

第 114 回 碩士學位論文
指導教授 朴 辰 哲

공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 연구
: 자동차공장을 중심으로

A Study on the Energy Conservation Strategies
in Factory Building
: Focusing on Automotive Factory Building

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
蔡 敏 洙

2011年 2月

공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 연구
: 자동차공장을 중심으로

A Study on the Energy Conservation Strategies
in Factory Building
: Focusing on Automotive Factory Building

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2011年 2月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
蔡 敏 洙

蔡敏洙의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長

이 연구

審査委員

권영림

審査委員

朴辰哲



中央大學校 大學院

2011年 2月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
제 2 장 공장건물의 에너지 절약기법에 관한 고찰	5
2.1 건물에너지 영향요소 및 절약기법 고찰	5
2.1.1 건물에너지 종류	5
2.1.2 건물에너지 영향요소	6
2.1.3 건물에너지 절약기법	9
2.2 공장건물의 에너지 영향요소 및 절약기법 고찰	19
2.2.1 공장건물의 정의 및 분류	19
2.2.2 자동차공장의 생산 공정	20
2.2.3 공장건물(자동차공장)의 환경적 특성	21
2.2.4 친환경 자동차공장 사례조사	29
2.3 공장건물의 주요 에너지 영향요소 및 절약 기법 도출	33
2.4 소 결	34
제 3 장 대상건물의 에너지 성능평가 및 에너지절약요소 선정	36
3.1 대상공장건물 개요	36
3.2 대상건물지역 기후분석	37
3.2.1 평균 온 · 습도	37
3.2.2 일사량	38
3.2.3 풍향 · 풍속	38
3.2.4 건물생체기후도 분석	39
3.3 대상공장건물 에너지 성능 평가	42

3.3.1 시뮬레이션분석 개요	42
3.3.2 시뮬레이션도구 선정	42
3.3.3 시뮬레이션 입력데이터	43
3.3.4 시뮬레이션 분석 결과	52
3.4 대상공장건물의 에너지절약요소 선정	54
3.4.1 대상공장건물의 에너지절약요소 선정 프로세스	54
3.4.2 대상공장건물의 에너지절약요소 선정	55
3.5 소 결	58
 제 4 장 에너지절약요소별 에너지 성능평가 및 통합절감방안 제시 ..60	
4.1 에너지절약요소별 에너지 성능 평가	60
4.1.1 지붕의 형태	60
4.1.2 단열성능	65
4.1.3 표면성질(표면색상)	72
4.1.4 침기량(외기침입량)	76
4.1.5 자연채광	82
4.1.6 자연환기	88
4.1.7 에너지절약요소별 최적변수 도출	94
4.2 대상공장의 건물에너지 통합 절약 방안 제시	95
4.2.1 각 에너지별 최적조합(통합절감모델) 도출	96
4.2.2 통합절감모델별 에너지 성능 평가	100
4.3 소 결	102
 제 5 장 결 론	104
 참 고 문 헌	107
 국 문 초 록	110
 ABSTRACT	112

표 목 차

<표 2.1> 건축계획요소의 에너지영향요소	8
<표 2.2> 자연형 냉·난방에너지 절약기법의 기본원리	11
<표 2.3> Victor Olgyay의 생체기후도	13
<표 2.4> Milne과 Givoni의 건물생체기후도	14
<표 2.5> Watson과 Lab의 건물생체기후도	14
<표 2.6> Milne과 Yubg-Hsin Li의 Climate Consultant	15
<표 2.7> 건물에너지 절약기법	18
<표 2.8> 자동차공장의 단면형태	24
<표 2.9> 자동차공장의 지붕형태	25
<표 2.10> 공장건물의 작업종류별 냉난방 온도 기준(CIBSE)	27
<표 2.11> 포드 자동차, River Rouge공장의 에너지절약기법	29
<표 2.12> 혼다 자동차, 그린 팩토리 추진계획의 에너지절약기법	30
<표 2.13> 토요타 자동차, Tsutsumi 공장의 에너지절약기법	31
<표 2.14> 볼보 자동차, Europa Truck 공장의 에너지절약기법	32
<표 2.15> 공장건물의 에너지절약기법	33
<표 3.1> 대상건물 개요	36
<표 3.2> 건물생체기후도를 통한 난방에너지 절약기법	40
<표 3.3> 건물생체기후도를 통한 냉방에너지 절약기법	41
<표 3.4> 외피 구성 및 물성치	44
<표 3.5> 외피부위별 평균 열관류율	44
<표 3.6> 창호의 물성치	44
<표 3.7> 1인당 인체 발열량	45
<표 3.8> 창호개방방식에 따른 유량계수	49
<표 3.9> 공정별 기계환기량	51
<표 3.10> 선정된 에너지절약요소의 건물에너지 영향력 범위	57
<표 4.1> 지붕형태의 설계변수	62

<표 4.2> 지붕형태별 외피 표면적과 실체적	63
<표 4.3> 샌드위치판넬 품질규격(단열성, 재료)	66
<표 4.4> 단열재별 열전도율	66
<표 4.5> 열관류율을 위한 표면열전달저항 및 계산식	67
<표 4.6> 지역별 건축물부위의 열관류율표 (단위: $W/m^2 \cdot K$)	68
<표 4.7> 건축물부위별 단열재 허용 두께(남부지역)	69
<표 4.8> 외피 열관류율 설계변수	70
<표 4.9> 각 표면재료별 반사율과 방사율	73
<표 4.10> 지붕 표면성질 설계변수	74
<표 4.11> 기밀성능 설계변수	77
<표 4.12> 내·외부 출입문 개폐 방식에 따른 설계변수	78
<표 4.13> 작업형태에 따른 공장건물의 조도기준(KS A 3011)	84
<표 4.14> 천창면적 변화에 따른 설계변수	85
<표 4.15> 지붕형태 변화에 따른 설계변수	85
<표 4.16> 측창면적 변화에 따른 설계변수	89
<표 4.17> 지붕형태(환기창) 변화에 따른 설계변수	90
<표 4.18> 측창면적별 공기이동량(6월~9월)	90
<표 4.19> 지붕형태(환기창)별 공기이동량(6월~9월)	92
<표 4.20> 에너지절약요소별 최적변수	95
<표 4.21> 난방에너지 통합절감모델	96
<표 4.22> 냉방에너지 통합절감모델	97
<표 4.23> 조명에너지 통합절감모델	98
<표 4.24> 총 에너지 통합절감모델	99
<표 4.25> 각 에너지별 통합절감모델	103

그 립 목 차

(그림 1.1) 연구 흐름도	4
(그림 2.1) 건물에너지 구성요소와 상관관계	5
(그림 2.2) 건물에너지 영향요소	6
(그림 2.3) 창 의 위치에 따른 자연형 채광방식	16
(그림 2.4) 아트리움(Atrium)과 광선반(Light Shelf)	17
(그림 2.5) 자동차 공장의 생산공정	20
(그림 2.6) 공장건물의 환경적 특성	22
(그림 2.7) 부속실 위치와 물류흐름에 따른 평면형태의 예	23
(그림 2.8) 자동차공장의 단면형태에 따른 분류	23
(그림 2.9) 공장의 지붕형태에 따른 분류	24
(그림 2.10) 활동량과 착의량의 함수로 나타낸 적정온도 (ISO 7730)	28
(그림 2.11) 포드 자동차의 River Rouge공장과 옥상 녹화	29
(그림 2.12) American Honda's Northwest Regional Center	30
(그림 2.13) 토요타 자동차의 Tsutsumi 공장	31
(그림 2.14) 볼보 자동차의 Europa Truck 공장	32
(그림 3.1) 대상공장건물의 평면도와 단면도	36
(그림 3.2) 대상지역 평균 온 · 습도	37
(그림 3.3) 연간 수평면 일사량	38
(그림 3.4) 대상지역 평균풍속과 주풍향	38
(그림 3.5) 대상지역의 겨울철 건물생체기후도 분석	39
(그림 3.6) 대상지역의 여름철 건물생체기후도 분석	40
(그림 3.7) DesingBuilder	42
(그림 3.8) EnergyPlus	43
(그림 3.9) DesignBuilder 건물모델링	43
(그림 3.10) 내부발열 스케줄	46
(그림 3.11) AirFlowNetwork 모델 원리	47

(그림 3.12) 연간 침기량(Air Change Rates[ACH])	50
(그림 3.13) 연간 난방에너지 소비량	52
(그림 3.14) 연간 냉방에너지 소비량	53
(그림 3.15) 연간 조명에너지 소비량	53
(그림 3.16) 대상건물의 에너지 구성 비율 및 총에너지 사용량	54
(그림 3.17) 대상공장건물의 에너지절약요소 선정 프로세스	55
(그림 4.1) 대상공장 단면도	62
(그림 4.2) 지붕형태별 냉·난방에너지 소비량	63
(그림 4.3) 지붕형태별 총 에너지사용량과 에너지 절감율	64
(그림 4.4) 샌드위치패널 단열재 종류 및 두께에 따른 열관류율	67
(그림 4.5) 단열재 종류 및 두께별 냉·난방에너지 사용량	70
(그림 4.6) 단열성능(우레탄)의 총 에너지사용량과 에너지 절감율	71
(그림 4.7) 외피 표면의 열흐름	72
(그림 4.8) 표면성질(반사율)별 냉·난방에너지 사용량	74
(그림 4.9) 표면성질(반사율)별 에너지사용량과 에너지 절감율	75
(그림 4.10) 완충공간 계획	76
(그림 4.11) 기밀성능 향상에 따른 침기량 변화	78
(그림 4.12) 기밀성능에 따른 냉·난방에너지 사용량	79
(그림 4.13) 기밀성능에 따른 에너지사용량과 에너지 절감율	79
(그림 4.14) 개구부 개폐 방식에 따른 침기량 변화	80
(그림 4.15) 출입문 개방 방식에 따른 냉·난방에너지 사용량	80
(그림 4.16) 출입문 개방 방식에 따른 총 에너지사용량과 에너지 절감율	81
(그림 4.17) 실내조도 계산을 위한 기준점 설정의 예	82
(그림 4.18) Dimming 제어방식의 제어특성	83
(그림 4.19) 현 대상공장건물에 적용된 채광판	83
(그림 4.20) 천창면적 변화에 따른 에너지 사용량	86
(그림 4.21) 지붕형태 변화에 따른 에너지 사용량	87
(그림 4.22) 대상공장건물의 측창(좌:남서측창, 우:남동측창)	89
(그림 4.23) 측창면적별 전체환기량과 24℃이하온도 환기량	91

(그림 4.24) 측창면적 변화에 따른 에너지 사용량	91
(그림 4.25) 지붕형태(환기창)별 전체환기량과 24℃이하온도 환기량	93
(그림 4.26) 지붕형태(환기창) 변화에 따른 에너지 사용량	93
(그림 4.27) 통합절감모델별 난방·냉방·조명에너지 사용량과 절감율 ..	100
(그림 4.28) 통합절감모델별 총 에너지 사용량과 절감율	101

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 화석에너지자원의 고갈과 지구온난화(Global Warming) 문제의 심각성이 대두됨에 따라 전 세계는 환경과 개발의 조화를 지향하는 지속 가능한 개발(Sustainable Development)¹⁾을 추구하고 있다. 또한 에너지 가격의 상승과 CO₂ 배출권거래시장의 확대로 인해 각국에서는 에너지 사용 및 CO₂ 배출 감소를 위한 노력을 구체화하고 있다. 특히 우리나라는 원유 수입량이 세계 5위(2008년 기준)이며 천연가스 수입량은 세계 9위(2009년 기준)로서²⁾, 해외 에너지의 의존도가 높은 에너지 다소비 국가이다. 이와 같은 우리나라의 에너지소비 실정은 국가경제 발전에 큰 장애요인으로 작용하고 있으며, 범세계적인 지속 가능한 개발을 저해시키고 있어 산업전반에서 에너지 사용을 줄이기 위한 대책마련이 체계적으로 진행되어야 할 것이다.

우리나라의 국가에너지 총 사용량 중 비중이 24%³⁾를 차지하고 있는 건물 에너지 분야의 경우는 최근 들어 건물에너지 관련 연구와 저탄소 녹색성장과 관련한 다양한 정책들이 활발히 진행되고 있다. 건물을 운영하기 위해 사용되는 건물에너지의 절약은 타 에너지 분야와는 달리 국가의 경제활동에 직접적으로 영향을 미치지 않기 때문에 그 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

그러나 이러한 최근의 상황들은 특정한 건물용도에만 국한되어 있고, 공장 건물과 같은 특수한 건물용도에 대한 연구는 전무한 실정이다. 공장건물과 같은 대규모의 건물은 생산공정에서 사용되는 에너지뿐만 아니라 건물을 운영하는 데 사용되는 에너지의 양도 매우 크게 발생한다. 공장건물이 건물 전체에서 차지하는 비중은 낮을 수 있으나, 에너지 사용에 있어서는 높은 비중을 차지한다. 공장건물에서의 에너지 절약은 지구의 환경 문제에 대한 현 시대의 요구에도 중요한 부분이지만, 에너지절약적인 생산기반 구축은 생산제품의 원가절감과 직결된다. 또한 저탄소제품에 대한 소비자의 선호도가 증가하면서 친환경적인 공장이미지를 제고하는데도 중요한 역할을 한다. 특히 공

1) 지속 가능한 개발을 브룬트란트(Bruntrant)에 의해 정의되었으며, 이는 “미래세대의 필요를 충족할 수 있는 능력을 손상시키지 않는 범위에서 현세대의 필요를 충족시키는 개발”이라고 정의하였다.

2) 에너지 연별 통계, 에너지경제연구원 홈페이지 (<http://www.keei.re.kr>)

3) International Energy Agency(IEA), Key World Energy STATISTICS, 2010

장건물 중 자동차공장과 같이 산업의 규모가 크고, 생산설비와 생산제품의 규모가 커서 대형의 건물형태가 요구되는 공장은 이러한 특성이 극단적으로 나타난다고 할 수 있다. 또한 자동차공장건물과 같이 개별적인 공장의 형태가 아닌 대규모의 생산단지를 형성하는 공장의 경우, 국가 에너지 소비에 미치는 영향이 더욱 클 것으로 판단된다.

따라서 공장건물에서의 에너지 절약은 단지 환경적인 측면에서의 필요성뿐만 아니라 해당 기업의 원가절감과 국가 경제 발전에도 중요한 역할을 하기 때문에 에너지 절약적인 공장건물의 연구와 보급화가 시급하다.

건물에너지를 줄이기 위해서는 대상건물의 특성과 에너지소비 패턴 분석을 통하여 적합한 에너지 절약기법들이 적용이 되어야만 가능하다. 공장건물은 일반건물과는 달리, 작업 공정상 필요한 공간을 확보하기 위하여 대규모의 단일한 공간을 형성한다. 이러한 건물형태는 전용면적 대비 외피의 면적비율이 절대적으로 높은 특성을 가짐에 따라 외피로 인한 열손실 및 열획득이 일반건물에 비해 상대적으로 크게 발생한다. 또한 외피면적의 대부분은 지붕면적이 차지하고 층고가 높기 때문에, 건물 상부의 지붕면을 활용하여 자연채광 및 자연환기를 유도하는 계획이 일반적으로 고려된다. 용도적 특성의 경우 생산과정에서 발생하는 유해물질을 배출하기 위하여 환기량이 매우 크게 발생하며, 자재반입을 위하여 대형 출입문이 빈번히 개방됨에 따라 실내로 유입되는 외기 침입량도 크게 발생한다. 이와 같이 공장건물은 형태적으로 일반공장에 비하여 비교적 단순한 형태를 가지지만 환경적으로는 복잡한 특성을 가지기 때문에, 건물에너지 절약을 위해서 난방·냉방·조명에너지에 대한 각 에너지 절약기법들이 복합적으로 고려되어야 한다.

본 연구는 공장건물 중 에너지 사용량이 많고 대규모의 건물형태가 요구되는 자동차공장건물을 중심으로, 공장건물의 에너지 절약 계획에 대한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 이를 위하여, 자동차공장을 중심으로 공장건물의 환경적 특성에 따른 에너지절약기법을 도출한 후, 그 중 대상건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하여, 각 설계변수별 난방·냉방·조명에너지 사용량을 평가하고 난방·냉방·조명에너지의 상관관계를 분석하여 최종적으로 총 에너지사용량을 줄이기 위한 통합절감방안을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 것으로, 자동차공장을 대상으로 연구를 진행하였다. 이에 따라 자동차공장을 중심으로 한 공장건물의 환경적 특성과 친환경 자동차공장의 사례를 분석한 후, 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지영향요소 및 에너지절약기법을 도출하였다. 그리고 그 중 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하여 각 설계변수별 난방·냉방·조명에너지 사용량과 총에너지 사용량에 대한 최적조합을 도출함으로써 통합절감모델을 제시하였다.

본 연구의 진행 방법을 정리하면 다음과 같다.

(1) 공장건물(자동차공장)의 에너지 절약기법 도출

건물에너지 영향요소 및 절약기법을 고찰한 후, 자동차공장을 중심으로 한 공장건물의 환경적 특성 분석과 에너지 절약적인 자동차공장에 대한 사례를 조사하였다. 이를 통하여 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지 영향요소와 에너지 절약기법을 도출하였다.

(2) 대상공장건물의 에너지성능 평가 및 적용 가능한 에너지절약요소 선정

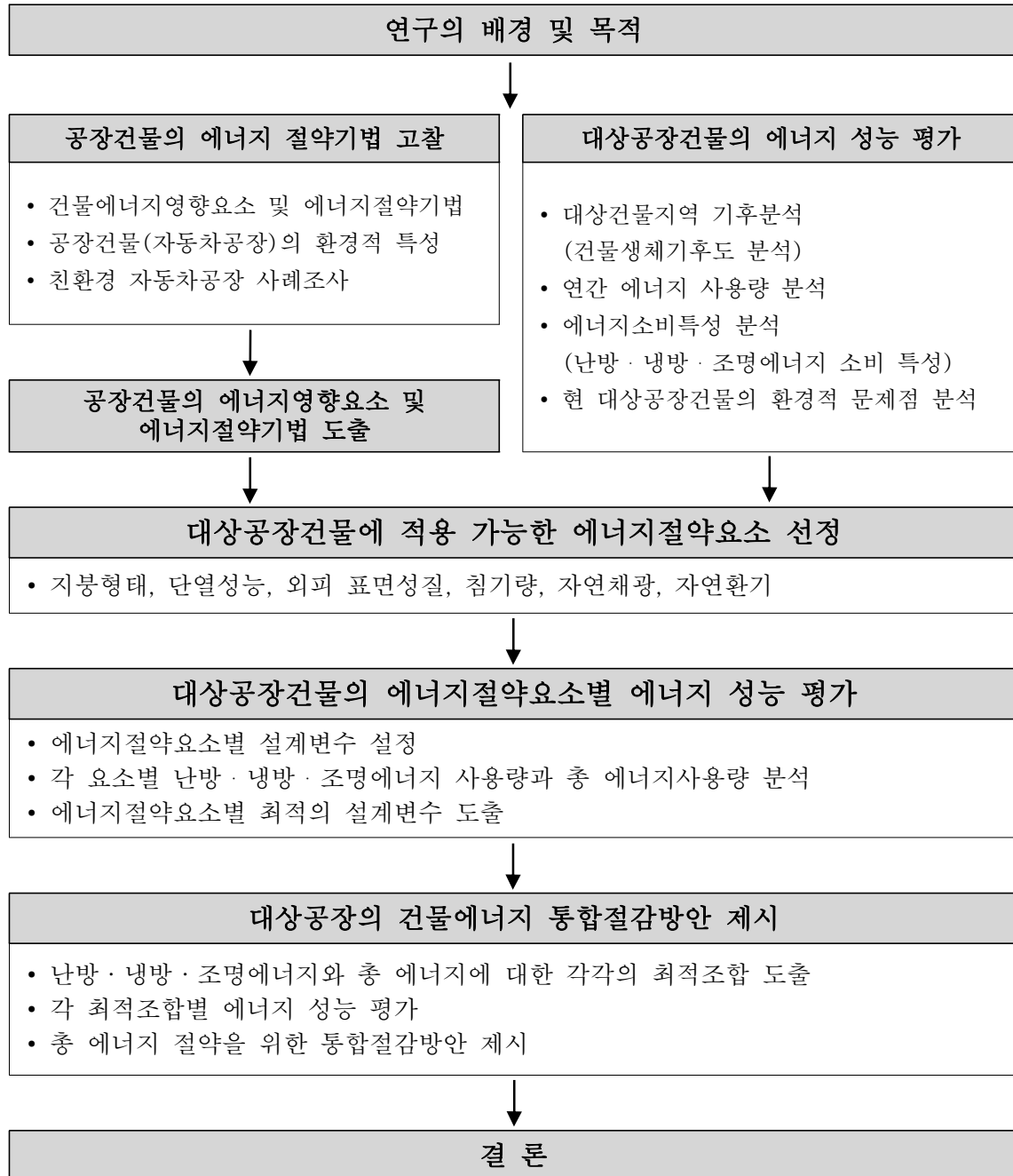
대상공장건물을 선정한 후, 건물생체기후도를 통하여 대상지역의 기후를 분석하고, 시뮬레이션을 이용하여 대상공장건물의 난방·냉방·조명에너지 사용량을 분석하였다. 그리고 대상지역의 기후적 특성과 대상공장건물의 특성을 분석하여, 앞서 도출한 공장건물의 에너지영향요소 및 에너지절약기법 중 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하였다.

(3) 대상공장건물의 에너지절약요소별 에너지 성능 평가

대상공장건물의 에너지절약요소를 중심으로 각 요소별 설계변수를 설정한 후, 그에 따른 난방·냉방·조명에너지 사용량과 3가지 에너지를 합산한 총 에너지 사용량을 평가함으로써 에너지 종류별 상관관계를 분석하였다. 그리고 각 에너지절약요소에 대하여 에너지 종류별로 가장 에너지 절약적인 최적변수를 도출하였다.

(4) 통합절감방안 제시

앞서 분석한 에너지절약요소별 최적변수를 바탕으로, 난방·냉방·조명에너지와 총 에너지에 대한 각각의 최적조합을 도출하여 에너지 종류별 통합절감모형을 제시하였다. 그리고 각 통합절감모형별로 에너지 성능 평가를 실시하여 최종적으로 총 에너지 절약을 위해 가장 효과적인 모델을 제시하였다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

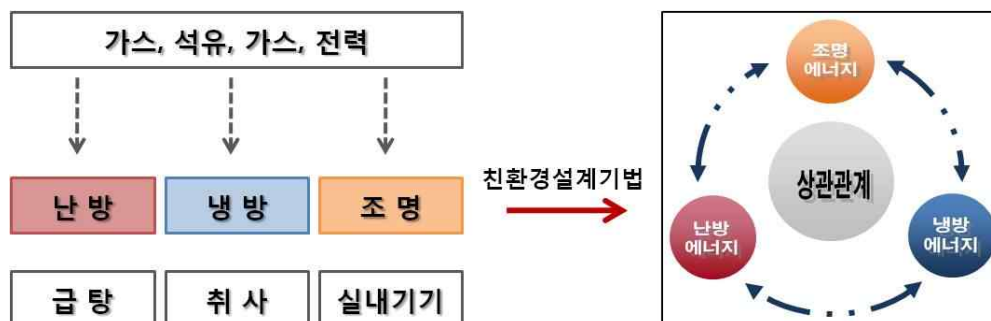
제 2 장 공장건물의 에너지 절약기법에 관한 고찰

2.1 건물에너지 영향요소 및 절약기법 고찰

2.1.1 건물에너지 종류

건물에너지는 냉·난방에너지, 조명에너지, 급탕에너지, 취사 및 실내기기에 사용되는 에너지로 구분할 수 있으며, 이러한 에너지들은 가스, 석유, 석탄, 전력 등의 다양한 에너지원들을 사용한다. 건축계획적인 측면에서 건물에너지 절약방법은 친환경설계기법(Passive design)을 통하여 냉·난방에너지, 조명에너지 사용을 줄이는 것이다. 그 외 급탕에너지와 취사 및 실내기기에 사용되는 에너지의 경우는 신재생에너지시스템 적용을 통하여 근본적으로 건물에서 사용되는 화석연료를 줄일 수 있으나, 건물부하 절감을 위한 친환경설계기법은 기본적으로 냉·난방에너지, 조명에너지를 절약하는 것이라 할 수 있다.

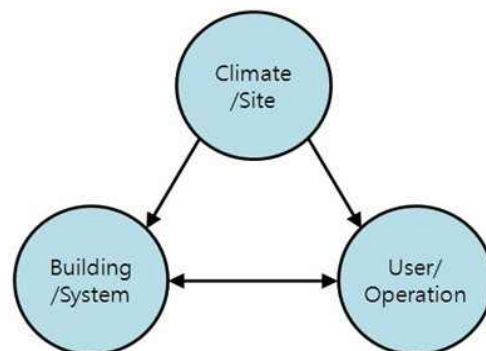
이러한 건물에너지를 줄이기 위해서는 다양한 친환경설계기법들이 적용되어야 하며, 친환경설계기법 적용 시, 냉·난방에너지, 조명에너지를 통합적으로 절약할 수 있는 방법이 고려되어야 한다. 냉·난방에너지, 조명에너지는 건축요소의 변화에 따라 복잡한 상관관계가 존재하기 때문에 개별적인 에너지 절약기법은 또 다른 에너지를 증가시키는 경우를 발생시킬 수 있다. 즉, 단열성능과 기밀성능 향상은 냉·난방에너지 절약에 효과적이지만, 과도한 고단열, 고기밀은 난방에너지 상승을 초래할 가능성이 있다. 또한 조명에너지 절약을 위한 자연채광계획은 창을 통한 열손실과 일사획득과 증가시켜 냉·난방에너지를 상승시킬 수 있다.



(그림 2.1) 건물에너지 구성요소와 상관관계

2.1.2 건물에너지 영향요소

에너지 절약형 건축설계를 위해 가장 기본적이고 필수적인 것은 건물 에너지 소비에 영향을 미치는 인자를 파악하여 조절하는 것이다. 건물의 에너지 영향 요소는 크게 기후 및 대지요소(Climate/Site), 건물 및 설비요소(Building/System), 거주자 및 건물운영 요소(User/Operation)으로 나눌 수 있으며, 이들 세가지 요소들의 상호작용을 통하여 건물에너지에 복합적으로 영향을 미친다.



(그림 2.2) 건물에너지 영향요소

(1) 기후요소

가) 일사(Solar radiation)

일사는 지구가 받아들이는 유일한 에너지원이며, 모든 기후요소에 영향을 미친다. 난방기간 동안, 일사의 적극적 활용하는 계획은 에너지소비를 절감시키지만 여름철 일사의 도입은 오히려 냉방에너지 소비를 증가시킨다.⁴⁾ 또한 건물 외피가 받는 일사량은 태양고도가 높은 하절기와 태양고도가 낮은 동절기를 고려하여 건물의 형태를 고려하는 것이 중요하다.

나) 기온(Air temperature)

실내의 열쾌적성을 결정하는 가장 기본적인 요소로서, 기온을 형성하는 주원인은 일사량이라 할 수 있다. 일사는 공기를 직접 덥히는 것이 아니라 일단 지표면이 덥힌 후 지표면 복사에 의해 공기의 온도가 오른다. 건물의 실

4) 이연구 저, 건축환경계획론, 태림문화사, 1999

내외 기온차는 건물외피를 통한 열손실과 열획득을 야기시키기 때문에 열이동을 차단하기 위하여 외벽의 단열이나 틈새바람을 줄일 수 있는 방법에 대한 고려가 필요하다.

다) 습도 (Humidity)

습도는 해수의 증발에 의해 대기 중에 포함되는 수증기의 함유량을 말하며, 절대습도(Absolute humidity)와 상대습도(Relative humidity) 등으로 나타낸다.⁵⁾ 일사량과 기온에 따라 변화하므로 계절과 시간대에 따라 다르게 나타난다. 대기중의 습도는 극단적으로 높거나 낮지 않은 한 열쾌적에 크게 영향을 미치지 않으나, 추울 때 공기가 건조하면 더 춥고, 더울 때 공기가 습하면 더 덥게 느껴지는 것과 같이 공기의 온도와 관련되어서는 그 영향이 크다고 할 수 있다. 또한, 쾌적한 온도범위에서는 증발 냉각이 필요 없지만 고온에서는 중요한 냉방방식이 될 수 있는데, 이러한 증발 냉각에 대한 가능성은 상대습도를 통하여 예측될 수 있다.

라) 풍향과 풍속 (Wind direct and Wind speed)

바람의 분포와 특성은 지구상의 계절별 기압분포, 지구의 자전, 육지와 바다의 가열 혹은 냉각상태의 일변화, 지형과 주위환경 등에 의하여 결정되며, 풍향, 풍속 및 풍압으로 나타낸다.⁶⁾ 건물 주위의 풍향과 풍속은 인근 지표면 온도나 건물의 환기횟수에 영향을 주기 때문에 건물의 냉·난방에너지를 변화시킨다. 겨울철은 건물의 틈새바람에 영향을 미쳐서 난방에너지를 증가시킨다. 기밀한 구조의 건물에서도 약 20%정도의 열손실이 틈새바람에 의해 발생된다.⁷⁾ 반면 여름철에는 환기를 통한 증발냉각 효과에 큰 영향을 미치기 때문에 냉방에너지를 줄일 수 있는 가능성을 제공한다.

5) 민연기, 생체기후도를 이용한 서울지역의 주거건축 설계에 관한 연구, 광운대 석사논문, 2000

6) 김재수 저, 건축환경공학, 서우문화사, 2005

7) 나수연, 주택의 에너지 절약 설계기법 및 효율평가에 관한 연구, 중앙대 석사논문, 1994

(2) 건물 및 설비요소

건물 및 설비요소는 건축적인 계획요소와 관련하여 부지계획, 건물배치, 건물형태 및 재료, 건물 평면 및 입·단면계획 등에 대한 건축계획요소와 에너지 사용기기 및 시스템의 효율 향상과 관련된 설비시스템요소가 있다.

