

더블 스킨과 아트리움이 설치된 事務所 建物の 에너지 性能評價 事例 研究

A Case Study of the Energy Performance of an Office Building with Double-envelope and Atrium

송 국 섭* 유 형 규** 이 현 우**

Song, Gook-Sup Yu, Hyung-Kyu Lee, Hyun-Woo

Abstract

This paper presents an investigation of the energy performance in an office building in Daejeon, Korea. The office building has a south-facing glazed double-envelope and a rectangular atrium. During the preliminary design of the building, a study was conducted by the research team in order to achieve the annual energy consumption per unit area of the building under 240 Mcal/m²-yr. A number of building designs and HVAC system variables were analyzed in terms of energy performance. Finally, the energy performance of the building was evaluated by comparing with a typical office building.

The case office building shows an annual energy consumption of 209.6 Mcal/m²-yr, which is much less than the target value. It also shows the annual energy consumption of the case office building is less than the typical office building of same size in Korea.

키워드. 사무소 건물, 에너지 성능, 더블 스킨

Key Word : office building, energy performance, double-envelope

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리 나라는 경제의 지속적인 발전과 문화적 육구의 분출, 저유가(低油價) 정책 등이 지속되면서 그 동안 에너지는 무분별하게 사용되어 왔다. 국내적으로 97년 말에 발생한 IMF 상황은 거의 전량의 에너지를 외국에서 수입하는 우리나라의 경우, 심각한 인식의 전환이 요구되고 있다. 또한 국제적으로 97년 12월 교토에서 합의한 의정서의 내용에 따라 CO₂ 발생량을 2008

년부터 2012년까지, 90년에 비해 5.2% 줄이도록 하는 합의에 이르러 에너지 절약에 대한 새로운 발상과 접근이 이루어져야 할 상황에 놓여 있다

그동안 건물의 에너지 절약에 관한 내용은 단편적으로 진행되어 건물 전체의 설계과정에 각종 에너지 절약설계를 종합적으로 시도한 사례는 많지 않다. 본 연구의 목적은 더블스킨과 아트리움이 설치된 건물의 설계과정에서 건물설계, 기계설비 설계, 전기설비 설계에 대하여 다양한 시뮬레이션을 진행하여 건물의 종합적인 에너지 절약 방안을 제시하며, 궁극적으로 에너지 소모량이 240Mcal/m²-Yr 이하가 되도록, 만족할 수준에 도달할 때까지 모델링을 진행하는 것이다.

* 정희원, 부천대학 건축과 교수, 공학박사

** 정희원, 정도설비, 공학석사

*** 정희원, 팜운대학교 건축공학과 교수, 건축학박사

이 논문은 (주)종합 건축사 사무소 동우건축 기술 연구소와 공동으로 수행되었음

1.2 연구의 범위 및 방법

- (1) 시뮬레이션도구는 에너지 소모량 평가에 정밀해석이 가능하며, 세계적으로 인정받은 DOE 2.1E를 이용하였다.
- (2) 건물부하, 공기조부하, 열원부하를 예측하기 위하여 필요한 데이터를 설계 사무소의 협조를 받아 BDL로 작성하고 시뮬레이션하였다. 에너지 소모에 영향을 미치는 변수들은 상호 연결되어 작용하므로 중요 변수를 우선하여 결정하고 그 다음의 변수 수준을 정하였다. 결과가 목표치를 상회할 경우 디자인을 변경시켜 만족할 수준에 도달할 때까지 모델링을 반복하였다.
- (3) 건물 부문은 더블 스킨의 규모, 적정 단열 두께, 유리창의 성능, 차폐 장치 설치, Task Ambient 조명 적용 등에 관하여 각 항목별 성능을 평가하고 적정 규모를 결정하였다.
- (4) 기계설비 부문은 시스템 방식의 선정, 콘벡터의 적정 제어 수준 결정, Fan의 제어 방식 결정, Return Fan의 규모, Free Cooling의 타당성 검토, VAV 방식의 최소 공급 풍량 결정, 급탕 온도와 에너지 소모관계 파악, 태양열 급탕 시스템 적용, 열원 방식의 선정 등에 관하여 항목별 성능을 평가하고 에너지가 절약될 수 있는 적정안을 채택하였다.

2 시뮬레이션 개요

2.1 건물 개요

(1) 건물 규모

표 1. 건물 개요

구분	내용	
위치	충남 대전시	
건축면적	1,151.59 m ²	
연면적	6,184.62 m ²	
바닥면적	총별	면적 (m ²)
	지하1층	1,227.96
	지상 1층	1,086.75
	지상 2층	967.48
	지상 3층	967.48
	지상 4층	967.48
외벽	T30 화강석 버너구이 + T3 Al Sheet	
창호	T24 칼라 복층 유리, 로이유리 혼합	
지붕	철근 콘크리트 평슬라브	

(2) 기준층 평면도

남측 부분에는 이중외피(Double Skin)가 설치되어 겨울철 난방부하를 절감시킬 수 있도록 설

계되었으며, 여름철에는 유리창을 통과한 일사 에너지가 내부 공기온도를 높여 연돌 효과가 발생되고 상하 개구부를 개방하여 더운 공기를 의부로 배출시켜 냉방부하가 절감되도록 하였다. 또한 중앙부분에 아트리움이 설치되어 자연 채광이 가능하여 조명에너지가 절약되도록 설계되었다.

