

제습냉방 시 제습부하량의 산정 방식 소개

최근 복사냉난방, 칠드빔시스템, 외기전담 공조기 등이 건축물에 적용되고 공동주택의 에너지 절감과 실내 쾌적을 고려하여 제습냉방에 대한 관심이 많아지고 있다. 이에 제습부하량을 선정할 수 있는 여러 가지 방식에 대해 소개하고자 한다.

서론

최근 에너지 절약과 탄소 저감 문제가 전 세계적인 이슈로 대두되면서 건축 분야에서도 에너지 절약적인 기법에 대한 관심이 증가하고 있으며 특히 건축물에서 에너지 소비의 많은 부분을 차지하고 있는 공조 부문에서 에너지를 절약을 위해 많은 관심을 기울이고 있다.

일반 건축물에서는 기존의 전공기(내외주부 공조기에 의한 공조) 및 수공기(내주부 공조기에 의한 공조+외주부 팬코일에 의한 공조)방식에 비해 에너지 절약적인 측면에서 유리하다고 인정받고 있는 복사냉난방시스템, 천장빔(chilled beam)시스템, 외기전담공조시스템(dedicated outdoor air systems, DOAS)이 유럽뿐만 아니라 미국에서 많이 사용되고 있다.

그리고 공동주택에서는 CHP, 지역열원을 이용한 냉방 적용 가능성에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.

그래서 이러한 외기전담공조시스템과 공동주택의 냉방에서 잠열, 제습부하를 어떻게 산정하고 처리할 것인지에 대해서 고려하여야 한다.

따라서 본고에서는 제습장치 설계에서 있어서의 참고문헌 1, 2번의 문헌고찰을 통해 제습부하(dehumidification loads, moisture loads) 선정

〈표 1〉 ASHRAE 기상 자료

지역	Cooling DB/MCWB		Evaporation WB/MCDB		Dehumidification DP/HR/MCDB		
	0.4%		0.4%		0.4%		
	DB	MCWB	WB	MCDB	DP	HR	MCDB
서울	32	24.4	25.8	29.8	26.6	22.3	29.2

시 고려사항에 대해서 소개하고자 한다.

실내 온습도 조건

ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) Fundamental 1997년 이후부터 2013년까지 기상자료를 보면 냉방 시에는 냉방(Cooling), 증발(Evaporation), 제습(Dehumidification) 등으로 구분하여 설계자가 실외 온습도 등을 결정하도록 되어 있다. 기상 데이터는 일년 365일과 1일 24를 곱하여 8,760시간을 토대로 0.4%(8,760×0.004=35시간), 1%(8,760×0.01=88시간), 2%(8,760×0.02=175시간)를 각각 초과하는 시간의 데이터를 제외한 자료를 이용하여 온습도를 결정하였으므로 설계자가 판단하여 0.4, 1, 2%(기존의 TAC로 생각하면 됨)를 적용하면 될 것이다. 그리고 공조기의 냉방 시에는 Cooling DB(Dry bulb temperature, °C)/MCWB(Mean coincident wet bulb temperature, °C) 냉각탑 선정시에는 Evaporation WB(Wet bulb temperature, °C)/MCDB(Mean coincident dry bulb temperature, °C), 제습부하 및 외조기 선정시에는 Dehumidification DP(Dew-point temperature, °C)/MCDB(Mean coincident dry bulb temperature, °C) and HR(Humidity ratio, g/kg), 항목에서 각각 실외 온도 조건을 선택하면 된다.

표 1은 참고문헌 1을 참조하여 작성한 서울기상자료로 위의 설명에서 나와있는 각종 온도 및 절대습도를 나타낸 것으로 냉방 시 고려하는 냉방 조건의 경우 습공기선도에서 절대습도를 구하면

16.13 g/kg이 되며, 제습부하를 고려할 경우 절대습도는 표 1과 같이 22.3 g/kg으로 냉방을 고려할 때보다 외기의 절대습도가 높다.

