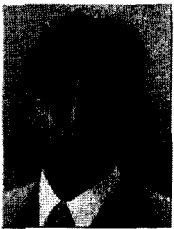


품질관리 <건축물의 빈번한 결로하자의 원인 및 대책>

이 정철 / 현대건설(주) 기술연구소 연구원

1. 서언



결로의 발생은 미관상 그리고 위생상 측면뿐만 아니라, 특히 열에너지 절약의 측면에서, 그리고 건축재료의 열화방지 측면에서 우선적으로 방지해야 한다. 결로가 발생하면 건축재료의 다습화, 즉 건축재료의 함수량이 증가하고, 이것을 통해 내장재의 열

특과 곰팡이가 발생하며, 물 자체의 높은 열전도율에 기인하여 건축부재의 단열성이 급격히 저하한다. 또한 공기중의 유해한 물질, 예로 염소, 이산화탄소 등의 용이한 침투에 기인하여 건축재료의 열화현상이 가속화되기도 한다.

결로방지의 중요성에도 불구하고 현재 결로발생의 예측 및 방지를 위한 설계상의 근본적 대책이나 방법론의 정립은 매우 미흡한 실정이다. 하나의 예로, 지역에 따라 그리고 건축부위에 따라 일정 두께 이상의 단열재가 시공되고 있는데, 이는 법적규정의 충족외에는 다른 의미를 갖지않는다. 결로방지를 위해서는 단열재의 두께와 시공위치, 건축재료의 습기투과 특성과 열전도 특성, 그리고 건축부위의 위치 등을 복합적으로 고려해야만 한다. 특히 계획 및 설계단계에서 철저한 검토가 이루어져야 하는데, 시공 후 발생하는 결로의 보수는 경제적 비용의 상승을 초래할 뿐만 아니라, 경우에 따라서는 보수가 불가능한 경우가 발생하기도 한다.

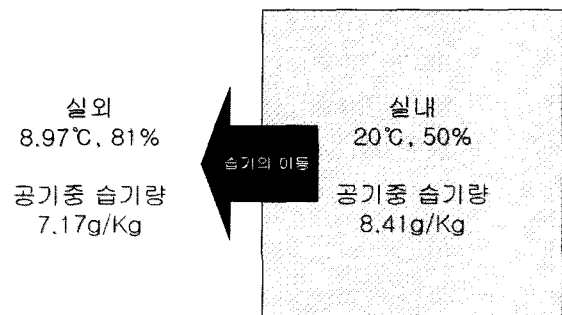
이제까지 건축환경 및 설비 분야에서는 주로 열의 이동 및 기계설비 측면에서만 결로를 다루어 왔기 때문에, 건축재료의 습기적 특성이 배제되어 근본적인 결로예측 및 방지 대책 수립이 어려운 실정이다. 2001년 6월 개정된 “건축물 에너지절약 설계기준” 및 “건축물 설비 기준 등에 관한 규칙”에서 건축물의 단열 강화 및 방습층 설치 의무화 규정이 있으나, 예외조항이 많아 실제 결로발생에 대한 대책이 되지 못하고 있다.

본 하자사례는 최근 많이 발생하는 아파트 발코니 결로하자, 창호의 결로하자, 지하 하절기 결로하자에 대한 원인과 대책에 대하여 단열 뿐 아니라 습기의 특성을 고려하여 기술하였다.

2. 아파트 발코니 결로하자

2.1 원인

근래 시공되는 대부분의 아파트의 발코니에 외부 샷시가 시공되고 있다. 겨울철 열손실 측면에서는 외부로의 열손실을 한번 더 막아주는 역할을 하여 바람직하나, 습기환경측면에서는 결로가 가속될 수 있는 여지가 발생한다. 발코니 결로로 인하여 가구의 훼손, 곰팡이, 도장의 탈락 등의 많은 문제가 발생한다.



