한국지열에너지학회논문집
Korea Society of Geothermal Energy Engineers
Vol. 14, No. 1, pp. 30~35 (2018) https://doi.org/10.17664/ksgee.2018.14.1.030

초고층 건물 커미셔닝에 따른 에너지 절감 효과 예측

조 현 · 김효준* · 류성룡** · 조영흠*†
포스코건설 R&D센터, *영남대학교 건축공학과, **금오공과대학교 건축공학과

Prediction of Energy Saving Effects by Commissioning of High-Rise Building

Hyun Cho, Hyo-Jun Kim*, Seung-Ryong Ryu, and Young-Hum Cho*†**
Research & Engineering Division, R&D CENTER, POSCO E&C, Incheon 21985, Korea
**School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongbuk 83541, Korea*
***Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 39177, Korea*

Abstract

In this study, the energy commissioning was conducted for high-rise buildings(manual control). First of all, we conducted monitoring the energy use of buildings (electricity, heating, etc.), a commissioning improvement (automatic control) was proposed for each system. In addition, energy simulation was conducted to predict the effectiveness of the reform measures. As a result, terminal units control the greatest energy saving effect, If we applied all the improvements, we could save about 20% less than traditional energy usage, and it turned out that CO_2 emissions were reduced by about 19% when converted to CO_2.

Key words: Building energy(건물에너지), Automatic control(자동제어), Building equipment system (설비시스템), Commissioning(커미셔닝), Carbon emission(탄소배출량)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

초고층 건축물은 도시의 랜드마크로서 상징성을 가지고 있기 때문에, 최근까지 세계 각국에서 최고층 최고 높이의 건축물 건립이라는 목표 아래 지속적으로 높이 경쟁을 진행해 오고 있다.

지금까지 국내 초고층건물에서는 과대한 냉난방 비용이 발생하는 것으로 알려져 왔으며, 환기 부족으로 거주환경에 대한 문제점이 지속적으로 지적받고 있다. 이는 초고층 건물의 경우, 건물 외피로 인해 야기되는 냉난방 부하가 크고, 쾌적한 거주공간을 유지하기 위해 냉난방, 공조, 급탕 및 전기설비 등에서 에너지 소비량이 크게 요구되기 때문이다. 여름철 커튼월을 통한 외부 일사유입이 큰 반면, 고기밀 성능의 커튼월이 시공되고 자유롭게 열 수 있는 창면적이 작기 때문에 자연환기량이 부족하고 냉방에 대한 요구량이 크게 나타난다. 이는 거주자 입장에서 온열환경 측면 뿐 아니라, 빛환경, 공기환경 측면에서도 열악한 환경에서 거주하는 원인이 된다.

초고층 건물에서 냉난방 및 환기에 소요되는 에너지를 줄이기 위해서는 1차적으로 건물 외피를 통해

†Corrresponding author
Tel: +82-53-810-3081, Fax: +82-53-810-4265
E-mail: yhcho@ynu.ac.kr
접수일: 2018년 02월 09일
심사일: 1차:2018년 02월 21일, 2차:2018년 02월 27일
채택일: 2018년 02월 28일

손실되는 에너지를 줄이고, 다음으로 열원이나 분배 시스템, 터미널 유닛에서 건물 운영기간동안 손실되는 에너지를 줄여야 한다(Lim et al., 2012) [1].

또한, 건물 커미셔닝(Building Commissioning)은 건물의 설비시스템의 기존 운영 현황을 파악하고, 건물 에너지 효율 및 거주자의 쾌적성을 향상시키기 위하여 개보수 및 개선사항을 파악하는 과정이다(Kim et al., 2017) [2].

따라서 본 연구에서는 2014년에 준공된 초고층 건물(68F, 업무용+호텔)을 대상으로 수동 운전되고 있는 설비시스템의 커미셔닝(Commissioning)을 수행하였다.

건물 에너지 사용량(전기, 난방 등)에 대한 모니터링을 실시하였으며, 각 설비시스템에 대한 개선안(자동제어)을 제시하고, 개선안 별 에너지 절감 효과에 대하여 에너지 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 제시하였다.

1.2 기존 연구결과

초고층 건물에서의 설비시스템 개선을 통한 에너지 절감 및 커미셔닝 사례에 대하여 기존 문헌을 조사하였다.

