



욕실과 인접한 아파트 드레스룸의 결로 원인 분석

An Experimental and Simulation Analysis of Condensation in the Walk-in Closet Attached to Apartment Bathroom

최영우* · 김선혜**

Choi, Young-Woo* · Kim, Sean Hay**

* Graduate School of Housing and Urban Planning, Seoul National University of Science and Technology, South Korea

** Architectural Engineering Program, Seoul National University of Science and Technology, South Korea (seanhay.kim@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Condensation in walk-in closets attached to apartment bathroom has been known as an emerging issue that may threaten occupants' comfort and health. Despite a number of design guidelines and enforcements to prevent condensation, condensation issues may still occur depending on various cases and scenarios. We aim to identify what condensation scenarios may lead to walk-in closet condensation and/or worse the existing condensation issues. **Method:** First we choose an actual walk-in closet of an apartment that suffers from sporadic condensation and resulting mold and mildew. Then we observe its relative humidity and temperature after the bathroom is used, in which excessive vapor is thought to be transported to the walk-in closet. We analyze Temperature Difference Ratio – a domestic indicator of condensation occurrence, and dew point temperature to compare it with surface temperature using 2D heat transfer simulation upon various condensation scenarios. **Result:** TDR of the test walk-in closet turns out be OK despite mold and mildew actually occurring. Hot water pipe installed in the floor would greatly reduce condensation. If hot water pipe in the upper floor, however, is not used, or hot water pipe of the closet is turned off during swing seasons, it is expected that condensations may still occur.

KEYWORD

결로
드레스룸
욕실
공동주택

Condensation
Walk-in closet
Bathroom
Apartment

ACCEPTANCE INFO

Received July 19, 2017
Final revision received Aug 13, 2017
Accepted Aug 18, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

결로는 건축물의 가장 대표적인 하자 중 하나로써, 벽면 모서리 등의 곰팡이, 실내 공기질 저하와 같은 건축 환경 및 실내 쾌적감 측면에서 매우 불리하며, 마감재를 손상시키는 등 2차 피해를 발생시키기도 한다.

국토교통부 하자심사·분쟁조정위원회에 따르면 2010년 ~ 2015년까지 접수된 하자심사 및 분쟁조정 심사 누적건수는 8,859건으로 매년 증가추이를 보이고 있고, 이중 결로 하자가 약 14%를 차지하고 있으며, 특히 벽체 부문 결로 하자가 가장 큰 비중을 차지하고 있다¹⁾. 결로로 인한 피해를 방지하기 위해 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준을 제정·고시²⁾ 하여 500세대 이상 공동주택의 결로 성능을 평가하고 있고, 주택건설기준 등에 관한 규정은 공동주택 각 세대에 온돌 방식의 난방설비를 하는 경우에는 침실에 포함되는 옷장 또는 불박이 가구 설치 공간에도 난방설비를 하여야 함을 규정화 하고 있다.

그러나 이러한 설계기준 및 관련 규정에도 불구하고, 결로 문제는 아직도 발생되고 있다. 특히 국내 거주자들의 부족한 수납 공간에 대한 수요가 늘어나면서 공동주택에서의 드레스룸 설계가 점점 보편화됨에 따라 드레스룸의 결로 문제가 심각한 것으로 확인되었다.³⁾

특히 욕실에 인접한 드레스룸의 경우 욕실 사용 후 발생한 수증기가 드레스룸으로 이동하여 결로를 발생시키는 것으로 보이며, 본 연구는 욕실의 수증기와 드레스룸 결로 발생의 인과 관계를 분석하기 위해 수행되었다. 따라서 연구진은 욕실 사용 후 드레스룸의 온습도를 실제 측정하고 시뮬레이션을 통해 다수의 결로 발생 가능성이 있는 시나리오를 구상하여 결로 발생 가능성을 분석하였다.

2. 드레스룸 결로의 심각성

2.1. 하자 사례 현황 분석

2015년도 국토교통부 하자심사·분쟁조정위원회에 접수된 사

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2017.17.4.089

1) 오세민 외, “공동주택 결로 하자 사례를 통한 개선방안 도출”, 설비공학논문집 제29권 제2호, 2017.2.

