

혼합공조와 중앙공조 시스템의 경제성 분석 및 비교

이 윤 종, 김 찬 중, 문 제 명*, 김 철 우*, 서 형 준*, 김 경 록*, 신 행 조*,
홍 희 기†

서울대학교 기계항공공학부, *삼성전자 생활가전사업부,

† 경희대학교 기계산업시스템공학부

Economic Analysis and Comparison between Hybrid and Central Air Conditioning System

Yoon Jong Lee, Chan Jung Kim, Je Myung Moon, Cheol Woo Kim,
Hyeong Joon Seo, Gyoung Rok Kim, Haeng Cho Shin, Hiki Hong

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-744, Korea

*Air conditioning R&D Group, Samsung Electronics co.,LTD, Suwon 443-742, Korea

† School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

ABSTRACT: This paper is concerned with economic analysis and comparison between hybrid and central air conditioning system by TRNSYS simulation and Life Cycle Cost(LCC) analysis. Hybrid air conditioning system that is using VAV for interior zone and system air-conditioner for perimeter zone is installed in building A. Central air conditioning system is composed of VAV and convector. The simulation was carried out in mode temperature level control using TRNSYS 16. From the result of simulation and LCC analysis, hybrid air conditioning system was better than central air conditioning system in initial cost and energy consumption.

Key words: Hybrid air conditioning system(혼합공조시스템), Central air conditioning system(중앙공조시스템), System air-conditioner(시스템멀티에어컨), Life-cycle cost analysis(생애주기비용분석), TRNSYS

1. 서 론

일반적인 중대형 건물의 공조방식은 각 층 또는 존에 설치되어 있는 AHU에 냉수, 온수, 증기 등을 보내어 냉난방을 하는 중앙집중식이다. 이러한 중앙집중식 공조방식은 개별 부하의 처리 및 저부하시의 운전 대응에 있어 효과적인 운전이

어려운 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 제안된 시스템으로 중앙공조방식에 개별 운전이 가능한 멀티에어컨의 장점을 더한 혼합공조시스템이 있다⁽¹⁾. 수원에 위치한 건물A는 국내 최초로 대형 건물에 혼합공조시스템을 적용한 사례이다. 건물A의 혼합공조시스템은 기준층 부하의 약 30%에 해당하는 외주부 부하를 담당하는 시스템멀티에어컨(System A/C)과 내주부 부하를 담당하는 VAV공조방식으로 이루어져 있다.

본 연구에서는 건물A에 적용된 혼합공조시스템

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-8106

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

과 일반적인 중앙공조시스템이 적용된 건물B의 공조방식(VAV+Convactor)에 대한 모델링을 TRNSYS에 적용해 연간에너지비용을 계산하였다. 그리고 그 결과에 대한 LCC(Life Cycle Cost) 비교를 통해 혼합공조시스템의 경제성을 평가하고자 한다.

2. 모델링 및 실증실험

2.1 대상건물의 모델링

시뮬레이션을 위한 대상건물은 수원에 위치한 건물A이다(Fig. 1). 건물A의 공조방식은 기준층 부하의 약 30%에 해당하는 외주부 부하는 시스템에어컨이 담당하고 그 나머진 내주부의 부하는 VAV가 담당하는 혼합공조방식을 취하고 있다.

본 연구에서는 건물A의 한 개층을 모델링하여 시뮬레이션에 이용하였다. 대상공간을 크게 6개의 구역으로 조닝하였고 공조공간인 5개의 구역은 내주부와 외주부로 다시 분리하였다. 외주부는 건물의 외벽에서 2 m안의 공간으로 구역번호 뒤에 1을, 내주부는 외벽에서 2 m밖의 공간으로 구역번호 뒤에 2를 붙여 주었다. 대상 공간의 조닝은 Fig. 2와 같으며 zone6, zone7, zone8은 비공조공간으로 엘리베이터, 화장실 등이 배치되어 있는 공간이다.

