

外氣에 면한 超高層 아파트 천정 내부결로 예측

Forecast on Internal Condensation at Ceiling of Super-high Apartment Building Faced with Open Air

안재봉* 송영웅** 최윤기***
Ahn, Jae-Bong Song, Young-Woong Choi, Yoon ki

요약

본연구는 외기에 면한 초고층 아파트 최상층부의 발코니 천장내부에 있는 H-Beam(내화피복+단열재로 구성)과 Parapet 부위 내부결로 발생가능성에 대한 예측을 해 봄으로써 해당공간 거주자의 쾌적한 환경 만족 및 불안을 해소 하는데 그 목적이 있다. 외주부를 구성하고 있는 Curtain wall, Stone panel 또는 슬래브 바닥하부 등의 열적 취약공간에 대해 2차원 정상상태(온도평형) 열전도해석 Program을 이용, 온도예측과 온도분포해석을 통해 해당부위의 습기압분포에 따른 내부결로 예측을 실시하였다.

키워드 : 열교, 내부결로, 온도예측, 습기압분포

1. 서론

1.1 연구의 목적

일반적으로 지붕과 천정을 통한 열손실은 전체 열손실의 약 25%를 차지한다. 외벽이나 바닥, 지붕 등의 건물부위에 단열이 연속되지 않는 부분이 있을 때 또는 건물의 벽의 모서리부분, 구조체의 일부분에 열전도율이 큰 부분이 있을 때 열이 집중적으로 흐르게 되는 이러한 현상을 열교(Thermal bridge)현상이라 한다.

즉 열교는 열교환이 높은 열전도율로 인하여 구조체의 전체 단열값을 낮추게 하는 구조체의 일부분을 의미한다. 이러한 구조체의 열적 취약부위로 인하여 열손실이라는 측면에서 냉교(Cold bridge)라고도 한다. 건축물의 테두리보, 최상층 슬래브지붕, 발코니의 돌출부위 등은 완벽한 단열을 연속적으로 유지하기 어려운 단열의 취약부위로서 열의 출입에 의한 열교현상에 의해 결로가 발생할 수 있으며 결로는 구성재료와 재료사이의 경계면에서 주로 발생하는 경향이 높다

건물내에서의 결로발생은 동절기에 가장 극심하며 그 원인은 난방에 따른 실내,외의 높은 온도차 때문이다. 더운 공기는 찬 공기보다 더 많은 수증기를 포함하므로 그 자체는 결로가 발생되지 않는다. 그러나 더운 공기중에 과대하게 들어있는 수증기는 공기가 냉각하면서 결로를 유발한다. 내부결로의 발생예측에 관련된 자료에 의하면 상대습도와 주위온도의 영향에 따른 습기의 응축, 즉, 상대습도가 100% 상태(포화습기압)의 생성이라고 할 수 있

다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 도출된 최상층 발코니 지붕하부 H-Beam 부위 결로발생 및 Parapet부위 내부결로 예측자료는 2000년 2월에 착공하여 2003년 10월말 준공예정인 서초현대수퍼빌 주거동 아파트 최상층부의 Parapet 및 발코니 상부 천장내부 H-Beam 부위를 대상으로 하였고 이를 위해 2002년 5월과 2003년 9월까지 2 차례에 걸쳐 내부결로 예측을 실시하였다

기 연구보고된 내부결로의 발생예측 방법으로는 독일의 산업규격 DIN 4108에 규정된 방법 등으로 고찰한 연구자료가 있으나 본 연구에서는 초고층 아파트 최상층 발코니 천장내부 H-Beam부위와 외기에 면한 Parapet부위의 열교현상으로 인한 결로발생 가능여부를 예측하기 위해서 열전도해석 Program인 Therm(Version 2.1)을 이용하여 우선 천장 내부공간의 온도예측과 온도분포 해석을 실시하였고, 또한 습기압 분포에 따른 내부결로를 검토 하였다.