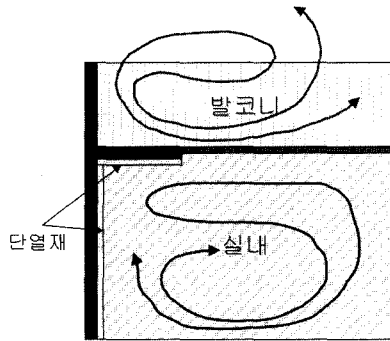
<그림 1> 실내와 실외의 습기의 이동

겨울철 발생하는 결로의 원인이되는 습기는 거의 대부분 실내에서 발생한 것이다. 그림 1과 같이, 실외의 상대습도가 80% 정도이고 실내가 50% 정도일 경우라 하더라도, 공기중의 절대 습기량의 척도인 절대습도는 실내측이 더 높아서, 실내의 습기가 실외로 이동하게 된다.

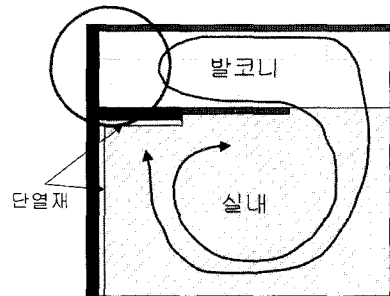
이동 중인 습기가 노점온도 이하인 부분과 만나면 그곳에서 결로가 발생하게 되는데, 발코니가 있는 아파트의 경우 실내의 습기가 실외로 이동하다가 단열이 되지 않아 온도가 낮은 발코니의 벽체와 샷사에서 결로가 발생하게 된다.

발코니 샷시가 없을 경우에는 외부의 건조한 공기가 그대로 발코니에 편하여, 결로발생이 없게 되나, 발코니 샷시를 설치하고 발코니와 실내 사이의 문을 열어 놓으면 실내의 습기가 그대로 발코니쪽에 유입되는 결과가 발생한다.

특히, 최근에 일부 아파트에서는 부엌에 변한 발코니에 보조주방으로 사용하는 경우도 많이 있는데, 이러한 경우 주방에서 조리를 할 경우 습기의 발생량이 많아져서 발코니 결로가 가속된다. 또한 세탁 및 빨래 건조 등으로 인하여 실내 습도가 높아지게 된다.



<그림 2> 발코니 샷시를 하지 않은 경우



<그림 3> 발코니 샷시를 설치한 경우

2.2 대책

일반적으로 겨울철 결로의 대책은 환기를 통한 실내 습도의 조절이다. 그러나 습도의 경우 상대습도 30, 70% 까지는 그 변화를 사람이 잘 느끼지 못하기 때문에, 거주자에게 환기를 유도하는 방안은 실제로 효과가 거의 없다.

발코니 결로는 발코니에 단열 및 방습조치가 전혀 되지 않은 상황에서 실내와 동일하거나 유사한 조건으로 사용하는데 그 발생원인이 있다. 그러므로, 설계시에, 보조주방이나 기타 실내와 유사한 용도로 사용하는 발코니에 대해서는 단열 및 방습을 하는 것이 가장 좋은 해결방안이다.

기 발생한 결로에 대해서는, 입주자에게 결로의 원인과 환기방안을 홍보하고 필요한 부위에 단열보강 및 방습조치를 하는 것은 물론, 창호 등에 발생한 결로수

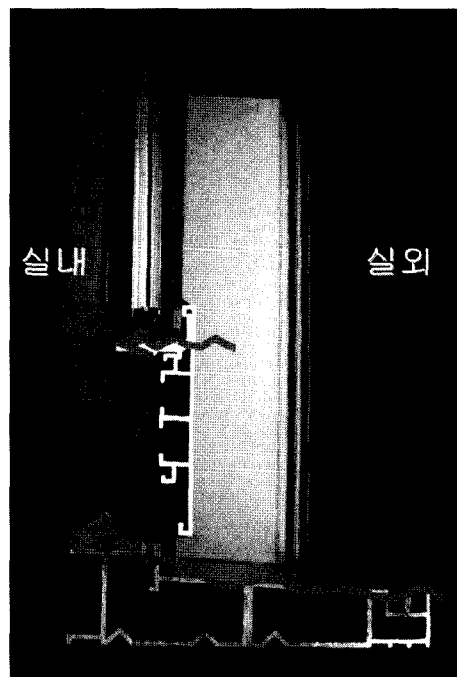
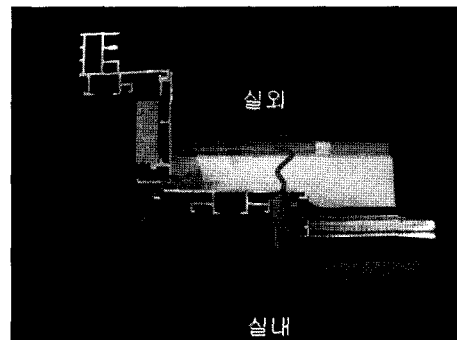
가 가구나 내장재로 흘러들어가 발생하는 2차적인 하자를 막는 방안이 강구되어야 한다.

