

에너지 해석을 통한 대학건물의 에너지 성능개선 방안에 관한 연구

정재웅*, 김동우**, 석호태***, 양정훈****

*영남대학교 대학원 건축학과(hamerdragon@hanmail.net),
**영남대학교 대학원 건축학과(shagwa@ynu.ac.kr),
영남대학교 건축학부(hotstone@ynu.ac.kr), *영남대학교 건축학부(yangjh@ynu.ac.kr)

A Study on the Improvement Plans of Energy Performance in University Building through the Analysis of Energy

Jung, Jae-Woong* Kim, Dong-Woo** Seok, Ho-Tae*** Yang, Jeong-Hoon****

*Dept. of Architecture, Graduate School, Yeungnam University(hamerdragon@hanmail.net),
**Dept. of Architecture, Graduate School, Yeungnam University(shagwa@ynu.ac.kr),
***School of Architecture, Yeungnam University(hotstone@ynu.ac.kr),
****School of Architecture, Yeungnam University(yangjh@ynu.ac.kr)

Abstract

Today, the amount of energy consumption in the university campuses is huge. The effort for the energy consumption reduction in university campuses is certainly needed by the following reason; first, contribution to the greenhouse gas discharge reduction demand. Second, energy cost reduction in university campus. Third, contribution to the improvement of the social awareness as the maximum higher educational institutions. The energy consumption analysis of current situation has to be executed for the energy consumption reduction in university campus. The energy reduction possibility in which it exists in university campuses can be understood through the energy consumption analysis. And the application is possible as fundamental data of the policy establishment for the effective energy reduction in university campuses. Especially, the best way to reduce the energy consumption in university campuses that is the energy consumption reduction of buildings. Accordingly, this study derived the plans for improving the performance of energy in the university building by analyzing case study, so this study analyzed the performance of energy for the university building through VE, a program for the analysis of building energy. Based on this result, this study classified the plans improving the efficiency of energy in university building into the plan for passive control and active control respectively, and suggested some concrete plans, and finally evaluated the performance of decreasing energy consumption for each plan.

Keywords : 대학건물(University Building), 에너지 사용량(Energy Consumption), VE(Virtual Environment), 에너지 성능개선(Improvement of Energy Performance)

투고일자 : 2010년 1월 28일, 심사일자 : 2010년 1월 30일, 게재확정일자 : 2010년 2월 15일
교신저자 : 석호태(hotstone@ynu.ac.kr)

1. 서 론

오늘날 기후변화로 인한 자연재해와 화석 연료의 고갈로 인한 고유가로 인해 전 세계가 어려움을 겪고 있다. 우리나라는 화석연료에 대한 해외의존도가 크며 특히, 2013년부터 이산화탄소 감축의무국이 될 가능성이 높아지고 있는 상황이다. 이에 따라 정부에서는 “저탄소 녹색성장”을 목표로 다양한 노력을 기울이고 있으며, 학계와 기업 등 전 사회에 걸쳐 이산화탄소 배출저감과 에너지 소비저감을 위해 노력하고 있다.

특히, 소비사회의 축소판 모델이며, 에너지 다소비 기관으로 매해 선정되고 있는 대학 또한 에너지 소비저감을 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 그러나 대부분 캠페인성 방안과 신재생에너지의 활용에만 국한되어 있어 실질적인 에너지 소비저감에는 도움이 되고 있지 못한 상황이다.

대학의 에너지 소비저감을 향한 근본적이면서도 실질적인 방안은 대학건물의 에너지 성능개선이다. 대학건물은 대학의 주된 에너지 소비원이며, 학생 및 교직원의 주인의식 부족과 낙후된 건물로 인해 과도한 에너지가 지속적으로 낭비되고 있기 때문이다.

그러나 대학건물은 지역별, 특성별, 규모별, 용도별로 다양한 형태와 시스템, 재질 스키줄을 가지고 있어 표준화된 대학건물을 도출하여 에너지 성능개선 방안을 제시하기란 어려운 실정이다. 따라서 본 연구는 대상 대학건물의 에너지 성능개선 방안 제시를 목표로 하고 있으며, 선행연구를 바탕으로 건물 에너지 해석용 프로그램을 통해 대상 대학건물의 에너지 성능 분석과 에너지 성능개선 방안의 도출 및 평가를 실시하고자 한다.

2. 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 대상 대학건물의 구체적인

에너지 성능개선 방안을 제시하고 각 방안의 에너지 소비저감 성능을 평가하였다. 이를 위해 건물 에너지 해석용 프로그램 VE(Virtual Environment)를 이용하였다.

VE는 영국 IES(Integrated Environmental Solutions)에서 개발한 동적 열부하 계산 프로그램으로 건물의 에너지, 부하, 일조권, 조명, 피난 등 다양한 시뮬레이션이 가능한 프로그램이다. 또한 VE는 모델링 작업이 간편하며, 시각적인 디자인에 뛰어난 성능을 가지고 있어 건축가, 엔지니어, 계획가, 설비 기술자 등에 의해 널리 사용되고 있는 통합 건물 성능 분석 프로그램이다.

2.1 시뮬레이션 대상 대학건물

시뮬레이션 대상 대학건물은 경상북도 경산시에 위치한 Y대학교 인문관 건물로 강의실을 포함하고 있으며, 준공 후 일정기간이 지난 일반적인 대학건물이다. 또한 사용이 증가되고 있는 냉난방 시스템인 EHP 시스템이 적용되어 있으며, 에너지 사용의 실시간 모니터링이 가능한 시스템이 구축되어 있다.