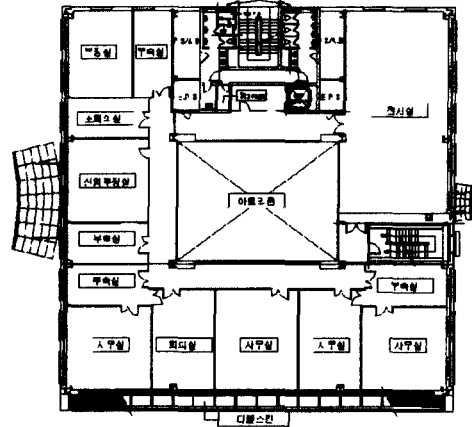


그림 1. 기준층 평면도

(3) 주 단면도

연구 대상 건물의 단면도는 그림 2와 같다.

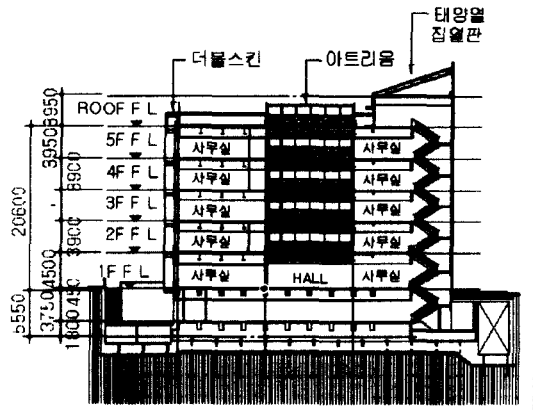


그림 2. 주 단면도

2.2 시뮬레이션 조건

(1) Double Skin의 환기 회수 결정

Double Skin을 이용하여 냉방부하가 절감되

도록 하려면 자연환기를 적극 이용하여야 하는데 Double Skin 내부의 온도와 외기와의 차이에 의해서 자연 환기량이 결정된다. 본 연구에서는 경남호의 '이중외피 설계기술(II)' 연구 결과를 이용하였다. Double Skin의 환기 횟수는 시간당 100회에서 160회의 값이 적용되었다.

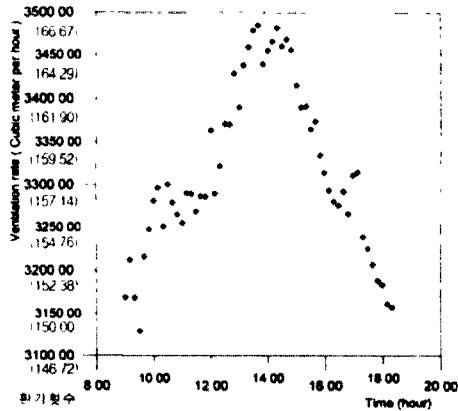


그림 3 Double Skin 내부 환기량

(2) 내부 발열 조건의 결정

기존의 연구에서 내부 발열 조건이 에너지 소비에 미치는 영향이 매우 크므로 우선하여 결정되었다. 발열 조건은 사무소의 조건에 따르는 것이므로 수준별 시뮬레이션은 의미가 없게된다. 기기 발열은 건축주 측과 협의하여 건물 사용의 수준 즉 OA기기의 이용 현황에 따르는데 1인당 PC를 모두 사용하고 5인에 1대의 프린터를 사용하는 것으로 하여 기기 발열의 밀도는 13.41 W/m²로 하였다.

3 건물 모델링

3.1 DOUBLE SKIN 적정 폭

DOE2.1E를 이용한 Double Skin의 해석은 겨울철에 온실의 역할을 하므로 Sun Space로 정의하여 해석하였고, 여름철에는 상하 개구부를 개방하여 자연환기를 촉진시키므로 그림 3의 시간별 환기 횟수 스케줄을 입력하여 해석하였다. Double Skin이 없는 경우와 설치한 경우는 폭을 60cm부터 300cm까지 60cm간격으로 변경하면서 시뮬레이션하였다.

Double Skin 이 설치된 경우 최대 냉방부하는 31kW 이상 감소하였고, 최대 난방부하는 16kW 이상 감소하였다.

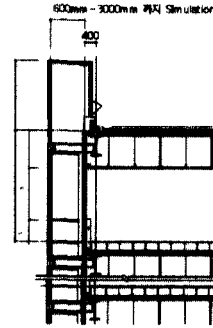


그림 4 더블스킨 폭 변화

표 2. Double Skin 설치와 에너지 소모량 비교

Double Skin 폭 (mm)	최대		연간		비 고
	냉방부하 (kW)	난방부하 (kW)	냉방부하 (MWh)	난방부하 (MWh)	
없음	222.730	-427.429	314.687	-221.247	Double Skin 무
600	191.374	-411.295	293.003	-170.456	Double Skin 유
1200	191.318	-411.393	292.647	-170.496	'
1500	191.293	-411.439	292.482	-170.515	'
1800	191.268	-411.484	292.322	-170.533	'
2400	191.221	-411.566	292.024	-170.567	'
3000	191.179	-411.643	291.750	-170.596	'

연간부하는 Double Skin 이 설치된 경우 없는 것보다 냉방부하는 21MWh 이상 감소하였으며, 난방부하는 50MWh 이상 감소하였다. Double Skin 은 연간 냉방부하 절감보다 난방부하 절감에 더욱 큰 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 연간 냉난방 부하를 종합한 에너지 절감량은 72MWh 이상 절약되는 것으로 예측되었다. 또한 더블 스킨의 폭을 60cm에서 300cm까지 변경하면서 Simulation 하였으나 그 값의 변화는 크게 나타나지 않았다. 차양의 설계 이론에 의하여 Double Skin 의 폭을 결정하는 것이 합리적으로 판단되어 태양의 고도와 일사 차폐 효과를 고려한 폭을 150cm로 결정하였다.

