

BIM을 이용한 건축물 초기 디자인 단계에서 초고층 업무용 건물의 최적 에너지 형태개발

류한수*, 김인한**, 추승연***

Development of Energy Optimized Geometry Using BIM for Super Tall Office Building in Early Design Stages

Han Soo Ryu*, In Han Kim** and Seung Yeon Choo***

ABSTRACT

There are many researches to make low-energy building. Lots of them focus on facility systems and insulation performance of building materials. However, not only systematic solutions but also approaches in early design stages are important to reduce energy consumption. Using BIM(Building Information Modelling) is considered as an effective and efficient way to simulate building energy and decide alternatives than traditional energy simulation because BIM based energy simulation makes to reduce much time for energy modeling. This study focuses on development of optimized geometry for super tall office buildings in Seoul, Korea. Specifically, length to width ratio and building orientation are main topics of this study because these two topics are the most basic and preceding factors deciding mass design. In this study, Revit MEP 2011 and Ecotect Analysis 2011 are used to make case models and calculate energy load in early design stages. Energy properties of material abide by Korean Standards for Energy Conservation in Building, Korean Guideline for Energy Conservation in Public Office and ASHRAE Standard in USA. This study presents best length to width ratio of plan and optimized orientation by evaluating the case models. Furthermore, this study suggests what should be considered for each case to decrease energy load.

Key words : BIM, Energy Simulation, Length to width ratio, Orientation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지구 온난화로 인한 기상이변과 화석 에너지의 고갈로 전 세계적으로 지속가능한 성장과 대체에너지 개발, 에너지 저감에 대한 관심이 고조되고 있다. 이는 산업 한 분야에서만 국한된 것이 아니라 모든 산업 분야에서 나타나고 있는 변화이며 특히 세계적으로 소비되는 전체 에너지의 30~40%가 건물에서 소비되고 있는 분야에서 친환경과 지속가능성은 주요한 논

제가 되고 있다.

건축물에서 에너지 소비를 줄이기 위한 방안으로 다양한 연구들이 진행되고 있다. 건축물의 탄소 중립을 목표로 미국 건축가 협회를 중심으로 진행되고 있는 2030 Challenge 프로젝트 보고서에 따르면 에너지 소비 저감을 위한 방안으로 건축물 디자인 단계에서의 접근방법이 건축물 시스템적 접근 및 신재생에너지의 이용을 통한 방법들보다 더 효율적이며 효과적인 에너지 저감 방안이라는 연구 결과가 있다. 또한 미국 친환경 건물 인증인 LEED는 친환경, 저에너지 건물을 위해 설계 초기단계에서부터 환경 친화적 설계 전략을 채택하도록 유도한다.

하지만 기존의 건축물 에너지 저감 방안에 대한 연구들은 냉난방 설비의 효율 및 건축물 외피의 단열 성능 향상에 치중되어 있었다. 또한 건축물 디자인 단계에서의 접근을 위해서 각 설계 대안별 에너지부하 평

*학생회원, 경북대학교 공간정보학과 석사과정
**중신회원, 경희대학교 공과대학 건축학과 교수
***교신저자, 정회원, 경북대학교 건축토목공학부 교수
- 논문투고일: 2011. 02. 21
- 논문수정일: 2011. 03. 04
- 심사완료일: 2011. 03. 05

가 필요하지만 기존의 2차원 모델링 방식에서는 에너지 시뮬레이션을 위해 많은 시간과 노력이 투입되어야 하기 때문에 설계 초기단계에서의 에너지 저감 대책이 적용하기 어렵다.

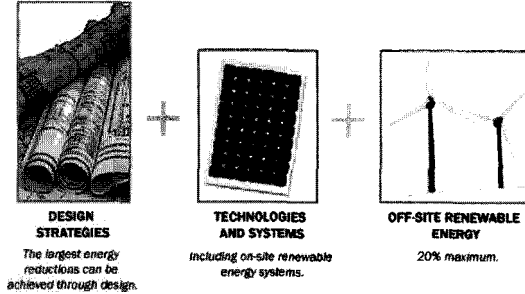


Fig. 1. 2030 Challenge 프로젝트에서 제시하는 탄소중립 전략¹⁾.

그렇지만 BIM(Building Information Modelling)의 도입 이후 삼차원 모델링을 통한 에너지 시뮬레이션이 가능하게 됨으로 에너지 모델링을 위한 시간이 획기적으로 줄어들게 되었다. 또한 Ecotect와 같이 시뮬레이션의 결과를 보다 직관적으로 평가할 수 있는 툴들이 개발됨에 따라 건물 초기 디자인 단계에서부터 친환경적이며 에너지 효율적인 디자인을 위한 강력한 의사결정 수단으로 활용할 수 있게 되었다.

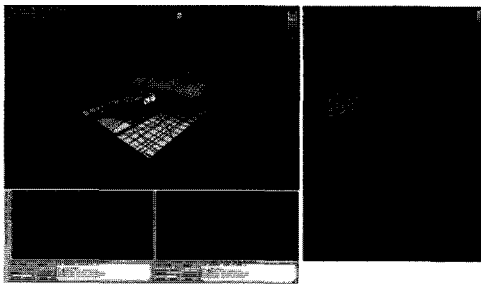


Fig. 2. Ecotect를 통한 열환경 분석 시뮬레이션 예시.