건축계획요소는 외부환경조건에 대하여 쾌적한 실내 열환경을 만들기 위해 고려해야 할 요소들이며, 각종 건축설계기법을 통하여 자연환경의 특성을 최대한 활용할 수 있는 계획이 요구된다. 설비요소는 외부환경조건과는 무관하게 일정한 수준으로 건물에너지를 기계적 장치로 조절하는 요소로, 시스템의 효율을 향상시킬 수 있는 계획이 중요하다.

가) 건축계획요소

건축계획요소는 <표 2.1>과 같이 정리될 수 있으며, 크게 건물배치, 건물(공간)형태, 건물외피, 건물개구부로 나눌 수 있다. 건물배치는 각 설계요소의 향과 위치를 결정짓는 중요한 요소이며, 대지의 조건에도 영향을 많이 받는다. 건물(공간)형태와 건물외피는 주로 냉·난방에너지와 관련하여 일사획득 및 열손실에 영향을 미치는 요소이다. 건물개구부의 경우는 일사획득 및 열손실 뿐만 아니라 자연채광, 자연환기와도 밀접한 관련이 있기 때문에 난방·냉방·조명에너지에 복합적으로 영향을 미친다.

<표 2.1> 건축계획요소의 에너지영향요소

구 분			에너지영향요소
건축 계획 요소	건물배치		건물 향, 건물 위치, 대지조건(주변건물, 구조물 등)
	건물(공간) 형태	형태	S/V비, S/F비, 체적비, 평면밀집비, 장단면비
		규모	층수, 연면적, 층고
		공간계획	완충 공간(Bufer Zone), 향에 따른 공간배치, Zoning
	건물외피	지붕	단열재 두께, 열용량, 지붕형태
		외벽	단열재 두께, 단열재 위치, 열용량
		내벽/슬라브	단열성능, 열용량
		기밀성능	외피 침기율, 환기횟수
	건물 개구부	표면성질	내·외부마감재의 재질 및 색상
		창호 (Window)	열관류율, 창 의 종류, 창면적비, 창 의 위치, 차폐계수, SHGC(일사획득계수)
		개구부 (Opening)	개구부 크기, 방위 및 위치, 개폐방법

나) 설비시스템 요소

냉·난방에너지에 있어, 설비시스템은 에너지가 기계장치들에 의해 직접적으로 소비되는 부분이기 때문에 효율적인 시스템 계획이 무엇보다 중요하다. 건물에너지에 적합한 용량 산정과 고효율의 시스템 및 자동제어장치 적용 등에 대한 고려가 필요하며, 건물의 용도별 특성을 고려한 시스템 계획이 요구된다. 또한 조명에너지 사용량에 직접적으로 영향을 미치는 인공조명은 발광 효율, 주광제어시스템 등에 대한 고려가 필요하다.

(3) 거주자 및 건물운영 요소(User/Operation)

거주자 및 건물운영 요소는 건물의 유지관리를 통해 건물의 성능을 최적화시키는 요소이며, 지속적인 성능 점검, 사용자 매뉴얼 제공 및 운전교육 등을 통해 건물의 에너지를 효율적으로 운영할 수 있다.⁸⁾ 또한, 건물의 용도에 따라 건물의 운영시간, 거주자의 활동량과 실내발열량의 특성 등이 다르기 때문에 각 건물의 특성이 반영된 에너지 절약기법이 고려되어야 한다.

2.1.3 건물에너지 절약기법

(1) 냉·난방에너지 절약기법

외부환경으로부터 쾌적한 실내환경을 유지함으로서 궁극적으로 건물의 냉·난방에너지를 줄이기 위한 방법으로는 자연형 조절(Passive Control)과 설비형 조절(Active Control)로 나눌 수 있다.

자연형 조절은 건물의 형태, 구조, 공간구성, 외피구성 등 건축계획을 통하여 기계적인 장치없이 실내환경 조건을 조절하는 방법이다. 즉 자연형 조절은 각종 설계기법을 이용하여 외부의 자연환경이 가지고 있는 이점을 최대한 활용함으로써, 실내환경을 조절하는 방법이다. 설비형 조절은 외부의 환경조건과는 상관없이 기계적인 장치를 이용하여 실내환경을 쾌적하고 일정한 수준으로 조절하는 것이다.

이 두 가지 실내환경 조절 방법은 각 별개의 방법이 아니라 상호보완적인

8) 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대 석사논문, 2008

관계이며, 가능한 자연형 조절에 의존하는 것이 바람직하고 설비형 조절은 자연형조절의 한계를 보완하는 보조수단이 되어야 한다.⁹⁾

가) 건물의 열평형

건물은 외부 기후환경과 끊임없는 열교환을 이루고 있다. 특히 건물의 외피는 기후조건의 영향을 조절하여 쾌적한 실내 열환경의 상태를 제공하는 역할을 한다.¹⁰⁾ 일반적으로 실내의 열획득은 창을 통한 일사열과 조명, 실내기기, 인체 등에서 발생하는 내부발열에 의해 발생을 하며, 이렇게 획득된 열은 건물의 외피나 환기에 의해 열손실이 일어난다. 그러므로 쾌적한 실내의 열환경 상태를 유지하기 위해서는 외부로 손실되는 열을 최소화해야 하며, 실내로 유입되는 불필요한 더운 열은 차단해야 한다. 이처럼 기후조건에 따라 불필요한 열획득 및 손실을 최소화하여 실내의 열평형을 유지해야한다.

건물의 열교환 과정은 다음과 같은 열평형 방정식으로 설명할 수 있다.

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0 \quad (\text{식 2.1})$$

여기서, Q_i : 내부열 획득(조명, 실내기기, 인체, +)

Q_s : 일사열 획득(+)

Q_c : 실내외 온도차에 의한 전도열 획득(또는 손실, $\pm$)

Q_v : 실내의 공기교환으로 인한 환기 열획득(또는 손실, $\pm$)

Q_m : 에너지설비시스템에 의한 기계적 난방(또는 냉방, $\pm$)

Q_e : 건물표면의 수분증발을 통한 증발냉각효과(-)

나) 냉·난방에너지 절약기법의 기본원리

자연형 냉·난방에너지 절약의 원리는 기후를 분석하여 건물에서의 열획득 및 열손실을 조절하는 것이다. 건물에서 발생하는 열획득 및 열손실은 기본적으로 전도(Conduction), 대류(Convection), 복사(Radiation), 증발(Evaporation)을 통하여 이루어진다. 겨울철 난방을 위해서는 외기로부터 열

9) 이연구 저, 건축환경계획론, 태림문화사, 1999

10) 김재수 저, 건축환경공학, 서우문화사, 2005

획득을 촉진시키고 내부 열손실을 차단하는 기법이 요구되며, 반면에 여름철 냉방을 위해서는 외기로부터 열획득을 차단하고 내부의 열을 방출시키는 기법이 요구된다.

<표 2.2> 자연형 냉·난방에너지 절약기법의 기본원리

		전 도 (Conduction)	대 류 (Convection)	복 사 (Radiation)	증 발 (Evaporation)
난방기법 원리	열획득 촉진	—	—	일사획득 촉진	—
	열손실 억제	전도열류 최소화	침기 최소화	—	—
냉방기법 원리	열획득 억제	전도열류 최소화	침기 최소화	—	—
	열손실 촉진	지열냉방 촉진	환기 촉진	복사냉방 촉진	증발냉각 촉진

다) 건물설계요소별 냉·난방에너지 절약기법

① 건물배치

건물배치는 대지의 위치, 지형의 이용, 건물의 규모, 건물의 향, 건물의 형태, 건물의 밀도와 인동간격, 건물의 장단변비, 건물의 식생 등의 영향을 고려해야 한다. 일사를 최대로 받기 위해 건물을 배치하고 부지 내 주풍향을 분석하여 자연환기에 유리하도록 배치하거나, 방풍림을 조성하여 바람의 영향을 줄일 수 있도록 계획한다. 건물은 남향 또는 남동향으로 배치하는 것이 일사 및 자연채광을 효율적으로 이용하기에 유리하다. 대지가 경사지인 경우는 남향 경사가 일사획득이 유리하고 북쪽 바람을 차단하기 때문에 가장 이상적이다. 이에 따라 건물의 배치는 대지조건을 최대한 활용하는 것이 효과적인 계획 방법이다.

② 건물(공간)형태

건물의 형태는 건물의 층고, 공간의 형태, 창문의 형태 등의 영향을 받으며, 가장 중요한 고려사항은 외기에 접하는 표면적을 작게 하는 것이다. 건물의 형태는 건물 표면에 도달하는 일사와 바람의 양과 패턴에 큰 영향을 미치기 때문에 냉·난방에너지에 큰 변수로 작용한다. 같은 체적의 건물이라도 외피면적이 다르므로, 일사획득 및 열손실이 달라진다. 외피면적과 체적에 따른 영향을 고려할 때에는 벽, 지붕 등 건물외피의 전체표면적이 작을수록 일

사획득 및 열손실에 유리하므로 체적에 대한 표면적비는 최소화해야한다. 겨울철 일사획득을 최대화하기 위해서는 지붕 경사면의 향과 연중 태양의 방위각 및 고도를 고려해야한다.

또한 공간계획은 실내외부 사이에 완충공간을 형성하여 직접적인 열이동을 최소화하는 방안이나 축열벽을 활용할 수 있는 공간계획이 효과적이다. 또한 여름철 바람에 대하여 노출을 최대화하기 위한 평면계획이나 자연채광을 극대화하기 위한 배치 등을 고려해야 한다. 유사한 열부하 특성을 가지는 실들은 근접하게 위치시키는 것이 유리하며, 향의 특성에 따라 공간을 배치하는 것이 효과적이다.

③ 건물외피

건물의 외피는 기본적으로 전도열을 최소화하는 것이 중요하며, 이를 위하여 열관류율이 낮은 단열재를 사용하여 단열성능을 강화시키는 방안이 효과적이다. 또한 건물의 틈새를 통해 공기가 들어오거나 빠져나가는 것을 방지하기 위하여 외피의 기밀성능을 향상시키기 위한 방안이 고려되어야 한다. 건물외피의 일사획득은 재료의 반사율과 방사율에 영향을 많기 때문에, 난방 에너지를 위해서는 일사획득에 유리하고 내부의 방사열 줄이기 위하여 반사율과 방사율이 낮은 표면재료를 적용하는 것이 효과적이다. 반면, 냉방에너지의 경우는 일사를 반사시키고, 내부의 열을 효과적으로 방사하기 위하여 반사율과 방사율이 높은 표면재료를 사용하는 것이 유리하다.

④ 건물 개구부

건물에서 창고 크기, 형태, 위치는 일사획득, 자연채광, 자연환기의 측면에서 매우 중요한 요소들이기 때문에 난방·냉방·조명에너지에 복합적으로 영향을 미친다. 냉·난방에너지에 있어, 창 면적비가 크면 겨울철 받는 일사량은 증가하지만 창을 통한 열손실도 커지며, 여름철 또한 일사획득이 증가하여 냉방에너지를 증가시킨다. 또한 겨울철에는 바람을 영향을 최소화하기 위한 방안이 고려되어야 하지만, 여름철 자연환기를 원활히 유도하기 위한 계획이 고려되어야 한다. 따라서 겨울철에는 창을 통한 일사획득 및 틈새바람을 차단함으로써 난방에너지를 감소시키고, 여름철에는 일사차단과 자연환기를 통하여 냉방에너지 감소시킬 수 있는 균형 있는 개구부 계획이 필요하다. 조명에너지의 측면에서는 창면적을 최대화하여 자연채광을 극대화하는 방안이 고려되어야 하는데, 이 또한 냉·난방에너지와의 관계를 고려한 계획이 필요하다.

라) 생체기후도를 이용한 기법

Victor Olgyay에 의해 제안된 생체기후도(Bioclimatic Chart)는 기후특성에 따라 쾌적영역에서 벗어나는 조건들에 대하여 자연형 조절기법을 제시하는 방식이며, 이후 여러 연구자들에 의해 건물생체기후도(Building Bioclimatic Chart)의 형식으로 수정 보완되어 지금까지 활용되고 있다.

① 생체기후도(Bioclimatic Chart)

Victor Olgyay는 처음으로 제안된 생체기후도는 건축환경 내에서 인간의 쾌적에 영향을 미치는 네 가지 영향요소 즉 기온(DBT), 상대습도(RH), 평균복사온도(MRT), 기류속도(v)사이의 상호관계를 그래프로 나타낸 것이다.¹¹⁾

<표 2.3> Victor Olgyay의 생체기후도

Chart	환경조절기법의 분류체계
	• 자연형 태양열난방 • 증발냉각 • 자연통풍 • 축열체를 이용한 자연냉각 • 축열체를 이용한 자연냉각과 야간통풍

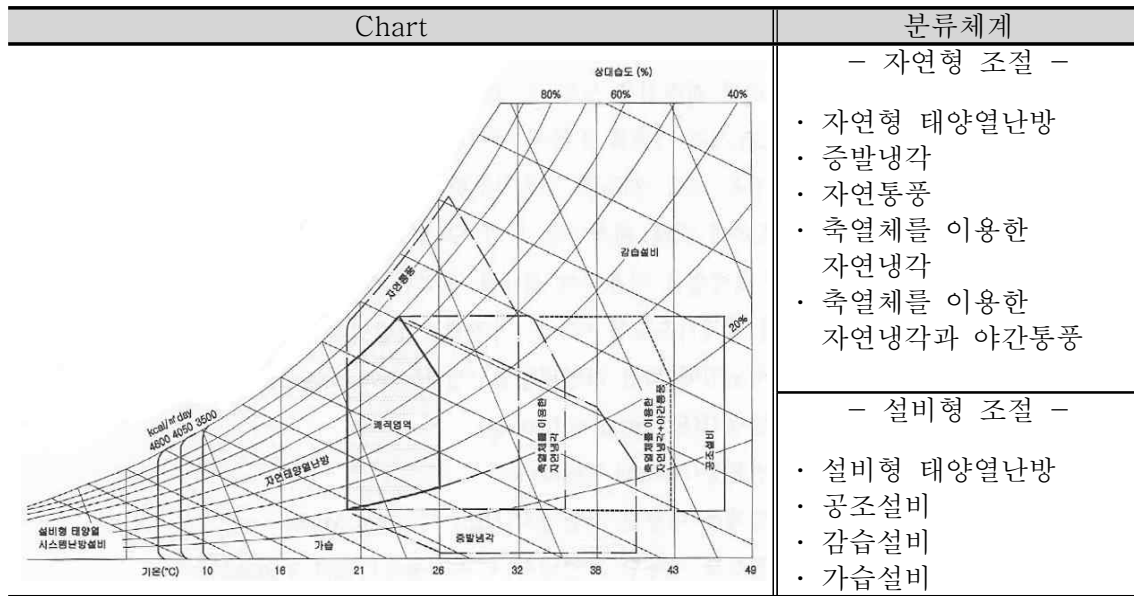
② Milne과 Givoni의 건물생체기후도(Building Bioclimatic Chart)

미국인에게 맞는 쾌적구역(Comfort zone)을 조사하고, 건물생체기후도의 구분영역을 상세히 분류하였다.¹²⁾ 영역은 크게 자연형 조절방법과 설비형 조절방법으로 구분하고, 각각을 세부적으로 다시 분류하여 설계 방법을 제시하였다.

11) 이경희 저, 건축환경계획(3판), 문운당, 2008

12) 최중진, 에너지절약형 건축설계를 위한 기후설계 방법에 관한 연구, 이화여대 석사논문, 2001

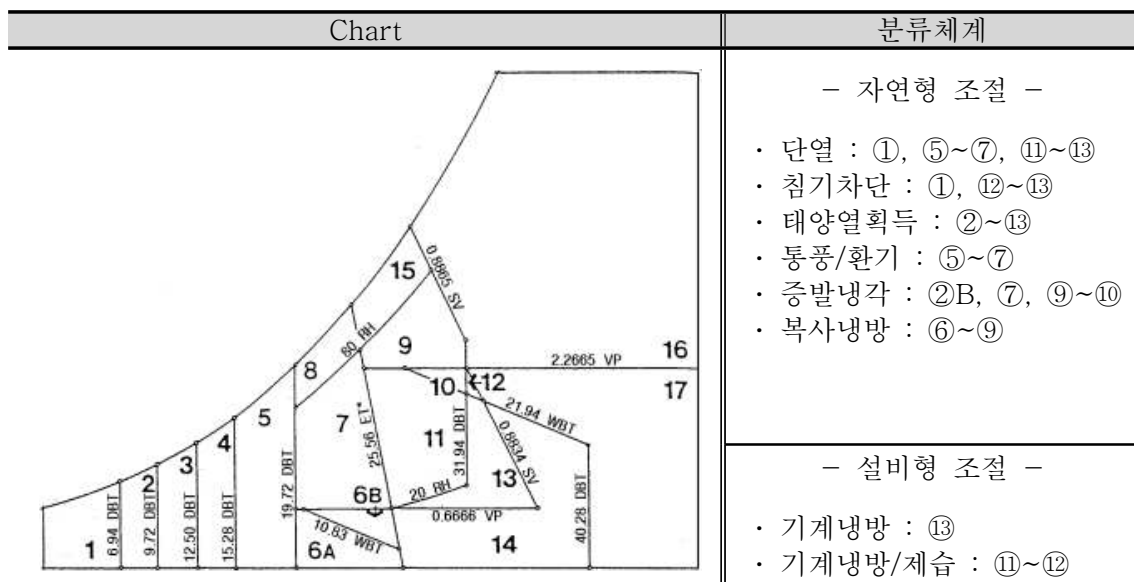
<표 2.4> Milne과 Givoni의 건물생체기후도



③ Watson과 Lab의 건물생체기후도

Givoni의 연구에서 제안한 건물생체기후도의 생체기후적 요구 영역 및 기후 설계 지침 요구 영역을 보다 명확히 구분하였다. 또한 구체적인 데이터를 표로 산출하여 보여주고, 에너지절약형 건축설계를 위한 여러 도구 및 설계 방법 등을 상세히 소개하였다.

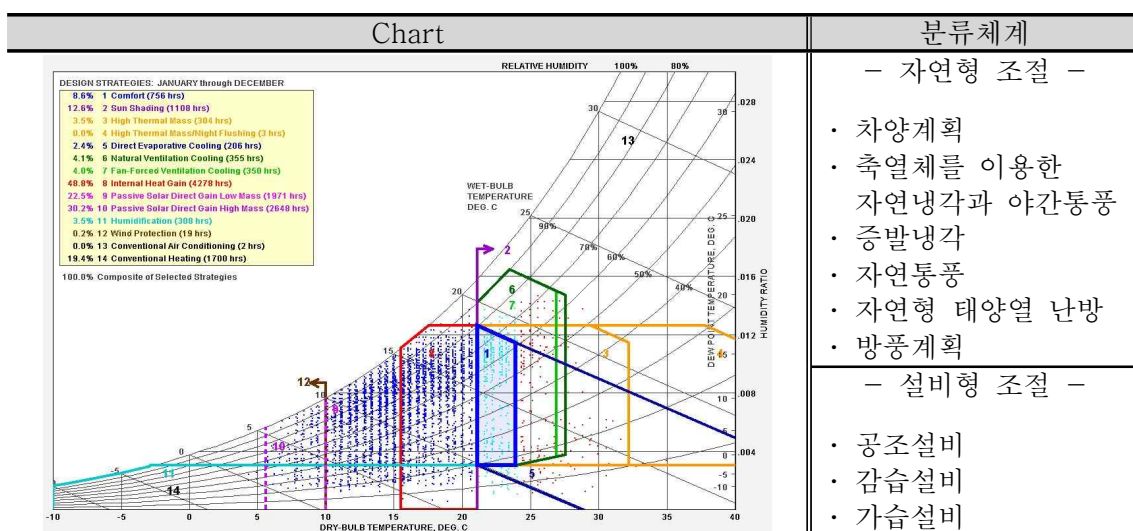
<표 2.5> Watson과 Lab의 건물생체기후도



④ Milne과 Yubg-Hsin Li의 Climate Consultant

Milne과 Yubg-Hsin Li는 Milne과 Givoni의 연구 및 Watson과 Lab의 연구를 종합하여 Climate Consultant라는 DOE기반의 컴퓨터프로그램을 개발하였다. Climate Consultant는 기후데이터를 분석하여 기후특성을 표현해 주고, 에너지절약형 기후설계의 우선순위를 즉각적으로 알려주는 기능을 가지고 있다.

<표 2.6> Milne과 Yubg-Hsin Li의 Climate Consultant



(2) 조명에너지 절약기법

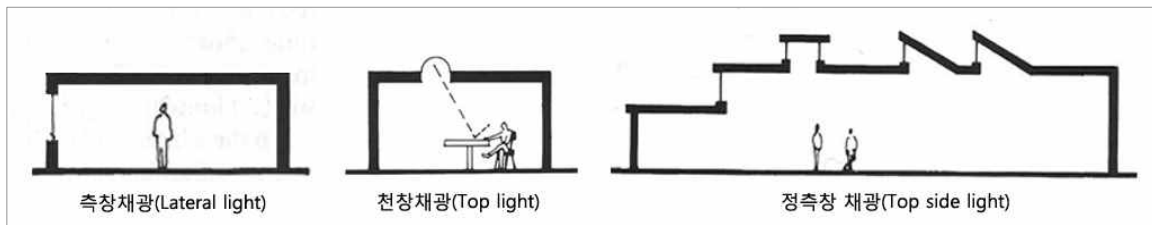
건물에서 발생하는 조명에너지를 절약하기 위한 기법은 에너지 절약적 건축을 위해 중요한 부분이다. 조명에너지 절약기법의 기본원리는 주광을 효율적으로 이용하는 자연채광계획을 통해 실내의 빛 유입의 증가시켜 인공조명 에너지의 사용량을 줄이는 것이다.

이러한 주광을 이용한 자연채광 방법은 자연형(Passve type)과 설비형(Active type)으로 분류할 수 있다. 자연형 방식은 창 의 크기 및 위치, 건물의 디자인, 구조, 재료 등의 요소를 이용하는 방식이고, 설비형 방식은 반사경 장치, 덕트 방식, 광섬유 케이블 방식, 선 스쿱(Sunscoop)등 기본적인 건축요소이외의 장치들을 이용하는 방식이다.¹³⁾ 효율적인 자연채광을 위해서는 건물의 조건을 고려하여 두 가지 방식을 적절하게 혼합해서 적용하는 것이 이상적이다.

13) 유정수, 자연채광의 건축설계 적용기법 및 과정에 관한 연구, 건국대 석사논문, 2001

가) 자연형 채광방식(Passive type)

자연형 채광방식은 창 위치, 형태, 크기가 중요한 요소이며, 일반적으로 창 위치 따라 측창채광(Lateral light), 천창채광(Top light), 정측창 채광(Top side light)로 분류한다.¹⁴⁾ 또한, 광선반(Light Shelf), 아트리움(Atrium)등과 같이 자연채광을 목적으로 건물계획보다 적극적으로 적용되는 경우로 나눌 수 있다. 측창채광은 가장 일반적인 방식으로 벽면에 대하여 연직인 창에 의한 채광하는 방식을 말한다. 천창채광은 천창에 의한 채광방식으로 정광이라고도하며, 정측창 채광은 천창에 위치해 있지만 연직창에서 채광하는 방식으로 측창을 이용하기 곤란한 공장이나 수평면보다 연직면의 조도를 높이기 위한 미술관 등에서 주로 사용된다.

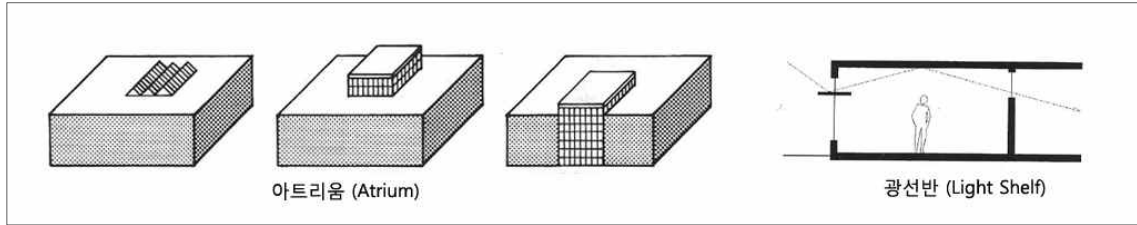


(그림 2.3) 창의 위치에 따른 자연형 채광방식

광선반은 주로 측창의 외부나 내부에 알루미늄 또는 은도금된 금속과 같이 반사율이 높은 재질을 사용하여 외부의 주광을 효과적으로 실내로 유입시키는 방식이다. 또한 빛을 실내 천장으로 반사시킨 뒤 확산광으로 바꾸어 실내로 유입시키기 때문에 비교적 조도분포가 균일한 실내공간을 만들 수 있다.

아트리움은 지붕을 유리로 덮은 중정의 개념으로, 천창의 형태를 통하여 자연채광을 극대화하는 방식이다. 상부로부터 수직적으로 개방되어있는 공간을 가짐에 따라 실내 자연채광의 이용범위를 넓힐 수 있다. 또한 많은 양의 일사가 유입되어 아트리움 공간의 온도가 상승되므로 온실효과를 기대할 수 있으며, 상승기류를 통한 환기효과는 여름철 냉방에너지를 줄일 수 있는 가능성이 있다. 아트리움을 통해 들어오는 채광은 광선반을 사용할 경우 더욱 효과적으로 빛을 분배할 수 있는데, 최상층이나 아트리움 실내공간에 면해있는 벽면과 창에 다양한 방식의 광선반을 사용하며 빛의 유입을 극대화 할 수 있다.

14) 공효주, 정측창시스템의 자연채광성능 평가에 관한 축소모형 실험 연구, 경희대 석사논문, 2009



(그림 2.4) 아트리움(Atrium)과 광선반(Light Shelf)

나) 설비형 채광방식(Active type)

설비형 채광방식은 보다 효율적인 자연채광을 위하여 별도의 장치를 건물에 설치하는 방식으로, 지하공간이 깊거나 고립되어 있을 경우 측창이나 천창을 통한 채광 방법으로는 자연광의 도입이 어려울 경우에 사용된다. 이러한 고립된 공간에 자연광을 도입시키기 위한 방법으로 반사장치를 활용하는 방법과 덕트, 케이블 등을 통해 건물 내부로 자연광을 보내거나 반사시키는 시스템이 고안되어 활용되고 있다. 종류로는 반사경장치를 활용한 반사거울 방식과 프리즘방식, 덕트 방식, 광섬유 케이블 방식, 선 스쿠프(Sunscoop)를 이용한 채광방식이 있다.

(3) 건물에너지 절약기법 도출

이론고찰을 통하여 건물에너지 영향요소와 절약기법을 분석한 결과, 난방에너지 절약기법은 외부환경으로부터 실내의 열손실을 최소화하고, 일사획득을 촉진시키는 방식이며, 반면에 냉방에너지 절약기법은 외부환경으로부터 실내의 열획득을 최소화하고, 내부의 열을 외부로 배출시키는 방식으로 정리할 수 있다. 조명에너지 절약기법은 자연채광을 통해 실내의 빛 유입을 최대화하는 원리를 이용한다.

<표 2.7>은 건물의 배치, 형태, 외피, 개구부로 항목을 구분하여 각 에너지별 절약기법을 개별적으로 정리하였다. 냉·난방에너지 절약기법은 완충공간 계획이나 단열성능 강화 등 실내외 열이동을 최소화하는 기법은 공통적이거나, 구조체 및 창호의 일사획득과 관련하여서는 서로 반대적이다. 또한 자연환기와 관련된 주풍향에 대한 고려도 서로 상반된다. 조명에너지 절약기법의 경우는 창면적을 최대화하는 것이 효과적이지만, 냉·난방에너지 절약기법과는 반대적인 특성을 갖는다.

<표 2.7> 건물에너지 절약기법

구 분	기후요소	난방에너지 절약기법	냉방에너지 절약기법	조명에너지 절약기법
건물배치	일사/온도	• 남향/남동향	• 북향배치	• 남향배치
	풍향/풍속	• 주변건물, 식재 등을 이용한 방풍계획	• 주풍향을 고려한 자연환기	
건물(공간) 형태	일사/온도	• 표면적 최소화 • 남측면 일사획득 고려 • 축열벽 시스템 • 완충공간 계획 • 향의 특성에 따른 공간배치	• 표면적 최소화 • 남측면 일사차단 계획 • 완충공간 계획 • 향의 특성에 따른 공간배치	• 아트리움 계획 • 효과적인 실내 빛 유입을 위한 공간 계획
	풍향/풍속	—	• 주풍향을 고려한 구조체 냉각	
건물외피	일사/온도	• 단열성능 강화 • 반사율/방사율이 낮은 표면재료 사용 • 옥상녹화	• 단열성능 강화 • 반사율/방사율이 높은 표면재료 사용 • 옥상녹화	• 창면적 최대화 • 천창, 고측창, 정측창 계획 • 광선반 설치 • 태양광 투과율이 높은 유리 사용 • 밝은색의 내부마감재 사용
	풍향/풍속	• 기밀성능 향상	—	
건물 개구부	일사/온도	• 창면적비 최소화 • 창호 단열성능 강화 • 유리를 통한 일사 획득 촉진	• 창면적비 최소화 • 유리를 통한 일사 획득 차단 • 내외부 차양계획	
	풍향/풍속	• 주풍향으로의 개구부 최소화	• 자연통풍을 위한 개구부 계획	

2.2 공장건물의 에너지 영향요소 및 절약기법 고찰

2.2.1 공장건물의 정의 및 분류

(1) 공장건물의 정의

사전적 의미에서 공장이란 원료나 설비, 노동력 및 에너지 등을 일정한 장소에 집약시켜 생산, 가공, 조립 작업을 지속적이면서 경제적으로 행하는 시설을 의미한다. 한편으로는 공업의 활동장소 및 제조사업장이라고도 한다.¹⁵⁾

공장설립 관련법령에서 정의하는 공장이란 건축물 또는 공작물, 물품제조 공정을 형성하는 기계·장치 등 제조시설과 그 부대시설을 갖추고 통계청장이 고시하는 표준 산업분류에 따른 제조업을 영위하기 위한 사업장을 말한다.(산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률, 제2조 제1호) 여기서 제조업이란 원재료에 물리적·화학적 작용을 가하여 투입된 원재료를 성질이 다른 새로운 제품으로 전환시키는 산업활동을 말한다.(한국표준산업분류, 통계청 고시 제2007-53호) 따라서 단순히 상품을 선별·정리·분할·포장·재포장하는 경우 등과 같이 그 상품의 본질적 성질을 변화시키지 않는 처리활동은 제조활동이 아니다. 다만 석탄가공업은 제조업에 포함된다.(산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률 시행령, 제2조 제 1항)

또한 건축적 측면에서의 공장건물은 생산관리 목적을 달성하기 위한 일련의 환경조건을 만족시키는 장소 및 공간을 공장건축물이라 한다. 즉, 생산계획에 따른 설비능력의 효율성과 작업장·작업원의 쾌적한 환경을 생산적인 공간으로 구성·계획하는 것이 공장건축이라 할 수 있다.¹⁶⁾

(2) 공장건물의 분류

공업이라 함은 원자재 및 부품 등이 일정한 변화의 공정을 거치며 필요한 제품으로 생산되는 과정이다. 이러한 생산 과정에 의해 제조품목을 기준으로 한 한국표준산업분류가 일반적인 공장의 분류 방법이며, 이를 토대로 각종 통계 자료를 작성하는 기준으로 활용하고 있다.

