

外氣에 면한 超高層 아파트 발코니 천정 내부결로 예측

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

최 윤 기* · 안 재 봉**

Choi, Yoon-Ki · Ahn, Jae-Bong

요 약

최근 들어 주거공간의 기능만족과 효율성 확보를 위해 외기측에 면한 발코니 부위를 확장하는 사례가 늘어나고 있으며 특히, 최상층에 위치한 확장형 주거공간의 경우 외벽에 설치된 AL Curtain wall 상부 외벽복합 Panel 이 완전 기밀하지 않음으로 인해 천정 상부측으로 낮은 외기온의 이동에 의한 실온과의 온도차에 의해 내부결로의 발생 가능성을 전혀 배제할 수는 없는 상황이다.

본 연구는 외기에 면한 초고층 아파트 최상층부의 발코니 천정내부에 있는 H-Beam(내화피복+단열재 구성)과 Parapet부위 내부결로 발생가능성에 대한 예측을 해 봄으로써 해당 공간거주자의 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 수증기압 분포에 따른 내부결로 예측을 실시하였다.

키워드 : 열교, 내부결로, 온도예측, 습기압분포, 상대습도

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 건물외벽의 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

결로(Condensation)가 발생할 수 있으며 결로는 구성재료와 재료사이의 경계면에서 주로 발생하는 경향이 높다

또, 결로는 건축물이 밀집되어 일조량이 부족하거나 통풍이 되지 않고 온도나 기후조건이 까다로운 입지조건인 경우와 동절기에 구조체공사를 하거나 한여름이 지난 후에 습식공사가 진행된 경우에도 결로가 심하게 발생되기도 하며 겨울철에는 외부의 온도가 낮은 반면 난방 등에 의한 실내온도가 높아 주방이나 욕실에서의 온수사용, 거주자의 호흡 및 실내의 식물 등에 의해 실내습도가 높아져서 여름에는 발생하지 않는 결로가 발생되기도 한다.

실온이 t_i 이고 외기온이 t_0 일때의 온도분포를 나타낼 경우, 실내공기의 수증기압이 f 또는 증량절대습도가 x 일 때, 그 공기가 포화하는 온도, 즉, 노점온도를 t_d 라 하면 벽체의 표면온도 θ_s 에 대하여 $t_d > \theta_s \dots$ 결로함. $t_d < \theta_s \dots$ 결로하지 않음. f 또는 x 가 낮을수록 t_d 는 낮아진다. 이렇게 발생하는 표면결로를 방지하기 위해서는 먼저 벽체의 표면온도를 가능한 한 높이고, 실내공기의 포화온도는 함유되는 수분량이 작아질수록 낮아지므로 가능한 한

* 종신회원, 숭실대학교 건축공학부 교수, 공학박사
** 학생회원, 숭실대학교 대학원 건축공학과, 박사과정
본 연구는 숭실대학교 교내 학술연구비 지원으로 연구되었음

적절한 환기를 통하여 수증기를 외부에 배출하는 것이 중요하다. 이에 대하여 본 연구는 온도차가 심한 동절기에 외기에 면한 초고층 아파트 최상층부의 발코니 Parapet하부 외벽 복합판넬 (THK 25 Stone+THK 5 Stone adhesive+THK 9 Fiber cement board+THK 10 Iso pink+THK50 Glass wool)과 THK 150 Slab Conc+탄성도막방수 위 5mm 보호매트+THK 최소 60mm 무근콘크리트+우레탄 Paint로 구성된 주거용 아파트 현장의 최상층 발코니 상부 H-Beam 부위가 열교현상으로 인한 내부결로의 발생 가능성이 우려되어 그 발생가능성에 대한 예측을 해 봄으로써 해당 공간거주자의 쾌적한 환경 만족 및 불안을 해소 하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구의 범위

최근 들어 주거공간의 효율성 확보를 위해 외기측에 면한 발코니 부위를 확장하는 사례가 늘어나고 있다, 공동주택의 경우 안방 또는 침실 공간에 확장형 발코니를 적용, 시공할 경우 외기에 면한 실내측의 바닥, 벽 및 천정 부위에 결로가 발생하여 하자의 한 유형이 되고 있다, 특히, 최상층에 위치한 초고층 주거공간의 경우 외벽에 설치된 AL Curtain wall의 상부 외벽복합 Panel 이 완전 기밀하지 않음으로 인해 천정상부에 있는 단열재를 통해 낮은 외기온의 이동에 의한 실온과 단열재 내부와의 온도차에 의해 내부결로의 발생을 전혀 배제할 수는 없는 상황이다.

