

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

바닥급기 시스템의 거주역 공조를 위한 설계 기법 및 에너지 절감 효과에 관한 연구

유기형*, 송규동**

*한양대학교 대학원 건축공학과(raytrace@kict.re.kr),

**한양대학교 건축공학과(kdsong@hanyang.ac.kr)

A Study on Design Techniques and Effectiveness in Energy Saving of Occupied Zone in UFAD System

Yu, Ki-Hyung*, Song, Kyoo-Dong**

*School of Architecture, Graduate School, Hanyang University(raytrace@kict.re.kr),

**School of Architecture, Hanyang University(kdsong@hanyang.ac.kr)

Abstract

Underfloor air distribution system is generally known to be more energy-saving and provide more comfort as compared with overhead air distribution system.

In practice, however, some buildings to which underfloor air distribution system is applied have less effectiveness in saving energy and are getting dissatisfaction with cold draft caused by wind velocity of air distribution in terms of comfort. It is judged that such problems are due to failure to consider properties of underfloor air distribution system in applying it and identical design with the design standards for the existing overhead air distribution system.

This study aims at introducing an air conditioning type of the occupied zone for underfloor air distribution system to see its effectiveness in saving energy for air conditioning of the occupied zone through a comparative simulation with the existing air conditioning type.

Keywords : 바닥급기시스템(Underfloor Air Distribution System), 에너지 사용량(Energy Consumption)

접수일자 : 2007년 7월 27일, 심사완료일자 : 2007년 9월 10일

교신저자 : 유기형(raytrace@kict.re.kr)

기 호 설 명

- g : 공기 밀도(kg/m³)
- C_p : 공기 비열(Wh/kg·°C)
- T_r : 거주역 공조 방식 환기 온도 (°C)
- T_s : 실내 설정 온도 (°C)
- T_u : 비거주역 공간 온도 (°C)
- T_p : 비거주역 상승 온도 (°C)
- Q_L : 조명 발열량(Wh)
- V_1 : 비거주역 체적 (m³)
- V_2 : 급기 체적 (m³)

1. 서 론

바닥급기 시스템은 일반적으로 천장급기 시스템에 비해 에너지 절약적이며 쾌적하고 층고 절감에 유리한 것으로 알려져 있다. 그러나 바닥급기시스템이 적용된 국내 일부 건물에서는 장비 용량 산정시 거주역 공조 등에 대한 검토가 부족해 에너지 절약 효과가 거의 없으며 쾌적성 측면에서도 낮은 급기 온도 등으로 인해 콜드드래프트에 대한 불만이 나타나고 있는 실정^{1),2)}이다.

위와 같은 문제점은 바닥급기 시스템 적용시 그 특성을 고려한 설계기준에 의해 설계되고 시공되어야 하나 아직까지 바닥급기 시스템 설계시 장비 용량 산정 등에 있어 기존 천장급기 시스템에서 사용하던 설계기준이 사용되고 있기 때문이다.

특히, 바닥급기 시스템을 통해 에너지를 절감하기 위해선 거주역 공조에 대한 개념이 설계에 반영되어야 하나 기존에는 천장 급기 시스템과 동일한 개념으로 설계가 되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 바닥급기시스템(바닥급기 + 천장 환기) 설계에 필요한 여러 설계 기준 중에서 장비 용량 산정을 위한 습공기 선도 프로세스와 환기 온도 계산 방법에 대해 제시하고 개선된 방법으로 설계된 거주역 공조의 바닥급기 시스템과 기존의 전체 공조의 바닥급기 시스템의 에너지

사용량을 에너지 시뮬레이션을 통해 검토하여 거주역 공조의 에너지 절감 효과를 알아보고자 한다.

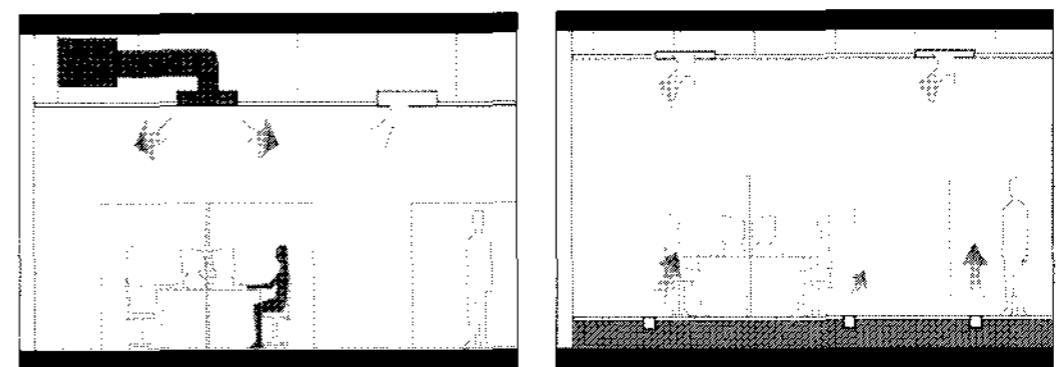
여기서, 외주부는 동절기 결로 방지, 드래프트 방지 등을 위해 거주역 공조가 아닌 전체 공조가 되어야 하므로 설계 기준이나 에너지 시뮬레이션은 내부존을 중심으로 수행되었다.