3.2 외벽 단열 두께

대전 지역의 단열 기준은 외벽의 경우 4cm 이상이고 지붕은 6cm 이상이므로 최소한 이보다 더 강화되어야 한다. 외벽과 지붕의 단열 두

계를 4cm에서부터 10cm 까지 1cm 간격으로 시물레이션하였다. Double Skin이 설치된 경우 건물 최대 냉방부하는 4kW 감소하였고, 난방부하는 9kW 감소하였다. 단열 두께가 증가할수록 최대난방부하 절감이 유리하게 나타났다. 그러나 4cm에서 10cm 까지 시행한 시물레이션 결과에서 약 8cm범위에 이르러 부하량이 별로 줄어들지 않았다. 따라서 본 건물의 적정한 단열 두께는 8cm로 결론 지을 수 있다. 단열두께 4cm에서 8cm로 증가시키면 연간부하는 약 13MWh 절감할 수 있다. 설계 대상 사무소 건물의 연간 냉난방 부하 조건으로 단열재의 적정 두께는 8cm가 적당하여 설계팀과 건축주 측에 건의하여 채택되었다. 지붕은 반자가 설치된 경우 단열 두께를 벽체보다 크게 하여도 성능이 크게 바뀌지 않아서 외벽 단열두께와 같은 두께로 하였다.

표 3. 외벽 단열 두께와 에너지 소모량 비교

단열 두께 (mm)	최대 냉방부하 (kW)	최대 난방부하 (kW)	연간 냉방부하 (MWh)	연간 난방부하 (MWh)	비 고
40mm	191.293	-411.439	292.482	-170.515	건축법규 기준
50mm	190.110	-408.872	293.895	-164.447	
60mm	189.235	-406.977	295.051	-159.987	
70mm	188.570	-405.536	296.006	-156.617	
80mm	188.043	-404.396	296.811	-153.971	
90mm	187.606	-403.452	297.515	-151.794	
100mm	187.245	-402.671	298.125	-151.005	

3.3 유리창 열관류율 변화

건축법규에 명시된 유리창의 열관류율은 2.9kcal/m²h℃이다. 생산되고 있는 복층 유리의 열관류율 값은 2.7kcal/m²h℃이고 가장 낮은 것은 로이 유리로 1.8kcal/m²h℃이다. 이 사이의 열성을 단계별로 시물레이션하였다. 칼라복층 유리, 열반사 유리가 여기에 해당된다.

표 4. 유리창 열관류율과 에너지 소모량 비교

열관류율 (kcal/m ² h℃)	최대 냉방부하 (kW)	최대 난방부하 (kW)	연간 냉방부하 (MWh)	연간 난방부하 (MWh)	비 고
1.8	197.605	-405.110	307.706	-170.897	로이 유리
2.0	198.315	-407.451	305.633	-175.109	열반사 복층유리
2.4	199.691	-412.058	301.891	-183.225	칼라 복층유리
2.7	200.667	-415.381	299.440	-189.006	투명 복층유리

최대부하의 경우 로이유리는 일반 복층유리 보

다 건물 최대 냉방부하가 3kW 감소되었고, 최대 난방부하는 약 10kW 감소되었다.

유리창의 열관류율 변화에 따른 시물레이션에서 열관류율이 2.7kcal/m²h℃인 일반 복층유리 보다 1.8kcal/m²h℃인 로이 유리를 사용한 경우 난방부하는 약 18MWh 감소되었고, 냉방부하는 8MWh 증가하였다. 종합적인 연간 부하는 약 10 MWh 정도를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

3.4 차폐장치 설치

차폐 장치는 일사를 조절하는 것으로 냉방부하를 절감시킬 수 있다. 동측창과 서측창은 루버의 적용을 고려하였고 아트리움에는 일사를 차폐할 수 있는 차양막 설치, 남측 창에는 베니스 블라인드의 적용이 현실적이었기 때문에 이를 시물레이션 대상으로 하였다.

표 5. 차폐장치와 에너지 소모량 비교

설 명	최대 냉방부하 (kW)	최대 난방부하 (kW)	연간 냉방부하 (MWh)	연간 난방부하 (MWh)	비 고
모든 창에 차폐장치 설치	180.037	-411.439	271.064	-171.551	Double Skin 유
아트리움에만 차폐장치	186.519	-411.439	285.266	-171.228	'
동 서측에만 루버설치	187.877	-411.439	287.829	-170.722	'
남측창에 베니스 블라인드 설치	183.506	-411.439	282.925	-170.622	'
차폐장치 없음	191.293	-411.439	292.482	-170.515	'

차폐장치의 효과는 최대 냉방부하에서 약 11kW 감소되었으며 난방부하에는 영향이 없었다. 예비 시물레이션에서 Double Skin이 없는 경우 더욱 민감한 반응을 보였으며, 설치된 경우는 이미 Double Skin 부위에서 일사를 조절하여 덜 민감한 반응을 나타내었다. 연간부하에서 차폐장치의 설치하는 약 26MWh의 에너지를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 남측창의 차폐 장치가 가장 큰 효과를 나타냈다. 모든 창호에 차폐 장치를 설치하여 일사를 조절할 수 있도록 하였다.

3.5 Task Ambient Lighting의 적용

조명발열 조건에서 Task Ambient Lighting을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 비교하였

다. 본 연구 대상의 사무소 건물은 Task Ambient Lighting을 적용하였으므로 전반 조명 부하 밀도를 7W/m²를 적용하였고, Task Ambient Lighting은 1인당 25W를 적용하였으므로 부하밀도는 0.754W/m²로 하였다. 일반 사무실에 적용하는 조명부하 밀도는 20~30W/m²이므로 25W/m²의 값을 일반 사무소 건물의 대표치로 적용하여 계산 결과를 상호 비교하였다.

