CFD와 TDR을 이용한 고층 공동주택의 결로 판정 도구 개발

방승기*[†], 김철현

*경민대학교 건축인테리어학과, 경민대학교 디지털영상과

Development of Analytical Tool for Checking Condensation of High-Rise Apartment Using CFD & TDR

Seung Ki Pang*[†], Chul Hyun Kim

*Department of Architecture, Kyungmin College, Euijungbu 480-703, Korea

Department of Digital Video, Kyungmin College, Euijungbu 480-703, Korea

Abstract

On this Thesis, We conduct a research of curtain wall high-rise apartment located in Songdo for preparing a simple method to check possibility of condensation on each part of curtain wall using only indoor temperature, humidity and outdoor temperature. According to CFD analysis result, condensation occurred if indoor environment did not ventilated. On the other hand, in case of ventilation on indoor environment, condensation did not appear; so I could find ventilation prevent surface condensation on inside surface of curtain wall. Moreover, when temperature of the floor is higher, condensation is decrease more than lower floor temperature.

Key words: CFD(전산유체역학), Curtain Wall(커튼월), TDR(온도저하율), Condensation(결로)

1. 서 론

기 호 설 명

TDR	: 온도저하율
RH	: 상대습도 [%]
P	: 공기 중의 수증기압 [mmHg]
Ps	: 포화수증기압 [mmHg]
Mw	: 수증기의 molecular weights[g/mol]
Ma	: 공기의 molecular weights[g/mol]

1.1 연구목적

최근 공동주택에서는 창호, 발코니, 열교부위 등의 결로 발생으로 인한 민원 발생 및 하자보수 비용이 증가하는 추세에 있다. 이러한 결로 현상은 실내외의 온도, 습도에 관련이 있어 건물의 단열성뿐만 아니라 실내에서 생활하는 입주자의 생활습관과도 밀접한 관계가 있지만 국내에서는 이에 대한 법적기준이 미비하여 분쟁이 발생하는 경우가 많이 있다. 국토해양부에서는 신축 공동주택의 결로 방지 기준마련을 위해 실내의 온도, 상대습도 및 외부온도와 TDR을 이용해 창호, 벽체

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-828-7322, Fax: +82-31-828-7949

E-mail: skpang@kyungmin.ac.kr

접수일 : 2013년 10월 25일

심사일 : 2013년 11월 15일

채택일 : 2013년 11월 18일

및 현관문 등을 부위별로 설계기준을 제시하고 있다.

또한 중량감소 및 외관을 위해 커튼월 시스템을 적용한 경우가 많다. 커튼월 시스템은 고층건물의 경우 시공 용이성 측면에서는 유리한 점이 있지만, 콘크리트로 외벽이 이루어진 중량 벽체와 비교해서 알루미늄, 스틸 등 열전도율이 높은 재료가 실내 및 실외에 노출되는 경우가 많다. 금속 프레임에 단열바를 삽입해서 전체적으로 열전도율을 낮추는 것은 가능하지만 적정 단열성을 확보하는 것이 어려워지기 때문에 열적으로 취약한 부위가 발생할 가능성이 상대적으로 커지게 된다. 그러나 실제 건설회사의 준공 후 AS 부서의 기술자들은 결로현상에 대한 이해는 있으나 TDR, CFD 등에 대한 지식은 없어서 실제 결로가 발생할 경우 생활습관의 문제인지 구조체의 열적결함 여부를 정확하게 파악하기에는 다소 무리가 있다.

따라서 본 논문은 AS 기술진을 위한 결로 판정 Tool을 개발하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구범위

본 논문에서는 인천 송도에 위치한 커튼월 고층 공동주택을 대상으로 크게 세 가지 내용을 파악한다. 첫 번째는, 실내의 온습도 및 실외의 온도만을 이용하여 간단하게 커튼월 각 부위의 결로 발생여부를 판단하는 방안을 마련한다. 두 번째는 기상 데이터를 활용하여 연간 결로 발생확율을 계산한다. 세 번째는 기존의 연구에서 커튼월 공동주택에서 표면결로의 발생 원인으로 지적하고 있는 ‘환기’, ‘습기’ 및 ‘표면온도’를 시뮬레이션의 중요 요소로 사용하여 CFD 해석을 사용하고 시뮬레이션은 거실의 중앙부에서 습기를 발생시킨 후 각 세대에 설치된 전열교환기를 가동하는 경우와 가동하지 않는 경우를 비교검토하고, 비정상 해석에 의해 결로 발생하는 시간을 검토 전열교환기 운전방안을 제안하는 것을 목적으로 한다.