2. 예비적 고찰

2.1 바닥급기 시스템 공조 특성

일반적인 천장급기 시스템은 그림 1의 (가)와 같이 상부에서 토출되어 실내 공기를 완전 혼합하여 실내 전 공간에 대해 공조하는 방식이고 바닥급기 시스템은 그림 1의 (나)와 같이 바닥 하부 플레넘을 이용해 토출한 후 상부로 환기하는 방식이다. 여기서 바닥급기 시스템은 온도 성층화를 이용해 거주역 공간만 공조하는 방식으로 거주역만 공조를 하는 바닥급기시스템이 천장급기시스템에 비해 냉난방 부하가 적게 발생한다. 여름철을 예로 들 경우, 냉방설정온도가 26°C라면 천장급기시스템은 실내 전 공간을 26°C로 유지하여야 하나 바닥급기시스템에서는 거주역은 26°C로 유지하고 비거주역은 이보다 높은 온도로 유지되므로 냉방 부하가 그만큼 작아지게 된다.

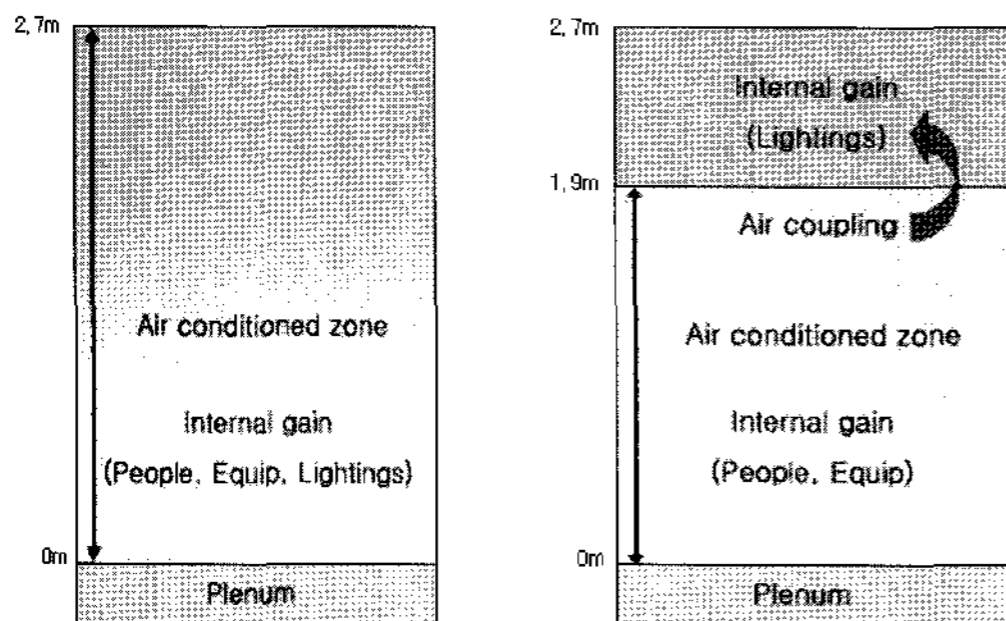
그러나, 사전 연구¹⁾에서 조사된 일부 건물에서는 실제 설계시에 이러한 거주역 공조개념이 반영되어 있지 않아 에너지 절감 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.



(가) 천장급기 시스템

(나) 바닥급기 시스템

그림 1. 급기시스템 개념도



(가) 전체 공조 부하 (나) 거주역 공조 부하

그림 2. 부하 분포

그림 2는 전체 공조와 거주역 공조시의 실내부하이다. 그림 2에서 보면 전체 공조시에는 실내 발열 요소인 인체, 기기, 조명 모두가 부하로 작용하는데 반해 거주역 공조시에는 인체, 기기는 부하로 작용하지만 조명 발열은 크게 대류열과 복사열로 나누어 대류열은 비거주역에, 복사열은 거주역에 영향을 주는 것으로 가정하였다. 일반적으로 형광등 복사열은 30%⁵⁾ 내외이나 일부 안전율을 고려하여 조명 발열 중 40%는 복사열로 거주역의 실내 부하로 작용하고 60%는 비거주역의 부하로 가정하는 것으로 하였다.