본 논문에서는 BIM 툴과 BIM 기반 시뮬레이션 툴을 이용하여 서울지역 초고층 사무용 건물의 최적 형태를 도출한다. 최근 건축에서 친환경적 요소가 부각됨에 따라 기존의 효율과 경제성, 상징성이라는 키워드와 함께 초고층 건물에서도 친환경 및 에너지가 주요한 표제어로 자리 잡게 되었다. 이를 충족시키기 위해 건축물 디자인의 가장 초기적인 단계인 매스디자인

인 단계에서부터의 접근이 필요하다. 서울지역의 기후 데이터를 에너지 시뮬레이션에 입력함으로 서울의 기후 조건과 우리나라의 설계기준을 반영하는 최적의 매스형태를 도출한다. 도출된 결과가 실제 건물 디자인에서 에너지 저감을 위한 기본 연구 자료로 사용되어 에너지 저감에 기여하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문에서 연구의 대상이 되는 초고층 사무용 건물의 평면 형태는 사각형 평면의 60층 규모의 건물로 설정한다.

세계 초고층 협회의 정의에 따르면 높이 200미터 이상 50층 이상의 건물을 초고층으로 정의하고 있다. 따라서 본 논문에서는 초고층의 기준을 상회하는 240미터 60층의 건물을 연구 대상으로 설정한다. 또한 초고층 건축물 형태 중 대표형이라 할 수 있는 사각형 평면형을 연구의 대상으로 삼는다.

50층 이상, 높이 140미터 이상의 건축물을 초고층 건축물로 정의하고 이를 대상으로 건물의 유형을 분석한 ‘현대 초고층 건축물의 형태적 경향에 관한 연구’에 따르면, 초고층 건물의 유형은 크게 사각형, 원형 및 타원형, 다각형, 복합형으로 분류되며 그 중 2010년까지 지어진 세계 초고층 건축물은 136개 중 평면 유형이 사각형인 형태는 70개로 가장 큰 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.²⁾

본 연구에서 초고층 건축물의 설계 단계 중 실질적 디자인이 시작되는 계획설계 단계 중 가장 선행되는 매스디자인 단계에서의 에너지 저감 방안에 중점을 두고 연구를 진행한다.

에너지 소비량에 영향을 주는 디자인 요소로 건물의 배치와 방위, 건물의 장단변비에 따른 형태, 공간 구성 방식에 따른 평면계획, 입·단면계획 및 외피 시스템이 있다.³⁾ 이러한 요소들 중 매스디자인 단계에서 결정되어 지는 디자인 요소는 건물의 방위와 장단 변비이며 이 요소를 시뮬레이션 변수로 설정한다. 각 변수에 따른 에너지 소비량 비교를 위해 건물의 냉방 부하와 난방부하를 기준으로 상대적 부하를 비교한다.

에너지 분석을 위한 실험 순서로 먼저 BIM툴을 통해 각기 다른 평면비를 가지는 건물을 모델링한다. 사

¹⁾www.architecture2030.org/2030_challenge/the_2030_challenge

²⁾임보람 김현수, 이성령, 김진욱, “현대 초고층 건축물의 형태적 경향에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제12권, 제12호, pp. 279-286, 2008.

³⁾권시형, “지속 가능한 건축을 위한 생태기후적 디자인에 관한 연구”, 영남대학교 석사학위 논문, pp. 49-90, 1999.

용되는 BIM툴은 Revit MEP 2011이다. 다음 단계로 모델링 된 형상을 gbXML로 변환을 하고 변환된 파일 형식을 BIM 기반 에너지 시뮬레이션 도구인 Ecotect Analysis 2011로 불러들이고 건물의 에너지 속성을 입력하여 각 방위별로 시뮬레이션을 수행한다. 실험의 결과를 토대로 각 변수들에 따른 에너지 부하를 평가한다.

2. BIM 기반 에너지 시뮬레이션과 선행연구

2.1 BIM 기반 에너지 시뮬레이션

BIM을 통한 에너지 시뮬레이션은 BIM 툴과 별도의 에너지 분석 프로그램을 필요로 한다. BIM기반 에너지 시뮬레이션은 BIM 툴을 이용한 모델링, 데이터 변환, 에너지 모델링, 분석의 네 단계를 거친다.

BIM 툴로는 Revit과 ArchiCAD, DP(Digital Project)가 대표적이며, BIM기반 에너지 분석 프로그램으로는 Ecotect, Green Building Studio, IES가 대표적이며,⁴¹⁾ 공통적으로 gbXML을 중립 포맷으로 BIM 정보를 읽어 들인다. 이들 프로그램 외에 비들웨어를 통해 gbXML 파일 형식을 자체 파일 형식으로 변환하여 BIM 정보를 읽어 들일 수 있는 에너지 시뮬레이션 프로그램으로는 EnergyPlus, eQUEST 등이 있다.