2) 국토교통부, “공동주택 결로방지를 위한 설계기준”, 2016

3) 이연화 외, “공동주택의 불박이장 설치 공간에서 결로 발생 현상 진단을 위한 동계 실내 온열 환경 평가”, 대한건축학회 논문집 - 계획계 32(7), 2016.7.; 김예진 외, “실측을 통한 욕실 사용 후 드레스룸 및 불박이장 온습도 환경 분석”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2016.

건 중 공동주택 하자의 조사, 보수비용 산정 방법 및 하자판정기준에 따라 하자로 판정된 결로 하자사례를 살펴보면, 접수된 하자는 총 20,961건이며, 결로 부문은 3,181건으로 나타났다. 이중 하자로 판정된 사례는 총 365건으로, 이중 중복을 제외한 총 100건을 바탕으로 결로 하자 사례를 분석하였다.⁴⁾

2.2. 드레스룸 결로의 심각성

2.1절의 결로 하자로 판정된 벽체 사례 중 특히 드레스룸의 벽체 결로 발생 피해 사례에 대해 정밀분석을 하였다. Fig. 1에 나타난 것처럼 드레스룸의 결로는 벽체 모서리 부위에 주로 발생되었으며, 이로 인해 곰팡이가 발생되어 가구재나 건축 마감재는 물론 드레스룸 내부 집기 및 의류 등 재산상 피해가 심각한 것으로 확인되었다. 특히 욕실에 인접한 드레스룸의 결로 발생이 상당히 빈번함을 확인할 수 있었는데, 이는 욕실 사용 후 채 배출되지 못한 수증기가 드레스룸으로 확산되기 때문으로 추정되었다.



Fig 1. Examples of condensation in walk-in closet

3. 욕실 인접 드레스룸의 온습도 환경 측정

3.1. 측정 목적 및 범위

욕실 사용으로 인한 수증기 발생이 드레스룸에 미치는 영향을 분석하기 위해 실측을 수행하였다. 공동주택에서 안방 욕실 옆 드레스룸을 가지는 세대를 대상으로 측정을 진행하였으며, 욕실 사용 시 발생된 수증기로 인해 변화된 드레스룸의 온습도 분포 및 결로 발생 가능성이 높은 구간을 분석하고자 하였다.

3.2. 측정 대상 및 방법

본 측정은 2017년 3월 26일에 진행되었으며 실측대상지는 김포에 위치한 공동주택의 중간세대로 Fig.2에 보이는 것처럼 측정 세대의 드레스룸은 욕실과 침실 사이에 위치하고 있다.

실측세대는 입주 초기부터 드레스룸의 결로 및 곰팡이 발생되어 드레스룸의 문을 열어 놓는 등 환기를 실시하였고, 제습기를 사용하여 습기 조절을 하였으나, 곰팡이로 인해 드레스룸의 의류 등에 피해를 입었으며, 벽면의 곰팡이를 수시로 제거하고 있는 실정을 확인하였다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 드레스룸 공간에 설치된 온습도 센서는 욕실에서 나오는 수증기 특성을 고려하여 상, 하(높이 2.3m, 0.2m)로 나누어 설치하여 벽체 주변 온도를 측정하였다. 이외에도 측정 시 의류를 수납하는 드레스룸 특성을 모사하기 위해 불박이장 내 의류를 수납하였다.

거주자가 욕실에서 샤워하는 상황을 재현하였으며 (온수온도 45-55도), 욕실의 온습도 조건을 일정하게 유지하기 위해 환기 팬은 가동하지 않았다. 측정기기의 결로 발생을 고려하여, 욕실 내 상대습도가 90%가 되었을 때 온수를 중지하였고 (이 때 욕실 온도는 25도), 욕실 문을 열고 10분간 드레스룸의 온습도 측정하였다.