2. 결로판정용 실내외 조건 설정

2.1 바닥 난방온도 및 실내외 온습도

결로 판정용 실내외의 온습도 조건은 에너지절약 설계기준, LH공사 및 설비공학회의 설비공학편람 등을 인용하여 외기온도 -15℃를 기준으로 하였다.

실내의 상대습도는 거실중앙부에서 습기가 발생되고 이때 습기의 온도는 20℃, 23℃이며 각각 상대습도는 40%와 60%로 가습하는 것으로 경계조건을 설정하였다. 온돌난방공간은 일반 대류난방과는 달리 바닥표면온도의 정도에 따라 공간 내 열환경 분포가 달라진다. 즉, 바닥표면온도가 높으면 실온이 낮아도 난방효과가 어느 정도 있으며, 실온이 높을 경우에는 반대로 바닥표면온도가 낮아도 유사한 수준의 난방효과를 얻을 수 있다.(안병욱, 1997) 우리나라에서는 온돌을 대상으로 한 쾌적 범위를 설정하기 위한 연구가 1980년 초부터 이루어져 어느 정도 그 성과를 거두고 있으며 각 연구자별로 실온의 쾌적 범위는 일반적으로 16℃~26℃까지로 연구결과 사이에 비교적 큰 오차가 있다. 온돌의 열복사 특성을 잘 반영하고 있다고 판단되는 연구는 윤용진 등의 연구(1984)로 여기서는 적정 실온범위를 17.5℃~24.5℃, 적정 바닥온도범위는 30.6℃~38.8℃를 제안하고 있다. 정광섭(1998)은 덥거나 추위를 느끼지 않는 바닥의 중립온도는 바닥에 앉은 자세에서는 온돌바닥 표면온도가 30℃, 의자에 앉은 자세에서는 32℃인 것으로 연구결과를 제시하였다.

따라서 본 논문에서는 바닥 온도의 경계조건을 윤용진 등의 연구를 참고하여, 30℃, 35℃ 및 40℃로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

2.2 환기장치 가동시 도입외기의 온습도

환기장치를 가동할 경우 실외에서 실내로 유입되는 공기의 절대습도를 결정하기 위하여 기상 data의 상대습도를 절대습도로 변환하여 사용하였다. 실외의 절대습도를 계산한 것은 환기장치를 가동할 경우 외부에서 도입되는 공기의 습도를

결정하기 위한 것으로 절대습도의 값은 겨울철에 해당하는 12월, 1월 및 2월의 3개월 평균값을 이용하였다. 연간 외기중의 절대습도의 값은 Fig. 1과 같으며, 계산에 사용한 12월, 1월 및 2월의 절대습도의 변화는 Fig. 2와 같다. 시뮬레이션에 사용한 외기의 습도는 3개월 평균값인 2.283826g/kg을 사용하였다.

Table 1에 해당 월 절대습도의 최대, 최소 및 평균값을 나타내었다.

Fig. 1 Annual Absolute Humidity(Outdoor)

Fig. 2 Absolute Humidity(Winter)

Table 1 1,2월 및 12월의 외부 절대습도

	Absolute Humidity [g/kg']
Max.	7.489150
Average	2.283826
Min.	0.337626
Median	1.849310

Fig. 3은 전열교환기를 가동하는 경우, 실내외의 온도와 취출구에서 공급되는 열교환 된 공급 공기의 온도를 나타낸 것이다. 측정은 일사 및 채실자 활동의 영향이 없는 야간에 실시하였으며, 그림에서 볼 수 있듯이 측정당시 실외의 온도는 최고 -6.8°C , 최저 -8.1°C 이다. 실내의 온도는 25°C 정도로 나타났으며, 취출구에서 공급되는 공기의 온도는 평균 23.4°C 였다. 전열교환기의 효율은 제조사의 값에 의한 것을 사용하였으며, 그 값은 70%로 외기조건에 따라 실내로 공급되는 열교환 된 공기의 온도는 15°C 정도이지만, 실제로는 이보다 높게 나타나는 이유는 전열교환기에 내장된 히터가 외부에서 도입되는 공기의 온도가 -5°C 이하에서 동작을 시작하기 때문에 실내로 공급되는 공기의 온도는 이보다 높게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 환기장치를 가동할 경우에는 세대 내에 설치된 취출구에서 급기되는 외부 공기의 온도는 20°C , 23°C 를 사용하였다.