BIM 툴과 에너지 시뮬레이션 프로그램들 간의 정보교환 과정은 아직까지 많은 문제점을 내포하고 있다. gbXML을 통한 정보교환에서 건물 형상정보와 위치정보는 비교적 정확한 정보교환이 가능하지만 그 밖의 에너지 시뮬레이션을 위한 냉난방 시스템, 건축 자재의 열적 속성에 대한 정보교환은 이루어지지 않는다.⁴²⁾ 따라서 시뮬레이션을 위해 에너지 시뮬레이션 프로그램에서 분석에 필요한 기후데이터, 건물 스케줄, 건축 자재의 에너지속성, 냉난방 구역 설정 및 시스템에 관한 설정이 필요하다.

2.2 건물 에너지 저감을 위한 선행연구

초고층 사무용 건물의 방위각 및 평면 형태에 따른

에너지 소비에 대한 연구로는 다음과 같은 연구가 있다.

시애틀에 위치한 업무용 건물을 대상으로 한 연구에서 건축물의 최적 방위각을 찾는 것만으로 연간 건축물의 에너지 소비를 1.3%까지 줄일 수 있다는 연구 결과가 있다.⁴³⁾ 이 연구는 미국 시애틀을 기준으로 이루어진 연구이기 때문에 우리나라에 똑같이 적용되지 않을 수 없으며, 남쪽을 기준으로 회전하여 90°, 45°, 15°, 0° 등으로 7개의 방위에 대해서만 분석이 이루어졌기 때문에 더욱 세분화된 방위각 기준을 통해서 최적방위를 도출하는 과정이 필요하다.

초고층 건축물의 평면 형태에 따른 에너지 효율에 관한 연구로는 초고층 사무소 건축의 건물형태 구성 및 효율에 관한 연구가 있다. 건축물의 평면 형태를 정사각형, 직사각형, 삼각형, 원형 형태로 나누어 각 유형을 다양한 기후데이터 조건하에 시뮬레이션하여 기후조건 별 평면형의 에너지 효율을 비교하고 있다. 실험에서는 우리나라가 속해 있는 온순지역에서는 사각형, 원형, 정사각형, 삼각형의 순서로 에너지 효율이 높아진다는 결론을 내린다.⁴⁴⁾

또 다른 연구로 사무소 건물 평면의 장단변비 변화에 따른 에너지 소비 패턴에 관한 연구⁴⁵⁾가 있다. 이 연구에서는 건물의 장단변비를 1:1.2, 1:2, 1:4의 3가지 경우만을 가지고 실험하고 있다. 또한 시뮬레이션 결과 난방부하가 냉방부하에 비해 7배 가량 높은 부하량을 나타내고 있는데 이는 사무용 건물의 내부발열량을 7 W/m²로 설정함에 따라 용도에 따른 열적 특성을 고려하지 못한 결과로 판단된다.

3. 에너지 모델링 및 시뮬레이션

3.1 건물형상 모델링

본 논문에서 건물의 형상 모델링을 위해 사용되는 BIM 툴은 Revit MEP 2011이며 이 툴을 이용하여 건물 외피 모델링과 분석영역을 설정을 수행한다.

에너지 시뮬레이션의 대상이 되는 건물은 기준층 면적 3,600 m², 층고 4m, 전체 60층, 벽면대비 창문 비율 40%, 전체 면적대비 코어면적 비율 25%의 농일

⁴¹⁾Salman Azhar and Justin Brown and Rizwan Farooqi, "BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software", Building and Environment, 2009

⁴²⁾Sumedha Kumar, "Interoperability between Building Information Models (BIM) and Energy Analysis Programs", University of Southern California 석사논문, 2008

⁴³⁾Eddy krygiel and Bradley Nics, "BIM을 통한 성공적인 지속가능 디자인", 시공문화사, pp. 153-157, 2010

⁴⁴⁾조종수, "초고층 사무소 건축의 건물형태 구성 및 효율에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제23권, 제6호, 2007

⁴⁵⁾김원석, 김삼열, "사무소 건물 평면의 장단변비 변화에 따른 에너지 소비 패턴에 관한 연구", 대학설비공학회 2010 하계학술발표대회 논문집, 2010

한 조건으로 설정되었다. 이러한 조건 내에서 Table 1과 같이 평면의 장단변비의 변화를 주어 총 9가지 경우로 각 유형들을 모델링한다.

Table 1. 평면장단변비에 따른 형상 모델링 조건

평면장단변비	장변길이(m)	단변길이(m)
Case 1:1	6.00	6.00
Case 1.25:1	6.71	5.37
Case 1.5:1	7.35	4.90
Case 1.75:1	7.94	4.54
Case 2:1	8.49	4.24
Case 2.25:1	9.00	4.00
Case 2.5:1	9.49	3.79
Case 2.75:1	9.95	3.62
Case 3:1	10.39	3.46

건물 외피 모델링 후 시뮬레이션의 대상이 되는 사무실 영역과 코어영역의 공간을 설정하고 Fig. 3과 같이 대상 영역을 에너지 시뮬레이션을 위한 포맷인 gbXML로 변환하는 과정을 거친다.

