

## 복합 공간 구성 건물의 공조구역 운영 전략에 따른 에너지부하 특성 연구

육 인 수<sup>†</sup>, 김 민 환, 남 현 진, 김 동 호,  
설 동 문\*, 이 건 태\*\*, 김 진 호\*\*, 김 재 민\*\*\*  
다스 컨설턴트, \*삼성물산 건설부문, \*\*University of Strathclyde

### Study on the Operation Strategy of A Building with Multi-Complex Spaces

In Soo Yook<sup>†</sup>, Min Hwan Kim, Hyeon Jin Nam, Dong Ho Kim  
Dong Mun Seol\*, Geon-Tae Lee\*\*, Jin-Ho S. Kim\*\*, Jae Min Kim\*\*\*  
*Integrated Simulation Unit, DASS Consultants Ltd., Seoul 143-834, Korea*  
*\*Delhi Metro TVS Project, Samsung C&T, Seoul 137-857, Korea*  
*\*\*Inst. Sustainable Technology Research, Samsung C&T, Seoul 137-857, Korea*  
*\*\*\*Senior Research Fellow, University of Strathclyde, UK*

**ABSTRACT:** Buildings with multi-complex spaces designed for architectural values and functional requirements give rise to technical challenges in terms of energy efficiency and thermal comfort. Since spaces in such buildings are connected with openings with geometrical complexity, it is hard to define zoning plan and to control heating/cooling loads effectively. This paper presents a case study on the evaluation of operation strategy for a building with multi-complex spaces using computer simulation. The modelling methodology and the results of the simulations are also described.

**Key words:** Multi-Complex Spaces(복합 공간 건물), Energy load(에너지 부하), Simulation(시뮬레이션), Operation Strategy(운영 전략)

#### 1. 서 론

대형 복합 공간 건물은 건축 설계상 심미적 기능과 용도상의 목적으로 다양한 크기의 공간이 연계된 구조를 가지게 된다.<sup>(1-3)</sup> 예를 들면 건물내부에 중정과 이 중정을 중심으로 개방형으로 연결된 대, 소 공간들로 구성된 실내 공간 계획을 한다거나 각 층의 높이가 각각 다르고 인접 공간이 서로 엇갈리게 연결되는 다양한 단면

구조가 구현되는 경우가 있다. 이러한 복합 공간 건물의 경우 실내 디자인, 공간의 드라마틱한 연출 등으로 건물의 가치를 상승시키는 요소가 될 수 있다.

한편, 이러한 복합 공간 구성 건물의 경우 에너지 효율성 및 실내 온열 환경 관리 면에서 세심한 주의가 필요하다. 상호 연계된 개방형 복합 공간에서는 공간의 확장성 및 경계 구분의 모호성으로 인해 공조 구역의 구분 및 부하 배분 계획 등에 어려움이 있기 때문이다. 따라서 이러한 디자인적 가치를 충족시키면서 채실자의 환경조건 및 에너지 효율성을 고려한 공조 설계 및 운영 전략이 요구 된다. 본 논문에서는 복합건물

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-2-913-2585; fax: +82-2-949-2585  
E-mail address: yook@dasskorea.com



Fig. 1 Air-view of the evaluated building

의 운전 전략에 따른 에너지 절감량을 예측하였다. 개방형 구조를 통해 연결되어 있는 존들 간의 기류네트워크를 설정하여 각 존의 열적 특성이 서로 간에 미치는 영향을 존 간의 기류 유동량, 유동 방향 및 에너지 취득, 손실량을 통해 평가하였다. 또한 특정 구역의 공조 여부에 따라 인접 존 및 전체 구역의 에너지 부하 변화 패턴을 비교하므로 에너지 절감을 위한 운전 전략의 타당성을 검토해 보았다.

## 2. 건물 개요

복합 건물의 운전전략에 따른 에너지 절감량을 예측하기 위한 연구모델로서 S대 도서관 건물을 선택하였다. 모델 건물은 지상 7층, 지하 2층, 연면적 253,738m<sup>2</sup>의 SRC(철골철근콘크리트) 구조, 전면 유리 커튼월 구조로 되어있다. Fig. 1은 본 건물의 조감도를 나타내고 있으며 Fig. 2는 건물내부의 단면 및 공조 구획을 나타내고 있다.