Fig. 3 Temperature(Total heat exchange)

Fig. 4 Relative Humidity (Total heat exchange)

Fig. 4는 전열교환기 가동 시 실내외의 절대습도와 상대습도와 취출구에서 실내로 공급되는 공기의 절대습도와 상대습도를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 겨울철 외기의 상대습도는 외기의 경우 45~53% 이었다. 외기의 상대습도가 실내의 상대습도보다 높게 나온 것은 겨울철이기 때문에 실외의 온도가 -7°C 로 매우 낮기 때문인 것이다. 실내의 상대습도는 측정대상주택은 비교적 낮은 상대습도를 보이고 있으며 전열교환기는 외부의 공기가 실내의 배기와 직접적으로 접촉되지 않으므로 열(현열+잠열)교환은 이루어지나 습도교환은 일어나지 않기 때문에 외부의 절대습도 값이 그대로 실내로 도입되는 것으로 시뮬레이션 경계조건을 설정하였다.

3. CFD 해석

3.1 해석 모델

CFD 해석을 위한 커튼월 공동주택의 기준층을 대상으로 Fig. 5와 같이 모델링하였다. 모델전체 cell의 수는 600,000개 정도 이었다. 천장에는 환기를 위한 급배기구가 설치되어 있으며 급기는 5개소, 배기는 3개소이며, 세탁실, 화장실의 출입문은 닫고 생활하는 경우가 많기 때문에 모델링은 실제 생활상태보다 불리하게 이 부분에 설치한 배기구에서의 배기는 없는 것으로 설정하고 시뮬레이션을 실시하였다.

이때, 각 배기구의 해석조건은 pressure로 설정하여 자연배기가 되는 것으로 하였다.

Fig. 5 Simulation Mesh

Table 2 Airflow & number of Diffuser

	Supply[CMH]	ea
LV	40	2
Room 1	50	1
Room 2	45	1
Room 3	45	1

3.2 해석 함수

실내의 상대습도는 실내 온도에서의 포화수증기압에 대한 실제 공기가 가지고 있는 수증기압의 비율로 계산할 수 있으며 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{RH} = (P * 100) / P_s \quad (1)$$

포화수증기압 P_s 는 Arden Buck Equation 에 의해서 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_s(T) = 6.1121 \exp \left(\left(18.678 - \frac{T}{234.5} \right) \left(\frac{T}{257.14 + T} \right) \right) \quad (2)$$

여기서, T 는 온도($^{\circ}\text{C}$)

수증기분압 p 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$p = \frac{(HP)}{\left(\left(\frac{M_w}{M_a} \right) + H \right)} \quad (3)$$

3.3 시뮬레이션 Case

시뮬레이션은 크게 시간에 따른 비정상 해석과 실내의 습기와 외부의 공기가 유입된 경우 완전히 확산을 고려한 정상해석으로 나누어 실시하였다. 두 경우 모두 시뮬레이션 실행시 외기의 온도는 -15°C 로 고정하고 전열교환기를 가동하여 환기를 실시하는 경우와 환기를 실시하지 않는 경우를 비교하였다. 환기여부에 따라 바닥의 온도를 30°C , 35°C 및 40°C 로 설정하고 실내의 거실 중앙부에서 가습을 실시하는 것으로 경계조건을 설정

