

주상복합의 실외기 형태에 따른 냉방시스템 성능 평가

경서경*, 김윤진**, 임정희***, 김병선****

*연세대학교 건축공학과 (ksk6330@yonsei.ac.kr)

**연세대학교 건축공학과 (kim0320@yonsei.ac.kr),

***연세대학교 건축공학과 (muksang01@unitel.co.kr),

****연세대학교 건축공학과 교수(sean@yonsei.ac.kr)

The performance evaluation of outdoor unit cooling system in a residential apartment complex

Kyung, Seokyoung*, Kim, Yunjin**, Lim, Junghee***, Kim, Byungseon****

*Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University(ksk6330@yonsei.ac.kr),

**Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University(kim0320@yonsei.ac.kr),

***Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University(muksang01@unitel.co.kr),

****Dept. of Architectural Engineering, Yonsei University(sean@yonsei.ac.kr)

Abstract

In a residential complex case, the efficiency of land use are maximized, but a variation of external condition such as load in-equality, the increase in wind velocity and solar radiation by a height causes increasing energy in a building. Besides, because of increasing window size for a lighting and a view, it comes heating load in winter and cooling load in summer. A choice of cooling-system is important for this reason. Recently an internal high-rise residential complex installs an air-cooling system and operates individual heating.

However, this study applies water-cooling used one public cooling-tower instead of an air-cooling system, also with an efficiency test of an air and a water-cooling system, consider an internal applicability.

Keywords : 주상복합(Residential apartment complex), 수냉식 냉방시스템 (Water-cooling system), 공냉식 냉방시스템(Air-cooling system),

1. 서 론

현재 우리나라의 공동주택은 건축기술의 발달과 함께 랜드마크적인 요소로서 대형화, 고층화

되어 가고 있으며, 과학기술의 발전으로 초고층 공동주택은 경제수준을 향상시키고, 재테크의 수단으로서 그 선호도가 증가하고 있다.

특히 2006년부터 공동주택의 발코니 확장법이

시행되면서 설계시 부터 발코니가 없이 설계함에 따라 전면부를 창호로 설계하는 경우가 증가하고 있다. 이 경우 일사의 유입은 냉방부하의 주요인이 되고 창호의 열관류 손실로 인해 겨울철 난방부하의 요인이 되고 있다. 또한 이를 제어하기 위해 엄청난 에너지를 소비하게 되기 때문에 보다 경제적인 냉방시스템이 요구되는 실정이다.

초고층 공동주택의 냉방시스템은 공냉식 멀티에어컨 시스템과 환기유닛을 조합한 방식이 일괄적으로 적용되고 있으나 연구 대상인 A공동주택은 공냉식 냉방시스템에서 발생하는 문제점을 보완하기 위해 수냉식 개별 냉방시스템을 적용하고 있다.

이 시스템은 개별실외기 대신 하나의 공용 냉각탑으로 사용할 수 있으므로 공간의 효율성과 강풍에 대한 열교환성능이 저하되지 않는 특징을 가지고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 A공동주택을 대상으로 실외기의 형식에 따른 개별 냉방시스템의 성능평가를 통해 수냉식 냉방시스템의 국내 적용성을 검토하는 데 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구의 고찰

본 연구수행을 위해 공냉식과 수냉식 냉방시스템에 대한 선행연구 및 실험 등을 분석하였으며, 기존연구에 따르면 건구온도 35℃, 습구온도 27℃ (RH 54%), 풍속 1.7m/s, 유량 5.1l/min 조건하에 냉각탑의 온도가 높아지면 COP는 저하되고, 유량을 증가하면 COP는 향상된다는 것이 밝혀졌으며, 수냉식 냉방시스템이 공냉식 냉방시스템보다 비용면에서 15%정도 우수한 성능을 가진 것이 입증되었다.¹⁾

3. 수냉식 냉방시스템의 부분부하 산출

3.1 수냉식 냉방시스템 Chamber Test

정확한 에너지시뮬레이션을 위해서는 여러 가지 냉방시스템에 대한 입력변수가 필요하다. 그 중 냉

방시스템의 에너지 효율을 나타내는 EER (Energy Efficiency Ratio)값은 전력사용량을 결정하는 중요한 변수이며 식(1)에 의해 계산할 수 있다.

