



# 당사 시공사례를 중심으로 살펴본 공동주택 부위별 결로 원인 및 대책

글 | 김동균 | 고객센터서비스 차장  
전화 02-3433-7554 E-mail : dk1004@ssyenc.com

최근 건축기술(설계, 시공)의 발달로 건축물의 기밀화가 높아져 자연 환기량이 감소되고 생활습관의 변화로 내부 수증기의 발생이 증가하면서 결로 발생 가능성이 과거 보다 훨씬 높아지고 결로 발생 부위 또한 다양해지고 있다. 이러한 결로는 세균에 의한 곰팡이 발생, 각종 마감재 훼손 및 성능 저하, 악취 유발 등 거주자에게 불쾌감 등의 악영향을 미치고 있다. 이번 호에서는 당사에서 시공한 아파트의 부위별 결로 발생 사례를 중심으로 원인을 분석하고 실질적인 대안(대책)을 소개하고자 한다.

## 1. 머리말

결로(結露)는 일종의 습윤 상태로서 어떤 면의 온도가 공기의 노점 온도(露點溫度)보다 낮을 때 발생한다는 사실은 기술자라면 대부분 알고 있는 내용이다. 그런데 과거 건축 기술이 부족할 때보다 한 재에 이르러 결로 발생 부위가 점점 다양해지고 있음에 의문을 안 가질 수가 없다. 설계 조건, 시공품질, 자재의 성능은 과거 보다 훨씬 발전하였으나 공동주택에서 결로는 거실, 침실, 다락방, 발코니, 지하층, 욕실 등 다양한 부위에서 발생하고 있고 이로 인한 입주자의 불편과 민원은 점점 증가하고 있는 실정이다.

실제로 당사에서 준공한 최근 1년 된 아파트에서도 동일한 사례가 빈번하게 발생하고 있으며 일부는 근본적인 해결에 많은 비용이 소요되기도 한다. 결로의 원인이 반드시 설계 또는 시공이 잘못되어 발생한다고는 할 수 없고 과도한 실내 수증기의 발생이나 환기 부족 등 발코니 세사가 일반화되고 생활수준의 향상으로 생활습관

및 환경이 변화 된 것도 주요 원인이다. 그러나 내·외부 환경이 변화되었음에도 불구하고 이를 적극적으로 반영하지 못한 것이 우리가 해결해야될 숙제이다.

예를 들어 지하 계단실의 경우 과거에는 아파트와 주차장이 각각 독립 건물로 분리되었지만 최근에는 일체형으로 설계되어 실내 공간으로 이용되면서부터 결로 발생이 급증하고 있다. 계단실(엘리베이터 홀 포함)은 난방공간이 아닌 비난방 공간으로 분류되어 결로 대책(단열, 환기 등)에서 제외되어온 것이 사실이다. 이로 인해 하절기 우기철에는 지하 계단실 및 엘리베이터 홀에서 결로가 발생하고 있으며 이는 타사에서도 동일하게 발생하고 있는 실정이다.

## 2. 결로의 발생 요인

결로 발생 원인을 결론부터 말하면 아래 <표 1>과 같다

<표 1> 결로발생 원인 및 구체적 행위

결로발생원인		비고
높은 습도의 공기	기후조건	· 봄, 하계의 고온 다습한 공기
	난방방식 및 실내온도	· 비난방공간의 온도하강 · 대류난방시 콜드 드래프트
	환기부족	· 환기부족으로 실내습기 증가 · 배치 부적절로 고습공기 국부정체 · 겨울철 공간 밀폐
	외피재료	· 방습재료 미사용 및 부적절한 배치 · 외피재료의 투습저항 부족 · 초기 함습률이 높은 자재의 사용
	건물의 사용방법	· 목욕, 세탁, 조리, 가습기 과다 사용 · 개방형 난방기 사용
	건축물 사용조건	· 과도한 재실 인원(호흡 및 발한)
차가운 표면온도	기후조건	· 혹서지역의 낮은 외기온의 침투
	건축물 부위별 결합(열교발생)	· 모서리, 우각부 등 기본적 결함 · 창호 및 문의 단열저항 부족 · 간결 철물의 구조물 관통
	단열시공	· 단열시공 결함 및 단열재 누락
	일시수열 부족	· 북측 외벽의 내표면 온도 하강 · 비난방 무창 건물의 바닥 온도하강
지중에 면한 부위	· 지중에 면한 바닥 냉각(봄, 여름) · 지중에 면한 비단열 벽체 온도하강	

위 표를 활용하여 앞서 설명한 '지하 계단실의 결로 원인'을 적용해 보면 1 → 1) → ①, ②(높은 습도의 공기 - 환기부족 - 환기부족으로 실내습도 증가, 배치 부적절로 고습공기정체)와 2 → 5) → ①, ②

(차가운 표면 온도 - 지중에 면한 부위 - 지중에 면한 바닥 냉각, 지중에 면한 비단열벽체 온도 하강)와 같이 적용이 가능하고 그에 따른 대책은 어렵지 않게 수립할 수 있을 것이다.