2.2 습공기 선도 프로세스

거주역 공조 방식이 전체 공조 방식에 비해 에너지 절약적인 이유는 첫째, 위에서 언급했듯이 거주역 공간만 공조를 하기 때문이고 둘째, 거주역을 거친 후 다시 공조기로 돌아가는 환기/배기 온도가 전체 공조 방식보다 높기 때문이다.

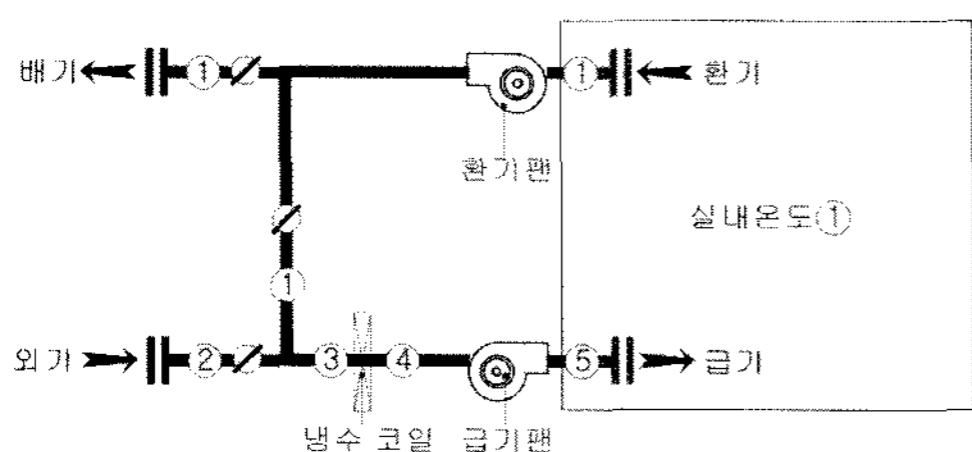


그림 3. 전체 공조 프로세스

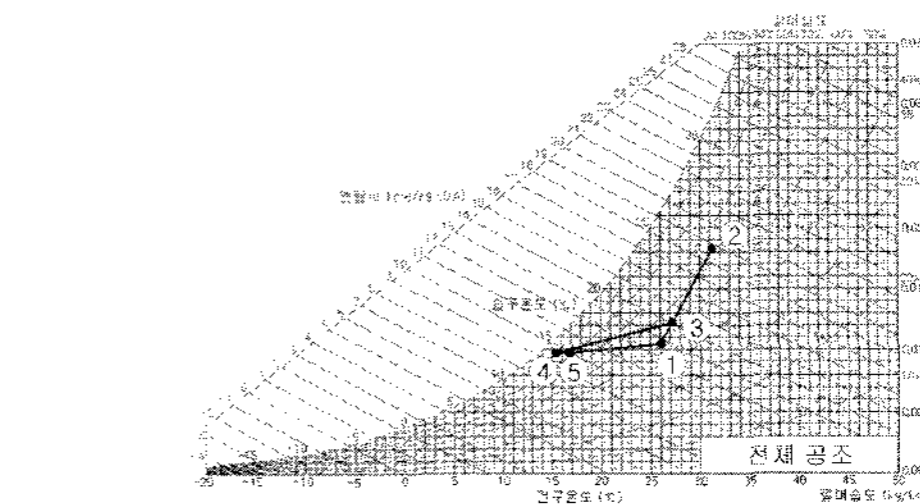


그림 4. 전체 공조 습공기 선도 프로세스

그림 3과 그림 4는 전체 공조 방식과 습공기 선도 프로세스이다. 그림에서 보면 실내공기는 일부는 배기(①)되고 일부는 환기(①)되며 환기된 공기는 외기(②)와 혼합(③)된다. 혼합된 공기는 냉수 코일을 지난 후 냉각(④) 된다. 냉각된 공기는 급기팬을 지나면서 일부 온도가 상승된 후 실내로 급기(⑤)된다. 프로세스에서 보듯이 외부로 배기되는 공기는 실내 온도와 동일한 온도로 배기된다.

거주역 공조 방식과 습공기 선도 프로세스는 그림 5, 6과 같은데 그림에서 보면 전체 공조와 유사하나 가장 큰 차이점은 환기/배기(①)되는 공기의 온도가 실내 온도(①)보다 다소 높다는 것이다. 이는 실내 온도가 환기되며 조명 발열로 인해 온도가 상승하기 때문이다. 따라서, 전체 공조에서는 조명 발열 전체를 냉수 코일을 통해 제거해야 하나 거주역 공조에서는 조명 발열 일부를 바로 배기시키므로 그만큼 에너지 절감이 가능하며 조명 발열이 크면 클수록, 외기량이 많으면 많을수록 거주역 공조에 의한 에너지 절감 효과가 크다고 할 수 있다.