그림에서 보이듯이 건물 내부는 1층~7층으로 연결되는 중정이 자리 잡고 있는 가운데, 주요실

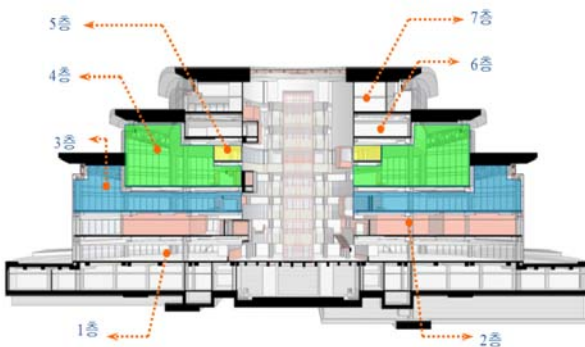


Fig. 2 Separation of the HVAC zones

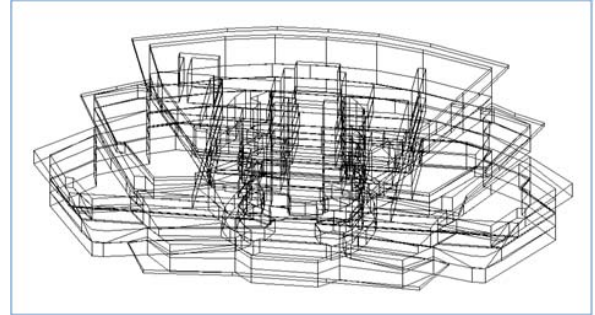


Fig. 3 Simulation building model

은 수평적인 넓은 개방형 구조를 띄고 있으며 좌우 수평적으로 구획된 주요 실은 전 층이 중앙의 중정을 통해 연결되어 수직적으로 개방되어 있다. 특히, 지상 3층의 열람실은 3층과 4층의 건물외부부분이 연결되어 있는 복층 구조이고, 4층 열람실의 경우 4~6층의 외부가 연결되어 있는 복층구조이다. 이처럼 공간 구성 및 공조 구획의 복잡성을 지니는 건물이라는 점에서 연구 대상으로 적절한 모델이라 할 수 있다.

## 3. 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 복합 건물의 운전전략에 따른 냉난방 에너지 사용량을 예측하기 위하여 대상 건물에 대한 ESP-r 시뮬레이션을 수행하였다.<sup>(4-5)</sup> 다음은 시뮬레이션을 위해 입력된 경계 조건을 정리한 것으로 각 조건별 열적 특성과 기류 유동특성이 반영된다.<sup>(6)</sup>

### 3.1 건물 공간 모델

건물 내부는 대부분의 층이 중정 또는 전면부, 측면부의 개방 공간을 통해 유기적으로 연결되어 있기 때문에 현실적인 시뮬레이션을 위해서는 공조 덕트의 위치(존), 각 덕트가 담당하는 공조 공간 체적이 반영되어야 한다. 이를 고려하기 위해 전체 공간을 임의의 구역으로 분리하여 시뮬레이션 모델을 제작하였다. Fig. 3은 시뮬레이션 건물 모델을 나타낸다.

### 3.2 주요 입력 조건

#### 3.2.1 구조체 데이터

Table 1은 구조체의 데이터를 나타낸다. 지붕

Table 1 Properties of primary components

	Multi layer composition	Thickness [mm]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kg · °C]
Roof	Metal, Steel	15	7800	502
	Rubber Sheet	2	1600	2000
	Plywood	22	700	1420
	XPS	20	35	1400
	Glasswool	125	250	840
External wall (curtain-wall)	Color Glass	6	1800	840
	Air gap	12	1	1
	Clear Float Glass	6	2500	750
Slabs	EPOXY	2	1200	840
	Concrete (No fines)	150	1800	840

은 15 mm 스틸 계열의 표면층 아래로 방수재와 22 mm의 목재 합판, 20 mm 열교 차단재, 125 mm 단열재 등이 주된 구성을 이루고 있다. 외벽은 24 mm 컬러 복층 유리 소재의 커튼월 구조이다. 층간 바닥(슬라브)은 150 mm 콘크리트의 물성치가 적용된다.

