



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

존의 열적 특성을 고려한
Energy Balancing 시스템을 위한
조닝 방법 및 경제성 분석

A Zoning Method for Energy Balancing System
Considering Thermal Characteristics of Building
Zone and Economic Feasibility

2016 년 2월

서울대학교 대학원

건축학과

김민기

존의 열적 특성을 고려한
Energy Balancing 시스템을 위한
조닝 방법 및 경제성 분석

A Zoning Method for Energy Balancing System
Considering Thermal Characteristics of Building
Zone and Economic Feasibility

지도교수 여 명 석

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2016 년 2 월

서울대학교 대학원

건축학과

김 민 기

김민기의 공학석사 학위논문을 인준함

2016 년 2 월

위원장	인
부위원장	인
위원	인

국문 초록

건물이 고층화 및 대형화되면서 단일 건물 내에서 냉방수요와 난방수요가 동시에 나타나는 현상이 발생한다. 이러한 복합부하가 발생하는 건축물에 대응하기 위해 에너지를 효과적으로 사용하여 냉방 및 난방에 사용하는 에너지를 저감하는 시스템이 지속적으로 개발되고 있다. Energy Balancing 시스템은 이러한 시스템 중 하나이며, 냉방 수요와 난방 수요에 동시에 대응 가능한 시스템이다.

Energy Balancing 시스템을 이용하여 동시 냉·난방을 수행할 수 있다. 냉방수요가 발생하는 공간의 온열을 흡수하여 냉방을 수행하고, 난방수요가 발생하는 공간에 흡수한 열을 공급하여 난방을 수행한다. 이 과정을 실현시키기 위해 냉매순환 사이클을 이용한다. 사이클의 응축 과정을 통해 난방에너지를 공급하고, 증발 과정을 통해 냉방에너지를 공급한다.

그러나 Energy Balancing 시스템은 냉·난방수요가 모두 존재하여야 가동된다. 이러한 열 생산 특성상 대상 공간에 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열의 비율을 높이기 위해서는 냉방수요와 난방수요가 비슷한 크기로 비슷한 시간에 발생하여야한다.

그러므로 본 연구에서는 조닝 과정을 통해 Energy Balancing 시스템이 효과적으로 가동되는 존의 조건을 도출하고, 존 간의 조합을 통해 시스템이 가동되는 범위를 설정하는 연구를 수행할 것이다. 존에서 발생하는 부하의 특성을 분석하고, 부하의 발생량 및 발생시간에 따라 유형을 구분하여 각 유형별로 대표부하를 도출하는 방법을 제시할 것이다. 그리고 최적화 방법을 이용해 도출한 대표 부하를 조합하여 Energy Balancing 시스템이 효과적으로 가동되는 조건을 찾고자 한다. 마지막으로 모델 건물을 이용하여 제시한 방법의 효용을 검증하기 위해 경제성 분석을 수행

한다. 본 연구 결과에서 제시된 Energy Balancing 시스템의 열적 특성을 반영한 존의 유형별 분류 방법, 분류된 대표 부하의 조합 방법, 조합을 이용한 조닝 방법은 Energy Balancing 시스템이 경제적으로 운용되는데 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Energy Balancing 시스템은 건물 내부에서 발생하는 열의 교환을 통해 냉방 수요와 난방 수요를 동시에 충족하는 시스템이다. 시스템의 가동을 위해서는 냉·난방부하가 모두 필요로 하므로 시스템의 실제 적용을 위해서는 냉·난방부하에 대한 고려가 필요하다.

(2) 건물 내 각 존의 열적 특성을 고려하여, Energy Balancing 시스템을 가동하는 존과 보조열원만을 가동하는 존으로 분류하는 것을 목표로 한다. 존에서 발생하는 부하는 외피부하와 내부부하로 구분되는데, 각 부하의 발생량과 발생시간에 따라서 존의 유형을 분류할 수 있다. 존의 부하 발생량의 크기와 부하의 발생 주기에 따라 네 가지의 분류 기준을 설정하였고, 이를 바탕으로 열적 특성에 따라 다섯 종류의 연간부하를 도출하였다. 대표 연간부하는 대량의 난방 부하가 발생하는 존, 대량의 냉방부하가 발생하는 존, 내부부하 중심의 외기 영향을 일부 받는 존, 외피부하 중심의 실내 부하 영향을 일부 받는 존, 외피 부하와 실내부하 모두 적게 발생하는 존의 다섯 종류로 구분할 수 있다.

(3) Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량 계산의 단순화를 위

해, 연간 대표부하를 보정하였다. 부하의 변동을 기준으로 1년을 일
곱 기간으로 분류하였다. 각 기간에 발생하는 냉방부하 합계와 난방
부하의 합계를 이용하면 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열
량을 계산할 수 있다. 이 경우, 냉방부하의 합계와 난방부하의 합계
중 더 작은 값이 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 크
기가 된다. 따라서 냉방부하의 합계와 난방부하의 합계의 차이가 적
을수록 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높아
진다. 이 원리를 이용하여 각 기간의 대표부하를 조합하여 냉방부하
와 난방부하의 차가 0에 근접하는 경우를 구한다. 최적화를 이용해
각 기간별로 도출한 존의 조합 중 여러 기간을 포괄할 수 있는 조합
을 구하였다. 이 조합을 실제 건물에 적용하여 조닝을 수행하였다.

(4) 조합이 경제적인 효과가 있는지 검증하기 위해 경제성 분석을 하였
다. TRNSYS를 이용하여 다양한 용도의 존이 분포된 주상복합 건물
을 모델링하였다. 조닝을 적용하여 조합에 해당하는 존만 Energy
Balancing 시스템을 가동하는 경우와, 조닝을 적용하지 않아 건물 전
체에 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우로 나누어서 경제성
분석을 수행하였다. 그 결과 초기비용과 운영비 측면 모두 Energy
Balancing 시스템의 조닝을 적용한 경우가 경제적인 이익이 있음을
확인 하였다. 이를 통해 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝의 효
과를 있음을 확인하였다.

주요어 : Energy Balancing 시스템, 조닝, 냉방부하, 난방부하, 존 조합,
경제성 분석

학 번 : 2014-20511

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 범위 및 방법	5
제 2 장 Energy Balancing 시스템과 조닝에 관한 예비적 고찰 ...	8
2.1 개요	8
2.2 Energy Balancing 시스템의 원리 및 열적 특성	9
2.2.1 Energy Balancing 시스템의 원리	9
2.2.2 Energy Balancing 시스템의 열적 특성	14
2.3 건물 부하패턴 도출	16
2.4 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 계산 방법	21
2.5 소결	26
제 3 장 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법	28
3.1 개요	28
3.2 Energy Balancing 시스템의 열 순환 프로세스	30
3.3 존의 열적 특성에 따른 유형 구분.....	32
3.3.1 냉·난방부하 요소에 따른 존 구분 기준 제시	32
3.3.2 존에서 발생하는 부하 구성요소	34
3.3.3 존에서 발생하는 부하에 따른 유형 분류	39
3.4 부하 유형 별 대표부하 선정	43
3.4.1 존 유형 별 대표부하 설정	43

3.4.2 대표부하의 부하특성에 따른 기간구분 및 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 도출방법	46
3.5 대표부하의 조합을 통한 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열 량 도출.....	49
3.5.1 부하 조합의 수식화	49
3.5.2 최적화를 이용한 변수 도출	50
3.6 클러스터링 기법을 이용한 존 부하의 유형별 분류	52
3.7 소결	53
제 4 장 Energy Balancing 시스템을 위한 최적 조닝 방법의 적용 및 검증	56
4.1 개요	56
4.2 시뮬레이션 건물의 제원 및 공간구획	57
4.3 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법의 적용	68
4.3.1 대표부하 도출	68
4.3.2 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 최적화.....	72
4.4 Life cycle cost (LCC) 분석을 이용한 조닝 방법의 검증	77
4.5 소결	83
제 5 장 결 론	85

표 목차

〈표 2.1〉 2장 연구순서·····	9
〈표 2.2〉 부하 계산 방법론 ·····	16
〈표 2.3〉 Energy Balancing 시스템의 열량 계산 프로세스 ·····	21
〈표 3.1〉 3장 연구순서 ·····	29
〈표 3.2〉 공조부하의 구성·····	36
〈표 3.3〉 난방부하의 요소 및 계산식·····	37
〈표 3.4〉 냉방부하의 요소 및 계산식·····	38
〈표 3.5〉 존의 부하 발생량 및 발생시간에 따른 유형 분류·····	42
〈표 3.6〉 외주부와 내주부의 존 유형별 특징 ·····	44
〈표 3.7〉 존 유형별 열적 특성에 따른 대표 연간 부하·····	46
〈표 3.8〉 존 부하 변화에 따른 기간 분류·····	47
〈표 3.9〉 존 부하 변화에 따른 기간 분류·····	50
〈표 3.10〉 수식 (3)의 변수 대입 방법 (예시) ·····	50
〈표 4.1〉 4장 연구순서 ·····	57
〈표 4.2〉 외주부 면적 산정을 위한 조닝 절차·····	58
〈표 4.3〉 활동에 따른 인체 발열량 (ISO 7730)·····	62
〈표 4.4〉 인체에서의 발생열량 [W/인] (일부) ·····	63
〈표 4.5〉 실 용도별 인체 발열부하 기준 및 재실 스케줄·····	64
〈표 4.6〉 유효 바닥면적당 기기부하 ·····	65
〈표 4.7〉 실의 단위면적당 조명소비전력 ·····	65
〈표 4.8〉 건물 용도별 실의 개수·····	67
〈표 4.9〉 존 부하 변화에 따른 기간 분류·····	73
〈표 4.10〉 기간별 · 존별 냉방부하 및 난방부하의 합계 (MJ) ·····	74

<표 4.11> 기간 별 최적 조합 순위 (a, b, c, d, e)	75
<표 4.12> 대표부하에 속하는 존.....	76
<표 4.13> 건물 유형별 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존 개수	78
<표 4.14> 시스템 적용 기기 제원	79
<표 4.15> 조닝 수행에 따른 기기 소요 대수 (대)	79
<표 4.16> 조닝 수행 여부에 따른 초기투자비와 연간 운전비.....	80
<표 4.17> 조닝 수행 여부에 따른 10년간의 누계액 및 차액	81

그림 목차

[그림 1.1] 동시 냉·난방의 모식도	2
[그림 1.2] 기존 시스템의 에너지 공급.....	3
[그림 1.3] Energy Balancing 시스템의 에너지 공급.....	3
[그림 1.4] 연구흐름도	7
[그림 2.1] 기존 시스템의 에너지 공급	11
[그림 2.2] Energy Balancing 시스템의 에너지 공급	12
[그림 2.3] 난방부하만 존재하는 경우(겨울철)의 에너지 공급	12
[그림 2.4] 냉방부하의 비중이 큰 경우(여름철)의 에너지 공급	12
[그림 2.5] 냉방부하만 존재하는 경우(여름철)의 에너지 공급	13
[그림 2.6] SMART Energy Balancing의 기본 개념도	13
[그림 2.7] Energy Balancing 시스템의 열 흐름 프로세스	14
[그림 2.8] 시스템 별 건물 연간 에너지 생산량	19
[그림 2.9] p-h 선도	24
[그림 3.1] Energy Balancing 시스템의 열 흐름 프로세스	31
[그림 3.2] Energy Balancing 과정 중 저장된 에너지의 사용	33
[그림 3.3] Energy Balancing 과정 중 저장된 에너지의 누적	33
[그림 3.4] 부하 요소를 이용한 존 분류 기준	40
[그림 3.5] 존의 부하 발생량 및 발생시간에 따른 유형 분류	41
[그림 3.6] 존별 열적 특성에 따른 대표 연간 부하.....	45
[그림 4.1] 세대 간 벽 상세도	59
[그림 4.2] 모델 건물의 평면도.....	60
[그림 4.3] 건물 존 별 용도 설정.....	66
[그림 4.4] 내부부하를 제거한 Interior zone 24의 연간 부하 및 보정값	68

[그림 4.5] Interior zone 23 (데이터실)의 연간부하 및 보정 값	69
[그림 4.6] Perimeter zone 11의 연간부하 및 보정 값	70
[그림 4.7] Perimeter zone 11의 하루 평균 부하에 대한 연간부하 및 보정 값	71
[그림 4.8] 존 별 열적 특성에 따른 대표 연간부하.....	72
[그림 4.9] 조닝 수행 여부에 따른 10년간의 누계액	81

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

건물이 대형화되고 기밀성이 강화되면서 건물 에너지 소비 경향에도 변화가 나타난다. 건물의 대형화로 인해 건물의 평면 내에서도 외기의 영향을 받는 부분과 그렇지 않은 부분이 구분된다. 이러한 대형화된 건물은 건물의 향에 따라 일사의 영향을 받는 시간이 상이하고, 공간의 특성에 따라 영향을 받는 부하요소가 달라진다. 예를 들어, 겨울에는 외기의 영향을 받아 난방이 필요한 공간이 존재하는 동시에 건물 내부에는 인체, 기기, 조명으로 인한 영향을 받아 냉방이 필요한 공간이 동시에 발생할 수 있다. 그리고 실의 용도에 따라 일 년 내내 난방 또는 냉방이 지속적으로 필요한 공간이 존재한다.

또한 시공기술이 발달함에 따라서 건물은 점차 기밀성이 강화되고 건물의 열적 구획도 분명해 진다. 기존의 기밀성이 높지 않은 건물은 건물 내에서 생산한 열을 효과적으로 저장하지 못하기 때문에 건물의 연간 에너지 소비량을 보았을 때, 냉방에너지에 비해 난방에너지의 수요가 많이 발생한다. 한편 최근의 건설된 건물은 기밀성이 증가하고 열적 구획이 명확한 건물은 상대적으로 난방에너지의 수요가 감소한다. 이와 같은 이유로 인해, 연간 냉방에너지와 난방에너지의 상대적 격차가 감소하는 경향을 보인다.

위와 같은 복합부하가 발생하는 건축물에서 에너지를 효과적으로 사용하여 냉방 및 난방에 사용하는 에너지를 저감하는 시스템이 지속적으로 개발되고 있으며, 효과에 대한 연구도 수행중이다. Sakar et al.¹⁾ 은 건물

1) Sakar J. et al. "Simulation of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications". International Journal of

또는 지역 단위의 냉방 및 난방을 위해 히트펌프를 이용한 4가지 운전 방법과 수요 제어에 대한 연구를 하였다. Paul et al.²⁾ 은 Simultaneous Heating and Cooling 의 개념을 정립하고 히트펌프를 이용한 동시 냉난방 시스템을 구축하여 시뮬레이션과 비교 연구를 하였다.

Energy Balancing 시스템은 위에서 서술한 바와 같은 상황의 건축물 내에서 냉방 수요와 난방 수요가 동시에 발생하는 경우에 에너지의 효과적인 운용을 통해 에너지를 저감하는 대표적인 시스템이다. 기존 시스템은 동시 냉·난방 수요가 동시에 발생하는 경우 [그림 1.2]와 같이 각각의 Plant를 설계하여 수요에 대응하였다. 즉, 외부의 열에너지를 Plant를 이용해 도입하여 난방을 하거나 내부로부터 발생하는 열에너지를 Plant를 이용하여 배출하는 과정이 필요하고, 각각의 과정에 대해서 Plant의 동력을 사용하여 에너지를 이동시킨다. 반면, Energy Balancing 시스템은 냉

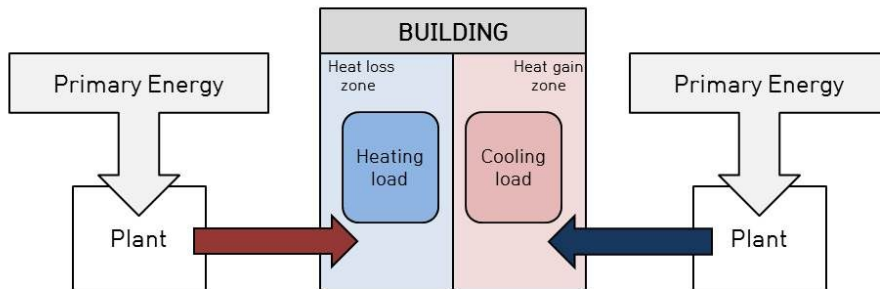


[그림 1.1] 동시 냉난방 건물의 모식도

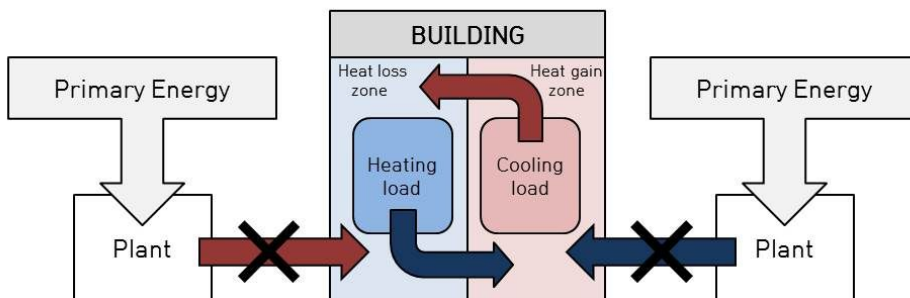
Refrigeration, 2006, pp. 735-43.

- 2) Paul Byrne, et al. “Experimental study of an air-source heat pump for simultaneous heating and cooling - Part 1: Basic concepts and performance verification” . Applied Energy 88, 2011, pp.1841-1847.

방수요가 발생하는 공간에서 발생한 온열을 흡수하여 난방수요가 발생하는 공간으로 공급하여, 냉방 수요가 발생하는 공간은 열이 흡수되면서 냉방이 되고 동시에 난방 수요가 발생하는 공간은 열을 공급받아 난방이 된다. 즉, 운송동력을 제외하고, 부하들 간의 교환만으로 외부로부터의 열에너지 공급 또는 배출 없이 냉방과 난방을 동시에 공급할 수 있다. [그림 1.3]과 같이 난방 수요와 냉방 수요가 동시에 발생하는 건물에서 외부의 열 공급 없이 부하만의 교환으로 에너지를 공급할 수 있기 때문에 전체 소비 에너지를 저감할 수 있다.



[그림 1.2] 기존 시스템의 에너지 공급



[그림 1.3] Energy Balancing 시스템의 에너지 공급

그러나 실제 건물의 냉방 및 난방 수요는 항상 동시에 발생하는 것이 아니다. 난방 또는 냉방만이 지속적으로 발생하는 공간이 존재하거나 난방과 냉방의 발생량의 편차가 크면 Energy Balancing 시스템의 열 생산 효율이 떨어질 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 건물의 열적 특성을 분석하여 Energy Balancing 시스템이 효율적으로 운전될 수 있는 방법을 도출할 것이다. 존 별로 건물의 열적인 특성을 분석하여 Energy Balancing 시스템의 효율이 높은 존의 조합을 찾는 것을 목표로 한다. Energy Balancing 시스템은 냉매 순환 사이클을 이용하여 냉방과 난방에너지를 동시에 생산하며 에너지의 생산량은 난방부하와 냉방부하의 크기와 발생시간에 따라 달라진다. 그러므로 부하의 크기와 발생시간에 대한 고려를 해야 한다. 존에서 발생하는 부하의 크기와 발생시간에 영향을 미치는 요소를 분석하여 존 별 대표 부하를 도출하고 대표부하의 조합을 통해 Energy Balancing 시스템이 효율적으로 운전되는 존의 조합을 찾는다. 도출한 존의 조합이 효율적인지 여부를 판단하는 검증은 수행하여 조닝 방법의 유효성을 확인한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 존의 열적 특성을 고려하여 Energy Balancing 시스템이 에너지를 효과적으로 생산할 수 있는 조닝 방법을 도출하고 이를 검증하고자 한다.

존의 열적인 특성에 대한 분석을 수행한다. 존에서 발생하는 냉방부하와 난방부하 요소를 확인하고, 건물 내에서 존의 위치와 존의 용도에 따른 재실패턴을 이용하여 어떠한 특성이 있는지 분석한다. 분석된 열적인 특성을 바탕으로 존을 유형별로 분류한다. 각 유형은 냉방부하와 난방부하의 발생 시간과 발생량에 따라 구분된다. 부하 발생시간은 곧 부하 발생 빈도를 의미하며, 외피부하와 내부부하의 절대량 및 부하 간의 상대적인 크기에 의해 결정될 것이다. 발생량은 존의 사용 조건에 따라 달라질 것이며, 이것은 내부부하의 밀도 및 사용 패턴에 따라 차이가 발생할 것을 암시한다.

부하 유형에 따라 분류된 존의 대표부하를 선정한다. 그리고 대표부하를 이용하여 존을 조합한다. 존의 조합은 Energy Balancing 시스템의 효율적 운전을 기준으로 조합한다. 부하 계산을 단순화하기 위해 대표부하의 연간 데이터를 보정하여 단순화 하고, 부하 변동에 따라 1년을 여러 기간으로 분리한다.