하였다. 가습시 습기발생은 온도는 20℃, 23℃로 설정하였으며 상대습도는 각각 40%와 60%를 경계조건으로 이용하였으며 Fig. 6에 시뮬레이션 조건을 나타내었다. 실제 가습기를 가동할 경우에는 가습기에서 발생하는 상대습도가 80%를 넘는 경우도 있지만 시뮬레이션시 80%를 제외한 것은 예비 해석결과 실내의 상대습도가 80%를 넘는 경우에는 커튼월을 구성하는 frame, edge 및 유리창의 표면에서 결로가 100% 발생하기 때문에 제외하였다. 환기장치를 가동할 경우에는 환기를 가동하지 않은 경우와 동일하게 실내의 거실 중앙부에서 가습하고 동시에 천장에 설치된 취출구에서 외기가 가지고 있는 절대습도가 실내로 유입되는 것으로 하였다. 비정상 해석은 거실의 중앙부분에서 발생한 습기가 거실 및 각 침실로 확산되는 형태와 커튼월 부위에서 결로가 발생한 경우 환기에 의해 결로 발생을 저감시킬 수 있는 시간을 파악하기 위해 시간경과에 따른 습도를 해석하였다. 해석 조건은 바닥의 온도는 30℃, 거실 중앙부분에서 발생하는 습기의 온도 및 상대습도는 23℃, 60%, 발생속도는 2.0m/s이고 초기 조건은 실내

의 온도를 20℃, 상대습도를 80%로 하였다. 시뮬레이션은 정상해석 24case, 결로 발생시간 파악을 위한 비정상해석 2case를 하였다.

4. 결과분석

4.1 CFD 해석결과

Table 4는 바닥면으로부터 1.5미터 지점의 상대습도 시뮬레이션결과를 나타낸 것이다. 전열교 환기를 가동하는 경우는 전체 case가 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 환기를 실시하지 않고 실내에서 습기가 발생하는 경우에는 2개의 경우만을 제외하고는 결로가 발생하는 것을 알 수 있었다. 환기가 발생하지 않는 경우에도 실내의 온도가 20℃, 바닥의 온도가 35℃이고 실내에서 발생하는 습기가 20℃, 40%인 경우와동일한 조건에서 바닥의 온도를 40℃로 한 경우에만 결로가 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 따라서

Table 4 Simulation Result

Table 3 Simulation Case

Humidity	Supply Tem. [℃]	Floor Tem. [℃]	Case No.	
Outdoor Humidity + Indoor 40%, 60%	20	30	v-30-20-40 v-30-20-60	Vent
			v-35-20-40 v-35-20-60	
			v-40-20-40 v-40-20-60	
		35	v-30-23-40 v-30-23-60	
			v-35-23-40 v-35-23-60	
			v-40-23-40 v-40-23-60	
	23	30	n-30-20-40 n-30-20-60	
			n-35-20-40 n-35-20-60	
			n-40-20-40 n-40-20-60	
Indoor 40% 60%	20	30	n-30-23-40 n-30-23-60	Non Vent.
			n-35-23-40 n-35-23-60	
			n-40-23-40 n-40-23-60	
		35	n-30-20-40 n-30-20-60	
			n-35-20-40 n-35-20-60	
			n-40-20-40 n-40-20-60	
	23	30	n-30-23-40 n-30-23-60	
			n-35-23-40 n-35-23-60	
			n-40-23-40 n-40-23-60	

Humidity	Inlet Tem. [℃]	Floor Tem. [℃]	case	RH	
				Avg.	Max.
Out Door Humidity + Indoor 40% 60%	20	30	v30-20-40	20.5	47.1
			v30-20-60	23.1	55.5
			v35-20-40	21.0	51.0
		35	v35-20-60	24.3	60.6
			v40-20-40	18.5	46.9
			v40-20-60	20.9	53.2
	23	30	v30-23-40	19.1	49.5
			v30-23-60	22.0	60.2
			v35-23-40	16.9	46.9
		35	v35-23-60	19.4	54.5
			v40-23-40	17.3	50.7
			v40-23-60	19.9	54.3
Indoor 40% 60%	20	30	n30-20-40	42.1	88.2
			n30-20-60	63.1	133.5
			n35-20-40	49.7	88.1
		35	n35-20-60	75.5	135.1
			n40-20-40	37.2	89.6
			n40-20-60	55.8	134.7
	23	30	n30-23-40	44.1	107.6
			n30-23-60	66.3	161.9
		35	n35-23-40	33.4	107.8
			n35-23-60	49.9	162.3
		40	n40-23-40	39.2	104.2
			n40-23-60	58.9	154.3

실내에서 환기를 실시하지 않을 경우에는 바닥의 온도를 높여서 커튼월의 표면온도를 높이는 것이 필요할 것으로 판단한 할 수 있다.