외부시야를 최대한 확보하기 위한 발코니측 AL Curtain wall의 경우 AL bar자체가 단열이나 결로방지 역할을 할 수 있어야 하는데 알루미늄은 재료의 특성상 열전도율이 높으므로 외부의 온도가 내부로 전달되지 않도록(그림2)와 같이 열차단을 위한 단열바를 사용하여야만 한다. 이때 단열바는 해당 프로젝트마다 열전달해석(Thermal transfer engineering)에 의해 서로 다른 형상과 재료가 사용될 수 있으나 열전달 해석에서 가정한 단열재의 물성과 실제로 사용된 단열재의 물성이 같은가를 확인하는 일도 내부표면결로를 방지하기 위한 중요한 일이라고 본다.

한편, D사의 S아파트 현장과 K아파트 현장에서 확장형 발코니 부위의 내벽면에 사용가능한 재료를 선정하여 발코니의 외벽 내측에 설치하여 실내를 가열가습한 뒤 실제 거주자가 생활하는 조건을 조성, 마감재료에 따른 표면온도와 상대습도 변화에 따른 결로발생 여부를 파악하여 각 재료의 결로방지 성능을 평가한 연구 보고¹⁾가 있기는 하나 초고층 아파트 최상층 발코니 상부

의 슬래브 하부 부위에 대한 결로발생예측은 보기 드문 것 같다. 본 연구에서 도출된 최상층 발코니 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 및 Parapet부위 내부결로 예측자료는 2000년 2월에 착공하여 2003년 10월말 준공된 서초 현대수퍼빌 주거용 아파트(코어: RC조, 외부: S 조)의 외기에 면한 최상층부의 Parapet 하부 및 발코니 상부 천정내부의 H-Beam부위를 대상으로 하였고 이를 위해 2002년 5월과 2003년 9월까지 2 차례에 걸쳐 해당부위 내부결로 예측을 실시하였다

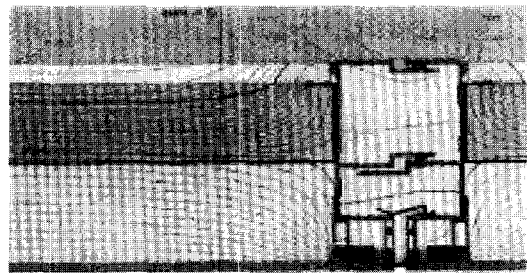


그림 1. AL bar의 열등고선

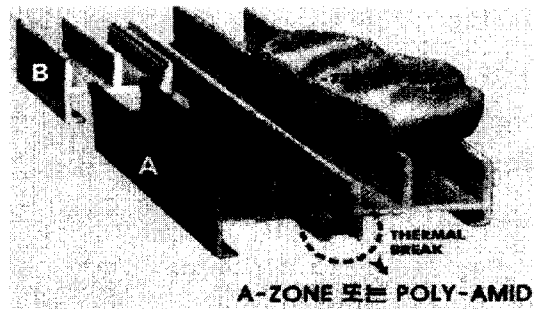


그림 2. AL 부재사이에 단열바 설치

1.2.2 연구의 방법

건물 실내측 표면결로 발생여부 판단 방법으로는 크게 성능시험에 의한 방법과 전열해석에 의한 컴퓨터 Simulation 방법이 있다.

1) 성능시험에 의한 방법

성능시험에 의한 방법으로는 KS F 2295(창 및 문의 결로방지 성능시험 방법)를 들 수 있는데 이것은 원래 창과 문, 인방, 창틀 등에 적용되는 방법이지만 같은 요령으로 접합부의 결로방지 성능시험에도 적용할 수 있다, 하지만 시험체의 제작 및 시험준비 등에 많은 시간과 비용이 소모되며 시험오차를 줄이기 위해서는 같은 부위에 대한 시험체를 여러개 만들어 Test해야 하기 때문에 여러부위에 대한 결로발생 성능시험을 한다는 것은 비경제적이라 할 수 있다.

2) 전열해석에 의한 컴퓨터 Simulation 방법

수치해석에 의한 다차원 전열 해석 Program으로 구조체의 형상과 물성치, 경계조건 등을 입력하여 실제상황과 같이 모델

1) 박진우 외 3인, 공동주택 확장형 발코니의 결로방지 성능평가, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계) : v. 21 n.1(2001. 04)

링하고 각 지점의 온도를 구해 실내측 표면온도가 정해진 노점 온도 이하인지 아닌지를 확인하는 방법이다, 컴퓨터 Simulation방법은 여러 가지 다양한 형상과 경계조건에 대해 해석할 수 있으며 모델링만 정확히 하면 실제와 같은 결과를 얻을 수 있고 성능시험에 의한 방법보다 시간과 비용이 절감된다.