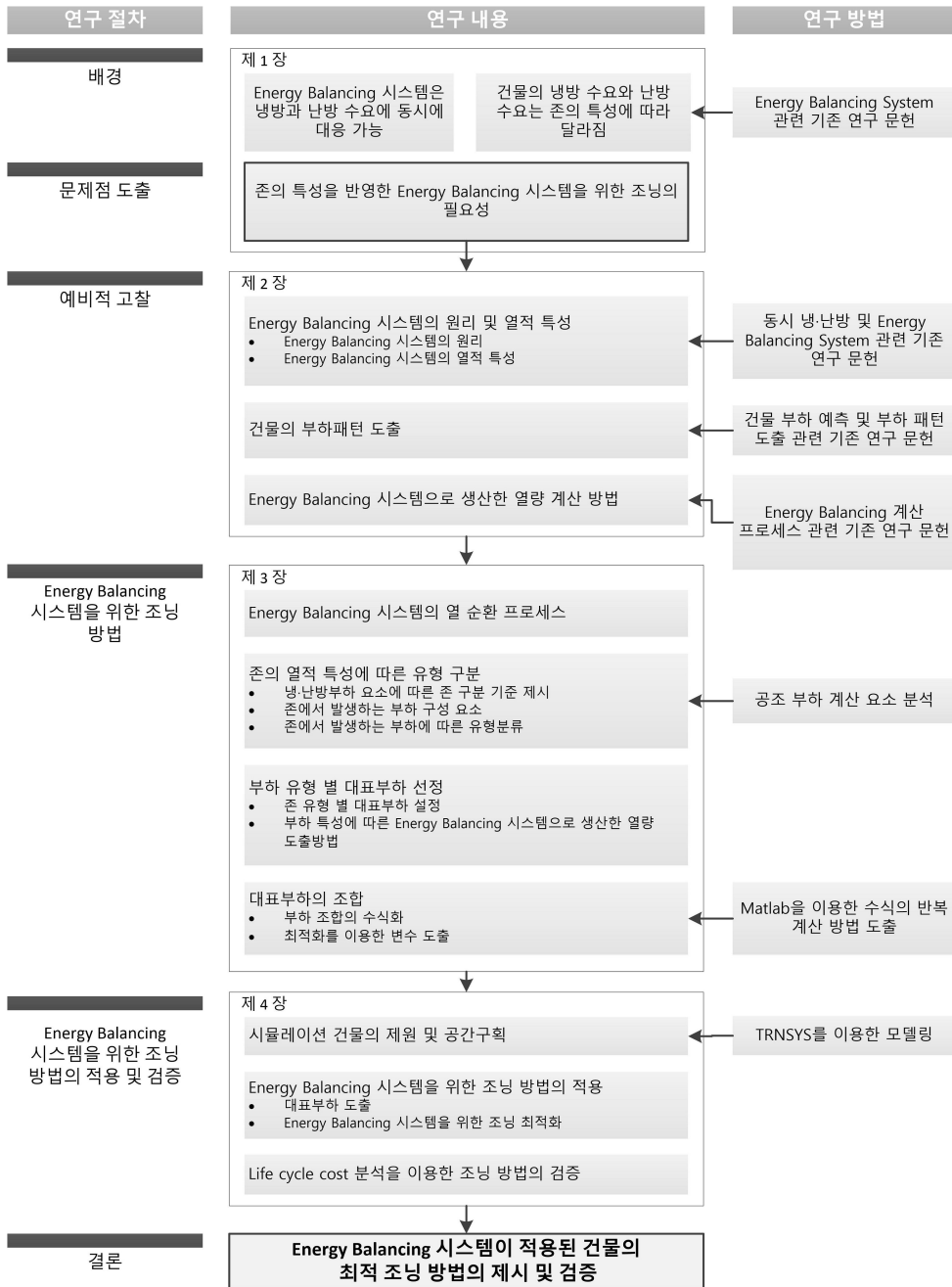
각 기간 별로 대표부하의 조합을 통해 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높은 조합의 경우를 계산한다. 부하의 조합을 수식으로 만들고, 이 수식의 반복 계산을 통해 최적 변수 값을 도출한다. 도출한 최적 변수 값을 이용하여 조닝을 수행한다.

마지막으로 도출한 존 조합의 효과를 검증하기 위하여 경제성 분석을 수행한다. TRNSYS를 이용하여 모델 건물을 설계하였다. 존 별 부하에 따른 조합을 구하는 것이 목적이므로 다양한 형태의 부하가 나타날 수

있게 설정하였다. 외주부와 내주부를 구분하는 한편, 각 부분에 다양한 용도의 실을 배치하여 다양한 유형의 존이 도출되게 하였다.

조닝 방법을 이용하여 일부 존만 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우와 조닝 방법을 적용하지 않아 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우를 비교하여 경제성이 나타나는지 여부를 확인할 것이다.

위와 같은 연구 범위와 방법에 대한 진행을 아래의 연구 흐름도 [그림 1.4]로 나타내었다.



[그림 1.4] 연구흐름도

제 2 장 Energy Balancing 시스템과 조닝에 관한 예비적 고찰

2.1 개요

Energy Balancing 시스템은 건물의 복합부하가 발생할 때, 이를 제거하기 위하여 단일의 열원기기와 이를 보완하는 축열조를 결합하는 시스템이다.³⁾ 본 장에서는 Energy Balancing 시스템의 원리를 고찰하는 한편 시스템을 실제 건물에 적용할 때의 에너지 소비 및 생산에 관한 계산 프로세스에 대한 내용을 검토하고자 한다.

그리고 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝을 위해 건물의 대표부하를 도출하는 방법이 필요하므로 건물의 부하를 구성하는 요소를 분석하여 부하를 예측하는 방법에 대한 선행연구를 조사할 것이다.

Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 계산을 위해 Energy Balancing 시스템의 계산 프로세스에 대한 예비적 고찰을 수행할 것이다.

3) 이승재. “복합부하가 발생하는 건물을 위한 축열식 히트펌프 시스템 구성 및 제어방안”. 서울대학교 대학원 공학석사학위논문, 2013.

〈표 2.1〉 2장 연구순서

〈순 서〉	〈내 용〉	
2.2	Energy Balancing 시스템의 원리 및 Energy Balancing 프로세스	
	2.2.1	Energy Balancing 시스템의 원리
	2.2.2	Energy Balancing 시스템의 열적 특성
2.3	건물 부하 패턴 도출	
2.4	Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 계산 방법	

2.2 Energy Balancing 시스템의 원리 및 열적 특성

2.2.1 Energy Balancing 시스템의 원리

Energy Balancing 시스템은 Balanced Heat Recovery 시스템을 기반으로 개발되었다.⁴⁾ Balanced Heat Recovery 시스템은 ASHRAE에서 제시하는 히트펌프를 응용한 시스템으로 외부의 열 공급 전에 내부에서 발생하는 열을 이용하여 부하에 대응하는 개념이다.⁵⁾

Balanced heat recovery 시스템이 이상적으로 작동되는 경우, 건물에서는 건물 내에서 요구되는 에너지만큼을 회수된다. 이 경우 건물은 추가적인 에너지가 필요하지 않다. 그러나 건물의 온도가 급격히 감소하거나

4) Shin, et al. “A study on an Energy Balancing system and control strategy”. In: Proceedings of the second international conference on building energy and environment, 2012.

5) ASHRAE. “ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment”. Chapter 9. Applied Heat Pump and Heat Recovery Systems, 2012, pp.9.18-9.21.

내부 열 획득이 충분하지 않은 경우, 건물에서 발생하는 잉여 열은 저장되거나 건물 밖으로 배출된다. 이 경우 외부 열원 혹은 미리 저장된 에너지를 통해 열을 공급받는다. 그리고 다시 내부 열 획득이 충분하면 자동적으로 외부 열 획득을 감소시켜 공간의 온도를 최적의 상태로 만든다. 이 개념은 히트펌프 시스템을 통해 실현시킬 수 있으며, 이 개념을 통해 에너지 절약과 동시에 열적인 쾌적을 도모할 수 있다.⁶⁾

이러한 경우와 같이 복합부하가 발생하는 건축물에서 Balanced Heat Recovery의 개념과 같이 에너지를 효과적으로 사용하여 냉방 및 난방에 사용하는 에너지를 저감하는 시스템이 지속적으로 개발되고 있으며, 그 효과에 대한 연구도 수행중이다. Sakar et al.⁷⁾ 은 건물 또는 지역 단위의 냉방 및 난방을 위해 히트펌프를 이용한 4가지 운전 방법과 수요 제어에 대한 연구를 하였다. Paul et al.⁸⁾ 은 Simultaneous Heating and Cooling 의 개념을 정립하고 히트펌프를 이용한 동시 냉난방 시스템을 구축하여 시뮬레이션과 비교 연구를 하였다.

Energy Balancing의 개념은 Balanced Heat Recovery 와 마찬가지로 건물 내부에서 부하의 교환을 통해 외부 열 공급 없이 냉방 수요와 난방수요를 동시에 충족한다. 냉방수요가 발생하는 곳의 온열을 난방수요가 발생하는 곳으로 이동시켜 공급하면 난방이 된다. 동시에 냉방수요가 발생하는 공간은 열을 빼기는 과정을 통해 냉방이 충족된다. 열을 빼기는 과정이 냉방 에너지 공급의 개념과 동일하므로 열의 이동과정을 통해 동시

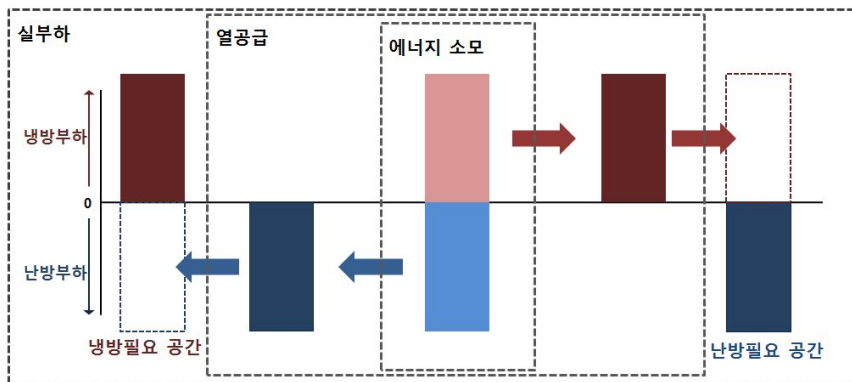
6) *Ibid.*

7) Sakar J. et al. "Simulation of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications". International Journal of Refrigeration, 2006, pp. 735-43.

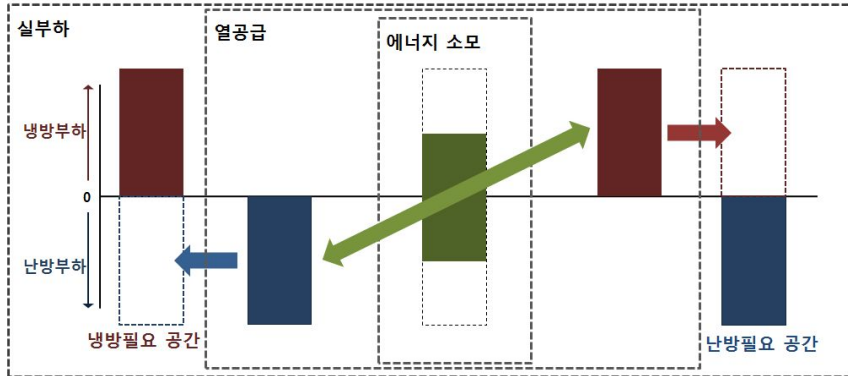
8) Paul Byrne, et al. "Experimental study of an air-source heat pump for simultaneous heating and cooling - Part 1: Basic concepts and performance verification". Applied Energy 88, 2011, pp.1841-1847.

에 냉·난방에너지를 필요한 곳에 공급하는 개념이 된다. 기존 시스템과 비교하여 Energy Balancing 시스템의 에너지 공급 양상을 나타내면 [그림 2.1]과 [그림 2.2]와 같다.

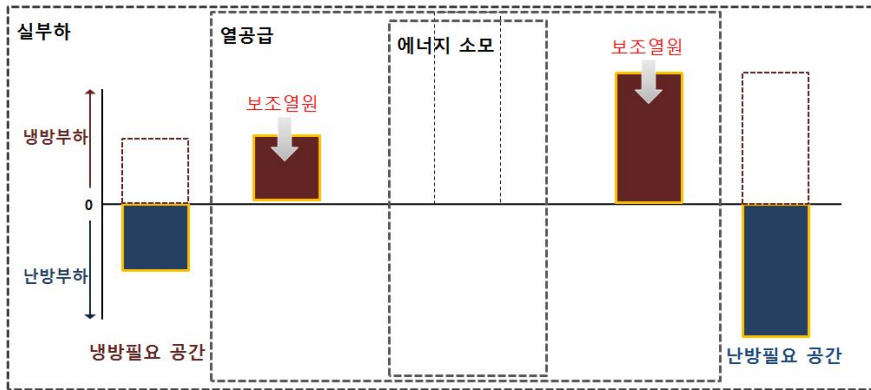
Energy Balancing 시스템은 Heat Recovery 개념과 더불어 건물에 실제 적용하는데 있어 보다 실용적으로 개선이 된 시스템이다. 실제 건물에서는 냉방부하와 난방부하가 일정한 크기로 발생하지 않는다. 계절에 따라 난방부하 또는 냉방부하만 지속적으로 발생하는 경우도 있고, 비슷하게 발생하더라도 발생시간의 편차가 크게 나타나는 경우가 있다. 이러한 경우에 대비하여 Energy Balancing 시스템은 축열조를 이용해 에너지를 저장한다. 에너지의 저장을 통해 냉방부하와 난방부하가 불균형 하게 발생하는 것을 어느 정도 대비할 수 있게 된다. 또한 보조열원을 설치하여 냉방부하 혹은 난방부하만 발생하는 경우에 대응하였다. [그림 2.3]과 같이 난방부하만 존재하는 경우와 [그림 2.4], [그림 2.5]와 같이 냉방부하가 크거나 냉방부하만 존재하는 경우 Energy Balancing 시스템과 보조 열원은 그림과 같이 에너지 수요에 대응한다.



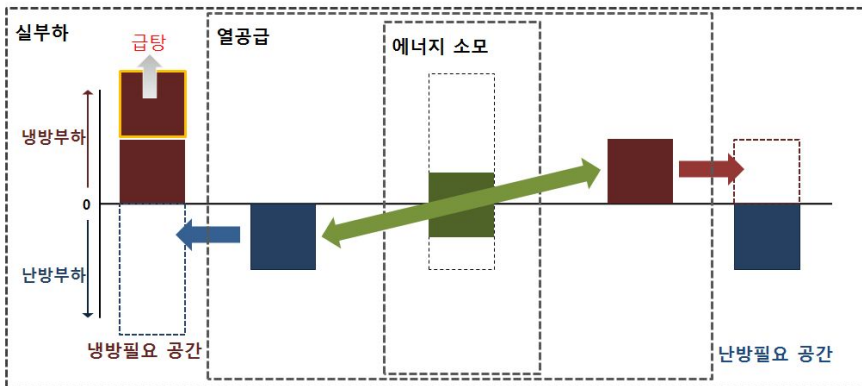
[그림 2.1] 기존 시스템의 에너지 공급



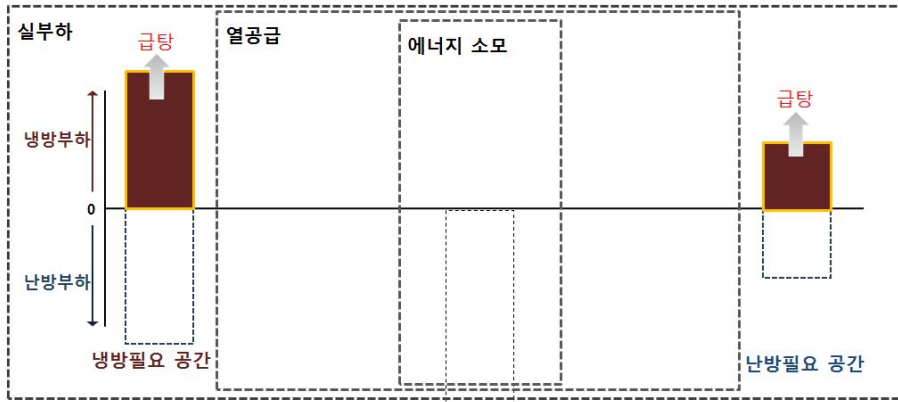
[그림 2.2] Energy Balancing 시스템의 에너지 공급



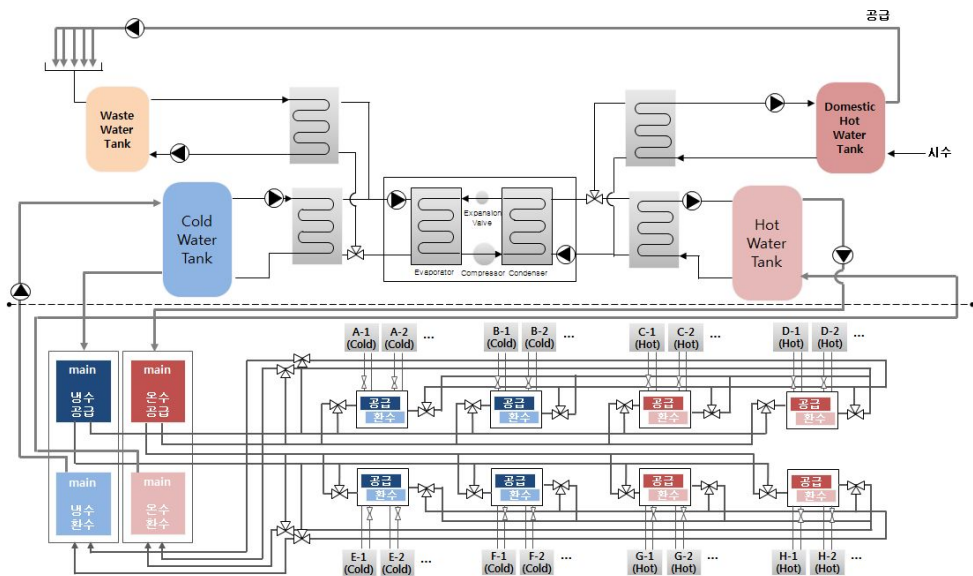
[그림 2.3] 난방부하만 존재하는 경우(겨울철)의 에너지 공급



[그림 2.4] 냉방부하의 비중이 큰 경우(여름철)의 에너지 공급



[그림 2.5] 냉방부하만 존재하는 경우(여름철)의 에너지 공급

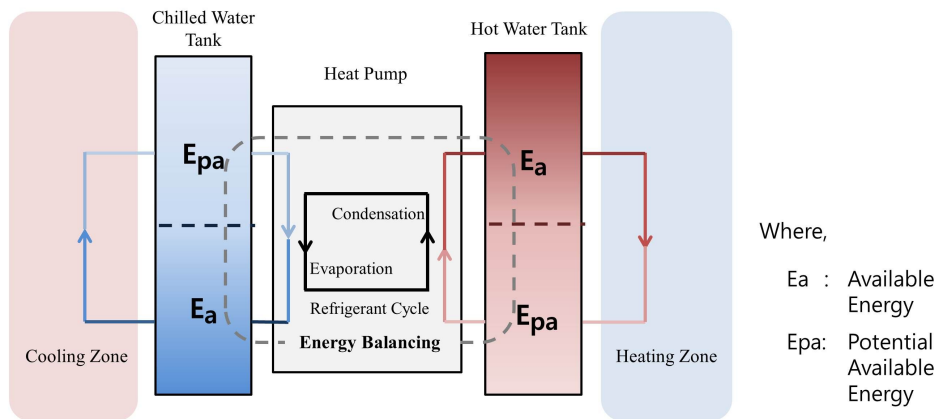


[그림 2.6] SMART Energy Balancing의 기본 개념도

에너지 공급 원리를 이용하여 Energy Balancing 시스템의 개발을 위해 시스템 달성 목표를 제시하여 개념도를 구성하였다. 기본 개념도는 냉방, 난방, 급탕, 급탕폐열의 4가지 열원을 이용한 시스템으로 [그림 2.6]과 같다.

2.2.2 Energy Balancing 시스템의 열적 특성

Energy Balancing 시스템을 통한 열 생산 및 공급 매커니즘은 [그림 2.7]과 같다. 냉방 및 난방 수요가 발생하면 축열조에 미리 저장된 에너지 (Available Energy, E_a)를 존에 공급한다. 존에 에너지를 공급하면 냉방존에서는 열매와 실의 열교환을 통해 냉방존의 열에너지를 열매가 흡수한다. 난방존은 반대로 열매와 실의 열교환을 통해 열매의 열에너지를 난방존으로 방출한다. 열교환을 마친 열매는 축열조로 환수되어 저장된다. 공급되기 전의 물과 공급된 후의 물의 온도차에 의해 냉방존을 순환한 에너지는 냉축열조의 상부에, 난방존을 순환한 에너지는 온축열조의 하부에 저장된다. 저장된 에너지를 Potential available energy (E_{pa})로 정의한다. 각 축열조에 저장된 $E_{pa,c}$ 와 $E_{pa,h}$ 를 이용하여 Energy Balancing이 수행된다. $E_{pa,c}$ 는 히트펌프의 증발기와 연결되고, $E_{pa,h}$ 는 히트펌프의 응축기와 연결된다. 히트펌프의 냉매 순환 사이클을 이용하여 $E_{pa,c}$ 측에



[그림 2.7] Energy Balancing 시스템의 열 흐름 매커니즘

9) MG Kim et al. “Economic feasibility considering capacity of thermal storage tank for Energy Balancing System”, 6th IBPC, 2015.

저장된 열에너지를 $E_{pa,h}$ 측으로 이동시킨다. 이 과정을 수행하면 $E_{pa,c}$ 는 $E_{a,c}$ 의 상태로, $E_{pa,h}$ 는 $E_{a,h}$ 의 상태로 변한다. 즉, 존에 에너지를 공급할 수 있는 상태의 열매가 된다. 이 과정이 반복되면서 냉방 에너지와 난방 에너지를 동시에 공급한다.

Energy Balancing을 통해 냉열과 온열을 생산하기 위해서는 $E_{pa,c}$ 와 $E_{pa,h}$ 상태의 열매가 동시에 필요하다. E_{pa} 의 상태가 되었다는 것은 존에 냉방 및 난방을 공급한 이후의 상태를 의미한다. 그러므로 Energy Balancing을 이용해 냉방과 난방 에너지를 생산하기 위해서는 존의 냉방 수요와 난방수요가 동시에 발생하여야한다. 이러한 특성이 있으므로 실제 건물에 적용할 때에는 여러 가지 방법으로 냉방 수요와 난방 수요의 불균형을 해결한다. 축열조를 설치함으로써 충분한 에너지를 저장할 수 있도록 설계하거나, 보조 열원을 설계하여 냉·난방 수요 불균형 시 가동한다.

본 연구에서는 조닝을 통해 냉방 수요와 난방 수요의 균형을 맞추는 것을 목표로 한다. 조닝이 효과적으로 되면 Energy Balancing으로 생산하는 냉·온열의 비율이 증가하여 Energy Balancing 시스템의 효율적 운영을 가능하게 할 것이다.

2.3 건물 부하패턴 도출

Energy Balancing 시스템은 냉방수요와 난방수요에 따라 사용 양상이 달라진다. 그러므로 시스템의 효율적인 이용을 위해서는 건물의 냉방수요와 난방수요를 분석할 필요가 있다. 건물의 냉방수요와 난방수요는 건물의 부하를 의미한다. 본 절에서는 건물의 부하를 예측하는 방법을 조사하였다. 그리고 부하 예측을 다룬 다양한 논문이 무엇을 목표로 어떤 분석 요소를 적용하여 어떤 방법으로 부하를 도출하였는지 분석하도록 한다. 분석결과를 바탕으로 본 연구에서는 열적 특성을 고려한 존 별 대표부하를 도출한다.