표 6. 조명 조건과 에너지 소비

설 명	최대 냉방부하 (kW)	최대 난방부하 (kW)	연간 냉방부하 (MWH)	연간 난방부하 (MWH)	연간 전기부하 (MWH)
25W/m ²	281 167	-377 766	541 120	-153.554	505 613
7W/m ² + TASK LIGHT 0.754W/m ²	222 730	-427 429	314 687	-221 247	195 549

고효율 전등 기구와 조명등을 사용하고 Task Ambient Lighting을 적용한 경우는 전체를 전반조명에 의존한 경우에 비하여 냉방부하가 감소되고 난방부하는 증가하였다. 최대 냉방부하는 약 60kW 감소되었다. 난방부하는 Task Ambient Lighting의 적용에 따라 약 49kW 증가하였다.

연간부하의 경우 Task Ambient Lighting을 적용한 경우 냉방부하가 큰 폭으로 230MWh 감소되었고 전기 부하는 294MWh 절감되었으며 난방부하는 68MWh 증가하였다. Task Ambient Lighting은 난방부하를 약간 증가시킨 반면, 냉방부하를 200MWh 이상 감소시키고 전기부하를 294MWh 감소시켜 에너지 절약에 크게 기여하였다. Task Ambient Lighting의 적용은 에너지를 절약시키는 탁월한 효과를 나타낸 반면 작업면과 비작업면의 휘도 대비를 고려하여 불쾌적 환경이 되지 않도록 하여야 할 것이다.

4. 시스템 모델링

건물 부문의 에너지 절약을 위한 각 변수의 최정안을 선정하고 모델링이 끝난 결과를 바탕으로 시스템의 용량 결정과 모델링이 진행되었다. 기기의 용량은 우리나라 일반 설비 사무실에서 이용되고 있는 Load-Sys 프로그램과 DOE 프로그램 간의 차이가 발생하였다. 설계 관행을 존중하고 설계 조건에 대한 입력 값의 비교와 해

석 이론을 상호 논의하여 합리적인 값을 결정하였다. 시스템 부문은 건물과 달리 한 항목에 대한 시뮬레이션을 실시하고 적정안을 선정한 후 하위 항목에 대하여 각 변수별 시뮬레이션을 진행하였다.

4.1 시스템 시뮬레이션 조건

냉 난방 기간 동안의 공조조건은 표7과 같다.

표 7 설정 온습도와 운전 조건

조 건	설 정 된 값	비 고	
난 방 기간	실내 온습도	온도 20℃, 습도 30%	아트리움은 천정이 높아 25℃로 설정
	야간 Setback 온도	온도 12℃	
냉 방 기간	실내 온습도	온도 26℃, 습도 60%	
	야간 Setback 온도	온도 33℃	
Pick Up 운전시간		오전 7시~8시	

4.2 시스템 방식

이용 가능한 공조 방식의 종류는 다양하지만 사무소 건물에 적합하고 우리나라에서 일반적으로 이용되는 시스템은 한정적이다. 정풍량 단일덕트 방식(CAV)과 변풍량 단일덕트 방식(VAV)이 내주부 존의 공조기로 일반적으로 이용되며, 팬코일 유닛 방식(FCU)이 외주부 공조 방식으로 일반적으로 이용되어 왔다. 같은 실내에 외주부는 FCU, 내주부는 전공기 방식의 CAV 방식이나 VAV 방식이 적용될 경우 제어의 상호 조화가 이루어지지 않아 쾌적한 공조 체계가 이루어지지 못하였다. 본 연구에서는 외주부 내주부 구분없이 전체를 CAV와 VAV 방식 중에서 선정하도록 하였으며 겨울철 외피에서 발생하는 쿨드 드래프트는 콘벡터를 이용하여 처리될 수 있도록 하였다.

CAV 방식과 VAV 방식에 대한 에너지 소모량은 다음과 같이 계산되었다.

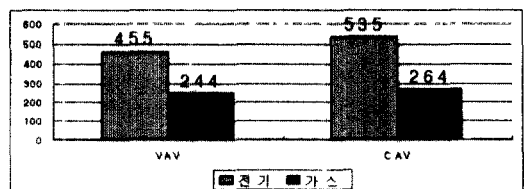


그림 5. 시스템 방식별 에너지 소모량 비교
VAV 방식은 CAV 방식에 비하여 전기 소모량

은 80MWh 감소되고, 가스는 약 20MWh 감소되었다. 특히 Fan 동력이 VAV 방식이 CAV에 비하여 약 82MWh 감소되어 에너지 절약적임을 확인할 수 있었다. 공조 방식은 VAV로 결정되었다.

4.3 콘벡터 제어

콘벡터는 난방기간에 외주부의 부하를 담당하는 것으로 설계 용량이 우리나라의 관행상 과다해지며, 2-way control 밸브에 의하여 남측이나 북측의 거대 콘란 제어되므로 실별 부하특성에 적합하지 않을 수 있다. 또한 중앙공조 시스템인 VAV와 조화되지 않아서 쾌적 공조가 이루어지지 않을 수 있다. 이와 같은 문제의 해결을 위하여 외기 보상제어가 필요하며 과다 용량 설계에 따른 쾌적 공조를 위하여 최대출력의 조절이 필요하다.

