

# 結 露 防 止

## Condensation Control

禹 泰 成\*  
Tae Seong Woo

### 1. 序 言

建設技術의 向上으로 최근 建物의 기밀성이 점차 良好해지고 있으며 또한 모든 건물에 난방시설이 普及됨에 따라 결로발생에 대한 問題가 대두되고 있다. 結露現象은 物體의 表面溫度가 그 物體에 接하는 空氣의 露點온도(습도 100%가 되는 狀態) 以下일때 생기는 것이므로 結露를 防止하기 위하여는 物體의 表面溫度를 높이고 露點溫度를 낮추면 된다는 것을 알고는 있으나 에너지費用 및 단열공사비의 增加, 기밀성유지 問題로 因하여 완벽한 結露防止에는 많은 어려움이 따르고 있는 것이 現實이다.

본고에서는 結露現象 및 結露防止方案을 一部 나열함으로써 結露에 대한 建築/設備 設計者 및 建物管理者가 結露에 대한 認識을 새로이 하는 기회를 마련하고자 한다.

### 2. 結露의 種類

우선 겨울철에 생기는 冬期結露가 있으며 이것이 가장 큰 被害를 일으키는 結露이다. 겨울에는 外氣溫度가 낮고 室溫은 높으므로 外壁에 面한 室內의 각부위의 表面溫度가 낮아 室內空氣가 露點溫度 以下로 되면 각부위

의 表面에 結露가 發生하는데 이를 表面結露라고 한다.

이에 反하여 각 부위의 構成材料에서 수증기가 外氣쪽으로 투과되는 도중 露點溫度 以下の 層에 다다르면 結露가 發生하는데 이를 內部結露라고 하며 이는 溫度條件 뿐 아니고 低溫側의 수증기 침투방지 程度에 따라 큰 影響을 받는다. 一般의으로는 表面結露만이 問題로 대두되고 있으나 內部結露數가 表面으로 스며나와 마치 表面結露인 것처럼 보일때가 있으므로 內部結露와 혼동하여서는 안된다.

最近의 建物은 거의가 단열재를 使用하고 있으며 과거처럼 單純한 表面結露는 적어지고 있는 反面 內部結露가 增加하고 있다. 특히 構成材料中에 공기층에 갖고있는 境遇나 투습성이 큰 材料가 包含되어 있는 境遇에 內部結露에 의한 被害發生 憂慮가 크다.

우리나라의 여름장마철은 매우 高溫多濕하고 露點溫度는 21 ~ 23 °C 程度이며 空氣가 이온화 以下로 냉각시키면 結露가 發生된다. 여기에 태풍이 불어오면 매우 축축해지고 한층 高溫多濕해지므로 夏期結露에 充分한 注意를 要한다. 地中溫度는 空氣의 露點溫度 以下가 되므로 地下室이나 바닥이 바로 흙에 接해있는 境遇 被害를 받기 쉬우며 外斷熱 工法の 철근콘크리트 建物도 夏期結露에 대한 배려가 必

\* 正會員, 漢陽技術시스템 代表

結露發生 原因과 對策

種 類	發 生 原 因	對 策	
冬 期 結 露	表面結露	습한 공기와 그에 接한 壁, 바닥, 天井, 지붕등의  표면온도와의  差關係	단열재의  이용, 환기에  의한  습도저감,  표면  마감재료의  呼吸性能  이용
	內部結露	온도차가  있는  실내외의  濕流와  저온층의  차단	실내측  방습층(외기측  流通空氣層이  있으면   효과증대),  습기용량의   이용
夏 期 結 露	表面結露	冬期の  境遇와  동일	단열재의  이용, 환기에  의한  表面온도   상승
	內部結露	冬期の  境遇와  동일 * 주로  냉장·냉동실에서   발생	외기측  방습층(냉장실등은  結露數量이   과대하여  濕氣容量의   이용이   불가능함)

要하다. 특히 植物性 材料를 保管하는 창고에서 材料에서 發生되는 수증기가 濕度上昇을 유발시키므로 바닥이 아주 축축해진다.

