



TDR을 이용한 중앙집중형 하이브리드 환기시스템의 결로방지 성능 평가

Evaluation of Condensation Prevention for Centralized Hybrid Ventilation System Using TDR

김유민* · 이종은** · 최경석** · 이용준*** · 강재식**

Kim, Yu-Min* · Lee, Jong-Eun** · Choi, Gyeong-Seok** · Lee, Yong-Jun*** · Kang, Jae-Sik**

* Corresponding author, Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (ymkim@kict.re.kr)

** Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea

*** BEL Technology, Korea

ABSTRACT

Purpose: Condensation in the apartment housing is one of the most significant defects and complaints for condensation are rapidly increasing according to the growing interest in residential environment. Korea government established a regulation for reducing condensation in the apartment housing and TDR is adapted as a standard. However prevention of condensation depend on improving the performance of building envelop has limitation because of the increase of the cost. Centralized Hybrid ventilation system is suggested to prevent condensation. **Method:** Field measurement was conducted to verify the ventilation rate of the ventilation system. Based on the measurement, air network and CFD simulation was conducted to analyze ventilation rate for each room. Surface temperature was calculated by regulated TDR according to the regions and surfaces. The performance of condensation prevention was evaluated by the ventilation rate and surface temperature. **Result:** In the results, it was found that condensation was prevented in more than 90% of households by the centralized hybrid ventilation system which provided 0.19 ~ 0.81ACH for each room

KEYWORD

결로
온도차이비율
환기시스템
환기량

Condensation
TDR(Temperature Difference Ratio)
Ventilation System
Ventilation Rate

ACCEPTANCE INFO

Received November 4, 2015

Final revision received November 27, 2015

Accepted December 1, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

주택에서의 결로는 건축 분야의 유형별 하자 비율 중 약 30%에 달하여 가장 큰 비중을 차지할 정도로 이에 대한 재실자의 만족도는 낮다. 이에 공동주택의 결로 방지에 관련된 연구도 지속되어 왔으나, 대부분의 경우 각 건설사 등에서 개별적인 연구와 위주로 진행되어 왔기 때문에[01], 진행되었던 많은 연구들이 표준화 및 공인화 되지 못하는 경우가 많았다. 이에 국토교통부에서는 지난 2013년 '공동주택 결로 방지를 위한 설계기준'을 제정하고, 2014년 시행하였다. 이 기준은 전국의 500세대 이상의 공동주택을 대상으로 하며, 온도차이비율(TDR, Temperature Difference Ratio)을 기준으로 성능을 규정하고 있다.

주택에서 발생하는 결로는 외기 조건과 외피의 단열 성능에 의한 영향뿐만 아니라[02], 재실자의 생활 습관에 따른 실내 온습도 조건에 큰 영향을 받기 때문에[03], 외피의 단열 성능만으로 실내에서 결로를 방지하는 것은 외피의 성능 향상을 위한 건축 자재 및 시공 등의 비용 상승이 불가피하므로 환기를 통해 실내 절대습도를 조절함으로써 결로를 방지하는 것이 현실적인 방안

이라 할 수 있다[04]. 본 연구에서는 공동주택의 환기를 위해 제안된 중앙집중형 하이브리드 환기 시스템의 결로 방지 성능을 현행 결로 방지 기준인 TDR을 이용하여 평가한다. 또한 대부분의 기존 연구에서 환기장치의 가동여부에 따른 결로 발생여부 위주의 결론을 제시하고 있으나[05], 본 연구에서는 결로 방지 성능 평가 시 환기시스템 가동 여부 조건에 따라 실내 절대습도를 정규분포화하여 결로발생 여부를 확률로 제시함으로써, 환기시스템 가동이 결로방지에 미치는 영향을 정량적인 수치로 판단할 수 있는 결과를 도출하였다.