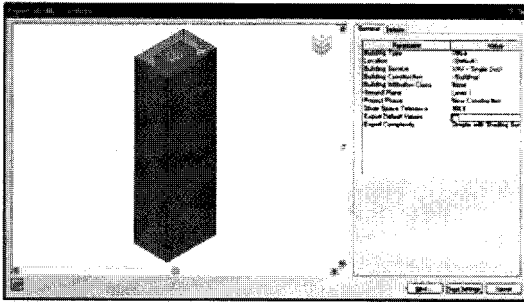


Fig. 3. gbXML을 통한 시뮬레이션 영역의 정보교환.

3.2 에너지 모델링

실험을 위한 에너지 시뮬레이션 툴로 Ecotect Analysis 2011프로그램이 사용된다. 미국공조냉동협회인 ASHRAE에서는 컴퓨터기반 에너지 시뮬레이션 프로그램으로 DOE-2, BLAST, EnergyPlus와 같은 프로그램의 사용을 권장하며 에너지 분석 프로그램의 시뮬레이션의 요구사항을 정의하고 있다.⁹⁾ 또한 BESTEST(Building Energy Simulation TEST)를 통해 대표적인 에너지 분석 프로그램들을 동일한 기준

으로 시뮬레이션하여 결과를 비교 분석하였다.¹⁰⁾ Ecotect는 건물 디자인 단계에서의 에너지 분석에 특화된 에너지 분석 프로그램이기 때문에 미국공조냉동협회에서 요구하는 분석 항목과의 차이가 있고, 때문에 분석 요구사항을 모두 충족할 수 없다. 따라서 BESTEST를 통한 상대적 비교는 불가하다. 하지만 에너지 분석 알고리즘으로 ISO 13791, ISO 13792, ISO 13789의 공인된 국제 표준을 사용하고 있기 때문에 각 대안에 대한 상대적 분석 결과를 비교하는 것은 유효한 것으로 평가된다.¹¹⁾

에너지 모델링을 위한 속성 입력 기준으로 건축물의 에너지절약 설계기준, 혁신도시 공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인을 따르고, 추가적으로 필요한 속성 정보는 ASHRAE Standard를 따른다.

Table 2는 건물의 용도, 기후 데이터, 위치정보 등에 관련된 기본적 정보의 입력 값을 나타내고 있다. Ecotect Analysis 2011에서 제공되는 서울 지역의 기후데이터는 월별 강수량 데이터가 포함되어 있지 않기 때문에 기후 데이터에 각 월별 평균 강수량(20 mm, 28 mm, 49 mm, 105 mm, 88 mm, 151 mm, 383 mm, 263 mm, 163mm, 48 mm, 43 mm, 25 mm)¹²⁾을 직접 입력했다.

Table 2. 프로젝트 세팅

항목	입력 값
Building type	office
Weather data file	SouthKorea-Scoul.wca
Latitude	37.57°
Longitude	126.97°
Local time zone	+8:00 Perth
Altitude	86m
Local terrain	Urban

건물 영역은 냉난방 구역과 비 냉난방 구역으로 구분하여 에너지 속성을 입력한다. 냉난방 구역은 코어 외주부로 사무용 건물로 임대되는 구역이다. 사무용 건물에서는 다른 시설물에 비해 사무기기 및 조명발열량이 많기 때문에 이를 고려한 내부발열량을 입력

⁹⁾ASHRAE, "ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 (SI Edition)", ASHRAE, pp. 175-176, 2007, 요약정리.

¹⁰⁾ASHRAE, "Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs", ASHRAE, 2007

¹¹⁾<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/ps/dt/item?siteID=123112&id=14576143&linkID=13734494>

¹²⁾미국 해군성 천문대 관측 기준 서울지역 월별 평균 강수량

Table 3. 각 영역별 속성 입력

		항목	입력 값
Conditioned area	Lighting Level		400 lux
	Number of people		1ea./12 m ² (225people)
	Internal gains	Sensible gain	15 W/m ²
		Latent gain	6 W/m ²
	Type of system		Mixed-mode system
Thermostat range		20.0~26.0	
Unconditioned area	Lighting Level		100lux
	Number of people		1ea./12 m ² (75people)
	Internal gains	Sensible gain	5 W/m ²
		Latent gain	2 W/m ²
Type of system		none	

Table 4. 시스템 속성 입력

		항목	입력 값
HVAC system	HVAC system type		Single-duct VAV
	Fuel Type		Natural gas
	Heating system		LTHW boiler
	Heating recovery system		Heat exchange plates or pipes
	Chiller type		Water cooled chiller
LTHW system	Heating generation type		Using central heating boiler
	Heat source of HVAC system		LTHW boiler
	Fuel type		Natural gas
Zone profile	Specific activity by zone type		Open plan office
	Heat recovery		Plate heat exchanger (Recuperator)
	General lighting		C-T12-F-H-I, T12
	Heat gains fraction		8
	Lighting design		Lights chosen but no cals done. 43,000 lumens/circuit watt
	Occupancy sensing		Auto-on-dimmed
	Photosensor controls		PH-dimming
	Efficient lamps		43,000 lumens/circuit watt
	Time switching on display lighting		Dimming
	No. Hours/day display lights off		17,000
	Ventilation method		Mechanical

해야 한다. 본 실험에서는 혁신도시 공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인을 따라 기기발열에 의한 내부 발열량을 21 W/m²로 설정하였다. 비 냉난방 구역은 건물의 계단 및 엘리베이터, 화장실, 설비공간, 복도 등 서비스영역으로 전체 면적의 25%를 비 냉난방 구역으로 설정하였으며 내부 발열량은 Ecotect 기본 설정 값인 7 W/m²와 설정하였다.