층고는 2.8 m이며 벽체의 구조는 Fig. 3과 같다. 채실 인원은 건물 한개 층 당 300명이 있다고 가정하여 외주부에는 0.08 명/m², 내주부에는 0.12 명/m²으로 입력하였다.

인체는 활동방식에 따라 총열량과 현열, 잠열의 비율이 달라진다. 건물A는 사무실과 실험실로 사용되기 때문에 총발열량을 160 W로, 현열과 잠



Fig. 1 View of building A and B

열의 비율을 6 : 4로 설정하였고 실내기기의 부하는 45 W/m²이며 환기량은 1.42 회/h로 하였다.

건물 내의 인원수는 항상 일정한 것이 아니기 때문에 Fig. 4와 같은 스케줄을 만들어 각각의 데이터에 적용시켰다.

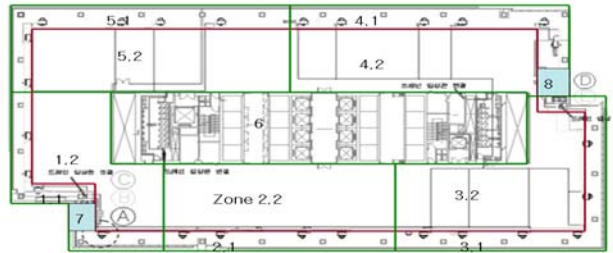


Fig. 2 Plane of test space

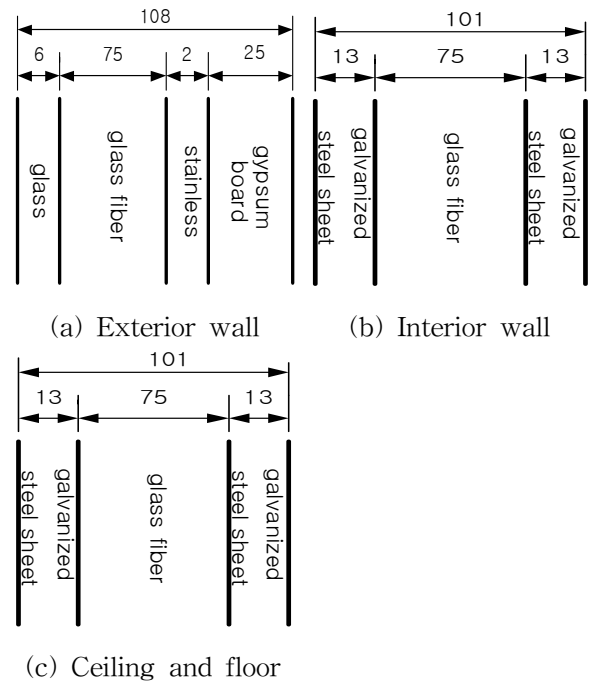


Fig. 3 Wall composition

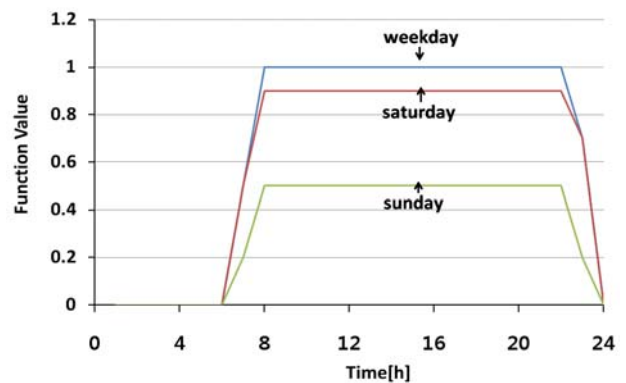


Fig. 4 Schedule of heat gain

Table 1 Combination of air conditioning system

		Interior zone	Perimeter zone
Hybrid system	VAV+DVM	VAV	System A/C
Central system	VAV+conv.	VAV	VAV(cooling) Conv.(heating)

2.2 공조시스템의 모델링

혼합공조시스템과 중앙공조시스템을 모델링했으며 각 시스템의 조합은 Table 1과 같다.