3. 공기중에 包含되는 수증기의 量

공기는 溫度가 높을수록 많은량의 수증기를 包含하는 性質이 있어 溫度가 낮을수록 적은 량의 수증기 밖에 包含할 수 없게 된다. 게다가 그림 1 과 같이 溫度가 높아지면 包含可能 수증기량이 急格히 增加한다.

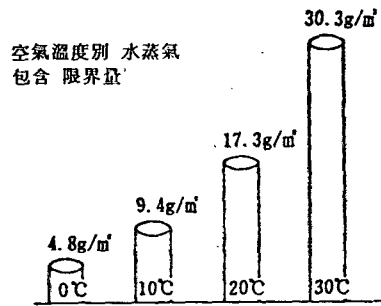


그림 2. 飽和水蒸氣量

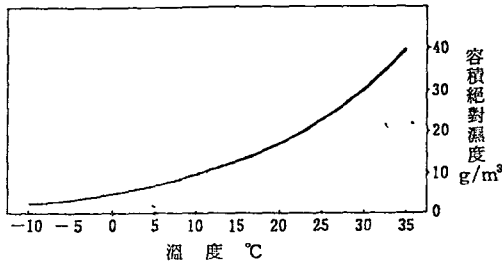


그림 1. 飽和水蒸氣量曲線

즉 0 °C의 공기는 4.8g/m³의 수증기 밖에 包含할 수 없으나 20 °C의 공기는 17.3g/m³의 수증기를 包含할 수 있다.(그림 2 참조) 이와같이 수증기를 그 溫度에서 包含시킬 수 있는 최대한도까지 包含한 狀態의 溫度를 포화온도(露點溫度)라고 하며 어떠한 溫度의 공기도 그 溫度의 포화수증기량보다 많은 수증기를 包含하는 것이 불가능하다. 따라서 여분의 수증기는 물로 變하게 된다.

수증기의 크기는 약 4/100,000 mm 라고 하며 人間의 눈으로는 볼 수가 없으며 산소나 질소입자보다 작고 따라서 공기 입자보다 작다고 한다. 우리가 물을 끓일때 김이나 는 것을 수증기라고 말할 하지만 그것은 수증기가 아니고 작은 水滴인것이다.

우리가 살고있는 지구상의 공기에는 반드시 수증기가 包含되어 있으며 사막의 공기에도 수증기는 包含되어 있다. 이러한 수증기를 包含한 공기를 濕공기라고 한다. 따라서 우리가 接觸하는 모든 공기는 濕공기라고 할 수 있다.

溫度가 영하로 떨어지는 겨울철에는 공기가 수증기를 包含하는 量이 아주 적어져 -10 °C에서 2.1g/m³, -20 °C에서는 0.9g/m³ 밖에 되지 않으며 그 이상의 수증기는 얼음이 된다

結露를 檢討할때는 공기가 低溫이 될수록 保有可能한 수증기량이 적어지는 것에 주의하여 야 한다. 즉 공기온도가 10 °C以下로 되면 수증기가 조금만 增加되도 바로 포화되고 만다.

#### 4. 熱과 水蒸氣의 流動方向

겨울철 暖房時 室溫이 外氣에 比하여 높으면 熱은 계속하여 밖으로 흐른다. 이 室內공기의 상대습도는 外氣의 상대습도보다 낮지만 絶對濕도가 높으므로 수증기압이 높아 수증기는 室內側에서 밖으로 흐르게 된다. 겨울철 生活狀態로 보아 室內의 絶對濕도는 暖房室에서  $10\text{g}/\text{m}^3$  前後, 非暖房室에서는  $7\sim 8\text{g}/\text{m}^3$  程度인 境遇가 많다. 이에 反해 外氣의 絶對濕도는 그보다 훨씬 낮아  $1\sim 5\text{g}/\text{m}^3$  程度가 보통이다. 이때는 表面結露 뿐만 아니라 外氣쪽으로 向하여 壁體內를 흐르는 수증기가 條件에 따라 內部에서 結露되는 것에 주의하지 않으면 안된다. 틈새가 많은 建物에서는 수증기가 自然스럽게 밖으로 흐르게 되어 內部結露의 問題가 없는 反面 극간풍의 침입으로 室內가 춥게 된다. 천정에 換氣口를 設置하더라도 겨울철에는 그곳으로부터 冷風이 들어오게 되므로 大部分 막게 된다. 그러나 그것은 結露防止의 側面에서 보면 매우 困難하다. 따라서 外氣는 어느정도 溫度를 上昇시켜 導入할 必要가 있다.