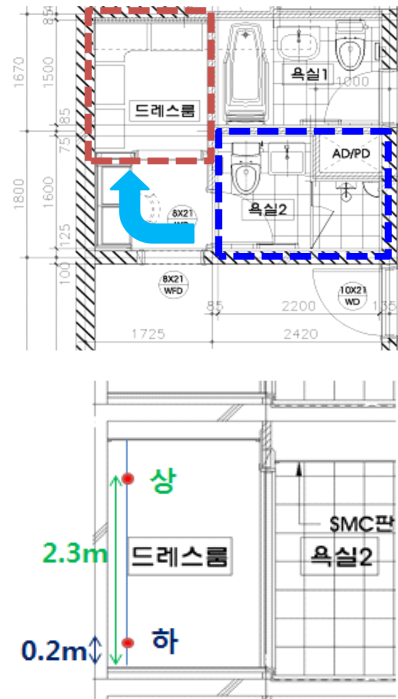


Fig 2. Placement of thermo-hygro sensors

3.3. 욕실 사용 후 드레스룸 온습도 측정 결과

Fig.3에서 나타난 것과 같이 드레스룸 상부 습도는 단 10분만에 61%에서 최대 69.3%까지 증가함을 확인하였다. 하부 습도는 63.8%에서 최대 65.1%까지 증가하였으나, 측정시간 동안 습도가 1.3% 증가하여, 8.3% 증가한 상부에 비해 하부의 습도변화가 현저히 적었다.

4) 오세민 외, “벽체 결로 하자 사례와 시뮬레이션을 통한 결로 방지 성능 평가 방법 개선방안”, 대한설비공학회 2016년도 하계학술발표대회 논문집, 2016.6.

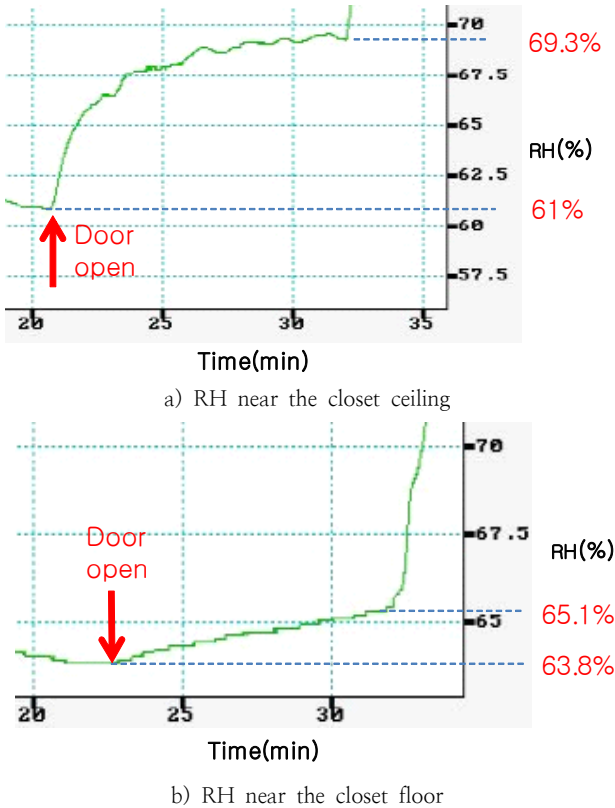


Fig 3. Observed relative humidity in walk-in closet upon door opening

이때 Table 1에서 나타난 바와 같이 상부의 노점온도(15.48°C)가 하부의 노점온도(14.04°C) 보다 1.44°C 높은 것으로 관찰되었다. 이는 상부와 하부의 실내공기온도 차이는 거의 없으나, 습도가 높아지기 때문에 노점온도도 높아진 것으로 사료된다. 따라서 드레스룸의 벽체표면온도가 15°C 정도 될 경우, 하부는 벽체표면온도가 노점온도보다 높아 결로 발생 가능성이 적으나, 상부는 벽체표면온도가 노점온도보다 낮아 결로 발생 가능성이 높을 것으로 보여, 하부보다 상부가 결로에 취약할 것으로 확인되었다.