건축 및 설비도면의 검토와 현장조사를 통해 모델링하였으며, 공조·비공조 공간의 구분, 유사한 실의 통합을 통해 가장 효율적으로 조닝하였다. 인문관의 기본모델 기준층 평면도는 그림 1과 같으며, 각 층별 조닝 구성은 표 1과 같다.

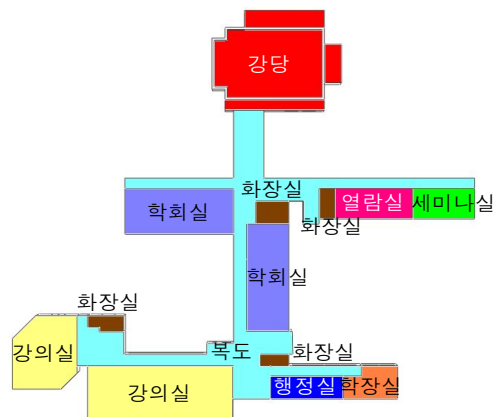


그림 1. 인문관의 기본모델 기준층(1층) 평면도

표 1. 인문관의 각 층별 조닝 구성

구분	조닝 구성
1층	강의실, 학회실, 행정실, 학장실, 열람실, 세미나실, 복도, 화장실, 강당
2층	강의실, 학회실, 행정실, 전산실습실, 휴게실, 복도, 화장실, 강당
3층	강의실, 연구실, 행정실, 세미나실, 복도, 화장실
4층	연구실, 행정실, 복도, 화장실
5층	연구실, 복도, 화장실

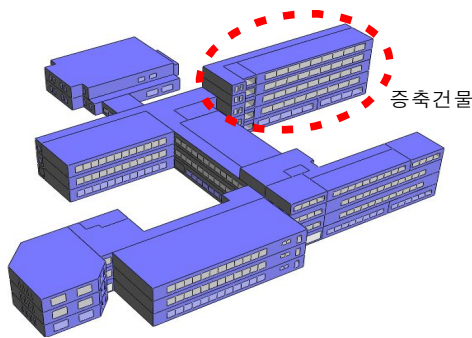


그림 2. 인문관의 기본모델 3D View

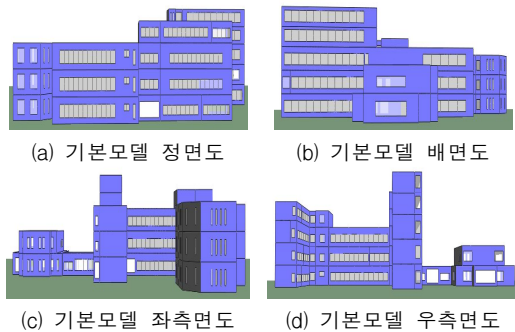


그림 3. 인문관의 기본모델 입면도

2.2 시뮬레이션 경계조건

시뮬레이션의 경계조건은 건축도면 및 설비도면, 관리자와의 면담, 건물의 현장조사 등을 통해 수집된 자료와 설문조사를 검토하여 실제 건물과 최대한 유사하게 설정하였다.

Y대학교 인문관의 정확한 기상자료 및 위치조건은 VE상에서 제공되지 않아 Y대학교와 가장 유사한 위치인 대구의 기상자료 및

위치조건을 입력하였다. 기상자료는 한국태양에너지학회 대한민국 표준기상데이터의 VE용 대구 기상파일을 사용하였다.¹⁾

인문관의 경우 기존건물과 증축건물²⁾로 구분되어 있으며, 창은 과거 창호교체 작업으로 인해 전체 건물에 12mm 복층유리가 적용되어 있다. 각 구성재료의 물성치는 표 2~표 4와 같다.³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾

표 2. 인문관의 기존건물 구성재료 및 물성치

구조체	재료명	두께 (mm)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat Capacity (mK/W)
외벽	적벽돌 화장쌓기(0.5B)	90	0.78	1660	837
	공간	200	·	·	·
	시멘트 벽돌(1B)	190	0.51	1400	1000
	모르타르	18	0.93	1950	921
내벽	페인트	2	·	·	·
	모르타르	18	0.93	1950	921
	시멘트 벽돌(1B)	190	0.51	1400	1000
	모르타르	18	0.93	1950	921
바닥	인조석 물갈기	24	1.802	2243	837
	콘크리트	120	1.4	2100	840
지붕	보호모르타르	24	0.93	1950	921
	경량콘크리트	30	0.114	650	1173
	액체방수 3회	3	0.19	960	837
	콘크리트	120	1.4	2100	840
천정	단열재	50	0.043	32	837
	천정속 공간	500	·	·	·
	아스칼텍스	6	0.16	950	840

- 1) 한국태양에너지학회 대한민국 표준기상데이터 등록번호 대구 2009-Daegu-R-004에 의거 함
- 2) 본 연구에서 증축건물 부분은 1995년 증축된 연구동 건물을 의미함
- 3) ASHRAE, 「ASHRAE Handbook of Fundamentals」, 2005.
- 4) IES, 「Virtual Environment 5.9 Manual(Apache-Tables)」
- 5) 박진철, 「학교건물의 에너지 성능개선에 관한 연구」, 설비공학논문집, 2004.1
- 6) 석호태, 양정훈, 정재용, 「학교건물에서의 외피녹화에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구」, 한국태양에너지학회 논문집, 2008.12
- 7) 송승영, 구보경, 최보혜, 「외단열시스템 적용에 따른 공동주택 축벽-슬라브 접합부의 단열성능 평가」, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 2007.6