한국표준산업의 분류는 농·임·어업, 광업, 제조업, 전기·가스·증기 및

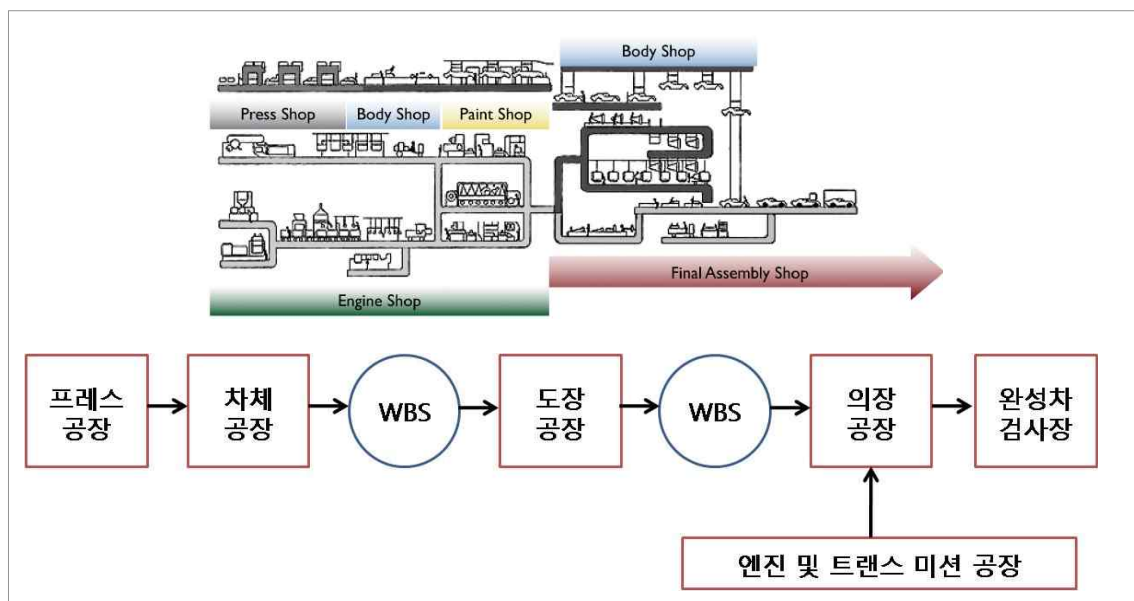
15) 두산백과사전, EnCyber & EnCyber.com

16) 김창언 저, 건축계획·설계론, 도서출판 서우

수도사업, 건설업 등 크게 21개의 항목으로 구성되어 있다. 이 중 제조활동이 이루어지는 공장이 속한 제조업은 식품, 음료, 담배, 섬유제품, 의복, 가죽, 가방 및 신발, 목재 및 나무제품, 펄프, 종이 및 종이제품, 인쇄 및 기록매체 복제, 코크스, 연탄 및 석유정제품, 화학물질 및 화학제품, 의료용 물질 및 의약품, 고무제품 및 플라스틱제품, 비금속 광물제품, 1차 금속, 금속가공제품, 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비, 의료, 정밀, 광학기기 및 시계, 전기장비, 기타 기계 및 장비, 자동차 및 트레일러, 기타 운송장비, 기타 제조업과 같은 33개의 분류로 구성되어 있다.

2.2.2 자동차공장의 생산 공정

자동차는 수많은 공정을 거쳐서 하나의 완성품으로 만들어지며, 이러한 공정들은 기능과 생산 부품에 따라 그 공정을 나누고 각각의 건물로 분리되어 있다. 자동차 생산 공장은 공정 순으로 프레스 공장(철판 절단 및 압축성형), 차체공장(프레스철판의 용접 및 조립), 도장공장(차체의 방청 처리 및 색도장), 의장공장(차체의 내·외장 및 새시 조립), 그리고 최종 테스트를 하는 완성차 검사장 등이 있다.¹⁷⁾



(그림 2.5) 자동차 공장의 생산공정

17) D. H. MOON, A case study of the body shop design in an automotive factory using 3D simulation, International Journal of Production Research, 2006

(1) 프레스 공장(Press Shop)

Press Machine을 이용하여 철판코일로부터 차량 각 부위의 철판을 찍어내는 곳으로, 첨단 기계장비가 설치되어 블랭킹공정에서부터 적재까지 전 공정이 자동화 된 라인이 대부분이다. 이 공정은 소음과 진동의 영향이 큰 관계로 구조체 설계시 고려하여야 한다.

(2) 차체 공장(Body Shop)

프레스 공장에서 만들어진 형상들을 각종 용접로봇을 이용하여 자동차의 기본적 골격을 완성하는 곳으로서, 각종 부재를 용접하는 공정이므로 용접시 발생하는 가스 및 분진을 원활하게 환기할 수 있는 설비가 필요하다.

(3) 도장 공장(Paint Shop)

도장 공장은 자동차의 내·외부에 페인트를 칠하는 공장으로 외부에서 들어오는 먼지 및 외열에 의해 도색에 지장을 주지 않도록 하여야 한다. 또한 냄새와 먼지를 효과적으로 줄이기 위한 실내 환기시설이 중요하다.

(4) 의장 공장(Assembly Shop)

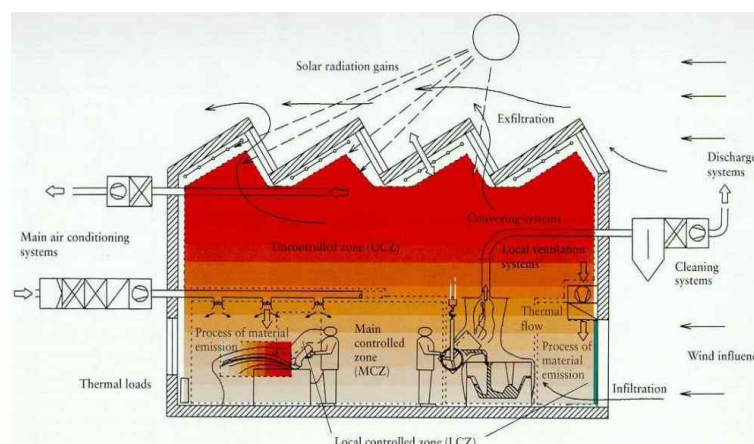
의장공정은 도장된 차체에 내장, 계기판, 시트, 유리등 실내외 의장 부품을 장착하고 엔진, 트랜스미션, 차축 등의 유니트류를 조립하여 완성차를 배출하는 최종 공정이다. 차량 조립은 노동집약적 공정으로 인력소요가 많아 작업자의 수가 가장 많은 공장이다. 또한, 차체공장 다음으로 용접이 많은 공정이므로 분진 및 가스발생에 대한 고려가 필요한 공장이다.

2.2.3 공장건물(자동차공장)의 환경적 특성

공장건물은 일반건물과는 달리, 생산설비와 생산제품의 규모가 크기 때문에 작업 공정상 필요한 공간을 확보하기 위해서는 대규모의 공간계획이 요구된다. 이에 따라 사용면적 대비 외피의 면적비율이 매우 높고, 그 중 지붕의 면적이 대부분을 차지한다. 층고가 높은 단층형 건물의 경우는 상승기류에

따른 실내온도 성층화 현상(Thermal Stratification)이 발생하여 겨울철 지붕을 통한 열손실을 가중시킨다. 지붕형태는 생산공정의 특성과 채광, 환기 등과도 밀접히 관계되어 있기 때문에 공장건물에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

또한 공장건물은 물류 반입을 위해 대형 출입문이 빈번한 개방됨에 따라 외기 침입량이 많으며, 생산공정에서 발생하는 유해물질을 배출하기 위해 대량의 기계환기량을 발생시키는 특성이 있다. 이러한 공장건물의 특성은 실내 환경과 건물에너지 소비에 복합적으로 영향을 미친다.



(그림 2.6) 공장건물의 환경적 특성

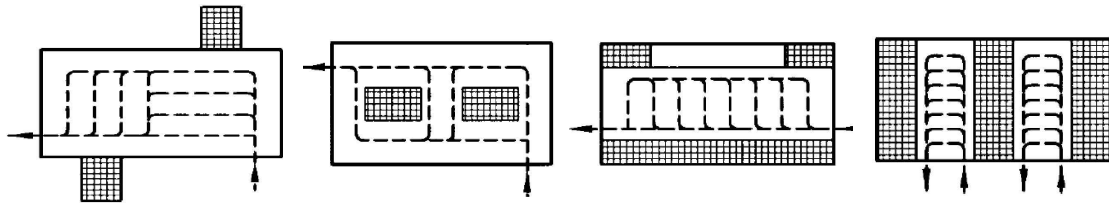
(1) 건물형태 및 규모

모든 건물은 건물의 형태를 결정짓는 요인들이 있으며, 공장건물의 경우는 생산기계의 규모 및 하중, 공장내부 및 타공장과 연계된 물류흐름, 자재 하역, 노동조건 등이 영향을 미치는 요소라 할 수 있다.

가) 평면 형태

공장건물의 평면은 생산공정의 레이아웃(layout)과 물류흐름에 영향을 가장 많이 받으며, 장래 공장규모의 변화에 대응하여 융통성을 갖는 것이 특징이다. 건물 내부는 구획의 수에 따라 단일구획과 다구획으로 나눌 수 있으며, (그림 2.7)¹⁸⁾과 같이 기타 부속실의 위치와 물류흐름과의 관계에 따라 평면이 구성된다.

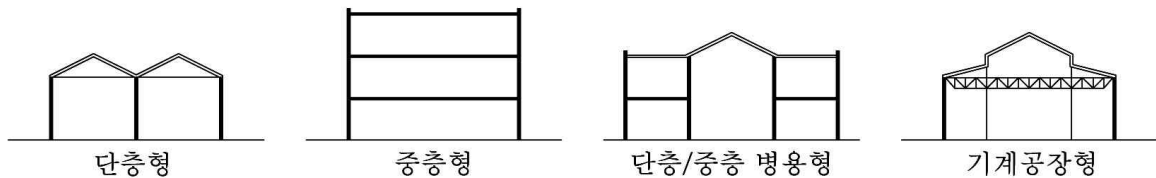
18) 엄성윤, 자동차 생산공장의 배치계획에 관한 연구, 한양대 석사학위 논문, 2000



(그림 2.7) 부속실 위치와 물류흐름에 따른 평면형태의 예

나) 단면 형태

단면형태는 생산기계 및 제품의 규모, 생산 레이아웃의 특성 공장부지의 조건 등에 따라 크게 단층형, 중층형, 단층·중층 병용형, 기계 공장형으로 나눌 수 있다.



(그림 2.8) 자동차공장의 단면형태에 따른 분류

단층형은 공장건물에서 가장 많이 나타나는 건물형태이며, 중형 및 대형 기계장비가 있는 공장 그리고 설비의 하중이 큰 공장에서 쓰여진다. 자재반입 및 운송, 생산공정의 통제 및 관리가 용이하지만, 건축면적과 건물유지비용이 많이 요구된다. 중층형 공장은 비교적 가벼운 원자재나 제품을 취급하는 공장에 적합하며, 공장의 입지조건이 불리하거나 증축에 대한 고려가 요구될 경우에 유리하다. 또한, 생산라인이 긴 공정을 단층형보다 효과적으로 계획할 수 있는 장점이 있으나 그에 따른 원활한 수직동선 계획이 요구된다. 단층·중층 병용형은 단층형과 중층형을 혼합한 형태로 생산공정이 다양하여 두가지 형태가 모두 요구될 때 적합하다.

자동차공장의 경우는 프레스 공장과 자체공장은 기계장비가 무겁고 진동이 심하기 때문에 대부분 단층형 건물형태이며, 생산라인이 긴 도장공장과 인력소요가 많아 작업자 편의시설이 필요한 의장공장은 다층형 건물 형태를 나타낸다. 프레스 공장과 자체공장과 같은 단층형건물은 층고가 높기 때문에 상승기류로 인한 실내온도 성층화현상이 심하며, 외피의 면적비율이 커 외피에 의한 열손실 및 열획득이 크다.

<표 2.8> 자동차공장의 단면형태

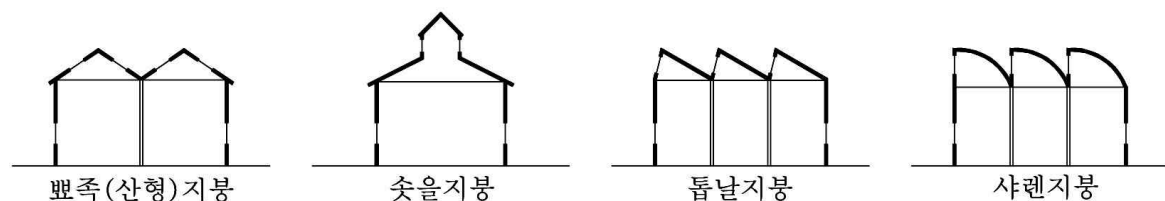
구 분	자동차공장	기타공장
단층형	프레스공장, 차체공장	기계, 조선 주물공장 등
중층형	도장공장, 의장공장	제지, 제분, 방직 공장 등
단층·중층 병용형	—	양조, 방직 공장 등
기타 특수 구조형	—	제분, 시멘트 공장 등

다) 지붕형태

공장건물에서 지붕형태가 가지는 의미는 단순히 외관만을 형성하는 것이 아니라 내부 생산공정과 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 공장지붕의 형태는 평지붕, 뿔족지붕, 솟을지붕, 툇날지붕, 샤렌지붕 등으로 나눌 수 있으며, 생산공정의 특성에 따른 기둥의 간격이나 환기 및 자연채광계획 등의 고려가 지붕의 형태를 결정한다.

뿔족지붕과 솟을지붕은 기둥간격이 넓은 경우에 사용되는 형태로 기계장비의 배치 스케일이 크고 물류흐름이 활발한 공장에 주로 적용된다. 솟을지붕은 뿔족지붕과 비해 연돌효과를 활용한 환기계획으로 뿔족지붕보다 환기가 유리하며, 자연채광 유입에 있어 직사광선을 피할 수 있는 장점이 있다.

툇날지붕과 샤렌지붕의 형태는 자연채광과 자연환기가 원활하여 주로 작업자 수가 많은 공장에 적합하다. 그러나 구조적 문제로 기둥 간격이 좁아 평면 계획시 제약이 따르며, 직사광선을 피하기 위해 북향으로 계획해야하는 특징이 있다.



(그림 2.9) 공장의 지붕형태에 따른 분류

자동차공장의 경우, 차체공장과 프레스공장은 기계장비의 스케일이 크기 때문에 비교적 스패간격이 넓게 할 수 있는 산형지붕형태를 가진다. 의장공장은 차체공장과 프레스공장보다는 스패간격에 대한 제약이 적고, 작업자의 수가 많기 때문에 자연채광과 자연환기가 원활한 툇날형지붕이 주로 사용된다.

<표 2.9> 자동차공장의 지붕형태

구 분	자동차공장
산형지붕	프레스공장, 차체공장
숫을지붕	도장공장, 의장공장
툽날지붕, 샤렌지붕	도장공장, 의장공장

(2) 건물 외피

대부분의 공장건물은 스펜간격이 넓고 대규모의 실내공간을 확보해야하기 때문에 구조적 특성상 철골구조에 경량패널을 적용하는 방식이 보편적이다. 외피구성 재료의 경우, 70~80년대에는 주로 석면슬레이트로 시공되었으나 이후 건축용 샌드위치패널이 널리 보급되어 있다. 샌드위치패널은 내부단열재 양면에 강판을 결합한 형태로 내부 단열재의 성능이 외피 전체의 열관류율에 미치는 영향이 크다. 또한 샌드위치패널의 강판은 다양한 색상으로 생산되고 있어 강판의 색상에 따른 열획득 및 열손실에 대한 고려가 요구된다.

(3) 건물 개구부

공장건물은 용도의 특성상 생산공정에 필요한 자재를 반입하기 위한 출입문이 요구되는데, 주로 운송장비들에 의해 자재가 반입되므로 출입문이 크고 빈번히 개방되는 특성이 있다. 이에 따라 출입문 개방에 따른 외기 침입량이 많아 냉·난방에너지에 많은 영향을 미친다. 프레스공장과 차체공장은 물류흐름이 빠르기 때문에 출입문의 개방 횟수가 많아 외기 침입량이 많고, 도장공장의 경우는 외부로부터 유해물질이 침입하는 것을 차단하기 위해 주로 실내양압화 설비로 계획되어있어 비교적 외기 침입이 적다고 할 수 있다.

창의 경우, 자동차공장과 같이 내부공간이 넓은 공장건물은 내부공간으로 빛을 유입하기에 외벽의 측창보다는 주로 지붕을 통한 채광이 효과적이다. 이에 따라 FPR 천라이트를 사용한 천창이나 고측창, 정측창 등이 주로 적용된다. 또한 상승기류를 활용하여 지붕으로 환기를 계획하는 것이 효과적이기 때문에 고측창, 모니터창 등 지붕에 개폐 가능한 창을 계획하는 것이 보편적이다.

(4) 내부발열 특성

공장건물은 기능적 용도의 건물로서 작업공정의 특성에 따라 내부 열환경에 많은 영향을 미친다. 대부분의 산업공정은 많은 양의 열과 수증기를 발생시켜 특히 여름철 작업자들에게 냉방부하를 가중시킨다. 작업공정의 특성에 따라 주물공장, 압연공장, 유리성형공장과 같은 경우는 Hot/dry작업장으로 분류되며, 직물공장과 염색공장 등은 Warm/moist작업장으로 분류된다. Hot/dry작업장은 습기 없이 건조한 복사열을 방출을 하며, Warm/moist작업장은 주로 잠열을 발생시키는 특성이 있다.¹⁹⁾

또한, 한국산업안전공단²⁰⁾에서는 다음과 같은 장소에서의 작업은 고열작업 환경관리 지침을 정하여 관리하고 있다.

- ① 용광로 · 평로 · 전로 또는 전기로에 의하여 광물 또는 금속을 제련하거나 정련하는 장소
- ② 용선로(鎔銑爐) 등으로 광물 · 금속 또는 유리를 용해하는 장소
- ③ 가열로(加熱爐) 등으로 광물 · 금속 또는 유리를 용해하는 장소
- ④ 도자기 또는 기와 등을 소성(燒成)하는 장소
- ⑤ 광물을 배소(焙燒) 또는 소결(燒結)하는 장소
- ⑥ 가열된 금속을 운반 · 압연 또는 가공하는 장소
- ⑦ 녹인 금속을 운반 또는 주입하는 장소
- ⑧ 녹인 유리로 유리제품을 성형하는 장소
- ⑨ 고무에 황을 넣어 열처리하는 장소
- ⑩ 열원을 사용하여 물건 등을 건조시키는 장소
- ⑪ 갱내에서 고열이 발생하는 장소
- ⑫ 가열된 로를 수리하는 장소
- ⑬ 그밖에 법에 따라 노동부장관이 인정하는 장소, 또는 고열작업으로 인해 근로자의 건강에 이상이 초래될 우려가 있는 장소

자동차공장들의 경우는 대부분 습기가 없는 건조한 복사열을 방출하는 Hot/dry작업장으로 분류 할 수 있다. 내부발열의 정도는 프레스 성형 작업이 이루어지는 프레스공장과 페인트 부스에서 열처리과정이 이루어지는 도장공

19) 2007 ASHRAE Handbook : HVAC Applications, CHAPTER 29, VENTILATION OF THE INDUSTRIAL ENVIRONMENT

20) 한국산업안전공단, 고열작업환경 관리 지침, 2007.6

장은 고온작업장에 속하며, 주로 로봇 용접 작업이 이루어지는 차체공장과 의장 공장은 프레스공장과 도장공장에 비해 상대적으로 발열이 적은 편이다.

(5) 실내 적정 온도

공장건물과 같은 작업장의 실내 온도 조건은 작업능률 및 사고율에 직접적으로 영향을 미치는 요소이며 냉난방에너지 절약과도 밀접한 관계가 있다.

실내 적정 온도는 작업종류에 따른 인체 대사량과 계절 및 공간의 용도에 따른 착의량 정도 등에 따라 다르며, 각 조건에 맞는 온도 설정이 중요하다. 일반건물에 있어 실내 적정 온도는 미국 ASHRAE Standard의 경우 겨울철 20℃~23.5℃ (0.5clo), 여름철 23℃~26℃ (0.5clo), 유럽 ISO Standard의 경우 겨울철 20℃~24℃ (0.5clo), 여름철 23℃~26℃ (0.5clo)의 기준을 제시하고 있다.

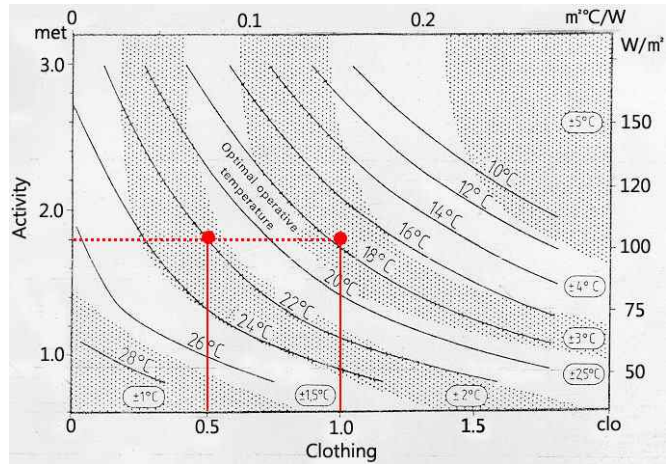
공장건물은 생산작업이 주용도인 건물로써 인체 대사량이 높은 작업특성을 갖는다. 그에 따라 실내 적정 온도는 일반건물에 비해 낮은 온도범위를 갖는다. 영국 CIBSE²¹⁾는 <표 2.10>과 같이 공장건물의 작업종류별 냉난방 온도 기준을 제시하였으며, 겨울철은 작업종류에 따라 11℃~21℃의 범위를 가지며, 여름철은 중작업과 경작업의 경우는 온도 기준을 적용하기 않고, 좌식작업시 21~23도의 기준을 제시하였다.

<표 2.10> 공장건물의 작업종류별 냉난방 온도 기준(CIBSE)

	Winter		Summer	
	Temp/℃	Clothing/clo	Temp/℃	Clothing/clo
Heavy work	11~14	0.85	—	—
Light work	16~19	0.85	—	—
Sedentary work	19~21	1.0	21~23	1.4

ISO 7730에서는 실내 활동량과 착의량의 함수관계를 통하여 적정온도범위를 제시하고 있다. 공장의 경우, (그림2.10)과 같이 활동량은 1.8met(경작업), 착의량은 여름 0.5clo, 겨울 1.0clo로 가정하였을 때, 적정온도범위는 겨울철은 18℃(±3℃), 15℃~21℃이며, 여름철은 22℃(±2), 20℃~24℃로 나타났다.

21) CIBSE(The Chartered Institution of Building Services Engineers) Guide, Environmental design



(그림 2.10) 활동량과 착의량의 함수로 나타낸 적정온도 (ISO 7730)

또한, 임정빈(2002)²²⁾연구에서는 문헌조사를 통하여 공장설계기준 난방온도를 중작업 13°C, 경작업 16°C, 좌식작업 19°C로 분석하였으며, 전체적인 쾌적온도 범위를 15°C 내외로 제안하였다.

22) 임정빈, 한국철도차량(주) 창원공장 및 환기설비공사 설계 및 시공 사례, 대한설비공학회 설비저널, 2006.6

2.2.4 친환경 자동차공장 사례조사

(1) 포드 자동차 (River Rouge Plant)²³⁾²⁴⁾

포드 자동차는 2003년 미국 미시건주 디어본(Dearborn)에 있는 트럭 조립 공장인 The River Rouge 공장과 600에이커에 해당하는 공장 대지를 친환경 생산시설로 리모델링하는 프로젝트를 추진하였다. 이는 미국 자동차 산업 역사상 가장 큰 재개발 사업이었으며, 이 프로젝트 이후 포드 자동차는 생산시설의 에너지 절약을 위해 노력을 하는 기업으로 알려지게 되었다.



(그림 2.11) 포드 자동차의 River Rouge공장과 옥상 녹화

River Rouge 공장의 재개발 전략은 첫째 지붕 녹화를 통해 열부하를 줄이고, 빗물을 효율적으로 사용할 수 있는 계획, 둘째 생산시설 내에서 태양광을 이용할 수 있는 자연채광 시스템 설치, 셋째 공장 직원들을 위해 향상된 실내환경을 조성하는 것이다.

2007년 포드 자동차는 미국 내의 자사 시설에서 4.5%의 에너지 효율을 개선하였으며, 이는 약 1천 8백만 달러의 에너지를 절약한 것에 해당한다. 이와 같은 노력으로 2008년에는 미국 환경 보호국(EPA)에서 ‘Energy Star Award’ 를 수상하였다.

<표 2.11> 포드 자동차, River Rouge공장의 에너지절약기법

구 분	에너지 절약 기법
냉·난방에너지	지붕 녹화
	벽면녹화(Greenscreen)
조명에너지	자연채광(고측창)

23) The Resource Portal for Green Roofs, <http://www.greenroofs.com>

24) Ford Motor Company website. Introducing our Greenest Automotive Factory. <http://www.fordvehicles.com/environmental/greenerplant/>

(2) 혼다 자동차 (Honda Motor Company)^{25) 26)}

혼다 자동차는 자체적으로 그린 팩토리 추진계획(Green Factory Initiatives)을 세워, 모든 생산시설에서 발생하는 환경부하를 줄이는데 노력하고 있으며, 온실가스 배출 감소, 에너지 효율 향상, 생산과정에서 발생하는 부산물의 재활용 등이 주된 전략이다. 이와 관련하여 북미 지역에 있는 혼다 자동차의 14개 공장 중 13개의 공장이 환경경영시스템 국제규격 인증 ISO 14001을 획득하였다. 또한 총 6개의 건물이 LEED 인증을 받았으며, 미국 오리건주(Oregon)의 American Honda's Northwest Regional Center는 자동차 산업계에서 유일하게 LEED Platinum을 획득하였다.



(그림 2.12) American Honda's Northwest Regional Center

그린 팩토리 추진계획은 냉방부하의 주요 원인이 되는 일사획득을 방지하기 위해 광반사 지붕을 사용하고, 건물재료는 재활용되었거나 재활용이 가능한 재료를 사용하도록 하고 있다. 또한 공장 내 에너지 효율 향상을 위하여 고효율 조명을 설치하도록 하였으며, 도장부스(Paint Booth)에 새로운 공기조화 기술인 “Intelligent Paint Booth”를 도입하여 도장작업 시 소비되는 에너지를 25% 감소시켰다.

<표 2.12> 혼다 자동차, 그린 팩토리 추진계획의 에너지절약기법

구 분	에너지 절약 기법
냉 · 난방에너지	광반사 지붕(Energy Star 인증제품)
	이중단열 창호
	로이(Low-e) 유리
조명에너지	고효율 조명, Motion Sensor
	자연채광

25) American Honda Motor Co. Inc., <http://www.honda.com>

26) U.S. Green Building Council, <http://www.usgbc.org>

(3) 토요타 자동차 (Tsutsumi Plant)²⁷⁾²⁸⁾

일본에 위치한 토요타의 Tsutsumi 공장은 토요타 자동차가 친환경 공장으로 계획한 5개의 공장 중의 하나이다. Tsutsumi 공장의 개발 전략은 환경부하를 최소화하고, 다른 공장에 적용할 수 있는 최선의 전략을 개발하는 하는 것과 더불어, 환경과 사람에게 친화적인 공장을 만들기 위하여 건물 자체가 지역 환경을 정화시키는데 기여하도록 계획하는 것이다.



(그림 2.13) 토요타 자동차의 Tsutsumi 공장

토요타 자동차는 친환경적인 Tsutsumi 공장의 성공적 경험을 바탕으로 “Green Manufacturing” 전략을 다른 공장으로 확산시키고 있다. 또한 지역 환경을 정화시키는데 기여하기 위해 건물 외피에 햇빛과 반응하여 활성산소를 발생시키는 광촉매 페인트와 공장에서 발생하는 열과 질소산화물(NOx)을 흡수하도록 지붕녹화를 적용하였다.

공장 내에서 소비되는 에너지를 줄이 위한 방안은 태양광 덕트와 고측창을 설치하여 자연광을 최대한 이용하도록 하였으며, 지붕에 50,000m² 면적의 태양광 패널을 설치하여 총 전기 사용량의 50%를 충당하고 있다. 이를 통해, Tsutsumi 공장은 2003년에서 2007년 사이에 36%의 이산화탄소 배출량 감소를 달성하였다.