실내측 표면결로 발생여부를 판단하기 위한 조건으로는 실내의 온·습도 조건을 정해야 하는데 해당 공동주택이 있는 지역, 위치, 난방, 단열정도 및 거주방식에 따라 달라질 수도 있기 때문에 일반적으로 실온 20℃, 상대습도 50%, 절대습도 7.34kg/kg, 수증기압 8.765mmHg, 노점온도 9.3℃를 적용(KS F2995에서의 실내 온·습도 조건)한다, 그리고, 공동주택 등 주거용 건물 접합부 실내측의 표면에서는 일반 벽체표면에서 보다 열전달율이 감소하므로 열전달계수는 주거용 건물 혹은 실의 우각부위 일 경우 1.5~5.5W/m²℃(Adamson 제안)값을 주로 적용한다, 실의 기온조건은 KS F2995에서 제안한 최악의 조건인 -15℃(서울)를 설정할 수도 있으나 통상 최저 일평균 기온인 10.3℃(예, 서울 1월 28일)를 적용한다.

표 1. 실 모서리나 구석 표면에서의 열전달 계수

제안자	열전달계수(W/m ² ℃)	비고
Adamson	1.5-5.5	주거용건물, 실우각부위(측정값)
Andersson	3.3-8.0	환기가 약하게 이루어짐(계산값)
	4.3-9.3	환기가 잘 이루어짐(계산값)
Gertis	8.0	외벽 일반부위(제안값)
	6.0	가구가 설치되지 않은 부위
	4.0	가구가 설치된 부위
山田雅士	5.8	우각부위(제안값)

기 연구보고된 내부결로의 발생예측 방법으로는 여러 가지 건축재료로 구성된 하나의 건축부위에 각 재료사이의 습기분압이 포화습기압에 도달할 경우 경계면에 내부결로가 발생하는지에 대하여 독일의 산업규격인 DIN 4108에 규정된 방법 등으로 고찰한 연구자료가 있으나 본 연구에서는 초고층 아파트 최상층 발코니 천정내부 H-Beam부위와 외기에 면한 Parapet부위의 열교현상으로 인한 결로발생 가능여부를 예측하기 위해서 열전도해석 Program인 Therm(Version 2.1)을 이용하여 우선 천정 내부공간의 온도예측과 온도분포 해석을 실시하였고, 또한 습기압 분포에 따른 내부결로를 검토 하였다.

2. 결로의 발생원인과 대책

2.1 일반적인 동절기 결로의 발생원인

일반적인 동절기 결로의 발생원인은 어떤 습공기가 그 공기의 노점온도 이하가 되는 구조체와 접촉할 때 구조체 내부 또는 구

조체 실내표면에서 발생하는 것을 결로(Condensation)라 한다. 결로의 원인은 여러 현상으로 인해 복합적으로 발생되겠지만 오늘날과 같은 대류식 난방방식에서 주택의 기밀성과 보온을 목적으로 실내 환기횟수를 낮추는 것이 결로의 위험을 증가시키는 결과를 초래하고 있으며 특히, 동절기 결로의 주원인으로는 난방에 따른 실내·외의 높은 온도차에 의해 발생하며 그 밖의 원인은 다음과 같다.

1) 실내·외 온도차

실내에서 온도가 가장 낮은 표면, 예를 들어 창문이나 냉수 파이프 등의 표면에 제일 먼저 발생한다, 외기온도가 낮을 경우 실내 각 부위의 표면온도는 단열능력이 가장 나쁜 곳이 가장 낮다, 특히, 창문의 인방과 같은 열교부위에서 결로가 자주 발생하므로 단열 취약부위를 쉽게 알 수 있다, 구조체의 온도변화는 결로발생에 영향을 크게 미치는데 중량구조는 경량구조보다 열용량이 크므로 열적반응이 늦다고 볼 수 있다, 구조체 내부에 단열재를 설치하면 구조체의 실내표면 온도를 빨리 높일 수 있다.

2) 실내습기의 과다발생

외부 공기가 찬 경우 공기 중의 습기 함유량이 적으므로 찬공기가 건물 내로 들어오더라도 결로는 발생되지 않으며 온난 다습한 기후에서는 결로가 자주 발생하는데 특히, 실표면의 온도 상승이 느릴 때 결로가 발생하게 된다, 주택 내부 공기중에 포함되어 있는 대부분의 습기는 거주자 및 그들의 활동으로부터 발생하게 된다, 일반 가정에서는 일상적인 호흡, 음식물의 조리 및 세탁 등의 활동으로 인해 하루 약 10kg 이상의 습기가 발생하는데 연도장치가 없는 유난로는 땅은 수증기를 방출하여 결로의 위험을 증가시키며 부엌과 욕실에서 발생하는 습기 또한 다른 공간으로 빠르게 확산되어 멀리 떨어진 곳에서까지 결로가 생기는 원인이 된다,

그리고, 주거 내 편리해진 시설과 사회관습의 변화로 목욕, 세면, 세탁 및 조리 등과 같은 습기발생의 요인들이 점차 늘고 있는데 외기에 면한 시스템창호에 부착된 개폐창 면적의 축소, 세탁물의 실내건조, 탈수에 따른 건조 등도 실내습기의 발생원이 되었다.