2.2.1 혼합공조시스템(VAV+System A/C)

혼합공조시스템은 건물A에 적용된 시스템을 기준으로 모델링하였다. 내주부의 공조를 위해 AHU를 이용한 VAV방식의 흡수식 시스템을 적용하였고 외주부의 공조시스템은 이전 연구의 시스템 멀티에어컨의 모델링을 이용하였다. 설비의 용량과 수량은 실제 건물에 적용된 장비의 데이터를 수집하여 입력하였다.

VAV시스템의 모델링은 냉방조건과 난방조건의 모델링을 나누어 수행하였다. 냉방조건 모델링에는 TRNSYS의 흡수식 냉방기 모듈(TYPE

678)을 이용했다. 실내로 투입되는 냉/온기의 양을 조절해 주는 VAV유닛은 TYPE42-1를 이용하여 실내온도에 따라 각 존으로의 급기량을 조절해 주도록 하였다. TYPE42-1모듈은 1차 보간을 수행하는 모듈로 냉방기간의 경우 실내의 온도가 24.5℃ 이하에서는 급기량을 0으로 26.5℃ 이상에서는 최대 풍량으로 급기가 되도록 조절한다. 냉각탑은 TYPE51b cooling tower모듈을 이용하였으며 실제 사용된 냉각탑의 데이터를 입력해 주었다. 흡수식 냉동기에서 만들어진 냉수는 공기조화기로 들어가 냉기를 만들며 공기조화기는 Table 2의 장비제원에 맞추어 모델링하였다.

난방기간에는 보일러에서 증기를 만들고 공기조화기의 증기코일을 이용해 온기가 만들어진다.

난방기의 보일러와 공기조화기는 TRNSYS의 유닛 히터모듈(TYPE664)을 사용하였다. 유닛 히터모듈은 증기코일의 용량, 팬의 풍량 등의 입력이 가능해 보일러와 공기조화기를 한 모듈로 모델링할 수 있다. 또한 난방 기간 중에도 내주부에서는 냉방부하가 발생하는데 이때에는 실외의 공기를 실내로 도입해 외기냉방이 가능하게 하였다. 외기냉방에는 팬 동력만 소모된다.

Table 2 Technical data of cooling tower, absorption chiller, air handling unit

Cooling tower	Type	Q'ty	capacity(kcal/h)	air flow rate (CMM)	fan power(kW)
CT-1	open circuit type	2	8,424,000	9,432	30 * 6
	fluid flow rate (lpm)	Inlet fluid temp.	outlet fluid temp.	Ambient DB/WB	
	18,980	39.4℃	32℃	30.3DB	25.9WB
absorption chiller	Type	Q'ty	capacity	Chilled water inlet temp.	Chilled water outlet temp.
DACH-1	Horizontal	2	1500	15	7
	Chilled water flow rate(lpm)	Cooling water inlet temp.	Cooling water outlet temp.	Cooling water flow rate(lpm)	steam flow rate (kg/h)
	9,450	12℃	32℃	18,593	3,750
AHU	Q'ty	Supply air flow rate(CMH)	Supply fan power(kW)	Return air flow rate(CMH)	Return fan power(kW)
AH-41	8	261,800	75*2	249,200	55*2
	cooling coil (kcal/h)	Cooling water flow rate(lpm)	Cooling water inlet temp.	Cooling water outlet temp.	Inlet air temp.
	1,268,274	2,643	7℃	15℃	26.4℃
	Outlet air temp.	Heating coil (kcal/h)	Inlet air temp.	Outlet air temp.	Humidifier (kg/h)
13.8℃	339,248	15℃	21.2℃	168	

2.2.2 중앙공조시스템(VAV+conv.)

중앙공조방식으로는 VAV와 convector를 이용하는 시스템을 모델링하였다. 냉방기에는 내주부와 외주부 모두 VAV를 이용해 냉방을 하며 난방기에는 내주부는 VAV를, 외주부는 convector를 이용해 난방을 한다.