Yoon et al.(2013) [3]은 다양한 창면적비와 창유리의 열 및 광학적 성능조건에서 업무용 건물의 내부발열이 건물의 에너지요구량에 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 연구결과 내부발열밀도가 20 W/m^2 미만인 건물의 경우, 창면적비가 증가할수록 건물의 에너지요구량 또한 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

Chae et al.(1997) [4]은 국내 초고층 건물에서의 부하특성을 파악하는 것을 목적으로 하여, 국내 초고층 건물(업무용)을 대상으로 초고층 건물의 부하특징인 외피부하가 총 부하의 약 50%를 점유한다고 제시하였다.

호텔 건물을 대상으로 빌딩 커미셔닝을 수행하여 건물 에너지 효율을 향상시킨 사례 연구로, Cho et al.(2011) [5]은 커미셔닝 전과 후의 제어방식을 통한 결과를 제시하였으며, VAV 유닛, 변풍량 공조기, AHU, 냉수 공급시스템의 세부 요소들에 대한 커미셔닝 사례를 제시하였다. 전체 HVAC시스템을 대상으로 1년간 커미셔닝을 실시한 결과 약 12%의 전기사용량 절감, 연간 14%의 증기사용량 절감 효과를 나타냈다.

Cho et al.(2010) [6]은 건물 커미셔닝의 하나인 Continuous Commissioning의 정의와 절차를 설명하고, 이를 실제 오피스 건물에 적용하여 설비시스템의 최적화에 따른 에너지 사용량을 분석 및 제시하였다. 그 결과 연간 전기 사용량은 약 22% 절감되었고, 연간 가스 소비량은 약 47% 감소되는 것으로 나타났다.

2. 건물현황

연구대상 건물은 인천에 위치한 지하 3층~지상 68층으로 구성된 초고층 업무시설로 연면적은 195,324m^{2}이며, 업무시설이 지상 3층~33층, 호텔이 36층~66층, 기계실이 67층~68층에 계획되어 있다. 건물 설비시스템은 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 대상 건물은 설비시스템의 자동제어가 가능하도록

Table 1. Building facility system

	Equipment	Number	Location
Heat source	Mid-Temp. water absorption refrigerator	5(544 RT)	B3
	Air-cooled type Inverter freezer	9(55 RT)	67F
		11(54.3 RT)	68F
	Cooling tower	5(1,454 RT)	Roof
	Heat exchanger	10	B3
		3	13F
		11	34F
Air conditioning	AHU	78	Each floor
	FCU	1267	
	VAV Unit	1227	

설계되어 있으나 현재 시설관리자가 수동으로 설비 시스템을 제어하고 있다.

열원으로는 공랭식 인버터 냉동기 20대와 흡수식 냉동기 5대, 냉각탑 5대와 열 교환기 24대를 사용하고 있다.

냉열원으로 사용되는 냉동기와 냉각탑, 열교환기에 의해 생성된 냉각수는 AHU와 FCU의 냉각코일에 공급된다. 냉각탑은 프리쿨링(Free cooling) 용으로 사용이 된다. 37~64층의 호텔 복도용 FCU와 34~68층의 복도용 FCU는 흡수식 냉동기와 열교환기를 2번 거친 냉각수가 공급된다.

온열원으로는 열교환기가 사용된다. 열교환기는 AHU와 FCU의 난방코일과 Fin tube에 온수를 공급한다. VFD가 설치된 AHU 78대, FCU 1261대를 공조 시스템으로 사용하며 VAV 유닛 1156대, CAV유닛 63대가 설치 되어있다. 6대의 AHU(외조기)가 건물 전체의 외기도입을 담당해 각 층의 공조실로 외기를 공급해준다. 사무용 층은 AHU를 통해 냉방을 하고 Convector를 통해 난방을 하며 호텔층은 FCU를 통해 냉난방을 한다.

2.1 건물 에너지 사용 현황

2015년 1월부터 2016년 10월까지 업무시설에서 사용되어진 에너지 사용량에 대하여 조사하였다. 월간 평균 전기 사용량은 1,042,275 kWh이며, 월간 평균 전기 요금은 174,840천원으로 나타났다. 중온수 사용량은 월간 평균 795,000 Mcal가 사용되어졌으며, 월간 평균 중온수 요금은 85,857천원으로 나타났다(Fig. 2, Fig. 3).