다음은 부위별 결로 사례를 소개하고자 한다.

### 3. 화장실(욕실) 결로

#### 3-1. 공동주택 욕실의 단열 규정 및 기준

##### 1) 단열 규정

건축법에서 거실은 '건축물 안에서 거주, 집무, 작업, 집회, 오락, 기타 이와 유사한 목적을 위해 사용하는 방'으로 규정하고 있으며 현관, 복도, 계단, 화장실, 세면소, 기계실, 창고, 차고, 갱의실 등은 거실에서 제외하면서 단열 의무 조치 대상에서 제외 공간으로 규정하고 있다. 단 공동주택 내 화장실은 "에너지 절약 설계기준"에 의해 거실 일부로 간주하고 있으며(국토해양부 해석) 이에 따라 단열 조치 대상 공간으로 분류하여 설계에도 반영하도록 하고 있다

##### 2) 평면 형태별 단열 기준

공동주택 화장실은 앞서 설명한대로 단열 조치 대상 공간으로 단열 기준은 아래 <표 2>와 같다

<표 2> 평면형태별 단열기준 (건설기술연구원)

구분	평면형태	단열조치
벽체	계단실, 복도, 승강기실에 직접 면할 경우 또는 이 공간이 또 다른 비단방 공간으로 둘러 싸여 있을 경우	외기에 간접 면하는 경우의 단열 조치 필요
	화장실 벽면 일부가 PD에 면해 있고 이 PD가 계단실에 면해 있는 경우	PD 내부가 외기에 직접 면하는 단열조치가 되어 있거나 또는 PD 최상부 및 최하부를 포함한 모든 면이 난방, 비단방 구간에 면해 있을 경우 단열조치 제외 가능
	비단방 공간이 또 다른 비단방 공간으로 둘러싸일 경우	첫 번째 비단방 공간에 면한 부위는 단열조치 제외 가능
	비단방 공간(PD, AD)이 직접 외기와 접하는 화장실이 비단방 공간에 접해 있을 경우	외기에 간접 면하는 경우의 단열 조치 필요
	AD가 욕실에서 환기구등으로 노출되어 있을 경우	그 AD에 면한 벽체는 외기에 직접 면하는 경우의 단열 조치 필요
바닥	중간층(하부가 또 다른 공동주택 일 경우) 바닥	단열 조치 제외 가능
	하부가 직접 외기인 경우	외기에 직접 면하는 경우의 단열 조치 필요
	하부가 피트 등 비단방 공간 일 경우	외기에 간접 면하는 경우의 단열 조치 필요

#### 3-2. 욕실 결로1(외벽)

- 발코니에 직접 면한 벽체의 결로



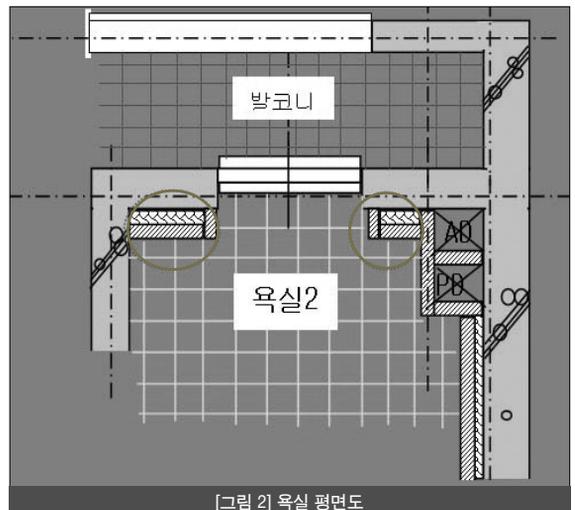
[그림 1] 천정틀 내부 CON C 벽체 결로

##### 1) 하자 개요

[그림 1]은 부부욕실 천정 내부의 외부에 직접 면한 CON C 벽체에 결로가 발생하여 벽체 및 욕실 천정판(PVC)에 결로수가 맺혀 물 방울이 발생한 하자이다.

##### 2) 설계

[그림 2]와 같이 결로가 발생한 벽체는 발코니에 직접 면해 있으며 천정틀 하부는 환기용 PVC창호(450\*900)가 있고 우측 일부는 AD, PD가 측벽에 면해 있다. 결로가 발생한 부분은 단열재+조적으로 설계되어 있으며 단면도 역시 단열재가 반영되어 있다.