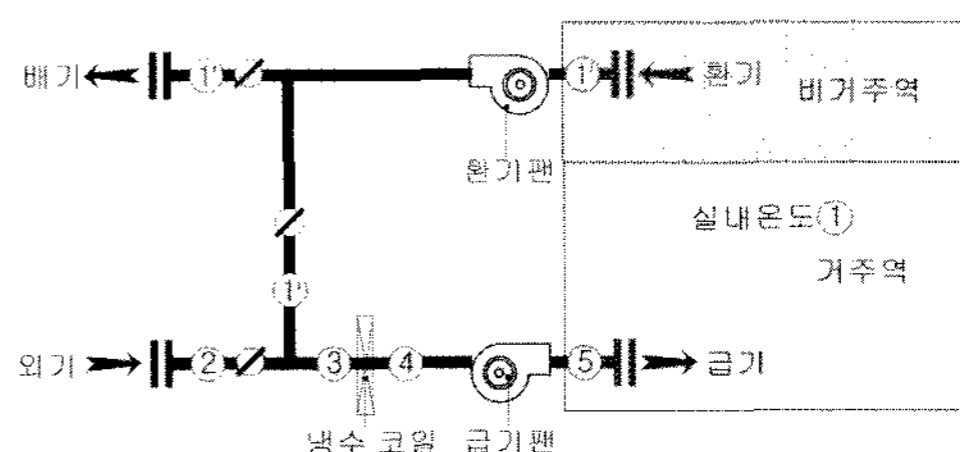


그림 5. 거주역 공조 프로세스

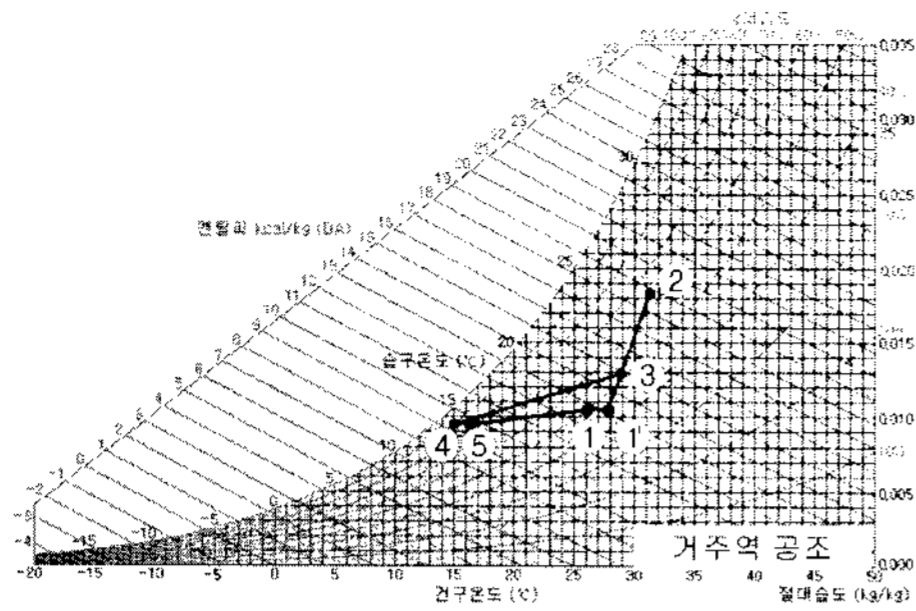


그림 6. 거주역 공조 프로세스

2.3 환기 온도 계산 방법

전체 공조 방식은 환기 온도가 실내 온도와 같다고 볼 수 있으나 거주역 공조 방식은 조명발열의 일부가 환기 온도에 영향을 주기 때문에 실내 온도에 비해 다소 높다.

따라서, 거주역 공조 방식 환기 온도(T_r)를 계산하기 위해선 조명 발열에 의해 올라가는 비거주역 공간 온도(T_u)와 실내 설정 온도(T_s)를 알아야 한다.

온도 산정은 조명 발열과 공조 급기량 등을 정상 상태로 보고 계산하였으며 비거주역 공간 온도(T_u)는 별도의 발열이 없다면 실내 설정 온도(T_s)와 같으나 조명 발열에 의해 온도가 상승하게 되므로 비거주역 공간 온도(T_u)는 비거주역 상승 온도가 반영된 식 (1)과 같다. 또한, 비거주역 상승 온도(T_p)는 조명 발열에 의한 온도 상승분으로 식(2)와 같다.