$$EER = \frac{Q_c}{1000W} \quad \text{식(1)}$$

Q_c 는 냉방능력, W 는 소비전력

정격출력에서의 EER값은 제품의 SPEC상에 표시되어 있지만 부분부하가 발생한 경우 EER값은 정격출력보다 낮아지게 된다. 에너지시뮬레이션에서는 부분부하에 따른 EER값을 곡선 방정식의 형태로 입력하게 되어 있는데 제품의 SPEC상에는 나타나 있지 않기 때문에 Chamber Test를 통해 부분부하 곡선을 도출하는 과정이 필요하다.

본 절에서는 Chamber 실험을 통해 수냉식 냉방시스템의 EER Test를 실시하였다. Chamber 실험에서 냉방시스템의 냉각수 온도 또는 유량을 조절하여 부분부하량을 조정하였으며, 부분부하의 변수로는 정격출력인 100%와 80%, 60%, 40%, 20%를 기준으로 EER값을 도출하였다.

그림 3-1의 부분부하 성능곡선은 4장의 에너지시뮬레이션에서 수냉식 냉방시스템의 기본 자료로 이용되어 보다 정밀한 에너지 분석을 수행하고자 한다.

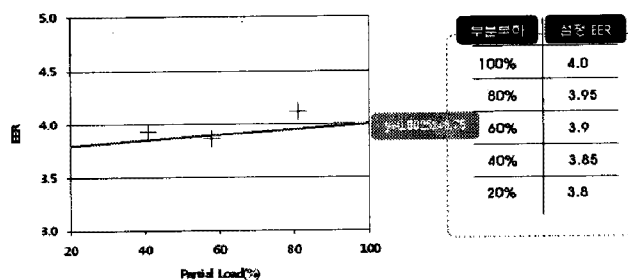


그림 3-1. 부분부하 성능곡선

4. 에너지 분석

4.1 분석개요

A공동주택은 기존의 냉방시스템이 채용하고 있는 공냉식 개별 실외기를 사용하는 것이 아니라 개별 실내기에 공용 냉각탑을 적용하고 있다.

1) S.S. Hu, B.J. Huang, "Study of a high efficiency residential split water-cooled air conditioner", *Applied Thermal Engineering*, 2005

표 4-1. 인천과 서울의 월평균 기후 값

구분	지역	수치	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연간
외기 온도 (°C)	인천	최대	2.9	5.5	10.6	17.0	22.6	26.2	27.9	29.2	26.2	20.5	12.5	5.1	17.2
		최소	-4.4	-2.3	2.1	8.3	13.2	18.1	21.6	22.6	18.0	11.6	4.3	-2.4	9.2
		평균	-1.1	1.2	5.8	12.0	17.2	21.4	24.1	25.4	21.6	15.5	8.0	1.1	12.7
	서울	최대	2.1	5.3	10.5	17.7	23.5	27.3	28.5	29.5	25.8	19.9	11.8	4.3	17.2
		최소	-4.9	-2.8	1.8	8.3	13.7	18.7	22.0	22.7	17.8	11.0	3.6	-2.9	9.1
		평균	-1.6	1.0	5.9	12.7	18.3	22.6	24.9	25.7	21.5	15.1	7.5	0.5	12.8
상대 습도 (%)	인천	평균	62.7	61.1	60.9	61.7	69.7	74.4	82.4	78.6	71.2	65.2	60.9	59.0	67.3
	서울	평균	59.2	55.4	54.1	53.8	61.0	65.9	76.6	74.2	67.4	61.8	58.7	56.4	62.0
일조 시간 (hour)	인천	평균	173.5	181.1	208.7	205.9	218.0	179.1	129.7	158.0	168.3	204.9	163.0	178.0	180.7
	서울	평균	138.6	145.4	166.2	171.3	180.7	139.9	81.5	118.8	164.8	176.2	137.6	148.2	144.9
평균 풍속 (m/s)	인천	평균	2.9	3.2	3.6	3.4	2.7	2.2	2.3	2.1	1.7	1.9	2.5	2.9	2.6
	서울	평균	2.3	2.5	2.7	2.7	2.3	2.1	2.1	2.0	1.8	1.8	2.1	2.3	2.2