[그림 2] 욕실 평면도



**3) 시공**

결로가 발생한 벽체 천정을 확인한 결과 단열재 시공이 누락되었으며 창호 상부를 포함한 원으로 표시한 부분의 단열 및 조적이미 시공된 것으로 확인되었다

**3) 하자 원인**

[그림 1]에서 보는 바와 같이 결로가 발생한 부위는 발코니에 면한 외벽이다. 외기의 차가운 표면 온도, 욕실 내부의 높은 습도의 공기 등 결로가 발생할 수 있는 최적의 조건이다. 문제가 되는 부분은 발코니에 면한 외벽으로 표면이 차가운 벽이고 내부(욕실)와 외부(발코니) 온도차에 의한 결로 발생 가능성이 높다.

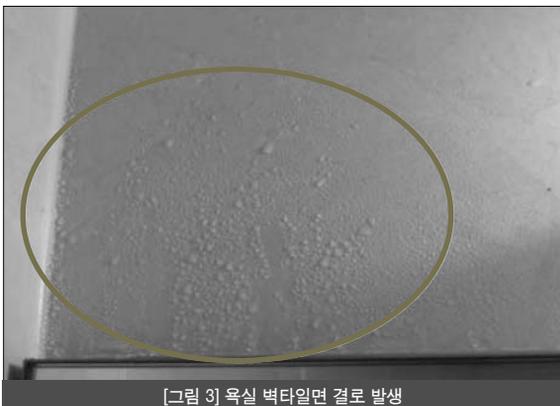
단열재가 반드시 필요한 조건에 해당되며 <표 1>을 활용한 원인 분석을 해보면 2 → 3) → ①(차가운 표면 - 온도 - 단열시공 - 단열시공 결함 및 단열재 누락)순으로 단열재 미시공이 가장 큰 원인이라 할 수 있다

**4) 예방 대책**

위 하자는 벽체의 표면온도가 결로가 발생 할 수 있는 노점온도 보다 낮기 때문에 발생 한 하자이다. 역으로 말하면 CON'C 벽체의 표면 온도를 노점온도 보다 높게 하면 결로는 발생하지 않는다. <표 2> 단열기준 적용에 따라 공동주택 욕실이 계단실, 복도, 승강기실에 직접 면할 경우 또는 이 공간이 또 다른 비난방 공간으로 둘러 싸여 있을 경우에 해당되며 외기에 간접 면하는 단열조치를 취해야 한다.

**3-3. 욕실 결로2(벽타일)**

- 외기에 간접 면한 벽타일 결로 발생



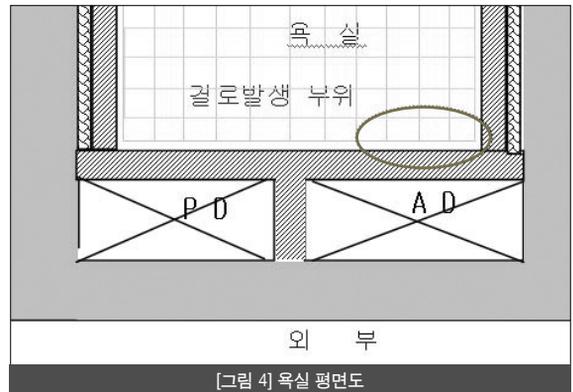
[그림 3] 욕실 벽타일면 결로 발생

**1) 하자개요**

[그림 3]은 외벽에 간접 면한 조적 벽체(AD, PD) 코너면에 가까운 타일 표면에 결로가 발생한 하자이다

**2) 설계 및 시공**

결로가 발생한 타일 면과 외벽 사이에는 비난방 공간(A, D, P, D)가 조적벽(0.5B)으로 구획되어 있으며 액체 방수 위 타일로 마감되어 있다. 비난방 공간 내부 또는 욕실 면에 단열재가 미적용 되어 있으며 타일은 조적벽 위에 떠붙임으로 시공되었다. 방수한계선 1.2m 높이 까지는 액체 방수로 인해 줄눈이 밀실하게 처리 되었으나 그 이상은 틈이 많고 코너에는 균열이 발생하였다.



[그림 4] 욕실 평면도

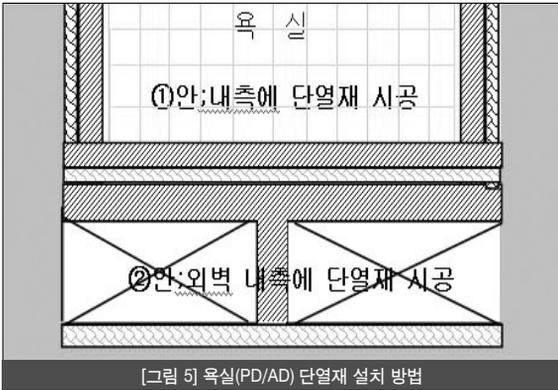
**3) 하자 원인**

[그림 4]에서 보는 바와 같이 결로 발생 부위는 외부와 간접 면해 있다. 좌, 우측 외부에 직접 면한 부분은 단열재가 적용되어 있으나 PD/AD에는 단열재가 미적용 되어 있다. 겨울철 공동주택 욕실은 온수 사용 등으로 인해 온도와 습도가 높고 외부의 온도는 낮다. 외부 찬 공기가 내부 까지 침투함에 따라 AD/PD 조적 외표면의 온도는 외부 온도와 큰 차이 없이 낮은 상태이고 내표면은 욕실 사용(온수, 난방 등)에 따라 거실 온도와 비슷한 높은 온도를 유지하고 있다.