참고문헌 4에는 우리나라 약 50개 지역의 기상자료가 나와있으므로 참조하면 되겠다. 참고로 제습부하를 선정할 경우 냉방 시의 기상자료(피크 건구온도 또는 습구온도)를 적용하면 제습부하가 많이 줄어들게 되므로 제습 시의 기상자료(피크 노점온도)를 이용할 필요가 있다. 냉방부하는 피크 노점온도보다는 피크 건구온도 시에 발생되며 피크 건구온도의 조건보다는 피크 노점온도의 조건에서 절대습도가 20~40% 더 높아지는 경향이 있다.¹

제습부하

참고문헌 1에서는 제습부하를 인체(people), 환기(ventilation), 침기(infiltration), 문(doors), 마감재(products), 습표면(wet surface), 투습(vapor permeation), 급탕부하(domestic loads)의 총 8가지로 구분하여 각각 그 부하를 구하는 방식에 대해 기술하고 있다. 참고문헌 2에서는 제습부하를 투습(permeation through floors, walls and ceiling), 인체(evaporation from peoples clothing, breath and perspiration), 마감재(desorption from moist products, including packaging materials), 습표면(evaporation from wet surfaces or open tanks), 연소(generation from combustion-open flame in the

1 The Dehumidification Handbook, p. 63.

space), 침기(air infiltration through leaks, holes and door openings), 환기(fresh air ventilation from outside the space)의 총 7가지로 구분한다. 참고문헌 3의 11장에는 참고문헌 1에서 설명하는 제습부하에 대하여 기술하고 있으며 동일저자로 그 내용이 유사하다. 급탕부하와 연소를 제외하고는 참고문헌 1, 2에서 규정하는 제습부하는 거의 비슷하다. 따라서 본고에서는 참고문헌 1을 기본으로 제습부하에 대해서 소개하고자 한다.

인체에 의한 제습부하

냉방부하에서는 인체의 현열과 잠열을 고려하지만 제습부하에서는 호흡을 통한 수증기(한번 호흡 시 37°C 40.4 g/kg 방출), 땀을 통한 수분 증발 그리고 의복을 통해서 흡수된 수분의 방출 등을 고려하게 된다.

인체에 대한 제습부하 산정 시 인원수 산정은 부하계산과 같이 계산하면 되고 1인당 현열/잠열량과 같이 사람의 활동량에 따른 호흡과 땀을 통한 제습부하는 표 2와 같이 나타난다.

인체에 대한 제습부하는 인원수와 표 1에 따른 제습부하량을 곱하여 구한다. 의복을 통한 제습부

〈표 2〉 호흡과 땀을 통한 제습부하

활동	장소	제습부하(kg/(h인))
정차	극장	0.05
사무	사무소	0.09
작업	댄스홀	0.24
운동	볼링	0.38

〈표 3〉 ASHRAE 기준 최소외기량

대상공간	ASHRAE Standard 62.1-2010	
	인당 필요외기량 (L/s·인)	면적당 필요외기량 (L/s·㎡)
사무실	2.5	0.3
학교	3.8	0.3
상점	3.8	0.6

하는 대부분은 첫 10분 동안 방출되는데 본고에서는 논하지 않는다.

환기에 의한 제습부하

환기량을 산정하기 위해 참고문헌 1에서는 신선 외기량, 배기에 의해서 외부로 배출된 환기량만큼 보충해 줄 수 있는 급기량, 건축물의 양압유지 등에 의해서 발생하는 환기량(10%의 환기량을 제습부하에 추가하면 충분함²⁾) 등을 고려한다. 표 3에 인원수와 면적을 고려한 각각의 최소 외기량이 소개되어 있으며 환기에 의한 제습부하는 식 (1)로 구한다. 참고로 환기량은 인원수와 면적에 의한 환기량 모두를 구하여 각각의 제습부하를 산정한다.

$$Wv = Q \times (60 \times d) \times (M_1 - M_2) \quad (1)$$

여기서, Wv : 환기에 의한 제습부하(kg/h)

Q : 환기량(l/s)

d : 공기밀도(kg/l·s, 표준공기밀도 0.072 kg/l·s)

M_1 : 실외절대습도(kg/kg)

M_2 : 실내절대습도(kg/kg)

침기에 의한 제습부하

건축물의 침기량은 건물내외의 압력차에 의해서 발생되는데 이러한 압력차를 계산하는 것이 쉽지는 않다. 그래서 ASHRAE Fundamental 1997년도 25장에서는 표 4와 같이 업무용 건축물에 대해서 면적당 침기량을 산정하도록 하였으며, 식 (2)를 이용하면 침기에 의한 제습부하를 선정할 수 있다.