표 3. 인문관의 증축건물 구성재료 및 물성치

구조체	재료명	두께 (mm)	Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat Capacity (m ³ K/W)
외벽	적벽돌 화장쌓기(0.5B)	90	0.78	1660	837
	콘크리트 옹벽	100	1.4	2100	840
	단열재	50	0.043	32	837
	공간	200	.	.	.
	시멘트 벽돌(0.5B)	90	0.51	1400	1000
	모르타르	18	0.93	1950	921
내벽	페인트	2	.	.	.
	페인트	2	.	.	.
	모르타르	18	0.93	1950	921
	6인치 블록쌓기	150	0.51	1400	1000
	모르타르	18	0.93	1950	921
	페인트	2	.	.	.
바닥	인조석 물갈기	24	1.802	2243	837
	콘크리트	120	1.4	2100	840
	보호모르타르	24	0.93	1950	921
지붕	무근콘크리트	60	1.4	2100	840
	Sheet 방수층	3	0.19	960	837
	콘크리트	120	1.4	2100	840
	단열재	60	0.043	32	837
천정	천정속 공간	720	.	.	.
	아스팔텍스	6	0.16	950	840

표 4. 인문관 창의 구성재료 및 물성치

구조체	재료명	두께 (mm)	Conductivity (W/mK)	Transmittance
창	Single Glass	3	1.06	0.86
	Cavity(air)	6	.	.
	Single Glass	3	1.06	0.86
	알루미늄 Bar	.	.	.

인문관의 재실 스케줄 및 조명, 기기의 사용 스케줄은 실제 건물의 공간사용 현황을 반영하였다.⁸⁾ 강당은 재실 스케줄을 일반화하기 불가능하여 참고문헌의 강당 스케줄을 이용하였다.⁹⁾

재실 스케줄 및 조명, 기기의 사용 스케줄은 평일과 주말의 스케줄, 방학기간과 학기 중의 스케줄로 나뉘며 각 구성들을 조합하여 용도별 연간 스케줄을 반영하였다.

인문관의 실내발열 부하로는 조명, 컴퓨터 관련 장비, 인체로 볼 수 있으며, 현장조사 및

설문조사를 통해 각 용도별 평균화된 값을 적용하였다.¹⁰⁾

표 5. 인문관의 용도별 실내발열 부하 조건

구분	조명 (W/m ²)	기기 (W/m ²)	인체 (m ² /person)
강의실	10	0.3	1.5
행정실	8	3	20
학회실	8	2	4
휴게실	8	0	4
연구실	8	2	26
전산실습실	10	20	2.5
학장실	4	1	44
열람실	10	0	1.8
세미나실	10	1	3
강당	10	0.3	1.7
복도	5	0	100
화장실	8	1	30

본 연구의 대상인 인문관에서는 냉난방이 각기 다른 방식으로 운영되고 있다. 냉방은 강의실에 EHP 시스템, 연구실 및 행정실 등에 패키지 에어컨이 설치되어 있으며, 난방은 건물 전체에 심야전기 축열식 온풍기가 설치되어 있다. 모델링에서 각 냉난방 시스템을 유사하게 구현해야 하나 본 연구에 사용된 건물 에너지 해석용 프로그램인 VE는 건물부하 해석에 주로 사용되는 프로그램이다. 따라서 공조방식의 선정에 제약이 많아 패키지 에어컨과 같이 각기 다른 용량을 가진 시스템을 각 실에 적용하기는 VE에서는 사실상 불가능하다. 또한 패키지 에어컨의 경우 인문관의 냉난방에서 작은 비율을 차지하고 있다.

따라서 패키지 에어컨은 제외하고 EHP 시스템, 축열식 온풍기를 주된 시스템으로 적용하고자 하였다. 두 시스템 역시 공조방식의 선정에서 실제와 유사하게 구현하기는 시뮬레이션 상에서 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 시스템의 운전 방식에서 다소 차이는 존재하나 EHP 시스템, 축열식 온풍기의

8) 정재웅, 「사례분석을 통한 대학건물의 에너지 성능개선 방안에 관한 연구」, 영남대학교 대학원 석사학위논문, p39~45, 2010

9) 산업자원부, 「에너지 절약형건물의 성능인증기준·제도 및 보급촉진방안 연구」, 2001.9

10) 설비공학편람을 참고하여 인체 발열량 및 기기 발열량을 산정하였으며, 인체의 경우 현열량을 70W/person, 잠열량을 45W/person으로 적용하였고, 개인용 컴퓨터 50W/대, 복사기 300W/대의 값을 적용함

냉난방을 동일한 시스템으로 구현하기 위해 열 공급특성이 유사한 Fan Coil Units 방식을 적용하였다. 이는 세 시스템 모두 외기의 도입 없이 실의 냉난방을 조절하는 시스템이며, 각 실에 개별조절 유닛을 가지고 있기 때문이다.