2.2 연간 에너지 사용량 에너지 시뮬레이션

대상건물의 에너지 사용량 예측을 위하여 건물에너지 해석이 가능한 Energy-Plus 프로그램을 활용하여 건물의 열원과 에너지흐름을 모사하고(Fig. 4), 이를 통해 건물의 상세한 에너지 소비량을 분석하였다. Table 2는 시뮬레이션 모델링 조건을 나타내었다.

3. 커미셔닝 개선안에 따른 건물 연간 에너지 절감량 분석

3.1 에너지 절·량 및 비용 분석

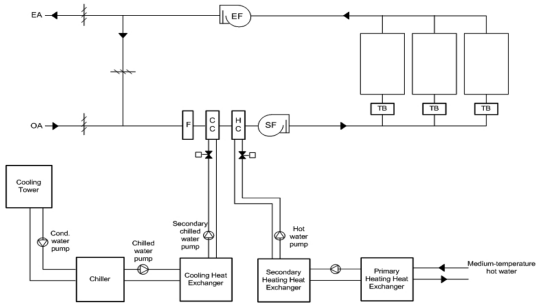

Fig. 1. Schematic diagram of HVAC system.

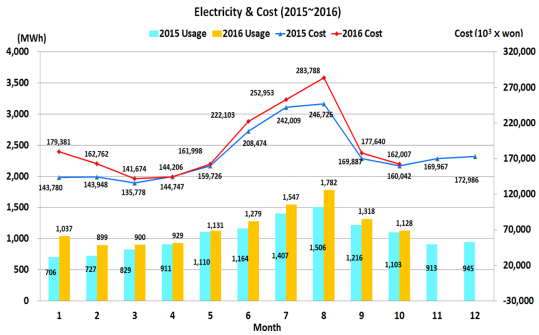

Fig. 2. Electricity & Cost(2015~2016).

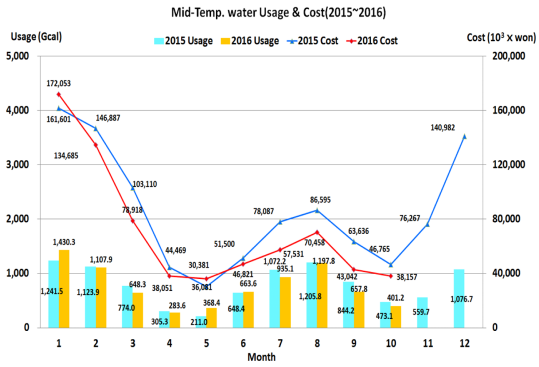

Fig. 3. Mid-temp. water usage & Cost(2015~2016).

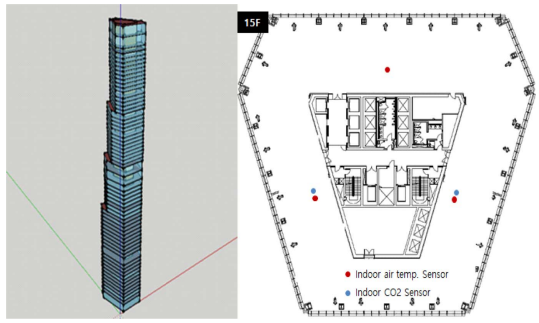

Fig. 4. Simulation modeling & Floor.

Table 2. Simulation Conditions

Classification		Content		
Envelope	Material	Low-E 10 mm	AIR 12 mm	Low-E 6 mm
	Conductivity	0.9 W/mK	-	0.9 W/mK
Floor	Material	T70 Plain concrete		Granite
	Conductivity	0.53 W/mK		0.06 W/mK
Ceiling	Material	T9.5 Gypsum board		Sound insulation material
	Conductivity	0.16 W/mK		0.06 W/mK

건물 커미셔닝은 현재의 제어 알고리즘을 파악하고 기존 운영 스케줄의 요소들을 측정하는 것으로 시작된다.

Table 3은 대상건물의 커미셔닝을 통한 주요한 HVAC 시스템 개선 사항들이다. Fig. 5는 2015년부터 2016년까지 건물의 연간 에너지소비량 현장조사 결과와 시뮬레이션을 통해 예측된 연간 에너지소비량을 비교하여 나타낸 것으로 약 28.9% 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 5월과 6월에는 실제 에너지 사용량 조사결과보다 시뮬레이션 결과치가 다른 달보다 높게 나타난 것은 건물 사용자의 입주 시점이 달라 에너지 사용량이 적게 나온 것으로 파악되었다.