3.2.2 내부 발열 특성

Table 2는 내부 발열 조건을 정리한 것으로 인체발열, 조명 발열 및 기기 발열이 각 실에 용도에 따라 입력된 상황을 보여준다. 인체 발열은 Esp-r 내부 설정 값에 따라 일인 당 바닥 면적의 값으로 현열 및 잠열 수치가 반영되어 시뮬레이션이 수행된다.

3.2.3 기상 데이터

시뮬레이션의 기상 데이터 조건은 표준 서울 기상 데이터를 사용하였으며, 시뮬레이션 대표일은 시험 기간으로 건물 이용자 수가 많으면서 기후

Table 2 Internal heat gains

Internal heat gains	study rooms and offices	core, halls, lobby
occupants [m <sup>2</sup> /person]	10	20
lighting [W/m <sup>2</sup> ]	10	10
equipment [W/m <sup>2</sup> ]	5	0

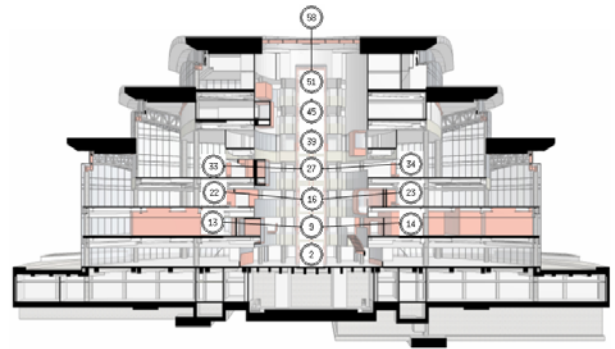


Fig. 4 Air flow Network of the space

특색이 뚜렷하게 나타나는 하지와 동지로 정하여 반영하였다. 두 대표일의 외기 온도 조건은 예년 기온을 반영하며, 일사 조건은 맑은 날로 가정된다.

3.2.4 실내 설정 온도

공조를 위한 실내의 냉/난방 설정 온도는 8시에서 22시 사이에 26/20°C를 적용하였다.

3.3 기류 네트워크 시뮬레이션을 통한 기류 유동 특성 반영

대공간 내부의 기류 유동 특성 해석을 위해 해

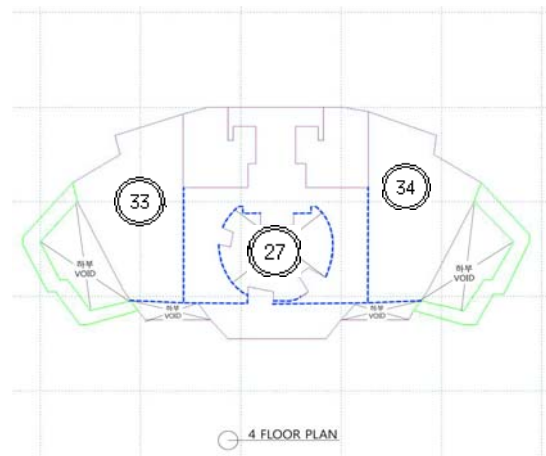
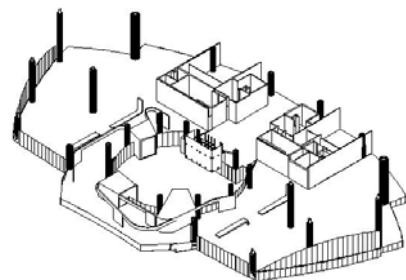


Fig. 5 Air flow network of 4th floor

석 대상 공간을 다수의 존 단위로 구분하고 존별 공조 조건과 존들 사이의 네트워크 노드를 설정한다.

본 연구의 대상 공간은 수평적, 수직적 공간 구조의 특성을 반영하여 60여개의 존으로 구분되었으며, 외기와 면하는 존들의 경우 각각에 대응되는 외부 공간이 가상 존으로 설정된다.