3. 창호의 결로하자

3.1 원인

창호는 건축물에 있어서 단열이 가장 취약한 부위이다. 최근 페어글라스의 사용이 보편화 되었다고 하더라도, 일반 외벽체에 비하여 단열성능이 떨어진다. 창호에 결로하자가 발생하면 단열 및 방습 보강을 할 방법도 거의 전무한 실정이다.

창호에서 유리는 특별한 결함이 있지 않은 한 제품별로 거의 동일한 성능을 보이게 된다. 하지만 프레임의 경우에는 제조업체의 제품별로 각기 다른 형태와 재료를 사용하기 때문에 결로 발생 여부를 쉽게 예측하기 어려운 실정이다.



<그림 4> 하자가 발생한 시스템 창호

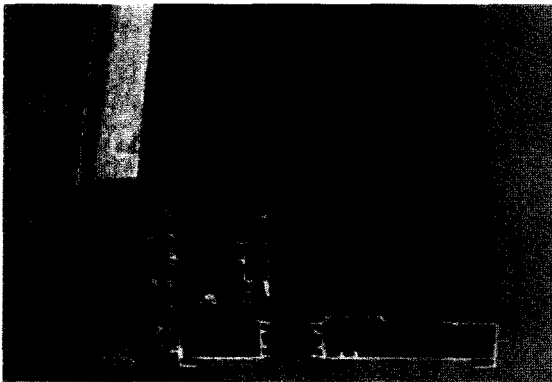
<그림 4>는 실제로 결로하자가 발생하여 입주자의 민원이 제기된 알루미늄+원목 복합 시스템 창호이다.

이 경우 창호 자체의 기밀성과 수밀성은 문제가 없었으나, 열전도율이 높은 알루미늄이 외부에서부터 실내와 인접한 부위까지 연결되어 있어 이른바 열교현상(thermal bridge)가 발생하였다. 외부의 차가운 온도가 실내측의 일부 부위(화살표 표시)로 영향을 미쳐 창호의 표면온도를 낮추어 결로가 발생하였다.

3.2 대책

창호의 성능검토에 있어서 기밀성 및 수밀성은 일반적으로 많이 검토가 되지만, 단면상의 열교현상에 대해서는 거의 검토가 이루어지고 있지 않다.

제품을 선정할 때 KS에 규정된 프레임과 유리의 열관류율 시험 및 결로발생 시험을 실시하는 것이 바람직하며, 가능하면 MOCK-UP TEST를 실시하여 하자를 미연에 방지하는 것이 최선의 대책이다.



<그림 5> 열교차단재가 적용된 창호

위의 사진은 하자가 발생한 창호와 유사한 타사 창호의 단면이다. 가장 큰 차이점은 원으로 표시된 부위에 열교현상을 차단하여 주는 열교차단재가 설치되어 있는 점이다.

건물 최 외곽에 사용되는 창호의 경우에는 이러한 단면의 열성능을 체크하여 제품을 선정하는 것이 하자 발생을 줄이는 방법이다.