이와 더불어 운영 스케줄을 실제 건물과 동일하게 적용하기 위해 냉방은 설정온도 24℃로 하였으며, 난방은 축열식 온풍기의 축열시간 스케줄과 동일하게 on-off되도록 설정하였다. 이는 실내 열 쾌적환경의 관점에서는 실제 건물과 차이가 발생할 수 있으나 본 연구의 최종 목표인 에너지 성능개선 방안의 평가를 위해서는 동일한 운영 스케줄 입력이 필요하다고 판단되어 이와 같이 적용하게 되었다.

인문관의 경우 기계환기는 운영되지 않고 있으며, 실제 건물의 현장조사를 통해 분석한 결과 자연환기 또한 거의 이루어지지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 본 건물에서 시스템을 통한 외기도입량과 자연 환기량 값은 입력하지 않았다.

침기량의 경우 문의 개폐나 창·문의틈새 등을 통해 이루어지는 침입외기로 측정이나 수 계산을 통해 침기량 산정이 가능하나, 본 대학건물의 경우 연구문헌 및 서적을 참고하여 0.4ach 값으로 설정하였다.¹¹⁾

2.3 시뮬레이션 타당성 검증

인문관의 에너지 성능개선 방안을 평가하기 위한 기본모델의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션 에너지 사용량 결과와 인문관의 실제 에너지 사용량을 비교·분석하였다.

그 결과 시뮬레이션의 연간 총 에너지 사용량이 실제 인문관의 연간 총 에너지 사용량에 비해 약 +61MWh 값의 차이를 나타냈으며, 약 +7.8%의 오차를 보였다. 월별 에너지 사용량의 패턴을 보면 4월~7월과 10월

부분에서 약간의 차이는 보이나 대체적으로 유사한 패턴을 따라 움직임을 알 수 있다.

실제 대학건물은 시스템의 개별제어, 운영 스케줄의 일시적인 변경 등 다양한 변수를 가지고 있어 약간의 오차가 발생하였다고 판단된다. 그러나 각 변수를 모두 시뮬레이션에 반영하기란 불필요한 요소이며, 본 연구는 최종에너지 사용량을 기준으로 에너지 성능을 평가하기 때문에 기본모델로는 타당하다고 판단된다.

그림 4는 실제 인문관의 에너지 사용량과 기본모델의 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다.¹²⁾

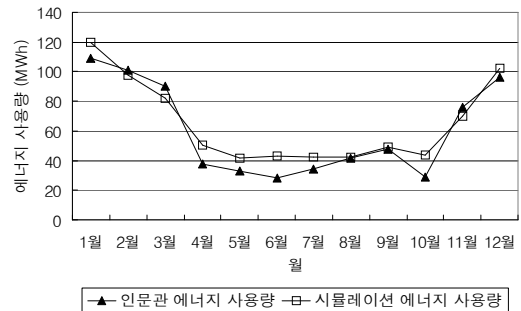


그림 4. 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 에너지 사용량의 결과 비교

3. 대상 대학건물의 에너지 성능 분석

3.1 최대 냉방부하 요소

기본모델의 시뮬레이션을 통해 분석한 결과 인문관의 최대 냉방부하량은 323kW이며, 발생 시각은 6월 15일 오후 3시인 것으로 나타났다. 대학건물의 경우 방학중에는 건물이 거의 운영되지 않아 하절기 학기중인 6월에 최대 냉방부하가 걸린 것으로 판단된다.

최대 냉방부하의 각 요소별 구성 비율을 살펴보면, 창 일사를 통한 냉방부하가 44%

12) 인문관의 경우 에너지원으로 전력만 사용되고 있어 전력 사용량 단위 (MWh)로 나타났다. 시뮬레이션의 경우 실제 사용되는 에너지원은 다양하지만, VE에서 총 에너지 사용량은 MWh로 변환된 값이 출력된다. 따라서 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 결과를 비교하기 위해 동일한 단위인 MWh 단위를 사용하였다.

11) M. Santamouris et al, 「Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings」, Energy and Buildings, 2007

로 가장 크며, 인체가 30%로 두 번째로 큰 것을 알 수 있다. 이는 인문관의 경우 외부표면에 대한 창면적비가 커 태양복사를 통한 냉방부하가 증가한 것으로 판단된다. 또한 학기중 대학건물은 강의로 인해 많은 수의 학생이 건물 내에 재실하고 있어 인체를 통한 발열부하가 증가한 것으로 판단된다.

세 번째로 큰 요소는 창이나 벽체 등의 외부표면을 통한 전도이다. 인문관의 경우 준공연도가 오래되어 단열상태가 미흡하며, 창면적이 넓어 창 전도를 통해 많은 양의 부하가 발생한 것으로 판단된다.

따라서 인문관의 경우 창 일사, 인체, 외부표면(창, 벽체 등)을 통한 전도가 냉방부하에서 가장 중요한 요인으로 판단되며 이에 대한 방안 모색이 필요할 것으로 판단된다.

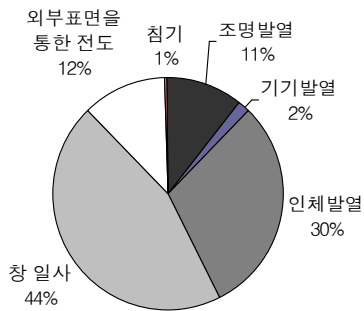


그림 5. 인문관 최대 냉방부하의 요소별 구성 비율

3.2 최대 난방부하 요소

인문관의 최대 난방부하량은 162kW이며, 발생 시각은 12월 2일 오전 5시인 것으로 나타났다. 최대 난방부하의 각 요소별 구성 비율을 보면, 창 및 벽체 등의 외부표면을 통한 전도가 72%로 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 인문관은 준공연도가 오래되어 벽체의 단열상태가 미흡하며, 창 면적이 넓어 외부 표면을 통한 전도로 많은 양의 부하가 발생한 것으로 판단된다.