현재 수동제어 되고 있는 설비시스템을 자동제어로 운영할 경우 건물의 연간 에너지 소비량을 예측한 결과 각 개선안 별 에너지 절감량은 최소 8%(냉동기 제어)에서 최대 60%(냉수 공급 온도 제어)까지 절감이 가능한 것으로 나타났으며, 터미널 유닛 제어 개선안이 최대 전기 에너지 절감(700,470 kWh)이 가능한 것으로 나타났다.

각 개선안을 모두 적용했을 경우 전기에너지는 1,739,289 kWh 절감이 가능한 것으로 분석되었으며, 연간 건물에서 사용되어지는 에너지 중 약 22~34%가 절감되는 것으로 예측되었다(Table 4).

에너지 절감에 따른 절감 비용에 가장 절감효과가 큰 방법은 터미널 유닛 제어안으로 약 1년간 116,978천원이 절감될 것으로 나타났으며, 각 개선안을 모두 적용시 전기에너지 절감 비용은 290,461천원, 중온수 비용은 64,161천원으로, 연간 총 354,622천원이 절감될 것으로 분석되었다.

3.2 탄소배출량 절감 분석

커미셔닝 대상 건물의 사무용 공간을 대상으로 약

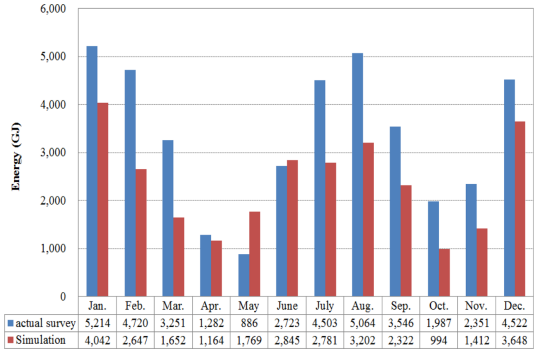

Fig. 5. Annual heating and cooling energy.

Table 3. Improvements of HVAC system control

System	Control
VAV Terminal unit	Minimum air flow control
Air Handling Unit	Supply temperature control
	Supply fan static pressure control
	Economizer control
Chilled water system	Supply temperature control
	Pump static pressure control
	Refrigerator control

1년 6개월간 건물 운영데이터를 수집하고, 운영 현황을 파악 분석하였으며(Fig. 6), 이를 통한 시스템 자동제어 개선 사항들을 제시하였다. 또한 커미셔닝 사항들을 바탕으로 에너지 절감량을 예측하였고, 기존의 제어방식에 의한 전기 및 중온수 사용량과 제안된 제어방식에 의한 에너지 소비량을 비교 분석하였다. 그 결과 연간 약 20%의 에너지 비용을 절감할 수 있는 것으로 확인되었다. 온실가스 배출량 산정 방법 및 에너지원별 배출계수는 IPCC 1996을 참고하여 산정하였다.

또한 대상 건물에서 냉난방에 사용되어지는 에너

Table 4. Savings by commissioning plans

Control	Energy			Cost
	Electricity (kWh)	Mid-Temp. water (Gcal)	Ratio (%)	Cost (thousand won)
Terminal unit	700,470		33	116,978
Supply temp.		1,254	23	31,429
Static pressure	206,013		27	34,404
Economizer		1,306	59	32,732
Cold water supply temp.	405,804		60	67,769
Cold water pump static pressure	112,372		32	18,766
Refrigerator	314,630		8	52,543
Sum	1,739,289	2,560	22~34	354,622

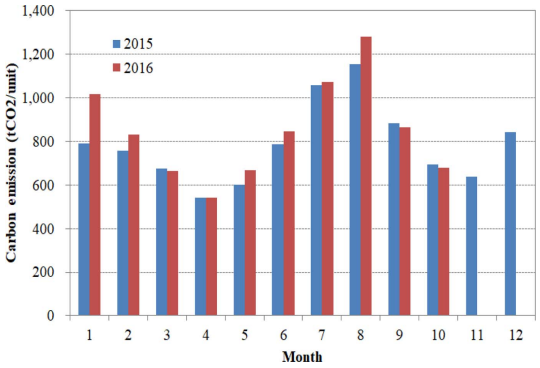

Fig. 6. Annual Carbon emissions.