<표 2.13> 토요타 자동차, Tsutsumi 공장의 에너지절약기법

구 분	에너지 절약 기법
냉·난방에너지	지붕 녹화
	이중단열 창호
조명에너지	에너지 절약형 조명
	자연채광(고측창)
	태양광 덕트(Reflective tubes)

27) 한국 토요타 자동차, <http://www.toyota.co.kr>

28) Toyota UK news, reviews, videos and pictures, <http://blog.toyota.co.uk/>

(4) 볼보 자동차(Volvo Europa Truck Plant)²⁹⁾

스웨덴의 볼보 자동차는 벨기에의 Oostakker 지역에 이산화탄소를 배출하지 않는 최초의 공장건물을 목표로 Europa 트럭 공장을 계획하였다. 볼보 자동차는 환경보호를 자사의 핵심가치로 선언하며, 에너지 효율적인 제품생산, 건물에너지 및 이산화탄소배출 감소, 지속가능한 에너지 생산, 환경적 목표 달성을 위한 기업 경영을 추진하고 있다.



(그림 2.14) 볼보 자동차의 Europa Truck 공장

Europa 트럭 공장은 패시브 하우스(Passive house)의 원리를 공장건물에 적용하여 고단열 벽체, 고성능 창호, 가동식 차양장치, 방풍장치 등의 에너지 절약기법을 사용하였다. 인공조명의 사용을 줄이기 위하여 천창을 설치하고 실내 벽면과 바닥을 밝은 색상의 재료를 사용하였다.

<표 2.14> 볼보 자동차, Europa Truck 공장의 에너지절약기법

구 분	에너지 절약 기법
냉·난방에너지	고단열 벽체
	고성능 창호(Low-e 유리)
	가동식 차양장치
	방풍장치 (Wind protection devices)
조명에너지	자연채광(천창)
	밝은 색상의 내부 마감재 사용

29) VOLVO EUROPA TRUCK NV, <http://www.volvogroup.com>

2.3 공장건물의 주요 에너지 영향요소 및 절약 기법 도출

건물에너지 영향요소와 에너지 절약기법을 고찰한 후, 자동차공장을 중심으로 한 공장건물의 특성 분석과 친환경 자동차공장건물에 대한 사례조사를 통하여 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지절약기법을 도출하였다. <표 2.15>는 공장건물의 주요 에너지인자를 선정하여, 그에 따른 각 에너지별 절약기법을 정리하였다.

공장건물의 형태는 지붕형태가 가장 큰 비중을 차지한다. 지붕형태에 따라 표면적과 일사획득량이 다르기 때문에 냉·난방에너지에 영향을 미치며, 자연채광과 자연환기 계획에 있어서도 지붕형태는 중요하게 고려되어야 할 부분이다. 건물외피는 샌드위치패널이 주로 사용됨에 따라 샌드위치패널의 단열성능 향상에 대한 고려가 필요하며, 자재 반입을 위한 대형 출입문 개방에 따른 침기량을 차단하는 계획이 중요하다.

<표 2.15> 공장건물의 에너지절약기법

구 분	공장건물의 주요 에너지인자	난방에너지 절약기법	냉방에너지 절약기법	조명에너지 절약기법
건물배치	건물의 향	• 남향배치	• 북향배치	• 남향배치
	주풍향	• 방풍계획	• 주풍향을 고려한 자연환기 계획	—
건물(공간) 형태	지붕형태	• 표면적이 작은 지붕 형태 계획 • 일사획득이 유리한 지붕형태 계획	• 표면적이 작은 지붕 형태 계획 • 일사차단이 유리한 지붕형태 계획 • 자연환기를 고려한 지붕형태 계획 (고측창, 모니터창 등)	• 자연채광을 고려한 지붕형태 계획 (고측창, 모니터창 등)
건물외피	단열성능	• 샌드위치패널 단열 성능 향상 • 지붕녹화	• 샌드위치패널 단열 성능 향상 • 지붕녹화	—
	표면성질(색상)	• 반사율/방사율이 낮은 강판색상 사용	• 반사율/방사율이 높은 강판색상 사용	
	침기량	• 기밀성능 향상	• 기밀성능 향상	
건물 개구부	창호 (Window)	• 천창(고측창, 모니터 창 등)면적 최소화	• 천창(고측창, 모니터 창 등)면적 최소화	• 천창(고측창, 모니터 창 등)면적 최대화
	개구부 (Opening)	• 대형 출입문 개폐에 따른 침기량 차단 계획	• 자연통풍을 위한 개구부 계획 (주풍향, 상승기류 활용)	• 가시광선 투과율이 높은 재료 사용 (천창 FPR채광판) • 밝은색의 내부 마감재 사용

2.4 소 결

본 장에서는 건물에너지 영향요소 및 절약기법을 고찰하고, 자동차 공장건물을 중심으로 한 공장건물의 특성 분석 및 친환경 자동차공장건물 사례조사를 통하여 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지 절약기법을 도출하였다.

난방에너지 절약기법은 외부환경으로부터 실내의 열손실을 최소화하고 일사획득을 촉진시키는 원리인 반면, 냉방에너지 절약기법은 실내의 열획득을 최소화하고 내부의 열을 외부로 배출시키는 원리이다. 조명에너지는 자연채광을 통해 실내의 빛 유입을 최대화하는 원리를 사용한다. 따라서 각 에너지 절약기법은 건축계획적인 측면에서 복잡한 상관관계가 존재하기 때문에 개별적인 에너지 절약기법은 또 다른 에너지를 증가시킬 것으로 판단된다.

공장의 건물형태는 생산설비의 규모가 크기 때문에 대부분 대규모의 형태를 가지며, 이에 따라 사용면적 대비 외피의 면적비율이 매우 크며, 그 중 지붕의 면적이 대부분을 차지한다. 지붕형태는 생산공정의 특성과 자연채광, 자연환기 계획 방식에 따라 산형지붕, 솟을(모니터형)지붕, 톱날지붕 등의 형태를 갖는다. 외피재료는 구조적 특성상 샌드위치패널이 보편적으로 적용되며, 패널 강판은 다양한 색상으로 제작된다. 또한 자재 반입을 위해 대형 출입문이 빈번히 개방되어 외기 침입량이 크다.

친환경 자동차공장 사례조사를 통하여 적용된 에너지약기법을 분석한 결과, 냉·난방에너지 절약기법은 지붕 및 벽면녹화, 고단열 벽체, 이중단열 창호, 광산사 지붕, 가동식 차양 등이 있으며, 조명에너지 절약기법으로는 천창, 고측창, 태양광 덕트 등 주로 지붕을 이용한 자연채광 방식이 적용된 것으로 조사되었다.

이를 토대로 공장건물의 주요 에너지 절약기법을 다음과 같이 도출하였다.

(1) 난방에너지 절약기법으로는 표면적이 작고 일사획득에 유리한 지붕형태 계획, 샌드위치패널 단열성능 향상, 반사율/방사율이 낮은 강판 색상 사용, 천창면적 최소화, 대형 출입문 개방에 따른 침기량 차단 계획 등을 도출하였다.

(2) 냉방에너지 절약기법으로는 표면적이 작고 일사차단에 유리한 지붕형태 계획, 샌드위치패널 단열성능 향상, 반사율/방사율이 높은 강판 색상 사용, 천창면적 최소화, 주풍향과 실내상승기류를 활용한 자연환기 계획 등을 도출하였다.

(3) 조명에너지 절약기법으로는 자연채광을 고려한 지붕형태, 창면적 최대화, 가시광선 투과율이 높은 채광판 사용 등을 도출하였다.

그러나 도출된 각 에너지별 절약기법은 건축요소의 대해 상관관계가 있기 때문에 전체에너지를 줄이기 위한 통합적인 에너지절약 방안이 분석되어야 할 것으로 판단된다.

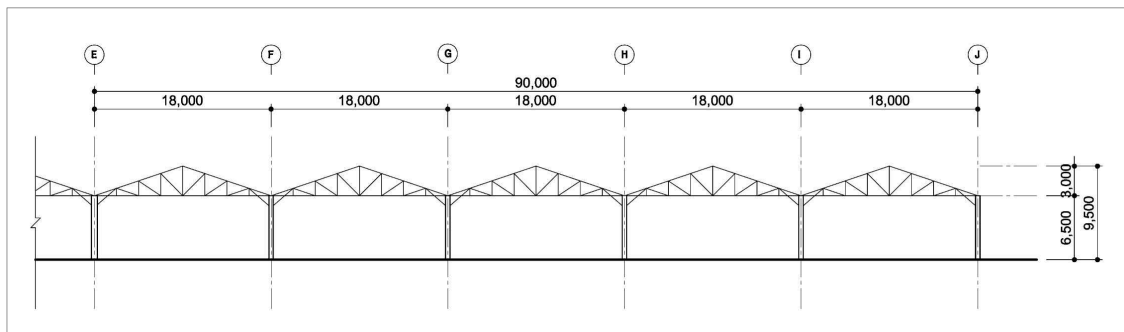
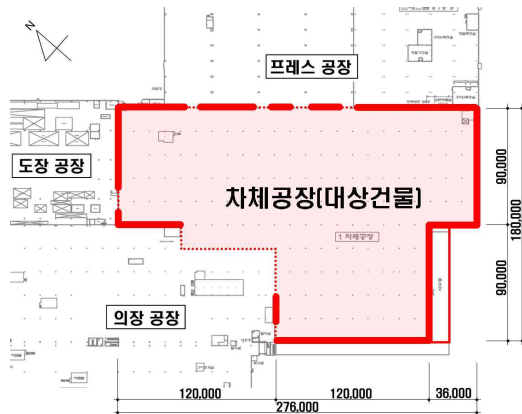
제 3 장 대상건물의 에너지 성능평가 및 에너지절약요소 선정

3.1 대상공장건물 개요

대상공장건물은 자동차공장건물 중 차체공장이며 울산지역에 위치해 있다. 연면적이 38,232㎡인 대규모의 공장으로 6~9m의 층고를 가진 단층형 건물이며, 지붕형태는 스패인 18m인 산형지붕이다. 난방시스템은 가스직화식 공조기가 적용되었고, 냉방시스템은 적용되어 있지 않다.

<표 3.1> 대상건물 개요

건물명	울산 1차체공장	건물 향	남서향
연면적	38,232㎡	지붕형태	산형지붕
위치	울산	스팬 (Span)	18m
층수	1층 (단층)	난방시스템	가스직화식 공조기
층고	6~9m	냉방시스템	미적용



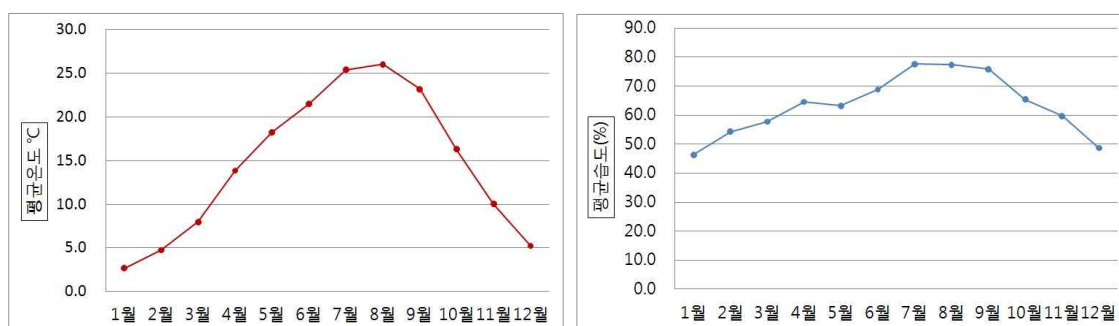
(그림 3.1) 대상공장건물의 평면도와 단면도

3.2 대상건물지역 기후분석

대상건물지역(울산지역)은 동경 129° 15′, 북위 35° 36′에 위치하고 동쪽으로 바다와 면해 있으며, 지리학적으로 온대 중 난·온대기후에 속한다. 다음의 기후분석 자료는 본 연구의 시뮬레이션 기후데이터인 한국태양에너지학회 표준기상데이터(울산지역)³⁰⁾를 토대로 정리하였다.

3.2.1 평균 온·습도

대상지역의 월별 평균온도는 동절기(11월~2월) 2.6℃~10.0℃, 하절기(6월~9월) 21.5℃~26.0℃로 나타났다. 연간 평균온도는 14.6℃이며, 1월이 2.6℃로 가장 낮고 8월이 26.0℃로 가장 높게 나타났다. 월별 평균습도는 1월이 가장 낮은 46.3%, 7월이 77.6%로 가장 높게 나타났으며 연간 평균습도는 63.3%이다.



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균온도 (°C)	2.6	4.7	8.0	13.9	18.2	21.5	25.4	26.0	23.2	16.3	10.0	5.2
평균습도 (%)	46.3	54.4	57.8	64.6	63.2	68.9	77.6	77.4	75.8	65.5	59.7	48.7

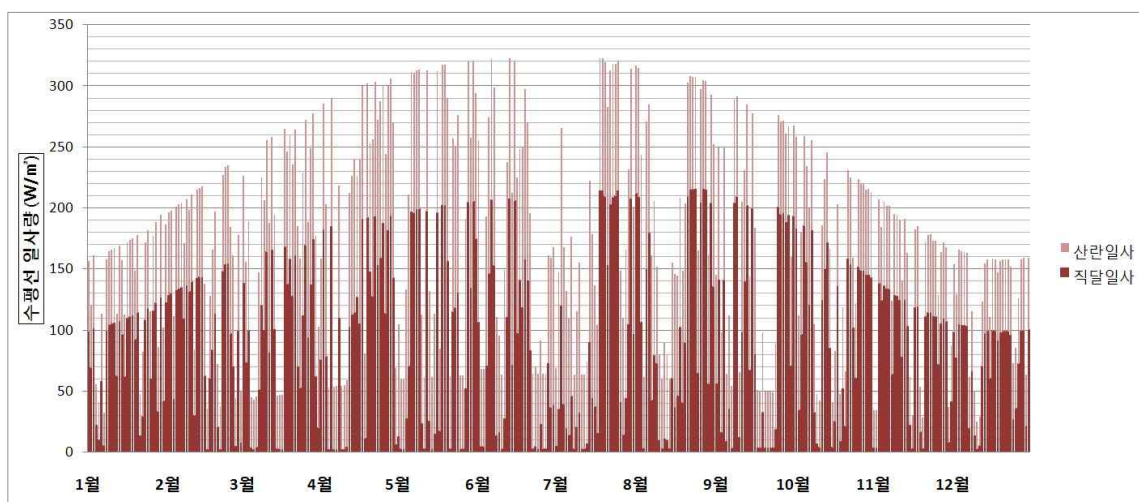
(그림 3.2) 대상지역 평균 온·습도

평균온도와 습도를 분석한 결과, 겨울철은 한랭건조한 기후로 전형적인 대륙성기후를 나타내며, 여름철은 고온다습한 해양성 기후를 나타낸다. 또한, 대상지역은 해안가에 위치하고 있기 때문에 내륙지역에 비해 해양으로부터 다습한 공기의 유입이 많다고 할 수 있다.

30) 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr/>

3.2.2 일사량

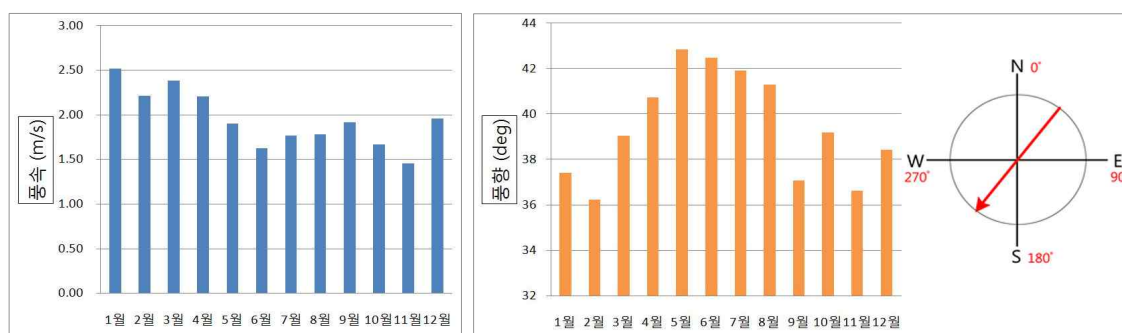
대상지역의 수평면 일사량(W/m^2)은 (그림 3.3)과 같으며, 태양고도가 높고 일조시간이 긴 여름철이 겨울철에 비해 많이 나타나는 패턴을 보이고 있다. 7월과 같은 경우는 장마기간의 영향으로 일사량이 작게 나타난 것으로 판단된다.



(그림 3.3) 연간 수평면 일사량

3.2.3 풍향 · 풍속

연간 평균풍속은 1.9m/s로 나타났으며, 월별 평균풍속을 분석해 보면 겨울철의 풍속이 여름철보다 대체적으로 빠른 것으로 나타났다. 풍향의 경우 월별 $36.2^\circ \sim 42.8^\circ$ 로 나타나 연중 주풍향은 북동향인 것을 알 수 있다.



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균풍속 (m/s)	2.5	2.2	2.4	2.2	1.9	1.6	1.8	1.8	1.9	1.7	1.5	2.0
주풍향 (deg)	37.4	36.2	39.0	40.7	42.8	42.5	41.9	41.3	37.1	39.2	36.6	38.4

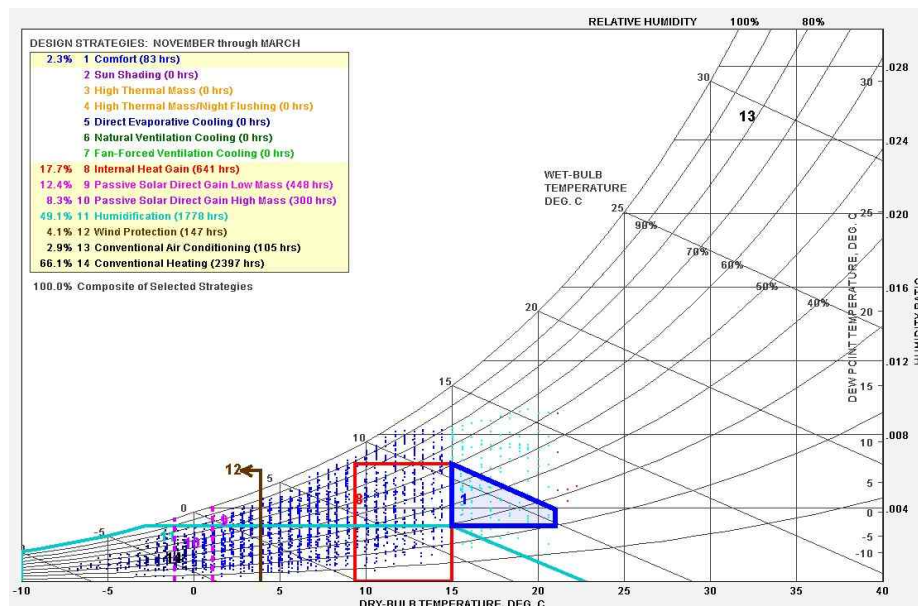
(그림 3.4) 대상지역 평균풍속과 주풍향

3.2.4 건물생체기후도 분석

건물생체기후도 분석은 대상지역의 기후 특성을 분석하여, 대상건물에 적합한 에너지절약기법을 선정하기 위해서다. Climate consultant 4.0을 이용하였으며, 겨울철과 여름철의 에너지절약기법을 개별적으로 분석하기 위하여 겨울철 난방기간(11월~3월)과 여름철 냉방기간(6월~9월)으로 나누어 분석하였다. 기상 데이터는 본 연구의 에너지 해석 시뮬레이션(EnergyPlus)에서 사용한 기상 데이터와 동일하게 한국태양에너지학회³¹⁾에서 제공하는 대한민국 표준기상데이터(울산)를 적용하였다.

(1) 난방기간(난방에너지 절약기법)

겨울철 난방기간은 11월~3월까지 분석하였으며, 쾌적 온·습도 범위는 앞서 분석한 공장건물의 겨울철 적정온도 $15\sim 21^{\circ}\text{C}$ ($18^{\circ}\text{C} \pm 3$)와 상대습도 범위는 30~60%로 설정하였다.



(그림 3.5) 대상지역의 겨울철 건물생체기후도 분석

분석결과, 난방기간 총 3,624시간 중 쾌적 범위에 있는 시간인 Comfort는 83시간(2.3%), Internal Heat Gain 641시간(17.7%), Passive Solar

31) 한국태양에너지학회, <http://www.kses.re.kr/>

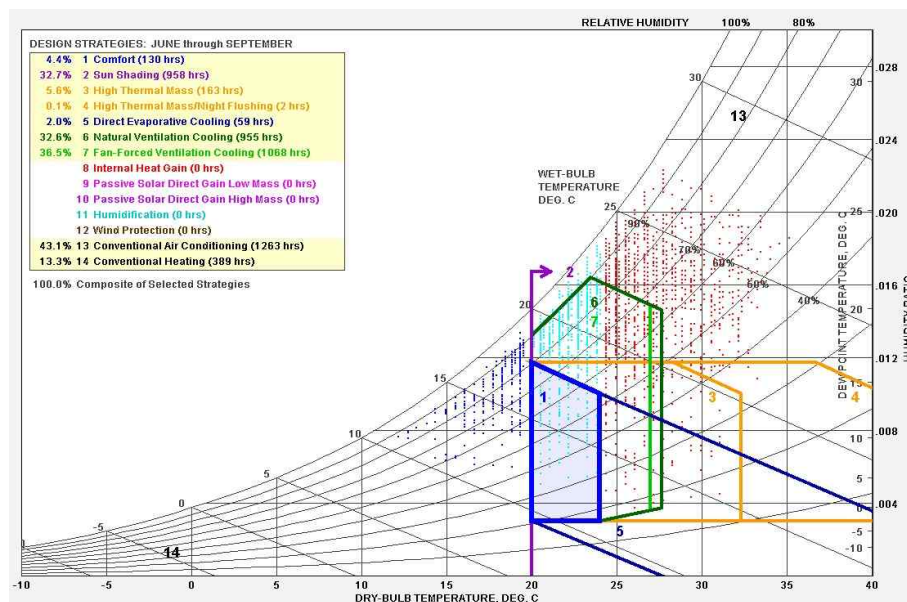
Direct Gain 748시간(20.7%), Wind Protection 147시간(4.1%)으로 나타났다. 그 외 Conventional Heating 2397시간(66.1%)은 설비형 조절이 필요한 부분임에 따라 단열성능 강화하여 설비형 조절의 비중을 낮추는 것이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 대상지역 단열성능 강화 및 침기 차단, 창을 통한 태양열 획득, 방풍계획 순으로 중요하다고 판단할 수 있다.

<표 3.2> 건물생체기후도를 통한 난방에너지 절약기법

건물생체기후도 분석 결과			대상지역의 주요 에너지절약기법
	환경조절 방법	비율(%)	
자연형 조절	Comfort	2.3	—
	Internal Heat Gain	17.7	—
	Passive Solar Direct Gain	20.7	창을 통한 태양열 획득
	Wind Protection	4.1	침기 차단
설비형 조절	Conventional Heating	66.1	단열성능 강화
	Humidification	49.1	—

(2) 냉방기간(냉방에너지 절약기법)

여름철 냉방기간은 6월~9월까지 분석하였으며, 쾌적 온·습도 범위는 앞서 분석한 공장건물의 겨울철 적정온도 $20\sim 24^{\circ}\text{C}$ ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$)와 상대습도 범위는 30~80%로 설정하였다.



(그림 3.6) 대상지역의 여름철 건물생체기후도 분석

분석결과, 냉방기간 총 2,928시간 중 Comfort는 130시간(4.4%)이며, 자연형 조절 중에서 Sun Shading 958시간(32.7%)과 Natural Ventilation 955시간(32.6%)이 가장 높게 나타났다. High Thermal Mass/Night Flushing과 Direct Evaporative는 비중이 낮게 나타나 대상지역에서는 축열체를 이용한 야간통풍이나 증발냉각보다는 자연환기를 이용한 냉방방식이 효과적인 것을 알 수 있다.

<표 3.3> 건물생체기후도를 통한 냉방에너지 절약기법

건물생체기후도 분석 결과			대상지역의 주요 에너지절약기법
	환경조절 방법	비율(%)	
자연형 조절	Comfort	4.4	—
	Sun Shading	32.7	차양 계획
	High Thermal Mass / Night Flushing	5.7	—
	Direct Evaporative	2.0	—
	Natural Ventilation	32.6	자연환기 계획
설비형 조절	Fan-Forced Ventilation	36.5	—
	Conventional Air Conditioning	43.1	—

3.3 대상공장건물 에너지 성능 평가

3.3.1 시뮬레이션분석 개요

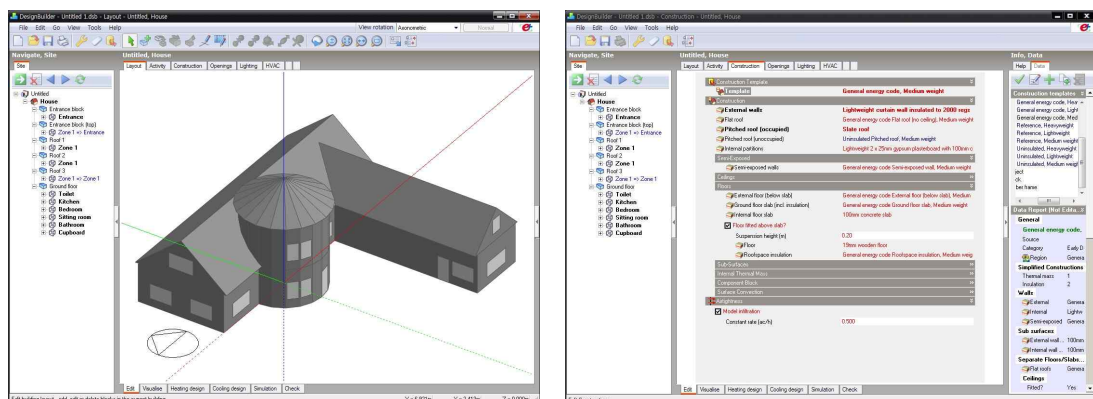
대상건물은 주변공장과 직접 면해있는 부분이 많고, 서로 연결된 개구부도 많아서 주변공장을 포함한 전체를 모델링하였다. 또한, 주변공장의 조건을 대상공장과 동일한 조건으로 설정하여 주변공장으로의 열이동을 최소화하였다.

3.3.2 시뮬레이션도구 선정

대상건물의 정밀에너지해석을 위하여 컴퓨터프로그램인 'DesignBuilder2.1', 'EnergyPlus4.0'을 사용하여 시뮬레이션을 수행한다. EnergyPlus는 건물 모델링 부분에 있어서 3D View를 제공하지 않아 건물모델링에 많은 어려움을 발생시킨다. 이를 보완하기 위하여 건물모델링이 용이한 DesignBuilder를 통하여 건물모델링을 하며, 최종 에너지해석은 EnergyPlus를 사용한다.

(1) DesignBuilder

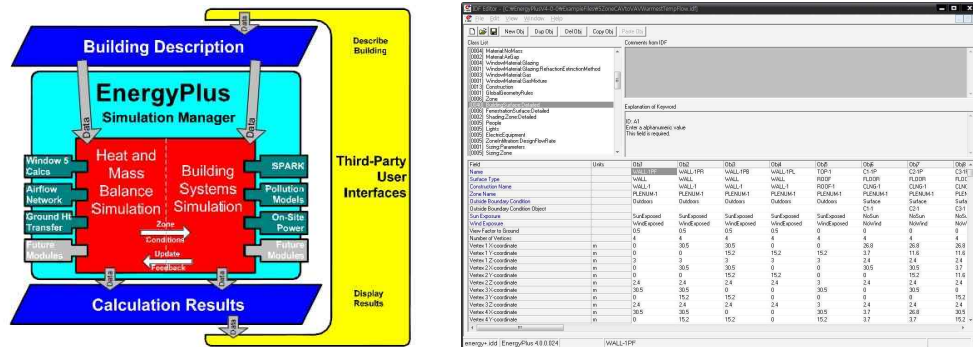
EnergyPlus의 모델링에 있어서 어려움을 해결하기 위해 모든 모델링 요소를 시각화하여 사용자가 간편하게 건물 모델링과 공조시스템 모델링을 할 수 있다. 또한, 각 단계별 3D View를 제공하기 때문에 수정이 용이하고 AutoCAD와 연동이 가능하다.



(그림 3.7) DesingBuilder

(2) EnergyPlus

90년대 중반 미국 에너지 관리국에서 개발된 에너지 해석 프로그램으로써 BLAST와 DOE-2의 장점만을 조합한 것이다. 모듈형 구조를 가지기 때문에 사용자가 자유롭게 시스템을 구성할 수 있으며 통합된 열 및 물질 평형에 기준한 존 시뮬레이션이 가능하고, 습기전달 문제, 태양광발전과 같은 대체 에너지 시스템의 해석이 가능하다.



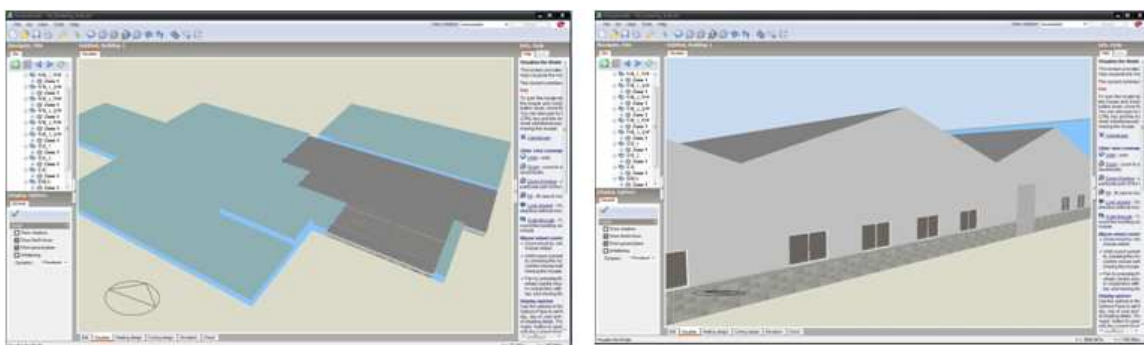
(그림 3.8) EnergyPlus

3.3.3 시뮬레이션 입력데이터

(1) 기상데이터

시뮬레이션에 사용한 울산지역 기상데이터는 한국태양에너지학회³²⁾에서 제공하는 대한민국 표준기상데이터(울산)를 적용하였다.