냉난방설비, 온수설비, 조명설비 등에 관한 조건은 Table 4와 같은 입력 값을 가지며 표기되지 않은 조건은 Ecotect 기본 설정값을 따른다.

시뮬레이션을 위한 스케줄은 미국공조냉공회회의 기준을 따른다. 혁신도시 공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인에 시뮬레이션을 위한 스케줄이 정의되어 있지만 시간대별 이용률 및 조명 스케줄은 생략되어

Table 5. 재실자, 조명, 시스템 운영 스케줄¹³⁾, 단위:%

Time	Occupancy			Lighting			Operation		
	Wk.	Sat.	Sun.	Wk.	Sat.	Sun.	Wk.	Sat.	Sun.
1	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off
2	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off
3	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off
4	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off
5	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off
6	0	0	0	10	5	5	Off	Off	Off
7	10	10	5	10	10	5	On	On	Off
8	20	10	5	30	10	5	On	On	Off
9	95	30	5	90	30	5	On	On	Off
10	95	30	5	90	30	5	On	On	Off
11	95	30	5	90	30	5	On	On	Off
12	95	30	5	90	30	5	On	On	Off
13	50	10	5	80	15	5	On	On	Off
14	95	10	5	90	15	5	On	On	Off
15	95	10	5	90	15	5	On	On	Off
16	95	10	5	90	15	5	On	On	Off
17	95	10	5	90	15	5	On	On	Off
18	30	5	5	50	5	5	On	On	Off
19	10	5	0	30	5	5	On	Off	Off
20	10	0	0	30	5	5	On	Off	Off
21	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off
22	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off
23	5	0	0	10	5	5	On	Off	Off
24	5	0	0	5	5	5	On	Off	Off

¹³⁾ASHRAE, "90.1 User's Manual", ASHRAE, p. G-43, 2007.

있기 때문에 보다 구체적인 스케줄 입력을 위해 미국공조냉동협회의 기준을 따른다.

건물 외피에 대한 속성 정보는 건축물의 에너지절약 설계기준 중 중부지역의 기준을 기준으로 최소 열관류율 규정을 충족하도록 입력하였다.

Table 6. 건물 외피의 에너지 속성

Wall				
Material	Width (mm)	Density (kg/m ³)	SP.Heat (J/kg·K)	Conduct (W/m ² ·K)
Concrete	200	2200	880	1.400
Glass Insulator	125	2540	770	0.031
Gypsum board	12.5	1100	840	0.180
U-value=0.230 W/m ² ·K				
Floor				
Material	Width (mm)	Density (kg/m ³)	SP.Heat (J/kg·K)	Conduct (W/m ² ·K)
Mortar	40	2000	800	1.200
Air gap	50	1.3	1000	0.100
Polystyrene	20	40	1130	0.032
Concrete	180	2200	880	1.400
U-value=0.810 W/m ² ·K				
Window				
Material	Width (mm)	Density (kg/m ³)	SP.Heat (J/kg·K)	Conduct (W/m ² ·K)
Glass standard	6	2300	836.8	0.900
Air gap	30	1.3	1004	4.784
Glass standard	6	2300	836.8	0.900
U-value=2.410 W/m ² ·K, Solar heat gain coefficient=0.75				
Ceiling				
Material	Width (mm)	Density (kg/m ³)	SP.Heat (J/kg·K)	Conduct (W/m ² ·K)
Plaster board	10	1250.0	1088	0.431
U-value=5.160 W/m ² ·K				

이상에서 제시한 에너지 모델링 조건을 각 평면 장단변비에 따른 유형에 동일하게 입력하고, 각 유형의 방위각을 남향을 0°를 기준으로 시계방향으로 5°씩 회전하여 평면 장단변비와 각 방위에 따른 에너지 부하를 시뮬레이션한다.

4. 에너지 시뮬레이션 결과 분석 및 최적 형태 도출

4.1 냉방부하 분석

에너지 시뮬레이션을 통해 산출된 데이터를 분석한

결과 평면 장단변비의 변화에 따른 냉방부하는 Fig. 4에서와 같이 평면 장단변비가 감소함에 따라 1:1 > 1.25:1 > 1.5:1 > 1.75:1 > 2:1 > 2.25:1 > 2.5:1 > 2.75:1 > 3:1의 순으로 증가함을 알 수 있다. 이는 건물의 단위면적당 표면적의 증가에 따라 냉방효율이 좋아짐을 나타내는 결과이다. 하절기 내부발열로 인해 과열된 실내에서의 열을 외부로 발산하기 위해 단위면적당 표면적이 증가할수록 단위시간당 열발산량이 증가하는데서 원인을 찾을 수 있다.