두 번째로 높은 요소는 침기로 약 28%를

차지하고 있으며, 냉방과 달리 난방기간의 경우 실내의 큰 온도차로 인해 침기로 인한 열손실이 큰 것으로 판단된다.

따라서 인문관의 경우 외부표면(창, 벽체 등)을 통한 전도, 침기가 난방부하에 가장 중요한 요인으로 판단되며 이에 대한 방안 모색이 필요할 것으로 판단된다.

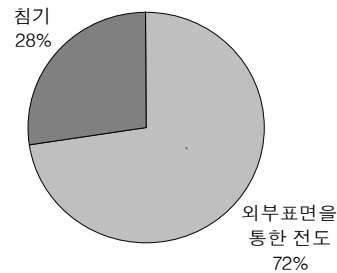


그림 6. 인문관 최대 난방부하의 요소별 구성 비율

3.3 각 요소별 에너지 사용량 분석

인문관의 각 요소별 연간 총 에너지 사용량을 살펴보면 전체적으로 난방이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 냉방, 조명, 팬·펌프, 기기(컴퓨터관련 장비) 순으로 비중이 크게 나타났다.

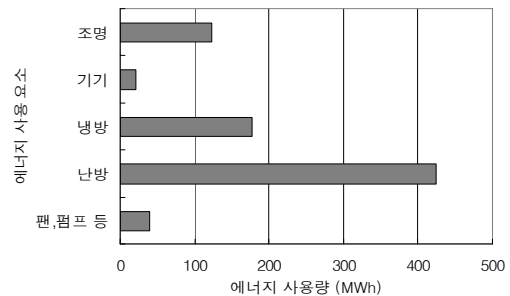


그림 7. 인문관의 각 요소별 연간 에너지 사용량

인문관의 경우 난방에 심야전기 축열식 온풍기를 사용하여 실제 난방부하량과 상관없이 일정 축열시간동안 지속적으로 운전하기 때문에 에너지 사용량이 가장 많이 나온 것

으로 판단된다. 냉방은 적용 면적이 난방에 비해 상대적으로 작으며, 방학기간의 사용량 감소 등의 요인으로 인해 난방에 비해 에너지 사용량이 적은 것으로 판단된다.

조명은 세 번째로 많은 양의 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 이는 대학건물은 학업이 주목적으로 조명에 대한 의존도가 높으며, 커튼이나 블라인드 사용으로 인해 자연채광을 거의 이용하지 않는다. 또한 재실 스케줄에 따라 조명이 조절되지 않아 조명 에너지 사용량이 상당한 부분을 차지하는 것으로 판단된다. 따라서 냉난방 시스템의 개선과 조명 개선작업이 가장 우선시 되어야 한다고 판단된다.

3.4 에너지 소비에 영향을 미치는 변수

인문관의 에너지 성능 분석결과를 통해 인문관의 에너지 소비에 영향을 미치는 변수를 도출하였다. 인문관의 경우 창 일사, 외부표면(창, 벽체 등)을 통한 전도, 침기, 냉난방 시스템이 가장 중요한 변수로 판단된다.

따라서 인문관의 에너지 소비에 영향을 미치는 변수를 고려한 에너지 성능개선 방안으로 창호개선, 외부표면의 단열보강, 기밀성능 향상을 통한 침기량 저감, 냉난방 시스템의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

4. 대상 대학건물의 에너지 성능개선 방안

선행연구와 에너지 성능 분석 결과를 통해 도출된 인문관의 에너지 성능개선 방안들을 건축적인 방안과 설비적인 방안으로 구분하여 정리하였다. 또한 도출된 에너지 성능개선 방안들을 평가하기 위해 기본모델의 에너지 사용량을 기준으로 비교·분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 각 방안들의 적용성을 검토해 보았다.

4.1 에너지 성능개선을 위한 건축적인 방안

앞서 도출된 에너지 성능개선 방안들 중 건축적인 방안들을 정리하였으며, 법규 및

관련문헌 검토를 통해 구체적인 방안들을 제시하였다. 건축적인 요소로 창호개선, 단열보강, 기밀성능 향상을 통한 침기량 저감의 3가지 방안을 선정하였다.

(1) 창호개선

인문관의 창을 통한 부하를 줄이기 위해 현재 적용되어 있는 12mm 복층유리를 아르곤 가스가 충전된 12mm 복층유리(2.93 W/m²K)로 교체하는 방안, 로이복층유리(24mm, 1.98W/m²K)로 교체하는 방안을 선정했다. 중간층이 아르곤 가스로 충전된 복층유리로 교체하여 창의 단열성능을 높일 수 있을 것이며, 로이복층유리 교체를 통해 효율적인 에너지 절약을 기대할 수 있을 것이다.