(2) 건물 모델링 및 외피 구성



(그림 3.9) DesignBuilder 건물모델링

32) 한국태양에너지학회, <http://www.kses.re.kr/>

<표 3.4> 외피 구성 및 물성치

구성		재료	두께 (mm)	열전도율 (W/m℃)	비열 (J/kg℃)	비중 (kg/m³)	열관류율 (W/m²K)
외벽	슬레이트 벽체	석면슬레이트	6.5	0.580	1004	2240	0.58
		단열재	50	0.030	837	30	
		밤라이트	40	0.580	1004	2240	
	콘크리트 블록 벽체	콘크리트 블록	152.4 (6in)	0.516	836	1922	2.18
지붕	슬레이트 지붕_1 (단열재 적용)	석면슬레이트	6.5	0.580	1004	2240	0.58
		단열재	50	0.030	837	30	
		밤라이트	40	0.580	1004	2240	
	슬레이트 지붕_2 (단열재 미적용)	석면슬레이트	6.5	0.580	1004	2240	5.52
바닥	콘크리트	콘크리트	200	1.376	879	2198	2.80

<표 3.5> 외피부위별 평균 열관류율

건물 외피	구성	벽면적 (창/문면적 제외)	열관류율 (W/m²K)	평균열관류율 (W/m²K)
남동측 외벽	슬레이트 벽체	509m²	0.58	0.86
	콘크리트 블록 벽체	108m²	2.18	
남서측 외벽	슬레이트 벽체	432m²	0.58	0.89
	콘크리트 블록 벽체	117m²	2.18	
지붕	단열재 적용 부분	28,249m²	0.58	2.06
	단열재 미적용 부분	12,107m²	5.52	
바닥	콘크리트	38,232m²	2.80	2.80

외피구성 및 물성치는 <표 3.4>와 같으며, 대상건물은 여러 차례의 증축 및 개·보수로 인해 외피 구성이 일정하지 않아 외피부위별로 평균 열관류율을 적용하였다. 따라서 <표 3.5>과 같이, 외피부위별로 외피구성 면적비율에 따른 평균 열관류율을 계산하여, 남동측 외벽 0.86W/m²K, 남서측 외벽 0.89W/m²K, 지붕 2.06W/m²K를 적용하였다.

<표 3.6> 창호의 물성치

구성	재료	두께(mm)	열전도율 (W/m²℃)	차폐계수 (0~1)	태양열획득 (0~1)
단창	맑은유리	6.0	0.9	0.89	0.78
FRP 채광판(천창)	FRP	1.5	0.3	0.83	0.54

(3) 냉 · 난방 설정온도

영국 CIBSE³³⁾는 공장건물의 실내 적정온도에 대하여 겨울철 난방온도는 11℃~21℃, 여름철 냉방온도 21~23℃도 제안하고 있다. ISO 7730에서는 실내 활동량과 착의량의 함수관계를 통하여 적정온도범위를 제시하고 있으며, 공장의 경우는 활동량 1.8met(경작업), 착의량 여름 0.5clo, 겨울 1.0clo로 가정하였을 때, 적정온도범위는 겨울철은 18℃(±3℃), 15℃~21℃이며, 여름철은 22℃(±2), 20℃~24℃로 나타났다. 이를 참고하여 난방설정온도 15℃, 냉방설정온도는 24℃로 하였다.

(4) 내부발열량

가) 인체발열량

대상공장은 크게 No.1공정과 No.2공정으로 나뉘며, 각 공정당 85인씩 총 170명의 작업자가 근무를 하고 있다. 작업상태 및 장소에 따른 인체발열량은 ASHRAE Fundamentals³⁴⁾의 내용을 참조하였으며, 대상공장의 작업특성을 고려하여 가벼운 기계작업에 해당하는 현열 110W, 잠열 185W를 설정값으로 하였다.

<표 3.7> 1인당 인체 발열량

작업상태	장소	인체발열량(W)	
		현열	잠열
영화관람(착석)	극장	65	30
착석/가벼운 작업	아파트, 사무실, 호텔	70	45
입식/가벼운 작업	아파트, 사무실, 호텔	75	55
가벼운 보행	약국, 은행	75	70
가벼운 작업대 일	공장	80	140
가벼운 댄스	댄스홀	90	160
보행(4.8km/h), 가벼운 기계작업	공장	110	185
중작업	공장	170	255
중작업(기계작업, lifting)	공장	185	285
운동	체육관	210	315

33) CIBSE(The Chartered Institution of Building Services Engineers) Guide, Environmental design

34) 2009 ASHRAE Handbook : Fundamentals, CHAPTER 18, NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS

나) 조명발열량

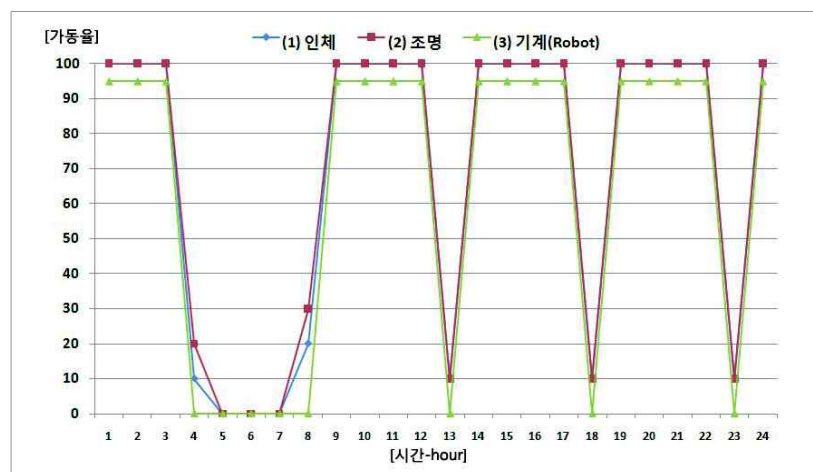
공장 내 조명기구(형광등 40W)가 1075개가 설치되어 있어 총 형광등의 수량은 4300개로 계산하였다. 전체 발열량은 172,880W이며, 단위면적당 조명밀도는 약 4.4W/m²로 산출되었다.

다) 내부기계발열량

공장건물의 특성상 제품을 생산하기 위한 기계장비 및 기타 부속기기들이 공장 내부에 복잡하게 구성되어있다. 대상공장은 Robot장비가 기계장비의 대부분을 차지하며, 각 공정(No.1, No.2)당 179대의 Robot장비가 있다. 기본적으로 내부기계의 발열량은 Robot장비의 수량과 소비전력을 산출하여 계산하였다. Robot 한 대당 소비전력은 1,527W, 총 Robot수량은 358대이므로 전체 발열량은 546,845W이며, 단위면적당 발열밀도는 약14.0W/m²로 산출되었다.

라) 내부발열 스케줄

공장가동 스케줄은 월~금요일까지이며, 일별 작업시간은 주·야간 각 8시간씩 총 16시간 가동하고 있다. 이에 따라 일일 내부발열 스케줄을 (그림 3.10)과 같이 설정하였으며, 기계발열 스케줄의 경우는 대상공장의 기계 가동을 95%을 고려하여 설정하였다.



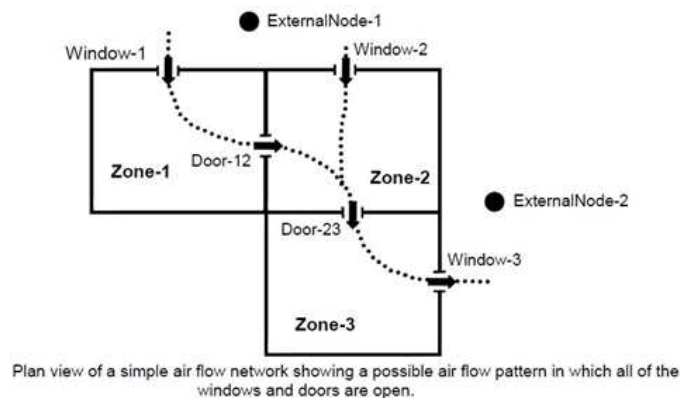
(그림 3.10) 내부발열 스케줄

(5) 침기량(Infiltration Rates)

일반적으로 동적 열해석 시뮬레이션에서의 침기량 설정은 고정된 일정조건에서 산출된 건물의 침기횡수(회/시간)를 입력조건으로 하고 있다. 그러나 이 방법은 건물 주변에 실시간으로 변화하는 기상조건을 정량적으로 평가하기에는 적합하는 않는 방법으로 판단된다. 동적 열해석 시뮬레이션을 이용하여 연간 에너지소비량을 평가하는 조건에서는 연간 표준기상데이터의 기상조건 변화에 따라 자연환기의 특성을 평가할 수 있는 방법이 요구된다.

또한 공장건물과 같은 대형공간의 경우, 측정을 통하여 기밀성능을 평가한다는 것은 현실적으로 거의 불가능하며, 빈번한 출입문 개방에 따른 침기와 창틈새 및 기밀도가 낮은 외피구조체를 통한 틈새바람등의 조건들을 평가할 수 있는 시뮬레이션 방법이 필요하다.

본 연구에서의 침기량은 EnergyPlus의 AirFlowNetwork 모델을 이용하였으며, 대상공장과 기상데이터 조건에 대한 동적인 침기량을 예측하여 시뮬레이션 설정값을 도출하였다. AirFlowNetwork 모델은 건물개구부의 개방과 표면 누기, 덕트 및 환기 장치 등에 의한 공기유동을 다수 존 혹은 실내·외부를 네트워크 모델로 표현하여 그 수치를 정량적으로 평가한다.



(그림 3.11) AirFlowNetwork 모델 원리

AirFlowNetwork 모델의 침기량 예측은 창·문에 의한 침기량은 틈새법(Crack Method)을 이용하였고, 외벽, 지붕 등의 외피구조체에 의한 침기량은 누기면적법을 적용하였다. 또한, 출입문 개방에 의한 자연환기량 예측은 해당되는 출입문(Door Object)에 개방 스케줄을 적용하는 방식으로 모델링하였다.

가) 창·문 틈새를 통한 침기

창과 문의 틈새바람은 틈새법(Crack Method)를 이용하였고, 개구부가 닫혀있을 경우에 해당된다. EnergyPlus는 아래 (식 3.1)과 같은 알고리즘을 사용하고 있으며, 해당되는 창호에 대하여 유동지수/흐름지수(n)와 유동계수/침기계수(k)를 시뮬레이션 설정값으로 갖는다.

$$Q = ka(\Delta P)^n$$

Q : m^3/s
 a : 크랙의 길이(mm)
 W : 크랙의 폭(mm)
 n : $0.5 + 0.5\exp(-W/2)$
 k : $0.0097(0.0092)^n$
 ΔP : 압력차(Pa)

(식 3.1)

유동지수/흐름지수(n)는 기류의 형상에 따른 지수이며, 큰 개구부의 경우는 0.5에 가까운 값을 가지고 작은 균열의 경우는 0.65에 가까운 값을 갖는 것으로 나타난다.³⁵⁾ 일반적으로 풍동실험에 의한 연구에서는 0.63~0.67 정도가 적합한 것으로 알려져 있다. 유동계수/침기계수(k)은 개구부 틈새의 형상에 따른 계수이며, 국내 창호를 대상으로 측정한 연구에 따르면 유동계수가 0.64일 때, 플라스틱창 $0.00016m^3/s\cdot m$, 목재창 $0.00027m^3/s\cdot m$, 금속창 $0.00035m^3/s\cdot m$ 로 나타났다. 이를 참고하여 시뮬레이션 입력값으로 $n=0.64$, $k=0.00035$ 로 설정하였다.

나) 외피를 통한 침기

외벽과 지붕에 의한 침기는 누기면적법을 적용하였으며, EnergyPlus는 아래 (식 3.2)과 같이 유효누기면적(Effective Leakage Area : ELA)에 의한 알고리즘을 사용한다. ASHRAE Standard에서는 4Pa에서의 유효누기면적에 대하여 $1.1\sim 2.2cm^2/m^2$ (Tight), $3.1\sim 6.36cm^2/m^2$ (Medium), $8.8\sim 17.6cm^2/m^2$ (Loose)로 건물의 기밀성 정도를 구분하고 있다. 대상공장건물의 기밀성능은 공장의 노후화를 감안하여 Loose에 해당하는 중간 값인 $12.4cm^2/m^2$ 를 유효누기면적으로 설정하였다.

35) ASHRAE Fundamentals(2009)

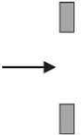
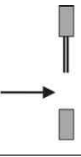
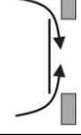
$$Q = C_d ELA \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (\text{식 3.2})$$

Q : m^3/s
 C_d : 유량계수
 ELA : 누기 면적(m^2)
 ΔP : 압력차(Pa)
 ρ : 공기밀도(kg/m^3)

다) 출입문 개방에 따른 침기

출입문이 개방될 때마다의 자연환기량을 예측하기 위하여 빈번히 개방되는 해당 출입문에 스케줄을 설정하여 모델링하였다. (식 3.3)은 출입문 면적에 따른 공기유동량 계산을 위한 변형식으로 기류의 형상을 난류로 가정하여 유동지수(n)를 0.5로 고정하고, 유동계수(k)를 유량계수(C_d)와 면적으로 나누어 표시한 식이다. 시뮬레이션은 유량계수(C_d)를 설정값으로 가지며 <표 3.8>을 참고하여 0.65를 입력값으로 설정하였다. 개방 스케줄 설정의 경우, EnergyPlus의 Time Step은 최소 1분단위 간격까지 설정할 수 있어 대상공장의 시간당 자재반입횟수 56.62회/hr를 바탕으로 출입문 1개소당 개방횟수 및 개방시간을 계산하였다. 자재반입을 위한 출입문은 총 10개소이며, 자재운반 특성상 운송장비의 왕복 횟수가 고려되어야 하므로 출입문 1개소당 개방 횟수를 11.32회/hr로 가정하였다. 또한 1회 개방시간은 20초로 가정하였다. 이에 따라 출입문 1개소당 1시간에 4분(226.4초)이 개방되는 것으로 설정하였다.

<표 3.8> 창호개방방식에 따른 유량계수

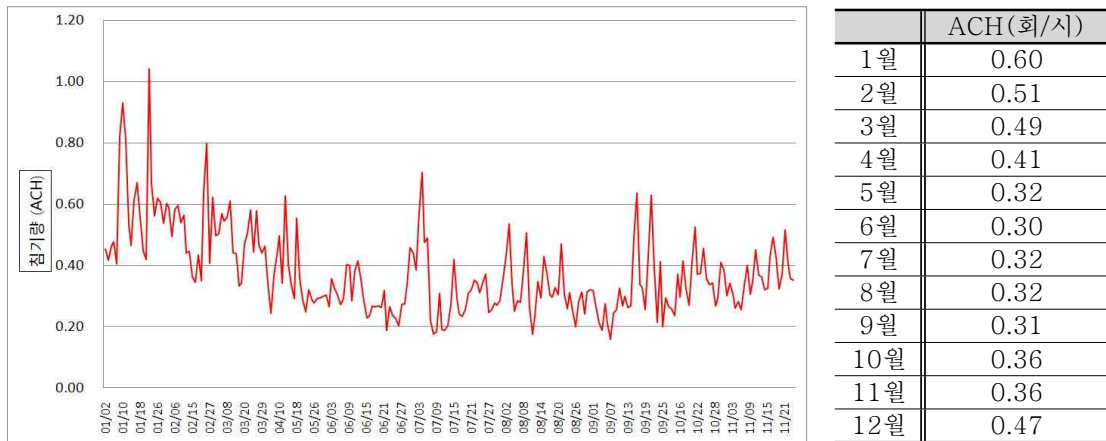
구분	형태	유량계수	비고
Opening (창호크기)		0.65~0.70	-
Sliding		0.33~0.35	일반 opening의 50%
Parallel		0.20~0.30	200mm 돌출개방

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}} \quad (\text{식 3.3})$$

Q : m^3/s
 C_d : 유량계수
 A : 개구부 면적(m^2)
 ΔP : 압력차(Pa)
 ρ : 공기밀도(kg/m^3)

라) 침기량 산정

위의 설정조건을 토대로 EnergyPlus의 AirFlowNetwork 모델을 이용하여 연간 침기량을 분석해 본 결과, (그림 3.12)와 같이 기상데이터의 조건의 변화에 따라 실시간으로 변화하는 동적 침기량을 산출하였다.



(그림 3.12) 연간 침기량(Air Change Rates[ACH])

(6) 기계 환기량(Mechanical Ventilation Rates)

대상공장건물은 대규모의 형태이며, 생산공정에서 발생하는 강제환기설비가 대량으로 이루어지고 있고, 노후화된 외피와 자재반입을 위하여 대형 출입문이 빈번히 개발되기 때문에 상당히 복잡한 환기특성과 기류흐름을 갖고 있기 때문에 정밀한 환기횟수를 산정하는 것에는 한계가 따른다. 이에 따라 열부하해석을 위한 환기횟수의 산정은 외피 및 개구부개방에서 발생하는 침기량과 기계환기량을 개별적으로 산정하여 환기횟수를 설정하였다.

대상건물의 환기설비는 작업 공정시 발생하는 유해물질을 배출하기 위하여 배기 위주의 환기설비가 계획되어 있다. <표 3.9>는 각 공정별 급·배기팬의 풍량과 수량을 토대로 환기율(ACH)을 계산하였으며, 시뮬레이션 설정값으로 는 배기팬의 환기율을 합산한 3.28ACH를 설정값으로 하였다.

<표 3.9> 공정별 기계환기량

구분	공정		풍량 (CMH)	Fan 수량	환기율 (ACH)	합계 (ACH)
급기	#170공정		43,200	1	0.15	0.18
	#320공정		9,800	1	0.03	
배기	전체배기		31,000	16	1.68	3.28
			30,000	4	0.41	
			24,000	2	0.16	
	국소배기	#321공정	60,000	1	0.20	
		B/B 라인	30,000	2	0.20	
			16,500	1	0.06	
			15,000	1	0.05	
		B/B 라인 (CO ₂ 배기)	60,000	1	0.20	
		SIDE ASS'Y 라인	30,000	1	0.10	
			19,200	2	0.13	
		전자기술반 ROBOT 정비룸	6,120	1	0.02	
		지그 정비반	4,800	2	0.03	
		Y-3 라인	4,920	1	0.02	
			6,900	1	0.02	

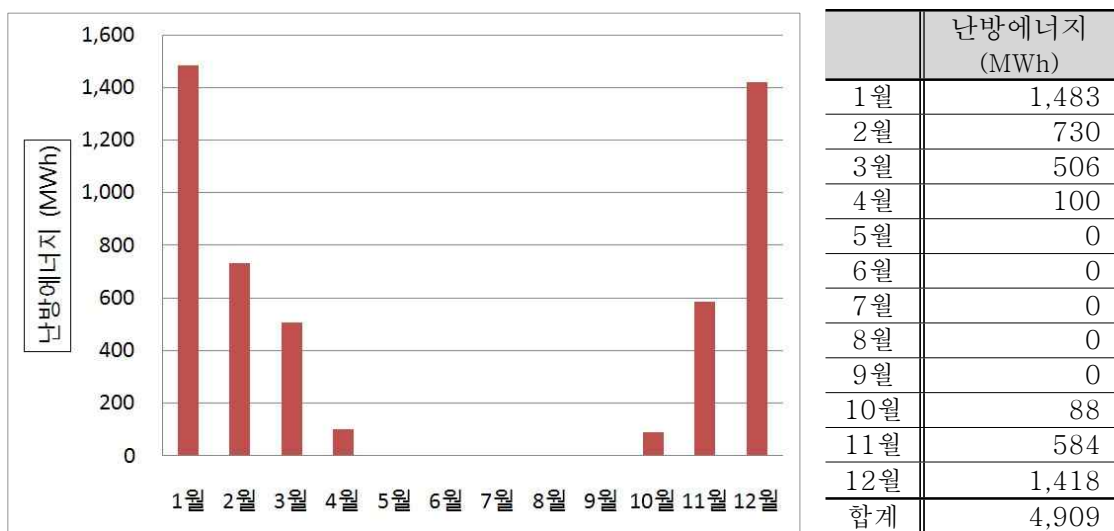
3.3.4 시뮬레이션 분석 결과

대상공장건물의 연간 에너지소비량은 1차에너지 소비량³⁶⁾으로 환산하여 계산하였다. 이는 통합 에너지절감방안 분석을 위하여, 가스(LNG)를 사용하는 난방에너지와 전력을 사용하는 냉방·조명에너지를 동일한 열량단위로 합산하여 총량을 계산하는데 타당하다고 판단된다. 2차 에너지인 전력의 경우, 전력사용의 1차에너지 소비량 환산기준 2,150 kcal/kWh³⁷⁾을 적용하여 계산하였다.

(1) 냉·난방에너지 소비량

대상건물의 난방시스템인 가스직화식 공조기는 EnergyPlus에서 제공되지 않는 시스템이고, 냉방시스템은 적용되어있지 않은 점을 고려하여 본 연구의 냉·난방에너지 소비량은 시뮬레이션을 통해 냉·난방에너지부하를 산출하고 가스 직화식 공조기 효율 99.7%, 냉동기 COP 3.0으로 가정하여 1차에너지 소비량으로 산출하였다.

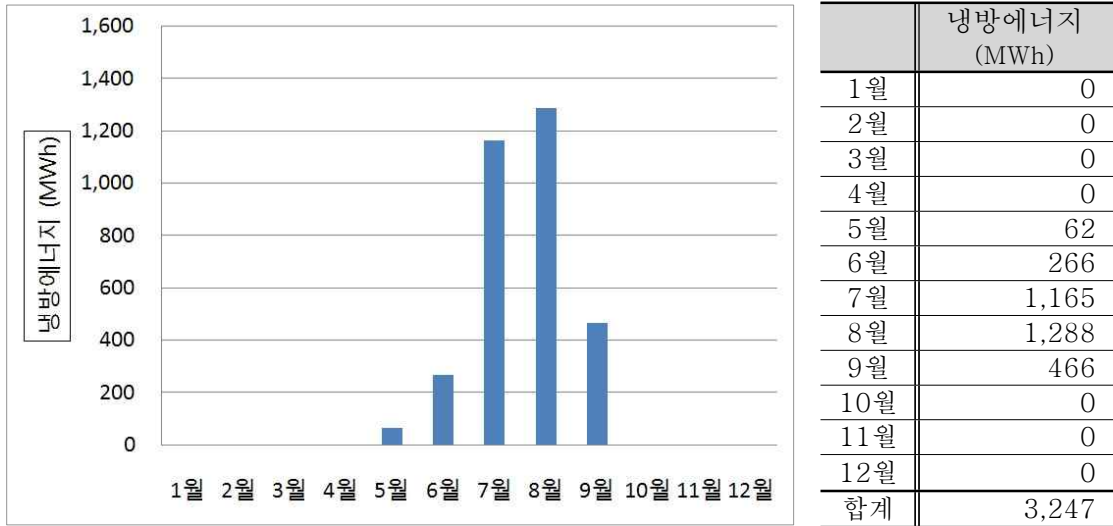
이에 따라 연간 난방에너지는 4,909MWh/yr, 냉방에너지는 3,247 MWh/yr로 나타났다.



(그림 3.13) 연간 난방에너지 소비량

36) 1차에너지 소비량 : 에너지소요량에 연료의 채취, 가공, 운송, 변환, 공급과정 등의 손실을 포함한 단위면적당 에너지량(국토해양부, 보도자료, 2009, 12.31)

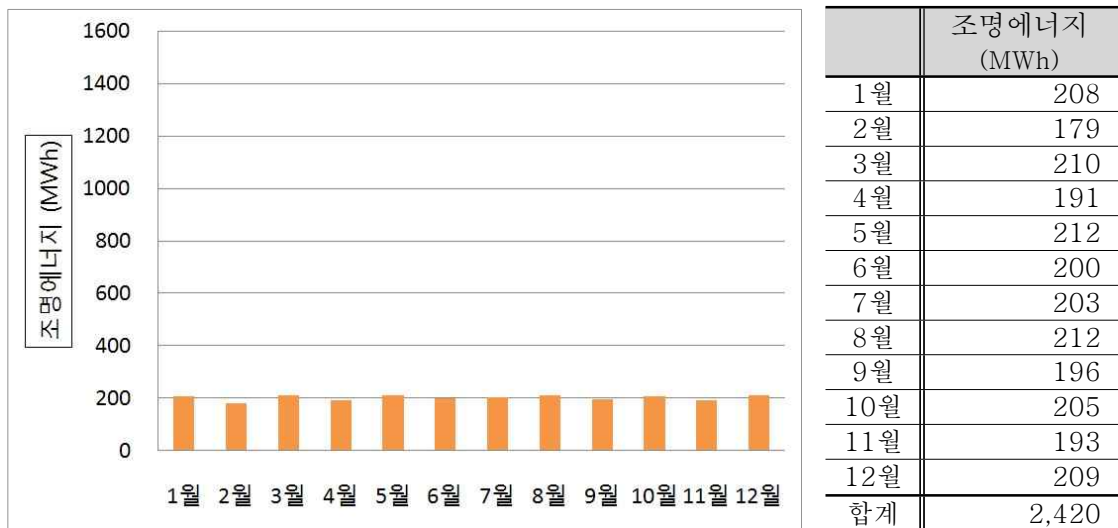
37) 에너지 열량환산기준(에너지 기본법 제5조 제1항 관련)



(그림 3.14) 연간 냉방에너지 소비량

(2) 조명에너지 소비량

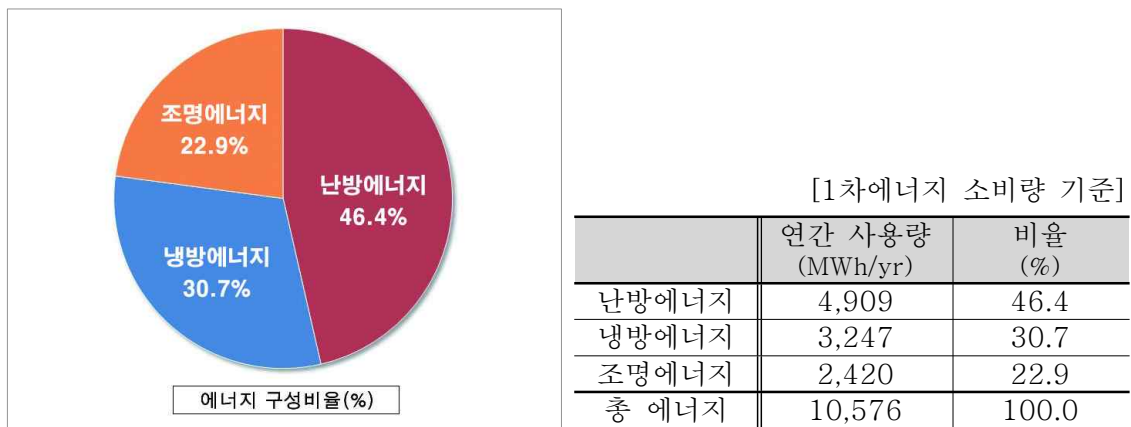
조명에너지 소비량은 공장 내 조명기구인 4등용 형광등(40W) 1075개에 대하여 공장 가동스케줄에 따른 인공조명에너지의 사용량이며, 1차에너지 소비량으로 계산하였다. 분석 결과, 연간 조명에너지 사용량은 2,420MWh/yr로 나타났다.



(그림 3.15) 연간 조명에너지 소비량

(3) 대상건물의 에너지 특성 분석

냉·난방에너지와 조명에너지를 합산한 총 에너지사용량은 10,576 MWh/yr로 나타났으며, 이에 대한 구성 비율은 난방에너지 46.4%, 냉방에너지 30.7%, 조명에너지 22.9%로 나타나 난방에너지의 비중이 가장 높고, 냉방에너지, 조명에너지 순으로 높았다. 총 에너지 절약을 위해서는 에너지 구성 비율이 가장 높은 난방 에너지를 절약하는 것이 가장 효과적일 수 있으나, 냉방에너지와 조명에너지의 사용량도 적지 않고 에너지별 상관관계가 존재하기 때문에, 3가지 에너지를 복합적으로 고려하는 방안이 바람직 할 것으로 판단된다.



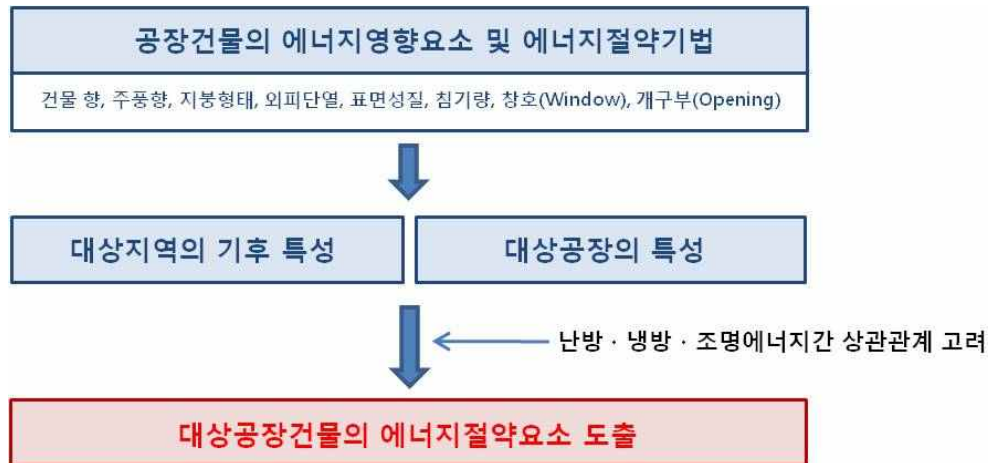
(그림 3.16) 대상건물의 에너지 구성비율 및 총에너지 사용량

3.4 대상공장건물의 에너지절약요소 선정

3.4.1 대상공장건물의 에너지절약요소 선정 프로세스

앞서 고찰한 공장건물의 주요 에너지영향요소 및 에너지절약기법을 바탕으로, 건물생체기후도 분석에 따른 대상지역의 주요 에너지절약기법과 현 대상 공장건물의 문제점 및 적용 가능한 에너지절약기법을 분석하여, 대상공장건물의 에너지절약요소를 선정하였다. 또한 에너지영향요소의 변화와 에너지절약기법 적용에 따라 난방, 냉방, 조명에너지에 복합적으로 영향을 미칠 수 있는 에너지영향요소 및 에너지절약기법을 고려하여 선정하였다. (그림 3.17)

은 대상공장건물의 에너지영향요소 및 에너지절약기법을 선정하기 위한 프로세스를 도식화 한 것이다.