기본적인 VAV시스템의 구성은 혼합공조시스템의 모델링에서 수행하였던 VAV방식의 흡수식시스템과 동일하다. 다만 냉방기에는 VAV시스템이 건물의 전 영역을 담당하기 때문에 외주부의 냉방부하가 전체부하의 30%를 차지한다는 가정에 따라 설비의 용량을 1.5배 증가시켜 주었으며 외주부에도 VAV유닛을 배치했다.

외주부의 convector는 난방기에만 이용이 되며 convector로 들어가는 증기는 보일러에서 만들어진다. TYPE664의 증기코일을 이용해 모델링을 하였다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 기간과 조건

시뮬레이션은 TRNSYS를 사용하여 수행하였다. TRNSYS는 ASHRAE의 전달함수법^(2,3)에 기초하고 있으며 현재는 건물에너지의 종합적인 해석이

가능한 수준으로 발전하였다.

건물모델링과 공조시스템 모델링을 이용하여 연간시물레이션을 수행하였다. 시물레이션 기간은 2006년 8월부터 2007년 7월까지이며 냉방기간은 5월~10월, 난방기간은 11월~4월이다.

기상데이터는 수원기상대에서 수집한 온도, 습도, 일사량데이터를 이용하였다⁽⁴⁾. 기상자료는 기온과 습도의 경우 1시간 간격으로 제공되고 있으며, 일사량의 경우 1시간 동안의 적산값이다. 일사량은 TRNSYS에서 내부적인 직산분리(직달일사와 산란일사의 분리) 후 해석에 이용된다.

여름철 냉방설정온도는 25±1℃이고 겨울철 난방설정온도는 24±1℃이다. 시물레이션의 시간간격은 0.01시간(36초)이다.

3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 Table 3, Table 4, Fig. 5, Fig. 6에 나타내었다.

혼합공조와 중앙공조의 월별 에너지 소비량을 비교해보면 흡수식 냉동기 계통의 연간 전력 소비량은 중앙공조가 혼합공조보다 약 2배 크게 나타난다. 여름철 결과를 살펴보면 혼합공조가 중앙공조보다 50% 가량 크다. 이것은 내주부와 외주부의 냉방부하비가 7 : 3이라는 가정과 같은

Table 3 Energy consumption rate
(total consumption of hybrid system's system A/C and LNG : 100)

	Hybrid system (VAV+System A/C)				Central system (VAV+Conv.)			
	Electricity			LNG	Electricity			LNG
	A.Chiller	AHU	S. A/C		A.Chiller	AHU	Conv.	
8	6	29	14	18	10	37	0	26
9	4	21	8	7	6	28	0	11
10	2	14	6	3	4	18	0	5
11	0	16	6	9	0	17	0	14
12	0	16	10	10	1	19	0	22
1	0	16	11	10	1	19	0	23
2	0	14	7	8	0	18	0	16
3	0	15	7	7	0	17	0	13
4	0	20	6	1	0	20	0	5
5	3	19	7	5	7	25	0	8
6	5	23	9	10	10	30	0	14
7	5	24	10	12	10	31	0	17
Total	25	226	100	100	50	280	0	172

결과였다. 또한 중앙공조의 경우 겨울철 convector로의 온수공급을 위한 펌프작동으로 겨울철에도 흡수식 냉동기계통에 전력소비가 나타난다.

AHU항목에서 나타나는 전력소비는 공기조화기의 팬에 의한 것이다. 이 값은 환기와 공기조화를 위한 팬의 가동에 의한 값으로 중앙공조가 혼합공조보다 약 28% 크다.

가스사용량은 냉방기간의 흡수식냉동기용 가스사용량과 난방기간의 난방용, 가습용 가스사용량으로 구성되며 중앙공조가 혼합공조보다 72% 가량 크다.