창호개선을 통한 에너지 소비저감 성능을 분석한 결과 아르곤 가스가 충전된 12mm 복층유리로 교체시 연간 총 에너지 사용량 약 7.4577MWh, 약 1%가 줄어들었다. 로이복층유리(24mm) 적용시 약 25.6515MWh, 약 3.3%가 줄어들었다. 아르곤 가스의 경우 난방 에너지는 매월 약 2MWh가 줄어들었으나, 냉방 에너지는 매월 약 0.2MWh가 줄어들어 차이를 거의 보이지 않았다. 로이복층유리의 경우 난방에서 많은 에너지 사용량 저감을 보였으며, 냉방에서도 작은 양의 에너지 사용량 저감을 보였다. 아르곤 가스와 로이복층유리의 비교시 로이복층유리가 인문관의 에너지 사용량 저감에 보다 더 효율적인 방법임을 알 수 있다.

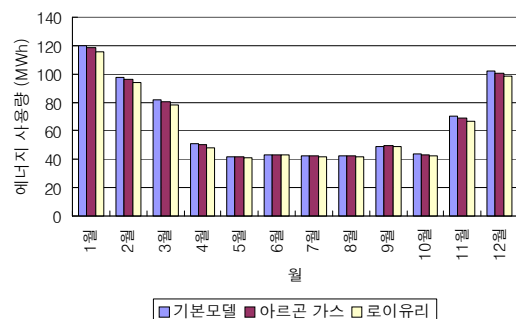


그림 8. 아르곤 가스와 로이복층유리 적용시 월별 에너지 사용량 변화

(2) 단열보강

인문관의 외부표면(외벽, 지붕 등)의 전도를 통한 부하를 줄이기 위해 단열재를 변경 및 추가하였다. 인문관의 경우 기존건물 벽체는 단열재가 적용되어 있지 않으며, 지붕의 경우 50mm 단열재가 적용되어 있다. 증축건물 벽체는 50mm 단열재, 지붕의 경우 60mm 단열재가 적용되어 있다. 따라서 건축물의 에너지절약설계기준에 의거 남부지역 학교건물에 일반적으로 적용되고 있는 “나”등급 단열재를 최소기준에 의거하여 인문관 건물 전체에 적용하였다. 벽체의 경우 단열재 “나” 등급 60mm(0.72 W/mK), 지붕의 경우 단열재 “나” 등급 105mm(0.41 W/mK)를 적용하였으며, 지붕, 벽체, 지붕과 벽체로 구분하여 적용하였다.

단열보강을 통한 에너지 소비저감 성능을 분석한 결과 지붕 단열보강시 연간 총 에너지 사용량 약 10.2087MWh, 약 1.3%가 줄어들었다. 벽체 단열보강시 약 36.99778MWh, 약 4.7%가 줄어들었다. 지붕과 벽체의 동시 단열보강시 약 48.5137MWh, 약 6.2%가 줄어들었다.

냉방 에너지는 큰 차이를 보이지 않으나 난방에서 상당한 에너지 사용량이 저감됨을 알 수 있다. 또한 벽체 단열보강이 지붕에 비해 에너지 사용 저감량이 큼을 알 수 있는데, 이는 인문관의 경우 벽체의 면적이 지붕면적에 비해 크며, 기존 건물의 경우 벽체에 단열재가 적용되어 있지 않았기 때문에 그 효과가 더욱 큰 것으로 판단된다.

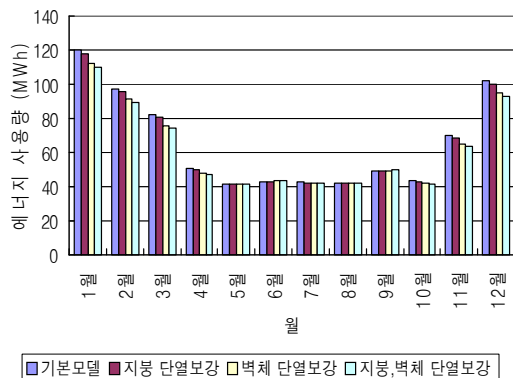


그림 9. 지붕과 벽체 단열보강시 월별 에너지 사용량 변화

(3) 침기량 저감

인문관의 침기량을 줄이기 위해서는 기밀성능 향상이 필요하다. 본 연구에서는 기밀성능 향상을 위한 방법을 침기량 값을 변화시킴으로 그 효과를 대체하였다. 침기량을 기존 0.4ach에서 참고문헌¹⁰⁾을 통해 조사한 최소 침기량인 0.1ach까지 0.1ach씩 감소시켜 에너지 소비저감 성능을 분석하였다.

침기량 저감을 통한 에너지 소비저감 성능을 분석한 결과 침기량 0.3ach를 적용한 경우 연간 총 에너지 사용량 약 17.2811MWh, 약 2.2%가 줄어들었다. 침기량 0.2ach를 적용한 경우 약 35.1998MWh, 약 4.5%가 줄어들었다. 침기량 0.1ach를 적용한 경우 약 53.7797MWh, 약 6.9%가 줄어들었다.

침기량은 값 변화에 따라 에너지 사용량에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 냉방 에너지와 난방 에너지 모두에 영향을 끼치지만 특히, 난방 에너지 사용량 저감에 큰 효과를 나타내는 것을 알 수 있다. 침기량의 경우 참고문헌을 통해 시뮬레이션에 적용하였기 때문에, 향후 실측을 통한 실제 침기량 적용이 필요할 것이다.