결국은 욕실 내부 고온 다습한 공기가 타일 면에서 노점온도 이하로 떨어지면서 타일 표면에 결로가 발생한 것이다. 이 내용을 <표 1>을 적용해 보면 첫째 1. 높은 습도의 공기 → 5)건물의 사용 방법 → ①목욕, 세탁, 조리, 수조, 가습기의 사용 둘째 2. 차가운 표면 온도 → 3)단열 시공의 미흡 → ①단열 시공의 결함 및 단열재 누락으로 결로가 발생한 것이라고 할 수 있다.

#### 4) 예방 대책

상기 내용과 같이 결로 발생 원인이 욕실에서의 습도 발생과 단열재 누락으로 살펴볼 때 욕실의 사용 목적상 습도를 낮추기는 어렵고 단열재를 적용하면 결로를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 5] 욕실(PD/AD) 단열재 설치 방법

〈표 2〉 평면 형태별 단열기준에서도 나타나듯이 비난방 공간(PD, AD)이 직접 외기와 접하는 화장실이 비난방 공간에 접해 있을 경우에는 외기에 간접 면하는 경우의 단열 조치가 필요하다. 단열재를 설치하는 방법은 [그림 5]에서처럼 ①욕실 내측면에 설치하는 방법과 ②외벽 내측면에 설치하는 방법 등 2가지 방법이 있다.

①안의 경우 공간 벽을 시공함에 따라 욕실 내부 면적이 축소되고 ②안의 경우 배관 선 시공에 따른 단열재 시공이 어렵다는 단점이 있을 수 있으나 결로를 예방하기 위해서는 어떤 방법이든 단열재가 반드시 시공되어야 한다.

### 4. 지하 계단실(엘리베이터 홀) 결로

#### 1) 하자 개요

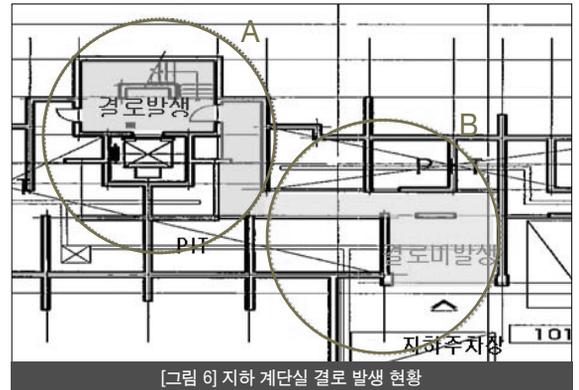
앞서 머리말에서 소개한대로 최근 공동주택의 계단실 특히 지하층은 생활편의를 제공하기 위해 지하주차장과 엘리베이터를 연결하는 설계를 적용하고 있다. 결론부터 말하자면 최근 준공된 아파트 대부분의 지하 계단실에서 결로가 발생하고 있으며 생활 불편 해소를 위한 입주자들의 민원이 급증하고 있는 실정이다. 지하 계단실의 결로는 1년 내내 발생하지 않고 우기철 한시적으로 발생하고 있으며 설계 또는 시공이 잘못되어 발생하는 하지는 아니다.

지하 계단실은 방화구획으로서 갑종방화문으로 지하주차장과 구

분되며 상시 닫혀 있는 폐쇄공간으로 외부 또는 지하주차장과 상시 자연 환기는 불가능하다. 공사 진행 중에 결로를 예방하기 위해 배기팬 설치, 결로벽 및 바닥 배수판 시공 등 현장 나름대로의 방안을 적용해 온 것이 사실이다. 그러나 준공 후 정도의 차이는 있지만 대안 적용 현장이나 미적용 현장이나 결로가 발생한 것은 마찬가지이다. 그래서 입주 후 관리주체에서는 환기를 위해 계단실(EV홀) 출입문(방화문)을 상시 개방해 놓고 사용하고 있었으며 이에 따라 외부인의 무단출입 등 보안상의 문제로 인한 민원이 제기되고 있다.

#### 2) 지하계단실 결로 현황

[그림 6]은 경기 000아파트(2007년 준공) 지하 계단실의 결로 발생 현황을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 지하 계단실 외벽은 3면이 지중에 직접 면해 있고 지하 주차장과 이어진 연결통로가 'N'자 형태로 꺾여 있는 것을 알 수 있다



[그림 6] 지하 계단실 결로 발생 현황

연결통로는 자연환기가 이루어진 일정 부분까지는 결로가 발생되지 않았고(B) 그 이후부터 Elevator Hall까지는 결로가 발생(A)하고 있다.