#### 5. 暖房機器와 結露의 發生

表 1. 燃料種類別 水蒸氣發生量

燃料	發熱量	水蒸氣發生量	水蒸氣/發熱量
	$3,180\sim 3,340\text{kcal}/\text{m}^3$	$450\sim 620\text{g}/\text{m}^3$	$0.198\text{g}/\text{kcal}$
	$12,000\text{kcal}/\text{kg}$	$1.630\text{g}/\text{kg}$	$0.136\text{g}/\text{kcal}$
灯油	$8,460\text{kcal}/\text{l}$	$1.130\text{g}/\text{l}$	$0.133\text{g}/\text{kcal}$

暖房機器를 大別하면 開放形(普通 使用하는 연돌이 없는것)과 密閉形(연돌이 있는것)으로 나눌 수 있다. 경유나 도시가스 또는 프로판가스를 연소시키면 표 1과 같이 수증기가 發生한다. 연돌이 없는 境遇는 이 發生수증기가 室內에 모두 방출, 擴散된다.

예를들면  $3000\text{kcal}/\text{H}$ 를 發熱하는 暖房器가 있다면 경유는  $399\text{g}/\text{H}$  도시가스는  $594\text{g}/\text{H}$ , 프로판가스는  $408\text{g}/\text{H}$ 를 수증기를 發生시키므로 철근콘크리트 住宅에서 開放形 暖房機器를 使用하는 것은 結露發生의 原因이 된다. 一般的으로 이러한 暖房機器 使用時 수증

기가 發生한다고 생각하는 사람은 거의없고 오히려 室內가 건조해지는 것을 防止하기 위하여 난로위에 주전자 등을 올려놓고 계속 물을 끓이는 境遇가 많다. 初期投資費는 多少 增加하겠으나 철근콘크리트 혹은 벽돌 住宅에서 密閉形 暖房機器나 전기히터 또는 溫水판넬히팅方式을 利用하는 것이 結露發生 低減側面에서는 適合하다.

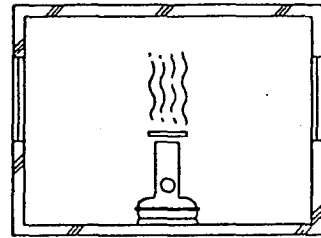


그림 3. 開放型 Stove

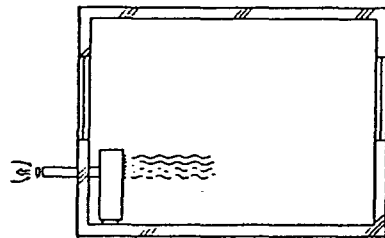


그림 4. 密閉型 Stove

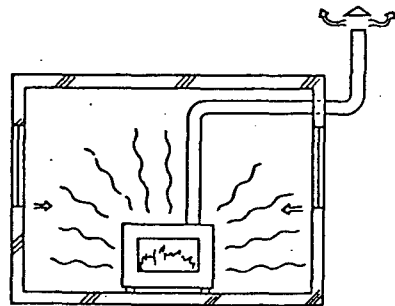


그림 5. 密閉型 Stove

#### 6. 겨울철의 外氣導入

겨울철의 外氣는 상대습도는 높으나 수증기의 량이 매우 적다. 즉 絶對濕도가 서울의 境遇 혹은한기에도  $1\sim 2\text{g}/\text{m}^3$  前後, 제주도 같이