2. 내부결로의 발생 원인과 대책

2.1 내부결로의 발생 가능성

일반적인 결로의 발생원인 어떤 습공기가 그 공기의 노점온도 이하가 되는 구조체와 접촉할 때 구조체 내부 또는 구조체 실내표면에서 발생하는 것을 결로(Condensation)라 한다. 결로의 원인으로서는 다음과 같다.

- 1) 실내습기의 과다발생
- 2) 실내외 온도차
- 3) 건물의 사용패턴 변화에 의한 환기부족
- 4) 구조체의 열적특성
- 5) 시공불량

* 학생회원, 숭실대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

** 학생회원, 숭실대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 중신회원, 숭실대학교 건축학부 교수, 공학박사

6) 시공적 후 미건조 상태 등

내부결로(Interstitial condensation)는 구조체내 경계면이나 재료의 내부에서 발생하는 결로를 말한다. 내부결로는 건물의 구성벽체 내부의 다공질 재료에 함유되어 있는 수증기압이 그 온도에 대한 포화수증기압 이상으로 될 때, 즉 재료의 내부온도가 노점온도보다 낮을 때에 그 재료 내부에 수증기막이나 물방울이 나타나는 현상이다. 단열재와 같이 공극을 다량 함유한 재료에 내부결로가 발생하면 단열성능이 저하되고 썩게된다. 또한 결로된 부분의 온도가 0℃ 이하로 되면 팽창되어 구조를 파괴할 수도 있다.

2.2 결로의 방지대책

결로의 발생원인을 제거하기 위한 방법에는 크게 환기, 난방, 단열의 세 가지로 분류된다.

첫째, 환기를 통해 습한 공기를 제거하여 실내의 결로를 방지한다. 수증기 발생이 많은 부엌이나 화장실에 배기구나 배기팬을 설치한다.

둘째, 난방을 통해 건물내부의 표면온도를 올리고 실내온도를 노점온도 이상으로 유지시킨다. 난방방법은 낮은 온도로 난방시간을 길게 하는 것이 높은 온도로 난방시간을 짧게 하는 것보다 유리하다.

셋째, 단열을 통해 구조체의 열손실 방지와 보온의 역할을 하도록 한다.

2.2.1 표면결로의 방지대책

실내표면온도가 실내공기의 노점온도를 초과하기 위한 표면결로의 방지대책은 다음과 같다.

- 1) 실내에서 발생하는 수증기를 억제한다.
- 2) 환기에 의해 실내 절대습도를 저하한다.
- 3) 단열강화에 의해 실내측 표면온도를 상승시킨다.
- 4) 직접가열이나 기류촉진에 의해 표면온도를 상승시킨다.

2.2.2 내부결로의 방지

내부결로를 방지하기 위해서는 열관류의 온도구배식에서 구한 구조체 내부의 온도가 그 지점에서의 노점온도를 초과해야 한다. 이에 따른 내부결로의 방지대책은 다음과 같다.

- 1) 벽체내부로 수증기의 침입을 억제한다.
- 2) 벽체내부 온도가 노점온도 이상 되도록 단열을 강화한다.(열관류율을 적게 하여 열관류저항을 높인다)
- 3) 단열공법은 외단열로 한다.
- 4) 내부결로를 방지하기 위해 방습층은 온도가 높은 단열재의 실내측에 위치한다.
- 5) 벽체내부 단열재 실외측에 공기층을 두어 통기시킨다.(단, 단열성능의 저하를 방지하기 위해 단열재 외기 측 표면에 방풍층을 설치한다)

3. 내부결로의 예측

3.1 발코니 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 예측

3.1.1 천장내부(지붕슬라브 하부)공간의 온도예측
해당부위의 온도분포를 계산하기 위하여 천정내부 (지붕 슬라브 하부)공간의 온도를 개략적으로 계산하였다.)