[그림 7] 엘리베이터 홀 천정 결로수



[그림 8] 지하 연결통로(복도) 결로

현장 점검 결과 결로 발생 현황을 위치별로 살펴보면 <표 3>과 같다

<표 3> 위치별 결로 발생 현황

위치		우기(장마)	기타	비고
E/V홀	벽	결로 발생	결로미비	그림7 참조
	바닥	결로 발생	바닥습기	
	천정	결로수 낙수	미발생	
연결통로	벽	부분 결로 발생	미발생	그림8 참조
	바닥	바닥 습기 상승	미발생	
	천정	부분 결로수	미발생	

### 3) 현장시공

공사 진행 중에 이미 결로가 발생하여 결로 대책을 위해 여러 가지 방안을 검토한 결과 외벽에는 지중과 흠 내부 온도차에 의한 결로를 예방하기 위해 3면에 단열재를 시공(외단열) 하였으며 천정에는 공기 순환을 위한 배기팬을 설치하였고 바닥에는 배수판을 시공하였다. 그러나 결과적으로 <표 3>에서와 같이 결로가 발생하였고 좀 더 근본적인 원인 분석과 대책이 필요한 것으로 사료된다.

### 4) 지하계단실 결로 원인

지하 계단실 결로의 특징은 1년 중에서 습도가 매우 높은 우기철에 일시적으로 발생하고 나머지 기간(건기) 동안에는 외기에 상관없이 결로가 발생하지 않는다는 사실이다. 보통 7~8월 사이 우기철에 다습한 외기가 지하주차장을 통해 계단실(E/V홀)로 유입되었을 때 상대습도가 급격히 상승하고 온도는 일정하게 유지된다. 방화구역으로 밀폐된 계단실(E/V 홀)은 투습량에 비해 환기량은 절대적으로 부족하고 연결 통로는 'N'형 평면으로 고습의 공기가 국부적으로 정체된 것이 결로의 주원인이라고 할 수 있다. 당 현장의 경우 외벽에 외단열을 적용하였고 바닥은 배수판을 시공한 것으로 볼 때 온도차에 의한 결로 발생 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다. 결로발생 원인을 <표 1>을 적용해 보면 계단실(E/V 홀)의 경우는

1. 높은 습도의 공기 → 3)환기부족 → ①환기부족에 의한 실내습도의 증가가 원인이며 연결통로(복도)의 경우 1. 높은 습도의 공기 → 3)환기부족 → ②고습공기의 국부정체가 주원인이라고 할 수 있다.

### 5) 지하계단실 결로 대책

그 동안 결로를 방지하기 위해 단열 등의 조치(결로벽, 단열재)는 여러 가지 방안을 적용해왔지만 습도 조절을 위한 적용은 매우 미흡했다. 앞서 설명한 대로 지하 계단실의 결로는 우기철 일시적으로 발생하며 높은 습도가 주원인이다. 그러므로 지하층(계단실, 연결통로) 결로를 예방하기 위해서는 단열조치 뿐만 아니라 상대습도를 낮추기 위한 대책이 우선 필요하다.

공기 중의 습도를 낮추기 위해서는(상대습도 저하) 급, 배기 시설 또는 제습시설이 필요하고 최하층 바닥 및 외벽에는 기존대로 배수판과 단열재를 적용하여 지중 낮은 온도의 열관류율을 낮추는(내표면의 온도 저하를 방지)방안이 필요하다.

다음은 본사 유관부서에서 지하계단실 결로 방지를 위해 현장점검 및 협의를 실시한 결과이다. 현장마다 고려할 사항과 여러 가지 특성이 있겠지만 원가, 시공성을 감안하여 향후 설계부터 반영하기로 결정하였으며 후시 진행 현장 중에서도 반영 가능한 부분이 있다면 적용했으면 한다.

<표 4> 지하계단실 결로대책 방안

#### ① 건축(단열)에 의한 방법

구분	검토안	협약안
최하층 E/V	배수판 설치	배수판 설치
흠에 접한 E/V 외벽	1안) 내단열 : 단열재(20)+CRC 2안) 외단열 : 방수+단열재+조적 3안) 방수+배수판+단열재+조적 4안) 방수+공간+단열재+CRC	1안 적용(단열재 거푸집 일체형 시공,외방수)

#### ② 기계설비에 의한 방법

구분	검토안	협약안
흠에 면한 E/V홀	1안) 배기팬+제습기 설치 2안) 배기팬 설치 3안) 급기팬+제습기 설치 4안) 급기팬+배기팬 설치	1안 적용
기타 E/V	배기팬 설치(약취제거)	배기팬 설치

## 5. 동절기 다락방유리 결로

### 1) 하자 개요

최상층 세대의 공간 활용도 향상을 위해 다락방이 설치되면서 주거 공간의 효율성이 증가하고 있다. 과거 박공지붕이 있었던 최상층 세대는 지붕과 거실 사이에 PIT가 있어 결로에 대한 완충 역할을 하였지만 다락공간의 등장은 동절기 실내의 경계 요소인 외피를 통한 열 손실 및 이에 파생되는 추가적인 결로는 하절기 누수와 더불어 다락공간의 가장 큰 문제점으로 작용하고 있다.