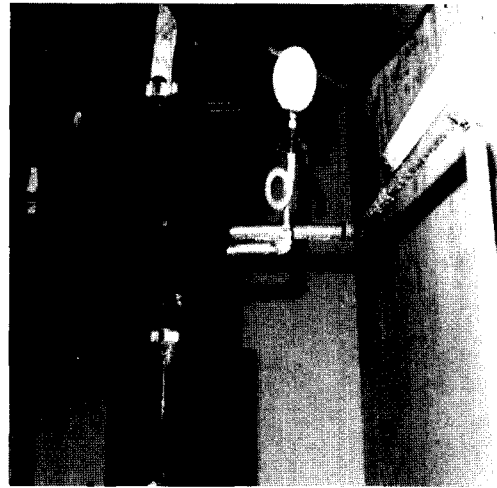
4. 지하 하절기 결로

4.1 원인

여름철 지하공간에 발생하는 결로수의 원인은 거의 대부분 실외의 습한 공기이다. 이는 겨울철과 반대되는 현상이다. 지중의 온도는 깊이에 따라 차이가 있지만

외기와 일사에 의한 영향이 적어 연중 10 ~ 20℃ 범위를 보인다. 이에 반해서 여름철 외부 공기는 25 ~ 30℃, 상대습도는 60 ~ 80% 정도를 보이게 된다.

여름철의 공기중의 습기가 물로 응결되는 온도(노점 온도)는 대략 18℃ ~ 20℃를 보이게 되므로, 지중온도의 영향을 받아 20℃ 이하로 유지되던 구조체에 외부 공기가 유입되면 결로가 발생하게 된다.



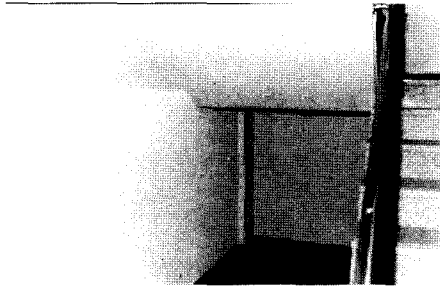
<그림 6> 지하 하절기 결로 발생사진

건물의 지하는 전기실이나 기계실, 주차장, 창고, 계단실 등으로 주로 사용되기 때문에 공조시설이 안되어 있는 곳이 많다. 따라서 외기가 그대로 유입되면 결로가 발생할 가능성이 높다. 결로가 발생되면 곰팡이의 번식 등의 문제는 물론이고, 심한 경우 신발이 젖을 정도의 결로수가 흐르기도 하며, 시공 중에 결로발생으로 인하여 후속 마감공정(도장 등)이 지연되는 경우도 발생한다. 실제로 지하주차장 같은 경우에는 결로수로 인하여 바닥의 에폭시 도장을 하지 못하여 공기지연이 되는 사례가 자주 발생한다.

4.2 대책

모든 결로의 대책방법과 동일하게 하절기 결로 역시 제습과 단열보강의 2가지 방법이 있다. 공조설비가 있는 경우에는 제습이 가능하지만, 겨울철과 달리 실외의 습기가 결로의 원인이므로 환기를 할 경우 제습이 아닌 가습이 되어 결로가 심해질 수 있다. 따라서 설비적인 방법 외에는 제습이 어렵다.

단열보강 방법은 표면의 온도를 높여 반영구적으로 결로를 막는 방법이 될 수 있다. 특히 실내의 벽체쪽에는 단열성과 투습저항성이 높은 드라이버트 마감을 하여 하절기 결로를 해결할 수 있다.



<그림 7> 지하 하절기 결로발생 부위의 드라이비트 시공

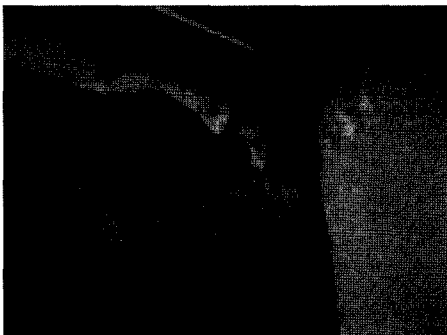
드라이비트나 기타 단열보강은 벽체 및 천정부위에는 적용이 가능하나, 바닥의 경우에는 현재 단열보강이 어렵다. 특히 지하주차장과 같은 부분에는 차량의 하중 등의 문제로 인하여 바닥 단열이 거의 불가능하다. 설계단계에서 바닥구조체 시공 전에 외단열을 하는 방법이 있으나 이미 발생한 하자에 대해서는 대책이 없다.