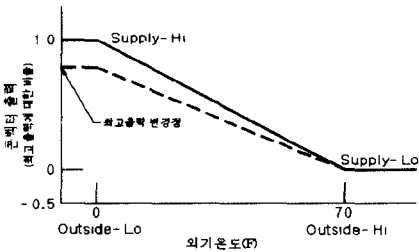


그림 6 콘벡터의 외기 보상제어와 출력조절

Simulation은 외기보상 제어를 적용하지 않은 경우와, 적용하고 최대 출력을 70%~100% 까지 조절한 경우에 대하여 진행하였다.

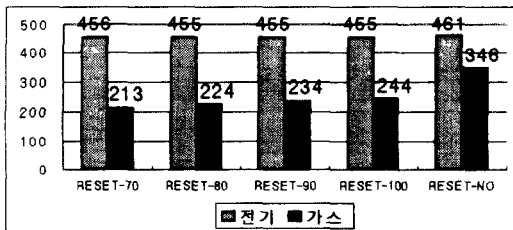


그림 7 외기보상제어와 최대출력조절과 에너지 소비

외기 보상제어를 적용한 경우 가스의 소모량에 현저한 차이를 보였는데 최대 133MWh 절감되었고 최대 출력을 70%로 설정할 경우

100% 인 경우 보다 약 30MWh 이상 가스 소모량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

콘벡터의 최대 용량을 70% 까지 열량을 감소시켜 외기 보상제어를 하여도 불만족 공조시간은 전혀 나타나지 않았다. 여유있게 설계된 용량은 최대출력 조절로 에너지를 절약하며 외기에 부하의 변경은 외기 보상제어가 효과적이다.

4.4 FAN의 제어 방식 변화

VAV 방식에서 부하의 조건에 따른 실의 풍량 조절은 변풍량 유닛에서 제어하게 된다. 필요로하는 풍량 만큼 팬에서도 풍량을 조절하여야 효율적인 에너지 관리가 이루어진다. 풍량을 제어하는 팬의 제어하는 방식은 ①Variable Speed Motor ②Inlet Vane ③Discharge Damper ④Cycling 이다. 본 연구에서는 팬의 풍량을 일정하게 운전하는 방법과 속도를 제어하는 방식, Inlet Vane을 제어하는 방식에 대하여 시뮬레이션 하였다.

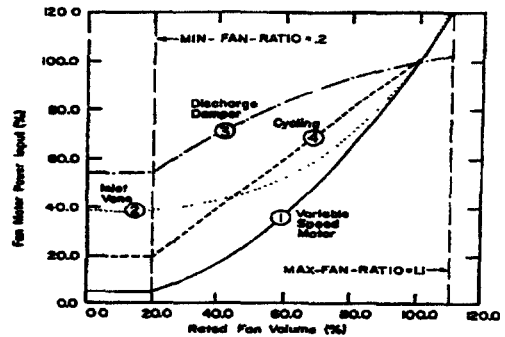


그림 8 Fan조절 방식별 풍량과 전력소모 비율

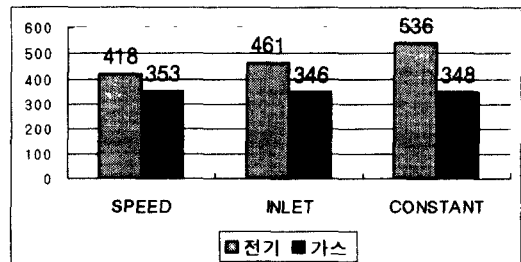


그림 9 FAN의 제어 방식과 에너지 소비
Fan의 속도를 제어한 경우가 일정한 속도로

운전한 경우보다 전기에너지는 118MWh 절약 되는 것으로 나타났다. 반면 가스 소모량은 4MWh 증가하였는데 발열의 감소 때문으로 판단된다. 가장 에너지 절약적인 팬 제어는 속도 조절 방식이므로 이를 채택하였다.

4.5 RETURN FAN의 용량 변화

VAV 시스템에서 Supply Fan은 반드시 설치하여야 하지만 Return Fan은 필수조건은 아니다. 본 연구에서는 리턴 팬의 용량을 초기 설계치에서 점점 양을 줄이고 최후에는 리턴팬을 설치하지 않는 경우에 이르기까지 단계별로 시뮬레이션을 진행하였다.

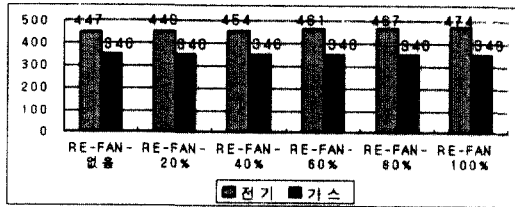


그림 10 RETURN FAN의 용량과 에너지 소모

Return Fan을 완전히 제거하면 약 27MWh의 전기를 절약할 수 있다. 또한 초기 시설비를 줄일 수 있다.

4.6 FREE COOLING 적용

일년중 냉방이 진행되는 경우에 중간기의 에너지 절약을 위해서는 외기 냉방을 고려할 수 있고 Free Cooling을 생각할 수 있다. 우리나라의 사무소 건물에서 년중 쉬지 않고 냉방운전을 한다는 것은 기대하기 어렵다.