동절기 창호 결로 발생은 크게 두 가지 영향 요소를 들 수 있다. 첫째는 실·내외 온도차이며, 둘째는 실내습기의 과다 발생이다. 전자의 경우 창호 자체의 단열성능 개선으로 보완이 가능하지만 후자는 주거생활패턴에서 필연적으로 발생하는 수증기로서 실내 상대습도를 상승시키기 때문에 사실상 창호 부위 결로의 지배적 요인으로 작용한다. 다음에서 소개할 다락방 유리 결로는 상기 2가지 요인 중에서 어느 쪽이 더 크게 작용하였는가를 분석하고 그에 따른 대책을 수립하고자 한다.

### 2) 현장 시공

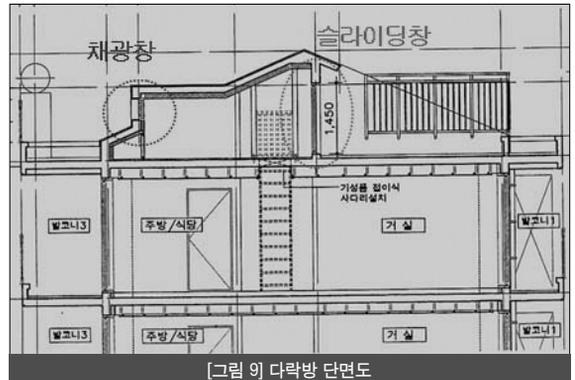
[그림 9]에서와 같이 다락방 창호는 고정창인 채광창과 맞은 편 테라스로 출입 가능한 슬라이딩창 등 2개소가 있으며 채광창은 알루미늄 단열바와 12mm 복층유리(투명)이며 슬라이딩창은 플라스틱에 16mm 복층유리(투명)로 시공되어 있으며 창호 주변 마감은 석고보드 위 도배 마감이다.

〈표 5〉 다락방 창호규격 및 결로발생 유무

구분	채광창	슬라이딩 창
규격(W*H)	1200*450(△)	3250*1150
개폐형식	FIX	SLIDING
창호재료	AL(단열바)	P.V.C
유리구성	12mm(3CL+6A+3CL)	16mm(5CL+6A+5CL)
북향	○	X
남향	X	X

### 3) 다락방 유리 결로 현황

[그림 10]은 최상층 세대 다락방 채광창(일명 뼈꾸기창)의 실내 측 유리 표면 사진이며 조사 단지의 경우 다락방이 28개소이며 채광창은 16세대가 북향, 12세대가 서향에 면해 있으며 결로는 주로 북향 채광창 유리에서 발생하였으며 맞은 편 슬라이딩창(남향)에서는 결로가 발생하지 않았다.



[그림 9] 다락방 단면도



[그림 10] 다락방 유리(FIX,12MM복층) 결로

### 4) 유리 결로 원인

창호(유리 포함)의 결로는 대부분 창호 표면이나 유리의 표면에서 물방울로 나타난다. 일반 벽체에서 결로는 마감재에 의해 가려져서 직접적으로 나타나지 않지만 단열바가 사용되지 않은 금속재 창호나 단열성이 낮은 유리는 외부의 온도를 실내에 그대로 노출시킨 상태와 같이 되어 실내온도를 떨어뜨리면서, 온도가 떨어진 공기에서 발생하는 수분을 물방울로 변화시킨다.

16mm(5CL+6A+5CL)투명 복층유리와 12mm(3CL+6A+3CL) 투명 복층유리의 단열 성능만을 비교할 경우 열관류율은 큰 차이가 없으나 채광창에만 결로가 발생했다.

실·내외 온도차, 시공구조, 공기의 대류, 입지조건 등 결로 발생조건이 동일한 조건에서 결로가 남향 채광창에서는 발생하지 않고 북향인 채광창에만 발생한 것으로 볼 때 일사량이 절대적으로 부족하여 유리 표면 온도가 떨어짐에 따라 차가운 유리 표면과 실내 공기가 접촉하여 표면에 결로가 발생한 것으로 사료된다.