부하계산은 크게 통계적 방법 (회귀분석 방법), 에너지 시뮬레이션 프로그램을 이용한 방법, 인공지능 시스템을 이용한 방법의 세 가지 방법으로 나누어지며 각각의 특징은 아래 <표 2.2>¹⁰⁾와 같다.

통계적 접근은 대량의 에너지 소비데이터를 통계 자료로 활용한다. 그리고 연구의 목적에 따라 필요에 따라 부하를 구성하는 여러 요소 간의 상관관계를 이용하여 회귀분석을 수행한다.

에너지 시뮬레이션 프로그램은 실제와 가까운 모델을 에뮬레이팅 하는 것이다. 모델링 테크닉으로는 Response function method나 Numerical method 등의 수치해석적 방법을 이용한다. 이 방법은 대량의 데이터와 정밀한 날씨 파라미터, 그리고 건물의 세부적으로 묘사한 정보를 필요로 한다.

인공지능 시스템은 실제 부하를 입력하고, 이 부하를 인공 지능을 통해 학습시켜 최적의 부하를 도출하는 방법이다. 실제와 유사한 예측값을 도

10) Linda Pedersen. "Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters" Renewable and Sustainable Energy reviews 11, 2007, pp.998-1007.

〈표 2.2〉 부하 계산 방법론⁹⁾

종류	특징
Statistical approaches / Regression analyses	<ul style="list-style-type: none"> ● 대량의 에너지 소비 데이터를 통계 자료로 활용 ● 회귀 분석 : 부하를 구성하는 여러 요소 간의 수학적인 상관관계 이용 (연구 목적에 따라 사용 여부 판단)
Energy simulation programs	<ul style="list-style-type: none"> ● 실제에 가까운 모델을 에뮬레이팅 하는 시도 ● 모델링 테크닉 : Response function method, Numerical method <ol style="list-style-type: none"> 1) Response function method : 선형 미분방정식을 해석 2) Numerical method : 비선형, 시간에 따라 변화하는 시스템, 여러 방정식을 동시에 해석하므로 선호됨 (Nodal network) ● 대량의 데이터와 정밀한 날씨 파라미터, 세부적으로 묘사된 건물의 정보가 필요
Intelligent computer systems	<ul style="list-style-type: none"> ● 실제 부하를 입력해 학습된 결과를 이용해 부하를 예측 ● 신규 건물이나 과거 데이터를 충분히 축적하지 못한 건물에서는 적용 불가

출할 수 있으나, 신규 건물이나 과거 데이터를 충분히 축적하지 못한 경우에는 적용하기가 힘든 특징이 있다.

본 연구에서는 우선 에너지 시뮬레이션을 이용하여 도출한 부하를 이용하여 회귀분석과 유사한 방법으로 대표부하를 도출하였다. 통계적 접근 및 회귀적 방법은 초기 디자인 설계 시 적합하여 적은 양의 정보로 부하 패턴을 설계할 수 있으며 패턴화 된 부하 정보를 획득하여 냉방부하와

난방부하 간의 분석이 용이하여 연구에 활용하기 위한 부하 정보를 얻는데 적합하다고 판단하였다.

통계적인 접근을 이용한 부하 예측에 대한 연구는 크게 분석 목표, 분석 요소, 분석 방법으로 구성되어 있다. 연구마다 부하 예측의 목적이 다르다. 분석 목표를 설정하면 분석 목표가 무엇인지에 따라 분석 목표를 충족시키기 위한 정보 수집의 대상이 달라진다. 그러므로 분석 요소가 무엇인지 명확하게 정의되어야 한다. 그리고 분석 대상을 종합하여 하나의 일반화된 데이터로 가공하는 과정, 즉, 특정한 분석 방법을 이용하여 일반화된 부하를 도출한다.

K.S.Y Wan¹¹⁾은 주거 건물의 건물 디자인 별로 대표적인 재실 프로파일을 도출하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 가족 유형과 재실 인원을 반영하여 데이터 수집을 수행하였다. 그리고 가족 유형을 분류하여 각 가족 유형에 조명 및 기기 사용 시간을 매칭시켜서 가족 유형별로 부하 프로파일을 도출하였다. 이를 위해 재실 밀도, 가족 유형, 가족 유형에 따른 조명 사용시간, 가족 유형에 따른 기기 사용 패턴, 기기 사용률의 정보를 이용 하였다.

Philip C.H. Yu¹²⁾는 상업 건물의 에너지 소비량을 분석하기 위해 20개의 건물을 조사하여 외피 형태에 따른 7개의 건물 타입을 제시하였다. 그리고 각 건물의 에너지 소비량, 열 전도량, 난방부하, 열획득의 정보를 수집하여 회귀분석을 하여 대표 부하를 도출하였다.

Linda Pedersen¹³⁾은 혼합 에너지 분배 시스템을 위한 건물의 부하 모델

11) K.S.Y. Wan, F.H.W. Yik. "Representative building design and internal load patterns for modelling energy use in residential buildings in Hong Kong". Applied Energy 77, 2004, pp.69-85.

12) Philip C.H. Yu, W.K. Chow. "Energy use in commercial buildings in Hong Kong". Applied Energy 69, 2001, pp.243-255.

13) Linda Pedersen, Jacob Stang, Rolf Ulseth. "Load prediction method for

을 제작하였다. 우선, 건물의 난방부하와 전력 소비량을 분리하였다. 난방부하는 온도에 따른 열 소비 데이터를 이용하여 회귀 분석을 하였고, 전력 소비량은 T-분포를 이용한 회귀분석을 하였다. 그리고 정규 분포를 이용해 부하 요소를 다시 통합하였다.

김영탁¹⁴⁾은 설계시 활용할 수 있는 간이 난방부하모델을 개발하였다. 외기온을 이용하여 대표일을 설정하였다. 난방, 조명 사용 패턴, 환기에 따라 거주 생활 패턴을 가정하여 시뮬레이션을 통해 대표일 난방부하 패턴을 도출하였다.

박화춘¹⁵⁾은 특정 용도 건물의 에너지 사용량 패턴 분석에 대한 일련의 논문을 발표하였다. 시간별 에너지 부하를 다 년간 수집하여 이를 평균 내어 대표 부하를 산출하였다. 일일 패턴을 측정하여 계절별 기후데이터에 반영하여 연간 패턴을 제작하였고, 일년을 계절별로 구분하여 계절별로 구한 일일 부하패턴을 대입하여 시간 단위의 연간 에너지 부하 모델을 도출하였다.

Runming Yao¹⁶⁾는 재생 에너지 시스템의 배치를 위한 Simple method of formulating load profile을 제작하였다. 기기 일일 부하프로파일에 따른 다섯 가지의 재실패턴에 대한 부하를 도출하였다. 그리고 난수형성을 이용하여 부하 패턴을 통합하여 대표 부하 패턴 (Typical Profile)을 도출하였다.

heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems”. Energy and Buildings 40, 2008, pp.1124-1134.

14) 김영탁. “공동주택의 에너지 소비량을 예측하기 위한 대표일 난방부하모델 개발에 관한 연구”. 대한건축학회논문집 21권 11호, 2005, pp.287-294.

15) 박화춘, 정모. “호텔, 병원, 업무용 건물의 에너지 부하 특성 비교”. 설비공학논문집 제21권 제10호, 2009, pp.553-558.

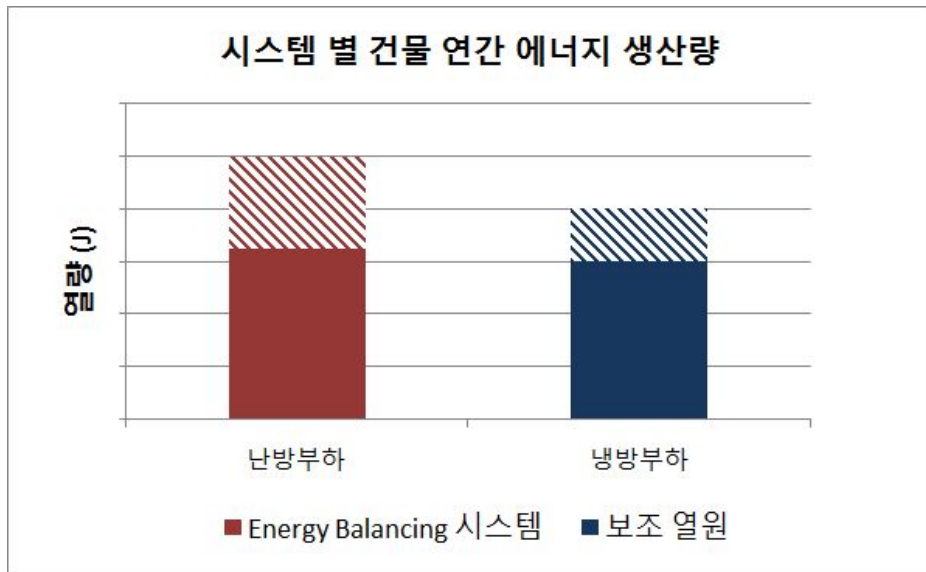
16) Runming Yao, Koen Steemers. “A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK”. Energy and Buildings 37, 2007, pp.663-671.

상기의 부하 예측 방법을 분석한 결과 연구 목적에 따라 건물을 구성하는 부하요소 중 최종 부하 모델에 크게 영향을 미친다고 판단되는 요소를 도출하여 분석한다는 것을 알 수 있었고, 대량의 데이터가 대표성을 갖는 데이터로 만들기 위한 방법을 명확히 규정하는 것이 데이터의 신뢰도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 Energy Balancing 시스템의 열적 특성을 반영하기 위해서 건물의 존 별로 냉방부하와 난방부하에 영향을 미치는 요소를 분석하여 분석한 결과를 기준으로 존의 유형을 도출할 것이다. 그리고 존의 유형을 조합하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높아지는 존의 조합을 찾을 것이다.

2.4 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 계산 방법

Energy Balancing 과정은 냉방 수요와 난방 수요가 발생하는 경우 생성되는 냉열과 온열을 이용하여 수행한다. 그러므로 냉방부하와 난방부하가 모두 발생하는 건물에 적용가능하다. 냉방부하와 난방부하가 모두 발생하더라도 Energy Balancing 시스템이 대응하지 못한 부하에 대해서는 보조열원이 있어야한다. 즉, Energy Balancing 시스템을 적용한 건물은 Energy Balancing 시스템과 보조열원 시스템의 두 가지 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량은 건물의 냉방부하와 난방부하의 합계와 일치하지 않는다. 그러므로 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 구하기 위해서는 Energy Balancing 프로세스를 이용하여 연간 냉방부하와 난방부하에 대해서 매 time-step의 에너지 소비량, 축열량, Energy Balancing으로 생산한 열량에 대해서 직접 계산을 하거나 시뮬레이션을 이용하여 값을 도출하여야 한다.



[그림 2.8] 시스템 별 건물 연간 에너지 생산량

연간 냉방부하와 난방부하의 정보를 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 계산한다. 여러 가지 부하 계산 방법이 있으나, 본 연구에서는 정적인 해석 방법을 이용하여 부하를 계산한다. 계산 프로세스는 <표 2.3>¹⁷⁾과 같다. <표 2.3>의 계산 프로세스를 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 연간 냉방에너지 및 난방에너지 생산량을 구한다.

대상 건물 혹은 존의 연간 냉방부하와 난방부하를 부하를 입력한다. ($Q_{zone,t}$) 입력한 부하는 연간 부하 데이터이다. 입력한 데이터를 기준으로 각 time-step에서 계산 프로세스를 반복한다.

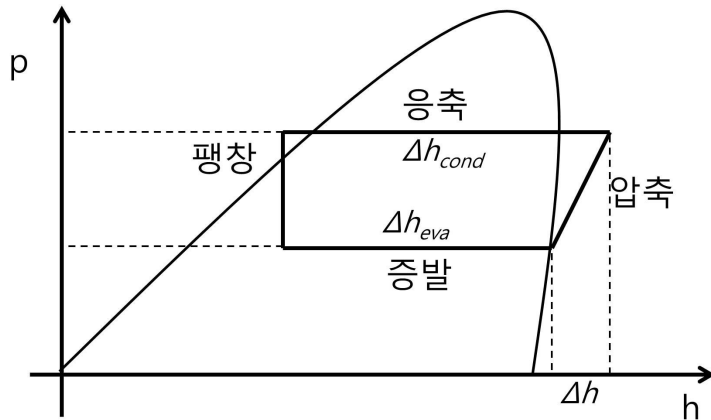
각 time-step에서 가장 먼저 계산되는 과정은 초기 사용 가능 에너지를 구하는 것이다. 초기 사용 가능 에너지($E_{U,t}$)는 이전 time-step에서 저장된 가용 에너지 ($E_{U,F,t}$) 이다. 그 외에 축열조에 저장된 에너지($E_{G,t}$)는 이전 time-step에서 이미 열교환을 수행한 사용된 에너지이다. ($E_{G,F,t}$) 이 에너지는 냉방 부하가 발생하는 존에서 열교환을 하여 온도가 상승한 에너지와 난방부하가 발생하는 존에서 열교환을 하여 온도가 하강한 에너지이다.

초기 사용에너지를 이용하여 존에 에너지를 공급한다. 존에 발생하는 부하에 대응하기 위한 에너지는 축열조에 저장된 에너지($Q_{LO,U,t}$)와 보조 열원에 의해 발생하는 에너지($Q_{LO,Aux,t}$)를 이용하여 공급한다. 축열조에 저장된 에너지는 Energy Balancing 과정에 의해 생산한 가용에너지 ($Q_{LO,U,t}$)이며 우선적으로 공급해야하는 에너지이다. 현 time-step에 발생하는 부하가 가용에너지 ($Q_{LO,U,t}$)를 초과하는 경우 보조 열원을 이용하여 부하에 대응한다. ($Q_{LO,Aux,t}$)

17) 신대욱 외. “Development of evaluation method for Energy Balancing System in super-large complex buildings”. Proceedings of the ISES 2011; 2011.

가용에너지($E_{U,t}$)가 존에 공급되면 사용된 에너지($E_{G,AO,t}$)가 된다. 난방부하가 발생하는 존에서는 고온의 난방 가용에너지를 공급하여 난방을 한다. 존에서 열매와 공간과의 열교환을 통해 난방을 수행하고 에너지를 공급한 열매는 온도가 하강하여 축열조에 저장된다. 이 에너지가 사용된 에너지($E_{G,AO,t}$)이다. 냉방부하가 발생하는 존도 난방부하가 발생하는 존의 매커니즘과 유사하다. 저온의 냉방 가용에너지를 공급하여 냉방을 한다. 존에서 열매와 공간과의 열교환을 통해 냉방을 수행하고 에너지를 흡수한 열매는 온도가 상승하여 축열조에 저장된다.

저장된 냉방 측과 난방 측의 사용된 에너지($E_{G,AO,t}$)를 이용하여 Energy Balancing을 수행한다. Energy Balancing으로 생산하는 열량은 난방 측에 저장된 사용된 에너지와 냉방 측에 저장된 사용된 에너지를 비교하여 더 작은 크기의 에너지를 기준으로 도출된다. 냉매 순환 사이클을 이용한 시스템에서는 응축기를 통해 난방에너지를 공급하고 증발기를 통해 냉방 에너지를 공급한다. [그림 2.9]의 p-h 선도 상의 냉매 순환 사이클을 보면 압축 과정에서 소비되는 단위 엔탈피에 대해서 증발기와 응축기에서 발생하는 엔탈피가 달라진다. 냉매 순환사이클이 가동되면 압축 에너지에 대해서 응축기의 엔탈피 크기와 증발기의 엔탈피 크기에 비례하여 난방에너지와 냉방에너지가 발생한다. 즉, 난방에너지와 냉방에너지가 나오는 비율은 이 엔탈피의 비율과 동일하다고 할 수 있다. 이 비율을 반영하여 Energy Balancing 시스템을 통해 냉방에너지와 난방에너지가 생산된다.



[그림 2.9] p-h 선도

Energy Balancing을 수행하여 에너지가 생산되면 냉방 측과 난방 측 모두 사용된 에너지($E_{G,AO,t}$)가 감소하고 사용 가능한 에너지($E_{U,F,t}$)가 증가한다.

그리고 Energy Balancing 과정을 수행한 이후의 사용 가능한 에너지($E_{U,F,t}$)와 사용된 에너지($E_{G,F,t}$)는 다음 time-step에 반영되고, 위의 프로세스가 반복 되면 연간 Energy Balancing 가동 프로세스가 완성된다.

연간 Energy Balancing 가동 프로세스를 이용하면 대상 건물의 전체 부하 데이터를 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 에너지($Q_{LO,Bal,tot}$)와 보조열원으로 생산한 에너지($Q_{zone,tot} - Q_{LO,Bal,tot}$)를 구할 수 있다.

위의 과정에서 필요한 데이터 종류는 <표 2.3>과 같다.

〈표 2.3〉 Energy Balancing 시스템의 열량 계산 프로세스

Calculation Process		Symbol
1) 존 부하 입력		$Q_{zone,t}$
2) 현 타임 스텝의 초기 가용 에너지와 획득 에너지 계산	2-1) 가용 에너지	$E_{U,I,t}$
	2-2) 사용된 에너지	$E_{G,I,t}$
3) 사용 가능에너지로 제거한 부하 계산 및 보조에너지로 제거한 부하 계산	3-1) Energy Balancing 시스템으로 제거한 부하	$Q_{LO,U,t}$
	3-2) 보조에너지로 제거한 부하	$Q_{LO,Aux,t}$
4) 3) 계산을 수행하고 남은 에너지 계산	4-1) 가용 에너지	$E_{U,AO,t}$
	4-2) 사용된 에너지	$E_{G,AO,t}$
5) Energy Balancing 과정을 통해 생산한 가용 에너지 계산		$E_{bal,t}$
6) 현 타임스텝의 최종 사용 가능에너지 및 획득 에너지 계산	6-1) 가용 에너지	$E_{U,F,t}$
	6-2) 사용된 에너지	$E_{G,F,t}$
7) Energy Balancing으로 제거한 열량 비율 계산	7-1) 전체 존 부하	$Q_{zone,tot}$
	7-2) Energy Balancing에 의해 제거된 부하	$Q_{LO,Bal,tot}$
8) Energy Balancing에 의해 제거된 부하의 비율		r_{bal}

2.5 소결

Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 정립하기 위하여, Energy Balancing 시스템의 원리 및 열적인 특성에 대해 고찰하고, 조닝에 활용하기 위한 부하 예측 방법에 대한 내용을 검토하였다. 그리고 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 도출하기 위한 Energy Balancing 시스템의 계산 프로세스에 대한 예비적 고찰을 수행하였다. 본 장의 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) Energy Balancing 시스템은 Balanced Heat Recovery 시스템을 기반으로 개발된 시스템으로서, 건물 내부에서 발생하는 열의 교환을 통해 냉방 수요와 난방 수요를 동시에 충족하는 시스템이다. 냉방수요가 발생하는 곳의 온열을 흡수하여 냉방을 수행하고, 난방수요가 발생하는 공간에 온열을 공급하여 난방을 수행한다. 냉방수요와 난방수요가 불균형하게 발생하는 경우에 대비하기 위하여 축열조를 통한 에너지 저장 기능이 가능하며, 보조열원을 추가로 설치하여 부족한 에너지를 공급할 수 있게 설계된다.

Energy Balancing 시스템의 열적인 특성에 의해 냉방수요와 난방수요가 동시에 비슷한 시간에 발생하는 조건이 시스템 가동에 유리하다. 그러므로 조닝을 통해 냉방수요와 난방수요의 균형을 맞추는 것을 목표로 한다. 조닝이 효과적으로 수행되면 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높아져서 시스템의 효율적 운전이 가능할 것이다.

(2) Energy Balancing 시스템은 냉방수요와 난방수요에 따라 사용 양상이 달라진다. 시스템의 효율적 이용을 위해 건물의 부하를 분석하는

과정이 필요하다. 부하 예측을 통해 유형화된 대표 부하를 선정하기 위해 부하 예측에 대한 선행 연구를 검토하였다. 부하 예측에 대한 연구는 크게 부하 목표, 분석 요소, 분석 방법으로 구성되어 있다. 연구의 목적에 따라 여러 부하 구성 요소 중 필요한 정보를 도출하고, 적합한 방법을 이용하여 연구에서 원하는 부하를 도출한다. 본 연구에서는 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝방법에 대한 연구를 수행하므로 냉방부하와 난방부하의 발생 원인에 따른 유형 분류를 목표로 하고 이를 이용하여 대표 부하를 도출하고자 한다.

(3) 건물에서 발생하는 냉방부하와 난방부하는 비슷한 크기로 발생하지 않는 경우가 발생하므로 Energy Balancing 시스템을 실제 건물에 적용하기 위해서는 Energy Balancing 시스템과 부족한 열량을 생산하기 위한 보조 열원의 두 가지 시스템이 설계된다. 그러므로 Energy Balancing 과정에서 발생하는 열량을 구하기 위해서 Energy Balancing 시스템의 계산 프로세스를 이용하여 구한다. 이 계산 프로세스를 이용하여 건물의 연간 냉방부하와 난방부하에 대한 에너지 소비량, 축열조 축열량, Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 값을 구할 수 있다.

제 3 장 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법

3.1 개요

Energy Balancing 시스템은 복합부하가 냉방부하와 난방부하가 동시에 발생하는 건물에서 유용한 시스템으로, 냉방부하가 발생하는 공간의 열 에너지를 난방부하가 발생하는 공간으로 이동시킴으로써, 냉방부하가 발생하는 공간은 냉방에너지를, 난방부하가 발생하는 공간은 난방에너지를 동시에 공급할 수 있는 시스템이다.

Energy Balancing을 통해 공급하는 난방에너지와 냉방에너지는 히트펌프의 냉매순환 사이클을 이용하여 생산하는 것이다. Energy Balancing 시스템은 건물에서 발생하는 냉방부하와 난방부하의 크기에 따라 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 달라진다. 그러므로 Energy Balancing 시스템을 효율적으로 운전하기 위해서는 부하의 크기와 발생시간에 따른 고려를 해야 한다.

존의 부하에 미치는 열적인 요소를 확인하여 부하의 크기와 발생시간에 영향을 미치는 요소를 고려한 연간 부하의 구분 기준을 제시한다. 연간 부하의 구분 기준에 따라 대표 부하의 설정 방법을 제출하고 부하 특성에 따른 대표부하의 유형을 도출한다.