즉 욕실에서 발생한 뜨거운 수증기는 상대적으로 낮은 밀도 때문에 드레스룸의 상부로 이동하여 드레스룸 상부의 노점온도를 높이는 역할을 하게 된다. 하루에도 몇 차례 샤워를 하는 등 욕실의 사용 빈도가 높으면 결국 드레스룸 상부의 결로 발생 가능성은 더 높아지게 되고, 상부에서 발생한 결로는 벽체를 타고 드레스룸 하부로 흘러내리게 됨으로 드레스룸 전체가 곰팡이 번식에 노출될 수 있다.

비록 측정이 10분밖에 지속되지는 않았지만 Fig.3의 습도 변화가 완만한 지수곡선의 형태를 지니는 것으로 보아, 상부에서 측정된 최대습도는 몇 분 정도 더 지속되다가 습도가 점점 낮아질 것으로 예측된다. 이에 반하여 하부의 습도는 상부의 수증기가 하부로 확산됨에 따라 조금 더 상승할 수도 있다고 보여 지나, 본 실험에서는 실측하지 않았으므로 추후 실험에서 검증되어야 할 것이다.

Table 1. Observed RH, air temperature, and resulting dew point temperature

Time (min)	Air temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Dew Point Temperature (°C)
Near the closet ceiling			
0	21.2	61	13.42
2	21.2	64.6	14.3
4	21.2	67.3	14.39
6	21.3	68.7	15.35
8	21.3	69.3	15.48
10	21.3	69.1	15.44
Near the closer floor			
0	20.7	63.8	13.63
2	20.7	64	13.68
4	20.8	64.4	13.87
6	20.8	64.7	13.94
8	20.8	64.9	13.99
10	20.8	65.1	14.04

4. 결로 발생 시나리오 시뮬레이션

4.1. 시뮬레이션 개요 및 조건

최근 「주택건설기준 등에 관한 규정」을 2016년 10월에 개정·고시하여 공동주택 각 세대에 온돌 방식의 난방설비를 하는 경우에는 침실에 포함되는 옷방 또는 불박이 가구 설치 공간에도 난방설비를 하여야 함을 규정화 하고 있다.

Table 2. Simulation conditions

Type	Temperature (°C)	Surface heat transfer rate (W/m²°C)	Thermal conductivity (W/mK)
Indoor air	25	9.09	-
Outdoor air	-15	23.3	-
AD/PD air	5	9.09	-
HW Pipe	60 (hot water)	-	400
Concrete	-	-	1.6
Brick	-	-	0.6
Mortar	-	-	1.4
Plaster board	-	-	0.18
Insulation(XPS)	-	-	0.028
Condensation-free material (XPS)	-	-	0.028

드레스룸의 결로 발생에 따라 관련 기준을 개정하여 드레스룸 하부에 난방설비를 설치해야함을 규정 하였으나, 앞의 실측 결과와 같이 드레스룸의 상부에는 높은 습도로 인한 결로 발생 가능성이 농후할 것으로 보여, 시뮬레이션(THERM)을 통한 난방배관의 유무에 따라 상부와 하부의 표면온도와 예상노점온도

및 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」의 온도차이비율(TDR: Temperature Difference Ratio)을 확인해 보았다.

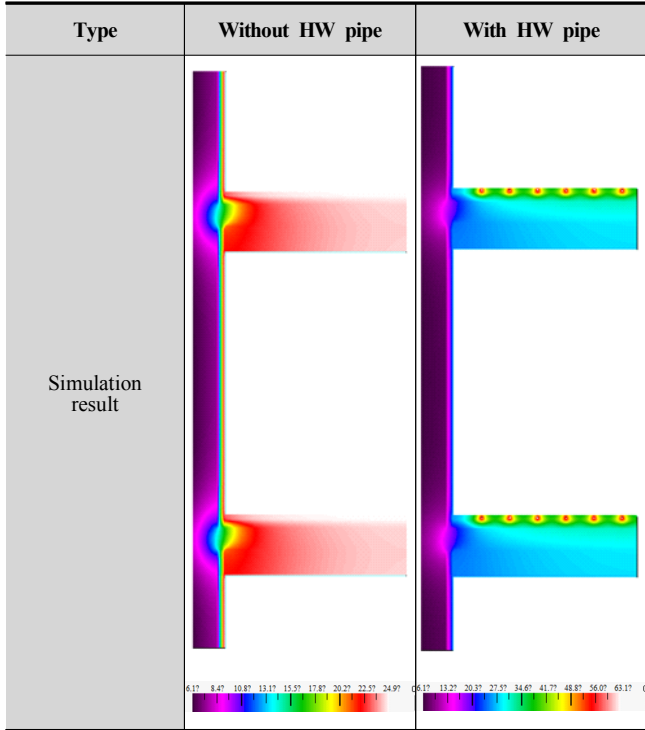
시뮬레이션에 적용된 경계조건 및 물성치는 건축물의 에너지 절약 설계기준, 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준상의 조건들을 적용하였으며, 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준 지역Ⅱ(외기온도 -15℃)를 대상으로 평가 하였다.(Table 2와 Table 3)