(그림 3.17) 대상공장건물의 에너지절약요소 선정 프로세스

3.4.2 대상공장건물의 에너지절약요소 선정

공장건물의 주요 에너지영향요소는 건물의 향, 주풍향, 지붕형태, 단열성능, 표면성질(색상), 침기량, 창호(Window), 개구부(Opening)로 도출하였으며, 이를 바탕으로 대상공장건물의 에너지절약요소 선정여부를 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 건물의 향과 주풍향

건물배치계획에 따른 건물의 향과 주풍향 활용은 고려대상에서 제외하였다. 대상공장건물은 자동차공장 중 차체공장으로 생산공정상 주변에 접해있는 타공장과 밀접하게 관련되어 있으므로, 개별적으로 건물배치를 변경하는 것은 의미가 없는 것으로 판단하였다.

(2) 지붕형태

대상공장건물의 지붕은 면적비율이 외피 전체 대비 약 96% 이상을 차지하기 때문에 외피로 인한 열획득과 열손실에 절대적인 영향을 미친다. 이에 따라 지붕과 관련된 요소에 대한 다양한 분석이 필요하다. 공장건물의 지붕형태는 유형별로 표면적의 차이가 크기 때문에 에너지절약적인 공장계획을 위

하여 지붕형태에 대한 고려가 중요할 것으로 판단되어 에너지절약요소로 선정하였다.

(3) 단열성능

대상공장건물은 준공된 지 30년이 넘는 공장으로 준공 당시, 단열성능이 좋지 못하게 설계되었고 외피의 노후화로 인해 단열성능이 현저히 저하되었을 것으로 판단되며, 현재 공장건물에서 보편적으로 사용되고 있는 샌드위치패널을 적용했을 시의 에너지 절감효과 분석이 요구된다. 또한 대상지역의 건물생체기후도 분석 결과, 단열성능에 대한 중요도가 높기 때문에 대상공장건물의 에너지절약요소에 선정하였다.

(4) 외피 표면성질

대상공장건물과 같이 지붕의 표면적이 큰 건물은 외피 표면성질에 따른 냉난방에너지의 변화가 클 것으로 예상된다. 최근 공장건물의 외장재는 샌드위치패널이 보편적으로 적용되는 반면, 현 대상공장건물의 외장재는 석면 슬레이트로 되어 있다. 따라서 석면 슬레이트와 표면이 강판으로 제작되는 샌드위치패널간의 에너지 성능 차이를 비교하고, 다양한 색상으로 제작되는 샌드위치패널 강판에 대한 색상별 에너지 성능 분석이 요구됨에 따라 에너지절약요소로 선정하였다.

(5) 침기량(외기 침입량)

본 연구에서의 침기량은 외피의 틈새를 통한 침기와 함께 개구부 개방에 따른 외기 침입도 포함하였다. 현 대상공장건물은 외피의 노후화로 인해 기밀성능이 현저히 저하되어 있으며, 자재반입을 위해 대형 출입문이 빈번하게 개방됨에 따라 외기 침입량이 크게 발생하고 있다. 따라서 침기량으로 인한 열손실 및 열획득이 클 것으로 판단되어, 기밀성능과 출입문 개방에 따른 외기 침입량을 대상공장건물의 에너지절약요소로 선정하였다.

(6) 창호(Window)와 개구부(Opening)

대상지역의 건물생체기후 분석 결과, 겨울철 창을 통한 일사획득과 여름철 차양계획에 대한 중요도가 높게 나타났으나, 대상공장건물은 창면적 비율이 매우 작아 냉난방에너지에 미치는 영향력이 낮다. 이에 따라 창호에 대한 부

분은 창을 통한 일사획득 및 차단계획보다는 지붕면을 활용한 자연채광 계획과 대상지역의 기후특성상 개구부(Opening) 개념에서의 자연환기 계획이 더 바람직할 것으로 판단하였다. 대상공장건물은 평면이 넓기 때문에 측창보다는 지붕을 활용한 자연채광기법이 더 효과적이며, 층고가 높은 특성을 고려하여 상승기류를 활용한 자연환기 계획이 적합할 것으로 판단된다. 이에 따라 창호 및 개구부에 대한 부분은 자연채광과 자연환기 계획을 에너지절약요소를 선정하였다.

따라서 대상공장건물의 에너지절약요소로 지붕형태, 단열성능, 표면성질, 침기량, 자연채광계획, 자연환기계획을 최종적으로 선정하였다. 또한 선정된 에너지절약요소는 <표 3.10>과 같이 난방·냉방·조명에너지에 복합적으로 영향을 미치고 있다.

<표 3.10> 선정된 에너지절약요소의 건물에너지 영향력 범위

선정된 에너지절약요소	에너지 영향력 범위		
	난방에너지	냉방에너지	조명에너지
지붕형태	○	○	×
단열성능	○	○	×
외피 표면성질	○	○	×
침기량	○	○	×
자연채광	○	○	○
자연환기	×	○	○

3.5 소 결

본 장에서는 대상공장건물(차체공장)을 선정한 후, 건물생체기후도를 활용하여 대상지역의 기후에 적합한 에너지절약기법을 도출하고, 열해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 대상공장건물의 연간 난방·냉방·조명에너지와 이를 합산한 총에너지 사용량을 분석하였다. 그리고 이러한 분석 결과와 현 대상공장건물의 문제점 및 특성을 종합적으로 분석하여, 앞서 도출한 공장건물의 주요 에너지영향요소 및 에너지절약기법 중 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하였다. 또한 에너지절약요소의 변화에 따라 난방, 냉방, 조명에너지에 복합적으로 영향을 미칠 수 있는 요소를 고려하여 선정하였다.

건물생체기후도 분석 결과, 대상지역의 기후 조건은 겨울철의 경우 단열성능 강화 및 침기차단, 창을 통한 태양열 획득, 방풍계획 순으로 효과적인 것으로 나타났고, 여름철은 차양계획과 자연환기 계획이 적합한 것으로 분석되었다.

연간 에너지사용량 분석의 경우, 시뮬레이션 입력데이터는 도면 및 관련자료 검토와 현장측정을 중심으로 설정값을 도출하였으며, 그 외의 부족한 정보들은 문헌을 참고하여 가정하였다. 침기량은 출입문 개폐에 따른 동적 침기량을 산출하기 위하여 AirFlowNetwork 모델을 이용하였으며, 분석결과 겨울철은 0.36~0.60ACH, 여름철은 0.30~0.32ACH로 나타나 겨울철 침기량이 더 많은 것으로 나타났다. 연간 에너지소비량은 각 에너지별 열량단위를 동일하게 하기 위해 1차에너지 소비량으로 환산하여 계산하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 난방에너지 소비량은 4,909MWh/yr(46.4%), 냉방에너지 소비량 3,247 MWh/yr(30.7%), 조명에너지 소비량은 2,420MWh/yr(22.9%), 총 에너지 소비량은 10,576MWh/yr로 나타나, 난방에너지의 소비량이 가장 높고, 냉방, 조명에너지 소비량 순으로 소비량이 많은 것으로 나타났다. 작업자 활동량의 특성상 일반건물에 비하여 냉·난방설정온도가 낮게 설정됨에도 불구하고 난방에너지 소비량이 냉방에너지 소비량보다 많게 나타난 것을 비추어 볼 때, 대상공장건물은 난방부하에 대한 건물의 조건이 다소 취약한 것으로 판단된다. 그러나 냉방에너지와 조명에너지 사용량의 비중도 작지 않기 때문에 건물에너지 절약을 위해서는 3가지 에너지에 대한 복합적인 고려가 필요할 것으로 보인다.

대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소로는 지붕형태, 단열성능, 외피 표면성질, 침기량(외기 침입량), 자연채광계획, 자연환기계획을 선정하였다. 지붕형태는 지붕면적이 외피 전체면적의 96% 이상을 차지하고 있어 지붕으로 인한 일사획득 및 열손실 비중이 클 것으로 판단하였다. 또한 외피의 노후화로 인해 단열성능이 현저히 저하되었을 것으로 판단되었고, 다양한 색상으로 제작되는 샌드위치패널 강판에 대한 색상별 냉난방에너지 변화의 분석이 요구됨에 따라 샌드위치패널의 단열성능과 표면성질을 적용요소로 선정하였다. 침기량의 경우, 공장의 노후화로 인해 기밀성능이 좋지 못하고, 자재반입을 위해 대형 출입문이 빈번하게 개방됨에 따라 외기 침입량이 크게 발생하므로 적용요소로 선정하였다. 창호(Window)와 개구부(Opening)의 경우는 건물의 자연채광과 자연환기 계획에 직접적으로 연관되어 있는 요소임에 따라 지붕 면적이 크고, 층고가 높은 대상공장건물의 특성을 고려하여, 지붕면을 통한 자연채광 계획과 상승기류를 활용한 자연환기 계획이 효과적일 것으로 판단하였다.

제 4 장 에너지절약요소별 에너지 성능 평가 및 통합 절감 방안 제시

4.1 에너지절약요소별 에너지 성능 평가

본 절에서는 제3장에서 선정한 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소인 지붕형태, 단열성능, 외피 표면성질, 침기량, 자연채광, 자연환기를 중심으로 각 요소별 에너지 성능 평가를 실시하였다. 에너지 성능 평가는 시뮬레이션을 이용하여 에너지절약요소별로 설계변수를 설정한 후, 그에 따른 난방·냉방·조명에너지 사용량과 이를 합산한 총 에너지 사용량(1차에너지 소비량)을 평가하였다. 또한 이러한 분석 결과를 토대로 각 요소별로 난방·냉방·조명에너지 사용량과 총 에너지 사용량에 대한 최적의 설계변수를 도출하였다. 설계변수는 자동차공장건물에 보편적으로 적용 가능한 변수를 설정하기 위하여 관련기준, 적용 범위 및 적용 가능성, 생산제품리스트 등의 분석을 통하여 설정하였다.

4.1.1 지붕의 형태

(1) 설계변수 분석

가) 지붕 표면적과 경사

지붕형태는 표면적과 일사량 취득과 관련하여 냉·난방부하에 영향을 미치며, 바닥면적과 실용적이 동일하여도 표면적의 크기에 따라 냉·난방부하는 달라진다. 난방부하의 경우 실내의 열손실은 건물의 표면적에 비례하지만, 일사량 취득에 있어서는 태양의 고도와 방위를 고려해서 일사를 받는 쪽의 외피면적을 증대하는 것이 유리하다. 냉방부하의 경우는 표면적이 크게 하면 외기와의 접촉면이 증가하여 방열에 의한 냉각에는 유리하지만, 일사취득량이 많아져 냉방부하를 증가시킨다. 특히, 대상건물과 같은 규모가 큰 자동차공장건물은 지붕의 형태에 따라 표면적의 크기가 많은 달라지고, 지붕경사에도 영향을 많이 미쳐 일사취득량에도 많은 차이가 있다.

지붕형태에 대한 기존의 연구를 정리하면 다음과 같다. 박병규 외(2001)의 연구³⁸⁾에서는 세가지 유형의 지붕형태(박공지붕, 외쪽지붕, 평지붕)를 5

개의 방위를 대상으로 모형실험을 통하여 부하를 분석한 결과 건물의 향은 세가지 지붕형태 모두 남향이 가장 유리하였으며, 부하의 경우 박공지붕이 가장 유리하고, 다음이 외쪽지붕, 평지붕 순으로 나타났다.

김삼수(2001)의 연구³⁹⁾에서는 냉난방부하 최소화를 위한 방위별 지붕형태의 최적 기울기를 분석한 결과, 냉난방부하 모두 모든 향에서 박공지붕이 가장 유리한 것으로 나타났다. 그 다음으로는 평지붕이 외쪽지붕보다 유리한 것으로 나타났으나 남향의 난방부하의 경우는 10° 내외의 외쪽지붕이 평지붕보다 유리하며, 북향의 냉방부하의 경우 또한 외쪽지붕이 유리한 것으로 나타났다. 태원진 외(2005)⁴⁰⁾의 연구에서도 냉방부하에 대한 지붕의 최적기울기를 제안하였으며, 분석결과 지붕형태는 박공지붕 형태가 가장 유리한 것으로 나타났다. 그 다음이 남향의 건물들은 평지붕이 유리함을 보이고 동향과 서향은 기울기가 $0^\circ < X \leq 10^\circ$ 범위에 있는 건물이 유리하고, 북동과 북서는 $0^\circ < X \leq 15^\circ$, 북향은 외쪽지붕이 평지붕보다 유리한 것으로 나타났다.

나) 자동차 공장의 지붕 형태 분석

공장건물의 지붕형태를 조사하기 위하여 한국산업단지공단의 산·학·연 통합정보망(e-CLUSTER)에서 관리하는 산업단지 중 8개의 산업단지를 대상으로 지붕형태를 분석한 연구⁴¹⁾에 따르면, 박공지붕(산형지붕)이 가장 많은 비중을 차지하며, 솟을지붕과 평지붕 형태도 일정비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

자동차공장지붕의 형태는 차체공장과 같은 장비배치의 스케일이 크고, 진동이 심하고 기계장비가 무거워 단층 건물의 형태가 유리하다. 이로 인해 지붕의 외피가 차지하는 비중이 크며, 넓은 스패ن(Span)간격을 유지하기 위하여 산형지붕이 대부분이다. 자동차공장의 지붕형태를 분석한 연구⁴²⁾에 따르면, 70년대는 지붕 및 벽체재료가 오늘날처럼 다양하지 못하여 대부분 석면슬레이트로 시공되었으며, 이음부위의 누수방지를 방지하기 위해 지붕의 경사(3/10)가 급한 것이 특징이다. 80년대는 시공기술이 발전하여 지붕경사가 1/10정도까지 가능해 졌으며, 90년대 이후로는 3/100정도까지 가능해 졌다.

38) 박병규 외, 지붕형태에 따른 열성능 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 2001.9

39) 김삼수, 자연에너지를 고려한 지붕의 최적 기울기에 관한 연구, 명지대 석사논문, 2001.2

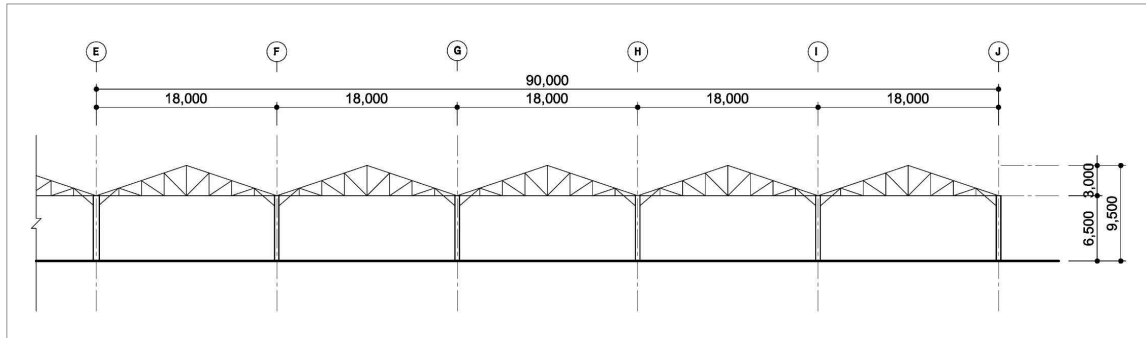
40) 태원진 외, 냉방부하 최소화를 위한 지붕의 최적기울기에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2005

41) 이충식, BIPV의 한국 산업용 지붕 적용에 따른 효과분석 연구, 세명대 석사논문, 2009.2

42) 엄성윤, 자동차 생산공장의 배치계획에 관한 연구, 한양대 석사논문, 1999

(2) 설계변수 설정

대상공장건물은 (그림 4.1)과 같이 지붕경사각 18° , 스패ן(span)간격 18m인 산형지붕이다. 지붕형태에 대한 설계변수는 지붕 표면적과 지붕 경사면의 향을 변화시켜, 표면적과 일사획득과의 관계를 분석하고 가장 에너지 절약적인 지붕형태를 도출하는데 적합한 변수들을 선정하였다.



(그림 4.1) 대상공장 단면도

추후 분석하게 될 자연채광과 자연환기 계획에서도 지붕형태에 따른 채광 창 및 자연환기창을 설계변수로 설정하고자 한다. 이러한 점을 고려하여 볼 때, 지붕형태의 설계변수는 자연채광과 자연환기 계획을 설계변수와 동일하게 설정하는 것이 통합에너지 절약방안 제시를 위해 타당할 것으로 판단된다. 따라서 설계변수는 <표 4.1>과 같이, 기존의 산형지붕을 기준으로 산형지붕(모니터형), 평지붕, 평지붕(모니터형), 툽날지붕(남측면 경사), 툽날지붕(북측면 경사)로 설정하였다.

<표 4.1> 지붕형태의 설계변수

산형지붕(기준)	평지붕	툽날지붕(남측면 경사)
산형지붕(모니터형)	평지붕(모니터형)	툽날지붕(북측면 경사)

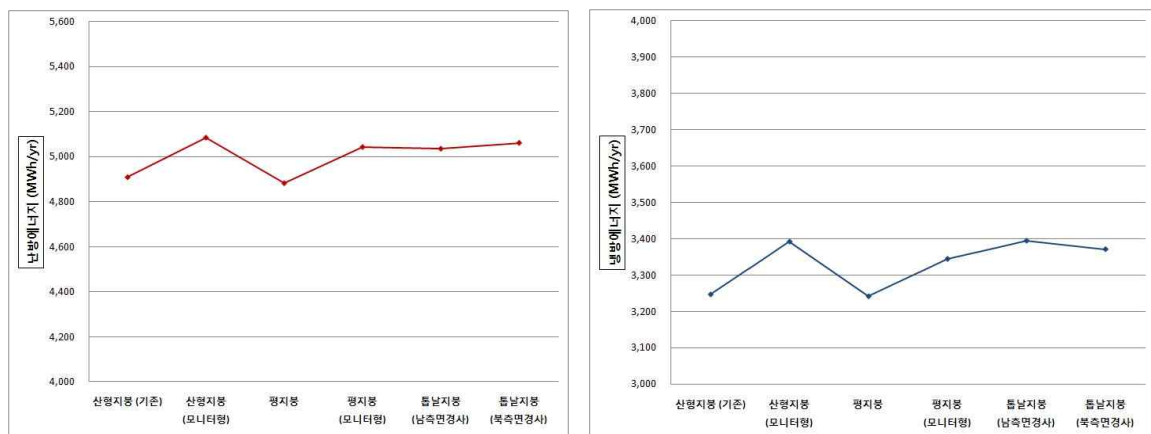
또한 표면적과 경사면의 향에 대한 영향력만을 분석하기 위해서 실체적(286,740m³)과 스팬간격(18°)은 동일하게 적용하였다. <표 4.2>는 지붕형태별로 외기에 노출되는 표면적과 실체적에 대한 데이터를 정리한 것이다. 동일한 실체적 대비 평지붕의 표면적이 가장 작으며, 산형지붕(모니터형)의 표면적이 가장 큰 것으로 계산되었다.

<표 4.2> 지붕형태별 외피 표면적과 실체적

		산형지붕 (기존)	산형지붕 (모니터형)	평지붕	평지붕 (모니터형)	툽날지붕 (남측면 경사)	툽날지붕 (북측면경사)
표면적 (m ²)	지붕	40,295m ²	46,304m ²	38,232m ²	44,604m ²	45,516m ²	45,516m ²
	남서측벽	720m ²	696m ²	900m ²	876m ²	720m ²	720m ²
	남동측벽	675m ²	675m ²	675m ²	675m ²	675m ²	675m ²
	합 계	41,690m ²	47,675m ²	39,807m ²	46,155m ²	46,911m ²	46,911m ²
실체적(m ³)		286,740m ³					

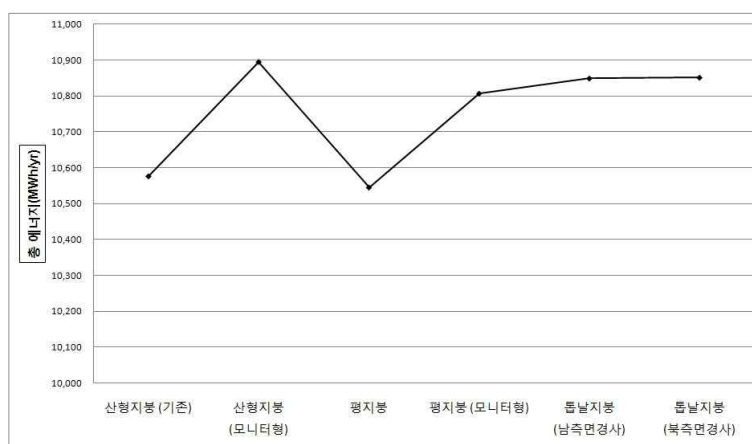
(3) 시뮬레이션 분석 결과

지붕형태별 시뮬레이션 분석 결과, 냉·난방에너지 사용량 모두 평지붕이 가장 작게 나타났으며, 나머지 지붕형태는 기존건물(산형지붕)보다 높게 나타났다. 난방에너지 소비량의 경우는 평지붕-산형지붕(기존)-툽날지붕(남측면 경사)-평지붕(모니터형)-툽날지붕(북측면 경사)-산형지붕(모니터형) 순으로 높게 나타났으며, 냉방에너지 소비량의 경우는 평지붕-산형지붕(기존)-평지붕(모니터형)-툽날지붕(북측면 경사)-산형지붕(모니터형)-툽날지붕(남측면 경사) 순으로 높게 나타났다.



(그림 4.2) 지붕형태별 냉·난방에너지 소비량

이는 표면적이 작은 지붕형태일수록 냉·난방에너지 사용량 절감에 효과적인 것으로 분석할 수 있으며, 동일한 표면적의 톱날지붕(남측면 경사)와 톱날지붕(북측면 경사)의 경우, 난방에너지는 일사획득이 많은 남측면 경사지붕이 유리한 반면, 냉방에너지는 일사획득량이 적은 북측면 경사지붕이 유리한 것으로 분석할 수 있다.



	산형지붕 (기준)	산형지붕 (모니터형)	평지붕	평지붕 (모니터형)	톱날지붕 (남측면 경사)	톱날지붕 (북측면경사)
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	10,895	10,545	10,806	10,849	10,851
기준 대비 절감율 (%)	.	-3.0	0.3	-2.2	-2.6	-2.6

(그림 4.3) 지붕형태별 총 에너지사용량과 에너지 절감율

총 에너지사용량 또한 냉·난방에너지 사용량이 가장 작게 나타난 평지붕이 연간 10,545MWh/yr로 가장 작게 나타났으며, 기준(산형지붕) 대비 0.3% 절감되는 것으로 나타났다. 총 에너지사용량은 지붕형태 변화에 따라 변화하지 않은 조명에너지 사용량이 포함된 값이므로, 총 에너지절감율이 비교적 높게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

위와 같은 지붕형태별 분석결과는 창에 대한 변수를 고려하지 않고 지붕형태별로 다르게 나타나는 외피의 표면적과 경사지붕의 향에 대한 사항만을 분석한 결과라 할 수 있다. 공장건물에서 지붕형태 계획은 자연채광과 자연환기가 주된 목적으로 작용하기 때문에, 추후 분석하게 될 지붕형태에 따른 자연채광과 자연환기 계획과 연계되어 분석되는 것이 더욱 효과적일 것을 판단된다.

4.1.2 단열성능

(1) 설계변수 분석

가) 공장건물의 주요 외장재료

공장 및 물류창고 등과 같이 내부에 대규모의 공간이 요구되는 산업시설물은 구조적 특성상 일반적으로 철골구조로 건축이 되며, 외장재료는 샌드위치패널(Sandwich panel), 강판 등을 적용하는 방식이 가장 보편적이다.⁴³⁾ 그러나 대상건물이 준공된 70년도의 공장건물들은 지붕 및 벽체의 재료가 오늘날처럼 다양하지 못하여 대부분 석면슬레이트(Asbestos Cement Slate)로 시공되었으며, 단열재는 거의 사용되지 않았다.

샌드위치패널은 1980년대 초반 국내에 처음 도입되었으며, 초기에는 제품에 대한 인식부족으로 단열성능이 요구되는 특수 창고 등에 소규모로 사용되었다. 1980년대 중반 이후부터는 건식공법에 대한 수요증대와 단열성능에 대한 관심이 증가됨에 따라 산업건물 뿐만 아니라 상업용과 주거용 건물로도 확대되고 있다.⁴⁴⁾ 일반적인 건축용 샌드위치패널은 건축용 경량패널이라고도 하며, 공장 또는 창고용 지붕 및 외벽에 주로 사용되는 자재로서 내부 단열재의 양면에 강판(약 0.5~0.6mm)을 결합한 형태이다. 주로 사용되는 내부 단열재로는 우레탄, EPS(스티로폼), 그라스울 등이 있다.

나) 샌드위치패널 관련 성능 기준

국내 샌드위치패널의 품질은 KS F 4724(건축용 철강제 벽판)과 KS F 4731(건축용 철강제 지붕판)에 규정되어 있다. 품질 평가 항목은 겉모양, 단열성, 차음성, 면내전단강도, 축방향압축강도, 모양치수, 재료 등으로 구성되어 있으며 단열성과 재료에 관한 품질규격을 정리하면 <표 4.3>과 같다.

43) 건설교통부, 대규모 산업시설의 설계표준화 지침서 개발연구, 1998

44) 임홍순, 건축용 샌드위치패널의 연소성능 등급분류에 관한 연구, 한양대 석사논문, 2009.8

<표 4.3> 샌드위치패널 품질규격(단열성, 재료)

건축용 철강체 벽판 품질규격(KS F 4724)				
단열성 (열관류율[W/m²K])	0.2 이상		0.45 이상	0.7 이상
재료	표면재	KS D 3506(용융아연강판) KS D 3520(도장용융아연강판) KS D 3770(용융알루미늄 아연합금강판) KS F 6701(알루미늄합금강판)	단열재	KS L 9102(광섬유보온재) KS M 3808(스티로폼) KS M 3809(우레탄폼)
건축용 철강체 지붕판 품질규격(KS F 4731)				
단열성 (열관류율[W/m²K])	0.2 이상		0.45 이상	0.7 이상
재료	표면재	KS D 3506(용융아연강판) KS D 3520(도장용융아연강판) KS F 6701(알루미늄합금강판) KS F 4917(아스팔트방수시트)	단열재	KS L 9102(광섬유보온재) KS M 3808(스티로폼) KS M 3809(우레탄폼)

다) 샌드위치패널 종류 및 특성

샌드위치패널의 단열재는 우레탄, ESP(스티로폼), 그라스울 등이 있으며, 일반적으로 50T~200T의 두께가 적용된다. 각 단열재별 열전도율은 KS M 3808, 3809 및 KS L 9102를 통하여 <표 4.4>와 같이 정리하였으며, 분석 결과, 전체적으로 우레탄이 열전도율이 가장 낮으며, EPS(스티로폼)-그라스울 순으로 나타났다.

<표 4.4> 단열재별 열전도율

단열재	단열판 종류		열전도율 (W/mK)
우레탄 (KS M 3809)	1중	1호	0.024 이하
		2호	0.024 이하
		3호	0.025 이하
EPS-스티로폼 (KS M 3908)	비드법 1중	1호	0.036 이하
		2호	0.037 이하
		3호	0.040 이하
그라스울 (KS L 9102)	보온판	40K	0.036 이하
		48K	0.036 이하
		64K	0.034 이하

※ 실험조건의 평균온도 : 우레탄 20±5℃, EPS(스티로폼) 23±2℃, 그라스울 20℃

<표 4.5> 열관류율을 위한 표면열전달저항 및 계산식

단위 : $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$)

열전달저항 건물 부위	실내표면열전달저항(Ri)	실외표면열전달저항(Ro)	
		외기에 간접 면하는 경우	외기에 직접 면하는 경우
거실의 외벽 (측벽 및 창, 문 포함)	0.11(0.13)	0.11(0.13)	0.043(0.050)
최하층에 있는 거실 바닥	0.086(0.10)	0.15(0.17)	0.043(0.050)
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	0.086(0.10)	0.086(0.10)	0.043(0.050)

<열관류율 계산식>

$$\text{열관류율}(K) = 1/R(\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C})$$

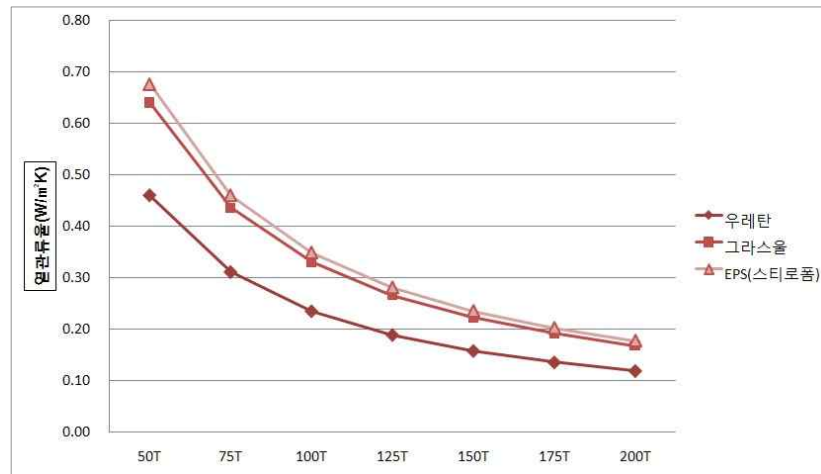
$$\text{열전달저항}(R) = R_i + \sum d/\lambda + R_o(\text{mh}^\circ\text{C}/\text{kcal})$$

d : 재료의 두께

λ : 재료의 열전도율($\text{kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$)

단위환산 : $1\text{W}/\text{m}^\circ\text{C} = 0.86 \text{ kcal}/\text{mh}^\circ\text{C}$

단열재 종류 및 두께별 열관류율은 <표 4.4>와 <표 4.5>⁴⁵⁾를 통하여 계산하였으며, 열전도율은 단열재별로 가장 성능이 좋은 단열판(우레탄 0.024, 그라스울 0.034, EPS 0.036)을 선정하여 계산하였다. 분석 결과, (그림 4.4)와 같이, 우레탄-그라스울-EPS(스티로폼) 순으로 열관류율이 낮은 것으로 분석되었으며, 전체적으로 단열재의 두께가 증가할수록 열관류율은 감소하지만 감소폭은 줄어드는 것으로 나타났다.