대표부하의 부하 특성에 따라 기간을 구분하여 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량 계산을 단순화하고, 부하 조합에 대한 수식화 방법을 도출한다. 수식화된 데이터를 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높은 경우의 대표부하 조합을 찾는다.

그리고 마지막으로 실제 건물의 존 부하가 어떤 대표부하의 유형에 해

당하는지 판단하고, Energy Balancing 시스템을 적용할 존과 보조 열원만을 이용하는 존을 구분한다.

<표 3.1> 3장 연구순서

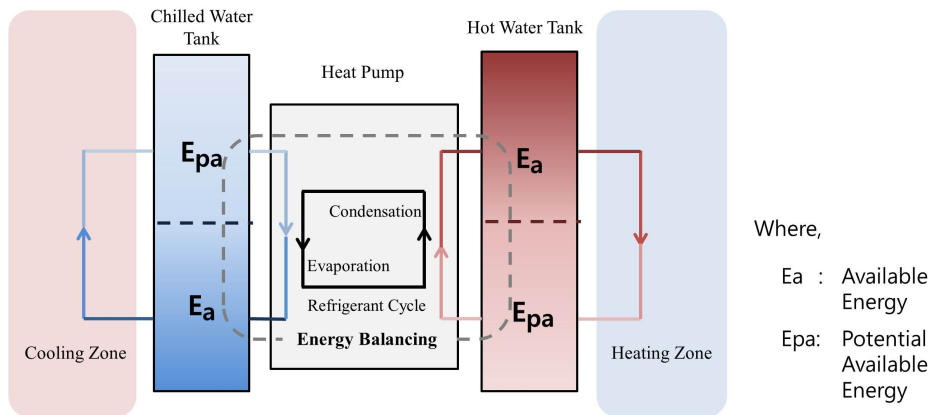
<순 서>	<내 용>	
3.2	Energy Balancing 시스템의 열 순환 프로세스	
3.3	존의 열적 특성에 따른 유형 구분	
	3.3.1	냉·난방부하 요소에 따른 존 구분 기준 제시
	3.3.2	존에서 발생하는 부하 구성요소
	3.3.3	존에서 발생하는 부하에 따른 유형 분류
3.4	부하 유형별 대표부하 선정	
	3.4.1	존 유형별 대표부하 설정
	3.4.2	대표부하의 부하특성에 따른 기간 구분 및 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 도출방법
3.5	대표부하의 조합을 통한 Energy Balancing으로 생산한 열량 도출	
	3.5.1	부하 조합의 수식화
	3.5.2	최적화를 이용한 변수 도출
3.6	클러스터링 기법을 이용한 존 부하의 유형별 분류	

3.2 Energy Balancing 시스템의 열 순환 프로세스

본 연구에서는 Energy Balancing 시스템에 적합한 조닝방법을 도출하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 Energy Balancing 시스템의 열적인 특성이 다른 시스템과 어떻게 다른지 확인하여 이를 어떻게 반영할 것인지 고찰하는 과정이 필요하다.

Energy Balancing 시스템을 통한 열 생산 및 공급 매커니즘은 [그림 3.1]과 같다. 냉방 및 난방 수요가 발생하면 축열조에 미리 저장된 에너지 (Available Energy, E_a)를 존에 공급한다. 존에 에너지를 공급하면 냉방존에서는 열매와 실의 열교환을 통해 냉방존의 열에너지를 열매가 흡수한다. 난방존은 반대로 열매와 실의 열교환을 통해 열매의 열에너지를 난방존으로 방출한다. 열교환을 마친 열매는 축열조로 환수되어 저장된다. 공급되기 전의 물과 공급된 후의 물의 온도차에 의해 냉방존을 순환한 에너지는 냉축열조의 상부에, 난방존을 순환한 에너지는 온축열조의 하부에 저장된다. 저장된 에너지를 Potential available energy (E_{pa})로 정의한다. 각 축열조에 저장된 $E_{pa,c}$ 와 $E_{pa,h}$ 를 이용하여 Energy Balancing이 수행된다. $E_{pa,c}$ 는 히트펌프의 증발기와 연결되고, $E_{pa,h}$ 는 히트펌프의 응축기와 연결된다. 히트펌프의 냉매 순환 사이클을 이용하여 $E_{pa,c}$ 측에 저장된 열에너지를 $E_{pa,h}$ 측으로 이동시킨다. 이 과정을 수행하면 $E_{pa,c}$ 는 $E_{a,c}$ 의 상태로, $E_{pa,h}$ 는 $E_{a,h}$ 의 상태로 변한다. 즉, 존에 에너지를 공급할 있는 상태의 열매가 된다. 이 과정이 반복되면서 냉방 에너지와 난방 에너지를 동시에 공급한다.

Energy Balancing을 통해 냉열과 온열을 생산하기 위해서는 $E_{pa,c}$ 와 $E_{pa,h}$ 상태의 열매가 동시에 필요하다. E_{pa} 의 상태가 되었다는 것은 존에 냉방 및 난방을 공급한 이후의 상태를 의미한다. 그러므로 Energy Balancing을 이용해 냉방과 난방 에너지를 생산하기 위해서는 존의 냉방 수요와



[그림 3.1] Energy Balancing 시스템의 열 흐름 프로세스

난방 수요가 동시에 발생하여야한다. 이러한 특성이 있으므로 실제 건물에 적용할 때에는 여러 가지 방법으로 냉방 수요와 난방 수요의 불균형을 해결한다. 축열조를 설치함으로써 충분한 에너지를 저장할 수 있도록 설계하거나, 보조 열원을 설계하여 냉·난방 수요 불균형 시 가동한다.

본 연구에서는 Energy Balancing 시스템에 적합한 조닝방법을 도출하는 것을 목표로 한다. 냉방부하와 난방부하의 크기와 발생시간이 비슷한 경우 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높아지므로, 우선 존의 부하를 유형에 따라 구분하는 과정이 필요하다.

3.3 존의 열적 특성에 따른 유형 구분

3.3.1 냉·난방부하 요소에 따른 존 구분 기준 제시

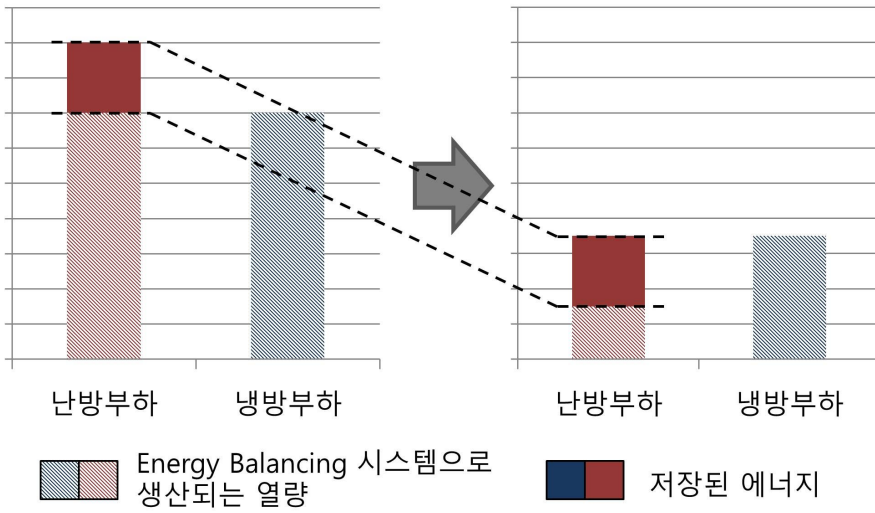
Energy Balancing 시스템은 3.2절에서 서술한 바와 같이 냉방부하와 난방부하의 발생량과 발생시간에 따라 생산할 수 있는 열량이 달라진다. 그러므로 Energy Balancing 시스템을 적용하여 에너지 생산을 할 때 Energy Balancing 시스템으로 대응 가능한 부하가 많아서 필요한 보조열원이 작아지는 경우가 있는 반면, 동시에 에너지가 발생하지 않거나 임의의 time-step에서 발생하는 냉방부하와 난방부하의 편차가 커서 에너지를 장기간 보관하거나 대용량의 보조열원을 설치해야 하는 경우가 존재한다.

예를 들어, 난방부하가 냉방부하보다 크고 편차가 많이 발생하는 경우, 비슷한 크기의 발생하는 편차만큼 Energy Balancing 시스템이 이용하지 못하므로 사용된 에너지인 상태로 계속 저장이 되어야 한다. 즉, 온축열조에 사용된 에너지가 저장된 상태가 된다. 그리고 다른 time-step에서 냉방 부하가 발생하면 존에 냉방에너지를 공급하면서 냉방 측 사용된 에너지가 발생한다. 이 난방 에너지가 누적되는 경우 앞서 저장된 난방 에너지와 Energy Balancing을 수행한다.[그림 3.2] 그러므로 한쪽 부하의 편차가 지속적으로 높은 상태이면 사용된 에너지가 지속적으로 저장되기 때문에 축열조의 용량이 증가하여야한다.[그림 3.3] 또는 축열조 용량이 고정된 경우 보조열원을 이용하여 부하에 대응하여야한다.

또한 난방부하와 냉방부하의 발생시간이 상이한 경우도 앞서 발생한 사용된 에너지를 저장하여 Energy Balancing에 사용하거나 보조열원을 이용하여 부하에 대응하여야 한다.

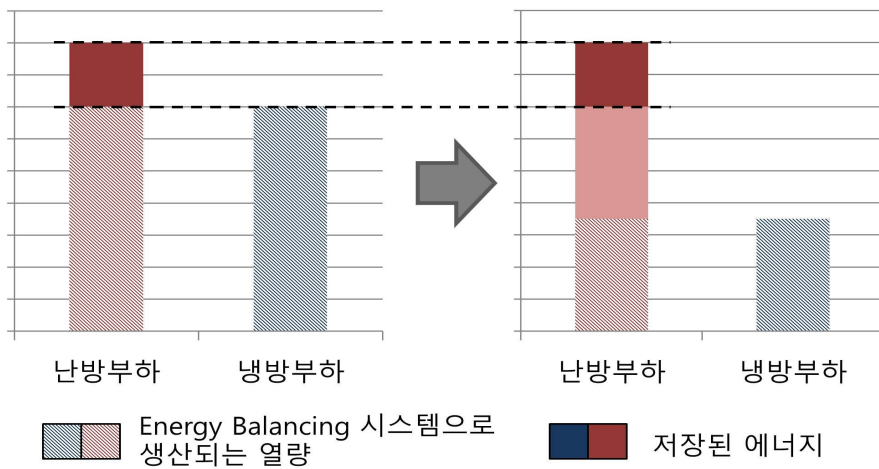
그러므로 전체 건물에서 Energy Balancing 시스템으로 생산할 수 있는

n 번째 time-step 이후



[그림 3.2] Energy Balancing 과정 중 저장된 에너지의 사용

n 번째 time-step 이후



[그림 3.3] Energy Balancing 과정 중 저장된 에너지의 누적

열량의 비중이 높아서 축열조의 용량이 감소하거나 보조 열원의 사용 비중을 최소한으로 줄일 수 있는 부하 특성을 갖는 존을 찾아서, 이러한 특성을 갖는 존만을 Energy Balancing 시스템으로 가동하고, 그렇지 않은 존은 보조 열원만을 이용하여 에너지를 생산하는 것이 기기의 에너지 효율과 사용성, 그리고 경제적인 측면에서 효과가 있을 것이다.

이를 검증하기 위해 냉방부하 및 난방부하에 따라 존의 유형을 구분한다. 건물에서 발생하는 부하의 정보를 이용하여 각 존이 어떤 열적인 특성을 갖는지 분석하고, 냉방부하와 난방부하의 발생량 및 발생시간에 따라 유형화 시켜 분류하는 과정을 거친다.

3.3.2 존에서 발생하는 부하 구성 요소

존에서 발생하는 냉방부하와 난방부하는 <표 3.2>¹⁸⁾와 같이 여러 요소에 의해 영향을 받는다. 부하는 크게 실내부하, 공조기 부하, 열원 부하가 있는데 공조기 부하는 실내부하를, 열원부하는 공조기 부하와 실내부하를 포함하는 개념이다.

실내 부하는 건물의 열적인 조건에 따라 발생하는 부하이다. 실내 부하에 영향을 미치는 열적 조건은 크게 외부 환경에 의한 요소와 내부 조건에 의한 요소로 나눌 수 있다. 외부 환경에 의한 요소는 존 내부와 외부의 온도차에 의한 관류부하, 일사량에 의한 일사열부하로 구성된다. 관류부하는 유리창, 외벽, 간벽을 통해 관류되는 열에너지와 지층과 연결된 층은 지중벽 및 바닥과 연결된 토양에 의해 관류되는 열에너지가 있다. 내부 조건에 의한 요소는 기기의 작동에 의한 기기부하, 인체 재실에 따른 인체부하, 조명의 가동에 의한 조명부하로 구성된다. 내부 조건

18) 에너지 관리공단, 냉난방부하의 계산서 작성 자료
(http://www.energy.or.kr/up_load/iecenter/club00000208_energyqa/)

에 의한 요소는 주로 냉방부하이며, 공간의 사용 여부에 따라 발생하는 특징이 있다.

공조기부하는 공조기를 가동하기 위해 사용되는 에너지의 총량이다. 실내부하와 공조기 부하를 별도로 고려하는 이유는 공조기에서 공급하는 에너지는 실내부하보다 적거나 많을 가능성이 있기 때문이다. 우선, 공조기와 공조기에서 열에너지가 이송되는 과정에서 손실 및 획득되는 에너지가 존재한다. 그리고 팬 또는 펌프의 가동으로 인한 열획득이 부하에 영향을 미친다. 실내 쾌적을 위해 재실 이전에 미리 공조기를 가동하는 경우 발생하는 부하도 고려하여야 한다. 따라서 실내부하를 충족시키기 위해 공급되는 에너지는 실내부하보다 크거나 작게 발생하므로 공조기 부하에 대한 고려가 필요하다.

열원부하는 실내 부하를 충족시키기 위해 생산해야하는 열에너지의 총량이다. 생산한 에너지는 배관이나 파이프를 통해서 존으로 이송되는데 이송되는 과정에서 손실한 에너지만큼을 고려하여 열원 기기를 가동하여야 실내부하를 충족시킬 수 있다.

본 연구에서는 시스템의 위치나 시스템이 설치될 기계실의 위치가 명확하게 정의되지 않기 때문에 실내부하만을 고려하여 존 유형을 분류할 것이다.

<표 3.2> 공조부하의 구성¹⁷⁾

부하요소	구분		냉방	난방
	현열	잠열		
유리창의 관류열부하	○		○	○
유리창의 일사열부하	○		○	
외벽 및 지붕의 열부하	○		○	○
바닥, 간막이벽의 열부하	○		○	○
지중벽의 열부하	○			○
침입외기에 의한 열부하	○	○	○	○
인체 발열에 의한 열부하	○	○	○	△
조명 발열에 의한 열부하	○		○	△
기기 발열에 의한 열부하	○	○	○	△
실내 부하				
Plenum Load	○		○	○
재열부하	○		○	○
외기부하	○	○	○	○
Fan의 열취득	○		○	
Duct 열취득	○		○	
공조기 부하				
펌프 및 배관으로 부터의 열취득 또는 열손실	○		○	○
열원 부하				

※ △는 거의 발생하지 않음을 의미함

<표 3.2>의 실내 부하를 식으로 나타내면 <표 3.3>¹⁹⁾과 <표 3.4>²⁰⁾와 같다. 난방부하는 외피부하와 환기부하에 의한 것이다. 외피부하는 지붕, 벽체, 창문, 간벽 등을 통한 전도열로 인해 발생하며 온도차에 의해 손실되는 열량이다. 환기부하는 침기 및 환기에 의한 부하로 외부에서 유·출입 되는 공기에 의해 획득하거나 손실되는 열량이다. 냉방부하는 외피부하, 내부부하, 환기부하에 의한 것이다. 외피부하는 전도열과 일사에 의한 열획득, 내부부하는 기기, 인체, 조명에 의한 열획득, 환기부하는 침기 및 환기에 의해 외부에서 유·출입되는 공기에 의해 획득하거나 손실되는 열량이다.

<표 3.3> 난방부하의 요소 및 계산식¹⁹⁾

난방부하	부하요소 및 내용	계 산 식
외피부하	지붕을 통한 전도열	$q = K \times A \times (\Delta T)$
	벽체를 통한 전도열	$q = K \times A \times (\Delta T)$
	창문을 통한 전도열	$q_{con} = K \times A \times (\Delta T)$
	간막이, 천정, 바닥을 통한 전도열	$q = K \times A \times (\Delta T)$
환기부하	환기 및 침입외기에 따른 부하	현열 $q_s = 0.29 \times V \times (\Delta T)$ 잠열 $q_l = 715 \times V \times (\Delta W)$

여기서,

- q : 열량 (J/h)
- K : 열관류율 ($J/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C$)
- A : 면적 (m^2)
- ΔT : 온도차 ($^\circ C$)
- V : 풍량 (m^3/h)

19) *Ibid.*

20) *Ibid.*

〈표 3.4〉 냉방부하의 요소 및 계산식²⁰⁾

냉방부하	부하요소 및 내용	계 산 식
외피부하	지붕을 통한 전도열	$q = K \times A \times (CLTD)$
	벽체를 통한 전도열	$q = K \times A \times (CLTD)$
	창문을 통한 전도열	$q_{con} = K \times A \times (CLTD)$
	창문을 통한 일사열	$q_{rad} = A \times (SC) \times SCL$
	간막이, 천정, 바닥을 통한 전도열	$q = K \times A \times (\Delta T)$
내부부하	재실인원 발열	현열 $q_s = No \times (Sens.H.G) \times CLF$ 잠열 $q_l = No \times (Lat.H.G)$
	조명 발열	$q = INPUT \times (CLF)$
	기기 발열	현열 $q_s = HEAT GAIN \times (CLF)$ 잠열 $q_l = HEAT GAIN$
	동력기기 발열	$q = HEAT GAIN \times (CLF)$
환기부하	환기 및 침입외기에 따른 부하	현열 $q_s = 0.29 \times V \times (\Delta T)$ 잠열 $q_l = 715 \times V \times (\Delta W)$

여기서,

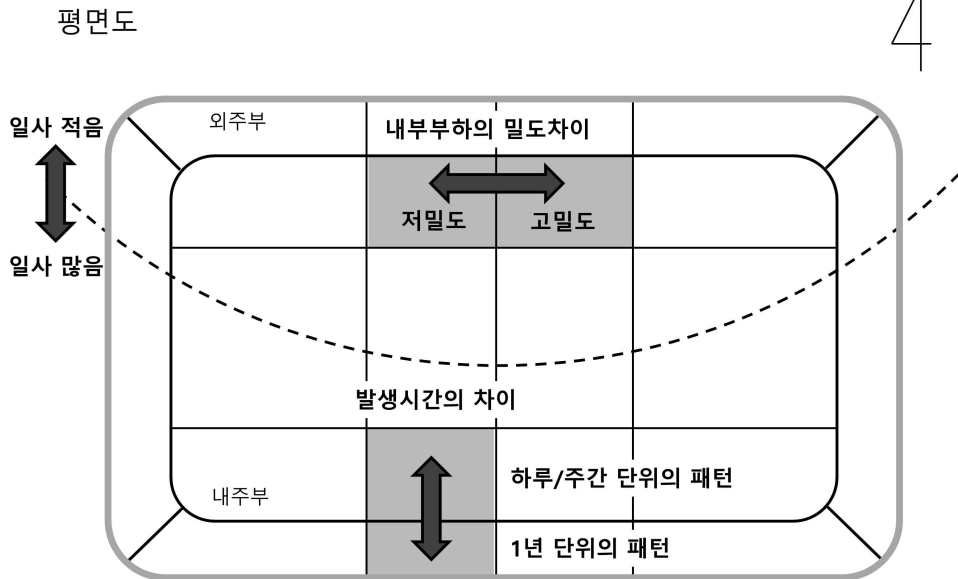
- CLTD : 상당외기온도차 (Cooling Load Temperature Difference)
- q_{con} : 전도열 (J/h)
- q_{rad} : 복사열 (J/h)
- SC : 차폐계수 (Shading Coefficient)
- No : 개체 수
- CLF : 냉방부하계수 (Cooling Load Factor)
- ΔW : 질대습도차 (kg/kg)
- H.G : 열획득 (Heat gain) (J/h)
- Sens : 현열
- Lat : 잠열

3.3.3 존에서 발생하는 부하에 따른 유형 분류

Energy Balancing 시스템은 부하의 발생량과 발생 시간에 따라 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 달라진다. 그러므로 [그림 3.4]와 같이 부하의 발생량과 발생시간(패턴)을 기준으로 부하요소를 분류한다.

부하의 발생량은 외피부하와 내부부하에 의해 달라진다. 외피부하는 외기와 온도의 차에 의해 발생하거나 일사량에 의해 발생하며, 내부부하는 인체, 조명, 기기에 의해 달라지므로 재실 패턴 및 기기, 조명 사용 패턴에 따라 달라진다. 일사량이 많은 남측 존과 재실 밀도 및 기기 밀도가 높아 내부부하가 높게 발생하는 실이 부하의 발생량이 많은 경우로 분류할 수 있다.