Table 3. Wall and floor construction with and without HW pipes

Type	Without HW pipe	With HW pipe
Modeling	THK40 Mortar/Ø15 XL Pipe THK40 light weight concrete THK30 Insulation THK180 Concrete THK200 Air surface THK9.5 Plaster board 	THK40 Mortar/Ø15 XL Pipe THK40 light weight concrete THK30 Insulation THK180 Concrete THK200 Air surface THK9.5 Plaster board

4.2. 난방배관 유무에 따른 TDR 분석을 위한 시뮬레이션

Table 4. Temperature profiles in case of with and without HW pipe



TDR 분석을 위한 시뮬레이션 결과 벽체의 온도는 Table 4에서 나타난 것처럼 분포하였다. 난방배관이 없는 경우의 표면온도는 상부가 하부보다 2.9℃가 낮았고, 난방배관이 있는 경우의 표면온도는 상부가 하부보다 1.9℃ 낮은 것으로 확인되어, 난방배관으로 인해 상부 표면온도가 상승하는 것으로 확인되었다. 이에 따른 TDR은 기준을 만족하는 것으로 (<0.26) 나타났다 (Table 5).

또한 습공기 선도를 참조하여 계산한 노점온도(공기온도: 25℃, 습도: 50%)를 확인한 결과, 드레스룸 상부 벽체 접합부의 표면온도가 노점온도보다 높아 결로 발생 가능성이 적을 것으로 확인되었다.(Table 5)

Table 5. Resulting surface temperature, TDR and DPT (Dew Point Temperature)

		Ceiling Corner	Floor Corner
Without HW pipe	T(℃)	20.5 (>13.89 DPT)	23.4 (>13.89 DPT)
	TDR	0.11 (< 0.26 TDR)	0.04 (< 0.26 TDR)
With HW pipe	T(℃)	23.6 (>13.89 DPT)	25.5 (>13.89 DPT)
	TDR	0.04 (< 0.26 TDR)	-0.01 (< 0.26 TDR)

4.3. 결로 발생 시나리오에 따른 시뮬레이션 재분석

4.2절에서 TDR 분석 시 통상적으로 사용되는 표준조건과 욕실의 습도가 90% 도달한 후 10분간 드레스룸의 습도 변화를 실측에서 확인한 실험치를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으나, 실제 욕실 사용 시 사용시간이 20분 이상이며 이로 인해 수증기가 드레스룸으로 확산될 경우, 욕실의 습도가 90% 이상이 될 뿐만 아니라 드레스룸 상부의 습도가 80%이상이 될 케이스가 빈번할 것으로 예상된다. 따라서 실제 드레스룸의 습도는 TDR 분석 시보다 더 높아질 것이며, 또한 위층 세대가 난방 배관을 사용하지 않거나, 세대 난방을 하지 않는 간절기에는 결로 발생 가능성이 높을 것으로 예상되어 다양한 결로 발생 시나리오를 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

(1) 동절기 경우

공동주택 결로 방지를 위한 설계기준 지역Ⅱ(외기온도 -15℃)에 따라 간절외기 공간의 온도(5℃)는 실내온도와 외기온도의 차이의 중간치 이고, 이때 실내온도는 25℃, 습도는 80%로 설정하였다.