위와 같은 다락방 채광창의 유리 결로 원인을 〈표 1〉을 적용해 보면 1. 차가운 표면온도 → 4)일사수열의 부족 → ①북측외벽의 내



표면의 온도 하강으로 정리 할 수 있다

### 5) 유리 결로 대책

동절기 다락방은 실내 수증기의 지속적인 유입과 이용 빈도가 적어 환기 횟수가 침실이나 거실에 비해 적기 때문에 실내의 수분 분포가 장기간에 걸쳐 유지되는 특성이 있다. 그러므로 단열에 필요한 제한조건 역시 거실이나 침실에 비해 높게 적용해야 할 필요가 있다. 특히 다락방의 결로 대부분이 일반 단열재가 적용된 벽체 보다는 창호(틀, 유리)에서 발생하고 있는 것으로 볼 때 실내의 사용 용도에 따라 강화된 설계 조건을 적용해야 할 필요가 있다.

위 사례와 같은 유리 표면 결로는 외부 찬 기온이 내부 유리까지 전달하지 못하도록 하면 결로를 예방할 수 있는데 열관류 저항이 높은(열관류율이 낮은) 유리를 적용해야 하며 일반 투명 보다는 색상 유리를 사용하는 것이 단열성능 면에서 훨씬 유리하다. <표 6>은 유리의 구성별 열관류저항을 나타낸 것으로 단열성능을 표시 한 것이다.

<표 6> 유리 구성별 열관류저항 (단위 : m<sup>2</sup>k/W)

유리 두께	유리 구성	일반 유리	LOW-e 유리
5mm	단판	0.173	
16mm	5-6-5	0.322	0.413
22mm	6-10-6	0.362	0.581

## 6. 용도 변경시 결로 대책 미흡

### 1) 하자 개요

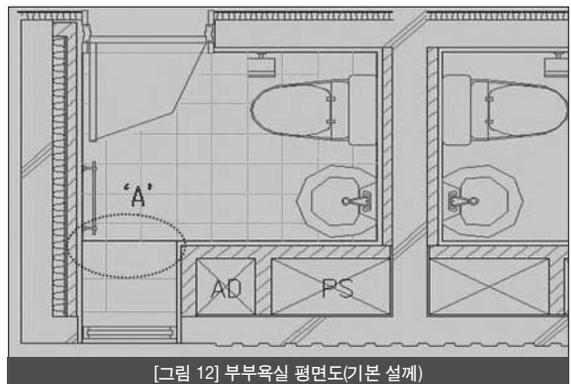
다음 소개할 사례는 당초 욕실로 설계되어 있는 곳을 옵션 품목으로 입주자의 요청에 따라 드레스룸으로 변경 시공한 부분에서 발생한 하자(결로)이다. 사람이 거주하는 공간이 동일한 실내공간이라 하더라도 어떻게 사용하느냐에 따라 결로 발생 또한 다르게 발생한다. 앞서 설명한 대로 공동주택 욕실은 거실 일부로 간주되어야 하지만 간혹 설계 또는 시공 중에 단열재가 누락되기도 하는데 이 부분에서 결로는 반드시 발생한다고 볼 수 있다. 특히 기본설계에서 단열재 등 단열조치가 없더라도 거실 기능으로 사용하기 위해 용도를 변경한 경우에는 거주조건 변화에 따라 온도, 수증기, 발열 또는 발한, 온도차 등 결로 발생 조건 또한 변화되므로 이에 대한 사전 검토 및 대책이 필요하다



[그림 11] 분양 카타로그 (드레스룸 선책형)

### 2) 설계 및 시공

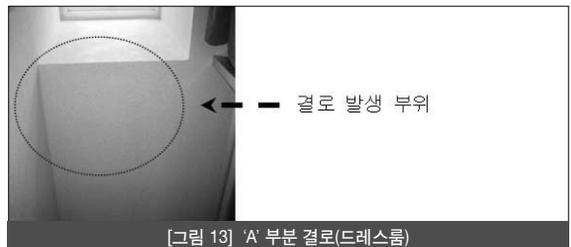
[그림 12]는 드레스룸으로 변경 전인 욕실 평면도이다. 욕실은 발코니 한쪽에 외기에 면해 있으며 바닥 난방 시설이 없고 침실 측 및 발코니 측 벽(조적)에는 단열재가 적용되어 있지만 AD/PS에 면한 조적벽에는 미적용 되어 있는 것을 알 수 있다. 드레스룸으로 변경 시공하면서 바닥 난방이 적용되고 침실측 벽에 설치된 단열재는 삭제되고 발코니 측 단열재는 두께가 강화되어 시공되었으나 AD/PS 측에는 단열재가 시공되지 않았다.



[그림 12] 부부욕실 평면도(기본 설계)

### 3) 드레스룸 결로 현황

결로 발생 부위



[그림 13] 'A' 부분 결로(드레스룸)

당초 부부욕실로 설계되었기 때문에 드레스룸의 면적이 매우 협소하고 대부분의 입주자들은 많은 양의 의류 및 물건을 보관하고 있는 실정이다. 난방가동으로 바닥은 온도가 높고 외기에 면한 벽체 및 창호 부분은 상대적으로 온도가 낮았으며 결로에 의한 곰팡이는 모서리, 우각부를 중심으로 발생하여 주변으로 확산하였다.