또한 평면 장단변비에 따라서 냉방 부하가 최대, 최소가 되는 방위각이 달라짐을 알 수 있으며 건물의 평면 장단변비가 증가함에 따라서 각 방위별 냉방 부하의 변화가 증가하는 경향을 나타낸다.

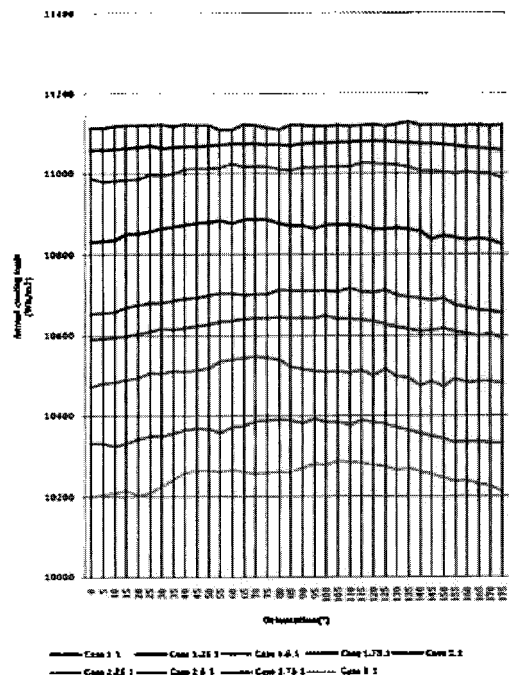


Fig. 4. 단위면적당 연간 냉방부하.

4.2 난방부하 분석

Fig. 5는 난방부하를 나타낸다. 냉방부하와는 반대로 평면 장단변비가 증가함에 따라서 3:1 > 2.75:1 > 2.5:1 > 2.25:1 > 2:1 > 1.75:1 > 1.5:1 > 1.25:1 > 1:1의 순으로 난방부하가 증가함을 나타낸다. 건물의 단위면적당 표면적이 감소에 따라서 난방효율이 감소하는 결과를 나타낸다. 이는 표면적이 적은 형태일수록 에너지 손실량이 줄어드는데서 그 원인을 찾을 수 있다.

평면 장단변비 1.25:1과 1.5:1에서의 난방부하 차이

가 다른 유형들 간의 차이에 비해 확연히 적은 부하차이를 보이는데 이는 일사면적 증가에 따른 에너지 획득과 증가량과 표면적 증가에 따른 에너지 손실 증가량의 변곡점이 1.25:1과 1.5:1의 유형 사이에서 형성되기 때문으로 판단된다.

방위각에 따른 난방부하는 냉방부하와 마찬가지로 각 평면 유형에 따라 에너지 부하가 최대와 최소가 되는 방위각이 달라지며, 평면 장단변비 증가에 따라 각 방위별 에너지 부하의 차이가 크게 난다는 분석결과를 얻을 수 있다.

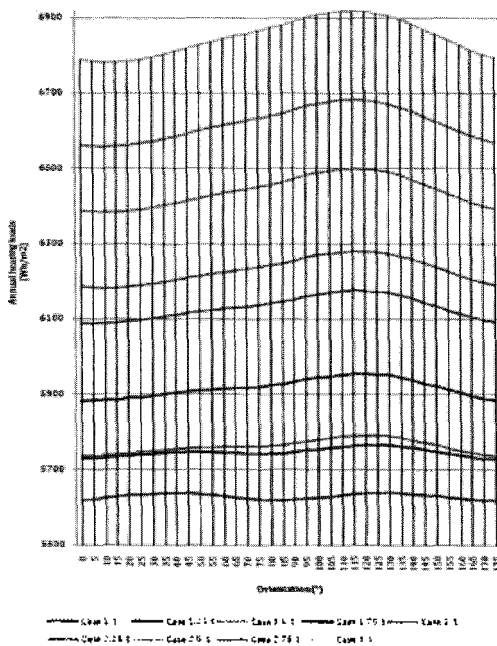





Fig. 5. 단위면적당 연간 난방부하.

4.3 냉난방 부하 분석 및 에너지 최적 형태 도출

냉난방 부하의 데이터 분석 결과는 냉방부하, 난방부하의 개별적 분석결과와는 다른 양상을 나타낸다. 0°에서 180° 사이의 모든 방위각에서 평면장단변비가 증가함에 따라서 냉방부하는 감소하고 난방부하는 증가하는 결과가 도출되었지만, 이와 다르게 냉난방 부하를 함께 분석할 경우 각 방위별로 최소의 에너지 부하를 나타내는 평면 장단변비가 달라짐을 알 수 있다.