	열관류율 ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)						
	50T	75T	100T	125T	150T	175T	200T
우레탄	0.46	0.31	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12
그라스울	0.64	0.44	0.33	0.27	0.22	0.19	0.17
EPS(스티로폼)	0.68	0.46	0.35	0.28	0.23	0.20	0.18

(그림 4.4) 샌드위치패널 단열재 종류 및 두께에 따른 열관류율

45) 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부 고시 제2008-652호

라) 공장건물의 열관류율 기준 검토

건물의 건축부위별 열관류율 기준은 <표 4.6>⁴⁶⁾과 같으며, 울산지역은 남부지역에 속함에 따라 외벽은 0.58이하, 지붕은 0.35이하로 규정하고 있다. 설계변수 설정을 위하여 공장건물에 주로 사용되는 샌드위치패널의 단열성능을 열관류율 기준에 적용해 내부단열재의 적정 두께를 분석하였다. 위에서 계산된 샌드위치 패널의 열관류율을 이용하여 비교해 보면, 외벽의 경우 우레탄은 50T로 만족될 수 있으나, 그라스울와 EPS(스티로폼)는 75T가 적용되어야 기준에 적합하다. 지붕의 경우는 우레탄은 75T, 그라스울와 EPS(스티로폼)는 100T이상이 적용되어야 적합하다.

<표 4.6> 지역별 건축물부위의 열관류율표 (단위 : W/m² · K)

건축물의 부위 \ 지역			중부지역	남부지역	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우		3.84 이하	4.19 이하	5.23 이하
	외기에 간접 면하는 경우		5.47 이하	6.05 이하	7.56 이하

46) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 일부개정 2009.12.31 국토해양부령 제205호, [별표4]

또한 <표 4.7>⁴⁷⁾와 같이 단열재 두께에 따른 기준(남부지역)의 경우, 외벽은 50~75T, 지붕은 90~135T로 규정하고 있으며, 위에서 분석한 단열재의 열전도율을 바탕으로 적정한 샌드위치패널의 단열재 두께를 분석하였다. 그 결과, 외벽의 경우, 우레탄(0.024W/mK)과 그라스울(0.034/mK)은 50T 이상이 적합하나 EPS(0.036W/mK)는 75T이상이 되어야 하며, 지붕의 경우는 우레탄과 그라스울이 100T이상, EPS는 125T이상이 적합한 것으로 나타났다.

<표 4.7> 건축물부위별 단열재 허용 두께(남부지역)

건축물의 부위			단열재 등급별 허용 두께(단위:mm)			
			가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		50	60	70	75
	외기에 간접 면하는 경우		30	35	40	45
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	75	90	100	115
		바닥난방이 아닌 경우	65	75	90	100
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	50	55	65	70
		바닥난방이 아닌 경우	45	50	55	65
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		90	105	120	135
	외기에 간접 면하는 경우		55	65	75	85

※열전도율(W/mK) : 가-0.034이하, 나-0.035~0.040, 다-0.041~0.046, 라-0.047~0.051

(2) 설계변수 설정

설계변수 설정은 <표 4.8>과 같이 외벽과 지붕에 샌드위치패널을 적용하는 조건으로 각 단열재별 두께를 변화시켜 변수를 설정하였다. 기존의 외피 열관류율은 외벽이 0.86W/m²K, 0.89W/m²K이고, 지붕은 2.06W/m²K이며, 단열재 두께는 외벽과 지붕 모두 동일하게 50T, 75T, 100T, 125T, 150T로 설정하였다.

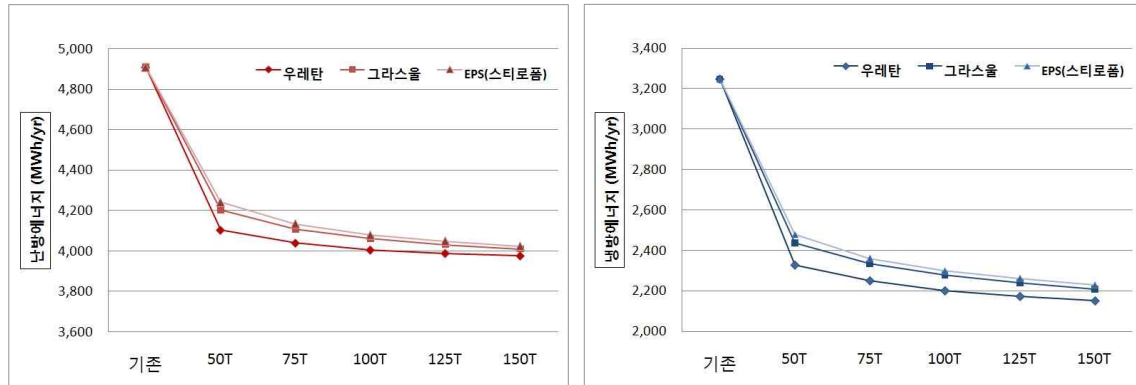
47) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 일부개정 2009.12.31 국토해양부령 제205호, [별표2]

<표 4.8> 외피 열관류율 설계변수

	열전도율 (W/m ² K)	열관류율 (W/m ² K)					
		기존	50T	75T	100T	125T	150T
우레탄	0.024	0.86 /0.89 /2.06	0.46	0.31	0.23	0.19	0.16
그라스울	0.034		0.64	0.44	0.33	0.27	0.22
EPS(스티로폼)	0.036		0.68	0.46	0.35	0.28	0.23

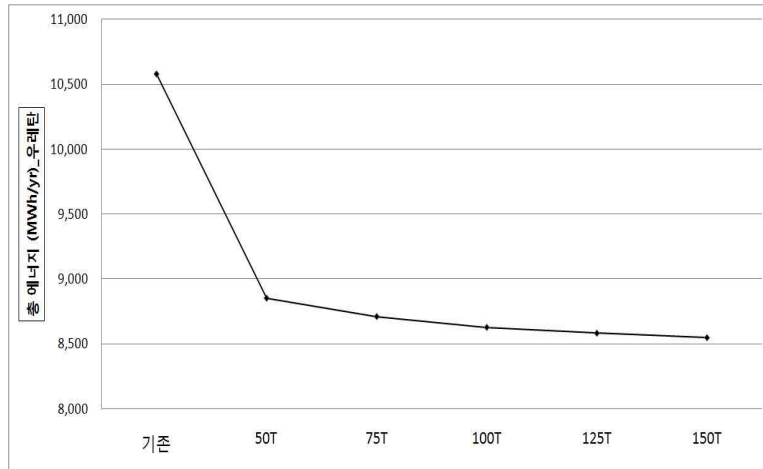
(3) 시뮬레이션 분석결과

샌드위치패널의 단열성능에 대한 시뮬레이션 분석 결과, 단열재 두께의 증가에 따라 냉·난방에너지 사용량 모두 감소하는 것을 나타냈다. 단열재 종류별 절감효과는 우레탄이 가장 효과적인 것을 나타냈으며, 그 다음으로는 그라스울-EPS(스티로폼) 순으로 나타났다. 단열재 두께별 감소패턴은 두께가 증가할수록 냉·난방에너지 모두 지속적으로 감소하지만, 절감폭은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 효율적인 단열재 두께 선정을 위해서는 경제적인 측면을 고려하여 적절한 두께를 선정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.



(그림 4.5) 단열재 종류 및 두께별 냉·난방에너지 사용량

총 에너지사용량 또한 단열재 두께가 증가할수록 총 에너지사용량이 감소하는 것으로 나타났다. (그림 4.6)은 절감효과가 가장 큰 우레탄에 대한 총 에너지 사용량을 분석한 것으로, 우레탄 150T를 적용할 경우 총 에너지사용량이 기존 대비 19.2% 절감되는 것으로 나타났다.



	기존	50T	75T	100T	125T	150T
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	8,852	8,711	8,627	8,582	8,548
기존 대비 절감율 (%)	.	16.3	17.6	18.4	18.9	19.2

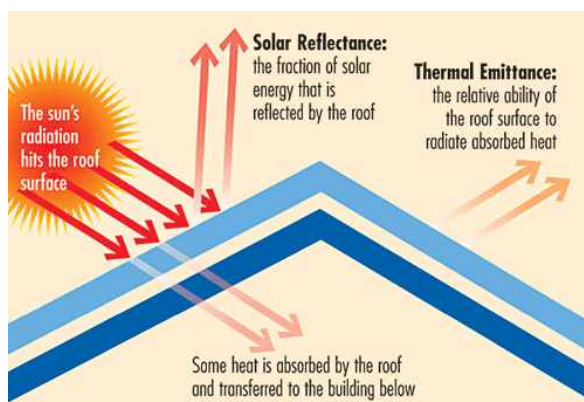
(그림 4.6) 단열성능(우레탄)의 총 에너지사용량과 에너지 절감율

4.1.3 표면성질(표면색상)

(1) 설계변수 분석

가) 반사율과 방사율

건물외피의 표면은 태양에너지가 직접 도달되는 부분으로 일사취득량에 따라 표면온도가 변화하기 때문에 실내로 전도되는 열에 영향을 미친다. 외피 표면에 도달하는 일사량 중 일부는 표면에서 반사되고 나머지는 흡수가 되며, 실내로 흡수된 열은 다시 대기 중으로 방사된다. 이와 같은 열의 흐름은 외피표면재료의 반사율(solar reflectance)과 방사율(thermal emittance)에 영향을 많이 받는다.



(그림 4.7) 외피 표면의 열흐름

반사율은 일사취득에 있어 가장 중요한 요소로 표면색상이 밝고, 매끄러운 표면일수록 높으며, 반면 어둡고 거친표면일수록 반사율이 낮다. 또한, 방사율의 경우는 반사율과는 반대로 일반적으로 어두운 색상일수록 높으며, 밝은 색상일수록 낮다. 따라서 난방부하 절감을 위해서는 일사획득에 유리하고 내부의 방사열 줄이기 위하여 반사율과 방사율이 낮은 표면재료를 적용하는 것이 효과적이다. 냉방부하 절감의 경우는 반대로 일사를 반사시키고, 내부의 열을 효과적으로 방사하기 위하여 반사율과 방사율이 높은 표면재료를 사용하는 것이 유리하다.

나) 샌드위치패널의 표면성질

일반적으로 공장건물에 사용되는 건축용 샌드위치패널은 내부단열재의 양면에 아연도금강판이나 알루미늄합금강판 등을 결합된 형태이기 때문에 공장건물의 표면성질은 적용된 강판의 반사율과 방사율에 대한 고려가 필요하다. 이러한 샌드위치패널의 강판은 표면이 매끄러워 반사율이 높은 것이 특징이며, 다양한 색상의 강판들이 제작되고 있다.

<표 4.9>는 ASTM(American Society for Testing and Materials)⁴⁸⁾에서 제시하는 외벽과 지붕재 표면의 반사율과 방사율을 정리한 것으로, 기존 공장건물의 Asbestos-cement(석면슬레이트)와 샌드위치패널 강판에 적용되는 Aluminum(알루미늄)과 Stainless steel(스테인리스강)를 각 색상별로 제시하고 있다.

<표 4.9> 각 표면재료별 반사율과 방사율

Material		solar reflectance (반사율)	thermal emittance (방사율)
Red ceramics		0.53	0.9
White ceramics		0.54	0.9
Asbestos-cement		0.34	0.9
Aluminum	Ivory	0.47	0.9
	Yellow	0.45	0.9
	Light Blue	0.42	0.9
	Platinum gray	0.41	0.9
	Santiago Blue	0.31	0.9
	Imperial green	0.28	0.9
Stainless steel	White	0.49	0.9
	Yellow	0.37	0.9
	Light grey	0.33	0.9
	blue	0.28	0.9
	Dark gray	0.27	0.9
	green	0.20	0.9

또한, ENERGY STAR의 Roof Product List⁴⁹⁾와 CRRC(Cool Roof Rating Council)의 Rated Products Directory⁵⁰⁾에서는 지붕재 표면의 반사율과 방사율을 명시한 제품목록을 제공하고 있다.⁵¹⁾ 샌드위치패널 강판에 적용되는 Metal 재료의 반사율과 방사율을 분석한 결과 반사율은 색상에 따

48) ASTM. 1998a. "ASTM E 1980-98 : Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surface"

49) ENERGY STAR Roof Product List, List Posted on September 16, 2010

50) <http://www.coolroofs.org/products/search.php>

51) 김옥, Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계지침에 관한 연구, 중앙대 박사학위논문, 2010

라 0.25~0.65의 범위를 가지며 Green/Bule, Orange, Sky Blue, Light gray, White 순으로 반사율이 높았다. 방사율은 색상에 따른 차이는 적으며, 0.84~0.90의 범위로 나타났다.

(2) 설계변수 설정

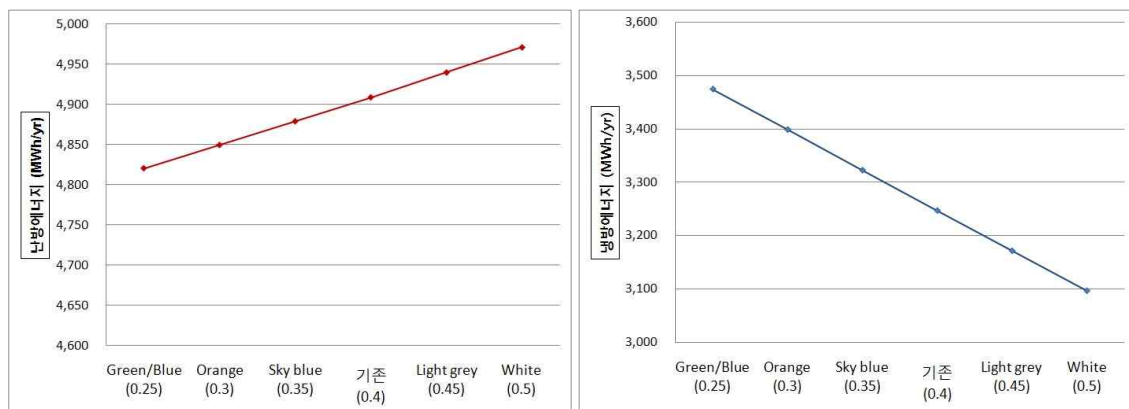
설계변수는 위의 조사 결과를 바탕으로 샌드위치패널의 표면색상별 반사율에 따라 변수를 설정하였으며, 방사율의 경우는 색상별로 차이가 적어 0.9로 고정하였다.

<표 4.10> 지붕 표면성질 설계변수

	기준(석면)	Green/Blue	Orange	Sky Blue	Light Grey	White
반사율	0.4	0.25	0.30	0.35	0.45	0.50
방사율	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

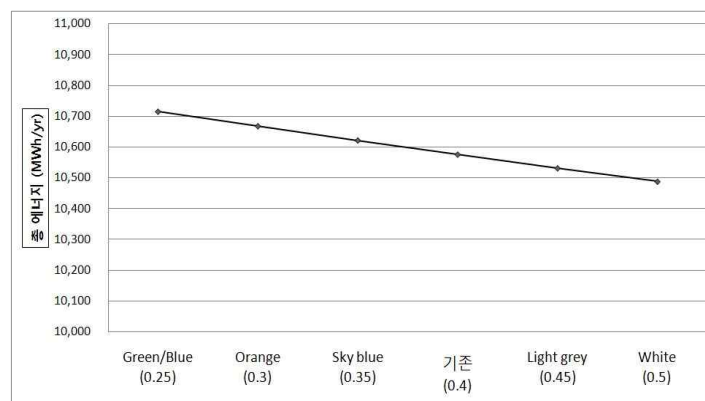
(3) 시뮬레이션 분석 결과

샌드위치패널의 표면색상(반사율)에 대한 시뮬레이션 분석 결과, (그림 4.8)과 같이 반사율이 높은 색상일수록 난방에너지 사용량은 증가하는 반면 냉방에너지 사용량은 감소하는 것으로 나타났다. 냉·난방에너지 사용량 모두 일정하게 증가/감소하고 있어 설계변수 범위 이상의 반사율을 가진 색상을 적용할 경우 냉·난방에너지 사용량의 변화가 더 클 것으로 판단된다.



(그림 4.8) 표면성질(반사율)별 냉·난방에너지 사용량

그러나 총 에너지사용량의 경우는 반사율이 높은 색상일수록 감소하는 패턴을 보인다. 이는 반사율이 높은 색상일수록 난방에너지 사용량이 증가하는 것보다 냉방에너지 사용량이 감소하는 비율이 더 크기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 기존의 석면슬레이트(0.40)와 비교하여 Light grey(0.45)와 White(0.50)은 총 에너지사용량 절감에 효과적이며, Green/Blue(0.25), Orange(0.30), Sky blue(0.35)와 같이 반사율이 낮은 색상은 총 에너지사용량을 증가시킨다. 따라서 절감효과가 가장 큰 White(0.50)을 적용하였을 시, 기존 대비 0.8%를 절감시킬 수 있다.



	Green/Blue (0.25)	Orange (0.30)	Sky blue (0.35)	기존 (0.4)	Light grey (0.45)	White (0.50)
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,715	10,668	10,622	10,576	10,532	10,488
기존 대비 절감율 (%)	-1.3	-0.9	-0.4	.	0.4	0.8

(그림 4.9) 표면성질(반사율) 별 에너지사용량과 에너지 절감율

4.1.4 침기량(외기 침입량)

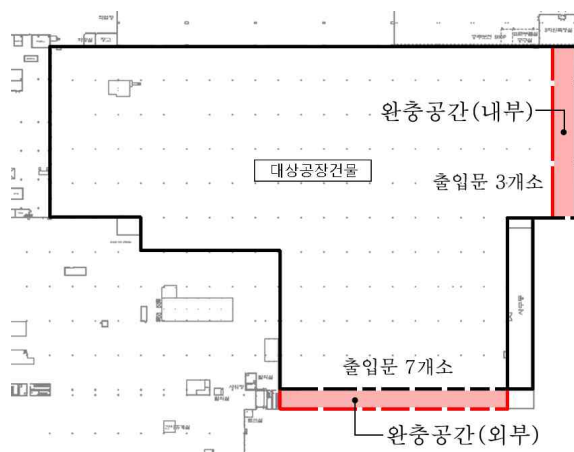
(1) 설계변수 분석

대상공장건물은 외피의 노후화로 인해 기밀성능이 좋지 않으며, 작업공정의 특성상 자재 반입이 빈번하여 대형출입문의 개방됨에 따라 외기 침입량이 많이 발생한다.

본 연구의 침기량 산정은 EnergyPlus의 Air Flow Network모델을 이용하여 예측하였으며, 틈새법에 의한 창/문 틈새의 침기량과 누기면적법에 의한 외피 침기량 그리고 출입문 개방에 따른 외기 침입량에 대하여 분석하였다. 침기량을 줄이기 위해서는 외피의 기밀성능을 향상시키는 방법과 출입문 개방에 따른 외기 침입량을 차단하는 방법이 있다. 이에 따라 개선방안을 위한 설계변수의 설정은 건물의 기밀성능 향상에 대한 부분과 출입문 개방에 따른 외기 침입량을 줄일 수 있는 방안을 제안하였다.

기밀성능 향상은 유효누기면적을 감소시키는 방법을 선정하였고, 출입문 개방에 따른 침기량 차단방법의 경우 출입문 개방 횟수나 시간을 줄이는 방법은 공장의 생산공정상 적절하지 않다고 판단하여 개방 횟수와 시간에 지장을 주지 않는 조건을 전제로 하였다. 따라서 (그림 4.10)과 같이 완충공간을 형성하는 방안을 제안하였다.

완충공간은 외부와의 간접적인 접촉을 통하여 침기량 뿐만 아니라 구조체를 통한 열전달도 줄일 수 있으며, 출입문을 이중구조로 계획할 수 있어 출입문 개방스케줄 조절에 따라 외기가 직접 실내로 들어오는 것을 차단할 수 있다.



(그림 4.10) 완충공간 계획

또한, 대상공장건물의 남서측면은 자재반입이 차량에서 직접 하차되는 특성에 따라 차량대기시간에 대한 고려가 필요하고, 기존의 경우도 캐노피 구조로 계획되어 있어 외부로 완충공간을 계획하는 것이 효과적이라 판단하였다. 북동측면은 지게차의 출입에 주로 이용되고, 외부는 인접도로와 접해 있어 공간활용상 내부로 완충공간을 계획하는 것을 제안하였다.

(2) 설계변수 설정

가) 기밀성능

ASHRAE Standard⁵²⁾는 4Pa에서의 유효누기면적에 대하여 1.1~17.6cm²/m²로 기밀성의 정도를 구분하고 있으며, 1.1~1.5cm²/m²은 Tight, 4.4cm²/m²은 Medium, 12.4~17.6cm²/m²은 Loose로 구분하고 있다.

<표 4.11> 기밀성능 설계변수

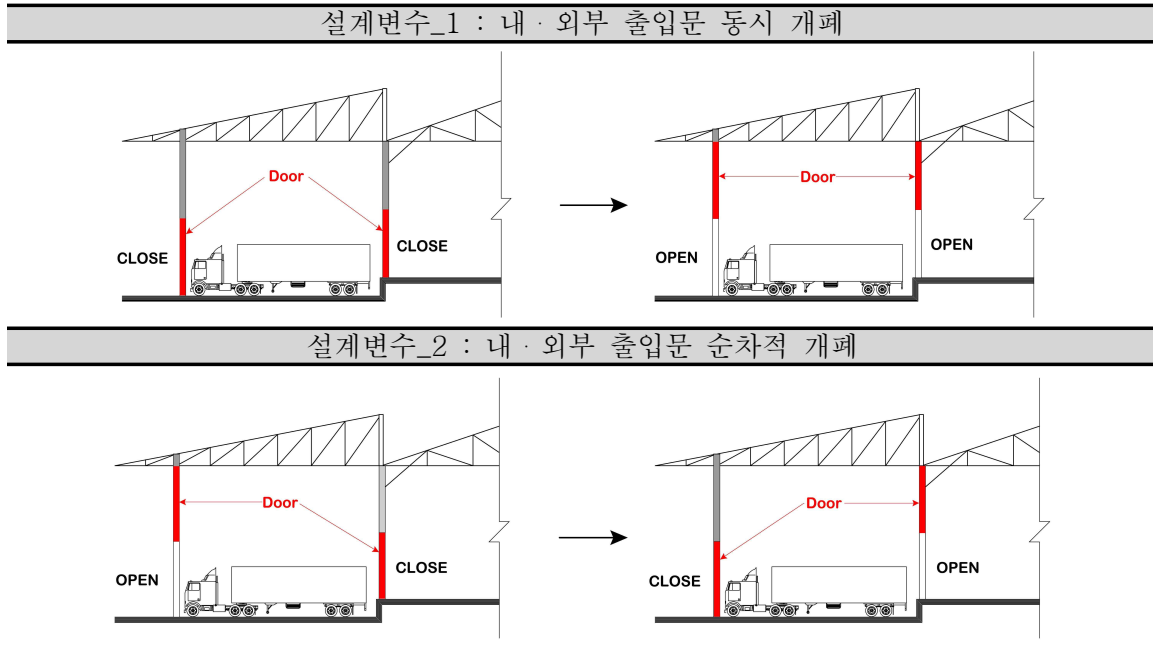
기밀정도	Tight			Medium			Loose		
누기면적 (cm ² /m ²)	1.1	1.5	2.2	3.1	4.4	6.3	8.8	12.4 (기준)	17.6
설계변수 (cm ² /m ²)	—	1.5	2.2	3.1	4.4	6.3	8.8	12.4 (기준)	—

나) 출입문 개방에 따른 침기량(완충공간 계획)

출입문 개방에 따른 침기량을 줄이기 위한 방안으로 완충공간 계획을 제안하였으며, 시뮬레이션을 위한 설계변수는 이중구조의 출입문에 대하여 내·외부 개방 방식에 따른 침기량의 변화와 그에 따른 냉·난방에너지 사용량 분석을 목적으로 설정하였다. 변수설정은 <표 4.12>와 같이 내·외부 출입문이 동시에 개폐되는 방안(설계변수_1)과 순차적으로 외부 출입문 폐쇄 후 내부 출입문이 개방되는 방안(설계변수_2)으로 설정하였다. 출입문의 개방 횟수와 개방 시간은 기존의 출입문 개방스케줄과 동일하게 출입문 1개소당, 1시간에 4분(226.4초)이 개방되는 것으로 설정하였다.

52) ASHRAE Standard 119-1988

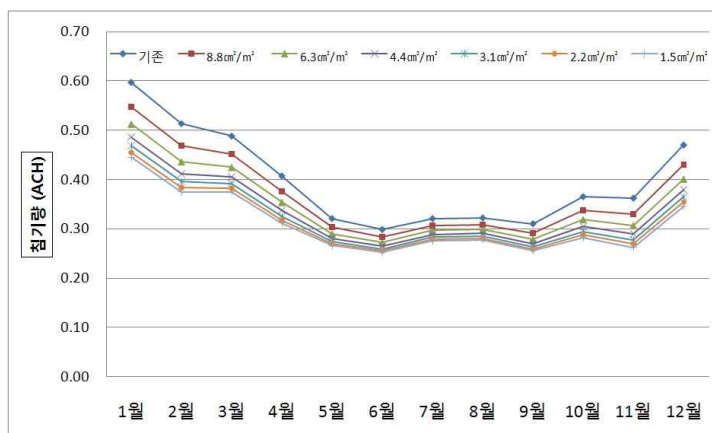
<표 4.12> 내·외부 출입문 개폐 방식에 따른 설계변수



(3) 시뮬레이션 분석 결과

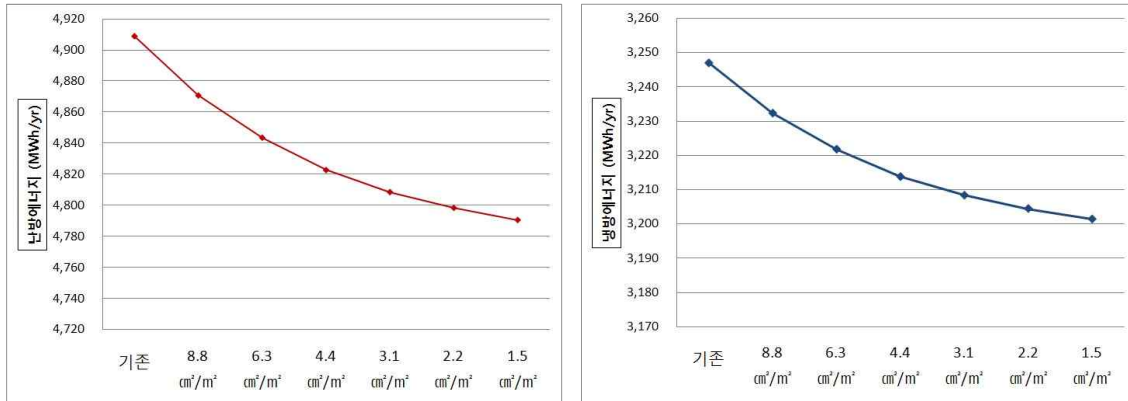
가) 기밀성능(누기면적)

시뮬레이션 분석 결과, 누기면적의 감소에 따른 침기량 변화는 (그림 4.11)과 같이 나타났으며, 누기면적의 감소에 따라 침기량도 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 겨울철의 침기량이 여름철 침기량보다 감소율이 큰 것으로 나타났다.



	연간 침기량 (ACH)
기준	0.40
$8.8\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.37
$6.3\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.35
$4.4\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.33
$3.1\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.32
$2.2\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.31
$1.5\text{cm}^2/\text{m}^2$	0.30

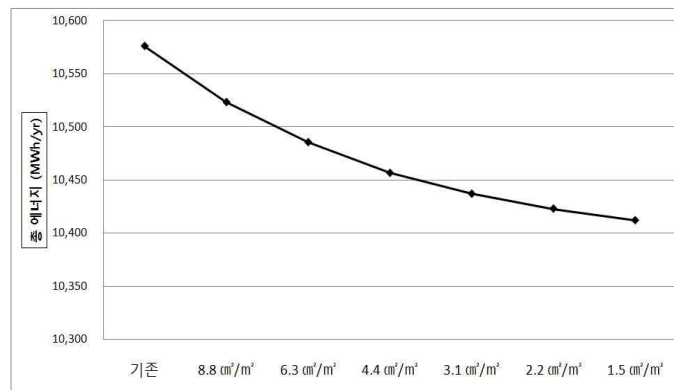
(그림 4.11) 기밀성능 향상에 따른 침기량 변화



(그림 4.12) 기밀성능에 따른 냉·난방에너지 사용량

냉·난방에너지 사용량을 분석한 결과는 누기면적 감소에 따른 침기량 감소로 인하여 냉·난방에너지 모두 일정한 패턴으로 감소하고 있다. 냉·난방 에너지를 비교해 보면, 난방에너지의 절감율이 더 큰 것으로 나타났는데, 이는 겨울철 침기량의 감소가 여름철보다 더 크기 때문인 것을 판단된다.

총 에너지사용량 또한 기밀성능이 향상될수록 감소하는 것으로 나타났으며, 절감율이 가장 큰 1.5cm²/m² 경우, 기존 대비 1.6%를 절감시킬 수 있다.