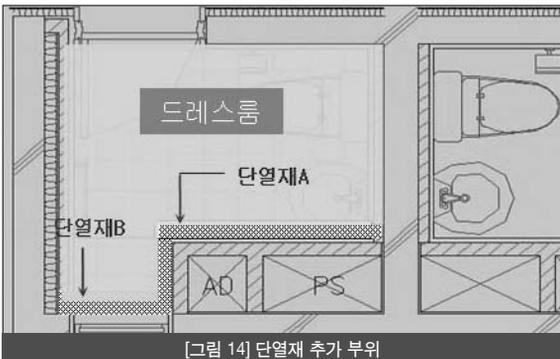
#### 4) 결로 발생 원인

공기의 유통성이 적은 협소한 공간의 경우 내부 온도가 가급적 균일하게 유지 될 수 있도록 난방, 강제 환기, 단열재 시공 등 적절한 온, 습도 유지를 위한 조치가 필요하다. 그러나 위와 같은 결로는 용도변경 과정에서 결로의 발생 조건도 함께 변한다는 것을 간과하여 적절한 대책이 누락된 경우이다. 결로 발생 부위가 외기에 면한 벽체 특히 우각부, 모서리에서 출발한 것으로 볼 때 가장 큰 원인은 외부 낮은 기온이 별다른 저항을 갖지 못하고 그대로 내부 벽체까지 침투하여 드레스룸 표면 온도를 낮추게 되고 고온 다습한 공기속의 수증기가 온도가 낮은 벽체와 접촉하여 물방울로 변한 것으로 벽체의 열관류율이 높아서 즉 열관류 저항이 부족해서 발생한 것이다.

또 한 가지는 실내 공기가 부분적으로 정체되고 환기가 부족한 것도 원인이 될 수 있지만 결로 발생 부위로 보았을 때 환기 영향은 매우 미미하다고 할 수 있다. 결로 원인을 <표 1>을 적용해 정리해보면 2. 차가운 표면온도 → 3)단열시공의 미흡 → ①단열시공 결함 및 단열재 누락 등으로 압축 할 수 있다.

#### 5) 벽체 결로 대책

결로 원인이 벽 표면의 온도가 실내공기의 노점온도 보다 낮아서 발생했기 때문에 결로를 방지하기 위해서는 벽체의 표면 온도를 노점온도 보다 높게 해주면 결로를 예방 할 수 있다



위와 같은 경우 벽체의 표면온도를 높일 수 있는 방법은 충분한 두께의 단열재를 설치하면 된다. 단열재를 설치 할 경우에는 [그림 13]에서와 같이 외벽(단열재A)과 AD/PS 부분(단열재B까지 연장하여 시공하여야 한다. 단열재A는 외벽이므로 외기에 직접 면하는 경우의 단열재를 설치하고 단열재 B는(AD/PS) 외기에 간접 면하는 경우의 단열재 설치 기준을 적용하도록 한다.

### 7. 결론

당사 아파트의 결로 사례를 들면서 실제 결로가 발생한 부위와 원인별 대책을 소개하였다. 그 동안 아파트 결로 문제를 해결하기 위해 설계, 시공과정에서 많은 노력을 기울여 왔지만 주거생활 및 대기 변화 등 환경 변화에 적절한 대안 제시에는 다소 부족한 측면이 있었다.

이를 극복하기 위해서는 지속적인 자료 수집 및 다양한 기술 개발을 통해 결로 저감 설계 방안을 제시하고 단열성이 우수한 자재의 적용 등 시공 품질 향상에도 많은 노력을 기울여야 한다. 이와 더불어 겨울철 실내에서의 과도한 수증기 발생, 환기 부족, 급속한 난방은 결로 발생을 촉진시키기 때문에 거주자의 생활습관 또한 변화되어야 한다.

아파트 발코니 확장 합법화에 따라 최근 준공한 단지는 누수뿐만 아니라 창호와 확장부위의 결로 문제도 예상된다. 설계 및 시공 중에 결로 예상부위를 체크하고 적절한 대응을 했겠지만 앞서 설명한대로 결로는 내 외부 환경 영향을 많이 받는 만큼 결로 안심할 상황은 아니다. 그렇기 때문에 상황에 따른 결로 현상을 이론적 및 실증적으로 규명하여 설계 기준의 활용과 시공과정의 합리적인 적용으로 결로 문제를 슬기롭게 해결해야 할 것이다. **S**

#### 참고문헌

1. 고객센터서비스부 하자사례
2. (사)한국그린빌딩협의회 '공동주택의 결로 저감 설계기술', 김중엽
3. 건설기술연구원 자료