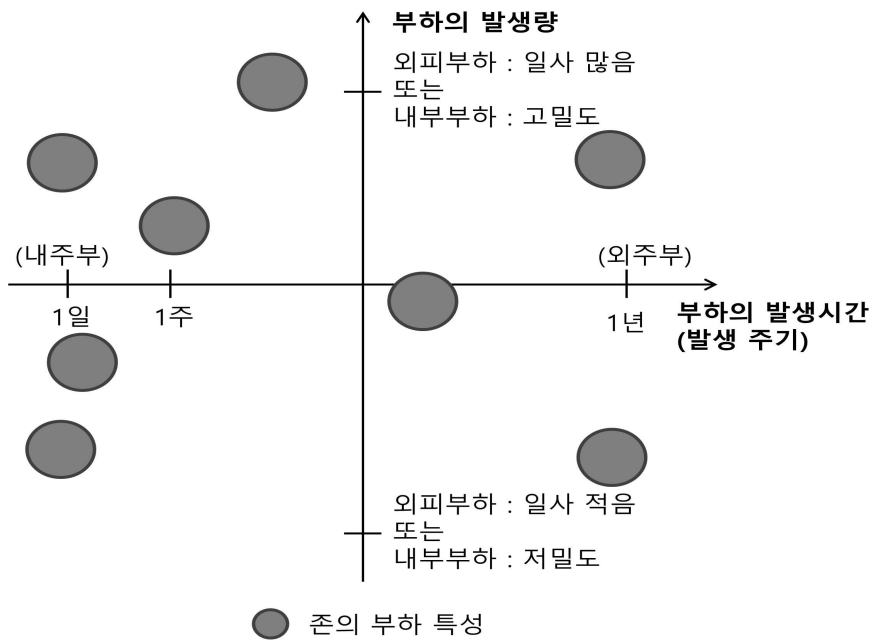
부하의 발생시간은 존에서 발생하는 외피부하와 내부부하의 차이에 의해 달라진다. 외피부하의 영향을 적게 받는 내주부에 속한 존은 주로 내부부하에 의해 부하가 발생하므로, 재실 패턴과 기기, 조명의 사용 패턴의 영향을 많이 받는다. 그러므로 하루 단위 또는 주간 단위의 반복된 패턴이 발생하여 연간 개념으로 보면 비교적 일정한 크기의 부하가 발생한다. 반면에 외피부하의 영향을 크게 받는 외주부에 속한 존은 주로 외피부하에 의해 부하가 발생하므로, 연간 일사량 및 외기온의 영향을 많이 받는다. 그러므로 연간 단위로 부하의 증감이 반복되는 패턴이 형성된다.



[그림 3.4] 부하 요소를 이용한 존 분류 기준

부하의 발생량과 발생시간에 의해 존 분류 기준을 설정하고 이에 따라 존을 유형별로 분류하면 [그림 3.5]의 그래프와 같이 나타낼 수 있다. 부하의 발생시간 (발생주기)와 부하의 발생량에 따라 나눈 각 사분면은 하나의 유형으로 나타낼 수 있다. 건물의 존은 이 중 하나의 유형에 속할 수 있다.

x 축은 부하의 발생 주기에 따른 구분이다. 좌측은 주기가 짧은 존이다. 외피부하에 비해 내부부하의 크기가 상대적으로 크면 내부부하에 속한 재실 및 기기 사용패턴의 영향을 크게 받는다. 존이 내주부에 속해서 외기의 영향을 적게 받거나, 내부부하의 밀도가 높은 경우 발생하는 부하패턴이다. 우측은 주기가 긴 존이다. 외피부하의 영향을 상대적으로 크게 받는다. 존이 외주부에 속해서 외기의 영향을 많이 받거나, 내부부하의 밀도가 낮은 경우 발생하는 부하패턴이다.



[그림 3.5] 존의 부하 발생량 및 발생시간에 따른 유형 분류

y축은 부하의 발생량에 따른 구분이다. 위쪽은 부하 발생량이 높은 존이다. 남쪽에 분포하여 일사량이 높은 존이거나, 내부부하의 밀도가 높은 존이 여기에 해당한다. 아래쪽은 부하 발생량이 적은 존이다. 일사량이 적은 북측 존이나, 내주부의 존이 여기에 해당한다. 또한 내부부하의 밀도가 낮아 냉방부하가 적게 발생하는 공간이 여기에 해당한다.

부하의 유형을 표로 정리하면 <표 3.5>와 같다. <표 3.5>의 사례는 각 유형별 대표 존 위치 및 용도를 나타낸 것이며, 실제 부하 분석시 유형 분류에서 약간의 차이가 발생할 수 있다. 그 이유는 부하의 요소가 매 시간 복합적으로 작용하여 하나의 존 부하로 발생하기 때문이다. 또한 동적 해석을 수행하면 벽체를 통한 관류 과정에서 저장된 에너지에 의해 열획득과 냉방부하, 그리고 열손실과 난방부하의 발생시점이 달라져 정

확하게 부하 분류가 어려운 경우가 발생할 수도 있다.

<표 3.5> 존의 부하 발생량 및 발생시간에 따른 유형 분류

부하 주기		1일 / 1주	1년
부하 많음	특징	외피부하 : 일사 많음 내부부하 : 고밀도	외피부하 : 일사 많음 내부부하 : 고밀도
		내부부하 > 외피부하	외피부하 > 내부부하
	사례	위치 : 남측 존, 내주부 용도 : 데이터실, 급탕용	위치 : 남측 존, 외주부 용도 : 식당
부하 적음	특징	외피부하 : 일사 적음 내부부하 : 저밀도	외피부하 : 일사 적음 내부부하 : 저밀도
		내부부하 > 외피부하	외피부하 > 내부부하
	사례	위치 : 북측 존, 내주부 용도 : 주거용, 오피스	위치 : 북측 존, 외주부 용도 : 주거용, 오피스

3.4 부하 유형 별 대표 부하 선정

3.4.1 존 유형별 대표부하 설정

3.3절에서 도출한 기준으로 <표 3.6>과 같이 부하유형에 따른 존의 연간 부하를 분류하였다. 이 분류를 바탕으로 [그림 3.6]과 같이 1년 (8760 시간) 동안 발생하는 난방부하와 냉방부하에 대한 그래프로 나타내었다. Energy Balancing 시스템을 조닝할 때에는 난방부하와 냉방부하의 정보가 필요하기 때문이다. 냉방부하는 양수 값으로, 난방부하는 음수 값으로 나타내었으며, 1월 1일 0시부터 12월 31일 24시 까지 매 시간의 존 부하를 기록한 형태이다.

연간부하의 발생량과 발생시간의 차이는 <표 3.6>과 같이 크게 외피부하와 내부부하의 절대량 및 부하 간 상대적인 크기에 따라 달라진다. 외피부하가 많은지 내부부하가 많은지에 따라 외주부에 속한 존과 내주부에 속한 존으로 구분할 수 있다.

외주부에 속한 존은 외기와 일사의 영향을 많이 받아 외피부하의 크기가 상대적으로 크게 발생한다. 그러므로 연간 부하의 편차가 상대적으로 크게 발생할 것이다. 한편, 외주부에 속한 존에 실내 부하의 단위 면적당 크기가 크면 냉방부하가 증가할 것이다. 실내부하의 크기에 따라 곡률이 높은 그래프가 위쪽으로 이동할 것이다. 또한 내부부하와 외피부하의 상대적인 크기에 따라 내부부하의 크기가 상대적으로 큰 경우, 재실 패턴의 영향을 받는 부하형태, 즉, 연간 부하의 편차가 낮은 형태의 그래프가 될 수 있다.

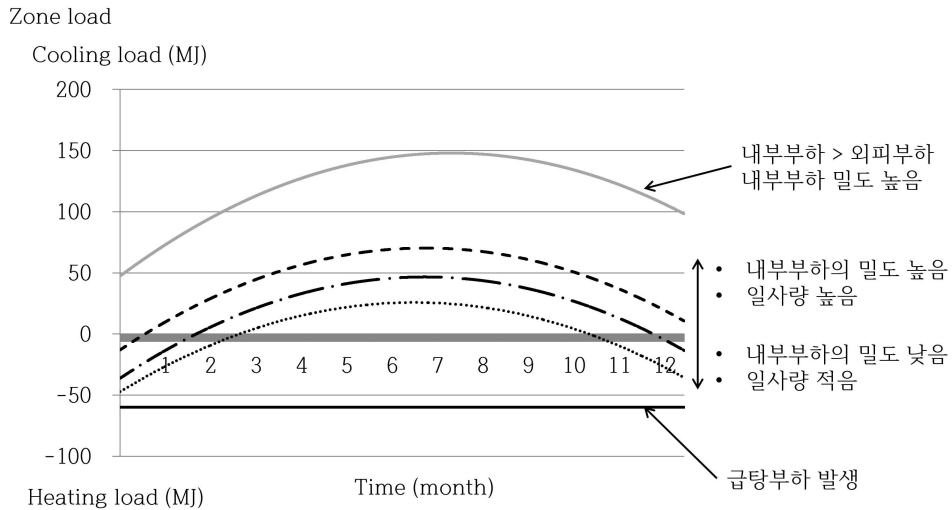
내주부에 속한 존은 기기, 조명, 인체 부하의 영향을 많이 받아 내부부하의 크기가 상대적으로 크게 발생한다. 그러므로 연간 부하의 편차가 상대적으로 작게 발생할 것이다. 실내 부하의 단위 면적당 크기가 클수

록 편차가 작게 발생할 것이다. 반대로 크기가 작으면 외주부에서 발생하는 부하와 유사한 형태로 변화할 것이다.

내주부에 속한 존 중에 내부부하의 단위면적당 크기가 상대적으로 높은 존은 별도로 고려하였다. 데이터실 같이 기기가 24시간 가동되면서 단위면적당 기기 밀도가 높은 경우는 냉방부하가 연간 비교적 일정하고 높게 나타나는 경우로 분류하였고, 급탕 부하가 발생하는 샤워실, 목욕장과 같은 경우 난방부하가 비교적 일정하고 높게 나타나는 경우로 분류하였다.

〈표 3.6〉 외주부와 내주부의 존 유형별 특징

	외주부	내주부
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 외피부하의 영향이 높음 - 연간부하의 편차가 크게 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - 내부부하의 영향이 높음 - 연간부하의 편차가 적게 발생함
내부부하가 작은 경우	<ul style="list-style-type: none"> - 외피부하의 영향 커짐 - 연간 부하 편차 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - 외주부 존과 유사한 형태로 변화
내부부하가 큰 경우	<ul style="list-style-type: none"> - 냉방부하 증가 - 부하 편차가 상대적으로 감소 	<ul style="list-style-type: none"> - 냉방부하 중심의 부하패턴 - 부하 편차 감소
특수용도실 (내부부하의 밀도가 높은 경우)		<ul style="list-style-type: none"> - 24시간 가동 - 단위면적당 기기 밀도 높음 - 연간부하의 편차 적음 - 냉방부하 - 데이터실 - 급탕부하 - 샤워실, 목욕장



[그림 3.6] 존별 열적 특성에 따른 대표 연간 부하

<표 3.6>의 특성을 반영한 그래프의 데이터 특성은 <표 3.7>과 같다. <표 3.6>의 특성을 반영하되, Energy Balancing 시스템에서는 냉방부하와 난방부하의 크기와 발생시간에 대한 정보가 필요하므로 존의 부하를 난방부하와 냉방부하의 크기 및 발생 시간에 따라 분류하였다.

대표부하는 건물의 실제 존 부하를 반영하고자 하였다. TRNSYS를 이용한 모델링을 이용해 도출한 존 별 부하 데이터를 이용하여 단순화 하였다. 존 별 부하 데이터는 재실 패턴에 따라 난방부하와 냉방부하가 지속적으로 변화하여 하루 동안에도 편차가 큰 경우가 발생하였기 때문에, 부하를 하루단위로 쪼개어 부하의 평균값을 구하여 이 값을 보정하여 사용하였다.

〈표 3.7〉 존 유형별 열적 특성에 따른 대표 연간 부하

존 유형	종류	부하 특성
1	대량의 냉방부하가 발생하는 존	연간 부하의 편차가 크지 않음 지속적으로 냉방부하 발생 (예 : 데이터실)
2	냉방부하 중심의 외기 영향을 일부 받는 존	연간 부하의 편차가 조금 나타남 대부분의 기간에 냉방부하 발생 (예 : 내주부, 식당)
3	외피부하 중심의 실내 영향을 일부 받는 존	연간 부하의 편차가 크게 나타남 동계에 난방부하, 하계에 냉방부하 (예 : 외주부 남측, 사무실, 주거)
4	외피 부하와 실내부하 모두 적게 발생하는 존	연간 부하의 편차가 적게 나타남 동계에 난방부하, 하계에 냉방부하 (예 : 외주부 북측, 내주부, 재실 밀도가 낮은 사무실, 주거)
5	대량의 난방부하가 발생하는 존	연간 부하의 편차가 크지 않음 지속적으로 난방부하 발생 (예 : 급탕부하)

3.4.2 대표부하의 부하특성에 따른 기간구분 및 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 도출 방법

3.4.1절에서 도출한 존별 열적 특성에 따른 대표 연간부하를 〈표 3.8〉과 같이 난방부하 발생기간, 냉방부하 발생기간으로 구분하여 나열하였다. 부하를 기간별로 구분한 이유는 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량이 보다 쉽게 도출되기 때문이다. 임의의 존의 냉방부하와 난방부하가 변하는 경우, Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 구하기 위해

서는 부하정보를 이용하여 Energy Balancing 프로세스를 이용하여 계산하여야한다. 하나의 부하 유형을 분석하는데 Energy Balancing 프로세스를 매번 이용해야하므로, 프로그래밍을 이용하여 반복계산을 수행하는 방법으로 분석하여야한다. 그러나 부하 변동이 있는 구간별로 구분을 하면 하나의 존은 냉방부하와 난방부하 중 한 종류의 부하만 발생하므로 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량은 난방부하와 냉방부하 중 작은 크기의 부하의 합계만큼 생산한다. 계산의 단순화를 통해서 여러 존의 조합을 반복계산 하는데 유리하며 에너지 생산량을 직관적으로 확인할 수 있다는 특징이 있다.

냉방부하를 +, 난방부하를 -로 두었을 때, 1월 1일 0시부터 시작하는 데이터 중 임의의 존의 부호가 바뀌기 까지를 하나의 기간으로 두었다. 즉, 임의의 존의 부호가 바뀌면 새로운 기간으로 정의하였다. 이 과정을 반복하여 3.4.1절에서 구한 5개 유형의 연간부하를 분석하면 1년 동안 나타날 수 있는 기간은 7개이다.

<표 3.8> 존 부하 변화에 따른 기간 분류

+ : 냉방부하 = : 난방부하

존 유형	1	2	3	4	5
기간 1	+	-	-	-	-
기간 2	+	+	-	-	-
기간 3	+	+	+	-	-
기간 4	+	+	+	+	-
기간 5	+	+	+	-	-
기간 6	+	+	-	-	-
기간 7	+	-	-	-	-

각 기간의 모든 대표 부하 값을 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량(Q_{EB})을 구한다. 각 기간에 발생하는 난방부하의 합계와 냉방부하의 합계 중 더 작은 값이 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량이다. 그리고 난방부하나 냉방부하의 합계에서 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 빼주면 이것이 보조열원으로 생산한 열량(Q_{aux})이 된다.

$$Q_{EB} = \min\left(\sum_{h=1}^n \text{난방부하}, \sum_{h=1}^n \text{냉방부하}\right) \quad (1)$$

$$Q_{aux} = \max\left(\sum_{h=k}^n \text{난방부하}, \sum_{h=k}^n \text{냉방부하}\right) - Q_{EB} \quad (2)$$

3.5 대표부하의 조합을 통한 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량 도출

3.5.1 부하 조합의 수식화

건물에 설치된 Energy Balancing 시스템을 효과적으로 사용한다는 것은 건물에서 발생하는 부하 중 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높아지는 것이다. 비율이 높다는 것은 보조 열원으로 생산하는 에너지의 비율이 작아지는 것을 의미한다. 그러므로 동일한 부하가 발생한다고 가정하는 경우 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 에너지의 비율이 높아서 보조열원으로 생산하는 에너지의 비율을 낮추는 것이 필요 기기 용량을 감소시키는 방법이 될 수 있으며, 이것은 건축물의 에너지 생산을 위한 전체 비용이 감소하는 것을 의미한다.

3.4.2절에서 도출한 수식을 고려하면 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높으려면 임의의 기간의 난방부하의 합계와 냉방부하의 합계의 크기가 비슷해야하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 절에서는 각 기간별로 냉방부하의 합계와 난방부하의 합계의 차가 0에 근접하는 조합을 찾는 것을 목표로 한다.

<표 3.8>의 기간 2를 예로 들면 1,2번 대표부하에는 냉방부하가 발생하고, 3,4,5번 대표부하에는 난방부하가 발생한다. 기간 2의 부하 값이 0에 근접하는 것을 목표로 하는 각 존의 개수를 도출하기 위해서 존 별 부하 합계에 계수를 두어서 식으로 설정하고, 이 값이 0이 되는 계수 조합을 찾는다. 계수의 값이 곧 존 유형별 필요 존의 개수가 된다. 이것을 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$|a \cdot \Sigma_{zone1} + b \cdot \Sigma_{zone2}| - |c \cdot \Sigma_{zone3} + d \cdot \Sigma_{zone4} + e \cdot \Sigma_{zone5}| \approx 0 \quad (3)$$

〈표 3.9〉 존 부하 변화에 따른 기간 분류 (〈표 3.8〉의 일부)

+ : 냉방부하 = : 난방부하

존 유형	1	2	3	4	5
기간 2	+	+	-	-	-

3.5.2 최적화를 이용한 변수 도출

각 기간별로 여러 개의 조합을 도출하여 여러 기간이 공통적으로 갖는 조합을 구한다. 기간별 존의 조합을 계산하기 위한 최적화 툴은 여러 종류가 있지만 사칙연산 내의 정수형태의 변수를 반복적으로 바꾸어가면서 계산할 수 있는 Matlab을 이용하였다. 수식 (3)의 식의 변수 a, b, c, d, e 의 다섯 변수를 〈표 3.10〉과 같이 순차적으로 증가시키는 방식으로 반복 계산을 하여 0에 가까운 수를 구할 수 있다. 각 기간별로 0에 가까운 순서의 존 조합의 경우를 나열하였다.

〈표 3.10〉 수식 (3)의 변수 대입 방법 (예시)

변수	a	b	c	d	e
숫자 대입	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
	4	1	1	1	1
	5	1	1	1	1
	1	2	1	1	1
	2	2	1	1	1
	3	2	1	1	1

	5	5	5	5	5

각 기간별로 나열한 경우의 수 중에서 0에 가까운 값이 많이 나타나는 경우의 수를 찾는다. 이 경우의 수가 건물 전체의 존 조합의 경우가 된다. 도출한 존 조합의 경우를 이용하여 각 유형별 개수의 배수만큼 Energy Balancing 시스템을 적용하는 존으로 묶는다. 건물 전체의 존에 대해서 최대한 많은 수의 존을 Energy Balancing 시스템을 적용하는 존으로 설정한다.

3.6 클러스터링 기법을 이용한 존 부하의 유형별 분류

건물의 실제 존 부하가 대표부하의 유형 중 어떤 유형인지 판단한다. 건물의 실제 존 부하를 3.4절의 대표부하를 도출하는 방법처럼 하루 단위의 평균 부하로 나열한다.

부하가 대표부하 중 어떤 유형과 근접한지 판단한다. 판단 방법은 클러스터링 방법을 사용한다. 대표 부하들과 대상 부하 간의 분산 값을 이용하여 최소값이 되는 대표 부하를 구할 수 있고, 이 대표 부하가 존의 유형이 된다. 대표부하와 대상 부하간의 분산은 매 시간 발생하는 부하간의 편차를 이용하여 구하고, 이 값을 합산한다. 대상부하와 여러 대표 부하 간의 분산 값 중 최소가 되는 대표 부하가 대상부하가 속한 대표부하가 된다.

이러한 방법으로 모든 존을 대표부하가 속한 유형으로 분류하는 과정을 거치면 모든 존의 유형이 도출된다.

3.5절의 계산 결과를 바탕으로 Energy Balancing 시스템을 적용할 존을 선택한다.

3.7 소결

본 장에서는 Energy Balancing 시스템의 열적 특성을 고려하여 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 도출하였다. 건물의 연간부하를 이용하여 대표부하를 설정하고, Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 최대가 되는 조닝 방법을 제시하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) Energy Balancing 시스템의 열 순환 프로세스를 확인하였다. 냉방수요와 난방수요가 동시에 비슷한 시간에 발생하는 조건에서 Energy Balancing 과정을 수행할 수 있음을 확인하였다. 그리고 에너지의 공급과 생산량을 구하기 위해서 건물의 냉방부하 및 난방부하의 정보가 필요하다. 따라서 시스템의 조닝을 위한 존의 구분은 존의 열적 특성을 반영하여 수행한다.
- (2) Energy Balancing 시스템의 효율적 운전을 위해서는 냉방부하와 난방부하의 발생량과 발생시간에 대한 검토가 필요하다. 존에서 발생하는 부하의 구성요소를 이용하여 부하에 따른 존의 유형을 분류하였다. 존의 실내부하는 크게 외피부하와 내부부하로 구분된다. 외피부하는 외기와 온도차에 의해 발생하거나 일사량에 의해서 발생하며, 내부부하는 인체발열 또는 기기와 조명 사용에 따른 발열에 따라 달라진다. 건물의 물리적 조건 및 공간의 사용 패턴 및 밀도에 따라 외피부하와 내부부하의 영향을 받는 정도가 달라진다. Energy Balancing 시스템은 냉방부하와 난방부하의 발생량과 발생시간에 따라 생산량이 달라지므로, 건물에서 발생하는 부하의 발생량과 부하의 발생시간(발생주기)에 따라서 존의 분류기준을 설정하고, 이에 따라 부하 요소를

반영하여 유형별로 분류하였다.

(3) 도출한 존 유형을 기준으로 부하 유형에 따른 존의 연간 부하를 분류하였다. 연간 부하는 존의 부하요소에 따른 분류를 이용하였다. 연간 부하에 대해서 존별 열적 특성에 따른 대표 연간부하 데이터를 도출하였고, 존 유형별 특징이 반영된 대표 부하 5개를 선정하였다. 대표부하는 모델링을 통해 도출한 존 별 부하데이터를 보정하여 사용하였다. 그리고 대표 연간부하를 난방부하 발생기간과 냉방부하 발생기간으로 구분하여 나열하였다. 냉방부하를 +, 난방부하를 -로 두었을 때 존의 부호가 바뀌는 시각을 중심으로 연간 부하를 기간으로 나누었다. 연간 부하에 대해서 7개의 구간이 나타났다. 각 기간의 대표 부하 값을 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 간편하게 구할 수 있으며 이를 수식화 하였다.

(4) Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높은 존을 묶어서 해당하는 존에 대해서 Energy Balancing 시스템을 가동하고 그렇지 않은 존은 보조열원만을 이용하여 가동한다. 수식화된 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량을 이용하여 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높아지는 존의 조합에 대한 경우의 수를 도출하였다. 임의의 기간에 발생하는 난방부하의 합계와 냉방부하의 합계가 비슷한 크기일수록 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높음을 알 수 있다. 최적화를 이용해 기간별로 도출한 존의 조합 중 여러 기간을 포괄할 수 있는 조합을 구하였다.