마지막으로, 거주역 공조 방식 환기 온도(T_r)는 비거주역 공간 온도와 비거주역에 공급된 급기 온도의 체적비로 계산이 가능하며 식 (3)과 같다.

$$T_u = T_s + T_p \quad (1)$$

$$T_p = Q / (V_1 \cdot g \cdot C_p) \quad (2)$$

$$T_r = (V_1 \cdot T_u + V_2 \cdot T_s) / (V_1 + V_2) \quad (3)$$

3. 에너지 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 조건

표 1. 시뮬레이션 조건

		전체 공조	거주역 공조
실 깊이(m)		100	100
실 너비(m)		18	18
실 면적(m ²)		1,800	1,800
높이(m)	비거주역	2.7	0.7
	거주역		2.0
체적(m ³)	비거주역	4,860	1,260
	거주역		3,600
설계 외기 조건(°C)		31.2	31.2
설계 상대 습도(%)		63.7	63.7
인당 외기량(CMH/p)		32	32
인체 밀도(p/m ²)		0.2	0.2
인체 발열(W/p)	현열	75	75
	잠열	75	75
기기 발열(W/m ²)		32	32
조명 발열(W/m ²)	비거주역	32	19.2
	거주역		12.8

에너지 시뮬레이션은 가상의 중규모 오피스의 기준층 내부존을 기준으로 하였으며 주요 조건은 표 1과 같다. 오피스의 내부존은 연중 냉방 부하가 걸리므로 시뮬레이션 조건은 냉방 장비 중심으로 산정되었다.

에너지 시뮬레이션은 TRNSYS 16.0을 이용하였으며 시뮬레이션 모델링은 앞의 그림 3에 나와 바와 같이 전체 공조는 실내 공간을 하나의 존으로 모델링하여 실내 발열이 모두 부하에 반영하게 하였으며 거주역 공조는 실내 공간을 2개 존으로 나누어 거주역 공간에는 인체 발열, 기기 발열과 조명 부하의 40%를 부하로 반영하였고 비거주역 공간은 조명 발열의 60%가 발열하는 것으로 모델링하였다. 거주역 공조 모델링에서 거주역과 비거주역 사이는 공기층으로 구분하였으며 거주역으로 공급된 공조 공기는 비거주역을 거쳐 환기되는 방식으로 모델링하였다.

또한, 온도 설정시 거주역 공간은 공조 조건으로 설정하였으며 비거주역 공간은 자연 실온(비공조) 조건으로 설정하였다.

표 1에서 보면 전체 공조와 거주역 공조의 차이 점은 공조 체적이 전체 공조는 4,860m³이고 거주역 공조는 3,600m³이며 조명 발열이 전체 공조는 32W/m²이고 거주역 공조는 이중 40%인 12.8 W/m²은 거주역에 영향을 미치고 60%인 19.8 W/m²은 비거주역에 영향을 미친다는 점이다.

3.2 장비 용량 산정

앞에서 알아본 공조 및 습공기 선도 프로세스와 시뮬레이션 조건으로 산정된 장비 용량은 아래와 같다. 장비는 냉방 장비 중심으로 선정되었으며 동절기 외기 부하에 의해 일부 나타나는 난방 부하에 대한 처리는 공조기에서 전기히팅코일로 바로 처리하는 것으로 가정하였다.