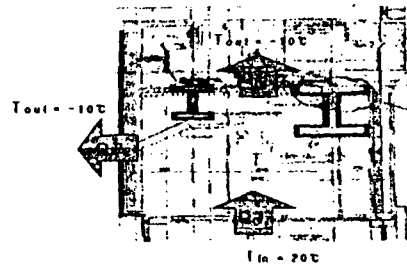


그림 1 천정내부 공간 온도계산

(그림1)과 같은 외기조건은 -10℃, 실내조건은 20℃로 가정하였으며, 인접실내(그림의 우측)과의 열이동은 없는 것으로 간주하였으며, 침기로 인한 손실은 고려하지 않았다. 이 때 열평형식에 의하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$Q1 = Q2 + Q3$$

$$K1 \times A1 \times (T_{in} - T) = K2 \times A2 \times (T_{out} - T) + K3 \times A3 \times (T_{out} - T)$$

K1, K2, K3 : 해당부위의 열관류율(W/m²K)

A1, A2, A3 : 해당부위의 면적(m²)

T : 천정내부공간의 온도

이를 계산하면, 천정내부공간의 온도 T 는 약14.32℃¹⁾이다.

3.1.2 해석대상의 재료구성

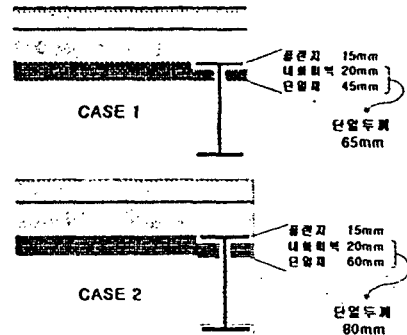


그림 2 온도해석분포 재료구성 유형

내화피복재의 두께를 단열두께에 포함시켰으며, 내화피복재와 단열재의 열전도율은 각각의 물성치를 이용하였다.

3.1.3 온도분포 해석

천정 내부의 온도는 14.32℃, 외기조건은 -10℃가 지속될 경우를 가정하였다. 실제로 서울의 동절기 기온이 -10℃ 이하로 지속되는 경우는 거의 드물게 나타나므로 안전율을 고려한 기상조건으로 볼 수 있다.

1) Case 1

1) 실제의 경우 건물자체가 완벽하게 밀폐되지 않으므로 외부공기의 유입(침기)에 의한 열손실로 인하여 온도가 상당히 낮아질 수 있다. 그러나 침기로 인하여 온도가 낮아질 경우 습도 역시 낮아지게 되므로 결로발생 가능성은 훨씬 낮아지게 된다.

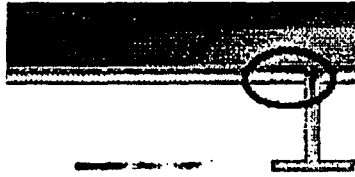


그림 3 온도해석분포 재료구성 (1)

80mm 단열재와 면을 일치되도록 단열시공을 한 경우이다. 단열재의 표면온도는 12~13℃의 분포를 보였으며, 가장 온도가 낮은 부위는 원으로 표시된 모서리 부위로, 최저온도는 10.6℃로 나타났다.

2) Case 2

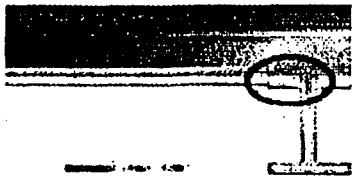


그림 4 온도해석분포 재료구성 (2)

이 경우는 H-Beam 이 있는 부분까지 단열두께 80mm를 만족하도록 시공한 경우이다. 이러한 경우 모서리부분에서 최저 온도가 되는 부분이 발생하며, case 1과 위치는 약간 차이가 나지만, 모서리부위의 최저온도는 10.6℃로 case 1과 동일한 값을 나타내었다.

3.2 Parapet 부위 내부결로 예측

3.2.1 천장내부(지붕슬라브 하부)공간의 온도예측

이 경우 상기의 발코니 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 예측과 같은 조건으로 외기조건은 -10℃, 실내조건은 20℃로 가정하였으며, 인접실내(그림의 우측)과의 열이동은 없는 것으로 간주하였으며, 침기로 인한 손실은 고려하지 않았다.