Fig. 7은 평면 장단변비 유형별 연간 면적당 에너지 부하를 나타낸다. 이때 에너지 부하는 0°에서 180°까지 각 방위별 냉난방 부하의 평균을 구한 값이다. 에너지 부하는 평면비 3:1 > 2.75:1 > 2.5:1 > 2.25:1 > 2:1 > 1.25:1 > 1.75:1 > 1.5:1 > 1:1의 순으로 증가하는

Table 7. 건물 방위각에 따른 최적 장단변비

방위각	최소 에너지부하 장단변비	
0°~10°, 160°~0°	Case 1.75:1	
15°~35°	Case 1.5:1	
40°~155°	Case 1:1	

것을 알 수 있다. 전반적으로 평면 장단변비가 커질수록 에너지 부하가 증가하여 에너지 효율이 낮아진다. 하지만 평면 장단변비 1.25:1은 1.75:1보다 더 큰 에너지 부하를 나타내며 상대적으로 에너지 효율이 낮은 형태임을 알 수 있다. 이는 1.25:1에서 난방부하가 비교적 높게 나타난 것에 대한 결과로 해석할 수 있다.

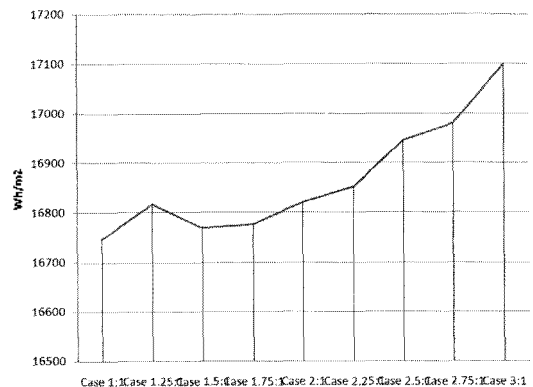


Fig. 6. 평면 장단변비에 따른 단위면적당 연간 냉난방부하.

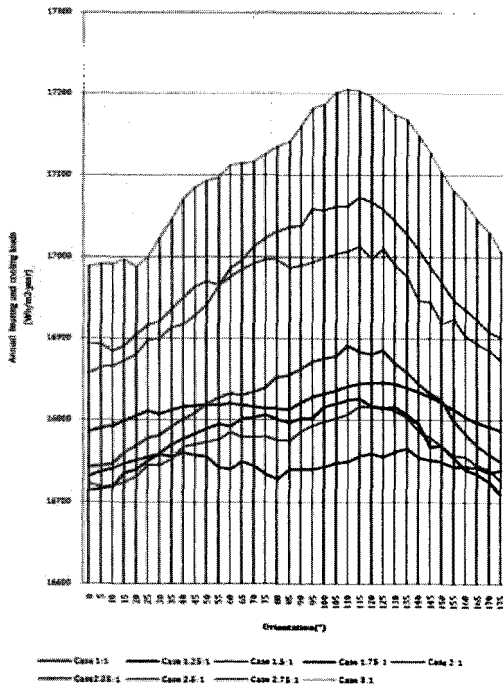


Fig. 7. 단위면적당 연간 냉난방부하.

분석된 결과를 바탕으로 에너지 최적 형태를 도출해 낼 수 있다. 냉난방 에너지 부하가 최소가 되는 값은 평면 장단변비가 1.75:1에서 175°(동향 5°)일 때 연간 냉난방 에너지 부하가 12711 Wh/m²로 최저를 기록한다. 따라서 이 형태가 실험 조건 내에서 가장 에너지 효율적인 형태라고 판단할 수 있다.

5. 결 론

본 논문을 통해 서울지역 초고층 사무용 건물의 최적 에너지 형태가 평면 장단변비 1.75:1일 때 건물의 장변 축이 정남향에서 동향으로 5° 기울어진 형태라는 것을 알 수 있다. 동일한 건물 장단변비에서 건물의 방위각을 변화시킴으로 최대 1.26%의 에너지를 줄일 수 있고, 동일한 방위각에서 평면의 장단변비를 최적화시킴으로 최대 2.65%의 에너지 저감을 기대할 수 있고 최적 방위각과 평면 장단변비를 모두 고려할 경우 2.88%의 냉난방 에너지 저감 효과를 기대할 수 있다.

또한 실험을 통해 에너지 최적형태를 위한 단일 평면장단변비, 방위각이 있는 것이 아니라 평면 장단변비에 따라 최적의 방위각과 방위각에 따른 최적의 평면장단변비가 달라짐을 알 수 있다. 따라서 건물 대지

상황에 따라 평면의 장단변비가 제약되는 경우 최적의 방위각을 찾고 방위각이 제약되는 경우 최적의 평면 장단변비를 찾는 것으로 보다 에너지 효율적 건물 디자인이 가능하게 됨을 알 수 있다.

단일 건물에서의 냉난방 에너지 2.88% 저감이라는 수치가 미약하게 느껴질 수도 있지만 초고층 사무용 건물 단일 시설에서의 연간 에너지 소비량과 건물의 전 생애 주기에서 발생하는 냉난방 에너지 소비량을 고려했을 때 연간 막대한 양의 에너지 저감이 가능하다. 또한 본 논문에서는 계획설계 단계 중 가장 선행되는 매스디자인 단계에서 에너지 효율에 영향을 미치는 요인만을 실험 변수로 설정하였지만, 계획설계 단계에서 매스디자인 다음 단계인 평면설계 및 입면설계 단계에서 향에 따른 공간 조닝과 차양 및 자연채광 유도 등의 에너지저감 기법 등을 디자인이 진행됨에 따라서 추가적으로 검토를 할 경우 더욱 큰 효과를 기대할 수 있다.