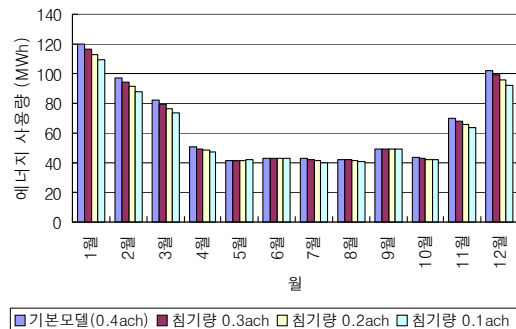


그림 10. 기밀성능 향상을 통한 침기량 저감시 월별 에너지 사용량 변화

4.2 에너지 성능개선을 위한 설비적인 방안

앞서 도출된 에너지 성능개선 방안들 중 설비적인 방안들을 정리하였으며, 법규 및 관련문헌 검토를 통해 구체적인 방안들을 제시하였다. 설비적인 요소로 열회수장치 설치의 적용을 기본모델을 대상으로 적용하였다.

이와 더불어 난방 시스템의 교체를 통한 기존 시스템대비 에너지 소비저감량 및 에너지 사용량 패턴의 변화를 분석하기 위해 널리 사용되고 있는 에너지 절약형 전공기방식인 VAV를 적용해 보았다. 또한 VE에서 제공되는 기능을 활용하여 대안 시스템(VAV)에서 냉난방 설정온도의 준수, 열회수장치 설치, 외기냉방 시스템 적용의 3가지 방안을 선정하여 각 방안별로 에너지 소비저감 성능을 비교·분석하였다.

(1) 열회수장치 설치

열회수장치는 건물로부터 배출되는 공기와 외부로부터 급기되는 공기의 열교환을 통해 에너지를 절감하는 방법이다. 이런 장치는 외기도입이 많은 건물에서 더욱 효과적이며 특히, 전력이 비교적 싸고 난방기간이 긴 지역에서 효과적이다. 따라서 시스템의 에너지 절약을 위한 항목의 하나로 VE에서 제공되는 공조방식인 Fan Coil Units with Heat Recovery를 선정하였으며, 그 효과의 정도를 알아보기 위해 에너지 소비저감 성능을 분석하였다.

열회수장치 설치를 통한 에너지 소비저감 성능을 분석한 결과 기본모델의 시스템인 Fan Coil Units에 열회수장치를 적용한 경우 연간 총 에너지 사용량 약 58.6733MWh, 약 7.5%가 줄어들었다. 냉방 에너지 저감에는 차이를 거의 보이지 않으나, 난방 에너지에서 큰 저감량을 나타내었다. 또한 건축적인 에너지 성능개선 방안에 비해 에너지 소비저감 효과가 상당히 큼을 알 수 있다.

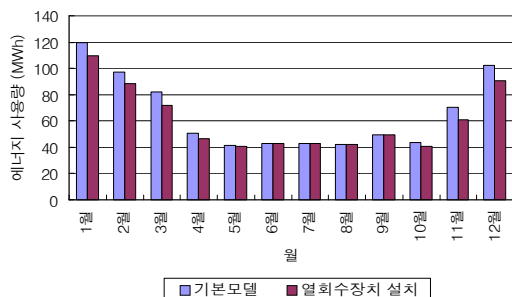


그림 11. 열회수장치 설치시 월별 에너지 사용량 변화

(2) 냉난방 시스템 교체(VAV)

인문관의 경우 패키지 에어컨의 개별제어와 심야전기 축열식 온풍기로 인한 과도한 냉난방 에너지 사용의 문제점을 도출하였다.

따라서 에너지 절약형 전공기방식인 VAV 시스템을 적용하여 실제 인문관 냉난방 시스템의 구현을 위해 적용된 Fan Coil Units과의 비교를 통해 현재 시스템의 성능을 비교·분석하였다. 또한 VAV 시스템을 기준으로 추가적인 에너지 절약을 위해 냉난방 설정온도 준수, 열회수장치 설치, 외기냉방 시스템의 설치를 통한 에너지 소비저감 효과를 비교·분석하였다. 현재 인문관의 기준온도는 냉방의 경우 24℃(EHP 기준), 난방의 경우 24℃(축열식 온풍기 작동시 실내온도)로 되어있다. 냉난방 설정온도 준수의 기준으로는 냉방 26℃, 난방 20℃로 선정하였다.

냉난방 시스템을 VAV로 교체한 경우 연간 총 에너지 사용량 약 141.3395MWh, 약 18%가 줄어들었다. 냉난방 설정온도 준수(냉방 설정온도 26℃, 난방 설정온도 20℃)한 경우 약 144.4525MWh, 약 18.4%가 줄어들었다. VAV 시스템에 열회수장치 설치시 약 221.3646MWh, 약 28.2%가 줄어들었다. 마지막으로 VAV 시스템에 외기냉방 시스템 설치시 약 257.7922MWh, 약 32.9%가 줄어들었다.

에너지 절약형인 VAV 시스템 교체를 통해 냉난방 에너지 모두 저감된 것을 알 수 있으며 특히, 난방 에너지의 저감량이 더 큰 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 현재 인문관 난방시스템 교체의 필요성을 확인하였다.

VAV 시스템 적용을 기본모델로 에너지 절약을 위한 항목 중 설정온도의 준수, 열회수장치, 외기냉방 시스템을 비교한 결과 냉방 에너지 사용량은 거의 감소하지 않았다. 그러나 난방 에너지의 경우 열회수장치, 외기냉방 시스템 도입시 큰 폭으로 감소함을 알 수 있었다.