시뮬레이션을 통해 동절기 경우 욕실 사용에 따른 표면온도를 확인한 결과, 난방배관을 사용하는 경우 Fig. 4에 나타난 것처럼 상부 벽체 접합부 및 하부 벽체 접합부의 표면온도(각각 23.6℃, 25.5℃)가 노점온도(21.82℃) 보다 높아, 결로 발생 가능성이 낮은 것으로 확인되었다.

그러나 난방배관을 사용하지 않는 경우 상부 슬라브 모서리의

5) Lawrence Berkeley National Laboratory, THERM
 THERM은 정상상태를 가정하는 2D 전열해석 시뮬레이션으로 비정상상태 조건에서의 수증기 확산을 모사할 수는 없지만, THERM과 같은 정상상태 시뮬레이션을 사용하여 TDR을 계산하는 것이 실무적 관행이고 TDR이 결로 발생의 지표로 사용되고 있어, TDR 계산 표준 조건과 실제 결로가 생길 수 있는 환경조건을 동일한 시뮬레이션을 사용하여 비교 분석하기 위해 THERM을 사용하였다.

표면온도(20.5°C)가 노점온도(21.82°C) 보다 낮아, 이러한 조건이 어느 정도 지속되거나 반복적으로 나타나면 결로가 발생할 수 있을 것으로 확인되었다.

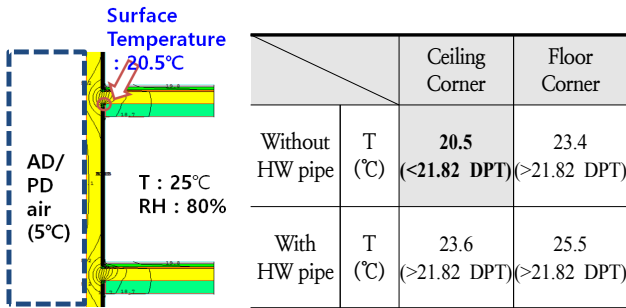


Fig 4. Resulting surface temperature and dew point temperature with and without HW pipe

(2) 상층세대 난방 미사용 동절기 경우

동절기 시 난방을 사용하는 것이 일반적이거나, 일부 세대는 난방비 절약 등의 이유로 드레스룸 난방을 사용하지 않는 경우가 있다.

위와 같은 조건을 사용하여 시뮬레이션을 통해 동절기 경우 상층세대는 난방을 사용하지 않고, 해당세대는 난방을 사용할 경우 욕실 사용에 따른 표면온도를 확인한 결과 (Fig.5), 난방배관이 없는 경우 상부 슬라브 모서리의 표면온도(20.5°C)가 노점온도(21.82°C) 보다 낮아, 이러한 조건이 어느 정도 지속되거나 반복적으로 나타나면 결로가 발생할 수 있을 것으로 확인되었다.

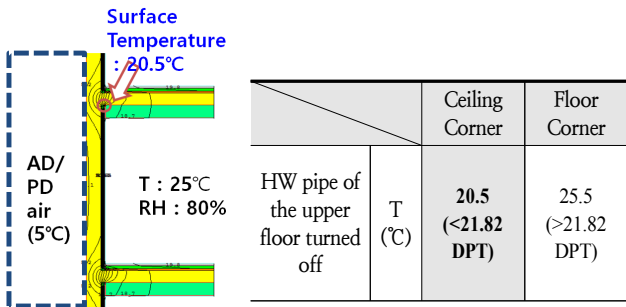


Fig 5. Resulting surface temperature and dew point temperature when HW pipe of the upper floor turned off

(3) 간절기 경우

본 측정기간(2017년 3월 26일)은 간절기에 해당한다. 실제 2017년 3월 한 달간 외기평균기온을 분석한 결과, 실외평균온도는 -1°C 정도이다. 간절기의 실내온도는 동절기와 같이 난방을 사용하지 않기 때문에 동절기 보다는 낮은 실내온도를 유지하게 되며, 보통 실내온도는 20°C로 확인되었다.