본 장에서는 수냉식 냉방시스템이 공냉식 냉방 시스템에 비해 경제성이 있는지를 분석 할 것인데, 분석순서는 ① 인천과 서울지역의 기상데이터 분석, ② 공냉식과 수냉식 냉방시스템 적용시 건물의 냉난방 부하 분석을 중심으로 하여 연구를 진행하였다.

에너지 분석을 위해 사용되는 시뮬레이션 프로그램은 건물의 동적 반응이 포함되고, 냉난방, 채광 및 전기 등 각종 에너지 시스템의 정밀묘사, 정확하고 신뢰성 있는 동적 열부하 계산, 건물에너지의 분석 등이 가능한 eQuest(DOE-2.1E를 엔진으로 하고 있음)를 사용하였다.

4.2 인천지역 기상데이터 분석

에너지 시뮬레이션의 분석결과를 신뢰하기 위해서는 시뮬레이션의 주요인자인 표준 기상데이터의 정확성에 대한 신뢰성이 확보되어야 한다. 본 연구는 현재 국내 에너지시뮬레이션의 기초자료로 활용되고 있는 공조학회의 표준기상데이터를 사용하였다.

인천지역의 기상데이터를 분석하기 위하여 국내의 대표적인 기상데이터인 서울지역의 기상데이터와 비교 분석을 통하여 인천지역의 기상조건의 특성을 분석하였다. 인천 및 서울의 온도, 일사량, 풍속에 관련된 월별 최대, 평균, 최소값 및 연간 평균값은 표 4-1과 같이 정리하였다.

4.3 에너지 시뮬레이션의 입력변수

건물의 냉난방분석을 실시하기 위해서 국제적

으로 신뢰성이 확보된 eQuest를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 입력변수는 다음과 같다.

- ① 건물의 모델링
- ② 재료의 물성치 입력

4.3.1 사용 시뮬레이션의 프로그램

적용된 에너지 시뮬레이션 프로그램은 eQuest 3.61로 여기에서 수행되는 4가지 기능에는 첫째로 냉난방부하의 계산이 가능하며, 둘째로 시스템부하를 계산할 수 있으며, 셋째로 열원설비를 결정할 수 있고, 넷째로 경제성의 분석이 가능하다.

4.3.2 건물의 모델링

제공된 해당 도면을 바탕으로 건물 모델링을 실시하였다. 실질적으로 모든 건물과 세대를 모델링하여 시뮬레이션을 실시하게 되면 실제 모델링 시간과 시뮬레이션 시간, 그리고 결과 분석을 통한 모델링 수정 등에 많은 시간이 소요되므로 오히려 세대별 결과에 대한 정밀도를 얻기가 힘들어진다. 따라서 효율적인 시뮬레이션을 위해서 시뮬레이션 결과상 예측되는 가장 중요한 요소를 바탕으로 건물을 단순화시키는 것이 필요하다.

세대별 내부의 경우, 기존의 연구결과에 의하면 세대별로 각 실로 나눈 것과 세대를 하나의 ZONE으로 나누는 것의 세대별 전체의 냉난방부하의 차이는 없는 것으로 나타나있다. 따라서 A 공동주택의 경우에는 우선 건물의 중심이 되는 대표세대를 설정하고 대표세대(6세대, 공조구간) 및 코어부분(비공조구간)을 중심으로 64개 층의

모델링을 실시하고 옥상과 바닥 층의 영향이 없는 중간층에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

기준층의 경우에는 설계도면(그림 4-1)을 바탕으로 각 세대별로 존을 나누었다. 존의 경우에는 각 세대는 공조구간 그리고 실내의 코어 부분은 비공조구간으로 설정을 하였다(그림 4-2).