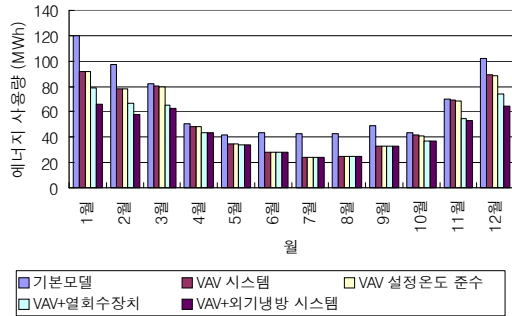


그림 12. 냉난방 시스템 교체시 월별 에너지 사용량 변화

4.3 에너지 성능개선 방안의 종합적 평가

인문관 에너지 성능개선을 위한 건축적, 설비적 방안의 에너지 소비저감 성능을 종합하여 정리하였다. 각 방안의 에너지 소비 저감량(MWh) 및 저감율(%)을 종합 정리하면 표 6과 같다.

표 6. 각 에너지 성능개선 방안의 저감량 및 저감율

에너지 성능개선 방안		저감량 (MWh)	저감율 (%)
창호개선	아르곤 가스	7.4577	1.0
	로이복층유리	25.6515	3.3
단열보강	지붕 단열보강	10.2087	1.3
	벽체 단열보강	36.9778	4.7
	지붕, 벽체 단열보강	48.5137	6.2
침기량 저감	침기량 0.3ach	17.2811	2.2
	침기량 0.2ach	35.1998	4.5
	침기량 0.1ach	53.7797	6.9
열회수장치 설치	열회수장치 설치	58.6733	7.5
냉난방 시스템 교체 (VAV)	냉난방 시스템 교체 (VAV)	141.3395	18.0
	냉난방 설정온도 준수 (냉방 26℃, 난방 20℃)	144.4525	18.4
	VAV + 열회수장치	221.3646	28.2
	VAV + 외기냉방 시스템	257.7922	32.9

5. 결 론

대학건물(Y대학교 인문관)의 에너지 성능개선 방안을 제시하고 에너지 소비저감 성능을 분석하였으며, 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 인문관의 에너지 성능 분석결과를 통해 인문관의 에너지 소비에 영향을 미치는 변수를 도출하였다. 인문관의 경우 창 일사, 외부표면(창, 벽체 등)을 통한 전도, 침기, 냉난방 시스템이 중요한 변수로 판단된다.
- (2) 에너지 성능개선을 위한 건축적인 방안으로 창호개선(아르곤 가스 충전, 로이복층유리로 교체), 단열보강(벽체 60mm 단열재, 지붕 105mm 단열재 적용), 침기량 저감(0.1ach씩 감소)의 3가지 방안을 제시하였다. 아르곤 가스 충전시 1%, 로이복층유리의 적용시 3.3%, 벽체의 단열보강시 최대 6.2%, 침기량 저감시 최대 6.9%의 에너지 소비저감 효과를 나타냈다. 건축적인 방안은 주로 난방 에너지 위주의 저감효과를 나타내고 있다.
- (3) 에너지 성능개선을 위한 설비적인 방안으로 열회수장치 설치, 냉난방 시스템 교체(VAV)의 2가지 방안을 제시하였다. 열회수장치 설치시 7.5%, 냉난방 시스템 교체(VAV)시 18%의 에너지 소비저감 효과를 나타냈다. 설비적인 방안의 경우 냉난방 모두에서의 에너지 소비저감 효과를 나타냈으며, 역시 난방에너지 저감량이 냉방에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한 설비적인 방안은 건축적인 방안에 비해 에너지 소비저감 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- (4) 냉난방 시스템 교체(VAV)에 열회수장치의 추가 도입시 28.2%, 외기냉방 시스템의 추가 도입시 32.9%의 에너지 소비저감 효과를 나타냈다. 따라서 인문관은 냉난방 시스템의 교체가 가장 큰 에너지 소비저감 효과를 나타내며, 에너지 절약형 기술의 추가적인 도입시 효과가 더욱 증가 되었다.

본 연구에서는 인문관의 냉난방 시스템과 일부 변수에 대해서 가정을 바탕으로 모델링되었다. 추후 연구에서는 냉난방 시스템의 구현과 경계조건의 정확성을 더 높여 타당성 검증에 대한 보정작업이 필요하다고 판단된다.

후 기

이 논문 또는 저서는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : 2009-0076172)

참 고 문 헌

1. 광노열, 건물 에너지관리 실태 및 수준 평가, 대한건축학회논문집 계획계, 24권, 12호, 2008.12.
2. 박진철, 학교건물의 에너지 성능개선에 관한 연구, 설비공학논문집, 16권, 제1호, 2004.
3. 석호태, 사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방정식 및 설계지침 개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1995.
4. 정재웅, 김동우, 석호태, 양정훈, 종합대학 캠퍼스의 에너지 소비현황 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, 2009.11.
5. 정재웅, 사례분석을 통한 대학건물의 에너지 성능개선 방안에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문, 2010.
6. 홍원화, 이춘미, 김주영, 조수, 종합대학의 에너지소비원단위 작성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계, 24권, 11호, 2008.11.
7. Jean-Francois Bonnet et al, Analysis of electricity and water end-uses in university campuses : case-study of the niversity of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration, Journal of Cleaner Production, Volume 10, Issue 1, 2002.
8. W.P. Wong et al, Use of electrical energy in university buildings : a Hong Kong case study, Facilities, Volume 24, Issue 1, 2006.