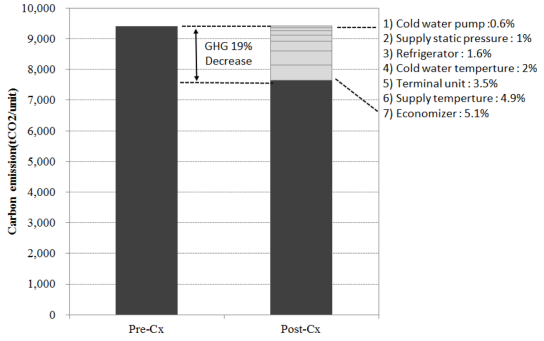

Fig. 7. Changes in Carbon emissions by commissioning plans.

지를 탄소배출량으로 환산하였다. 건물 커미셔닝을 통한 에너지 절감을 통하여 1) 냉수펌프제어(0.6%), 2) 공급팬 정압제어(1%), 3) 냉동기제어(1.6%), 4) 냉수온도제어(2%), 5) 터미널 유닛제어(3.5%), 6) 공급온도제어(4.9%), 7) 이코노마이저제어(5.1%)로 나타났으며, 이는 기존 제어방식보다 연간 약 19%의 탄소배출량이 감소되는 것으로 나타났다(Fig. 7).

4. 결 론

본 연구에서는 2014년에 준공된 초고층 건물을 대상으로 수동 운전되고 있는 설비시스템의 커미셔닝(에너지 사용량 모니터링 및 설비시스템의 운영 개선안 제시) 수행 후 개선안 별 예상 에너지 절감량을 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 제시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 개선안 별 에너지 절감량은 최소 8%(냉동기 제어)에서 최대 60%(냉수 공급온도 제어)까지 절감 가능한 것으로 나타났으며, 터미널 유닛제어 개선안이 전기에너지를 700,470 kWh 절감 가능한 것으로 나타났다.

2) 제시된 개선안을 모두 적용시 전기에너지는 1,739,289 kWh 절감이 가능한 것으로 예측되었으며, 연간 건물 에너지사용량의 약 22~34%가 절감되는 것으로 나타났다. 이를 비용으로 환산시 연간 총 3.5억원(전기에너지 2.9억원, 중온수 0.6억원)이 절감되는 것으로 나타났다.

3) 대상건물에서 냉난방에 사용되어지는 에너지를 커미셔닝을 통한 개선안을 적용시 에너지 절감량은 냉수펌프제어(0.6%), 공급팬 정압제어(1%), 냉동기제어(1.6%), 냉수온도제어(2%), 터미널 유닛제어(3.5), 공급온도제어(4.9%), 이코노마이저제어(5.1%)로 나타났으며, 이는 기존 제어방식보다 연간 약 19%의 탄소배출량이 감소되는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(17 CTAP-C115251-02)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Lim Jae-Han and Kim Kwang-Woo, “Design Technology for Energy Saving in Super-tall Complex Building”, Architecture of the the Architectural Institute of Korea, 56(04), (2012), pp.35-45.
2. Kim Hyo-Jun, Cho Young-Hum, Ryu Seong-Ryong, and Cho Hyun, “Proposal of Energy System Improvements through Building Commissioning Process of High-rise Building”, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 11(2), (2017), pp.100-107.
3. Yoon, Yong-Sang, Choi Won-Ki, and Sim Myoung-Hee, “A Study on the Characteristics of the Energy Performance in Curtain Wall Building - Focused on the Glazing Type, Window to Wall Ratio and Internal Gains”, Journal of the Architectural Institute of Korea, 29(7), (2013), pp.255-264.
4. Chae Young-Tae, Huh Jung-Ho, and Sohn Jang-Yeul, “Building Load Characteristics and Energy Conservation Strategies in High-rise Office Building”, Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, 11, (1998), pp.590-595.
5. Cho Young-Hum and Ahn Dong-Joon, “A Study on the Improving Energy Efficiency through Retro-Commissioning” Journal of the Architectural Institute of Korea, 27(9), (2011), pp.301-308.
6. Cho Young-Hum, “Continuous Commissioning Process and Application”, Journal of the Korean Solar Energy Society, 30(5), (2010), pp.77-84.