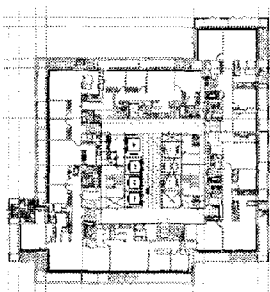


그림 4-1. 기준층 도면

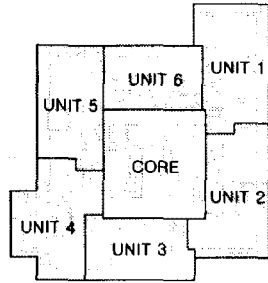


그림 4-2. 기준층 평면의 구분

내부공간의 경우에는 도면상에 약간의 차이가 있지만 도면상의 바닥면적 및 높이를 바탕으로 정확한 실내체적을 입력하였다. 천장의 높이의 경우에는 모델링에 적용한 기준층의 경우에는 평수와 실에 따라서 (2.4m~2.6m)의 차이를 보이고 있어서 2.5m를 기준으로 설정을 하였다. 또한 빛이 들어오는 부분만 창으로 인정을 하고 그 외의 커튼월의 경우 창호로 인식, 스펀드럴 (Spandrel) 부분의 경우에는 외벽으로 모델링을 실시하였다.

4.3.3 건물의 물성치 설정

시뮬레이션에서 건물을 구성하는 재료는 크게 창호, 외벽, 내부간벽, 문(외부로 출입문), 천장/슬라브로 구성된다. 건물을 구성하는 재료의 물성치는 열관류율, 밀도, 비열의 값이 들어가게 된다.

Construction 부분에 적용된 물성치

표 4-2. 적용유리 구성표 및 물성치값

유리구성 (28mm Low-e유리)	가시광선		태양열복사열		열관류율	차폐계수	취득 총 열량
	투과율	반사율	투과율	반사율			
8LE-80(HS) +12+8CI(HS)	71	12	45	18	1.73	0.64	418

표 4-3. 내외벽 구성 및 물성치값

구분	구성재료	두께(mm)	열전도율(W/m°C)	열저항(m²°C/W)	비열(kJ/kg°C)	밀도(kg/m³)
1	이중유리	24	-	0.270	-	-
2	경량외벽판넬	280	0.522	-	837	1121
3	단열재	50	0.043	1.163	837	10
4	공기층	55	-	0.160	-	-
5	콘크리트	400	0.990	0.153	837	2243
6	석고보드	25	0.121	0.160	-	-
7	목재마감	5	0.158	0.032	-	-

외벽: 열관류율 : 0.49W/m²°C,

내부간벽: 열관류율 : 0.62W/m²°C

천장/슬라브: 열관류율 : 1.65W/m²°C

문은 실제적으로 열전달에 의한 영향이 적으므로 배제한다.

4.4 냉난방 부하분석

앞서 만들어진 모델을 바탕으로 건물의 냉난방 부하를 계산하는데, 다음 그림 4-3은 대상 건물의 연간 냉난방부하 분석 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 전체적으로 난방부하(-1,620MWh)에 비하여 냉방부하(4,630MWh)가 2.9배 정도 많이 발생하는 것으로 난방부하 절감에 비하여 냉방부하의 절감이 필요한 것으로 나타났다.

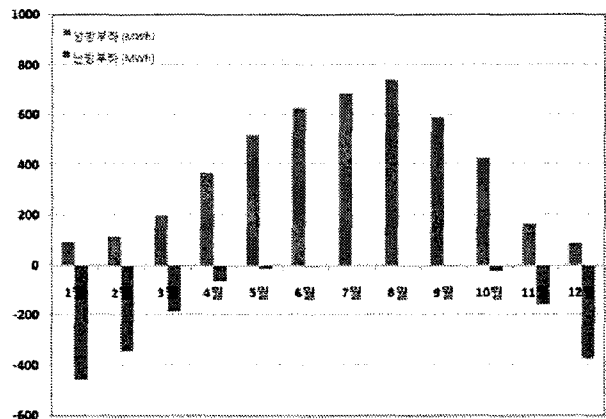


그림 4-3. 건물의 냉난방부하 분석

4.5 냉방 전력사용량 예측

4.5.1 전력사용량 산정방법

전력사용량을 산정하기 위해 전력거래소에서 격연간으로 조사하는 가정용 보급률 및 가정용 전력 소비행태조사(2006.12)의 자료를 토대로 36~50평과 51평이상의 평균 전력사용량을 고려하여 345.3kWh를 적용하였다. 또한 냉각탑 운영에 필요한 전기를 제외한 공용부 전기사용량은 425kWh²⁾로 설정하였다(표 4-4 참조).