1.2. 결로방지 설계기준

주택의 결로 방지 성능은 외피의 단열성능을 실내와 외기의 온도와 실내표면부 온도 등을 통한 1차원 정상상태를 기반으로 나타내는 TDR을 기준으로 평가되며[06] 그 값은 다음의 식(1)과 같이 산정한다.

$$TDR = \frac{T_i - T_s}{T_i - T_o} \quad (1)$$

T_i : indoor air temperature

T_s : surface temperature

T_o : outdoor air temperature

Table 1. TDR according to Area and Surface

Surface		TDR		
		Region 1	Region 2	Region 3
Door	Door	0.30	0.33	0.38
	Frame	0.22	0.24	0.27
Junction of walls		0.23	0.25	0.28
Window	Center of glazing	0.16	0.18	0.20
	Edge of glazing	0.22	0.24	0.27
	Frame	0.25	0.28	0.32

Table 2. Ambient and Indoor Temperature and Indoor RH

Contents	Region 1	Region 2	Region 3
Representative Regions	Wonju, Inje, Cheorwon, Ganghwa, etc	Seoul, Incheon, Daejeon, Sejong, etc	Busan, Daegu, Gwangju, Ulsan, Jeju, etc
Ambient temperature	-20 °C	-15°C	-10 °C
Indoor air temperature / RH	25°C / 50%		

TDR은 1차원 정상상태를 기반으로 하기 때문에 실제 건물에서 실내 온도의 경우는 재실시간 동안 큰 변화 없이 유지되지만 외기온의 경우에는 온도의 변화량이 커 외기온의 영향이 실내측에 전달되는데 시간지연효과가 발생하여 정확한 성능 파악은 어려울 수 있다. 그러나 외기온의 저하에 따른 실내 표면온도 저하로 발생하는 결로의 특성상 시간지연효과는 결로의 발생을 줄이는 역할을 하게 되므로 본 연구에서는 정상상태 기준의 TDR을 적용함으로써 외기온도를 가혹상태로 가정하였다.

Table 1은 공동주택 결로방지를 위한 설계기준에서 제시하는 중부지역의 대상부위별 TDR 기준을 나타낸다. 현행 기준은 외기 환경에 따라 3개의 지역으로 나누고 결로 발생의 우려가 큰 표면[06, 07]을 중심으로 TDR값을 제시한다. 또한 Table 2에 나타낸바와 같이 지역별로 -20°C ~ -10°C로 외기온을 규정하고 있으며, 실내 조건은 지역과 관계없이 채실자의 생활 습관은 유사한 것으로 간주하여 온도 25°C, 상대습도 50%로 지역에 따른 차등 없이 동일하게 규정하고 있다[08].

1.3. TDR을 이용한 환기시스템의 결로방지 성능평가

TDR은 외기온도, 실내온도, 실내표면온도의 세 가지 온도만으로 TDR이 고정되면 외기온도, 실내온도를 통해 실내 표면온도를 역산할 수 있다. Table 1에 나타낸 각 부위별 TDR값을 통해 역산한 실내 표면온도보다 실내 공기의 노점온도가 높은 경우 해당 부위에 결로가 발생한다. Table 2에서는 외기온도와 실내 온습도를 정하고 있으므로, 각 기후 지역별, 부위별 결로가 발생하는 여부를 판단할 수 있다. 실내 절대습도량이 TDR을 통해 산출된 표면온도의 포화수증기량보다 많은 경우 결로가 발생하게 되므로 포화수증기량 이상의 수증기를 제거하기 위해 실내 공기를 외기로 치환함으로써 결로를 방지할 수 있으며, 이를 통하여 필요 환기량을 산출할 수 있다.

