W/m<sup>2</sup>K, 8.0 W/m<sup>2</sup>K로 대표적인 값으로 가정하였다<sup>(6)</sup>. 또한 습기투과 저항계수( $\mu$ ) 값은 Table 3에 단열재 종류별 대표적인 값이 제시되어 있는데 고무발포 단열재는 7,000으로 하고 글라스울은  $\mu$  값이 매우 작으나 외부마감한 조건에서 1,000으로 폴리에틸렌은 2,500으로 설정하여 투습에 따른 단열재의 단열성능 경년열화를 비교하였다.

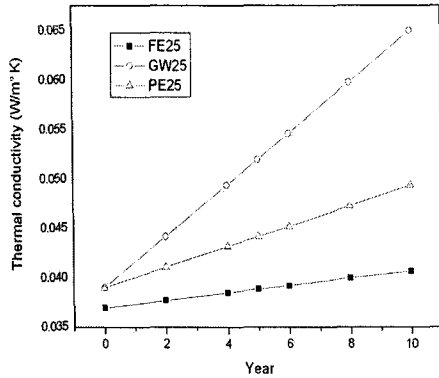


Fig. 1 Variation of insulation material thermal conductivity w.r.t. time

Fig. 1에서 알 수 있듯이 3종류의 단열재 모두 초기의 열전도율은 거의 비슷하나 시간의 경과에 따른 투습의 영향으로 최종 단열재의 열전도율은 초기 시공년도 열전도율에 비해서 고무발포 단열재 25mm를 시공한 FE25의 경우 37%, 글라스울25mm를 외부마감 시공한 GW25는 67%, 폴리에틸렌 25mm를 외부마감 시공한 PE25는 42% 증가하고 있어 초기와는 대단히 다른 양상으로 증가됨을 알 수 있으며 증가폭에 있어 고무발포 단열재의 열전도율의 증가율이 글라스울의 증가율에 비해 약 50%정도 낮음을 알 수 있다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 Closed-cell 구조를 갖는 고무발포 단열재의 경우는 수증기투과에 저항력을 가지고 있으며, 습기투과 저항계수( $\mu \geq 1,000$ )가 증가할수록 수증기투과에 대한 저항력이 커져서 시공후 시간경과에 따른 단열재의 성능저하가 상대적으로 낮다는 것을 보여주고 있다. 따라서 보냉배관의 시공시 투습성을 고려한 단열재의 선정과 설계시공이 대단히 중요함을 알 수 있다. Fig. 2는 Fig. 1에서와 동일한 조건에서 결로방지 두께와 그 두께로 단열재를 시공할 때 글라스울과 고무발포 단열재에 대해 산정한 관외부의 표면온도를 나타내고 있다. 글라스울의 경우 시공 첫해의 열전도율을 기준으로 사용년수가 경과함에 따라 필요한 결로방지 두께는 15.6mm에서 10년 경과후 26mm로 나타났으며 고무발포 단열재의 경우 시공 첫해의 열전도율을 기준으로 사용년수가 경과함에 따라 필요한 결로방지 두께는 9.4mm에서 10년 경과후 12.8mm로 나타나고 있음을 알 수 있다.

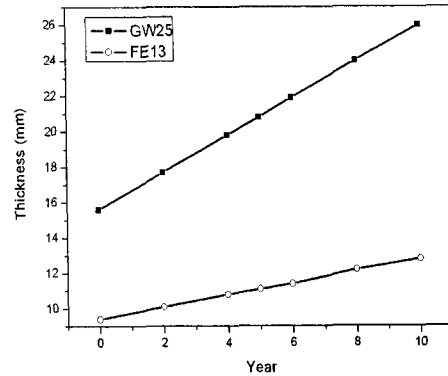


Fig. 2 Insulation thickness required to prevent surface condensation w.r.t. time

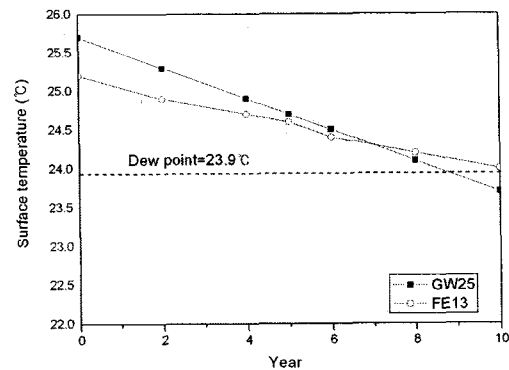


Fig. 3 Surface temperature w.r.t. time

같은 조건에서 Fig. 2의 결로방지 두께로 시공할 경우 단열시공된 관외부의 예상 표면온도를 산정해 보면 글라스울의 경우 시공 첫해 25.7°C에서 10년 경과시 23.7°C로, 고무발포 단열재의 경우 시공 첫해의 25.2°C에서 10년 경과후 24°C로 산정되고 있다. 외기온도 30°C, 상대습도 70%인 조건에서 노점온도가 23.9°C임을 감안한다면 Open-cell의 구조를 갖는 글라스울의 경우 투습에 따른 단열재의 경년열화로 인한 열전도율의 감소로 관외부의 표면온도가 노점온도 이하로 될 가능성이 있어 시공시 투습에 대한 특별한 대책이 필요할는 사실을 알 수 있다. 그러나 Closed-cell 구조를 갖는 고무발포 단열재의 경우 수증기투과에 저항력에 의해서 10년후에도 24°C로 노점온도 23.9°C보다 높아 결로발생 방지의 관점에서 상대적으로 양호한 안전성을 유지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉 10년이 경과된

시점을 기준으로 볼 때 Open-cell의 구조를 갖는 글라스울의 경우 25mm를 시공해도 결로가 발생되나 Closed-cell 구조를 갖는 고무발포단열재의 경우 13mm를 시공해도 결로발생의 관점에서 크게 문제가 없음을 알 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 결로가 발생되면 단열성능이 급격히 저하되고 결로발생 부위에서 곰팡이 발생등의 건강상 문제발생의 우려가 있다는 점을 감안해 볼 때 보냉을 위한 배관에서는 무엇보다도 습기에 대한 투습성의 영향을 고려한 Closed-cell 구조를 갖는 단열재의 선정을 통한 설계 및 시공이 될 수 있도록 설계자와 시공자의 주의가 필요하다고 생각된다.