Fig. 6~Fig. 9는 바닥온도에 따른 상대습도 비교결과를 나타낸 것이다. 각 그림에서 상대습도 100%를 넘으면 커튼월을 구성하는 유리 또는 Frame에 결로가 발생한 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 6은 바닥면의 온도가 30℃인 경우 전열교환기에 의해 환기를 실시하는 경우와 환기를 실시하지 않는 경우를 비교하여 나타낸 것이다. 거실의 중앙부에서 가습되는 공기의 온도는 20℃와 23℃ 이었으며 이때 상대습도는 각각 40%, 60%인 경우를 비교한 것이다.

환기를 실시하는 경우에는 각 case 모두 실내의 커튼월 표면에서 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났으나 환기를 실시하지 않는 경우에는 가습하는 공기의 온도가 20℃, 상대습도 40%인 경우에만 결로가 발생하지 않고 나머지 환기를 실시하지 않는 3case는 모두 결로가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 실내의 바닥온도를 일정하게 하고 비교한 결과 환기를 실시하면 커튼월의 실내측 표면에 결로가 발생하지 않으나, 환기장치를 가동하지 않으면 결로가 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 실내의 표면 결로를 방지하기 위해서는 환기에 의한 방법이 효과적인 것으로 판단할 수 있다. 또한 실내의 동일한 바닥온도인 30℃인 경우 환기유무에 따른 실내의 온도분포는 바닥면으로부터 1.5m 떨어진 지점에서의 온도 분포는 Fig. 7과 같다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 바닥의 온도가 동일하면 가습, 환기에 따른 온도 차이는 크게 나타나지 않았다.

Fig. 8은 바닥의 온도를 35℃로 설정한 경우의 환기 가동에 따른 실내의 상대습도를 각 case 별로 비교하여 나타낸 것이다. 실내의 바닥면 1.5m 지점의 최대 상대습도는 바닥면의 온도가 30℃인 경우와 비교하면 큰 차이는 없지만 평균값의 경우에는 바닥면의 온도가 35℃인 경우에 상대습도가 10% 정도 낮아지는 것을 알 수 있다. 바닥면의 온도를 올려서 실내의 평균온도를 높이면 커튼월 표면에서의 표면결로 발생이 저감 될 것으로 판단된다. 또한 실내의 최대 상대습도는 환기

Fig. 6 Relative Humidity(30℃,non ventilation)

Fig. 7 Indoor temperature(30℃,non ventilation)

Fig. 8 Relative Humidity(35℃,non ventilation)

Fig. 9 Indoor temperature(35℃,non ventilation)

Fig. 10 Relative Humidity(40℃, ventilation)

Fig. 11 Relative Humidity(Ventilation on/off)

Fig. 12 Relative Humidity

장치를 가동하는 경우가 가동하지 않는 경우보다 매우 낮은 값을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 온도분포를 나타낸 것으로 바닥온도가 30℃인 경우와 동일하게 각 case 별로 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 실내의 표면결로를 방지하려면, 난방 온도를 높이고, 환기장치를 가동하는 것이 효과적인 방법인 것으로 판단

할 수 있다.

Fig. 10은 바닥의 온도를 40℃로 설정한 경우의 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 실내의 상대습도 최고값은 바닥온도에 따라 큰 영향은 받지 않는 것을 알 수 있고, 평균값은 바닥의 온도가 높아질수록 그 값이 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.

세대내의 환기장치를 가동한 경우와 가동하지 않은 경우, 바닥면 1.5m의 최대 상대습도를 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 동일한 바닥온도, 가습조건에서 2개의 case가 모두 결로가 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 그러나 최대 상대습도의 값은 환기장치를 가동하지 않은 경우에는 88.2%, 환기장치를 가동한 경우에는 47.1%로 나타나 차이가 40% 정도 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 12는 가습되는 공기의 습도를 60%로 한 경우의 환기장치 가동시와 미가동시를 비교한 것으로 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 환기장치를 가동한 경우는 상대습도가 55.5%로 나타났으나 환기장치를 가동하지 않으면 상대습도가 100%를 넘어서 커튼월의 실내측 표면에서 결로가 발생하는 것을 알 수 있다.