표 2. 실내의 습기 발생요인과 발생량

습기 발생요인	습기량
요리와 접시닦기	2.7kg/day
운 동	2.3kg/인·day
집안 청소	0.15kg/m ² ·회
샤 워	0.23kg/회
식물 성장	0.9kg/m ² ·day

3) 건물의 사용패턴 변화에 의한 환기부족

주거용 건물은 주간에는 방법상의 이어나 구조체의 열손실을

막기 위해 창문은 대개 닫혀 있으며 대부분의 주거활동이 이루어지는 야간에도 창문을 주로 닫은 상태에서 행해지므로 이와 같은 생활습관은 환기부족으로 인해 결로의 원인이 되기도 한다.

4) 구조체의 열적특성

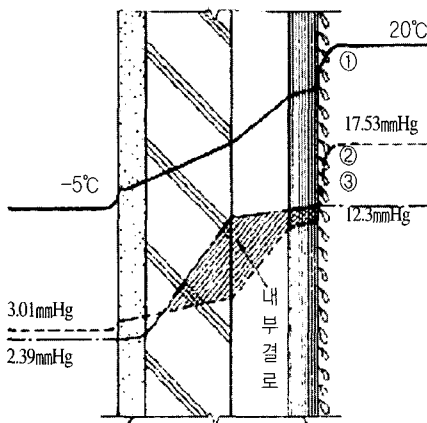
건물의 테두리보, 슬래브지붕, 발코니의 돌출부위 등 단열을 연속할 수 없는 단열의 취약부위에서 결로가 발생하기 쉬우며 투습성이 높은 재료들도 결로가 발생하는 주원인인 습기에 약하므로 건물의 외피에 사용하기에는 적합하지 않다.

5) 시공불량

단열시공이 불완전하면 이 단열 취약부위로 결로가 발생한다, 이러한 부위가 흡습성의 표면으로 되었을 때는 처음에는 결로가 나타나지 않지만 지속적인 결로현상에 의해서 해당부위가 더러워지는 현상을 볼 수 있다.

6) 시공직후 미건조 상태 등

예를 들어 일반 조적조 주택은 시공 시 약 5,000 kg의 물이 구조체에 함유되는데 이것은 주로 콘크리트 혼합 모르타 및 회반죽에 사용된 물과 외기에 노출된 벽이 흡수한 습기이다, 이러한 수분은 완공 후 약 한달간의 건조기간 중 벽체 외부로 방출되어 내부공기의 습도를 증가 시킨다.



모르타르 콘크리트 공기층 플라스터
그림 3. 표면결로와 내부결로 발생

2.2 표면결로의 발생 원인

표면 결로는 건물의 표면온도가 접촉하고 있는 공기의 포화온도(노점온도)보다 낮을 때에 그 표면에 발생한다. 그 예로는 맑은 날 밤 지표면에 생기는 이슬 또는 욕실의 거울 위에 서리는 김, 난방 된 실내창문의 찬 표면에 생기는 물기 등이 있다. 건물의 이와 같은 표면 결로는 결로가 발생하는 표면이 불투수성이 라면 간단하게 처리될 수가 있다.

표면결로는 시간에 따라 일시적인 결로와 지속적인 결로로 구분 지을 수 있다. 일시적인 결로는 절대습도가 표면온도 조건에 비해서 급속히 증가하는 경우에 발생한다. 추운 욕실에서 샤워

를 하면, 1분 이내 벽에 물방울이 생긴다. 중량 건물에서는 추운 계절이 끝날 때 갑자기 따뜻해지면 결로가 일어난다. 표면이 따뜻해지므로 결로가 발생된다.

이와 같은 일시적인 결로는 조절이 거의 불가능하다. 설계자는 이 발생의 가능성을 고려하여, 만일 그런 위험이 있으면 주기적으로 건습에 견디는 강한 재료만을 사용하는 것이 좋다. 지속적인 결로는 구조체의 단열이 잘 안되어 표면온도가 낮을 때, 실내습도 발생이 심한 경우에 일어난다. 지속적인 결로는 건물의 각 부위에 나타난다.

표면결로의 발생이 우려되는 곳은 벽체의 연결부위인 모서리 부분과 창 상인방 등 단열이 어려운 부분들이다, 특히, 모서리 부분은 표면결로의 발생확률이 높으므로 단열성능을 3배로 강화하여 시공하는 것이 좋다.