2. 중앙집중형 하이브리드 환기시스템의 환기성능 실험

2.1. 중앙집중형 하이브리드 환기시스템

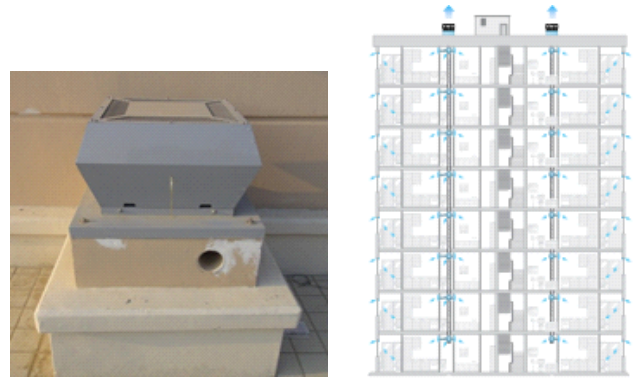


Fig. 1. Exhaust Fan on the Rooftop

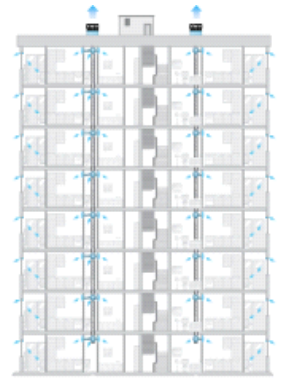


Fig. 2. Concept of Hybrid Ventilation System

중앙집중형 하이브리드 환기시스템은 공동주택을 대상으로 공용 AD(Air Duct) 상부에 Fig. 1과 같이 동력 팬을 설치하고 이를 이용하여 AD내부를 상시 음압으로 유지하여 세대 내에 설치된 AD와의 연결부의 댄퍼를 여닫음으로써 실내 공기를 배기한다. 이때 창호 등에 설치된 자연환기구를 통해 실내 급기가 이루어진다. Fig. 2는 중앙집중형 하이브리드 환기시스템의 개념도를 나타낸다.

2.2. 대상 실험 세대 개요 및 환기량 평가 결과

중앙집중형 하이브리드 환기시스템의 환기성능을 측정하기 위해서 경기도에 위치한 실험주택에서 환기량 평가를 수행하였으며 대상 세대의 평면과 면적 및 체적은 Fig 3과 Table 3에 각각 나타내었다.

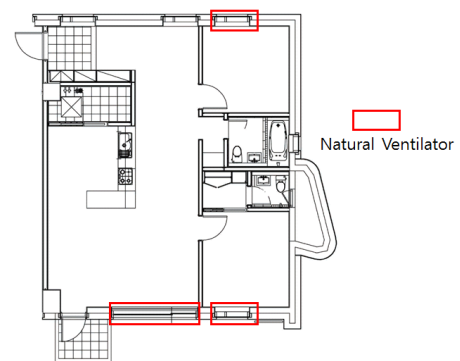


Fig. 3. Floor Plan of the Tested Apartment

Table 3. Properties of the Tested Apartment

Contents	Value
Area [m ²]	71.13
Volume [m ³]	163.6



Fig. 4. Measurement of Ventilation Rate

Table 4. Test Condition of Natural Ventilator

Natural Ventilator	ACH
Closed	0.48
Opened	0.50

대상 세대에는 총 3곳에 자연환기구가 설치되어 급기에 사용되었으며 옥상에 설치된 동력 팬에 의해 음압으로 유지되는 화장실 AD를 이용하여 각실에서 연결된 배기 덕트를 통해 배기한다. 환기량 실험을 위해 Fig. 3에 나타난 3곳의 자연환기구는 모두 열려있는 상태와 닫혀 있는 두 가지 경우로 하였고, AD에 연결된 정풍압 댐퍼를 이용하여 실내 환기량은 90m³/h를 유지하도록 하였다. 환기량 평가는 육불화황(SF₆)가스를 추적가스로 이용하여 농도 감식법을 통해 Fig. 4와 같이 평가하였다.

Table 4는 환기량 측정 결과를 나타낸다. 중앙집중형 하이브리드환기를 가동 시 자연환기구가 열렸을 때와 닫혔을 때 각각 0.48회/h, 0.50회/h로 측정되어 환기구의 개폐에는 큰 영향 없이 설계 환기량을 만족하는 것으로 나타났다[09].

3. 시뮬레이션을 이용한 환기량 평가

3.1. 시뮬레이션 개요

실험 세대 현장 실험을 통하여 중앙집중형 하이브리드 환기시스템의 환기량 확보는 확인하였으나 실험으로는 각 실별 환기량을 평가하기 어려워 시뮬레이션을 통하여 각 실별 환기량을 평가하였다. 시뮬레이션은 ContamW 프로그램을 이용하여 Air Network Model로 환기량을 해석하였으며, K-Epsilon 난류 모델을 이용한 정상상태 조건으로 StarCCM+ 프로그램을 통해 기류 유동을 해석하였다. 시뮬레이션 해석 시 실내 조건은 공동주택 결로방지를 위한 설계기준 상의 실내 조건인 실내온도 25°C, 실내 상대습도 50%를 적용하였으며, 외기는 0°C, 발코니의 경우 난방이 되지 않는 것으로 가정하여 10°C로 온도를 설정하였다.