4.2 TDR에 의한 해석결과

TDR (Temperature Difference Ratio)은 정상 상태에서의 표면결로 판단의 기준으로 하고 있는 것으로 온도저하율(TDR, 국내의 KS규격에서는 Px)이라고 하며 유럽의 각국에서 결로방지를 위한 설계기준으로 적용하고 있다. TDR은 실온과 외기온의 차이에 대한 실온과 내벽 표면온도의 차이비율을 이용하는 것으로 온도저하율은 정상 상태 조건에서는 실내외 온도가 달라지더라도 벽체 열저항이 동일할 경우 항상 일정하게 유지된다.

$$TDR = (T_i - T_m) / (T_i - T_o) \quad (4)$$

TDR : 온도저하율

Tm : 실내표면온도(℃)

To : 외기온도(℃)

Ti : 실내온도(℃)

TDR은 단열상태가 우수할수록 실내표면온도는 실내온도와 가까워지므로 “0”에 수렴하게 되며, 단열상태가 좋지 않을수록 외기온도에 접근하게 되어 “1”에 수렴하다는 가정에 근거하고 있다.

본 논문에서는 TDR을 산출하기 위하여 측정을 실시하였다.

측정은 최소 24시간을 실시하였으며 TDR 산출은 외부의 일사의 영향을 받는 07시~19시 사이의 값을 제외하고 산출하였다.

각 부위별 TDR을 비교한 결과 유리창의 TDR이 다른 부위보다 비교적 우수하며, Gasket 부위가 가장 취약한 것으로 나타났다. 또한 Edge 부위가 Frame 부위보다 낮게 나타났는데, 이는 Frame의 경우 Edge 부위 보다 실내측에 가깝게 있기 때문인 것으로 판단된다. 본 논문에서 결로 판정용 Tool을 작성시에는 각 부위의 TDR은 매시각별 측정에 의해서 구한 TDR을 평균치하여 사용하였다.

Fig. 16은 표준기상데이터를 이용하여 커튼월 각 부위의 표면결로 발생여부를 예측한 것이다. 결로 계산은 실내의 온도와 습도를 20℃, 50%로 한 경우를 대상으로 실측에서 구한 TDR을 이용하여 계산을 실시하였다. 계산결과 표준기상데이터에 의한 결로 발생 확률은 20℃, 50%인 경우에는 Frame에서는 연간 2시간, Gasket은 8시간 및 Edge는 23시간으로 나타났다. 유리창의 center 부근에서는 결로가 발생하지 않는 것을 알 수 있었다.

Fig. 17은 실내의 온습도가 20℃, 60%인 경우의 연간 결로 발생 확률을 나타낸 것으로 Frame의 경우는 632시간, Gasket은 1,119, Edge는 943시간으로 나타났으며 유리창의 center 부위는 71시간이 결로가 발생하는 것을 알 수 있었다. Gasket 부위가 가장 높은 결로발생 확률을 보이는 것은 TDR이 다른 부위보다 저하되었기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 결로 발생 판단 Tool 작성

커튼월을 구성하는 각 부위별 결로발생 판정 방안은 Frame, Edge, gasket 및 유리창을 대상으로 작성하였다. 온습도 범위 및 부위는 Table 5와

Fig. 13 Relative Humidity

Fig. 14 Temperature

Fig. 15. TDR Distribution

Fig. 16. Condensation probability (20℃, 50%)

Fig. 17. Condensation probability (20°C, 60%)

Table 5 Simulation Case

	Outdoor Tem.[℃]	Indoor Tem [℃]	Indoor RH [%]
Frame	-20~0	18	40,50,60, 70,80,90
Edge		20	
Gasket		22	
Window		24

Fig. 18 Condensation checking Tool (Frame)

Fig. 19 Condensation checking Tool (Edge)

같으며 계산 시에는 실내에서의 습기발생은 정해진 상대습도이외에는 없는 것으로 하였으며, 환기가 없고 외부에서 유입되는 공기에 의한 가습, 감습은 계산에서 제외하였다.

Fig. 18은 실내온도가 18°C인 경우 외부의 온도가 -20~0°C인 경우 실내의 상대습도가 40~90%인 경우의 Frame에서의 결로 방안을 작성한 것이다. 그림에서 x축에서 외부의 온도를 찾고, 실내의 상대습도와 만나는 점을 찾아서, y축의 값을 읽어서 100% 보다 크게 나오면 결로가 발생하는 것이고, 100% 보다 낮은 경우는 결로가 발생하지 않는 것이다.