溫暖한 地域도 4 ~ 5 g/m<sup>3</sup> 前後이다. 따라서 이러한 건조공기를 室內에 導入하여 加溫하면 매우 건조한 공기가 된다. 例로서 3g/m<sup>3</sup> 공기를 10℃까지 높이면 32%RH의 공기가 되며 20℃까지 높이면 17%RH의 공기가 된다. 따라서 겨울철에 外氣를 적극적으로 導入하여 室內공기와 混合시키면 結露防止에 큰 效果가 있다. 暖房하고 있는 境遇는 그림과 같이 室內외의 공기압력차에 의해 無風時에도 換氣力이 생기므로 공기도입구를 下部에 두고 排出口를 천정부근에 두면 效果가 좋다. 換氣란 導入된 外氣量과 동일한 量의 室內공기가 室外로 排出되는 것으로 室內의 수증기 希釋에 도움이 된다.

단, 問題는 낮은 流入空氣의 溫度로 外氣가 直接 재실자에게 닿지 않도록 하여야 하므로 大廳빌딩에서는 外氣調和機를 이용하여 適正溫度까지 가온시켜 室內에 流入시키는 것이 좋으며 住宅에서 아직 우리나라에서는 使用되고 있지 않으나 向後 小型 전열교환형 換風器를 開發 使用하는것이 바람직하다고 思料된다.

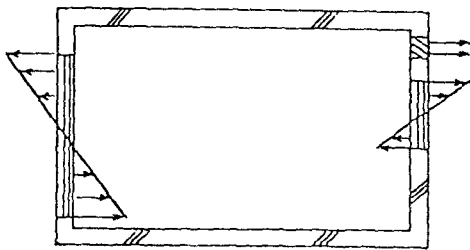


그림 6. 無風時 (溫度差換氣)

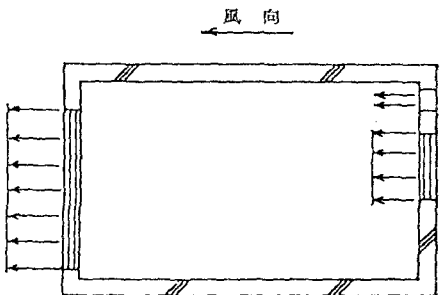


그림 7. 有風時 (風力換氣)

## 7. 透 濕

거의 모든 建築材料는 조금씩 差異는 있으나 수증기를 투과시킨다. 水分子보다 수증기分子的 크기가 작기때문에 水은 通過하지 못해도 수증기는 通過할 때가 있다. 즉 防水性能이 있으므로 防濕性能이 있다고 말 할 수는 없다. 콘크리트나 시멘트 몰탈 防水의 境遇 水은 침투하지 못해도 수증기는 침투하며 두께가 얇은 플라스틱 피막에서도 境遇는 마찬가지다.

금속판이나 아스팔트루핑(아스팔트펠트는 수증기를 通過시킨다) 혹은 두께 0.1mm 이상의 폴리에틸렌 필름등은 수증기를 통과시키지 않는다. 이와같은 材料는 防濕材料로 使用할 수 있다. 이에 대해 섬유계 단열재는 거의 무저항으로 수증기를 통과시킨다.

투습의 表示時 困難한 것은 一般的으로는 材料의 두께에 比例하여 투습저항이 增大되나 그것이 直線의이지 않은 境遇가 많고 同一材料에서도 兩側이 急格히 투습저항이 높게 組成되어있는 境遇가 있고 두께別로 數値를 測定할 必要가 있는 材料도 있다. 또 플라스틱 필름이나 金屬箔과 같이 일정두께 이상이며 저항치가 무한대, 즉 수증기 투과가 0이 되는 境遇도 있다. 두께가 얇은 필름에서는 주로 Pin Hole 을 통하여 투습이 생긴다.