Fig. 4와 Fig. 5에 예시로 나타난 것처럼, 결과 분석을 위한 기류 네트워크 노드 맵은 원하는 존을 임의의 네트워크 모형으로 설정하여 존 간의 기류 유동 방향과 유동량을 관찰할 수 있다. 시뮬레이션의 시간간격은 2분 간격이며 이에 따른 결과 값으로 2분 간격의 기류 유동 상황을 관찰할 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 개방된 구역 간의 연결 조건을 양방향 기류 유입, 유출이 자유로운 개방 조건으로 설정한다.

### 3.4 공조 구역의 분리를 통한 비교 시뮬레이션

Fig. 2에서 본 건물 대공간의 수평, 수직적 개방 조건을 고려하여 층별 에너지 사용량 산정시 공간을 어떻게 구분할 것인지 나타내었다.

이러한 공조 구역을 효율적으로 운영하기 위한 방안을 모색하고자 1층~7층 전체 공조 구역을 설정 온도에 따라 공조하는 경우와, 건물의 이용 자수가 감소하는 방학기간 동안 4층 구역의 공조를 하지 않을 경우로 케이스를 나누어 에너지 사용량 변화 특성을 비교 시뮬레이션 하였다. 이는 건물 운영자가 에너지 절감 방안으로 제시한 운영 전략이었다. 4층에 공조가 되지 않을 경우

인접한 공조 구역의 냉난방 특성이 변화되므로 이 운영 방안이 건물 전체 존에 걸쳐 냉방 및 난방 에너지 특성 분포에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 하는 것이다.

## 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

복합건물의 운전전략에 따른 냉난방 에너지 사용량을 ESP-r을 이용하여 예측하였으며, 하지와 동지시 일일 난방에너지 및 냉방에너지 사용량 예측값을 Table 3에 나타내었다.

### 4.1 4층 공조 여부에 따른 난방 에너지 사용량 특성

먼저 난방 특성을 살펴보면, 출입구를 통해 0℃이하의 외기와 열 교환이 이루어지는 1층의 난방에너지 사용량은 전체 건물의 40%이상 차지하는 것으로 나타났다. 전체 건물 에너지 사용량은 4층 비공조시 1587.87 kWh 및 4층 공조시 1643.02 kWh로써, 3.35% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 4층 인접부인 3층부터 7층의 난방 에너지 사용량은 4층 공조 여부에 따라 차이를 보이는데, 3층부터 7층까지의 난방 에너지 사용량은 4층 공조시, 867.6 kWh로 4층 비공조시 4층 비공조시 806.06 kWh로써, 4층 비공조시 3~7층 난방 에너지 사용량은 4층 공조시 대비 7.09% 감소한다.

전체 건물 체적대비 4층의 공조영역의 체적비는 20%가량인데 비하여, 4층 난방 유무에 따른 난방 에너지절감량은 약 3.35%정도로서 체적에

Table 3 Daily amounts of the heating and cooling load for 2 comparing cases

Unit [kWh]	Heating (Dec 21)				Cooling (June 21)			
	4th floor heating		4th floor no heating		4th floor cooling		4th floor no cooling	
1st floor	702.40	42.8	705.47	44.4	935.97	10.7	1106.73	13.1
2nd floor	73.02	4.4	76.34	4.8	1175.65	13.4	1181.03	14.0
3rd floor	291.53	17.7	389.24	24.5	1856.02	21.2	2885.08	34.3
4th floor	212.32	12.9	no heating		1764.19	20.2	no cooling	
5th floor	84.08	5.1	104.19	6.6	459.36	5.2	487.93	5.8
6th floor	34.16	2.1	37.76	2.4	450.33	5.1	476.46	5.7
7th floor	245.51	14.9	274.87	17.3	2111.50	24.1	2282.19	27.1
total	1,643.02	100.0	1,587.87	100.0	8,753.02	100.0	8,419.42	100.0

비하여 적은량의 에너지만이 절약되는 것으로 나타났다. 이는 4층의 에너지사용량이 전체 건물의 에너지사용량의 12.9%인 것과 4층의 비공조시 인접층에서 추가되는 에너지사용량 때문이다.