또한 Fig. 19는 실내온도가 22°C인 경우 커튼월을 구성하는 부위인 edge 부위에서의 외기온도와 실내의 상대습도를 이용하여 결로를 판정하는 방안을 나타낸 것이다. x축에서 실외의 온도를 체크하고 그래프에서의 곡선에서 실내의 상대습도를 체크한 후 두 값이 만나는 지점에서의 y축의 값이 100%를 넘어가면 그 부위에서 결로가 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 18, 19와 유사한 형태의 결로발생 판단 Tool은 커튼월을 구성하는 Frame, Edge, Gasket 및 Window glass를 대상으로 각각 작성하였으며 각 부위별로 실내의 온도는 18°C~26°C에서 2°C 간격으로 각 5개씩 작성하였다. 또한 각 Tool에서 실외의 온도범위는 20°C~0°C이며, 실내의 상대습도는 40%에서 90%까지로 10%간격으로 작성하였다.

5. 결론

결로 현상은 실내외의 온도, 습도에 관련이 있어 건물의 단열성뿐만 아니라 실내에서 생활하는 입주자의 생활습관과도 밀접한 관계가 있지만 국내의 법적기준이 미비하여 분쟁이 발생하는 경우가 많이 있다.

따라서 논문에서는 송도에 위치한 커튼월 고층 공동주택을 대상으로 실내의 온습도 및 실외의 온도만을 이용하여 간단하게 커튼월 각 부위의 결로발생 여부를 판단할 수 있는 방안을 마련할 목적으로 연구를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시뮬레이션 결과 전열교환기를 가동하지 않는 경우에는 12case 중 3case만 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 이때의 설정 조건은 바닥의 온도가 30℃, 35℃와 40℃인 경우 가습되는 공기의 온도와 상대습도가 20℃, 40%인 경우였다.
- 2) 환기를 실시하는 경우에는 모든 case가 결로가 발생하지 않는 것으로 나타나 시뮬레이션을 실시한 경계조건에서는 환기에 의해 커튼월의 실내측 표면에서의 표면결로를 방지할 수 있는 것을 알 수 있었다.
- 3) 비정상 CFD 해석결과 환기장치 가동에 의해서 결로를 방지하는 경우, 커튼월을 구성하는 각 부위에서 최대 상대습도가 185% 인 경우에는 전열교환기 가동 후 30분이 경과하면 커튼월에서 결로가 없어지기 시작하는 것을 알 수 있었다. 또한 5,160초(86분)가 경과하면 커튼월의 실내측 전체부위에서 표면결로를 제거할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 커튼월을 구성하는 전체부위에서 동시에 표면결로가 발생하는 경우는 거의 없고, frame과 edge 부위에서 주로 발생하므로 이 부위에서 결로가 발생한 시점(3,000초)부터 표면결로를 완전히 없애는 것을 고려하면, 36분 이상 전열교환기를 가동하여 환기를

실시하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 임정희, 최석규, 김광호, 김병선, 고층 아파트 단위주거의 커튼월 결로 예측, 대한건축학회 논문집, 2007년 3월, pp.205~214.
2. Kim,B.S., Park,S.H, Kim.K., The Prediction Analysis of the Condensation in High-rise Residential Buildings, Proceedings of the 5th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia, pp. 533-537., matsue, Japan.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Arden_Buck_equation
4. 윤용진(1993), 불균등 복사실내공간의 온열환경 평가에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문.
5. 윤용진, 박상동, 손장열(1994), 복사난방시 불균등복사장이 온열감에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 4(2),pp.139~142.
6. 안병욱(1997), 온돌난방공간과 온열환경, 한국생활환경학회지, 4(3), pp. 1-12.
7. 정광섭(1998), 온돌난방에서 바닥표면온도의 변화에 따른 인체의 국부적 온열감 평가에 관한 연구, 한국생활환경학회지, 5(2), pp.33~38.
8. 이철구(2008), 실내열환경의 최근 연구동향에 관한 고찰, 한국생활환경학회지, 15(2), pp.213~223.