표 4-4. 시스템별 소비량 예측 계산방법

구분		수냉식 냉방시스템	공랭식 냉방시스템
세대별 전력사용	기본 세대 전력사용량	345.3kWh	345.3kWh
	AC UNIT	시물레이션	시물레이션
	SYSTEM FAN	시물레이션	시물레이션
	실외기	-	시물레이션
공용부 전력사용	기본 공용부 전력사용량	425kWh	425kWh
	쿨링타워	시물레이션	-
	냉각수순환펌프	시물레이션	-

4.5.2 냉방시스템의 설정

① 수냉식 냉방시스템

시스템부하 예측을 위해 적용된 수냉식 냉방시스템의 냉각탑은 단위세대 및 복도, 로비, 주민공동시설에 수냉식 AC냉각수 공급용으로 설치되었으며, 대향류 개방형으로 적용되었다. 3대의 냉각탑은 외부인 옥탑 3층에 설치된 것으로 하였으며, 에코너 드라이브시스템을 통해 시간당 1,749,000kcal의 냉각용량을 공급하게 된다. 냉각수의 입출온도는 37℃와 32℃로 약 5℃의 온도차로 설계되었고, 외기조건은 27℃를 가정하였다.

열교환기는 고층부 주거용 냉각수용으로 판형 열교환기 2대로 가정했으며, 1차측은 입구온도 32℃, 출구온도 37℃, 유량은 3,681lpm을 2차측은 입구온도 40℃, 출구온도 35도 유량은 3,681lpm으로 설정하였다. 전열면적은 87.5㎡로 최고사용압력은 16Kgf이며, 냉각용량은 시간당 1,104,000kcal에 달한다.

2) (출처 : New Songdo City Development Proejct, 공랭식/수냉식 에어컨 운전비 검토, 2004.11)

② 공냉식 냉방시스템

수냉식 냉방시스템에 대응한 공냉식 냉방시스템의 냉방용량은 시간당 14,616kcal로 소음은 성능에 따라 45~49dB를 발생시킨다. 정격냉방전류는 25A로서, 정격냉방 소비전력은 5,300W를 사용한다. 시스템에 적용된 송풍기의 형식은 Sirocco Fan을 사용하였으며, 본 송풍기는 881W의 정격 입력에 High/Med/Low의 성능에 따라 각각 55/50/45CMM의 풍량을 공급할 수 있다.

③ 환기시스템

환기시스템은 환기횟수 0.7ACH가 적용된 전열교환 환기시스템이 적용되었다.

결과적으로 앞서 냉난방부하에서의 입력변수와 냉방시스템과 관련된 입력변수, 냉방시스템의 부분부하 성능곡선 등을 에너지 시물레이션에 적용하여 정밀 에너지 시물레이션을 수행하면 냉방시스템 각 부분에 대한 전력사용량이 계산된다.

4.5.2 전력사용량 예측

다음은 공냉식 및 수냉식 냉방시스템을 적용했을 때 여름철 주요냉방기간인 6월1일부터 10월31일까지, 24시간 냉방을 가정하여 전력사용량 예측 및 두 시스템을 서로 비교하였다.