그리고, 문헌 1에서는 리턴덕트의 침기량에 대

2 Humidity control design guide, p. 169.

〈표 4〉 ASHRAE 기준 침기율

벽체 기밀성	ASHRAE Fundamental 1997
	면적당 침기율 l/s·m ²
우수(tight)	0.5
평균(average)	1.5
미만(loose)	3.0

해서도 SMACNA(Sheet Metal & Air Conditioning Contractor' National Association) 자료를 참조하여 제시하고 있으나 본고에서는 소개하지 않는다.

$$W_i = A \times l_r \times (60 \times d) \times (M_1 - M_2) \quad (2)$$

여기서, W_i : 침기에 의한 제습부하(kg/h)

A : 풍압을 받는 벽체의 면적(m²)

l_r : 침기율(l/m²·s)

d : 공기밀도(kg/l·s, 표준공기밀도 0.072 kg/l·s)

M_1 : 실외절대습도(kg/kg)

M_2 : 실내절대습도(kg/kg)

출입문에 의한 제습부하

출입문이 개폐됨에 따라 외기의 습공기가 건축물 안으로 들어오게 된다. 이러한 습공기량은 출입문의 개구 면적, 출입문을 열어 놓는 시간, 실내외 압력차 등에 의해서 변한다. 초고층 건물과 같이 높이가 높을수록 연돌효과 등에 의해서 공기량이 많은 영향을 받게 되므로 이러한 현상도 주의 깊게 고려해야 한다.

건축물에 현관이 있는 경우는 식 (3)에서 보듯이 풍속이 필요가 없으며 현관 부피의 어느 정도가 들어오는지 가정을 하여 제습부하를 구한다.

그리고 출입문에 에어커튼(air curtain)을 설치할 경우 제조사에서 침기량에 대한 자료를 제공할

수 있으면 반영하지만 아직까지는 여기에 대한 연구는 미흡한 편이다.

$$W_{vb} = n \times v \times f \times d \times \frac{M_1 - M_2}{2} \quad (3)$$

여기서, W_{vb} : 현관에 의한 제습부하(kg/h)

n : 개폐횟수(회/h)

v : 현관 부피(l)

f : 환기율(% , 소수점으로 표현)

d : 공기밀도(kg/l·s, 표준공기밀도 0.072 kg/l·s)

M_1 : 실외절대습도(kg/kg)

M_2 : 실내절대습도(kg/kg)

재료 및 포장재에 의한 제습부하

벽체(콘크리트, 벽돌), 마감재, 책, 종이 같은 재료와 판지 같은 포장재는 습할 때 공기중의 습기를 흡수하고 건조할 때 공기중으로 습기를 방출하며 재료의 특성에 따라서 흡수 및 방출할 수 있는 습기량이 다르다. 재료에 의한 제습부하들은 지속적으로 발생하지 않고 실내외 온습도 조건에 따라서 주기적으로 발생한다. 소매점과 창고에서는 포장재에 대한 제습부하를 고려하여야 하지만 이러한 재료 및 포장재에 의한 제습부하는 작아서 설계자는 제습부하를 고려할지의 여부를 판단해야 한다. 그리고 외기냉방(free cooling) 시 상대습도가 높은 외기가 들어온다면 실내의 재료 등에 흡수되어 추후 방출될 수 있으므로 이러한 점을 고려하여야 한다(식 (4)).

$$W_{pr} = \frac{Fr}{24} \times (MC_1 - MC_2) \quad (4)$$

여기서, W_{pr} : 재료 및 포장재에 의한 제습부하(kg/h)

Fr : 환기량(kg/day)

MC_1 : 높은 습도 상태에서 평형을 이루는 포장재의 절대습도(kg/kg)

MC_2 : 낮은 습도 상태에서 평형을 이루는 포장재의 절대습도(kg/kg)

습표면에 의한 제습부하

수영장, 스파, 정지 연못, 물걸레로 청소하는 바닥, 세척된 카펫 등이 설치된 공간에서는 습표면으로부터 물이 증발하여 발생하는 제습부하를 고려하여야 하며 식 (5)는 카펫에 적용할 수 있는 공식이다. 그리고 수영장, 월풀, 스파 등에 대한 제습부하는 ASHRAE Handbook에 많은 자료가 있으므로 여기서는 소개하지 않는다(표 5).

$$Wcl = A \times Er \quad (5)$$

여기서, Wcl : 카펫 습표면에 의한 제습부하(kg/h)

A : 습표면적(m^2)