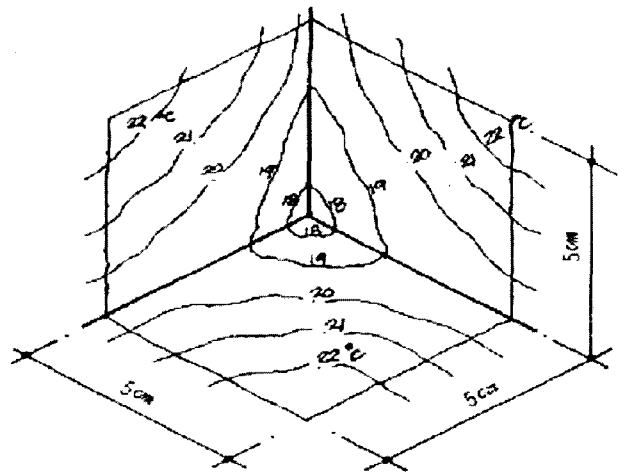


그림 4. Corner부분에서 발생하는 열흐름

2.3 내부결로의 발생원인

건물 구조체의 내부결로 발생은 동절기에 극심하며 그 원인은 난방에 따른 실내·외의 높은 온도차 때문이다. 더운 공기는 찬 공기보다 더 많은 수증기를 포함하므로 그 자체는 결로가 발생되지 않는다.

표 3. 결로의 발생시기

초기결로	건축재료로 부터의 방습	목재, 콘크리트, 단열재 등
	함수로 인한 열저항 저하	단열재, 콘크리트 등
	생활패턴의 부적합	주택의 기밀성 차이에 기인
일반결로	겨울형 결로	실내가 고온고습으로 정상형
	여름형 결로	외기가 고습으로 비정상형

그러나 더운 공기 중에 과대하게 들어있는 수증기는 공기가 냉각하면서 결로를 유발한다. 실내가 외부보다 습도가 높고 벽체가 투습되면 벽체 내에 수증기압 구배가 생기게 되며 겨울철에 창문을 항상 닫고 있고 외부온도가 실내온도보다 낮으면 벽

체 내에 온도구배가 생기게 된다, 벽체 내의 수증기압 구배의 노점온도²⁾(Dew point temperature)가 벽체 온도구배의 건구온도보다 높게 되면 결로가 발생하게 되는데 벽체는 습기를 계속 흡수하여 벽체내부가 젖게 되어 구조체 내에서 수증기가 응결되는데 이것을 내부결로(Interstitial Condensation)한다, [표 1]에서와 같이 여름철에 발생하는 하절기 결로는 외기의 고온고습변화에 대하여 실내측벽, 바닥, 지붕, 천정의 온도추종성이 늦을 경우나 실내측 저온에 따른 구조체의 외기측 함유 수증기의 포화, 또는 저온인 실내측을 향하여 외기 수증기가 유입되어져 포화되는 경우에 발생하는데 그 발생시기나 상황이 한정되는데 지식시간이 비교적 짧아 피해에 이르는 위험은 크지 않다고 보고 있다, 내부결로의 발생예측에 관련된 자료에 의하면 상대습도와 주위온도의 영향에 따른 습기의 응축, 즉, 상대습도가 100%상태(포화수증기압)의 생성이라고 할 수 있다.

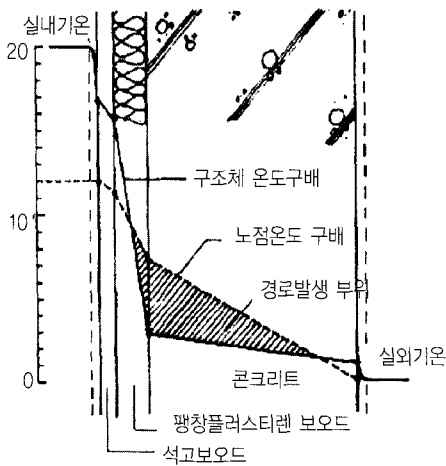


그림 5. 내부결로 발생부위 예측

내부결로가 발생되면 경량 콘크리트처럼 내부에서 화학물질이 이동하여 부풀어 오르는 현상이 생겨 철골부재와 같은 구조체에 손상을 주며 단열재와 같이 공극을 다량 함유한 재료에 내부결로가 발생하면 단열능력이 저하되고 썩게 되고 결로된 부분의 온도가 0℃ 이하로 되면 팽창되어 구조를 파괴할 수도 있다.

2.3 결로의 방지대책

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

첫째, 환기를 통해 습한 공기를 제거하여 실내의 결로를 방지

한다. 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.

2.3.1 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.

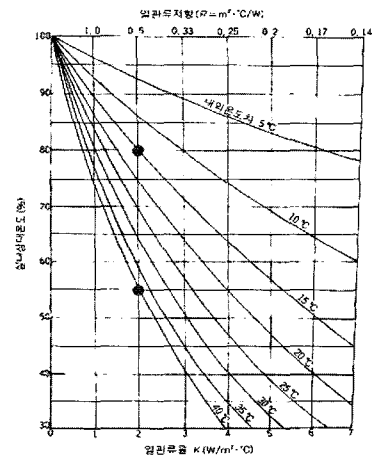


그림 6. 열관류 저항

표면결로 방지에 필요한 벽체의 열관류율 K=2일때 실내의 상대습도가 55%이면 실내의 온도차가 40℃가 되면서 표면결로가 발생하고 K=2일때 실내의 상대습도가 80% 일때면 실내외 온도차가 15℃가 되면 표면결로가 발생한다, 결국 습도가 높을 수록 쉽게 결로가 발생함을 알 수 있다.