Fig. 5에 제시된 분석대상 주택은 바닥 면적 48.9m²의 표준 임대주택으로 침실 2개와 거실로 구성되었으며 거실과 2곳의 침실에 설치된 창호에는 슬릿형 자연환기구가 설치되어 있다. 앞선 실험에서는 자연환기구의 개폐 여부는 실내 환기량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 이에 시뮬레이션 조건의 단순화를 위하여 자연환기구는 모두 열려 있는 상태로 가정하였다. 또한 발코니에 설치된 자연환기구 역시 열려있는 것으로 설정하여 실내 급기가 이루어지는 것으로 시뮬레이션 조건을 설정

하였다.

중앙집중형 하이브리드 환기가 진행되는 배기구는 화장실 옆쪽에 설치되어 화장실의 사용여부 등과 관계없이 실 전체의 환기가 진행되는 것으로 가정하였으며, 앞서 진행된 실험과는 달리 각 실별 배기덕트는 설치되지 않은 것으로 설정하였다.

각 실별 면적 및 체적 그리고 각실에 설치된 자연환기구의 크기는 Table 5에 나타낸바와 같다. 실내 창호에는 슬릿형 자연환기구를 적용하였으며 각 슬릿형 자연환기구는 2 Pa의 실내외 압력차에서 50m³/m의 환기량을 확보할 수 있는 것으로 적용하였다. 또한 발코니 외측에는 원형 자연환기구가 설치되어 있는 것으로 시뮬레이션을 수행하였다. Fig 6은 시뮬레이션에 적용된 슬릿형 및 원형 자연환기구를 나타내며, Fig.7은 대상 주택의 해석을 위한 시뮬레이션 모델이다.



Fig. 5. Floor Plan of the Tested Apartment



Fig. 6. Floor Plan of the Tested Apartment

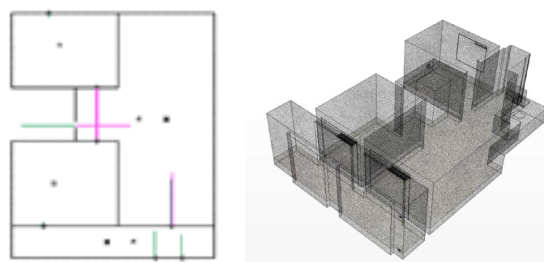


Fig. 7. Modeling for Simulations

Table 5. Properties of the tested apartment

Indoor space	Area [m ²]	Volume [m ³]	Size of Natural Ventilator
Living room / Kitchen	25.4	71.2	750 mm
Room 1	9.2	25.8	750 mm
Room 2	7.4	20.8	600 mm
Balcony	6.9	19.3	35 cm ² × 2ea
Total	48.9	137.1	-

3.2. 시뮬레이션 결과

Air Network Model을 통한 계산 결과 Table 6과 같이 배기구가 설치되어 있는 거실/주방의 환기량은 시간당 0.95회로 가장 많았고 침실 1과 침실 2는 상대적으로 낮은 시간당 0.3회 미만의 환기량을 갖는 것으로 산출되었다. 이는 대상 환기 시스템의 배기가 거실에서만 이루어지기 때문에 배기되는 모든 양이 거실을 통하는 구조이기 때문이다. Fig. 8의 CFD 결과와 마찬가지로 침실 1과 2에서 배기되는 공기는 거실을 거쳐 배기구로 이동한다. 따라서 거실의 신선공기에 의한 환기량은 시간당 0.81회로 산정했다.