(1) 전체 공조 방식

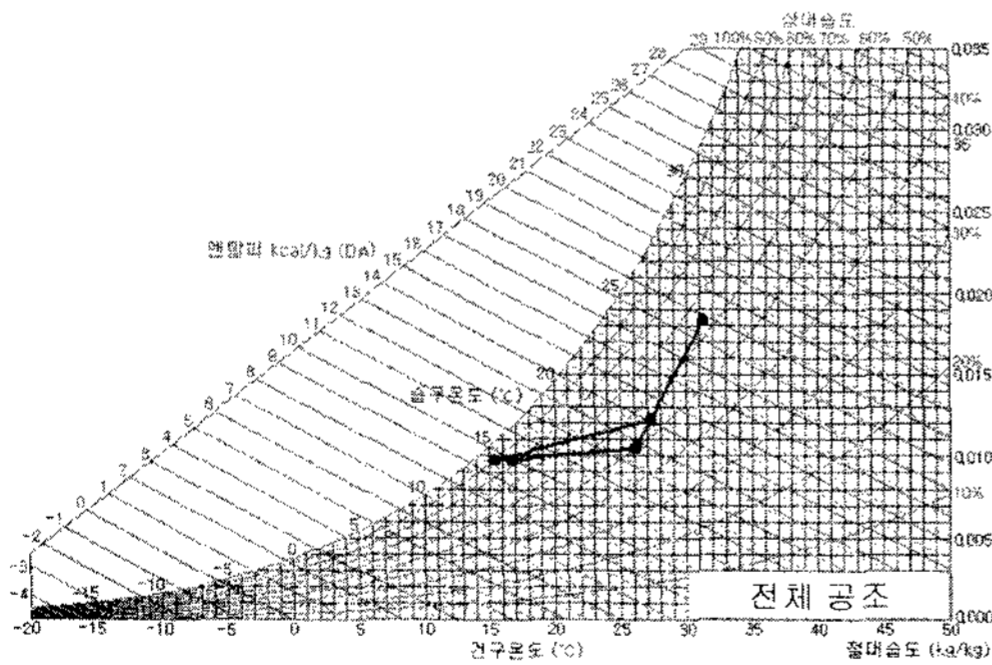


그림 7. 습공기 선도 (전체 공조)

표 2. 전체 공조 공기 상태 결과

	건구온도(°C)	상대습도(%)
실내공기	26.0	50.0
환기	26.0	50.0
외기	31.2	62.7
혼합 공기	27.2	54.3
급기	16.7	82.5

그림 7은 전체 공조 방식의 습공기 선도 프로세스 결과이고 실내공기, 환기, 외기, 혼합 공기, 급기의 상태는 표 2에 나타나 있으며 이에 따른 장비 용량은 표 3에 나타나있다.

표 3. 전체 공조 장비 용량

장비명		장비 용량	
냉동기	용량(kW)	422.35	
	C.O.P	4.7	
냉수펌프	유량(lpm)	1,202	
	동력(kW)	4.84	
냉각수펌프	유량(lpm)	1,507	
	동력(kW)	4.05	
공조기	풍량(CMH)	51,248	
	동력(kW)	급기팬	11.59
		환기팬	7.30

(2) 거주역 공조 방식

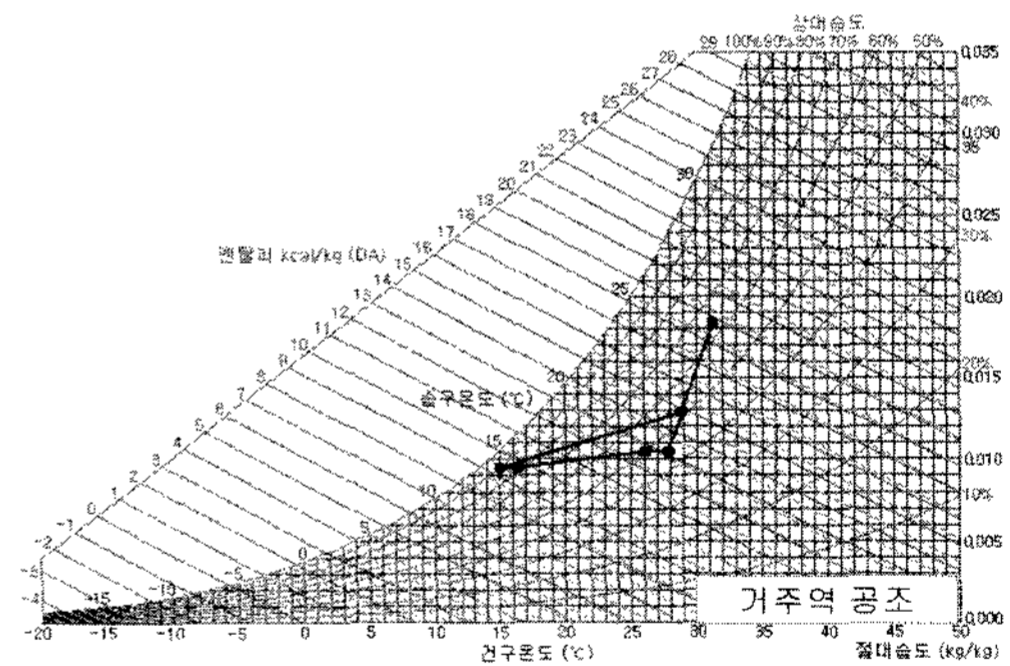


그림 8. 습공기 선도 (거주역 공조)

표 4. 거주역 공조 공기 상태 결과

	건구온도(°C)	상대습도(%)
거주역 실내 공기	26.0	50.0
비거주역 환기	27.8	45.0
외기	31.2	62.7
혼합 공기	28.9	51.9
급기	16.3	82.3