3.2.2 해석대상 부위

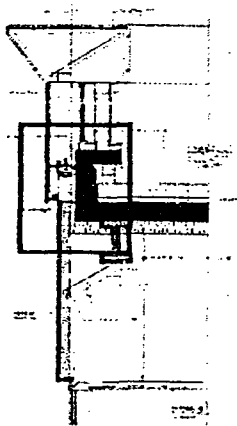


그림 5 해석대상 부위

상기 위치에서 사각형으로 표시된 부위를 모델링하여

2) 내화피복재를 포함한 단열두께가 80mm인 경우이다.

2차원 열전도 해석을 실시하였다. 실외 조건은 -10℃ 상대습도 60% 이며, 천정 내부조건은 앞에서 계산한 14.32℃, 실내조건은 20℃, 상대습도 50%로 가정하였다.

3.2.3 온도분포 해석

천정 내부의 온도는 14.32℃, 외기조건은 -10℃가 지속될 경우를 가정하였다. 실제로 서울의 동절기 기온이 -10℃ 이하로 지속되는 경우는 거의 드물게 나타나므로 안전율을 고려한 기상조건으로 볼 수 있다.

본 해석은 모든 자재들이 기밀하게 시공되어있다는 가정하에 진행된 것임에도 불구하고, 단열재 외부쪽은 거의 외기온도인 -10℃에 가까운 -8℃ 정도의 균일한 분포를 보였다. 실제로 외벽패널이 완전 기밀하지 않기 때문에 거의 원형으로 표시한 구조체 내부의 공간은 거의 실외와 동일한 조건이 될 것으로 예상된다.

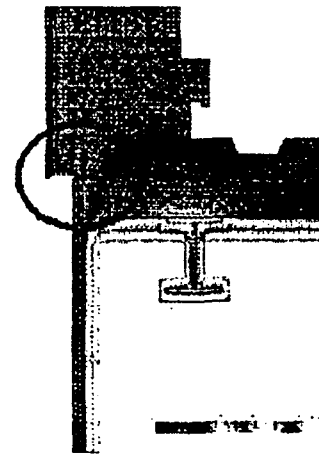


그림 6 해석대상부위의 온도분포

3.2.4 습기압 분포에 따른 내부결로 검토

실내조건 20℃, 상대습도 50%에 실외조건 -10℃, 상대습도 60% 조건에서 정상상태(평형을 이룬 상태)에서의 재료 내부의 습기압 분포를 검토하였다.

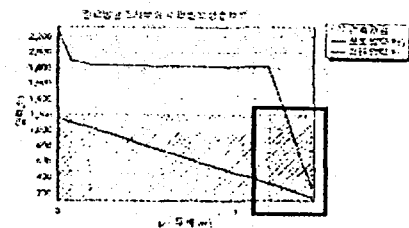


그림 7 습기압 분포

x축은 모든 건축재료를 공기의 물성치로 환산하였을 때의 두께(등가공기층 두께) 값이며, y축은 재료의 내부에서의 습기압(습도)이다, x축에서 좌측부터 실내 천정마감재가 되고, 우측으로 갈수록 실외측이 된다. 사각형으로 표시된 부분이 천정 슬라브 아래의 단열재의 실외측부분이다.

녹색으로 표시된 그래프가 상대습도가 100%가 되는 기준선(포화압력)이고 이때의 붉은색으로 표시된 습기압이 된다. 습기압이 녹색 그래프에 닿게되면 그 지점에서

상대습도 100%가 되는 것이고 그 지점에서 결로가 발생한다. 상기 조건에서 검토한 결과 내부결로는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

4.1 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 검토

상기의 조건에서 case 1, 2에서 모두 최저온도는 10.6℃로 동일하게 나타났으며, 최저온도가 나타나는 부위는 모서리 부위에 한정되었으며 모서리에서 18mm 이상 떨어진 부위(그림 8의 붉은색 빗금부위)는 13℃ 이상을 나타내었다.