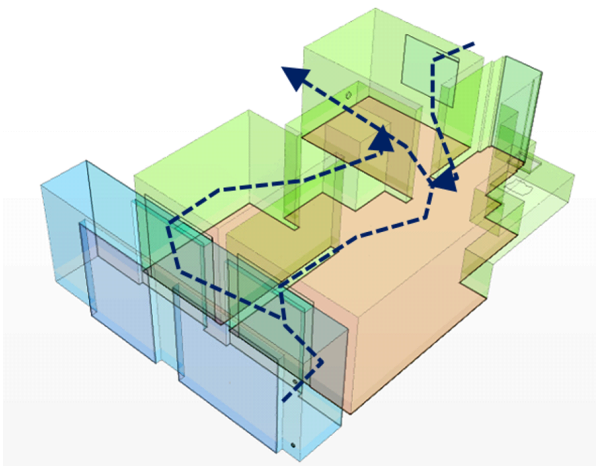


Fig. 8. Simulation Result for Air Flow

Table 6. Results of Simulation for Ventilation Rate

Indoor space	Ventilation Rate [ACH]	
	Total	Supplied Fresh Air
Living room / Kitchen	0.95	0.81
Room 1	0.19	0.19
Room 2	0.24	0.24

Table 8. Required Amount of Ventilation

Indoor Absolute Humidity Ratio [g/kg]	Region	Ambient Absolute Humidity Ratio [g/kg]	Absolute Humidity Ratio Difference between Indoor and Ambient [g/kg]	Surface	Amount of Maximum Water Vapor at Calculated Surface Temperature [g/Kg]	Amount of Water Vapor to be Removed [g/kg]	Required Ventilation Amount [times/h]
9.88	Region 1	0.63	9.25	Door Frame	8.44	1.44	0.155
				Window Frame	9.81	0.07	0.007
	Region 2	1.02	8.86	Door Frame	8.61	1.27	0.143
				Window Frame	9.84	0.04	0.004
	Region 3	1.60	8.28	Door Frame	8.56	1.32	0.159
				Window Frame	9.84	0.04	0.004

4. TDR을 이용한 결로방지 성능 평가

4.1. 설계기준 조건을 통한 환기량 산정

공동주택 결로 방지를 위한 설계 기준에서는 실내 온습도, 각 지역별 외기온도 그리고 지역별 부위별 TDR값을 규정하고 있다. TDR은 외기온도, 실내온도, 실내 표면온도로 계산되기 때문에 주어진 조건으로 지역별 부위별 벽체 표면온도를 도출할 수 있다. TDR은 정상상태를 가정한 수식이므로 실제 비정상상태에서와는 차이가 있을 수 있으나 현행 기준에서 TDR을 지표로 삼고 있으므로 표면온도 계산을 정상상태를 기준으로 하였다. 여기서는 계산된 실내 표면온도에서 결로 발생을 막기 위한 최소 필요환기량을 산출하였다.

결로는 실내 노점온도보다 벽체 등의 표면온도가 낮으면 발생하므로 기준에서 정하고 있는 부위별 TDR 값 중 가장 높은 출입문의 문짝과 외기에 직접 접하는 창외의 창틀 및 창밖의 결로 발생 위험이 가장 높다. 규정된 지역별 외기온도와 TDR을 통해서 문짝, 창틀의 표면온도를 계산하여 Table 7에 나타내었다. 설계기준에서 설정하고 있는 25°C, 50% 조건의 노점온도인 13.86°C보다 표면온도가 낮은 경우 결로가 발생하므로 각 지역별로 설정된 극한 외기 조건에서 계산된 6 종류의 표면에서는 결로가 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

Table 7. Calculation of Surface Temperature

Region	Ambient Temperature [°C]	Surface	TDR	Calculated Surface Temperature [°C]
Region 1	- 20	Door	0.30	11.50
		Window Frame	0.25	13.75
Region 2	- 15	Door	0.33	11.80
		Window Frame	0.28	13.80
Region 3	- 10	Door	0.38	11.70
		Window Frame	0.32	13.80