Er : 증발율(kg/ m^2 /h)

투습도에 의한 제습부하

일반적으로 습공기는 수증기압이 높고 건공기는 수증기압이 낮다. 수증기는 실내외 압력차에 의해서 이동하는데 수증기압이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하고 압력차가 클수록 빠르게 이동한다. 재료의 투습도는 다음과 같으며 단위 두께 재

〈표 5〉 온수를 이용한 카펫 세탁시 증발율

장비	탈수율	평균증발율(kg/h m^2)	
		소규모 공간	대공간
트럭 마운트 제품	50%	0.25	0.10
	85%	0.05	0.02
휴대용 제품	50%	0.30	0.10
	85%	0.10	0.03

료 양측에 1 Pa의 수증기압 차이가 있을 경우 면적 1 m^2 당 1 초당 투과하는 수증기량(나노그램)으로 단위는 $ng/s \cdot m^2 \cdot Pa$ 이다. 일반적으로 벽체 투습에 의한 제습부하는 적기 때문에 설계자는 투습에 의한 부하를 고려할지 판단하여야 하며 식 (6)에 의해서 구할 수 있다(표 6).

$$Wvp = A \times Perm \times (Ph - Pd) / 1,000 \quad (6)$$

여기서, Wvp : 투습에 의한 제습부하(kg/h)

A : 벽체 면적(m^2)

$Perm$: 투습도($ng/s \cdot m^2 \cdot Pa$)

Ph : 실외 수증기압(kPa)

Pd : 실내 수증기압(kPa)

건축물 용도별 제습부하

참고문헌 1에는 건축물 용도별로 제습부하가 분석되어 있으며 표 7은 그것을 정리한 것이다. 일반적으로 환기, 침기, 인체 및 출입문이 대부분의 제습부하를 차지하고 있으며 용도별로 병원에서 가장 큰 제습부하가 발생한다.

결론

지금까지 제습부하량 산정에 대해서 서술하였

〈표 6〉 건축물 재료의 투습도

재료	두께(mm)	투습도($ng/s \cdot m^2 \cdot Pa$)
콘크리트	203	23
벽돌	100	46
콘크리트 블럭	203	137
석고 보드	10	2860
경질섬유판	3	286
나무(사탕소나무)	25	23 to 309

〈표 7〉 건축물 용도별 제습부하(kg/h)

구분	학교	사무소	호텔	식당	박물관 도서관	병원	노인요양원	기숙사
인체	3.3	16.7	5.8	20.9	19	22	2.7	12.7
투습도	0.09	0.5	0.36	0.27	1.6	3	1.5	0.7
환기	9.2	91.3	76.5	58.7	104	1,113	148.5	35.8
침기	2.1	13.9	13.1	5.0	13.6	15	20.9	8.6
출입문	0.0	4.9	5.6	2.7	6.8	13	9.1	1.8
습표면	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
재료 및 포장재	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
급탕	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	14.69	127.3	101.36	87.57	145	1,166	182.7	59.6

으며 이런 제습부하 중 인체, 환기, 침기 및 출입문에 의한 부하가 주류를 이룬다. 물론 나머지 제습부하들도 고려를 해야 하겠지만 이런 부하들을 산정할 수 있는 계산식에 적용할 값들은 가정을 할 경우가 많으므로 적용 시 신중을 기해야 한다.

2016년 ASHRAE Handbook 62장에는 습기를 제어할 수 있는 HVAC Solution을 제공하므로 참조하면 좋을 것 같다.⁶⁾

외기전담공조기 및 덥고 습한 지역에서는 최대 실내 노점온도를 12.8℃ 이하로 유지하고 피크 외기노점온도를 적용하여 제습부하를 산정하며 외기노점온도가 12.8℃ 이상일 경우에는 실내를 양압으로 유지한다. 보다 자세한 내용은 참고문헌 6을 참조하기 바란다.

참고문헌

1. Lew Harriman, Geoff Brundrett, Reinhold Kittler, 2008, Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE.
2. Lew Harriman III, 2002, The Dehumidification Handbook.
3. Lew Harriman III, Joseph W. Lstiburek, 2009, The ASHRAE Guide for Buildings in Hot&Humid Climate, ASHRAE.
4. ASHRAE HANDBOOK, 2013, Fundamental.
5. ASHRAE Standard 62.1, 2010.
6. ASHRAE HANDBOOK, 2016, HVAC Application. 