① 공냉식 냉방시스템

표 4-5. 공냉식 시스템 전력사용량 (6월~10월)

구분		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	합계
세대	세대 전력 사용량	1,727	1,727	1,727	1,727	1,727	1,727	10,359
	냉방기	2,616	3,748	3,330	1,892	2,773	2,984	17,343
	팬동력	374	541	474	266	388	417	2,461
	실외기	558	807	708	398	580	624	5,491
	합계	5,274	6,823	6,238	4,282	5,468	5,751	35,654
공용	공용 전기	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	12,750
	쿨링 타워	0	0	0	0	0	0	0
	냉각수 펌프	0	0	0	0	0	0	0
	합계	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	12,750
합계	7,399	8,948	8,363	6,407	7,593	7,876	48,404	
냉각전력	3,548	5,096	4,512	2,556	3,741	4,025	25,295	

② 수냉식 냉방시스템

표 4-6. 수냉식 냉방시스템 전력사용량 (6월~10월)

구분	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	합계	
세대	세대 전력 사용량	1,727	1,727	1,727	1,727	1,727	1,727	10,359
	냉방기	1,984	2,881	2,540	1,423	2,100	2,260	13,188
	팬동력	385	565	492	273	400	408	2,523
	실외기	0	0	0	0	0	0	0
	합계	4,096	5,173	4,758	3,423	4,227	4,394	26,071
공용	공용 전기	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	2,125	12,750
	쿨링 타워	424	424	424	424	424	424	2,547
	냉각수 펌프	934	934	934	934	934	934	5,604
	합계	3,483	3,483	3,483	3,483	3,483	3,483	20,900
냉각전력	7,579	8,656	8,242	6,906	7,711	7,877	46,971	
냉각전력	3,728	4,804	4,390	3,055	3,859	4,026	23,862	

③ 공냉식과 수냉식 냉방시스템의 비교

그림 4-4은 냉방시스템별 전력사용량을 구성요소별로 나타낸 것이다.

수치상으로 볼 때는 수냉식 냉방시스템이 공냉식보다는 전력사용량이 약간 많기 때문에 비경제적으로 볼 수 있지만 수냉식 냉방시스템의 기본 구성을 보면 공용부 전력사용량의 비중이 높다. 따라서 실제적 경제성 분석인 비용으로 접근할 경우 전기요금산정 방식에 따라 두 시스템 간의 경제성이 바뀔 수 있기 때문에 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

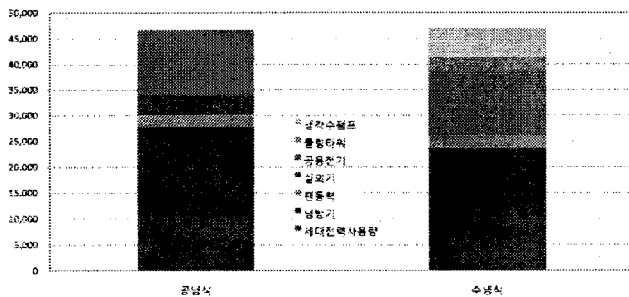


그림 4-4. 냉방시스템 구성요소에 따른 전력사용량 비교(6월~10월)

5. 결론

본 연구에서는 A공동주택을 대상으로 실외기의

형식에 따른 개별 냉방시스템의 성능평가를 통해 수냉식 냉방시스템의 국내 적용성을 검토하였다.

그 결과 A공동주택의 냉난방부하에서 냉방부하가 난방부하에 비하여 2.9배 정도 높음으로서 난방부하 절감에 비하여 냉방부하의 절감이 필요한 것으로 나타났으며, 수냉식 냉방시스템의 공용부 전력사용량이 공랭식 냉방시스템보다 비중이 높은 것을 나타냈다.

그러나 선행연구와 현연구의 지리적인 차이와 냉각탑의 설치형태 등을 비교했을 때, 적용가능성은 충분한 것으로 나타났다.

이를 통하여 본 논문은 앞으로 수냉식 냉방시스템 및 공냉식 냉방시스템의 전력사용량을 분석한 자료를 토대로 냉방비를 예측하고, 그것에 대한 경제성을 평가하는 단계로 발전해 나가는 선행연구가 될 것이다.

참고문헌

- 1) 공기조화냉동공학회, 건물의 공조부하계산용 표준 전산프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1996.09
- 2) S.S. Hu, B.J. Huang, "Study of a high efficiency residential split water-cooled air conditioner, *Applied Thermal Engineering*, 2005