앞서 계산된 표면온도를 이용하여 결로방지를 위한 최소 환기량을 산정하여 Table 8에 정리하였다. 규정된 실내 조건에서의 절대수증기량은 9.88g/kg 이고, 각 표면온도에서의 포화 수증기량은 8.44g/kg ~ 9.84g/kg 이므로 결로 방지를 위해서는 0.04g/kg ~ 1.44g/kg이 제거되어야한다. 도입되는 외기와 실내의 절대 습도 차를 통하여 제거되는 실내 수증량의 산정이 가능하며 본 연구에서는 결로 방지를 위한 실내 환기의 기준을 1시간으로 설정하였다. 실외 절대습도는 최악 조건을 고려하여 각 지역의 설정 외기온의 상대 습도 100%일 때의 절대습도를 기준으로 하였다. 외기와 접하는 창 의 경우 매우 적은 환기량으로도 결로 방지가 가능하며, 문짝의 경우에는 지역에 따라 시간당 약 0.15회의 환기가 필요하다. 앞서 진행된 시뮬레이션 결과 중앙집중형 하이브리드 환기시스템은 결로 방지를 위한 실별 환기량을 확보 가능한 것으로 판단된다.

4.2. 실내 환경 통계를 이용한 중앙집중형 하이브리드 환기를 이용한 결로 방지 성능 평가

주택 세대 내의 결로 방지를 위해서는 실제 생활 실태나 환경 조건을 반영해야한다. 실내 온습도 상태는 결로 발생 여부를 판단하는 기초 조건이 되며, 주택의 경우 사용자에게 의하여 실내 환경이 개별적으로 제어되며, 생활양식에 따라 실내 발습량의 편차도 크기 때문에 실내 조건 설정은 매우 중요하다. 중부지방과 남부지방의 189세대 공동주택에서 측정되었던 기존 실측된 자료를 활용하였다. Table 9와 같이 기존 세대환경 측정결과 실내 평균 온도는 23.6°C, 실내 평균 절대습도는 8.11g/kg으로 나타났다.

본 연구에서는 재실자가 비교적 설정하기 쉬운 실내 온도는 23.5°C로 고정하고, 실내 절대습도를 정규분포화하여 결로 발생 여부를 확률분포로 평가하였다. Table 10은 실내온도 23.5°C일 경우 지역별 표면온도 및 포화수증기량을 나타낸다.

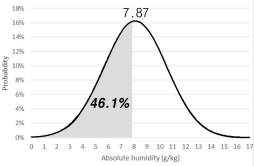
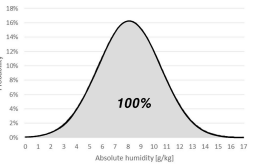
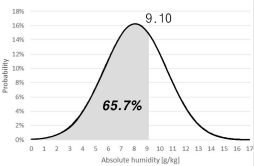
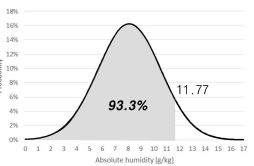
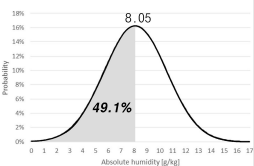
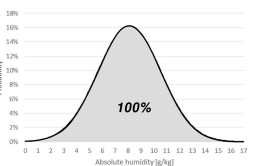
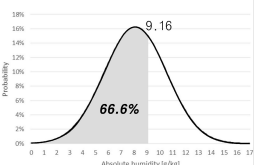
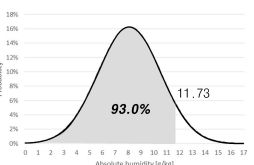
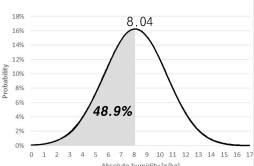
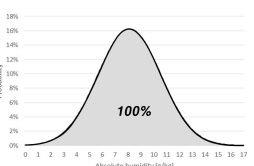
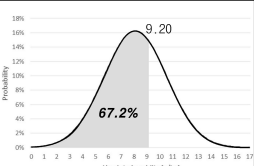
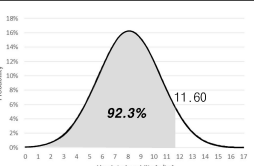
Table 9. Statistic analysis for Indoor Space

Contents	Temperature[°C]	Absolute humidity [g/kg]
Average	23.6	8.108
Standard Deviation	2.0	2.453