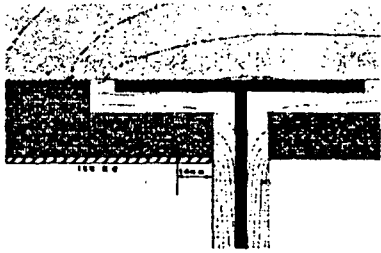


그림 8 표면의 등온분포

결로발생 예측을 위한 실내조건을 20℃³⁾ 상대습도 50%로 볼 때, 이 공기가 천정 내부공간으로 그대로 유입될 경우를 가정하였으며 실내온도 20℃, 상대습도 50%의 실내공기가 가지고 있는 습기는 그대로 유지하면서 온도만 14.32℃로 낮아지면 상대습도는 약 71%를 상회하게 되는데 이때의 결로발생온도(노점온도)는 9.27℃가 된다.

20mm 내화피복위 45mm 단열뽕칠을 한 case 1의 경우도 부재 표면의 최저온도가 10.6℃로 노점온도인 9.27℃를 상회하므로 상기조건에서는 결로가 발생하지 않을 것으로 예상된다.

3) "건축물의 에너지 절약 설계기준"에서는 공동주택의 난방 설계기준을 건구온도 20~22℃, 상대습도 35~40%로 하도록 제시하고 있으며, 독일의 결로발생 예측을 위한 실내 기후조건은 20℃, 상대습도 50%로 규정하고 있다.

따라서 본 예측에서는 이 조건들 중 결로발생에 대하여 약조건이라고 할 수 있는 20℃의 50%를 기준으로 계산하였다.

4.2 최상층 Parapet부위 내부결로 검토

상기 조건에서 최상층 슬라브 아래 단열재 시공부위를 기준으로 실외측 부분은 거의 실외와 동일한 온도분포를 보였다. 실제 외벽체의 기밀성이 완벽하지 않기 때문에 외벽 패널내부의 공기층은 외부와 거의 동일한 조건이 될 것으로 보인다.

내부결로 예측을 위하여 정상상태 습기압 분포 계산결과 상기 조건에서는 내부결로가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 외벽체의 기밀성이 너무 부실하고 실내의 온도가 상당히 낮아질 경우 발코니 상부 천정을 통과한 실내에서 발생된 습기를 외벽체 또는 슬래브하부 단열재가 함유하지 못할 경우 결로가 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 이를 위해 동절기에 실내에서 발생하는 수증기를 함유할 수 있는 실내온도를 상승시키든가 주기적인 환기를 통한 실내측 습기의 주기적인 제거가 중요하다고 본다.

참고문헌

1. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1994
2. 유호천, [특집] 건축환경과 결로/Architectural Environment Condensation, 대한건축학회지 V39, n6 (1995, 06)
3. 유호천, 주거용 건물의 外皮 結露에 대한 研究, 대한건축학회지 28권 117호, 1984. 04
4. 이정철, 최상층 파라펫부위 및 지붕하부 Beam부위 내부 결로발생 검토보고(현대건설 기술연구소, 2002. 5)
5. 최재원, 고병민, 강경인, 건축물의 외벽 모서리 부위의 결로방지 공법에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제22권 제1호, 2002. 04
6. 안홍기, 주경재, 서치호, 建物外壁의 結露에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제7권 제2호, 1987. 10

Abstract

This study is to forecast possible occurrence of internal condensation around parapets and H-beam located at the inside of balcony ceilings on the uppermost floor of super-high apartment buildings faced with open air in order to provide dwellers with more comfortable environment in the related space and get rid of their uneasiness about the condensation. In this study, we estimated internal condensation, which vary in accordance with humidity pressure distribution, at curtain walls, stone panels or lower parts of slabs that constitute outer space of the residence and are weak against heat, through temperature forecast and temperature distribution interpretation program at normal two-dimension temperature

Keywords : Thermal bridge, Internal condensation, Temperature forecast, Humidity pressure range