(5) 건물의 실제 존 부하가 대표 부하의 유형 중 어떤 유형인지 판단하

기 위해서 클러스터링 방법을 이용하였다. 대표 부하의 그래프들과 대상 존 부하의 분산 값을 이용하여 최소값이 되는 대표구하를 구할 수 있고, 이 대표부하가 존의 유형이 된다. 일련의 과정을 통해서 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 수립하였다. 이 조닝 방법을 통해 건물의 존을 Energy Balancing 시스템을 이용하는 존과 보조열원만을 사용하는 존으로 구분할 수 있으며, 시스템의 효율적 이용을 통해 비용적인 측면의 효과가 있을 것으로 예상된다.

제 4 장 Energy Balancing 시스템을 위한 최적 조닝 방법의 적용 및 검증

4.1 개요

3장의 Energy Balancing 시스템을 위한 최적 조닝 방법이 Energy Balancing 시스템을 적용한 건물에 효과가 있는지 분석하기 위해 경제성 분석을 수행하였다.

시뮬레이션 프로그램 중 하나인 TRNSYS를 이용하여 중·대형 규모의 냉방부하와 난방부하가 동시에 발생하는 건물을 모델링 하였다. 모델링 한 건물의 존의 용도를 다양하게 구성하여 대표 부하의 유형별로 일정 개수의 존이 존재하도록 정의하였다.

존에서 발생하는 냉방부하 및 난방부하를 이용하여 유형별 대표 부하를 설정하였고, 최적화를 통해 Energy Balancing 시스템으로 생산한 열량의 비율이 높아지는 각 대표부하의 유형별로 필요한 존의 개수를 도출하였다. 존의 조합을 이용해 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존과 보조 열원을 사용하는 존을 구분하고, 부하 정보를 이용하여 시스템을 가동하였다.

시스템을 운영하기 위해 필요한 기기 용량과 시스템 가동시 발생하는 각 기기의 에너지 소비량을 계산하여 경제성 분석을 수행하였다. 비교 대상은 Energy Balancing 시스템을 건물 전체에 적용한 경우이다. 두 가지 경우의 시스템을 비교 분석하여 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝의 효과를 확인하고 효과가 발생하는 원인을 고찰하였다.

〈표 4.1〉 4장 연구순서

〈순 서〉	〈내 용〉
4.2	시뮬레이션 건물의 제원 및 공간 구획
4.3	Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법의 적용
	4.3.1 대표부하 도출
4.3.2	Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 최적화
4.4	LCC 분석을 이용한 조닝 방법의 검증

4.2 시뮬레이션 건물의 제원 및 공간구획

Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법의 검증을 위해 가상의 건물을 모델링하였다.

대상 건물은 지상 10층 높이의 주상복합용 대형 빌딩이다. 연면적은 16,560㎡이고, 건축면적은 1,656㎡이다. 건물의 장변은 46m, 단변은 36m, 층고는 5m로 설정하였다.

내주부와 외주부의 경계는 ASHRAE 90.1의 외주부 면적 산정을 위한 조닝 절차를 이용하여 구분하였다. ASHRAE 90.1에서는 조닝 절차에 대한 기준을 제시하여 계산하도록 제시하고 있으며 〈표 4.2〉²¹⁾와 같다. 1개 층의 전체 바닥면적은 1,656㎡이고 벽체면적은 820㎡ 이므로 Rc 값은 2.02 이다. Rc가 1.25보다 큰 공간이므로 내주부와 외주부의 구분이 필요한 공간이 된다. 그리고 외주부의 면적은 벽체면적에 1.25를 곱한 값인 1,020㎡이다. ASHRAE 90.1의 조닝방법에 의한 계산 값과 유사한 면적이

21) ASHRAE. ASHRAE Standard 90.1. 2010.

나오도록 건물을 설계한다. 그 결과 외피에서 8m 거리까지 외주부로 설정할 수 있고, 8m 보다 깊은 공간은 내주부가 되게 설계하면 기준 면적과 유사한 면적이 나타난다. 설계에 따른 외주부의 면적은 1,056㎡이고, 내주부의 면적은 600㎡이다.

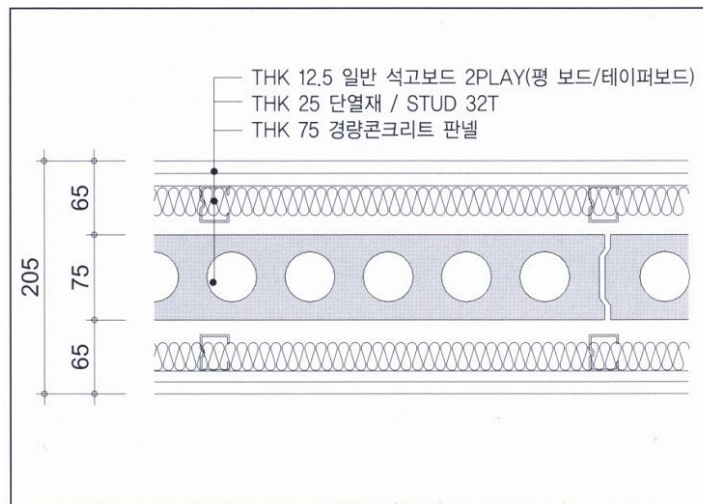
〈표 4.2〉 외주부 면적 산정을 위한 조닝 절차²¹⁾

계산 시에 입력할 Thermal zone에 대한 정보를 입력할 필요는 없지만, 계산이 수행될 때에는 아래의 절차에 따라 Thermal zone을 나누어야 한다.

- (1) space-conditioning category 각각에 대해 벽면 전체의 면적을 바닥면 전체의 면적으로 나눈 비(전체바닥면적/전체 벽면적, Rc)를 결정한다. Index “c” 는 비거주 상태, 거주 상태 또는 준거주 상태와 같은 space-conditioning category를 의미한다.
- (2) space-conditioning category와 wall orientation을 조합한 각각의 unique한 perimeter zone을 만든다. Perimeter zone의 바닥면적은 zone의 벽면 전체 면적에 Rc 또는 1.25를 곱한 값으로 하며, 둘중 작은 값을 선택한다.
- (3) Rc가 1.25보다 큰 space-conditioning categories에서는, interior zone을 형성하고 trade-off 절차를 사용한다. Interior zone의 바닥면적은 (2)에서 만든 space-conditioning category의 perimeter zone 바닥면적보다 작은 space-conditioning category의 전체면적이어야 한다.
- (4) space-conditioning category 각각과 관련된 지붕면적, 바닥면적, 지하매립 벽 면적과 바닥지지석판 perimeter는 바닥면적에 따라 zone에서 각각 할당된다.
- (5) 채광창은 space-conditioning category의 interior zone에 할당된다. 만약 채광창의 면적이 interior zone의 지붕 면적보다 크다면, 채광창은 면적은 interior zone의 지붕면적과 같게 하고, 남은 채광창의 면적은 바닥면적에 기초한 perimeter zones에 할당한다.

건물의 외피는 전체가 유리창으로 구성되어 있다. 에너지 절약 설계 기준에 따라 중부지역 공동주택 건물의 창 및 문이 외기에 직접 면하는 경우 $1.5W/m^2K$ 이하의 관류율을 가져야 한다.²²⁾ 따라서 외피에 해당하는 유리창은 기준을 충족하는 유리 중 선택하였으며, 여러 종류의 유리 중 24mm, 28mm 복층유리로 결정하였다.

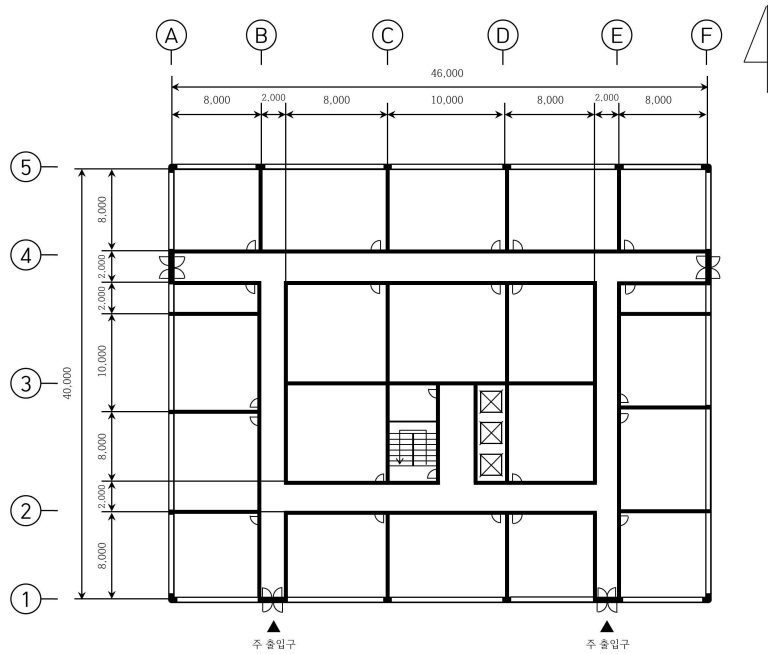
건물 내부의 벽체는 비슷한 규모의 주상복합 건물의 사례를 이용하여 설계하였다.²³⁾



[그림 4.1] 세대 간 벽 상세도²³⁾

22) 국토교통부, 건축물의 에너지 절약 설계기준, [별표 1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표, 2015.

23) 이용구. 아크로비스타 건설기록지. 대림산업주식회사, pp.295, 2004.



[그림 4.2] 모델 건물의 평면도

위의 건물 조건을 반영한 1개 층의 평면도는 [그림 4.2]와 같다. 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 건물을 모델링하고, 존 별로 냉방부하와 난방부하를 구하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위해 건물의 설정온도, 용도별 실내부하 특성 및 환기횟수를 정하였다. 건물 설정온도는 건축물에 일반적으로 적용하는 온도인 난방시 20℃, 냉방시 26℃로 설정하였고, 환기횟수는 시간 당 4회로 설정하였다.

존 용도별 내부부하는 여러 참고문헌의 자료를 이용하여 도출하였다. 우선 건물 내에 배치할 존의 용도를 결정하고, 존의 용도에 따라 각 부하요소의 기준 자료를 제시하였고, 시뮬레이션에서 활용할 수 있거나 가장 합리적이라고 판단되는 자료를 선택하여 부하 계산에 이용하였다.

건물 내에 배치할 존의 용도는 건물에서 많이 사용되는 용도의 실을 선

택하는 한편, 다양한 부하 패턴이 나타나서 존 별로 내부부하의 특성이 명확하게 구분될 수 있는 용도의 실을 추가하였다. 시뮬레이션 건물은 주상복합 건물이라 가정하고, 주거용 존과 사무실 존을 구분하였다. 그리고 내부부하의 단위면적 당 밀도가 상대적으로 높을 것으로 판단되는 식당과 상점을 배치하였다. 앞서 나열한 용도의 실은 부하패턴이 주기적으로 나타난다. 그러므로 연중 일정한 크기의 부하가 나타나는 실을 선택하여 일부 존에 할당하였다. 데이터 실은 기기밀도가 높고 연중 일정한 크기의 냉방부하가 발생하는 공간이다. 샤워실 및 목욕장은 급탕부하가 발생하는 공간으로 연간 일정한 크기의 부하가 발생하는 공간으로 가정하여 배치하였다.

내부부하는 인체 발열부하, 조명부하, 기기부하로 구성되어 있다. 각 부하 요소는 여러 종류의 참고 문헌 및 기준을 이용하여 설정하였다. 건물 용도에 따른 기준이 나타나서 용도에 따라 내부부하의 크기가 다르게 설정할 수 있게 설정하였다.

인체 발열부하는 ISO 7730의 자료²⁴⁾와 건축기계설비설계기준²⁵⁾의 자료를 이용하였다. ISO 7730에는 인체 활동에 따른 현열 및 잠열 발생량에 대한 자료가 있으며, 건축기계설비설계기준에는 실온 및 인체활동정도에 따른 현열 및 잠열 발생량에 대한 기준이 있다. 용도별 단위면적 당 재실자 수는 건축기계설비 설계기준의 유효 바닥면적당의 냉방부하 표의 자료²⁶⁾를 이용하였다. 설계시 재실 인원수를 정확히 파악할 수 없는 경우에는 1인당 점유면적 [$\text{m}^2/\text{인}$]을 유효 면적당 냉방부하를 구하는 산출조건에서 10m^2 당 재실자수를 이용하여 구한다.²⁵⁾

주거용 건물의 재실 스케줄은 서울시 건물에너지 자료²⁷⁾를 활용하였다.

24) ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment, 2005.

25) 국토해양부, 건축기계설비 설계기준, 제2장 공기조화 부하계산, p.47, 2010.

26) *Ibid*.

그리고 사무실, 상점, 식당의 실 용도별 재실 스케줄은 ASHRAE Standard 90.1-1989의 Building Schedule Percentage Multipliers²⁸⁾를 이용하여 정하였다. 데이터실과 급탕용 공간은 24시간 지속적으로 재실하는 것으로 가정하였다.

<표 4.3> 활동에 따른 인체 발열량 (ISO 7730)²⁴⁾

Activity	Total Heat Adjusted	Sensible Heat	Latent Heat
Seated at rest	100	60	40
Seated, very light writing	120	65	55
Seated, eating	170	75	95
Seated, light work, typing	150	75	75
Standing, light work or working slowly	185	90	95
walking 1.3m/s, light machine work	230	100	205
Bowling	280	100	180
Moderate dancing	375	120	255
Heavy work, lifting Heavy machine work	470	165	300
Heavy work, athletics	525	185	340

27) 조항문, 진상현, 김민경. 저탄소사회를 향한서울시 건물에너지 저감전략, p. 205, 2009.

28) ASHRAE, ASHRAE Standard 90.1-1989, pp.111-112, 1989.

<표 4.4> 인체에서의 발생열량 [W/인] (일부)²⁵⁾

작업 상태	실 온		26℃		24℃		21℃	
	예	전발생열	SH	LH	SH	LH	SH	LH
정좌	극장	102	62	41	67	35	76	27
경작업	학교	117	62	56	71	47	80	37
사무소, 경보행	사무실, 백화점	131	63	69	72	59	84	48
서고, 앉고, 경보행	은행	147	64	83	74	72	85	62
주로 착석상태	레스토 랑	162	72	90	83	79	94	62
착석작업	공장의 경작업	220	72	148	86	134	107	113
보통의 댄스	댄스홀	250	80	170	95	155	117	133
보행 (4.8km/h)	공장의 중작업	293	141	284	154	271	178	247

위의 자료들을 이용하여 대상 건물에 적용한 존의 용도별로 재실 인원의 인원 당 발생열량, 단위면적 당 재실인원 수, 재실 스케줄의 정보를 <표 4.5>와 같이 나타내었다.

〈표 4.5〉 실 용도별 인체 발열부하 기준 및 재실 스케줄

실 용도	한명 당 열량 (W/명)	단위면적 당 사람 수 (명)	재실 시간 (hour)
사무실	150 (가벼운 일)	0.2	08~22 (평일)
상점	185 (가벼운 일, 기립)	0.2	08~22
주거용	150 (가벼운 일)	0.3	00~08, 18~24 (평일) 24시간 (주말)
식당	170 (식사)	0.6	08~03
데이터실	100W (최댓값)	0	24시간
급탕	100 (휴식)		24시간 간헐적

건물 용도별 기기부하 즉, 실내 기구의 발열량은 건축기계설비 설계기준의 단위 바닥면적당의 난방부하 자료²⁹⁾를 이용하여 용도별 실의 기기 부하를 정의하였다. 데이터 센터는 기준이 존재하지 않으므로 데이터 센터의 부하패턴에 대한 연구³⁰⁾에서 사용한 단위면적 당 기기 열부하를 반영하였다. 급탕부하는 난방부하의 일종이므로 한국지역난방공사 열사용시설기준³¹⁾에서 건물 용도에 따른 단위 난방부하 기준 중에서 위락시설 (특수목욕장)에서 발생하는 단위 난방부하 기준을 이용하였다.

데이터실과 급탕용 공간을 제외한 나머지 공간에서의 기기 사용시간은 용도별 재실시간과 일치한다고 가정하였다. 그리고 데이터실과 급탕용 공간은 24시간 일정하게 운전되는 것으로 가정하였다.

사무실, 상점, 식당, 주거공간의 조명부하는 건축기계설비 기준³²⁾의 자

29) 국토해양부. 건축기계설비 설계기준, 제2장 공기조화 부하계산. p.47, 2010.

30) 조진균 외. “데이터센터의 합리적인 환경제어를 위한 부하패턴 분석 및 에너지 소비량 산정에 관한 연구”. 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집 pp.451-456, 2006.

31) 한국지역난방공사. 한국지역난방공사 열사용시설기준, 2000

32) 국토해양부. 건축기계설비 설계기준, 제2장 공기조화 부하계산. p.47, 2010.

료를 이용하였다. 데이터실과 급탕은 기준이 없으므로 사무실 공간과 유사한 전력 소비를 한다고 가정하여 20W/m²의 값으로 설정하였다.

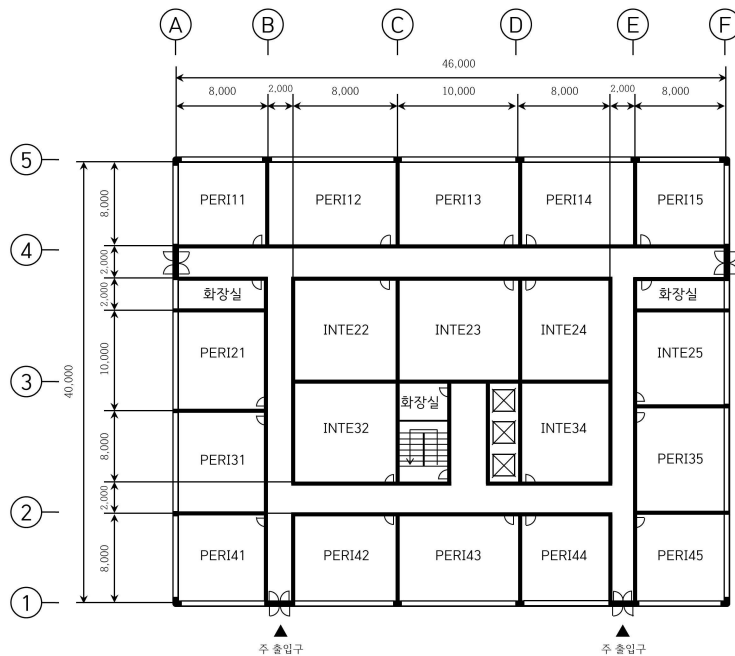
<표 4.6> 유효 바닥면적당 기기부하

실 용도	기기부하 (W/m ²)	
사무실	창없음	116
	북향	140
	서향	198
상점	사람의 출입이 많은 경우	209
	사람의 출입이 적은 경우	186
주거용	남향	221
	서향	267
식당	남향	233
	서향	430
데이터실	700 (서버 장비)	
급탕	128	

<표 4.7> 실의 단위면적당 조명소비전력

실 용도	조명부하 (W/m ²)
사무실	20
상점	40
주거용	20
식당	20
데이터실	20
급탕	20

존 별로 실내부하를 설정하기 위해 [그림 4.3]의 도면을 이용하여 존의 용도를 결정하였다. 존 별로 부하의 발생량과 발생시간에 따른 부하 유형이 명확하게 나타나게 하기 위해 내주부와 외주부를 구분하였다. 실제 주상복합 건물은 주거용으로 구성된 층과 상업용으로 구성된 층이 구분되므로 저층부에 상업용 공간인 상점, 식당, 사무실 등을 배치하였고, 고층부에 주거용 건물을 배치하였다. 그리고 내부부하가 지속적으로 발생하는 건물인 데이터실을 저층부에, 샤워장, 목욕실을 고층부에 배치하였다. 한 층에 20개의 존이 있으며, 총 200개의 존이 형성되었다. 용도별 실의 개수를 <표 4.8>과 같이 정리하였다. 존이 구분된 모델 건물을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 존 별 연간 난방부하와 냉방부하를 도출하였다.



[그림 4.3] 건물 존 별 용도 설정

〈표 4.8〉 건물 용도별 존의 개수 (개)

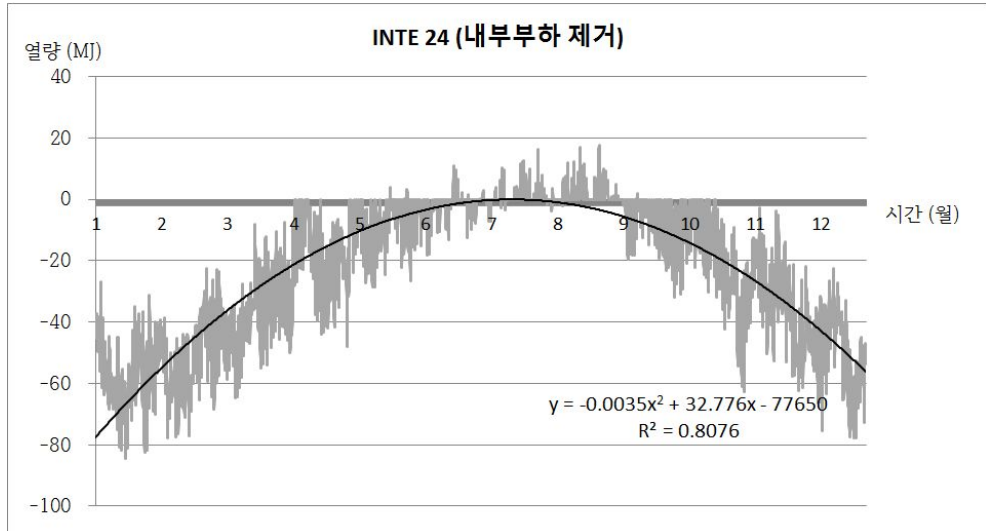
실용도	존 개수
사무실	60
상점	35
식당	18
데이터실	2
급탕용 (샤워실, 목욕장)	10
주거용	75
전체	200

4.3 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법의 적용

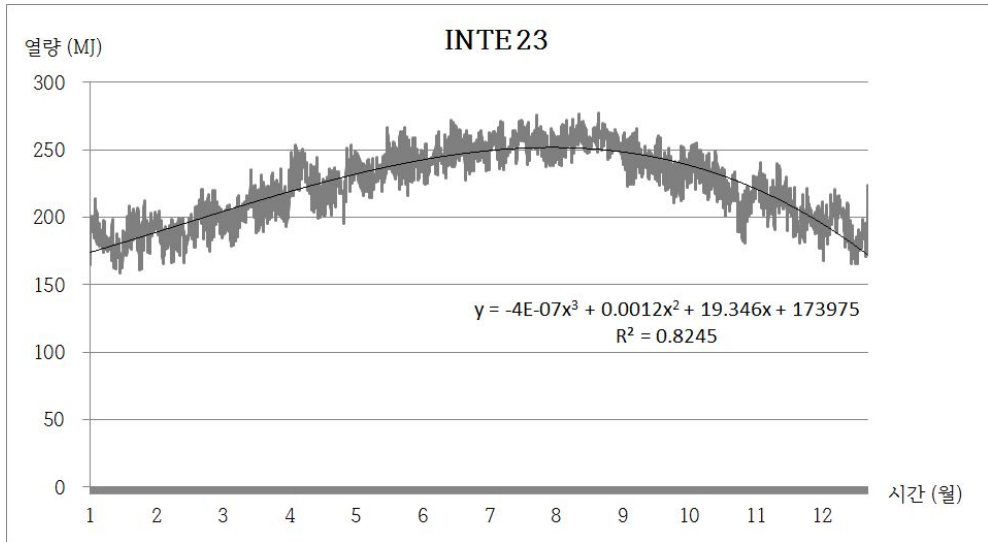
4.3.1 대표부하 도출

존 별 부하정보를 이용하여 대표부하를 도출하였다. 냉방부하를 양수로 난방부하를 음수로 설정하고, 1월 1일 0시부터의 연간 부하를 도출한다.

