

주거용 공조시스템 및 제어전략

본고에서는 최근 국내에서 도입되고 있는 주거용 공조시스템 안을 소개하고 오피스 건물과 다른 주거 건물의 특성을 고려하여 에너지 절약적이면서도 재실자의 열적 쾌적성, 청정 공간을 보장하는 제어 방안에 대해 소개하고자 한다.

머리말

삶의 질이 향상되고 사람들의 건강에 대한 관심이 증가하면서 실내 환경을 쾌적하면서도 건강하게 조절할 수 있는 다양한 시스템들이 주거 건물에 도입되고 있다. 종래의 난방 시스템만 구비되었던 주거 건물에 냉방, 환기, 제습, 가습, 공기청정기 등 다양한 제품들이 도입되고 있는 것이다. 특히 최근에는 미세먼지, 초미세먼지에 대한 위해성이 방송을 통해 보도되면서 이에 대응하는 각종 제품들이 개발 및 소개되고 있다. 이와 관련하여 2014년에 미국 예일대에서 발표한 EPI(Environmental Performance Index)¹⁾에 따르면, 우리나라는 조사대상 총 178개국 중에서 공기질 부문에서 166위, 미세먼지 노출 정도에서 171위로 최하위권에 머무르고 있다. 참으로 놀랄만한 결과이다. 특히 중국발 미세먼지에 무대책으로 노출되어 있는 우리 상황을 고려하면 다양한 위해 환경에서 재실자의 건강을 지킬 수 있는 건강한 공조시스템의 개발이 절실하다.

삼성전자(주)와 성균관대학교는 최근 이러한 국내 소비자들의 건강, 쾌적 공조에 대한 요구를 충족하기 위한 공조시스템으로 전공기 방식을 기본으로 하며, 현재 주거 건물에서 사용하고 있는 다양한 공조관련 기기들 즉,



[그림 1] 주거용 통합공조의 개념

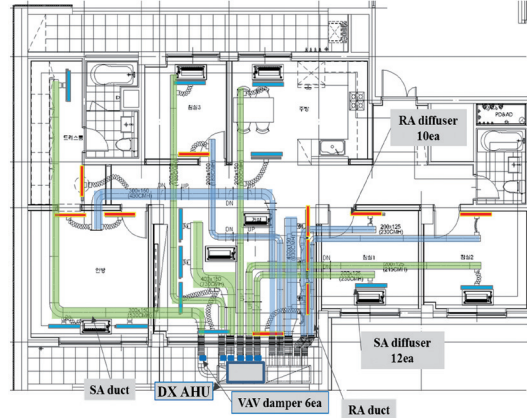
냉방, 난방, 환기, 공기청정, 제습, 가습의 기능을 모두 수용하는 통합 공조시스템을 개발하고 있다. 종래에 국내 주상복합건물에 적용되었던 공조시스템이 냉방과 환기에 국한하였다면 개발하고 있는 시스템은 최근 높아진 소비자들의 수준을 반영한 통합적인 기능을 포함하는 시스템이다(그림 1).

아울러 개발하고자 하는 주거용 공조시스템은 기존의 오피스 공조시스템과 많은 부분이 상이하다. 특히 제어논리 측면에서 오피스 공조와는 다르게 주거 건물의 특성을 잘 반영하여 재실자의 열적 쾌적성, 청정한 실내 공기질을 보장하면서도 소비 에너지를 최소화하는 제어논리를 가지고 있다.

본고에서는 주거용 통합 공조시스템에 대한 설명, 실제 실험주택에 적용하여 운영한 내용과 그 결과로서 실내 온열환경 제어 특성 및 에너지 절감 효과 등을 소개하고자 한다.

주거용 통합 공조시스템

그림 2에 현재 개발 중인 주거용 통합 공조시스템의 설치도를 보이고 있다. 공조기는 개별세대 설치를 원칙으로 하고 있으며, 직팽식 타입으로 인버터 압축기를 사용하고 있다. 공조기는 직접



[그림 2] 공동주택용 통합 공조시스템

팽창코일(Direct Expansion Coil), 열교환기, 급기(Supply Air)/회기(Return Air) 팬과 실외기로 구성되어 있다. 그림 2는 45평 규모의 실험용 공동주택에 설치된 공조시스템의 내용이다. 실험 대상 주택은 2009년도 「건축물 에너지 절약 설계 기준」에 의거하여 설계된 건물이다. 실험용 공동주택은 실제 공동주택을 그대로 모사한 주택이다. 다만 실험의 목적으로 실제 공동주택에 비해 천장고가 다소 높은 것이 특징이다.

공조기를 통해 취출된 공기는 급기 챔버, VAV 유닛을 통해 각 실로 분배, 공급된다. 급기 및 회기 덕트는 각 실에 직접 연결되는 개별덕트 방식으로 구성되었다.