#### 4.2 4층 공조 여부에 따른 냉방 에너지 사용량 특성

4층 공조시 전체 건물의 냉방에너지 사용량은 8753.02 kWh이며, 4층 비공조시는 8419.42 kWh로서 3.8% 가량 감소한다. 4층 공조시 4층 인접부인 3층부터 7층까지의 냉방에너지 사용량 6641.4 kWh이며, 4층 비공조시, 냉방 에너지 사용량은 6131.66 kWh으로 4층의 공조여부에 따라 7.68%정도 감소됨을 알 수 있다. 즉, 4층의 공간에 공조설비를 운용하지 않음으로 전체 건물의 냉방 에너지를 줄일 수는 있다는 결론이다. 하지만 4층 공간이 시뮬레이션 모델 상 전체 건물에서 20% 가량의 체적을 차지한다는 점을 고려하면 공조를 하지 않음으로 얻는 절감효과가 해당 체적 비율에 비해 매우 제한됨을 알 수 있다. 이는 복합 공간 구조에서 에너지 소비의 효과적 관리 방안을 찾기 위해서, 한 구역의 공조여부가 다른 공조 구역에 미치는 영향을 고려해야 한다는 점을 의미한다.

#### 4.3 4층 공간의 공조 여부가 다른 공간에 미치는 영향 평가

건물의 설계에 따라 5층의 일부를 제외한 모든 층은 중정을 통해 서로 개방되어 있다. 즉 한 구역의 열과 기류가 중정을 통해 다른 구역으로 이동될 수 있는 것이다. 따라서 4층 공조 여부에

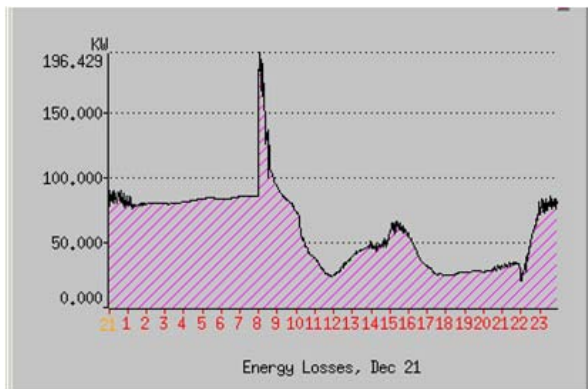


Fig 6. Energy losses in 3~7th floors with heating in 4th floor

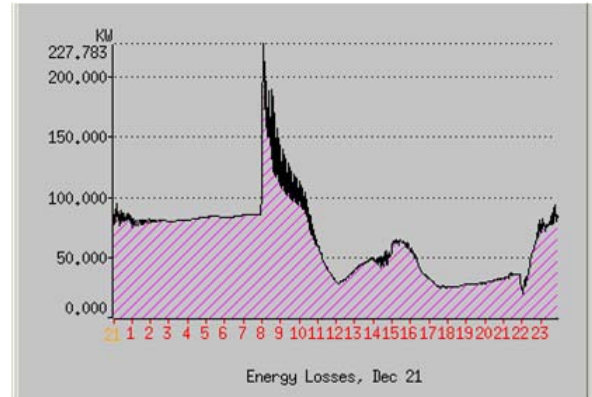


Fig 7. Energy losses in 3~7th floors without heating in 4th floor

따라 다른 전체 층의 에너지 특성에 영향을 미칠 수 있는 데 일례로 Fig. 6과 Fig. 7은 4층의 공조 여부에 따른 3층부터 7층의 난방 에너지 손실량을 나타낸다.

두 가지 경우 모두 3~7층의 에너지 손실부하의 최대치가 공조를 작동하시 시작하는 8~9시로 집중되어 있다. 이와 같은 수치는 비공조 시간대에 난방이 이루어지지 않는 상태에서 온도가 낮아진 건물 내부 공간과 구조체의 온도를 설정 온도로 맞추기 위한 난방 부하가 집중적으로 요구됨을 짐작하게 해 준다.

4층의 난방 공조가 이루어지지 않는 경우 3~7층 존의 기류 유동을 통한 열 손실 부하가 최대 228 kW 가량으로 나타난다. 4층 난방 공조가 이루어질 경우 난방 공조 시간 초기의 열 손실 부하가 196 kW 미만으로 나타나는 것에 비해 16% 가량 높은 값이다.