난방을 사용하지 않는 간절기 경우 욕실 사용에 따른 표면온도를 시뮬레이션으로 확인한 결과, 드레스룸과 벽체를 공유하는 AD/PD 온도가 5°C 정도로 유지되면 상부 슬라브 모서리 표면

온도가 노점온도보다 충분히 높아 결로의 우려가 없지만, 단열이 미비하거나 외기 직접 노출 등의 이유로 3°C 정도까지 온도가 떨어지게 되면 상부 슬라브 모서리의 표면온도(16.2°C)가 노점온도(16.47°C) 보다 낮아 (Fig.6), 이러한 조건이 어느 정도 지속되거나 반복적으로 나타나면 결로가 발생할 수 있을 것으로 확인되었다.

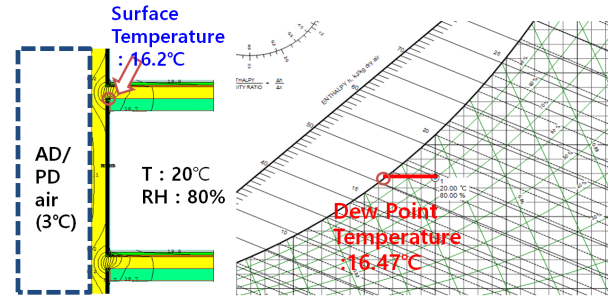


Fig 6. Resulting surface temperature and dew point temperature in swing season

5. 결론

본 연구에서는 결로 하자 사례와 욕실 사용으로 인한 수증기 발생 실측, 설계기준을 적용한 벽체 시뮬레이션 평가결과를 바탕으로 제도 개선의 필요성을 도출하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

5.1. 측정 및 시뮬레이션 분석 결과

(1) 욕실에서 발생된 수증기는 드레스룸 문 틈새를 통해 통하여 먼저 상부로 이동하여 점차적으로 하부로 확산하였고, 상부에 비해 하부의 습도변화가 현저히 적었다.

이때 상부의 노점온도가 하부의 노점온도보다 1.44°C 높은 것이 관찰되었는데, 이는 상부와 하부의 실내공기온도 차이는 거의 없으나, 습도차가 약 4.2%까지 확대되었기 때문에 노점온도 차이가 커진 것으로 보인다.

또한 드레스룸의 벽체표면온도가 15°C 정도 될 경우, 하부는 벽체표면온도가 노점온도(14.04°C) 보다 높아 결로 발생 가능성이 적으나, 상부는 벽체표면온도가 노점온도(15.48°C) 보다 낮아 결로 발생 가능성이 높을 것으로 보여, 하부보다 상부가 결로에 더 취약할 것으로 확인되었다.

(2) 난방배관 유무에 따른 시뮬레이션 결과, 벽체 접합부의 표면온도를 산출하였고, 이에 따른 TDR은 기준을 만족하는 것으로 확인되었다.

난방배관이 없는 경우의 벽체 표면온도는 상부가 하부보다 2.9°C가 낮았다. 그러나 난방배관이 있는 경우 벽체 표면온도는 상부가 하부보다 1.9°C 낮은 것으로 확인되어, 즉 난방배관으로 드레스룸 상부의 표면온도가 상승하는 것으로 확인되어, 드레스

룸의 난방배관이 결로 방지에 효과가 있을 것으로 사료된다.

(3) 그러나 여러 가지 결로 발생 시나리오에 따른 시뮬레이션을 재분석한 결과, 동절기 시 난방배관이 사용하지 않는 경우와 상층세대에서 난방을 사용하지 않는 경우 모두 상부 슬라브 모서리의 표면온도가 노점온도보다 낮았으며, 간절기 시 난방을 사용하지 않는 경우 상부 슬라브 모서리의 표면온도가 노점온도보다 낮을 가능성도 있어, 이러한 조건이 어느 정도 지속되거나 반복적으로 나타나면 결로가 발생할 수 있을 것으로 확인되었다.