외피부하만 발생하거나 내부부하가 외피부하에 비해 커서 내부부하 중심의 부하가 발생하면 연간 부하의 시간 당 편차는 크게 나타나지 않는다. [그림 4.4]와 [그림 4.5]의 그래프와 같이 연간 부하를 보정하여 추세선을 나타내면 R^2 값이 비교적 높게나오기 때문에 추세선이 존 부하의 대표부하라고 판단할 수 있는 기준이 된다.

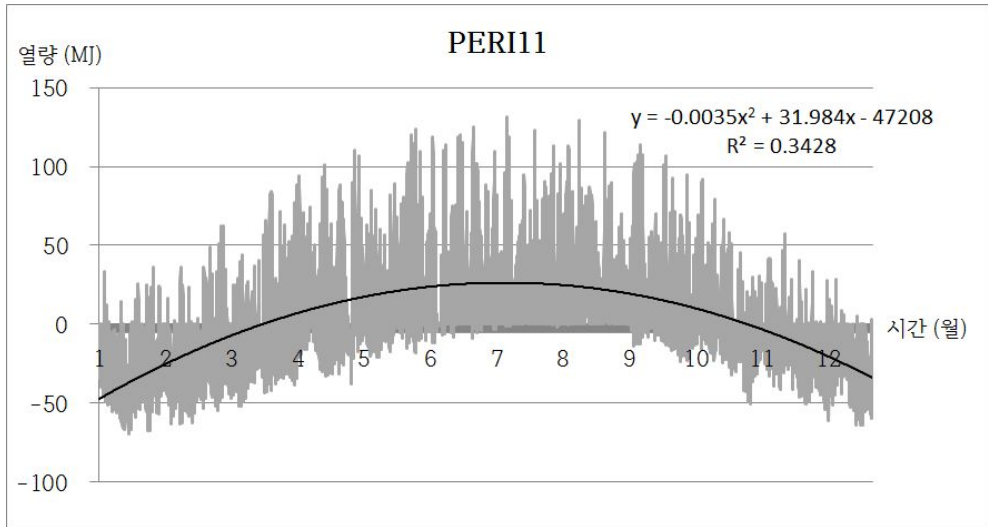


[그림 4.4] 내부부하를 제거한 Interior zone 24의 연간 부하 및 보정 값



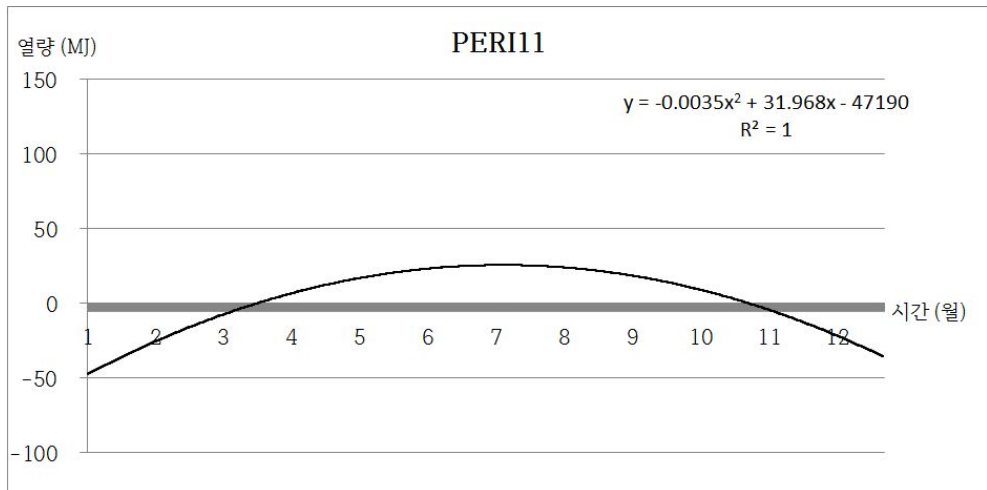
[그림 4.5] Interior 23 (데이터실)의 연간부하 및 보정 값

그러나 외피부하와 내부부하가 복합적으로 나타나면 부하 요소가 복합적으로 영향을 미친다. [그림 4.6]의 그래프는 Perimeter zone 11의 시간별 연간 부하이다. 매 시간별로 발생하는 부하는 재실 패턴과 외부 환경의 변화에 의해 편차가 크게 발생한다. 이 부하를 보정하면 2차 곡선의 형태로 나타나지만, R^2 값이 크게 나타나 보정된 곡선이 부하를 대표한다고 판단하기가 어렵다.



[그림 4.6] Perimeter zone 11의 연간부하 및 보정 값

그러므로 [그림 4.7]와 같이 하루 단위로 평균부하를 구하여 값을 단순화시켰다. [그림 4.7]의 그래프를 다시 보정하여 추세선으로 나타내면 2차 곡선의 형태가 된다. 이 2차 곡선은 R^2 값이 거의 1에 근접한 값이므로 하루 단위의 평균부하를 이용한 연간 부하는 2차 곡선의 형태를 띠는 것을 알 수 있다. 그리고 이 그래프가 존 부하를 대표한다고 할 수 있다. 또한 [그림 4.6]의 추세선과 [그림 4.7]의 추세선은 거의 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 [그림 4.6]의 연간부하 데이터를 통해 부하를 대표하는 보정 값을 추세선으로 나타낼 수 있음을 확인할 수 있다.

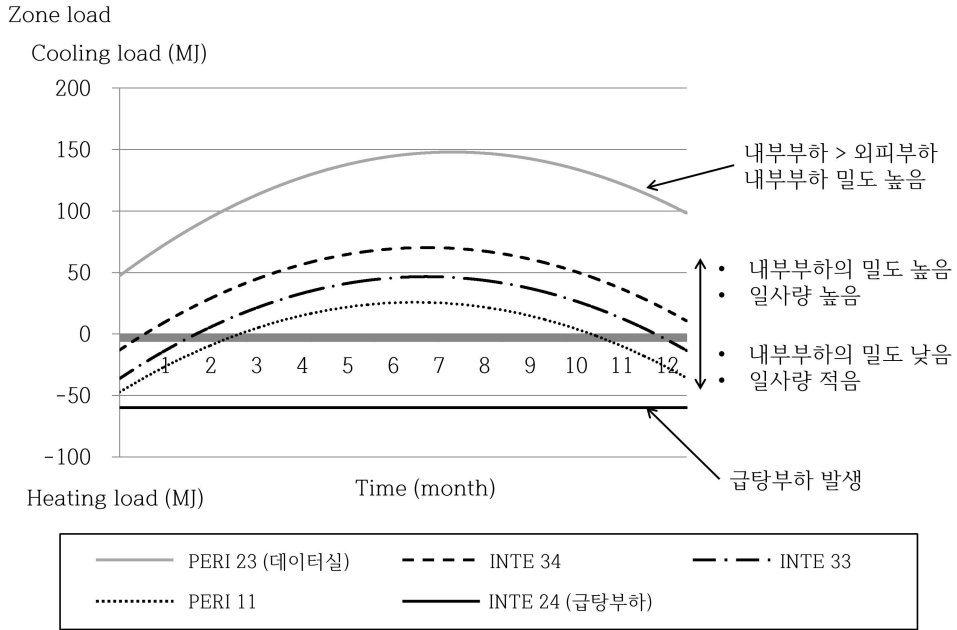


[그림 4.7] Perimeter zone 11의 하루 평균 부하에 대한 연간부하 및 보정 값

건물의 모든 존에 대해서 연간 부하를 보정하여 추세선으로 나타낸다. 존 별로 보정된 연간 부하 그래프 중 대표부하를 선정한다. 대표부하는 3.4절에서 도출한 존별 열적 특성에 따른 대표부하 선택방법을 이용하여 구하였다. 외피부하가 상대적으로 높은 존과 내부부하가 상대적으로 높은 존으로 구분하였다. 외피부하가 상대적으로 높은 존은 외피부하와 내부부하의 상대적인 크기에 의해서 구분하였다. 내부부하의 밀도가 높은 용도의 공간과 일사량이 상대적으로 높은 남측과 동측, 서측의 공간은 하나의 그룹으로 나눌 수 있다. 내부부하의 밀도가 낮아 외피부하의 크기가 상대적으로 높은 공간과 일사량이 상대적으로 적은 북측의 공간이 또 다른 하나의 그룹으로 나눌 수 있다.

내부부하가 상대적으로 높은 존은 냉방부하가 지속적으로 발생하는 공간인 데이터실과 식당, 그리고 급탕부하가 지속적으로 발생하는 공간인 목욕장 및 샤워실로 구분하였다.

3.4절의 <표 3.7>과 같이 다섯 종류의 대표부하를 선정하였다. 존의 연



[그림 4.8] 존 별 열적 특성에 따른 대표 연간부하

간 부하는 2차 곡선 혹은 상수형태의 비교적 일관된 형태의 부하가 크기만 다르게 나타나는 형태이므로 그래프 상 부하 그래프의 상대적인 높이 차에 의해 대표 부하를 선정할 수 있었다.

4.3.2 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 최적화

대표부하는 냉방부하의 발생시간과 난방부하의 발생시간을 기준으로 분류할 수 있다. 냉방부하의 발생을 +로 난방부하의 발생을 -로 구분하고, 부호가 바뀌기 전까지를 하나의 기간으로 설정한다. 이 방법으로 연간 부하에 대해서 기간을 구분하면 <표 3.9>와 같이 6개의 구간으로 나누어진다. 구간이 구분되는 시간은 1월 1일 0시부터 388시간, 1184시간, 1854시간 7285시간, 8284시간 후이다. 존 INTE 34 형태의 대표부하가 연말에

〈표 4.9〉 존 부하 변화에 따른 기간 분류

+ : 냉방부하 = : 난방부하

존 유형	INTE 23	INTE 34	INTE 33	PERI 11	INTE24
기간 1 (0~388h)	+	-	-	-	-
기간 2 (388~1184h)	+	+	-	-	-
기간 3 (1184~1854h)	+	+	+	-	-
기간 4 (1854~7285h)	+	+	+	+	-
기간 5 (7285~8284h)	+	+	+	-	-
기간 6 (8284~8760h)	+	+	-	-	-
기간 7 (없음)	+	-	-	-	-

난방부하로 바뀌는 구간이 없으므로 기간 7은 나타나지 않는다.

3.5절에서 도출한 수식 (4)를 이용하여 각 기간별로 최적의 존 조합의 경우를 도출한다. 수식 (4)에 들어가기 위한 각 존별 부하의 합계는 〈표 4.10〉과 같다. 각 기간별로 0에 가까운 실을 도출하기 위한 변수 a, b, c, d, e를 Matlab을 이용하여 반복계산한다.

0에 가까운 값을 도출할 수 있는 a, b, c, d, e 값을 찾으면 그 값이 해당 기간에 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량이 가장 높게 나

<표 4.10> 기간별 · 존별 냉방부하 및 난방부하의 합계 (MJ)

존 유형	INTE 23	INTE 34	INTE 33	PERI 11	INTE24
기간 1 (0~388h)	21,143	-2,468	-11,440	-15,907	-11,580
기간 2 (388~1184h)	60,126	9,609	-8,937	-19,484	-23,880
기간 3 (1184~1854h)	65,556	21,190	5,532	-4,617	-20,100
기간 4 (1854~7285h)	746,163	331,889	203,359	93,447	-162,930
기간 5 (7285~8284h)	121,249	35,889	11,911	-10,648	-30,000
기간 6 (8284~8760h)	502,11	8,399	-3,145	-13,903	-14,400

오는 유형 별 존의 개수가 된다. 즉, 변수의 도출을 통해 임의의 기간에 각 존이 조합되는 개수를 구할 수 있다. 반복계산 결과 도출한 조합의 경우를 각 기간별로 0에 가까운 순서대로 나열한다.

$$|a \cdot \Sigma zone1 + b \cdot \Sigma zone2| - |c \cdot \Sigma zone3 + d \cdot \Sigma zone4 + e \cdot \Sigma zone5| \approx 0 \quad (4)$$

0에 가까운 수부터 나열한 각 기간별 조합의 경우는 <표 4.11>과 같다.

<표 4.11> 기간 별 최적 조합 순위 (a, b, c, d, e)

순위	기간 1	기간 2	기간 3	기간 4	기간 5	기간 6
1	4,1,2,3,1	3,3,4,4,4	1,2,2,4,5	1,1,1,1,5	1,1,3,4,5	1,5,4,1,5
2	5,3,1,4,2	1,2,4,4,1	1,1,5,3,5	1,1,1,2,5	1,1,2,3,5	2,1,3,3,4
3	5,4,1,4,2	3,1,5,5,2	1,1,3,5,5	1,1,1,1,4	1,1,4,1,5	2,4,2,4,5
4	5,2,3,2,3	2,4,1,4,3	1,1,4,1,5	1,1,1,3,5	1,2,1,1,5	2,3,4,4,4
5	5,2,5,2,1	1,2,4,1,1	1,2,1,2,5	1,1,3,1,5	1,1,1,2,5	1,1,5,1,2
...

각 기간별 최적 조합순위를 반영하여 기간 전체를 통합한 부하에 대해서 유형 별 존 조합을 도출한다. 각 기간에서 높은 순위에 많이 나타나는 경우의 수를 사용한다. 존 조합의 경우는 (a, b, c, d, e) = (1, 1, 2, 4, 5) 이다. 즉, 냉방부하가 상대적으로 높은 대표부하 순으로, INTE 24 유형의 존 5개, INTE 11 유형의 존 4개, INTE 33 유형의 존 2개, PERI 23 유형의 존 1개, INTE 34 유형의 존 1개의 조합이다. 각 유형에 속한 존을 도출된 비율로 Energy Balancing 시스템을 적용하는 존에 편입한다.

조합 결과를 보면 INTE 24 존과 INTE 11 존이 다른 존에 비해 상대적으로 많이 필요한 형태로 도출되었다. INTE 24 존은 급탕부하가 발생하는 존의 대표부하이며, INTE 11 존은 주거용 공간으로 실내부하가 크지 않아 냉방부하의 비중이 상대적으로 낮은 대표부하이다. 계산 결과와 같이 난방부하의 비중이 상대적으로 높은 유형이 많은 개수로 묶인 이유는 대표부하들의 형태에 기인한다. 다섯 가지의 대표부하의 분포를 보면 냉방부하의 크기가 상대적으로 크게 나온다. 특히 데이터실의 용도로 쓰이는 INTE 23 존은 냉방부하만 지속적으로 높게 나온다. 이러한 대표부하

의 분포에 의해 난방부하의 비율이 높은 존이 조합에 많이 묶인다. 따라서 건물의 부하 분석 시 나타나는 대표부하의 분포에 의해서 조합의 경우는 달라지며, 또한 대표부하의 분포에 따라 조합의 경우가 어느 정도 예측 가능하다는 것을 알 수 있다.

건물의 존이 어느 유형에 속하는지 판단하기 위해 클러스터링 방법을 이용하여 분류하였다. 매 시간의 존별 부하와 대표부하의 편차를 이용하여 분산 값을 구하였고, 1년 (8,760시간)의 분산 값 8,760개를 합산하여 최소가 되는 대표 부하를 찾았다. 각 건물 유형에 속하는 존은 <표 4.12>와 같다.

Energy Balancing 시스템에 편입된 존은 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높은 것으로 판단한다. 그러므로 Energy Balancing 시스템을 가동하고 부족한 부하를 보조열원으로 가동한다. 한편, 조닝에 편입되지 못한 존은 보조열원에 의한 에너지 생산비율이 높은 것으로 판단한다. 그러므로 보조열원만을 이용해 부하에 대응한다.

<표 4.12> 대표부하에 속하는 존

대표부하	대표 부하에 속하는 존
INTE 23	INTE 32
PERI 34	PERI 25, PERI 31, INTE 42
INTE 33	PERI 13, PERI 15, INTE 22, PERI 35, PERI 43, PERI 44, PERI 45
PERI 11	PERI 12, PERI 21, PERI 41
INTE 24	PERI 14

4.4 Life cycle cost (LCC) 분석을 이용한 조닝 방법의 검증

본 절에서는 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝이 경제적인 효과가 있는지 검증한다. Energy Balancing 시스템이 적용된 동일한 건물에서 조닝 방법을 적용한 경우와 조닝 방법을 적용하지 않은 경우에 대해서 경제성 분석을 수행한다. 4.2절에서 모델링한 가상 건물을 이용한다.

조닝 방법을 적용한 경우는 4.3절의 조닝 방법을 적용하여 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존과 그렇지 않은 존을 정의한다. Energy Balancing 시스템이 적용되는 존에서 Energy Balancing을 가동하며, 보조 열원 및 시스템 미적용 존에서는 기존 시스템인 보일러와 냉동기를 가동하여 냉·난방 에너지를 공급한다.

조닝 방법이 적용되지 않은 경우는 동일한 건물을 대상으로 조닝을 하지 않고 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 적용한다.

우선, 조닝 방법을 적용하는 건물은 4.3절의 결과를 이용하여 대상 건물에서 Energy Balancing 시스템이 적용되는 공간을 정의한다. Energy Balancing 시스템에 적합하다고 판단되는 조합의 경우는 INTE 24 유형의 존 5개, INTE 11 유형의 존 4개, INTE 33 유형의 존 2개, PERI 23 유형의 존 1개, INTE 34 유형의 존 1개의 조합이다. 대상 건물은 10개 층에 총 200개의 존이 있다. INTE 24 유형의 존 20개, INTE 11 유형의 존 40개, INTE 33 유형의 존 80개, PERI 23 유형의 존 40개, INTE 34 유형의 존 20개이 있으므로, 조합을 고려하면 INTE 24 유형의 존 20개, INTE 11 유형의 존 16개, INTE 33 유형의 존 8개, PERI 23 유형의 존 8개, INTE 34 유형의 존 4개를 Energy Balancing 시스템이 가동되는 공간으로 정할 수 있다. 이를 표로 정리하면 <표 4.13>과 같다.

〈표 4.13〉 건물 유형별 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존 개수

유형	INTE 24	INTE 11	INTE 33	PERI 23	INTE 34
존 조합	5	4	2	1	1
대상 건물의 유형별 존 개수	20	40	80	40	20
Energy Balancing 시스템이 적용되는 존 개수	20	16	8	8	4

초기 비용은 Energy Balancing 시스템과 보조 열원의 열원 장비 비용 합계이다. Energy Balancing 시스템은 수열원 히트펌프를 이용하여 냉방 에너지 및 난방에너지를 공급한다. 보조열원은 보일러로 난방 에너지를, 냉동기로 냉방에너지를 공급한다. Energy Balancing 시스템에 적용되는 축열조는 모든 경우 계산의 용이성을 위해 동일한 제원의 기기를 적용하였다. 각 기기의 제원은 조달청의 자료를 이용하였으며, 〈표 4.14〉와 같다.

각 시스템 별로 공급한 연간 생산 열량 중 피크 부하 값과 시스템의 기기별 효율을 이용하여 기기 소모 동력을 구하였다. 그리고 기기 소모 동력을 바탕으로 〈표 4.15〉와 같이 각 기기 설치대수를 구하고, 이를 비용으로 다시 환산하여 초기 비용을 도출하였다.

<표 4.14> 시스템 적용 기기 제원

	난방열량 (kW)	냉방열량 (kW)	소요동력 (kW)	가격 (원)
히트펌프	618	492	128	98,000,000
보일러	5,388	·	·	153,065,000
냉동기	·	1,054	351	190,000,000

<표 4.15> 조닝 수행에 따른 기기 소요 대수 (대)

	조닝 수행	조닝 미수행
히트펌프	2	5
보일러	1	1
냉동기	5	4

운전비는 기기가 소요한 연간 소비 열량을 구하였다. 열원의 효율을 반영하여 각 열원이 생산한 열량을 이용하여 소비 동력을 구하였다. 히트펌프 및 냉동기에 사용된 전기요금은 한국 전력공사의 사무실 용도의 요금 산정법을 이용하여 계산하였다. 가스요금은 한국 도시가스협회의 요금자료를 기준으로 설정하였다. 대상 기간 동안의 전체 에너지 비용은 연간 에너지 소비량에 실질 이자율을 반영하여 계산하였다. 실질 이자율은 2005년부터 2014년의 10년간의 물가상승률과 시장금리를 평균하여 계산하였으며, 그 값은 3.02%이다.

Life Cycle Cost (LCC) 분석을 위해 대상 기간을 설정하였다. 기기의 내용연수는 9년 ~ 11년 내외 였기 때문에 10년 주기로 기기를 교체한다고 가정한다. 동일한 주기로 시스템을 교체하므로 분석 기간은 10년으로 설정하였다.