바닥은 결로가 발생하더라도 트렌치 또는 배수판 등을 이용하여 결로수를 원활하게 배수하는 것이 현재로서는 최선의 방안이다.

5. 아파트 외벽 모서리부위 결로

5.1 원인

현재 아파트 외벽체 부위에서 결로가 가장 많이 발생하는 부위는 “외기에 직접 면한 부위”이다. 외기에 직접 면한 부위라 함은 실외측이 외부와 직접 면하거나, 인접한 부위의 실이 외기가 유통되는 부분을 말한다. 이 부위는 겨울철 큰 온도차이로 인하여 열손실이 커져 결로발생이 쉬운 특징을 보인다.

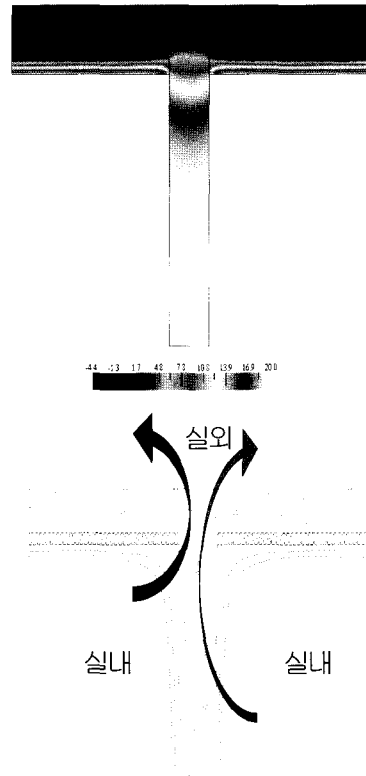


<그림 8> 모서리 부위의 결로하자

드라이비트의 경우 표면에 수지/접착제가 혼합된 재료를 사용하기 때문에 습기가 잘 투과하지 못하여 결로방지에 효과적이다.

정도의 차이는 있지만, 위의 그림과 같은 결로로 인한 곰팡이 발생이 가장 일반적인 형태의 하자이다.

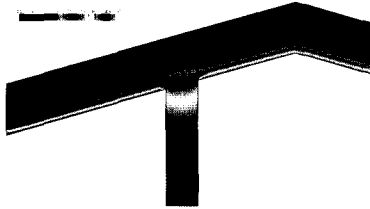
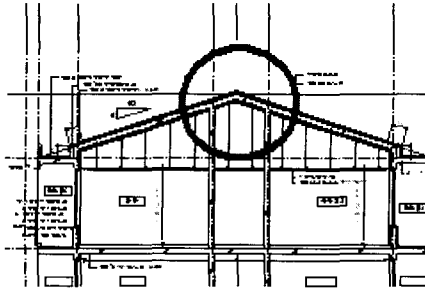
외벽 모서리 부위는 실내의 더운 공기가 모서리 끝 부분까지 열을 잘 전달하지 못하며, 실외와의 거리가 짧고 내부 마감으로 인해 단열이 쉽지 않기 때문에, 실제로 실내와의 온도차이가 많이 나게 된다. 하지만, 공기중의 습기는 균등하게 분포하므로, 실내 공기의 노점 온도 이하가 되는 모서리부위에서부터 결로가 발생하고 이러한 결로가 지속되면 곰팡이가 발생한다.



<그림 9> 모서리부위의 열의 이동

이러한 모서리 부위는 평면 뿐 아니라 단면상에서도 종종 보이게 된다. 정밀하게 보면 평면상에서의 열이동과 약간의 차이가 있으나, 거의 비슷한 양상을 보이게 된다.

<그림 10>에서와 같이, 최상층의 경우 단면상에서 비슷한 양상의 온도분포를 보이는 곳이 있다. 이러한 경우 실내에서 발생한 습기는 천정 마감재를 투과하여 지붕 내부 공간으로 유입되고, 온도가 낮은 모서리부위에 닿아 결로가 발생하여 아래로 떨어질 수 있다. 이러한 경우 천정 마감재가 얼룩이 지는 하자가 발생하게 된다.