2.3.2 내부결로의 방지대책

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 단열성을 강화한다. (열관류율을 적게 하여 열관류 저항을 높인다)

2) 어떤 불포화된 습공기를 계속 냉각하면 일정온도에 도달하여 그 공기는 포화상태가 되는데 포화상태란 건구온도와 습구온도가 동일한 상태인 상대습도가 100%가 되는 것으로 더 이상의 수증기를 포함하지 않고 응축되어 이슬이 맺혀지는 상태, 즉, 공기중의 수증기가 응축되어 이슬이 형성되는 온도를 말함

- 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 외기층 표면에 방풍층을 설치한다)

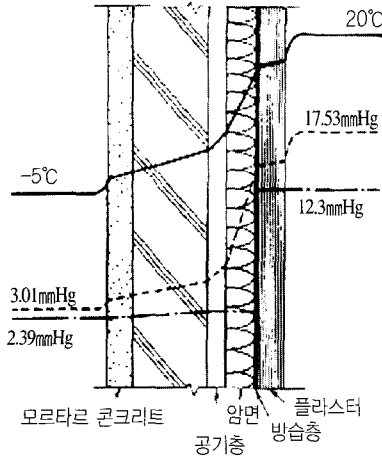


그림 7. 단열재+방습층 삽입으로 표면결로 및 내부결로 방지

3. 내부결로의 예측

3.1 발코니 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 예측

3.1.1 천장내부(지붕슬라브 하부)공간의 온도예측

AL Curtain wall을 제외한 외기층에 외벽 복합판넬(THK 25 Stone+THK 5 Stone adhesive+THK 9 Fiber cement board+THK 10 Iso pink+THK50 Glass wool)과 THK 150 Slab Conc+탄성도막방수 위 5mm 보호매트+THK최소 60mm 무근콘크리트+우레탄 Paint로 구성된 당 현장의 최상층 발코니 상부 H-Beam 부위(내화피복+단열재)가 열교환현상으로 인한 내부결로의 발생 가능성이 우려되어 우선 해당부위의 온도분포를 계산하기 위하여 천정내부 (지붕 슬라브 하부)공간의 온도를 개략적으로 계산하였다.)

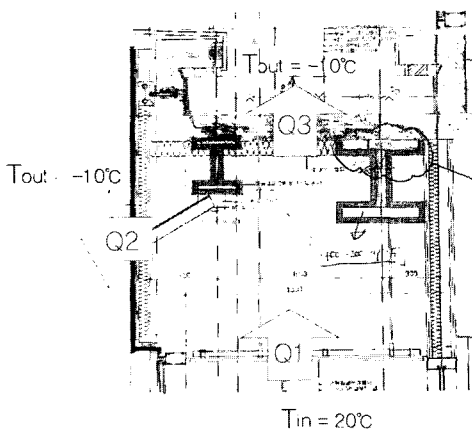


그림 8. 천정내부 공간 온도계산

[그림8]과 같은 외기조건은 -10°C, 실내조건은 20°C로 가정하였으며, 인접실내(그림의 우측)과의 열이동은 없는 것으로 간주하였으며, 침기로 인한 손실은 고려하지 않았다, 이 때 열평형식에 의하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$Q1=Q2+Q3$$

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

K1, K2, K3 : 해당부위의 열관류율(W/m²K)

A1, A2, A3 : 해당부위의 면적(m²)

T : 천정내부공간의 온도

이를 계산하면, 천정내부공간의 온도 T는 약14.32°C³⁾이다.

3.1.2 해석대상의 재료구성

내화피복재의 두께(최상부 층이므로 20mm)를 단열두께(65mm, 80mm)에 포함시켰으며, 내화피복재와 단열재의 열전도율은 각각의 물성치를 이용하였다.

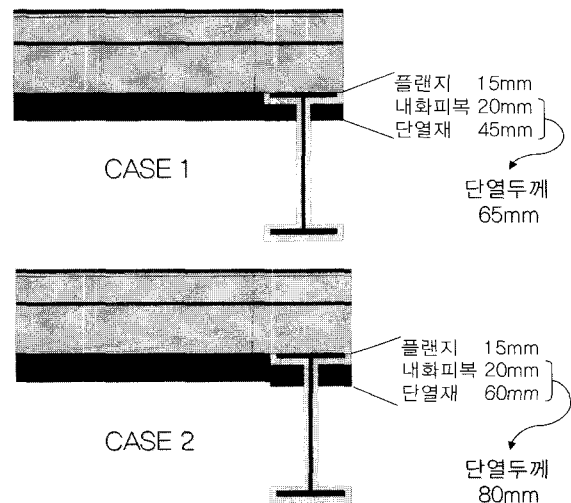


그림 9. 온도해석분포 재료구성 유형

3.1.3 온도분포 해석

천정 내부의 온도는 14.32°C, 외기조건은 -10°C가 지속될 경우를 가정하였다. 실제로 서울의 동절기 기온이 -10°C 이하로 지속되는 경우는 거의 드물게 나타나므로 안전율을 고려한 기상 조건으로 볼 수 있다.