이와 같은 투습성의 영향을 고려한 단열재의 단열성능 변화를 종합해보면 앞서 언급한 바와 같이 단열시공에서 투습성에 대한 검토와 설계 및 시공상의 특별한 주의가 필요하며 이러한 관점에서 1996년에 제정된 바 있는 KSF 2803 (보온 보냉공사의 시공표준)의 현실적인 개정이 필요할 것으로 생각되며 시공표준의 개정시 누락된 고무발포 보온재등을 시공기준에 포함하는 것이 보냉배관의 에너지 절약을 위한 국가기준으로서 부합되는 일이라 생각된다. 또한 기준의 개정시 보냉재의 결로방지 두께 산정시 단열재 표면의 열전달율( $\alpha$ )을 고려할 때 관외부 기류속도에 따른 대류효과는 물론 단열관 외부표면온도와 표면방사율을 고려한 복사효과가 포함된 표면 열전달율을 기준으로 한 결로방지 두께를 산정하는 방향으로 검토되어 표면열전달율의 조건변화에 따른 단열재 두께산정등의 결로방지 방안을 종합적으로 고려하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

투습성에 따른 단열재의 단열성능 변화를 파악하기 위해서 3종류의 단열재를 기준으로 시간의 경과에 따른 투습의 영향으로 인한 열전도율의 경년열화를 산정해 본 결과

1) 10년후 단열재의 열전도율은 초기 시공년도 열전도율에 비해서 고무발포단열재 25mm를 시공한 경우 37%, 글라스울 25mm를 외부마감 시공한 경우 67%, 폴리에틸렌 25mm를 외부마감 시공한 경우 42% 증가하고 있어 초기와는 대단히 다른 양상으로 증가됨을 알 수 있으며 증가폭에 있어 고무발포 단열재의 열전도율의 증가율이

글라스울의 증가율에 비해 약 50%정도 낮음을 알 수 있다. 이것은 Closed-cell 구조는 수증기투과에 저항력을 가지고 있으며, 습기투과 저항계수가 증가할수록 수증기 투과에 대한 저항력이 커져서 시공후 시간경과에 따른 단열재의 단열성능저하가 Open-cell구조를 갖는 단열재에 비해서 상대적으로 낮기 때문으로 판단된다.

2) 투습으로 인한 단열재의 단열성능의 경년열화를 고려할 때 보냉배관의 외부결로 방지두께는 Open-cell구조를 갖는 단열재가 Closed-cell 구조를 갖는 단열재에 비해 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 결로방지 두께로 시공할 경우 단열재 관외부의 표면온도 강하는 투습으로 인한 단열성능저하로 Open-cell 구조를 갖는 단열재가 Closed-cell 구조를 갖는 단열재에 비해 상대적으로 크고 노점온도 이하로 되어 결로의 위험성이 상대적으로 높아짐을 확인할 수 있다. 따라서, Open-cell구조를 갖는 단열재의 경우 투습을 위한 특별한 마감대책이 필요하며 보냉배관의 경우 결로방지를 위해 Closed-cell 구조를 갖는 단열재의 선정과 단열설계 및 시공이 에너지 절약은 물론 위생상의 관점에서도 무엇보다도 중요함을 알 수 있다.

이러한 내용을 종합해 본다면 에너지절약을 위한 단열시공기준과 관련하여 1996년에 제정된 보온 보냉공사의 시공표준인 KSF 2803의 현실적인 개정이 필요할 것으로 생각되며 개정시 수증기의 투습저항이 커서 단열재의 경년열화가 적은 고무발포 보온재등을 시공표준에 포함되어야 할 것으로 판단된다. 또한 단열재의 투습성에 대한 다양한 실증실험과 함께 단열설계 및 시공에 기초가 되는 기본 열전달기구와 효과적인 단열재 시공방법 및 단열설계등에 대한 종합적인 연구와 관련 기준의 합리적인 정비를 통해 국가 에너지절약을 위한 시스템 구축이 무엇보다도 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- (1)ASHRAE Handbook Fundamentals,25.15 Thermal and water vapor transmission data 2005
- (2)유기형,이윤규,이승언,방습단열재의 투습저항 평가에 관한 연구,공기조화냉동공학회

- 98학계 학술발표논문집, pp1237-1240
- (3)KS F2607 투습 저항 측정 방법
- (4)ISO9346,ASTM E96, DIN52615, BS4370 p2
- (5)DIN 4140(산업시설과 건축장비의 단열-보온과 보냉의 시공) ,DIN1988, p2(음용수 공급 : 재료, 성분, 장비, 설계와 시공)
- (6)BS 5422(Method for specifying thermal insulation materials on pipes,ductwork and equipment,1990.
- (7)KS F 2803: 1996 (보온 보냉공사의 시공 표준)
- (8)ASTM C-534 Performance property guide for insulation materials(Flexible elastomeric)
- (9) Armacell engineered foams Tech. Report.