<그림 10> 아파트 박공지붕의 열교부위

5.2 대책

이러한 열교부위에 대한 대책으로 현재 사용되고 있는 것이 단열 모르터 또는 판상단열재 매입방법이다. 일반적인 외벽의 경우에는 단열재 + 석고보드 + 벽지의 마감이 들어가게 되는데 반하여, 모서리 부위는 실내 면적확보 등을 이유로 모서리부분의 최 외측 일부만 단열 하게 된다.



<그림 11>거푸집을 이용한 단열부위 두께 확보

그림과 같이, 약 10mm 정도의 두께로 단열 모르터를 시공하거나 판상단열재를 매입하게 되는데, 특히 단열모르터의 경우 습식공법의 특성상 배합비나 기타 시공여건에 따라 본래 가지고 있는 단열성능을 발휘하지 못하는 경우가 다반사이다. 단열모르터의 부착력이 낮기 때문에 시공성이 떨어져 시멘트 배합을 시방보다 늘려서 시공하여 하자가 발생하는 경우도 있다. 또한

SPEC에 명시된 단열물탈 자체의 단열성능은 일반적으로 발포폴리스티렌(스티로폼)의 절반정도이므로 실제 시공될 경우 일반 단열재에 한참 못미치는 성능을 보이게 된다.

이론적으로 결로를 방지하기 위해서는 열손실이 많아 겨울철 온도가 많이 내려가는 부위에 단열보강을 해 주는 것이 최선의 대책이나, 마감의 문제로 인하여 현재로서는 적용이 거의 불가능하다.

이 부위에 대해서는 설계적인 변경이 있어야 한다. 외단열 공법을 통하여 구조체 전체를 단열할 수 있도록 하는 방법과, 전체적인 단열설계를 강화하여 열교부위를 없애는 방법이 필요하다.

현재 설계된 아파트에서는 단열물탈 시공시 철저한 품질관리를 통하여, 시방에 명시된 정확한 배합 및 시공이 이루어지도록 하고, 판상단열재 매입의 경우 후속 마감공정과의 공백기간동안의 보양을 통하여 단열재가 훼손되지 않도록 하는 것이 중요하다.

또한 천정에 매입되는 결로방지용 판상단열재와의 마감선 일치가 되도록 하며, 사이가 뜨거나 단열재가 파손된 부위는 발포 우레탄 폼 등의 뽐칠 가능한 자재를 이용하여 단열재가 연속이 되도록 하여야 한다.

특히 콘센트나 등기구를 위한 전기BOX 등이 매입된 부위는 단열재가 누락되기 쉬운 부분이므로 최종 마감 이전에 단열보강을 하여 국부적인 결로현상을 방지할 수 있도록 하는 것이 좋다.

이 부위에 결로가 일단 발생하게 되면 하자보수 방법이 거의 전무하므로, 사전 대책 마련이 가장 중요하다.

6. 결론

건축물에 발생하는 결로의 유형은 대단히 다양하며, 그 원인에 대한 이론적 규명도 오래전에 이러한 결로를 방지하기 위해서는 결로가 빈번히 발생하는 사례를 대상으로 부위별 상세 설계에 구체적인 대책방안을 적용하는 것이 최선이며, 시공시 발생하는 단열재 및 방습층의 훼손, 재료 자체의 품질관리가 철저히 이루어져야 한다.

단열과 결로는 아주 밀접한 관계를 가지고 있음은 분명하나, 결로는 단순히 온도차이가 아닌 습기의 상태에 따라 발생여부가 결정된다. 따라서 단열측면은 물론, 습기의 이동 측면에서의 사전검토가 필수적이다.

참고문헌

- 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1994
- 山田 雅士, 建築の結露, 井上書院, 1979
- 山田 雅士, 建築の斷熱, 井上書院, 1981
- 이민석, 습기와 물의 건축적 설계, 건설도서, 1988
- J.NChalkley. Thermal environment, The architectural press: LONDON, 1968
- Klopper, H., Lehrbuch der Bauphysik, B.G. Teubner Stuttgart, Germany, 1994
- Lee, M.S., Versuche und kritische Anmerkungen zu einigen Grundlagen de Feuchtespeicherung und des Feuchtetransports in Baustoffen, Diss., Uni. Dortmund, Germany, 1996
- DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbbau, 1981