3) 실제의 경우 건물자체가 완벽하게 밀폐되지 않으므로 외부 공기의 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.

1) Case 1

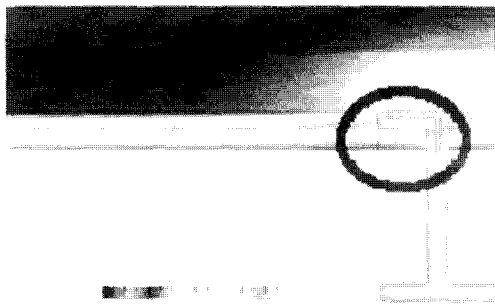


그림 10. 온도해석분포 재료구성(1)

45mm 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

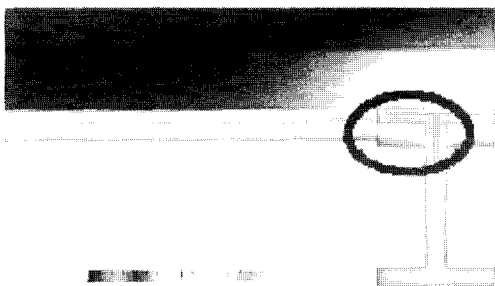


그림 11. 온도해석분포 재료구성(2)

이 경우는 H-Beam 이 있는 부분까지 단열두께 80mm를 만족하도록 시공한 경우이다.⁴⁾ 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 예

4) 내화피복재를 포함한 단열두께가 80mm인 경우이다.

측과 같은 조건으로 외기조건은 -10℃, 실내조건은 20℃로 가정하였으며, 인접실내(그림의 우측)와의 열이동은 없는 것으로 간주하였으며, 침기로 인한 손실은 고려하지 않았다.

3.2.2 해석대상 부위

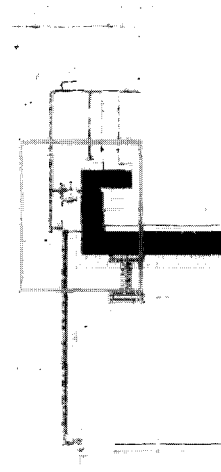


그림 12. 해석대상 부위

상기 위치에서 사각형으로 표시된 부위를 모델링하여 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

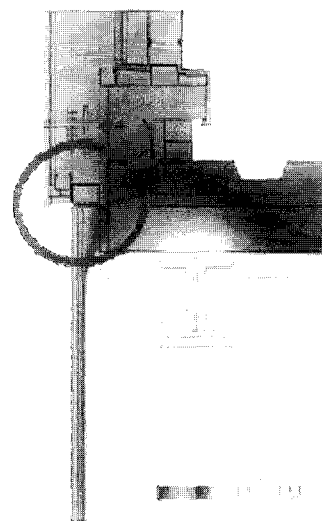


그림 13. 해석대상부위의 온도분포

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 시공되어 있다는 가정 하에 진행된 것임에도 불구하고, 단열재 외부쪽은 거의 외기 온도인 -10℃에 가까운 -8℃ 정도의 균일한 분포를 보였다. 실제로 외벽복합패널이 완전 기밀하지 않기 때문에 거의 원형으로 표시한 구조체 내부의 공간은 거의 실외와 동일한 조건이 될 것으로 예상된다.