Table 10. Properties of the tested apartment

Region	Surface	Calculated Surface Temperature [°C]	Amount of Maximum Water Vapor at Calculated Surface Temperature [g/Kg]
Region 1	Door Frame	10.45	7.87
	Window Frame	12.63	9.10
Region 2	Door Frame	10.80	8.05
	Window Frame	12.72	9.16
Region 3	Door Frame	10.77	8.04
	Window Frame	12.78	9.20

Table 11. Cumulative Probability of Prevention for Condensation

Region / Surface	Ventilation off	Ventilation On
Region 1 / Door in the Living room		
Affordable Humidity	7.87 g/kg	More than 20 g/kg
Cumulative Probability	46.1%	100%
Region 1 / Window Frame in the Room 2		
Affordable Humidity	9.10 g/kg	11.77 g/kg
Cumulative Probability	65.7%	93.3%
Region 2 / Door in the Living room		
Affordable Humidity	8.05 g/kg	More than 20 g/kg
Cumulative Probability	49.1%	100%
Region 2 / Window Frame in the Room 2		
Affordable Humidity	9.16 g/kg	11.73 g/kg
Cumulative Probability	66.6%	93.0%
Region 3 / Door in the Living room		
Affordable Humidity	8.04 g/kg	More than 20 g/kg
Cumulative Probability	48.9%	100%
Region 2 / Window Frame in the Room 2		
Affordable Humidity	9.20 g/kg	11.60 g/kg
Cumulative Probability	67.2%	92.3%

앞서 시뮬레이션을 통해 얻은 대상 세대의 실별 환기량을 기준으로 환기를 통한 외기도입에 따라 거실의 문짝과 침실의 창문 표면에서 결로가 발생하지 않는 세대의 누적분포를 산출하여 Table 11에 나타내었다. 해당 실내외 온습도 조건에서 TDR을 기준으로 환기를 실시하지 않았을 시 거실의 문짝에서의 결로를 방지할 수 있는 세대는 약 46%~49%로 나타났으나 0.81회의 외기도입 시 결로를 방지할 수 있었다. 마찬가지로 침실 2의 창문 표면에서는 환기를 실시하지 않았을 경우 약 65~67%의 세대에서 결로를 방지할 수 있었으나 중앙집중형 하이브리드 환기를 이용할 경우 90%이상의 세대에서 결로를 방지할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 현행 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준에서 정하고 있는 외피의 열성능을 기준으로 중앙집중형 하이브리드 환기 시스템의 결로 방지 성능을 평가하였다.

- (1) 중앙집중형 하이브리드 환기시스템은 설계 환기량을 만족하며 이를 표준 임대주택을 대상으로 시뮬레이션한 결과 실별 0.19 ~ 0.81회/h의 환기량이 확보되는 것으로 나타났다. 배기구가 위치한 거실의 환기량이 가장 많은 것으로 분석되었다. CFD 시뮬레이션 결과 각 실에서의 배기는 거실에서 이루어지므로 결로방지를 위한 외기도입량 산정시 도입 신선외기량에서 제외하였다.
- (2) 현행 설계기준의 실내외 온습도 조건으로 계산 시 표준임대주택 평면의 세대에 대하여 실내 문짝 표면과 창틀 표면에는 결로발생이 우려되나 0.15회/h의 환기량 확보 시 결로 발생 위험은 없는 것으로 나타났다.
- (3) 기존 실내환경 조사를 통해 얻은 평균 온도인 23.5°C를 적용하고 실내 절대습도를 정규분포화하여 결로가 발생하지 않는 누적 분포를 분석한 결과 환기 미 적용 시 분석에서 30 ~ 50%의 세대에서 결로가 발생하였으나 중앙집중형 하이브리드 환기 시스템 적용 시 각 실별 배기덕트 설치 없이도 90%이상의 세대에서 결로를 막을 수 있는 것으로 나타났다.

향후, 취사, 샤워 등 재실자에 의한 실내 습도 변화 및 이에 의해 발생하는 결로를 방지할 수 있는 방안에 관한 추가적인 연구가 진행될 예정이다.