분석 방법은 동일한 기간에 대해서 분석하는데 많이 사용되는 현가법을 사용하였다. 미래에 발생하는 현금흐름의 현재가치 P는 n 년 후에 발생하는 비용에 현가 계수를 곱한 값으로 식 (5)와 같다. 또한 매년 동일하게 비용이 발생하는 경우 다음과 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

(P : 미래 비용의 현재가치, F : n 년후에 발생하는 비용, i : 이자율, n : 년 수)

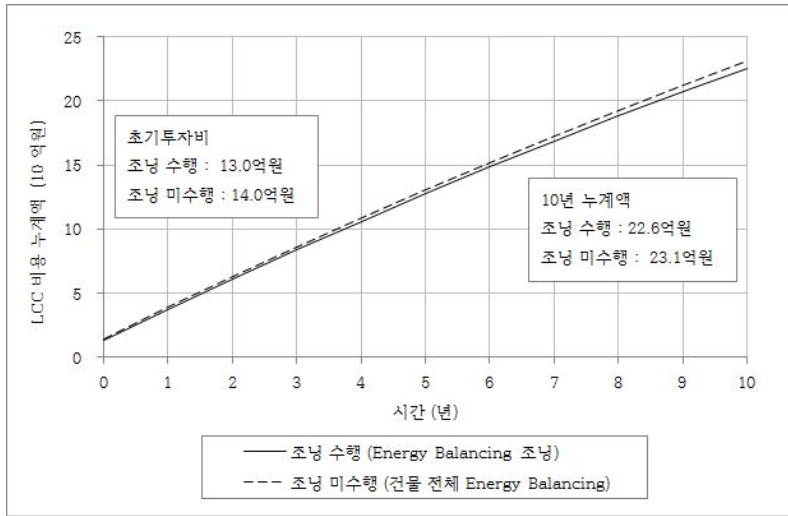
$$P = A \times \frac{(1+i)^n}{i \times (1+i)^n} \quad (6)$$

LCC 분석 결과 [그림 4.9]와 <표 4.16>과 같이 나타났다. 시뮬레이션 건물에서 조닝을 수행하여 시스템 적용이 유리한 존만 Energy Balancing 시스템을 가동한 경우는 조닝을 수행하지 않아 건물 전체를 Energy Balancing 시스템을 가동한 경우보다 경제성이 높음을 확인하였다. 전체 비용은 초기투자비와 운영비 모두 조닝을 수행한 경우가 유리한 것으로 나타나 약 2.3%의 비용저감 효과가 발생하였다.

<표 4.16> 조닝 수행 여부에 따른 초기투자비와 연간 운전비

(단위 : 원)

	조닝 수행	조닝 미수행
초기투자비 (원)	1,299,065,000	1,403,065,000
연간운전비 (원)	2,497,855,941	2,549,390,077



[그림 4.9] 조닝 수행 여부에 따른 10년간의 누계액

<표 4.17> 조닝 수행여부에 따른 10년간의 누계액 및 차액

(단위 : 원)

경과 년수	조닝 수행	조닝 미수행
0	1,299,065,000	1,403,065,000
1	3,723,603,905	3,877,625,412
2	6,076,977,774	6,279,552,557
3	8,361,275,443	8,610,978,366
4	10,578,524,435	10,873,972,195
5	12,730,692,763	13,070,542,656
6	14,819,690,672	15,202,639,409
7	16,847,372,341	17,272,154,885
8	18,815,537,523	19,280,925,968
9	20,725,933,145	21,230,735,628
10	22,580,254,859	23,123,314,498
차액	-543,059,640	
비율	97.7%	100%

이 결과는 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 과정이 비용 측면에서 효과가 있음을 암시한다.

조닝을 하면서 Energy Balancing 시스템을 구성하는 열원인 히트펌프의 필요 용량이 감소하게 되는 동시에 보조 열원인 냉동기의 필요 용량은 증가하였다. 하지만 냉동기의 용량 증가에 비해 히트펌프의 용량 감소의 폭이 크게 되어 전체 열원의 소요 대수가 감소하였고, 이것이 초기 비용의 감소효과를 가져왔다. 이러한 효과의 원인은 기기의 과다 설계되는 부분이 감소하기 때문이라고 판단된다.

연간 운영비도 조닝을 하면서 감소하였다. 조닝을 수행하면서 Energy Balancing 시스템의 용량이 감소하였고, 상대적으로 보조열원인 냉동기의 용량이 늘어났다. 같은 이유로 히트펌프에서 사용되는 전력 요금은 감소하고, 냉동기에서 사용되는 전력요금과 보일러에서 사용되는 가스요금은 증가하였다. 이러한 이유로 연간 운영비의 차이는 크지 않으나, 히트펌프의 전력요금 감소폭이 상대적으로 더 높아 전체 연간 운영비는 감소하게 되었다.

비용 분석의 결과를 토대로 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝의 경제적인 효과를 검증하였고, 경제적 측면의 이익이 있음을 확인하였다.

4.5 소결

본 장에서는 3장에서 도출한 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법이 경제적인 측면에서 효과가 있는지 검증하기 위하여 임의의 모델링한 건물을 대상으로 검증하였다. 조닝을 적용하여 일부 존에만 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우와, 조닝을 적용하지 않아 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우로 나누어서 경제성 분석을 수행하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) TRNSYS를 이용하여 가상의 건물을 모델링 하였다. 대상 건물은 복합적인 용도의 연면적 $16,560\text{m}^2$ 규모의 주상복합 건물이다. Energy Balancing 시스템의 열적인 특성을 고려한 분석을 수행하기 위해 건물의 내주부와 외주부의 구분을 명확히 하였으며, 각 존별로 열적인 특성을 명확히 구분하기 위해 내주부와 외주부의 각 존에 용도를 명확히 규정하였다. 존의 용도에 따른 실내부하는 여러 종류의 기준을 활용하여 도출하였고, 존의 방위별, 위치별로 외피부하와 내부부하가 달라지는 양상을 확인하기 위해 한 층에 다양한 용도의 실을 배치하였다.
- (2) 3장의 방법을 이용하여 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝을 수행하였다. 존 별 부하정보를 이용하여 냉방부하와 난방부하의 발생 기간에 따라 구분되는 다섯 가지 유형의 대표부하를 도출하였다. 도출한 대표부하를 이용하여 부하 발생 양상에 따라 1년을 기간으로 구분하였으며, 각 기간별로 최적 존 조합의 경우를 도출하였다. 최적 존 조합의 경우는 Matlab을 이용하여 정수화된 계수를 바꾸면서 반복계산

을 하여 구하였다. 그리고 각 기간별로 높은 순위에 나타나는 경우의 수를 도출하여 전체 기간에 대해서 존의 조합을 구하였다. 이 존의 조합을 이용하여 각 대표부하에 속하는 존을 편입시키는 과정을 통해 Energy Balancing 시스템을 적용할 존과 보조 열원만을 적용할 존을 구분하였다.

(3) Energy Balancing 시스템을 위한 조닝이 경제적인 효과가 있는지 검증하기 위하여 동일한 건물을 대상으로 조닝 방법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 LCC 분석을 통해 비교하였다. 조닝 방법을 적용한 경우, 4.2절에서 시뮬레이션으로 모델링한 건물에서 4.3절의 조닝 방법을 이용하여 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존과 그렇지 않은 존을 정의하였다. Energy Balancing 시스템이 적용되는 존에서는 히트펌프를 이용하여 Energy Balancing을 가동하였으며, 보조열원 및 시스템 미적용 존에서는 기존 시스템인 보일러와 냉동기를 가동하여 냉·난방 에너지를 공급하였다. 조닝 방법이 적용되지 않은 경우, 동일한 건물을 대상으로 조닝을 하지 않고 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 적용하였다. 그 결과 초기비용과 운영비 측면 모두 Energy Balancing 시스템의 조닝을 적용한 경우가 경제적인 이익이 있음을 확인 하였고, 10년 동안 약 2.75%의 생애주기 비용 저감 효과가 있었다. 이를 통해 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝의 효과를 검증할 수 있었다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 Energy Balancing 시스템의 열적 특성을 고려하여 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 도출하고, 그 경제성을 분석하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 Energy Balancing 시스템의 원리 및 열적 특성에 대해 고찰하였고, 시스템을 적용한 건물에서 Energy Balancing 계산 프로세스에 대한 조사를 하였다. Energy Balancing 시스템의 열적 인 특성을 고려하여 부하의 발생량 및 발생시간에 따라 건물의 존을 유형별로 분류하였다. 각 유형의 대표부하를 이용하여 난방부하와 냉방부하의 변화에 따라 1년의 기간을 구분하였다. 각 기간에서 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높아지는 경우가 되는 대표부하의 조합을 찾기 위한 식을 도출하였다. 이 식을 이용하여 Matlab 을 이용하여 반복계산을 수행하여 각 기간별로 최적 값을 찾았고, 기간을 통합하여 Energy Balancing 시스템을 적용하기 적합한 존의 조합의 경우를 찾았다. 이 조합을 이용하여 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존과 보조열원만을 가동하는 존을 구분할 수 있었다. 그리고 조닝 방법의 적용 여부에 따른 경제성 분석을 수행하여 조닝 방법이 경제적인 효과가 있는지 검증하는 과정을 거쳤다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) Energy Balancing 시스템은 건물 내부에서 발생하는 열의 교환을 통해 냉방 수요와 난방 수요를 동시에 충족하는 시스템이다. 동시에 일정한 냉열과 온열을 생산하는 시스템이므로 난방수요와 냉방수요가 불균등하게 발생하는 경우 축열조를 통해 에너지 저장을 하거나,

보조 열원을 통한 외부에서의 에너지 공급을 통해 불균등한 수요에 대응할 수 있다. Energy Balancing 시스템의 열적인 특성에 의해 냉방수요와 난방수요가 동시에 비슷한 시간에 발생하는 조건이 시스템 가동에 유리하다. 하지만 실제 건물은 냉방수요와 난방수요가 항상 비슷한 크기로 발생하지 않기 때문에 시스템을 적용하기 위해서는 열적인 특성을 고려하여 적용하여야 한다.

(2) 건물 내 각 존의 열적 특성을 고려하여, Energy Balancing 시스템을 가동하는 존과 보조열원만을 가동하는 존으로 분류하였다. 존에서 발생하는 부하의 구성요소를 분석하여 부하 특성에 따라 존의 유형을 분류하였다. 존에서 발생하는 실내부하는 외피부하와 내부부하로 구분되는데, 각 부하의 발생량과 발생시간에 따라서 존의 유형에 따른 차이가 발생한다. 외피부하는 외기와의 온도차에 의해 발생하거나, 일사량에 의해서 발생하며, 내부부하는 인체발열 또는 기기와 조명 사용에 따른 발열에 따라 달라진다. 이러한 부하의 특성에 따라서 존을 분류하는 기준을 설정하였다. 존의 부하 발생량 크기와, 부하 발생 주기의 패턴에 따라서 총 네 가지의 분류 기준을 설정하였다. 이를 바탕으로 다섯 종류의 대표 연간부하를 도출하였다. 대표 연간부하는 대량의 난방부하가 발생하는 존, 대량의 냉방부하가 발생하는 존, 내부부하 중심의 외기 영향을 일부 받는 존, 외피부하 중심의 실내 영향을 일부 받는 존, 외피 부하와 실내부하 모두 적게 발생하는 존의 다섯 종류로 구분할 수 있다.

(3) Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량 계산의 단순화를 위해, 연간 대표부하를 보정하였다. 부하의 변동을 기준으로 1년을 일

곱 기간으로 분류하였다. 대표 부하 별로 난방부하에서 냉방부하로, 냉방부하에서 난방부하로 변동되는 시간이 발생하는데 그 시간을 중심으로 기간을 분류하였다. 각 기간에서 발생하는 냉방부하 합계와 난방부하의 합계를 이용하면 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량을 간단하게 계산할 수 있다. 냉방부하의 합계와 난방부하의 합계 중 더 작은 값이 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 크기가 된다. 그러므로 냉방부하의 합계와 난방부하의 합계의 차이가 적을수록 Energy Balancing 시스템으로 생산하는 열량의 비율이 높아진다. 이 원리를 이용하여 각 기간에 대표부하를 조합하여 냉방부하와 난방부하의 차가 0에 근접하는 경우를 구한다. 각 기간별로 Matlab을 이용한 반복계산을 하여 0에 근접한 경우에 대한 순위를 도출하였다. 최적화를 이용해 기간별로 도출한 존의 조합 중 여러 기간을 포괄할 수 있는 조합을 구하였다. 이 조합을 실제 건물에 반복 적용하여 조닝을 수행하였다.

(4) 클러스터링 방법을 이용하여 임의의 존이 어떤 대표부하에 속하는지 판단하였다. 대표 부하의 그래프들과 대상 존 부하의 분산 값을 이용하여 최소값이 되는 대표부하를 구할 수 있으며, 이 대표부하가 존의 유형이 된다. 일련의 과정을 통해서 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 수립하였다. 이 조닝 방법을 통해 건물의 존을 Energy Balancing 시스템을 이용하는 존과 보조열원만을 사용하는 존으로 구분할 수 있으며, 시스템의 효율적 이용을 통해 비용적인 측면의 효과가 있을 것으로 예상된다.

(5) 조합이 경제적인 효과가 있는지 검증하기 위해 TRNSYS를 이용하

여 다양한 용도의 존이 분포된 주상복합 건물을 모델링하였다. 조닝을 적용하여 조합에 해당하는 존만 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우와, 조닝을 적용하지 않아 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 가동하는 경우로 나누어서 경제성 분석을 수행하였다. 본 연구에서 제시된 방법을 이용하여 다섯 가지 유형의 대표부하를 도출하였고, Matlab을 이용한 반복된 계산을 통해 최적 조합의 경우를 구하였다. 각 대표부하에 해당하는 존을 최적 조합의 경우에 맞춰서 건물에 적용하였고, 이를 통해 Energy Balancing 시스템이 적용되는 존과 보조열원이 적용되는 존을 구분하였다.

(6) Energy Balancing 시스템이 적용되는 존에서는 히트펌프를 이용하여 Energy Balancing을 가동하였으며, 보조열원 및 시스템 미적용 존에서는 기존 시스템인 보일러와 냉동기를 가동하여 냉·난방 에너지를 공급하였다. 조닝 방법이 적용되지 않은 경우, 동일한 건물을 대상으로 조닝을 하지 않고 건물 전체에 Energy Balancing 시스템을 적용하였다. 그 결과 초기비용과 운영비 측면 모두 Energy Balancing 시스템의 조닝을 적용한 경우가 경제적인 이익이 있음을 확인하였고, 10년 동안 약 2.75%의 생애주기 비용 저감 효과가 있었다. 이를 통해 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝의 효과를 검증할 수 있었다.

이상의 내용에서 존의 열적특성을 고려한 Energy Balancing 시스템을 위한 조닝 방법을 논의하였고, 경제성 분석을 통해 조닝 방법의 효율 여부를 검증하였다. 본 연구는 Energy Balancing 시스템의 열적 특성을 고려하여 실제 건물에 시스템을 적용하였을 때, 보다 경제적으로 설계될

수 있는지에 대한 방안을 도출하는 것을 목표로 하였다. 건물의 열적 특성은 건물의 물리적인 특성뿐만 아니라 외부환경과 이용 방법에 따라서도 달라진다. 그러므로 존에서 발생하는 부하의 열적 특성을 면밀히 검토하여 Energy Balancing 시스템을 적용하기에 효과적인 환경인지 분석하는 것을 하였고, 아울러 비용 측면에서도 효용이 있는지 검증하는 과정을 거쳤다. 추후 본 연구를 확장하여 계절적인 특성에 대한 고려와 같은 보다 정밀한 열적 특성을 검토한다면 보다 정밀하고 효율적인 시스템 설계가 가능할 것이다. 또한 Energy Balancing 시스템의 제어 방안을 발전시켜 시스템이 가동되기에 효과적인 기간을 설정할 수 있다면 시스템 사용 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부. 건축기계설비기준. 2010.
2. 국토해양부. 건축기계설비 설계기준. 제2장 공기조화 부하계산, p.47, 2010.
3. 국토교통부. 건축물의 에너지 절약 설계기준. [별표 1] 지역별 건축물 부위의 열관류율표, 2015.
4. 김민기 외. “Economic feasibility considering capacity of thermal storage tank for Energy Balancing System”, 6th International Building Physics Conference, 2015.
5. 김영일. 『TRNSYS Advanced』. 솔루젠, 2013.
6. 김영탁. “공동주택의 에너지 소비량을 예측하기 위한 대표일 난방 부하모델 개발에 관한 연구”. 대한건축학회논문집 21권 11호, 2005, pp.287-294.
7. 박화춘, 정모. “호텔, 병원, 업무용 건물의 에너지 부하 특성 비교”. 설비공학논문집 제21권 제10호, 2009, pp.553-558.
8. 신대욱 외. “A study on an Energy Balancing system and control strategy”. In: Proceedings of the second international conference on building energy and environment, 2012.
9. 신대욱 외. “Development of evaluation method for Energy Balancing System in super-large complex buildings”. Proceedings of the ISES 2011; 2011.
10. 에너지 관리공단. 냉·난방부하의 계산서 작성자료
11. 윤성민. 『TRNSYS Basic』. 솔루젠, 2013.
12. 이승재. “복합부하가 발생하는 건물을 위한 축열식 히트펌프 시스템

- 구성 및 제어방안” . 서울대학교 대학원 공학석사학위논문, 2013.
13. 홍희기, 강용태 역. 『열펌프 공기조화 시스템(일본 적력공조연구회)』 . 성안당, 2002.
 14. 조진균, 홍민호, 성노천, 정차수, 김병선. “데이터센터의 합리적인 환경제어를 위한 부하패턴 분석 및 에너지 소비량 산정에 관한 연구” . 대한설비공학회 동계학술발표대회 논문집 pp.451-456, 2006.
 15. 조항문, 진상현, 김민경. 『저탄소사회를 향한서울시 건물에너지 저감전략』 , p. 205, 2009.
 16. 한국지역난방공사. 한국지역난방공사 열사용시설기준, 2000
 17. ASHRAE, 『ASHRAE Standard 90.1-1989』 . pp.111-112, 1989.
 18. ASHRAE. 『ASHRAE Standard 90.1-2010』 . 2010.
 19. ASHRAE. 『ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment』 . 2012, pp.9.18-9.21.
 20. ISO. 『ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment』 , 2005.
 21. K.S.Y. Wan, F.H.W. Yik. “Representative building design and internal load patterns for modelling energy use in residential buildings in Hong Kong” . Applied Energy 77, 2004, pp.69-85.
 22. Linda Pedersen, Jacob Stang, Rolf Ulseth. “Load prediction method for heat and electricity demand in buildings for the purpose of planning for mixed energy distribution systems” . Energy and Buildings 40, 2008, pp.1124-1134.
 23. Linda Pedersen. “Use of different methodologies for thermal load and energy estimations in buildings including meteorological and sociological input parameters” . Renewable and Sustainable Energy

- reviews 11, 2007, pp.998-1007.
24. Paul Byrne, et al. “Experimental study of an air-source heat pump for simultaneous heating and cooling – Part 1: Basic concepts and performance verification” . Applied Energy 88, 2011, pp.1841-1847.
 25. Philip C.H. Yu, W.K. Chow. “Energy use in commercial buildings in Hong Kong” . Applied Energy 69, 2001, pp.243-255.
 26. Runming Yao, Koen Steemers. “A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK” . Energy and Buildings 37, 2007, pp.663-671.
 27. J. Sarkar, Souvik Bhattacharyya. “Simulation of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications. International Journal of Refrigeration, 2006, pp. 735-43
 28. <http://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=30522>

ABSTRACT

A Zoning Method for Energy Balancing System considering thermal characteristic of building zone and economic feasibility

By Kim, Min Gi

Department of Architecture and Architectural Engineering

Master' s Course in the Graduate School of

Seoul National University

Advised by Professor Yeo, Myoung Souk

2016. 2.

A building occur heating load and cooling load simultaneously as building scale is larger than that of past time. Several systems are developed to reduce heating and cooling energy consumption for this large scale building. Energy Balancing system is one of this system which can supply heating and cooling energy.

Energy Balancing system can supply heating and cooling at the same time. Using refrigeration cycle, this system extracts heat from cooling demand zone and supply this heat to heating demand zone. Evaporator

extracts heat from cooling demand zone and condenser supplies heat to heating demand zone.

However, Energy Balancing system can be operated when all heating load and cooling load exist in the building. For this reason, if the amount of heating load and cooling load occur similarly and the occurrence time of heating load and cooling load also occur similarly, ratio of heating and cooling production Energy Balancing system can increase.

In this study, thermal condition of zone is deduced for operating efficiently of Energy Balancing system. In addition, zone combination method is developed as is set the system operating range in a building.

First, thermal characteristics of zones are analysed. Using analyzed data, building zones are classified by thermal condition; the amount of heating and cooling loads occurrence and the occurrence time of the loads. Second, zones which are adapted Energy Balancing system are found by a method which combine types of zone. Optimization by Matlab is used for the combination method. Lastly, economic analysis is conducted for validating the zoning method of the study.

The results from this research are summarized as follow :

(1) Energy Balancing system meets heating demand and cooling demand at the same time by displacing heat of inside of a building. For operating the system, it needs to both heating demand and cooling demand. For this reason, heating demand and cooling demand are

considered for adapting Energy Balancing system.

(2) Considering heat characteristics of a building, zones are divided into zones which are operated Energy Balancing system and zones which are operated auxiliary system. Heating and cooling load occurred zone are classified envelope(external) load and internal load. Zones can be classified by the amount of load and load occurrence time. As classification criteria, 4 classes are set and 5 zone load profiles are deduced; zone of large amount of heating load is occurred, zone of large amount of cooling load, zone of majority of heat gain from internal load, zone of majority of heat gain from envelope heat gain and small amount of load zone.

(3) To simplify heat produced by Energy Balancing system, 5 zone load profiles are simplified using fitting tool. Using 5 fitted load profiles, a year is divided into 7 time zones as heating load and cooling load alteration. In each zone, heat produced by Energy Balancing system can be simply calculated sum of heating load and cooling load. The amount of heat produced by Energy Balancing system is less value of sum of heating load and sum of cooling load. Therefore, the lesser discrepancy of sum of heating load and cooling load, the better ratio improvement of heat produced by Energy Balancing. Using this principle, zone load profiles are combined. a combination is deduced from several combinations from several time zones using optimization. This combination is adapted to a building and conduct zoning.

(4) Economic analysis is conducted for validating the zone combination. A large complex building is modeled by TRNSYS. Two cases are analyzed; whether the zoning method is adapted or not. As a result, both initial cost and operation cost are more economic when adapting zoning method.

Keywords : Energy Balancing system, Heating load, Cooling load,
Zoning, Zone combination, Economic analysis

Student Number : 2014-20511