에너지 소비량에 계절과 용도에 따른 요금을 곱하여 구한 에너지 비용을 Fig. 5에 나타내었다. 이 값은 장비에서 소비되는 순수한 에너지 비용에 해당하는 값으로 혼합공조가 중앙공조보다 19% 작았다.

Fig. 6은 총에너지 비용으로 에너지 비용에 각 설비에 따른 기본요금을 더해 준 값이다. 기본요금은 각 설비의 정격소비전력의 합에 비례해 결정된다. 기본요금은 중앙공조방식이 혼합공조방식보다 19% 저렴하다. 혼합공조방식은 시스템멀티에어컨을 사용하기 때문에 정격소비전력량의 증가가 발생해 중앙공조보다 큰 기본요금을 갖게 된다. 이 기본요금은 전체 에너지비용의 상당부분을 차지하며 총 에너지비용에서 혼합공조는 39%를, 중앙공조는 30%를 기본요금이 차지한다. 즉 총 에너지비용은 에너지 소비량과 전기 설비의 규모가 작을수록 낮아지게 된다. 이렇게 구해진 총에너지 비용은 혼합공조가 중앙공조보다 작았으나 그 격차는 상당히 줄어 혼합공조가 중앙공조보다 5% 정도 경제적이었다.

외주부의 부하제거를 혼합공조에서는 시스템에어컨이, 중앙공조에서는 VAV방식이 담당하였고 이 차이에 의해 에너지소비량이 달라졌다. 두 가지 방식은 에너지 소비 요소가 달라 절대적인 수치를 이용한 비교는 힘들지만 에너지 비용을 비교한 결과는 혼합공조가 경제적이었다. 혼합공조 방식의 경제적 이득은 부하량에 따라 운전율을 조절하는 시스템에어컨의 적용에 의한 결과라 판단된다.

Table 4 Annual energy consumption cost rate (hybrid system's base cost : 100) [items of hybrid system : 100]

	Hybrid system	Central system
Base cost	100[100]	81[81]
Power demand cost	153[100]	183[120]
Total cost	253[100]	267[106]

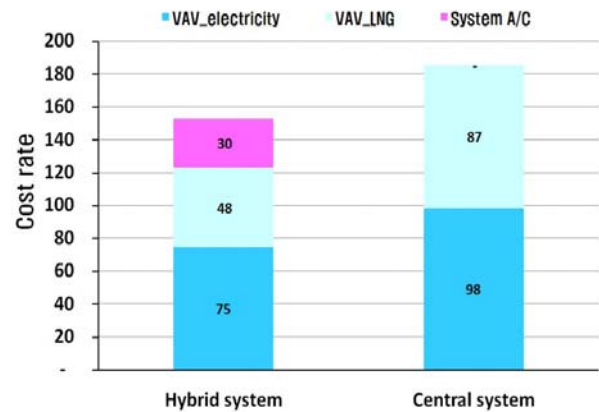


Fig. 5 Annual energy consumption cost except base cost rate (hybrid system's base cost : 100)

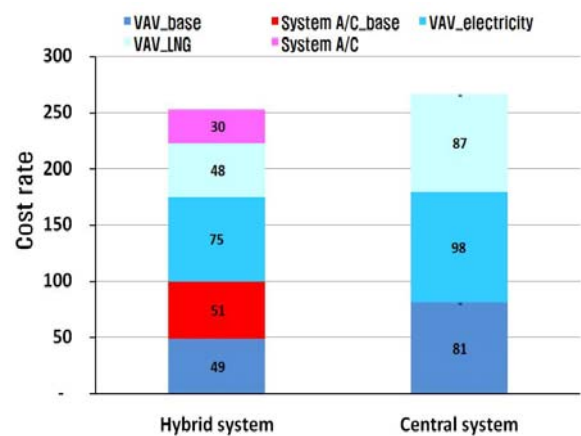


Fig. 6 Annual energy consumption cost rate (hybrid system's base cost : 100)

4. LCC 분석

혼합공조방식과 중앙공조방식에 대해 LCC 분석을 수행하였다.