Fig. 8, Fig. 9에서 보이는 4층 공조 여부에 따른 3~7층의 열에너지 취득량은 이 공간의 냉방 부하에 영향을 미치는, 연계된 존과의 기류 유동

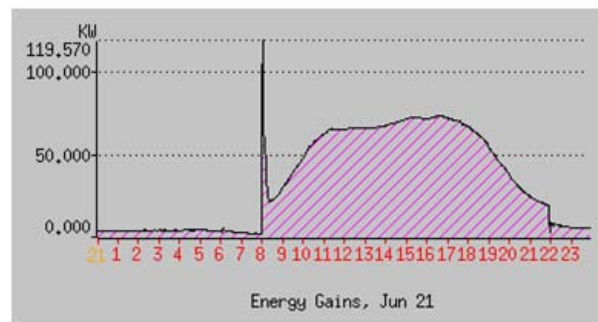


Fig 8. Energy gains in 3~7th floors with heating in 4th floor

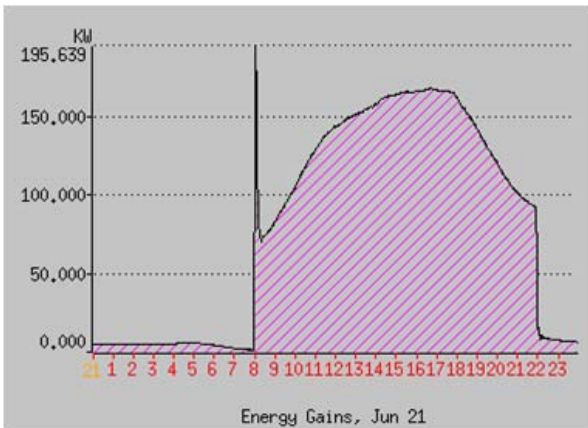


Fig 9. Energy gains in 3-7th floors without heating in 4th floor

을 통해 유입되는 열에너지 부하를 나타낸다.

4층 비공조시의 이러한 유입 열에너지 부하는 공조 운전 시동 시점에서 약 196 kW, 오후 시간 최대 부하 시점에서 약 170 kW로 나타난다. 4층 공조가 운영될 경우에 이 수치는 각각 약 120 kW와 75 kW로 약 40~55% 낮아진다.

## 5. 결론

복합건물의 운전전략에 따른 에너지절감량을 예측한 결과 복합 개방 공간내에서 부분 공조 스케줄 조정은 존간의 열전도 및 대류 교환을 통한 열평형으로 인해 절감효과가 거의 없다는 것을 수치적으로 확인하였다.

따라서 에너지절감을 위한 4층 구역의 비공조라는 부분 운전전략은 전체 건물 에너지 사용량

과 인접 구역 공조 부하 성능에 미치는 영향을 고려해 신중히 시행될 필요가 있다

추후 연구과제로 특정 구역의 공조 여부에 관계없이 나타나는 공조 시작 시간대의 최대 부하와 전체 에너지 사용량의 상관관계를 예측하고, 운전 일정에 따른 에너지 절감 방안을 연구해 볼 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. Lee, J. Y., et al, 2008, A Study on Planning Conditions to Improve Openness assessment in Atrium, KIEAE, Vol. 8, No. 2., pp. 41-46.
2. Lee, S.K., Kim, Y. S., 2008, A Study on the Characteristics in terms of the Spatial Depth of Contemporary Public Libraries in Korea, KIID, Vol. 17, No. 1, pp. 146-155.
3. Lee, J. Y., 2008, A Possibility of Inner Plaza Atrium as Urban Public Space, AIK, Vol. 24, No. 2, pp. 63-70.
4. ESP-r, <http://www.esru.strath.ac.uk>
5. DASS ESP-r, <http://www.dasskorea.com>
6. Yook, I. S., 2007, Simulation-based Performance Assessment of Slit-type Ventilation System for Domestic Buildings in Korea, Proceedings of the IBPSA, pp. 958-963.