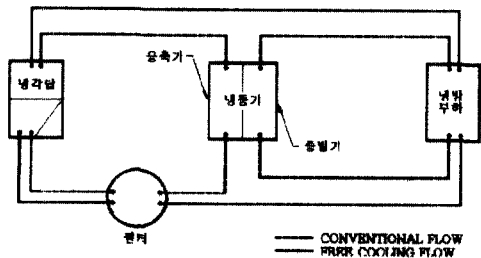


그림 11 Free Cooling의 개념

건물의 인텔리전트화가 진행되어 내부 발열 기기들이 다량 보급되므로 냉방 기간이 늘어나는 것으로 보아야 현실적이므로 외기 냉방의 채용보다는 Free Cooling 시스템을 적용하는 것이 현실적이며 에너지 절약적이라는 판단을 하였다. Free Cooling은 냉방이 필요한 중간기에 냉동기를 작동 시키지 않고 냉각탑만을 이용하여 물질교환에 의하여 냉각수를 얻는 방식이다. Free Cooling을 적용한 경우 냉동기를 운전하지 않아서 연간 전기 소모량은 9.2MWh 절감할 수 있었다. 단위면적당 연간 소모량은 4.4kWh /m² -Yr 절감되었다

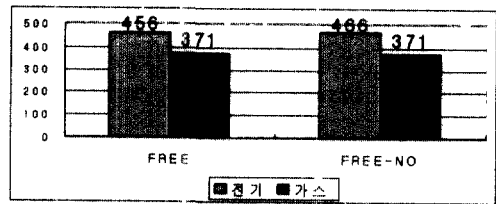


그림 12. FREE COOLING 적용과 에너지 소모

4.7 최소 공급풍량 변화

VAV 방식에서는 공급공기의 양을 VAV 유닛이 조절하기 때문에 겨울철 난방기에 풍량이 적은 경우 습도조절이 곤란하다. 우리나라에 설치된 변풍량 방식의 사무실은 습도가 30% 이하일 경우가 많은 것으로 기존의 조사연구에서 지적되었다. 이와 같은 VAV 시스템의 단점은 최소 공급 풍량을 설정하여 운전하므로 문제를 해결할 수 있다. 에너지는 다소 소모되더라도 쾌적한 공조 환경을 위하여 최소 공급 풍량을 적용하였다. 최소 공급풍량을 15%부터 30%까지 변경하면서 쾌적 만족도와 에너지 소비량을 비교하였다.

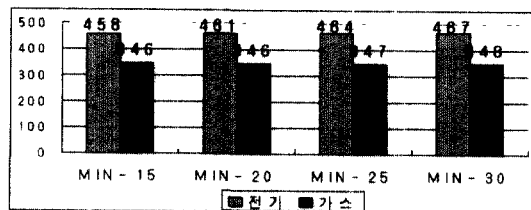


그림 13. 최소 공급풍량 변화별 에너지 소모량

시뮬레이션 결과 Minimum CFM Ratio 15%와 30%는 전기소모량의 차이가 약 9MWh로 나타났고, 가스 소모량은 2.2MWh의 차이를 나타내었다. Minimum CFM Ratio는 실내 습도의 제어가 목표이므로 국내 변풍량 유닛의 생산 현실과 쾌적도를 고려하여 20%가 적당한 것으로 결정하였다.

4.8 급탕온도 변화

사무소 건물에서 필요한 급탕량은 주거용 건물에 비하여 적은 편이다. 그러나 연구 대상 건물은, 그린 환경을 위하여 직원들이 자건거를 이용하여 출퇴근하도록 장려되고 있어서 샤워 시설이 필요하였고, 일반 사무소 건물에 비하여 17배 이상의 급탕량이 요구되었다. 연구 대상 건물과 같이 160명이 근무하는 사무소의 경우 급탕 용량은 17,360 kcal/h인데 비하여 연구 대상 건물은 300,000 kcal/h였다. 따라서 급탕 공급 온도는 에너지 소모에 많은 영향을 미치는 변수이다. 급탕 온도를 40℃부터 60℃까지 5℃씩 변경하면서 시뮬레이션을 실시하여 에너지 소모량을 비교하였다. 시뮬레이션 결과 온수의 공급온도가 40℃인 경우 60℃인 경우보다 가스 소모량은 36 MWh 감소 되었고, 전기 소모량은 2MWh 감소 되었다. 40℃의 경우 불만이 생길 우려가 있으므로 온수의 공급온도를 45℃로 결정하여 에너지 절약과 쾌적성을 높일 수 있도록 하였다. 이 경우 60℃에 비하여 가스 소모량은 27.3MWh 감소된다.

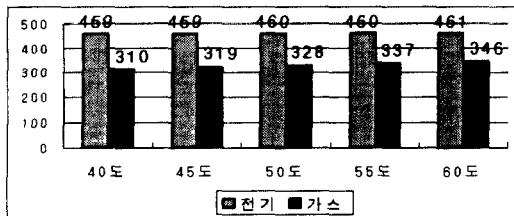


그림 14. 급탕 공급 온도와 에너지 소모

4.9 태양열 급탕 시스템

태양열을 이용한 급탕 시스템은 많은 양의 온수를 필요로 하는 연구 대상 건물의 에너지를 절약하기 위하여 제안되었다. 집열기는 지붕에

설치되는데 옥상에는 냉각탑 등 여러 장치가 설치되어 있으므로 급탕용 집열기의 면적은 제한될 수밖에 없었다. 집열기의 면적은 65m²로 설계 되었다. 집열기의 각도는 (90° - 지역 위도)로 알려져 있으나 기상 조건 특히 구름의 양에 따라 일사 조건이 다르므로 대전 지역의 표준 기상 데이터를 이용하여 집열각도별 획득 일사량을 시뮬레이션하였다. 20도에서 60도까지 시뮬레이션한 결과 집열각이 30도인 경우 가장 많은 태양열을 획득할 수 있었다. 연간 태양열 획득량은 25.8MWh이다.