5.2. 토의 및 결론

실측세대는 드레스룸의 결로로 인한 곰팡이가 발생되어 드레스룸의 문을 열어 놓는 등 환기를 계속 하였고, 제습기를 사용하여 습기를 제거하는데 노력하였으나, 곰팡이로 인해 드레스룸의 의류 등에 피해를 입었으며, 벽면의 곰팡이를 수시로 제거하고 있는 실정이었다. 그러나 해당세대 드레스룸의 TDR은 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 이는 TDR이 기준을 만족한다 하더라도 결로가 발생할 수도 있다는 사실을 의미한다.

드레스룸 바닥에 난방배관 설치한다면 해당세대 드레스룸 벽체의 표면온도가 상승되는 것을 시뮬레이션으로 확인하였으나, 실제 상층세대의 난방 사용 여부에 따라 해당세대 드레스룸 상부 슬라브 모서리의 결로 발생 가능성이 달라질 수 있다.

또한 난방을 사용하지 않는 간절기 경우에 욕실 사용 시 발생된 수증기로 인해 드레스룸 상부 슬라브 모서리에 결로가 발생할 수 있음을 시뮬레이션으로 확인하였다.

따라서 해당세대의 상부 슬라브 모서리 주위에 단열을 강화하여 드레스룸 상부 슬라브 모서리 표면온도를 높이는 것과 더불어 드레스룸에 과도한 습기가 유입되는 것을 막거나, 습기를 방출할 수 있도록 환기를 자주 시켜 주는 것이 바람직한 것으로 보인다.

본 연구는 다양한 결로 발생 가능 시나리오를 분석하여 결로 가능성이 비교적 높은 상황(Situation)을 예측하고자 시뮬레이션을 실시하였다. 따라서 실측값과 결로 발생 가능 시나리오에 따른 가정값을 시뮬레이션의 입력값으로 사용하였다.

그러나 시뮬레이션은 현실과는 어느 정도 차이가 있을 수밖에 지라도 실제 결로가 발생하지 않는 상황도 존재할 수 있다. 따라서 본 연구에서 분석된 결로 발생 가능 시나리오를 중심으로 환경을 구성하고 여러 세대에 대한 실증 실험 위주로 후속 연구를 구상하여, 드레스룸의 환기량 및 환기구 위치, 드레스룸의 유형 등을 분석한 후 효과적인 공동주택의 욕실에 인접한 드레스룸의 결로 저감 방법을 도출할 예정이다.

Acknowledgements

This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.

Reference

- [1] 오세민 외, “공동주택 결로 하자 사례를 통한 개선방안 도출”, 설비공학논문집 제29권 제2호, 2017.2. // (Oh, Semin, Study on the Improvement Plans of Condensation Defect Examples in Apartment Building, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Vol. 29, No. 2(2017))
- [2] 국토교통부, “공동주택 결로방지를 위한 설계기준”, 2016 // (MOLIT, “Standard of a design for preventing the condensation in multi-residential house”, 2016)
- [3] 이연화 외, “공동주택의 불박이장 설치 공간에서 결로 발생 현상 진단을 위한 동계 실내 온열 환경 평가”, 대한건축학회 논문집 - 계획계 32(7), 2016.7. // (Lee, Hyun-Hwa, Evaluation on the Thermal Environment for Condensation Problem Diagnosis around Built-in Furniture of Apartment Buildings in Winter, JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design 32(7), 2016)
- [4] 김예진 외, “실측을 통한 욕실 사용 후 드레스룸 및 불박이장 온습도 환경 분석”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2016. // (Kim, Ye Jin, Analysis environmental change of built-in wardrobe and dressroom space after using bathroom space by field measurement, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, 2016)
- [5] 오세민 외, “벽체 결로 하자 사례와 시뮬레이션을 통한 결로 방지 성능 평가 방법 개선방안”, 대한설비공학회 2016년도 하계학술발표대회 논문집, 2016.6. // (Oh, Semin, Study on the Improvement of Evaluation of Preventing the Condensation in through Condensation Defect Example and Thermal Environment Simulation, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 2016)
- [6] Lawrence Berkeley National Laboratory, THERM ([http:// windows. lbl.gov/software/therm](http://windows.lbl.gov/software/therm))