생애주기비용(LCC)은 초기투자비, 교체비용, 잔여가치, 에너지비용, 유지관리비용을 현재가로 계산하여 합한 값이다. 본 연구에서는 LCC 분석기간을 40년, 장비의 교체주기는 15년, 유지관리비는 초기투자비 대비 연간 1%로 설정하였다.

Table 5에 전체 항목을 고려한 LCC 분석결과를 정리하였다. 표의 값들은 혼합공조의 초기투자비를 100이라 하고 그에 대한 상대적인 값으로 환산하여 정리하였다.

LCC 분석결과를 살펴보면 혼합공조방식의 총 LCC 값이 중앙공조방식보다 15% 가량 작았다. 결과의 가장 큰 변수는 초기투자비와 에너지비의 두 항목이다.

초기투자비는 중앙공조방식이 혼합공조방식보다 약 20% 정도 크다. 이것은 건물의 전 영역을 중앙공조로 처리하려 흡수식 냉동기와 공기조화기 등의 용량과 수량을 늘리는 것이 외주부에 시스템어컨을 설치하는 것보다 많은 비용이 소비되었음을 보여준다.

에너지비용은 총 LCC의 35% 가량을 차지하며 혼합공조가 중앙공조보다 약 5% 작다.

위의 결과들로 대형건물의 공조방식에서 혼합공조방식이 중앙공조방식보다 경제적인 면에서 유리할 수 있음을 알 수 있다.

Table 5 Total LCC rate
(initial cost of hybrid system : 100)
[items of hybrid system : 100]

	Hybrid system	Central system
Initial cost	100[100]	120[120]
Energy cost	125[100]	131[105]
Repair cost	105[100]	127[121]
Maintenance cost	-12[100]	-15[120]
Residual cost	23[100]	28[121]
Total LCC	341[100]	392[115]

5. 결론

대형건물의 공기조화에 이용될 수 있는 혼합공조방식과 중앙공조방식의 에너지 비용을 TRNSYS 16을 이용한 시뮬레이션을 통해 구하였다.

혼합공조방식인 VAV+S. A/C와 중앙공조방식인 VAV+Conv.에 대한 모델링을 수행하였고 대상 건물인 건물A를 모델링하여 각 공조방식을 적용시켜 주었다. 시뮬레이션 기간은 2006년 8월~2007년 7월이었으며 각 공조방식의 에너지소비량을 계산하였다.

연간 에너지소비량과 각 공조방식의 초기투자비를 이용하여 LCC 분석을 수행하였다.

두 공조방식의 연간 에너지비용(기본요금제외)은 혼합공조가 중앙공조보다 19% 가량 작았고 연간에너지비용에 기본요금을 포함시켜 총 에너지비용을 구한 값은 혼합공조가 중앙공조보다 약 5% 작았다.

LCC 분석결과를 혼합공조방식이 중앙공조보다 15% 정도 작아 혼합공조방식이 더 경제적이었다.

전체적인 분석결과 혼합공조방식의 적용이 가능한 건물에서는 초기투자비, 에너지비등의 모든 면에서 혼합공조방식이 중앙공조방식보다 경제적인 면을 확인하였다. 이러한 결과는 혼합공조방식에 부분부하운전이 가능한 시스템어컨이 적용된 결과라 판단된다.

참고문헌

1. Seo, K. J. and Jung, K. H., 2004, Application of mixed HVAC in large sized office building, Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea, pp.1120-1126.
2. McQuiston, F. C. and Spitler, J. D., 1992, Cooling and heating load calculation manual, 2nd ed., ASHRAE.
3. McQuiston, F. C. and Parker, J. D., 1994, Heating, ventilating and air conditioning, 5th ed., Wiley
4. Hyun, S. K., Hong, H. and Yoo, H., 2002, Verification experiment and calculation of heating load for a test space, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No.2, pp.15-160