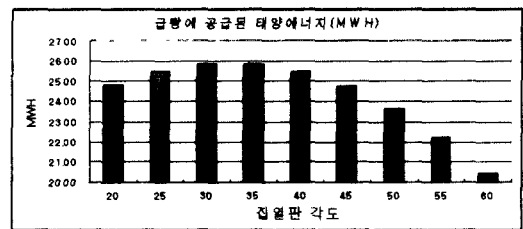


그림 15. 집열기 경사각과 태양열 획득

4.10 냉열원

우리 나라에서 많이 이용되는 냉열원 방식은 터보냉동기와 흡수식 냉동기, 그리고 심야 전력을 이용하는 빙축열 시스템이므로 이 3가지 방식에 대해서만 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에서 나타난 전기와 가스의 소모량은 조명이나 내부 OA 기기 난방 냉방, 냉각탑, 펌프 팬 등에서 전체적으로 소모된 양을 나타낸다.

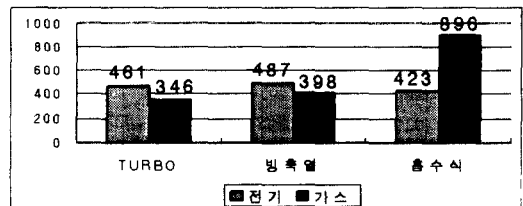


그림 16. 냉열원별 에너지 소모량 비교

가스의 사용량은 흡수식이 896.2MWh로 가장 많고 Turbo 냉동기가 346.3MWh로 가장 작게 나타났다. 반면 전기 에너지는 빙축열 방식이 487.2MWh로 가장 크고 흡수식이 422.8MWh로 가장 적게 나타났다. 전기와 가스의 요금체계는

건물 용도별, 계절별 시간별 다양하게 적용되는데 빙축열 방식은 값싼 심야 전력을 이용할 수 있으므로 경제적이고 에너지 소모가 적은 방식이어서 냉열원 방식으로 결정하였다.

5 에너지 소모량 평가

에너지 소모량 평가는 우리나라에서 일반적으로 시공되는 건축 법규에 명시된 건물 기준과 에너지 절약 설계 기법을 다양하게 도입한 연구 대상 건물의 에너지 소모량을 상호 비교하였다. 건물 모델링 결과와 시스템 모델링의 결과를 모두 적용한 것이 설계 건물이다. 두 건물은 모두 에너지 해석 프로그램 DOE2를 이용하였고 결과는 BEPS 기준으로 나타내었다.

표 8. 기준 건물과 설계 건물의 모델링 결과 비교

부문	항목	기준 건물 조건	설계 건물 조건
건물부문	외벽 단열	외벽 4cm, 지붕 6cm	외벽 8cm, 지붕 8cm
	double skin	없음	150 cm
	차양의 설치	없음	동서장, 남측 내벽에 페니션브라이트, 아트리움 차폐시설 설치
	조명부하	25W/m ²	7W/m ²
	Task Light	없음	0.754W/m ²
설비부문	유리의 열관류율	2.7kcal/m ² .h.C	1.8 kcal/m ² .h.C
	시스템 방식	CAV	VAV
	빙축열 시스템	적용 안함	빙축열 이용
	콘버터 제어	외기 보상제어 안함	외기 보상제어 적용
	외기 제어	고정값적용	연달의 제어
	열교환기	적용 안함	전열교환기 제어
	Minimum CFM	적용 안함	20% 적용
	Fan 종류	Supply Fan + Return Fan	Supply Fan만 적용 (Return Fan 없음)
	Fan Control	Constant	Speed Control
	급탕온도	60 C	45 C
	태양열 급탕	없음	집열면적 65m ² 집열각도 30도

5.1 기준 건물의 에너지 소모량

기준 건물은 에너지 절약 기법을 사용하지 않고 건축 법규에 나타난 최소한의 설계 기준으로 설계된 건물 조건으로 시뮬레이션 하였다. 단위면적당 에너지 소모량은 Source Energy를 기준으로 493.6kWh/m²-Yr(GROSS -AREA)로 나타나 에너지가 다소비 되는 것을 알 수 있었다.

표 9. 기준 건물의 에너지 소모

구 분	전기에너지		가스에너지		비고
	MWh	Mcal	MWh	Mcal	
조 명	412.2	354.4	0.0	0.0	
각종 기기	102.0	87.7	0.0	0.0	
난 방	8.8	7.6	312.9	269.1	
냉 방	99.3	85.4	0.0	0.0	
냉 각 탑	32.9	28.3	0.0	0.0	
펌프 및 기타	31.6	27.2	0.0	0.0	
환 기 팬	207.7	178.6	0.0	0.0	
급 탕	2.0	1.7	60.6	52.1	
합 계	896.5	770.9	373.5	321.2	

표 10. 기준 건물의 BEPS

구 분	전체 에너지 소모 (MWh)	면적당 에너지소모	
		Gloss Area = 6206 m ²	
		kWh/m ² -Yr	Mcal/m ² -Yr
전체 Site 에너지	1270.03	204.6	176.0
전체 Source 에너지	3063.36	493.6	424.5

5.2 설계 건물의 에너지 소모량

설계 건물의 종합적인 에너지 소모량은 건물과 설비 기기에서 사용된 총 에너지 소모량에서 태양열 에너지 획득량을 제외한 값이다.