표 5. 거주역 공조 장비 용량

장비명		장비 용량	
냉동기	용량(kW)	351.96	
	C.O.P	4.7	
냉수펌프	유량(lpm)	1,008	
	동력(kW)	4.1	
냉각수펌프	유량(lpm)	1,268	
	동력(kW)	3.4	
공조기	풍량(CMH)	36,999	
	동력(kW)	급기팬	8.37
		환기팬	5.27

그림 8은 거주역 공조 방식의 습공기 선도 프로세스 결과이고 실내공기, 환기, 외기, 혼합 공기, 급기의 상태는 표 4에 나타나 있다. 표 4에서 환기 온도는 식 (1), (2), (3)을 통해 구했으며 거주역 실내 공기 온도에 비해 약 1.8°C 높은 것으로 나타났다. 표 5는 이를 통해 구해진 거주역 공조의 장비 용량이다.

4. 에너지 사용량 분석

4.1 부하 사용량 분석

표 6. 연간부하 사용량 결과((kWh)

	전체 공조	거주역 공조	절감율 (%)
냉방부하	389,662	358,837	7.9
난방부하	876	2,156	-146
전체	390,538	360,993	7.6

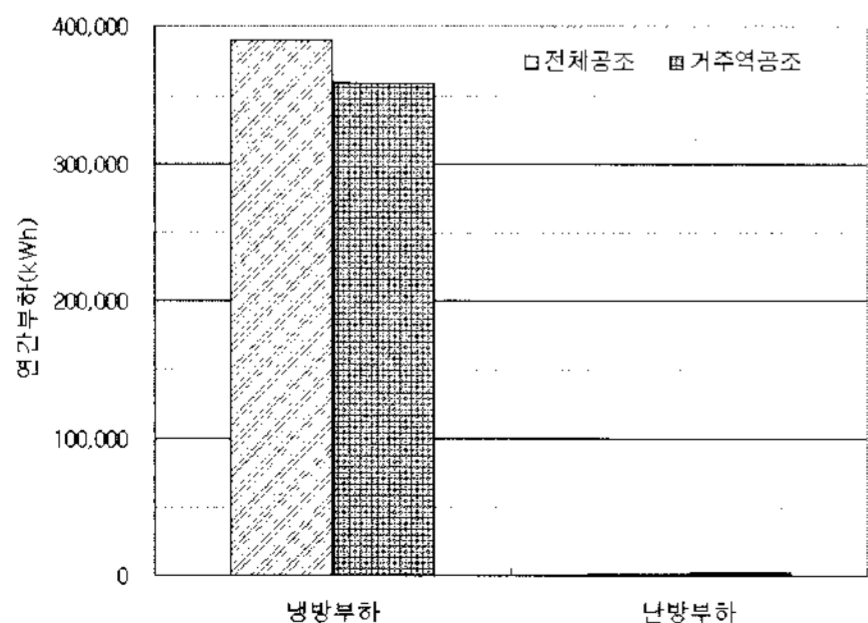


그림 9. 연간부하 사용량 그래프

표 6과 그림 9는 에너지 시뮬레이션을 통해 계산된 전체 공조 방식과 거주역 공조 방식의 연간 냉·난방 부하 결과이다. 표 6과 그림 9에서 보면 냉방부하는 약 8% 거주역 공조 방식이 적은 것으로 나타났고 난방 부하는 약 46% 전체 공조 방식이 적은 것으로 나타났다. 거주역 공조 방식이 냉방 부하가 적은 이유는 앞에서 조명 발열의 일부를 비거주역으로 처리한 후 바로 배기되기 때문이며 전체 공조 방식이 난방 부하가 적은 이유는 마찬가지로 조명 발열이 난방 부하를 일부 저감시켰기 때문이다. 그러나 오피스 내부존은 연중 냉방부하가 걸리고 혹한기 일부에만 난방부하가 발생하여 냉난방부하를 합친 연간 부하는 거주역 공조 방식이 약 7.6% 적은 것으로 나타났다.