통합 공조시스템의 성능평가를 위해 실험주택에 설치된 자동제어 시스템은 그림 3과 같다. 제어는 실내 온·습도에 기반한 급기 풍량제어, 외기조건에 따른 외기냉방제어, 실내 CO₂ 레벨에 기준한 환기 풍량 CO₂ 요구량 제어가 가능하다. 또한 오피스 공조와 달리 실내 내부 발열이 낮은 점, 거주밀도가 낮은 점 등 주거 건물 특성을 잘 반영한 이벤트공조모드, 송풍모드, 제습모드 등을 활용하여, 실제 사용상에서 재실자의 쾌적성을 보장하면서도 에너지 절감을 도모할 수 있는 제어논리가 적용되었다. 실내의



[그림 3] 실험주택의 자동제어시스템

물리적 환경에 대한 센싱, 실내 요구조건에 따른 제어는 모두 BEMS 툴을 통해 이루어졌다.

실험을 통한 주거용 통합 공조시스템의 성능 분석

그림 4와 같이 실험주택에 적용된 통합 공조시스템의 전실 운전 24℃ 설정온도 제어 조건에서 에너지 소비량은 기존의 VRF 시스템의 전실 운전 조건에 비해 거의 동등한 에너지 소비 특성을 보였다.

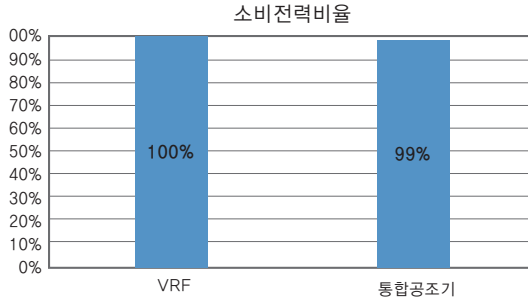
그림 5는 실험주택의 전체 실을 일정 온도로 공조하는 전실공조모드와 비교하여, 본 연구에서 개발한 주거용 공조시스템의 제어모드를 적용하였을 경우의 에너지 소비량이다. 그림 5의 결과에서 설정온도(set-point temperature) 제어 대비 본 연구에서 개발한 주거용 건물의 쾌적 범위 제어를 실

시하였을 경우, 에너지 소비량은 약 76% 정도로 감소되었다. 아울러 주거 건물의 특성인 사용되는 실이 일부 실에 한정되며 그 사용 시간대도 각각 다른 점에 착안하여 적용된 이벤트제어모드 중 주사용실(안방, 거실, 침실1, 침실2) 공조에 쾌적 범위 제어를 적용하여 실시한 경우, 에너지 소비량은 전실+SET-point 제어 대비 약 58% 수준으로 감소하였다. 여기에 안방만을 냉방하는 경우는 약 28% 수준으로 감소하는 결과를 보였다.

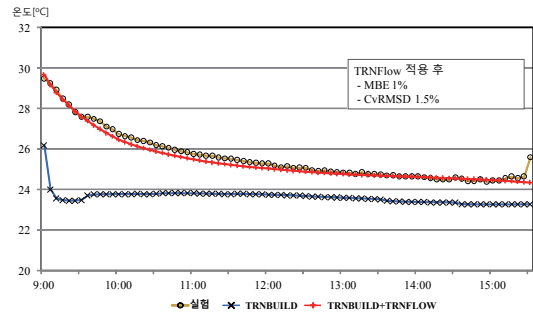
통합 공조시스템의 실내 온열환경 제어 특성, 시스템 운전 특성, 에너지 소비 특성을 검토하기 위해 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 시뮬레이션은 공조기, VAV 댐퍼, 덕트, 취출구, 회기공기 특성, 본 연구에서 작성한 주거용 통합 공조기의 각종 제어모드를 모두 시뮬레이션으로 모사하고자 하였다. 시뮬레이션은 TRNSYS를 이용하였다. 그러나 그림 6의 결

<표 1> 실험케이스

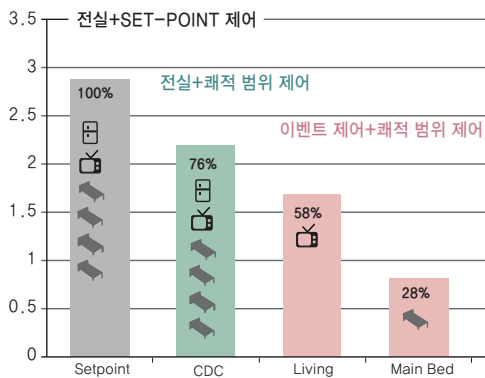
제어모드	조건	공조기 운전 모드	방법	
전실 공조	전실 (안방, 침실1, 2, 서재, 거실, 주방)	냉방&송풍	실험	
이벤트공조	주 사용실 공조	안방, 침실1, 2, 거실		냉방&송풍
	개실 공조	안방		냉방&송풍
		거실		냉방&송풍
쾌적범위(CDC) 모드	주택의 특성(낮은 내부 발열, 낮은 착의량, 낮은 activity level)을 반영한 쾌적, 에너지 절감 제어 로직	냉방&송풍		
외기냉방	외기도입(엔탈피제어)을 통해 실내 냉방을 실시	냉방	시뮬레이션	