3.2.4 수증기압 분포에 따른 내부결로 검토

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

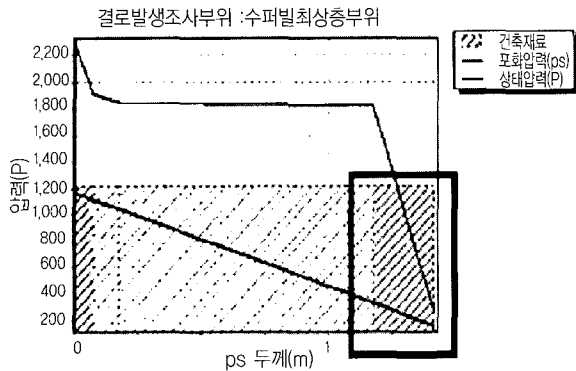


그림 14. 수증기압 분포

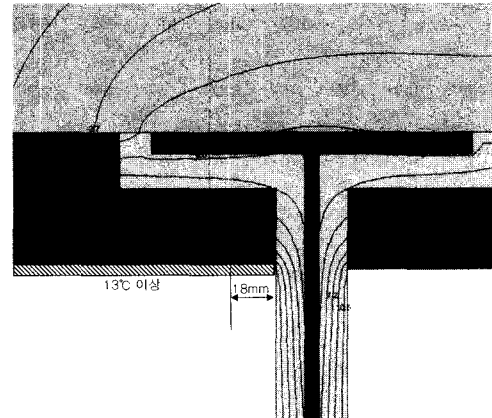


그림 15. 표면의 등온분포

x 축은 모든 건축재료를 공기의 물성치로 환산하였을 때의 두께(등가공기층 두께) 값이며, y 축은 재료의 내부에서의 수증기압(습도)이다, x 축에서 좌측부터 실내 천정마감재가 되고, 우측으로 갈수록 실외측이 된다. 사각형으로 표시된 부분이 천정 슬라브 아래의 단열재의 실외측 부분이다.

녹색으로 표시된 그래프가 상대습도가 100%가 되는 기준선(포화압력)이고 이때의 붉은색으로 표시된 수증기압이 된다. 수증기압이 녹색 그래프에 닿게 되면 그 지점에서 상대습도 100%가 되는 것이고 그 지점에서 결로가 발생한다. 상기 조건에서 검토한 결과 내부결로는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

표 4. 상대습도(%)

수증기압 (mmHg)	중량절대 습도 (g/kg)	실내 공기온도(°C)							노점온도 (°C)	
		0	5	10	15	20	25	30		
14	11.67				포화	80	59	44	16.4	
12	9.97				포화	94	68	51	38	14.1
10	8.29				포화	78	57	42	31	11.3
8	6.61		포화	87	63	46	34	25	8.0	
6	4.95	포화	92	65	47	34	25	19	3.8	
4	3.29	87	61	43	31	23	17	13	-1.9	

4. 결론

4.1 발코니 지붕하부 H-Beam부위 결로발생 검토

상기의 조건에서 case 1, 2 에서 모두 최저온도는 10.6 °C 로 동일하게 나타났으며, 최저온도가 나타나는 부위는 모서리 부위에 한정되었으며 모서리에서 18mm 이상 떨어진 부위(그림 15)의 붉은색 빗금부위는 13°C 이상을 나타내었다.

결로발생 예측을 위한 실내조건을 20°C⁹⁾ 상대습도50%로 볼 때, 이 공기가 천정 내부공간으로 그대로 유입될 경우를 가정하였으며 표4 에서 알 수 있듯이 실내온도 20°C, 상대습도 50%의

실내공기가 가지고 있는 습기는 그대로 유지하면서 온도만 14.32°C로 낮아지면 상대습도는 약 71%를 상회하게 되는데 이때의 결로발생온도(노점온도)는 9.27°C가 된다.

20mm 내화피복위 45mm 단열뽀칠을 한 case 1의 경우도 부재 표면의 최저온도가 10.6°C로 노점온도인 9.27°C를 상회하므로 상기조건에서는 결로가 발생하지 않을 것으로 예상된다.

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 수증기압 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 적당한 국부배기나 주기적인 환기를 통한 실내측 습기의 주기적인 제거와 잔존 수증기량에 대하여 단열재로 결로를 방지하는 것이 좋으며 특히, 최근 들어 점차 기밀화 되어지는 건축구조물에 대해서는 적당한 수증기를 배출하지 않으면 내부결로 방지가 더욱 곤란해지며 반대로 의미없이 단열재를 두껍게 하는 것만으로는 결로를 방지할 수 없을 것이다.

5) "건축물의 에너지 절약 설계기준"에서는 공동주택의 난방 설계기준을 건구온도 20~22°C, 상대습도 35~40%로 하도록 제시하고 있으며, 독일의 결로발생 예측을 위한 실내 기후조건은 20°C, 상대습도 50%로 규정하고 있다. 따라서 본 예측에서는 이 조건들 중 결로발생에 대하여 악조건이라고 할 수 있는 20°C의 50%를 기준으로 계산하였다.

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, 대한 건축학회지 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
7. 박진우 외 3인, 공동주택 확장형 발코니의 결로방지 성능 평가, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계) : v. 21 n.1(2001. 04)
8. 김선숙 외 3인, 공동주택 외피 접합부 단열상세의 열성능 평가방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, v. 12 n.3 (1996-03)
9. (주)건설기술 네트워크, 건축시공 기술 이야기 Ⅲ, 커튼월의 결로방지, 2003. 4

Abstract

There are a growing number of cases to expand balconies of apartments faced with open air in order to enhance functional satisfaction and efficiency of dwelling space. In case of the balcony expansion at the floor, however, it is difficult to exclude a possibility of bringing about internal condensation due to the difference of temperature between indoor air and outdoor air caused by the inflow of outer low-temperature air through the upper part of ceilings by failure in completely putting together the outer composite wall panels on the aluminum curtain walls installed at outer walls

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, Relative humidity