추후 연구를 통해 사각형 평면 형태 뿐 아니라 다양한 형태를 분석하여 각 형태별 에너지 효율을 분석하도록 하겠다. 또한 본 연구를 발전시켜 평면 및 입면 디자인 단계에서 에너지저감 기법을 활용하여 냉난방부하 뿐 아니라 조명부하의 저감방안에 대한 연구가 병행될 수 있도록 하겠다.

감사의 글

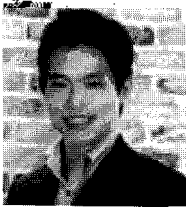
이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0029196). 또한 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. 권시형, "지속 가능한 건축을 위한 생태기후적 디자인에 관한 연구," 영남대학교 석사학위 논문, 1999.
2. 김원석, 김삼열, "사무소 건물 평면의 장단변비 변화에 따른 에너지 소비 패턴에 관한 연구," 대한설비공학회 2010 하계학술발표대회 논문집, 2010.
3. 문찬영, 최명석, 박상현, "BIM(Building Information Modeling)을 활용한 건물에너지 성능평가 적용사례 고찰," 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제29권, 제1호, pp. 679-700, 2009.
4. 에너지 관리공단, "건축물의 에너지절약 설계기준," 2010.
5. 이황, "ECOTECT를 활용한 친환경 건축설계 시뮬레이션," 문운당, 2009.
6. 임보람 김현수, 이성영, 김진욱, "현대 초고층 건축

- 물의 형태적 경향에 관한 연구.” 대한건축학회논문집, 제12권, 제12호, pp. 279-286, 2008.
7. 박대훈, 안은경, 강병근, “공동주택의 미기후 조절계획에 관한 연구,” 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제21권, 제2호, 2001.
 8. 조충수, “초고층 사무소 건축의 건물형태 구성 및 효율에 관한 연구,” 대한건축학회논문집, 제23권, 제6호, 2007.
 9. 최원기, 김현중, 서승직, “동일 채색의 건물 형상에 따른 에너지 소비량 패턴에 대한 분석 연구,” 한국태양에너지학회 논문집, 제27권, 제2호, 2007.
 10. “혁신도시 공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인”, 2010.
 11. Eddy krygiel and Bradley Nies, “BIM을 통한 성공적인 지속가능 디자인,” 시공문화사, 2010.
 12. ASHRAE, “90.1 User’s Manual,” ASHRAE, 2007.
 13. ASHRAE, “ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007(SI Edition),” ASHRAE, 2007.
 14. ASHRAE, “ANSI/ASHRAE Standard 140-2007,” ASHRAE, 2007.
 15. ASHRAE, “Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs,” ASHRAE, 2007.
 16. Drury B. Crawley, Jon W. Hand, Michael Kummert, and Brent T. Griffith, “Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs,” Building and Environment, Vol. 43, pp. 661-673, 2008.
 17. Salman Azhar, Justin Brown and Rizwan Farooqui, “BIM-based Sustainability Analysis: An Evaluation of Building Performance Analysis Software,” Building and Environment, 2009.
 18. Sumedha Kumar, “Interoperability between Building Information Models(BIM) and Energy Analysis Programs,” University of Southern California 석사논문, 2008.

류 한 수



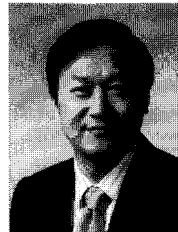
2008년 경북대학교 건축공학과 졸업
 2010년~현재 경북대학교 대학원 공간정보학과 석사과정
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), Building Energy Simulation, Design Automation, CAAD(Computer-aided Architectural Design)

추 승 연



1994년 경북대학교 건축공학과 공학사
 1998년 홍익대학교 일반대학원 건축학과 공학석사
 2004년 독일 뮌헨공대 건축학과 공학박사
 2005년~현재 경북대학교 건축·토목공학부 교수
 2006년~현재 한국주거학회 학술이사
 2010년~현재 빌딩스마트협회 운영이사
 2011년~현재 한국CAD/CAM 학회 편집이사
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), Building Energy Simulation, IFC, Augmented Reality, Design Automation, CAAD(Computer-aided Architectural Design)

김 인 한



1988년 서울대학교 건축학과 졸업
 1991년 미국 Carnegie-Mellon 대학 건축학 석사
 1994년 영국 Strathclyde 대학 건축학 박사
 1996년~현재 경희대학교 공과대학 건축학과 교수
 2002년~현재 한국CAD/CAM 학회 이사
 2004년~2008년 사단법인 STEP센터 회장, 지식경제부
 2008년~현재 빌딩스마트협회 수석 부회장
 2010년~현재 대한건축학회 이사
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), CAAD, 데이터모델링 및 통합 건설설계환경(STEP, IFC), 건축정보기술, Digital Design Media