표 11. 설계 건물의 에너지 소모

구 분	전기에너지		가스에너지		태양열 이용	
	MWh	Mcal	MWh	Mcal	MWh	Mcal
조 명	100.6	86.5	0	0.0	0.0	0.0
작업 조명	2.5	2.1	0	0.0	0.0	0.0
각종 기기	102	87.7	0	0.0	0.0	0.0
난 방	7.1	6.1	205.3	176.5	0.0	0.0
냉 방	61.7	53.1	0	0.0	0.0	0.0
냉 각 탑	37.7	32.4	0	0.0	0.0	0.0
펌프 및 기타	25.1	21.6	0	0.0	0.0	0.0
환 기 팬	92.4	79.4	0	0.0	0.0	0.0
급 탕	1.4	1.2	39.4	33.9	23.8	20.5
합 계	430.6	370.2	244.8	210.5	23.8	20.5

표 12. 설계 건물 BEPS 종합

구 분	전체 에너지 소모 (MWh)	면적당 에너지소모	
		Gloss Area = 6206 m ²	
		kWh/m ² -Yr	Mcal/m ² -Yr
전체 Site 에너지	661.02	105.0	90.3
전체 Source 에너지	1513.04	243.8	209.6

설계 건물은 단위 면적당 에너지 소모량이 Source 에너지를 기준으로 243.8kWh/m²-Yr (209.6 Mcal/m²-Yr)로 나타났다. 초기 계획시 목표로 하였던 240Mcal/m²-Yr 보다 약 30Mcal

적게 나타나 매우 에너지 절약적임을 알 수 있다.

6 결 론

신축 계획중인 사무소 건물의 설계 목표는 에너지 절약적이고 환경 친화적인 건물을 설계하는 것이다. 설계 진행 과정 중에 에너지 소비량을 예측하는 것이 필요하였으며 에너지 소모량이 목표치인 $240\text{kcal}/\text{m}^2\text{-Yr}$ 이하가 될 때 까지 다양한 형태의 디자인 모델링이 필요하였다.

본 연구에서는 에너지 해석에 세계적으로 인정된 DOE2 프로그램을 이용하여 건물 설계, 기계설비 설계, 전기 설비 설계에 대하여 항목별 시뮬레이션을 실시하여 에너지 소모량을 평가하고 절약적인 설계안을 제안하고 협의하여 절약 목표에 도달할 수 있도록 하였다.

설계 건물은 단위 면적당 에너지 소모량은 Source 에너지를 기준으로 $243.8\text{kWh}/\text{m}^2\text{-Yr}$ ($209.6\text{Mcal}/\text{m}^2\text{-Yr}$)로 나타났다. 초기 계획시 목표로 하였던 $240\text{Mcal}/\text{m}^2\text{-Yr}$ 보다 약 30Mcal 적게 나타나 매우 에너지 절약적임을 알 수 있다. 국내의 일반적인 사무소 건물의 에너지 소모량이 $330\text{Mcal}/\text{m}^2\text{-Yr}$ 이상의 값을 나타내고 있으므로 사례 건물은 매우 에너지 절약적인 건물이라고 할 수 있다.

본 연구는 사례 건물의 사용기준을 조건으로 시뮬레이션을 진행하였다. Task Ambient Lighting의 적용, 중앙의 아트리움을 이용한 자연채광의 조건, 내부 O.A기기의 수준 등이 연구소의 특징에 적합하도록 하였으며 대전 지방의 표준 기상조건을 이용한 것이다. 따라서 연구의 결과를 단순히 일반 사무소 건물의 설계 기준으로 활용할 수 없다.

또한 운전 조건이 각 입력 변수의 수준으로 이루어져야만 기대하는 에너지 절약 효과를 이룰 수 있다. 특히 외주부의 콘벡터와 내주부의 VAV 시스템 사이에 원활한 협동 제어 체계가 이루어져야만 예측한 결과에 도달할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 송국섭, 이현우, 윤재욱, "그린 빌딩의 에너지 소모량 평가 및 환경 성능 분석", 부천대학 산업기술 연구소, 1998. 5

2. 송국섭, "사무소 건물의 에너지 소모량 실태에 관한 조사 연구", 대한 건축학회 논문집 제14권 제2호 통권 제 112호, 1998. 2

3. 경남호외, "이중외피 설계기술(II)에 관한 중간보고서, 통산산업부, 1996.6

4. 석호태, "사무소 건물의 에너지 절약을 위한 부하 예측 방식 및 설계지침 개발에 관한 연구", 서울대 대학원 박사학위 논문, 1995. 8

5. 건설부, "사무소 건물의 에너지 절약을 위한 설계 기준 연구", 1987

6. 박상동외, "건물 에너지 해석 전산기술 실용화 연구", 한국 동력자원 연구소, 1990

7. 김신도, "사무소 건물의 에너지 소비실태에 관한 연구", 건축학회 논문집 제2권 2호, 1986.4

8. 이한석외, "인텔리전트 빌딩의 실내기기 발열특성에 관한 연구", 건축학회 춘추 학술발표대회 논문집, 1996.10

9. 김영호, "건축설비", 보문당, 1994

10. 이건영, 서승직, "건축환경공학", 일진사, 1991

11. Randall Thomas, "Environmental Design", 1996

12. G.J.LEVERMORE, "Building Energy Management System", E&FN SPON, 1994

13. LBL, "DOE-2 REFERENCE MANUAL PART1", May 1981

14. LBL, "DOE-2 REFERENCE MANUAL PART2", May 1981

15. CA Systems International, "PC-DOE USER'S MANUAL", December, 1985

16. LBL, "DOE-2 SAMPLE RUN BOOK", November 1993

17. LBL, "DOE-2 SUPPLEMENT Version 2.1E", November 1993

18. LBL, "DOE-2 BASICS Version 2.1E", May 1994

19. ASHARE, "ASHARE FUNDAMENTAL", 1977

20. ASHARE, "ASHARE FUNDAMENTAL", 1985

21. ASHARE, "ASHARE FUNDAMENTAL", 1993

22. ASHARE, "ASHARE FUNDAMENTAL", 1997

(接受 . 1999 5 18)