4.2 에너지 사용량 분석

표 7. 연간에너지 사용량 결과((kWh)

	전체 공조	거주역 공조	절감율 (%)
냉열원(냉동기+냉각탑)	235,837	214,641	9.0
온열원(히팅 코일)	963	2414	-150.7
펌프	32,424	27,238	16.0
팬	68,907	49,748	27.8
전체	338,044	293,784	13.1

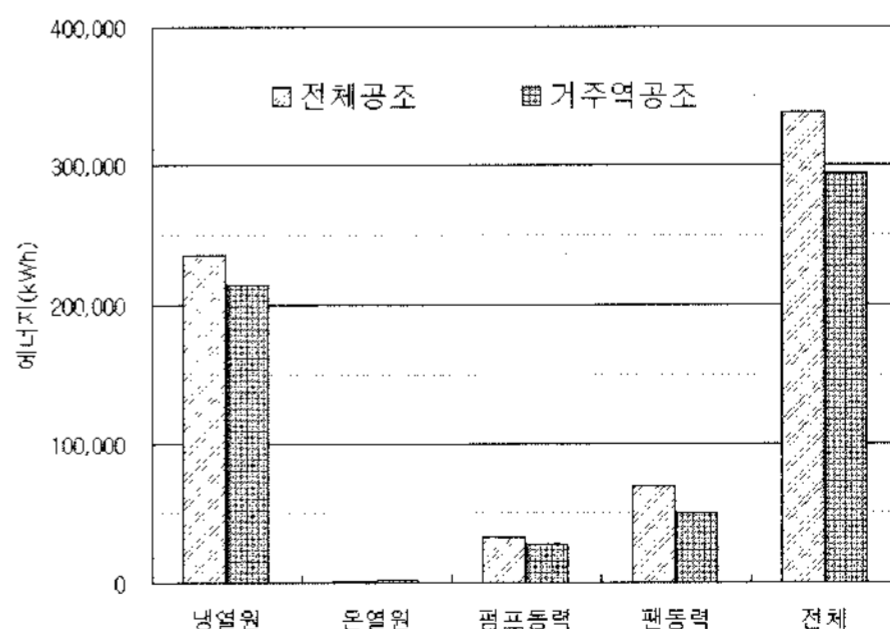


그림 10. 연간에너지 사용량 그래프

표 7과 그림 10은 에너지 시뮬레이션을 통해 계산된 전체 공조 방식과 거주역 공조 방식의 연간

에너지 사용량 결과이다. 냉열원 에너지 사용량은 거주역 공조가 약 9.0% 적은 것으로 나타났으며 온열원 에너지 사용량은 반대로 거주역 공조가 약 150.7% 더 큰 것으로 나타났고 이는 연간 부하 결과와 거의 일치한다. 반송 동력의 경우, 펌프는 약 16.0%, 팬은 약 27.8% 정도 거주역 공조 방식의 에너지 사용량이 적은 것으로 나타났으며 이는 거주역 공조 방식이 전체 공조 방식에 비해 유량과 풍량이 작아 동력이 발생하였기 때문이다. 전체 에너지 사용량은 거주역 공조 방식이 전체 공조 방식에 비해 약 13.1% 적은 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구의 목적은 크게 두가지로, 첫째 바닥급기 시스템의 거주역 공조를 위한 습공기 선도 프로세스와 환기 온도 계산과 둘째 거주역 공조시 전체 공조 방식에 비해 어느 정도 에너지 절감 효과가 있는지 알아 보는 것으로 본 연구의 결론은 아래와 같다.

- (1) 바닥급기 시스템에서 거주역 공조 방식이 효과적으로 적용되기 위해선 기존 습공기 선도 프로세스와는 다른 습공기 선도 프로세스가 필요하며 본 연구에서는 비거주역의 온도를 계산하여 습공기 선도상에 반영하였다.
- (2) 거주역 공조 방식에서 환기 온도는 비거주역의 조명 발열에 의해 온도가 상승되는 비거주

역 체적과 거주역에 급기되는 공조 풍량의 비율을 통해 구했으며 시뮬레이션 대상 모델의 경우 거주역 실내 온도에 비해 약 1.7℃ 높은 것으로 나타났다.

- (3) 에너지 시뮬레이션 결과, 거주역 공조 방식이 연간 약 13.1% 에너지 사용량이 적은 것으로 나타났다.

위 연구 결과 중 조명 발열이 거주역에 얼마나 영향이 미치는지 여부와 전체 공조 방식과 거주역 공조 방식의 에너지 사용량 결과에 대한 검증에 관한 연구가 추가로 진행되어야 할 것이며 기타 바닥급기 시스템 설계에 필요한 각종 설계 인자에 대한 연구도 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 환경친화형 스마트 빌딩 시스템 기술 개발 최종 연구 보고서, 2006
2. 조동우 외 4인, 바닥공조시스템과 천장공조시스템의 실내환경 비교 평가, 대한건축학회논문집(계획계), 20권 5호, 2004.05.
3. 김동희 외 4인, 외기 도입에 따른 바닥급기 시스템의 에너지 사용량 분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회, 2006.06
4. 서승직, 건축설비계획, 일진사, 2004
5. 한국설비기술협회, 건축설비 에너지절약 핸드북, 한국설비기술협회, 2004