투습은 透濕率 (g/m h mmHg) 과 그 逆數인 透濕比抵抗 (mhmmHg/g) 으로 表示되기도 하며 일정두께의 透濕抵抗 (m<sup>2</sup> h mmHg/g) 으로 表示되기도 한다. 材料의 透濕抵抗이 두께에 直線 比例하여 커지는 境遇는 基準單位인 透濕率이나 透濕非抵抗으로 表示되나 두께別로 透濕이 非直線的으로 變하는 것이나 材料가 不均一하여 層에 따라 값이 變하는 것은 透濕抵抗으로 表示한다. 透濕率, 透濕非抵抗의 關係는

$$\text{투습저항 (m}^2\text{hmmHg/g)} = \frac{\text{재 료 두 께 (m)}}{\text{투습율 (g/mhmmHg)}}$$

또는

투습비저항 (mhmmHg/g) × 재료의 두께(m)  
= 투습저항 (m<sup>2</sup>hmmHg/g) 이다. 이 식은  
傳熱의 境遇와 비슷하다.

$$\text{즉 } \frac{\text{재료 두께(m)}}{\text{열전도율 (kcal/mh}^\circ\text{C)}} =$$

열전도저항 (m<sup>2</sup>h<sup>o</sup>C/kcal)

열전도비저항 (mh<sup>o</sup>C/kcal) × 재료의 두께 (m)  
= 열전도저항 (m<sup>2</sup>h<sup>o</sup>C/kcal) 이다.

열의 흐름의 境遇는 고체의 兩側에 接하는  
공기의 境膜抵抗이 比較的 커서 무시할 수 없  
으나 수증기 흐름의 境遇는 空氣境膜에 의한  
抵抗이 작아 室內側에서는 0.06 m<sup>2</sup>hmmHg/g  
外氣側에서는 0.06 m<sup>2</sup>hmmHg/g, 外氣側에서  
는 0.02 m<sup>2</sup>hmmHg/g 이므로 實用上 무시하  
여도 좋다.

콘크리트는 透濕非抵抗이 700 mhmmHg/g  
이므로 15cm의 벽체의 境遇는 700 × 0.15  
= 1.05 m<sup>2</sup>hmmHg/g 으로 透濕抵抗이 상당히  
크다. 따라서 칠근콘크리트 建物は 수증기가  
軀體를 通過하여 外氣로 排出되기가 어려워 建  
物內에서 發生된 수증기는 建物內에서 平均分  
散된다. 이때문에 수증기를 發生하지 않는 室  
에도 수증기가 流入되어 結露가 發生하는 境  
遇가 있다.

이에 反하여 섬유계 斷熱材는 透濕力이 좋

아 透濕非抵抗은 16 mhmmHg/g 程度이므로  
가령 두께가 15cm이라고 할때 16 × 0.15 =  
2.4 m<sup>2</sup>hmmHg/g 의 抵抗밖에 안된다. 따라서  
이 재료의 兩側에 濕壓差가 있으면 다량의 수  
증기가 투과한다. 즉 겨울철과 같이 室內의 수  
증기압이 높은 境遇는 수증기가 밖으로 흐르  
므로 섬유계 斷熱材의 低溫側에 一般外裝建材  
를 사용하면 內部結露가 심하게 發生되는 것  
을 볼 수 있다. 이와같은 境遇는 반드시 단  
열재의 高溫側에 防濕層을 두어 수증기의 단  
열재에의 浸入을 防止하지 않으면 안된다.

## 8. 結 言

以上과 같이 結露發生原因은 매우 단순하나  
대책수립이 결코 容易하지 않음을 알 수 있다.

一般的으로 우리技術者들이 자기가 아닌 다른  
사람이 이를 解決하여야 하는 것으로 믿고 이  
를 등한히 하는 경향이 없지 않으며 결국 建  
物使用者가 事後藥方門格으로 結露方止를 위  
하여 동분서주하는 것을 많이 接하였으나 이  
는 매우 유감스러운 일로써 建物이 結露로 因  
한 被害가 減小될 수 있도록 우리 技術者 모  
두의 積極的인 研究努力의 자세가 切實히 要  
求되고 있다.