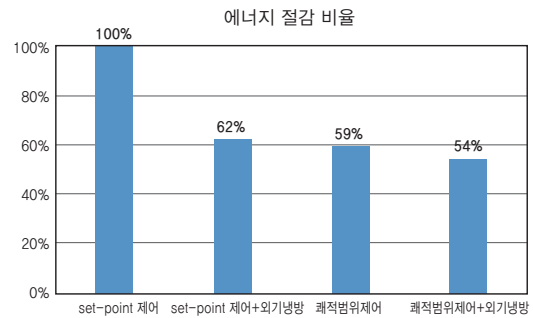
[그림 4] 통합공조기와 VRF 시스템의 에너지 소비량(kW/h) 비교



[그림 6] TRNSYS 모델링 검증



[그림 5] 각 제어모드별 에너지 소비 특성



[그림 7] 시뮬레이션을 통한 각종 제어모드별 에너지 절감 효과

과와 같이 TRNSYS의 기본적인 TRNBUILD 모델링의 경우, 본 연구에서 개발된 주거용 통합 공조시스템의 실제 실내 온도제어 특성을 제대로 표현할 수 없었다. 그 이유는 공조기, VAV 챔버, 덕트, 취출구에 이르는 경로상에서 압력손실이나 열취득에 의해 실온 제어의 응답성이 늦어지는 특성을 TRNBUILD 모델만으로는 반영하기 어렵기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 급기 경로상의 압력손실이나 열취득을 표현하기 위한 방법으로 TRNBUILD 모델과 더불어 TRNFlow를 이용하여 모사하였다. TRNFlow는 당초 COMIS 기류 네트워크 모델을 TRNSYS와 연동하도록 만들어진 시뮬레이션 모듈이다. 즉 본 연구에서는 열환경 및 부하, 에너지 해석에 열환경+공기환경(압력, 농도, 습도 등)을 연동하는 방법으로 주거용 통합 공조시스템

의 특성을 모사할 수 있었다.

그림 7은 시뮬레이션을 통해 6월 한 달 동안 냉방을 실시한 결과로 주 사용실(침실1, 침실2, 거실, 안방)을 공조하면서, 여기에 대해 설정온도 제어, 설정온도+외기냉방 제어, 쾌적 범위 제어, 쾌적 범위+외기냉방 제어를 실시하는 경우의 에너지 소비 특성을 분석하였다.

검토결과, 외기냉방 제어는 설정온도 조건에 대해서는 매우 효과가 있으나 이미 쾌적 영역 제어를 통해 폭 넓은 온도, 습도 제어범위를 가지는 쾌적 범위 제어에 대해서는 효과가 미미한 것으로 나타났다.

맺음말

본고에서는 냉방, 난방, 환기, 공기청정, 제습,

외기냉방, 이벤트공조 제어, 쾌적 범위 제어 등 주거용 건물에 특화된 공조시스템 및 제어논리를 개발하여, 실증실험 및 시뮬레이션을 통해 개발된 시스템의 실내 온열환경 제어 특성, 에너지 소비 특성을 분석하였다. 주거용 통합 공조시스템은 전실 냉방에서 기존 VRF 시스템과 거의 유사한 에너지 소비 특성을 나타냈다. 그러나 본 연구에서 개발한 주거용 공조시스템에 특화된 이벤트공조 제어, 쾌적 범위 제어, 외기냉방 제어 등을 적용할 경우, 기존 냉방 시스템 대비 약 50% 정도의 에너지를 소비하면서도 실내 환경을 쾌적하게 제어할 수 있었다.

향후 연구로는 본 시스템을 천장 플레넘 공간이 낮은 일반 아파트에 적용하기 위한 방안에 대하여 검토가 필요할 것으로 판단된다. 이 시스템이 국내 주거 건물에 적용되어 우리 국민들이 보다 쾌적하고 건강한 공간에 거주할 수 있기를 바라는 마음이다. 더불어 앞서 서론에서 언급하였던 EPI 조사 결과에서 실내 공기질 후진국이라는 오명을 벗을 수 있기를 바란다.

참고문헌

1. Yale Center for Environmental Law & Policy, 2014, Environmental Performance Index, Air-quality, pp. 41-56.
2. Kim, S. H. Won, J. Y., Choi, Y. K., and Lee, E. K., 2006, A Study on the Energy Saving Effect of Free Cooling System, Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 2, pp. 227-234.
3. Ki, H. S., Hong, I. P., Park, J. W., Kang, K. N., and Song, D. S., 2012, Development of the TRNSYS Simulation modules for System Air-Conditioner and It's Verification, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 315-322.
4. Sung, U. J., Cho, S, and Song, K. D., 2012, An Analysis on Thermal Performance and Economic of Heat Recovery Ventilation System Integrated with Window, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 24, No. 8, pp. 646-655.
5. Won, J. S., Song, E, Kim, T. Y., and Leigh, S. B., An Evaluation of Performance of Hybrid Ventilation System using the Balcony Space in Apartment Housing, Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 5, pp. 187-194.
6. ASHRAE, 2002, ASHRAE Guideline 14 : measurement of energy and demand savings. 