Acknowledgements

This research was supported by a grant(15RERP-B082204-02) from Residential Environment Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

Reference

- [1] 강석운, 조우진, 김영탁, 이용준 “공동주택 발코니 결로저감을 위한 단열 및 환기방안에 관한 연구(2)-시뮬레이션 해석을 통한 환기구 특성 분석”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 : v.34 n.02, 2014.10 // (Kang, Seok-Youn, Cho, Woo-Jin, Kim, Young-Tag, Lee, Yong-Jun, “Insulation and Ventilation methods for Apartment Balcony to Reduce Condensation Problems(2) - Ventilation Characteristic Analysis with Simulation” Conference Journal of AIK, 2014.10)
- [2] 박시현, 이현화, 김민희, 임재한, 송승영, “내, 외단열 시스템 적용시의 공동주택 결로방지 성능 비교 평가”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 : v.35 n.01, 2015.04 // (Park, Si-Hyun, Lee, Hyun-Hwa, Kim, Min-Hee, Lim, Jae-Han, Song, Seung-Yeong, “Condensation Resistance Performance Evaluation of Internal and External Insulation System on Apartment Buildings” Conference Journal of AIK, 2015.04)
- [3] 송두삼, “공동주택에서 수증기 발생량 및 결로방지를 위한 환기전략”, 대한건축학회 건축 : v.59 n.9, 2015.08 // (Song, Doo-Sam, “Indoor Moisture Generation Rates and Ventilation Methods for Humidity Control in Multi-residential Buildings”, AIK Review of Architecture and Building Science, 2015.05)
- [4] 조우진, 강석운, 김영탁, 이용준 “공동주택 발코니 결로저감을 위한 단열 및 환기방안에 관한 연구(1)-케이스 스터디에 따른 설계 가이드라인 수립”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 : v.34 n.02, 2014.10 // (Cho, Woo-Jin, Kang, Seok-Youn, Kim, Young-Tag, Lee, Yong-Jun, “Insulation and Ventilation methods for Apartment Balcony to Reduce Condensation Problems(1) - Design Guideline by Case Study” Conference Journal of AIK, 2014.10)
- [5] 서혜수, 류성룡 “공동주택 세대환기장치 가동에 따른 결로저감 효과에 대한 현장실험”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 : v.32 n.02, 2012.10 // (Suh, Hye-soo, Ryu, Seong-Ryong, “An Experimental Research on the Effect of the Ventilation System on the Condensation Reduction” Conference Journal of AIK, 2010.10)
- [6] 원종서, 남중우 “진공복층 유리외 3중 유리의 결로 위험성 평가”, 설비공학논문집 : v.25 n.11, 2013.11 // (Won, Jong-Seo, Nam, Jung-Woo, “The Condensation Risk Assessment of Vacuum Multi-Layer Glass and Triple Glass using the Temperature Difference Ratio” Journal of SAREK, 2013.11)
- [7] 조선희, 이호열, 강재식, 최경석 “목업 테스트를 통한 국내 결로방지 성능 설계기준과 평가법 분석”, 한국건축환경설비학회 학술발표대회 논문집 : v.2014 n.02, 2014.11 // (Cho, Sun-Ho, Lee, Ho-Yeol, Kang, Jae-Sik, Choi, Gyeong-Seok, “An analysis of condensation prevention performance standard and evaluation method through mock-up test” Conference Journal of KIAEBS, 2014.11)
- [8] 황하진, 김중엽, 이종성 “공동주택 세대내 결로방지 설계를 위한 실내외 온습도 기준 수립 연구”, LHI Journal : v.2 n.03, 2011.07 // (Hwang, Ha-Jin, Kim, Jong-Yeop, Lee, Jong-Sung, “A Study on the Foundation of the Standard of Temperature and Humidity for Preventing Condensation in Apartment Housings” LHI Journal, 2014.10)
- [9] 이종은, 강재식, 김유민 “하이브리드 환기시스템의 환기성능 평가분석”, 한국생활환경학회 논문집 : v.22 n.03, 2015.06 // (Lee, Jong-Eun, Kang, Jae-Sik, Kim, Yu-Min, “The Ventilation Performance Analysis of a Fan-assisted Hybrid Ventilation System” Journal of KSLES, 2015.06)