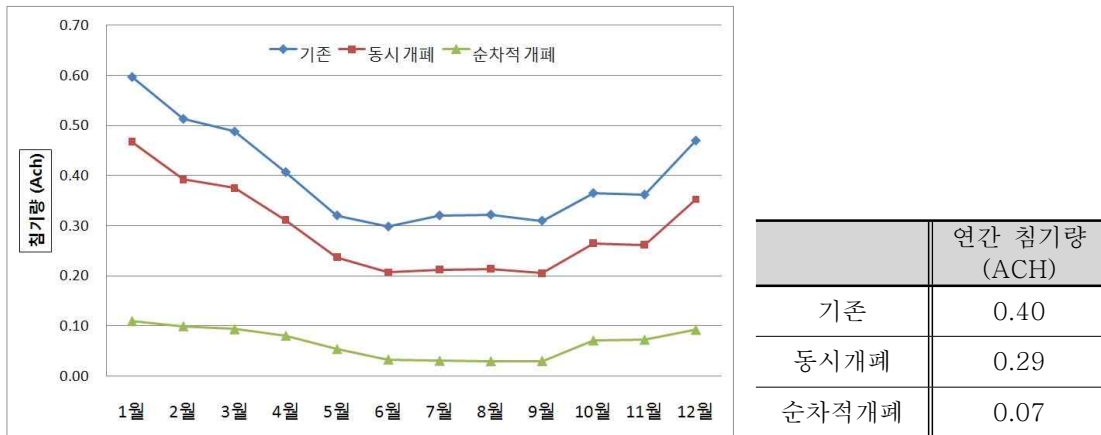


	기준	8.8cm²/m²	6.3cm²/m²	4.4cm²/m²	3.1cm²/m²	2.2cm²/m²	1.5cm²/m²
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	10,523	10,485	10,457	10,437	10,423	10,412
기존 대비 절감율 (%)	.	0.5	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6

(그림 4.13) 기밀성능에 따른 에너지사용량과 에너지 절감율

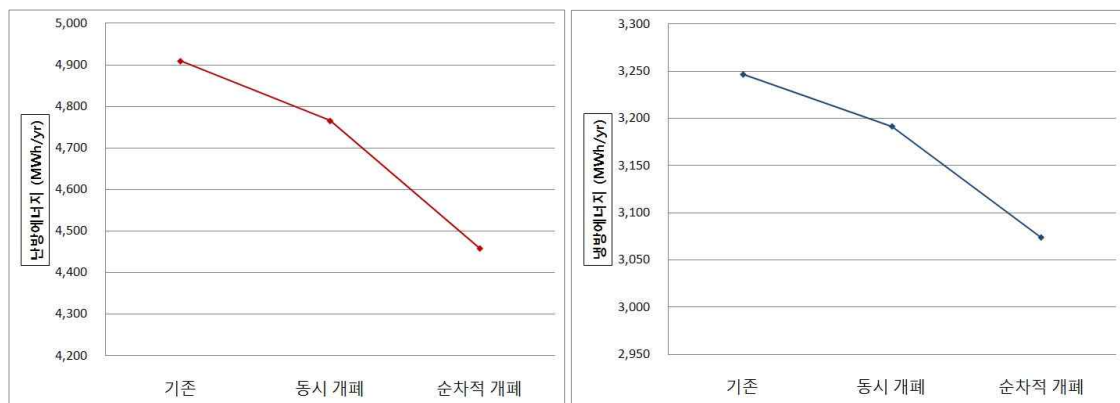
나) 출입문 개방에 따른 침기량(완충공간 계획)

완충공간 계획과 출입문의 개방 방식에 따른 침기량의 변화는 (그림 4.14)와 같으며, 순차적 개폐의 경우 기존의 침기량보다 약 90%이상을 줄일 수 있으며, 동시개폐와 같은 경우도 완충공간의 영향으로 직접적으로 내부로 들어오는 침기량이 감소한 것으로 나타났다.



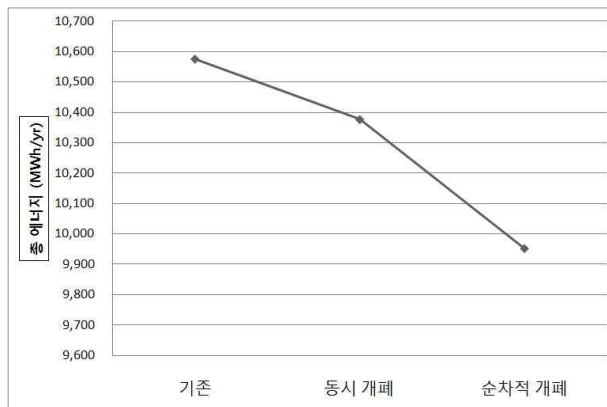
(그림 4.14) 개구부 개폐 방식에 따른 침기량 변화

냉·난방에너지 사용량을 분석한 결과, 난방에너지 소비량의 경우는 동시개폐 4,765MWh/yr, 순차적 개폐 4,459MWh/yr로 나타났으며, 냉방에너지 소비량의 경우는 동시 개폐 3,192MWh/yr, 순차적 개폐 3,073MWh/yr로 나타나, 냉·난방에너지 사용량 모두 절감되었으며, 기존 대비 난방에너지의 절감율이 더 큰 것으로 나타났다.



(그림 4.15) 출입문 개방 방식에 따른 냉·난방에너지 사용량

총 에너지사용량 또한 기밀성능이 향상될수록 감소하는 것으로 나타났으며, 절감율이 가장 큰 순차적 개폐 경우, 기존 대비 5.9%를 절감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 완충공간 계획으로 인해 침기량의 감소뿐만 아니라 외피로부터의 열손실/획득의 변화도 냉·난방에너지 사용량에 영향을 미친 것으로 판단된다.



	기존	동시 개폐	순차적 개폐
총 에너지 사용량 (MWh/yr)	10,576	10,377	9,952
기존 대비 절감율 (%)	.	1.9	5.9

(그림 4.16) 출입문 개방 방식에 따른 총 에너지사용량과 에너지 절감율

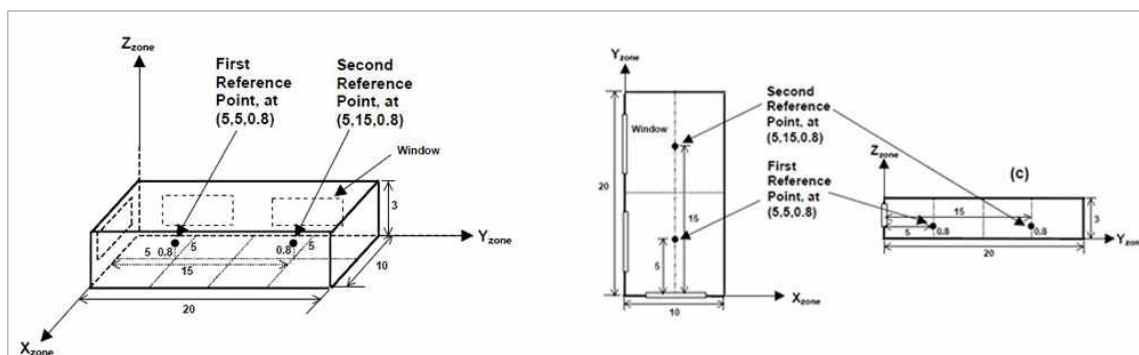
4.1.5 자연채광

자동차공장건물과 같이 내부공간이 넓은 건물은 외벽의 측창을 이용한 채광계획보다는 천창, 고측창, 정측창 등 지붕면을 활용한 채광계획이 효과적이다. 본 연구의 자연채광계획은 지붕면에 적용되는 천창의 면적과 지붕형태에 따른 창 위치를 설계변수로 설정하여, 그에 따른 에너지소비 특성을 분석하였다. 에너지 사용량 분석은 EnergyPlus의 조명제어시스템을 이용하여 설계변수별 조명에너지 사용량의 절감과 그에 따른 냉난방에너지 소비량의 변화를 분석하였다.

(1) EnergyPlus의 조명제어시스템(DAYLIGHTING:DETAILED)

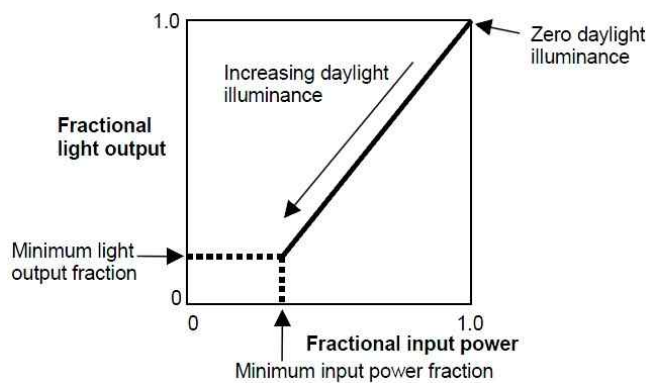
본 연구에서 사용한 EnergyPlus 4.0에는 주광 알고리즘이 포함되어 있어 주광 및 조명에너지 해석이 가능하다. 냉·난방에너지 소비량 분석을 수행함과 동시에 외부조도, 건물 및 개구부 조건, 실내 공간계획에 의한 실내 주광 조도의 계산이 가능하고, 주광 제어기법 또한 적용시킬 수 있다. 이에 따라 자연채광계획에 따른 조명에너지 사용량 절감과 인공조명발열의 감소에 따른 냉·난방에너지 분석을 동시에 수행할 수 있다.

EnergyPlus의 주광률 계산은 건물의 창을 통해 입사된 광속에 의거하여, 여러 조건의 태양고도에서 표준담천공(Standard overcast sky)과 표준청천공(Standard clear sky) 및 직달일사(Direct solar component)에 대하여 실내에 1개 혹은 2개의 기준점에 대한 주광률을 계산한다. 주광률은 창 구성, 방위, 유리 투과율, 실내 반사율, 차양 등과 같은 요소들이 고려되어 실내 기준점에 직접 도달하는 직달성분과 천창이나 벽, 바닥에 의한 반사성분에 의해 계산된다.



(그림 4.17) 실내조도 계산을 위한 기준점 설정의 예

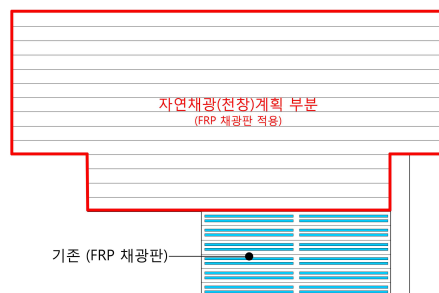
또한 주광제어방식은 Dimming제어방식(Continuous)과 Step제어방식(Stepped)이 있어 2가지 방식 중 선택이 가능하며, 각 존에서의 조명에너지는 기준점에서의 조도에 따라 센서에 의해 제어되는 것으로 가정한다. (그림 4.8)은 Dimming제어방식의 제어특성으로, 최소조명입력비(Minimum input power fraction)와 최소조명출력비(Minimum light output fraction)를 설정하고, 전기조명입력비(Fraction input power) 대 출력비(Fraction light output)에 대한 선형함수로서 조명에너지를 계산한다.



(그림 4.18) Dimming제어방식의 제어특성

(2) 설계변수 설정 조건

현 대상공장건물은 산형지붕 형태로 (그림 4.19)와 같이 FRP 채광판(유리섬유 강화 플라스틱, Fiber Glass Reinforced Plastic)이 지붕에 일부 적용되어 있는 상태다. 일반적으로 산형지붕의 채광은 지붕 경사면에 천창을 적용하는 방식이 주로 적용되며, 채광판 재료로 유리섬유 강화플라스틱 등을 주로 사용한다. 톱날형지붕이나 모니터형 지붕은 고측창이나 모니터창 등과 같은 연직창의 형태로 적용이 되며, 그에 따라 채광면은 일반적으로 개폐 가능한 유리창호의 적용이 가능하다.



(그림 4.19) 현 대상공장건물에 적용된 채광판

이러한 점을 고려하여 자연채광에 대한 분석 조건은 다음과 같이 두 가지의 방안으로 나누어서 진행하였다.

- 산형지붕(기존)의 천창면적 변화에 따른 자연채광(지붕형태 고정)
- 지붕형태별 채광창에 따른 자연채광(창면적비 고정)

자연채광에 의한 조명에너지 절감 여부를 정량적으로 평가하기 위해서는 조명제어시스템이 요구되며, 실내조도계산을 위한 센서를 작동시키기 위한 기준이 되는 실내조도를 설정하여야 한다.

<표 4.13>은 한국산업규격 조도기준(KS A 3011)을 참고하여 작업형태에 따른 공장건물의 조도기준을 정리한 것이다. 대상공장건물인 차체공장은 주로 로봇용접작업이 주로 이루어지는 공장으로서, 작업의 특성상 비교적 타공장에 비해 높은 조도가 요구되지 않는다. 이에 따라 대상공장건물의 실내조도는 단순작업형태의 조도기준인 200Lux로 설정하였다.

<표 4.13> 작업형태에 따른 공장건물의 조도기준(KS A 3011)

작업형태	활동특성	조도기준 (Lux)
단순작업	제분, 세척, 염색	150-200-300
보통작업	봉재, 절단, 코팅	300-400-600
정밀작업	프레싱, 디자인, 바느질	600-1000-1500

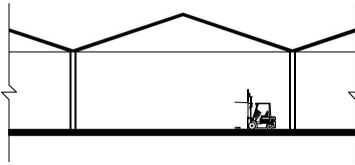
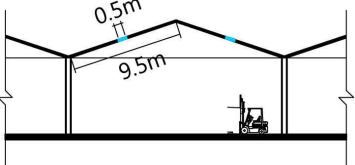
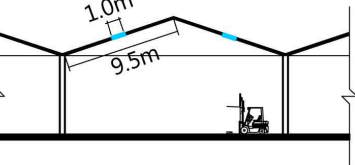
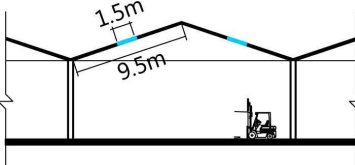
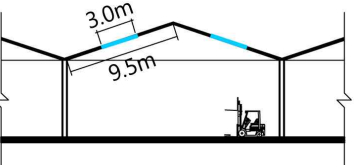
(3) 설계변수 설정

위에서 언급하였듯이 설계변수는 기존의 산형지붕형태에 천창면적을 변화시키는 변수와 창면적비는 고정시키고 지붕형태별 채광창에 따른 변수로 구분하여 설계변수를 설정하였다.

가) 천창면적 변화에 따른 변수

천창은 FRP 채광판을 적용하는 것을 기본조건으로 하며, <표 4.14>와 같이 천창면적비를 5%~30%까지 5%로씩 증가시키는 방식으로 변수를 설정하였다. 천창의 형태는 천창 면적을 규칙적인 패턴으로 증가시키기 위하여, 길이는 고정시키고 너비만 변화시켜 면적비율을 증가시켰다.

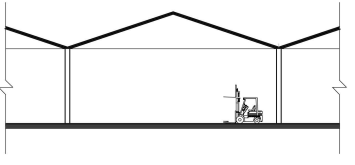
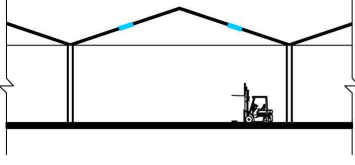
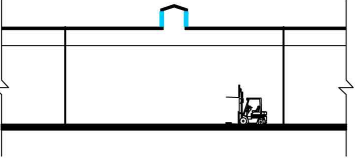
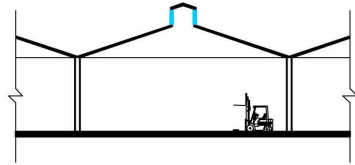
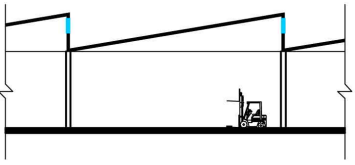
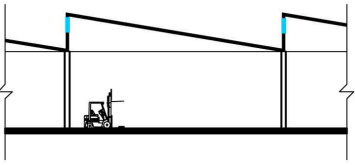
<표 4.14> 천창면적 변화에 따른 설계변수

기존	5%	10%
		
15%	20%~25%	30%
	...	

나) 지붕형태(채광창) 변화에 따른 변수

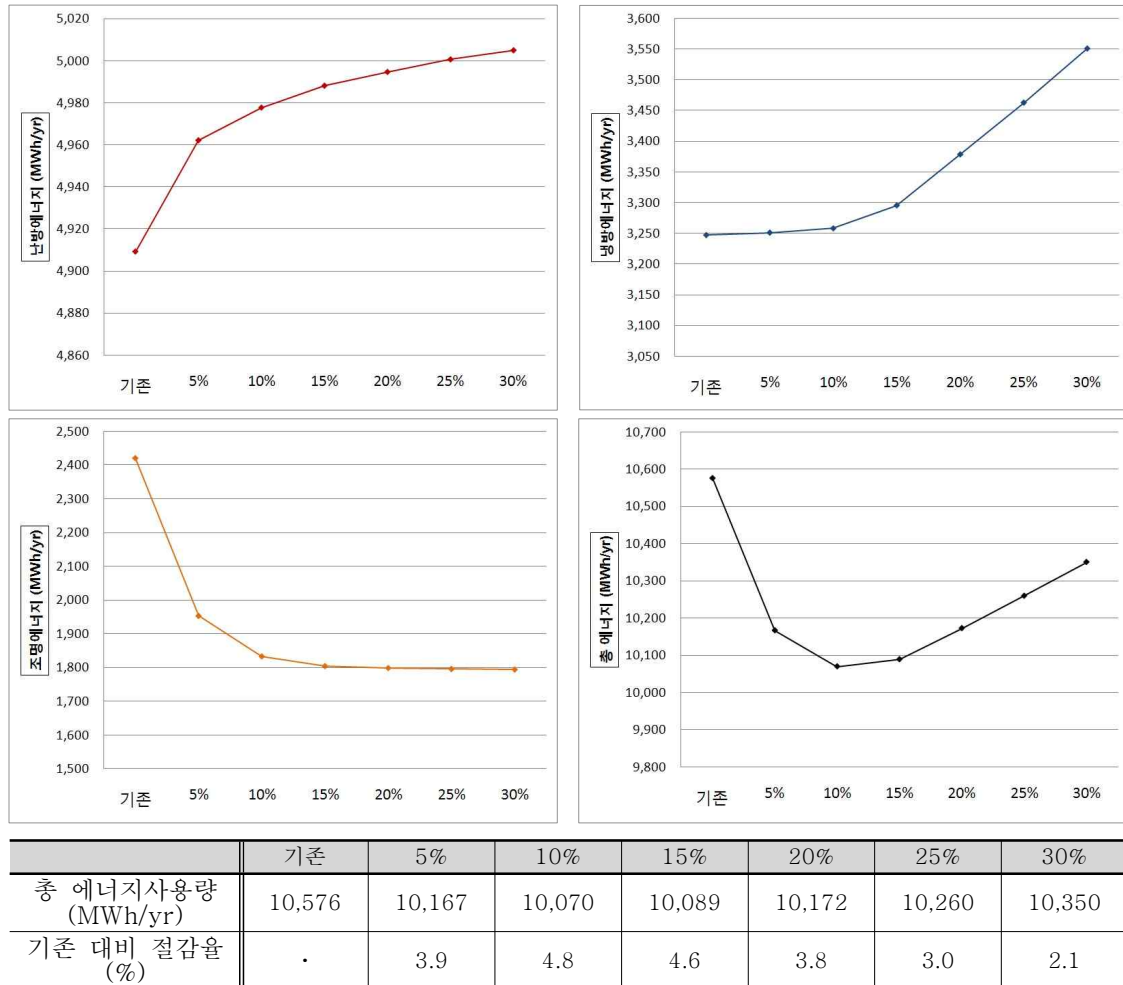
지붕형태 변화에 따른 설계변수는 <표 4.15>와 같이, 지붕형태별로 적용되는 창 위치 변화가 설계변수라 할 수 있다. 즉 지붕형태는 각 형태별로 적용되는 창의 위치가 다르기 때문에, 창면적비가 동일한 전체조건하에 지붕형태별 자연채광의 효과를 비교하는 것이 목적이다. 이를 위하여 모든 창의 면적비를 10%로 고정시키고, 채광창이 없는 기존의 산형지붕, 천창을 적용한 산형지붕, 평지붕의 모니터창, 산형지붕의 모니터창, 툽날지붕의 고측창을 설계변수로 하였다.

<표 4.15> 지붕형태 변화에 따른 설계변수

산형지붕(기존)	산형지붕(천창)	평지붕(모니터형)
		
산형지붕(모니터형)	툽날지붕(남측면 경사)	툽날지붕(북측면 경사)
		

(4) 시뮬레이션 분석 결과

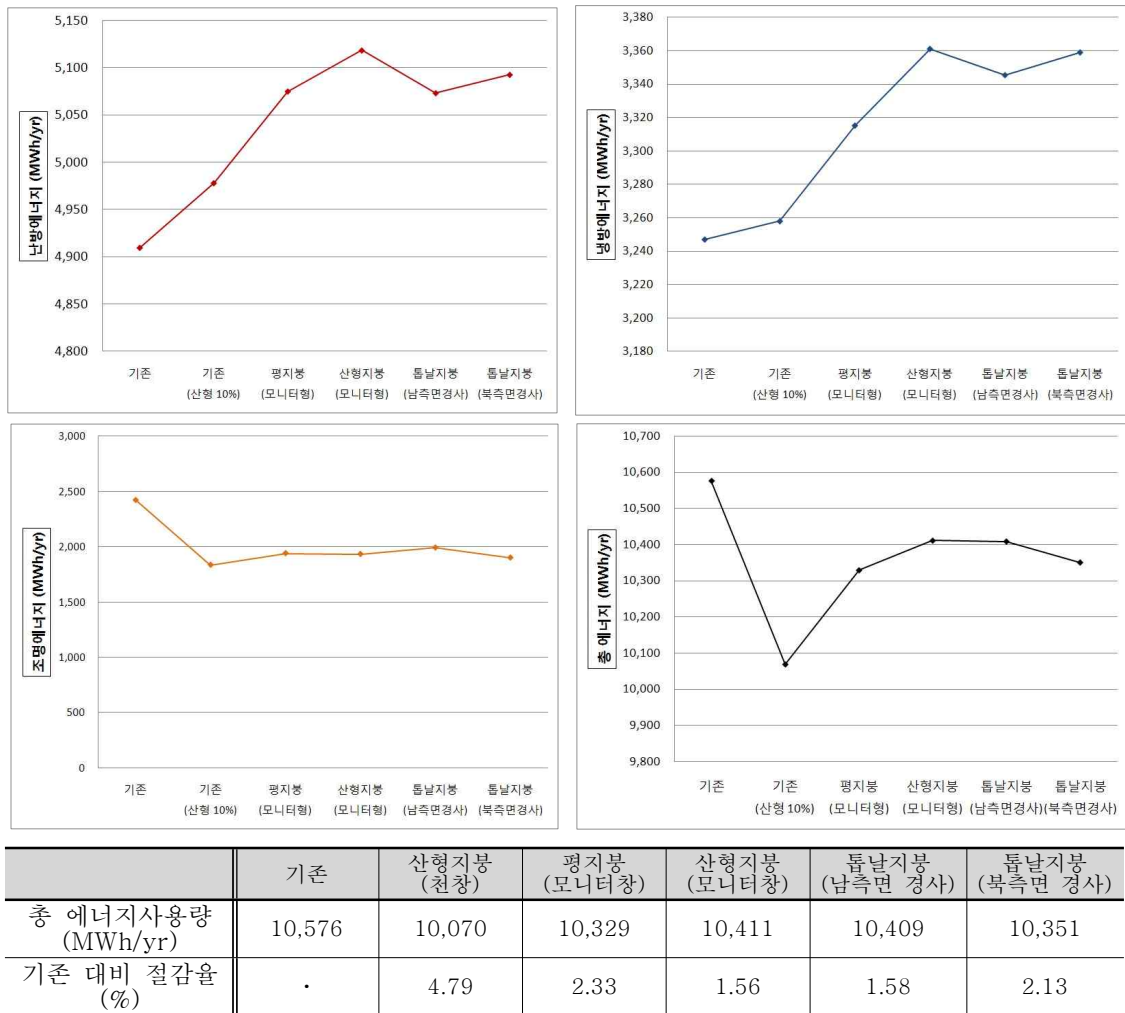
가) 천창면적 변화에 따른 변수



(그림 4.20) 천창면적 변화에 따른 에너지 사용량

시뮬레이션 분석 결과, 천창면적이 증가할수록 조명에너지 사용량은 감소되나 냉·난방에너지 사용량은 증가하였다. 이는 천창의 면적이 증가할수록 실내로 주광의 유입은 증가하나, 겨울철 천창으로의 열손실이 증가하고, 여름철 일사획득량이 증가하여 나타난 결과라 판단된다. 그러나 조명에너지의 경우 10%이상부터는 더 이상 면적이 증가하여도 조명에너지 절감율이 거의 없는 반면 냉·난방에너지는 지속적으로 증가한다. 이러한 결과는 총 에너지사용량으로 합산하였을 때, 천창면적 10%일 때가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 천창면적 10%일 때가 총 에너지 절감율이 가장 높으며, 기존 대비 4.8%를 절감시킬 수 있다.

나) 지붕형태(채광창) 변화에 따른 변수



(그림 4.21) 지붕형태 변화에 따른 에너지 사용량

시뮬레이션 분석 결과, 조명에너지는 산형지붕의 천창이 가장 작았으며, 툽날지붕(북측면 경사)–산형지붕(모니터형)–평지붕(모니터형)–툽날지붕(남측면 경사)순으로 높게 나타났다. 이는 같은 창면적비라도 산형지붕에 적용한 천창이 주광을 실내로 고르게 유입시키는 것으로 판단된다. 반면 냉·난방에너지는 지붕의 표면적의 영향을 가장 많이 받아 기존의 산형지붕이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

총 에너지사용량의 경우도 산형지붕의 천창이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 조명에너지의 절감율이 높고, 지붕 표면적도 가장 작기 때문인 것으로 판단된다. 그 외의 지붕형태는 조명에너지 절감율보다 지붕 표면적 및 일사 획득에 의한 냉·난방에너지의 증가율이 더 크게 작용한 것을 판단된다.

4.1.6 자연환기

자동차공장건물에서의 자연환기계획은 측창만을 이용하는 방식보다 실내상승기류를 활용하여 측창을 통해 들어오는 공기가 지붕면의 창으로 환기시키는 방식이 효과적이다. 이에 따라 지붕면에 개폐 가능한 환기창을 적용할 수 있는 고측창, 모니터창, 정측창이 주로 사용된다. 본 연구의 자연환기계획은 측창과 지붕형태에 따른 환기창을 설계변수로 설정하여, 자연환기를 통한 냉방에너지 절감과 그에 따른 냉·난방에너지 소비량의 변화를 분석하였다.

(1) 설계변수 분석 조건

자연환기를 이용하여 냉방에너지 사용량을 절감하기 위해서는 실내의 자연환기량을 증가시켜 실내의 더운 열이 외부로 원활히 배출될 수 있는 계획이 우선적으로 요구된다. 또한 도입되는 공기의 온도가 실내온도보다 높을 경우 냉방에너지의 상승을 초래하기 때문에 실내온도보다 낮은 온도의 공기를 선택적으로 도입하는 것이 효과적이다. 따라서 자연환기 계획에 의한 냉방에너지 절감량을 정량적으로 분석하기 위하여 설계변수에 따른 기류패턴과 자연환기량을 분석하고, 실내온도보다 낮은 공기온도를 도입했을 시의 냉방에너지 절감량을 분석하였다.

자연환기계획 방안은 다음과 같이, 두 가지의 방안으로 나누어서 진행하였다.

- 측창면적 변화에 따른 자연환기 (지붕형태 고정)
- 지붕형태별 환기창에 따른 자연환기(창면적비 고정)

분석 조건은 기존의 출입문 개방에 따른 자연환기량은 고정변수 설정하였다. 이는 출입문은 자재반입의 용도이므로, 선택적으로 개폐될 수 있는 부분이 아니라고 판단하였기 때문이다. 창외 경우는 생산공정과는 무관한 부분이므로 항상 개폐가 가능하도록 가정하였다. 또한 기존 산형지붕은 주로 경사면에 천창의 형태로 창이 적용되기 때문에 이는 개폐가 가능한 창이 계획될 수 없다고 판단하여, 지붕형태에 따른 환기는 개폐가 가능한 창을 계획할 수 있는 톱날형지붕(고측창)과 솟을지붕형태(모니터창)를 중심으로 지붕형태에 대한 설계변수를 설정하였다. 여름철 냉방설기기간에만 창을 개방하도록하여 겨울철 자연환기는 없는 것으로 하였다.

(2) 설계변수 설정

가) 측창면적 변화에 따른 변수

측창면적 변화에 따른 설계변수는 기존의 산청지붕형태는 고정변수로 하여, 남서향과 남동향의 창면적비 증가에 따른 자연환기량과 냉방에너지 절감량을 분석하였다. 전체환기량 분석을 위한 창외 개방스케줄은 냉방설정기간(6월~9월) 동안 항상 개방되어있다고 가정하였다. 또한 대상공장건물의 측창은 미닫이 창이 적용되어 있으므로, 전체 창면적을 모두 개방될 수 없다고 판단하여 개방가능한 창면적은 전체 창면적의 1/2로 가정하였다.

설계변수는 <표 4.16>과 같으며, 기존의 창은 닫혀있는 것으로 가정하였기 때문에 기존 창면적에 창만 개방시키는 변수도 포함하였으며, 창 면적을 동일한 패턴으로 증가시키기 위하여 창의 너비는 고정시키고, 창의 높이만을 변화시켰다.

<표 4.16> 측창면적 변화에 따른 설계변수

	기존(Close)		기존(Open)		1.5배		2.0배		2.5배	
	남서	남동	남서	남동	남서	남동	남서	남동	남서	남동
창면적	56㎡	34㎡	56㎡	34㎡	84㎡	51㎡	112㎡	68㎡	140㎡	85㎡
개방면적	0㎡	0㎡	28㎡	17㎡	42㎡	26㎡	56㎡	34㎡	70㎡	43㎡
지붕형태	고정변수									



(그림 4.22) 대상공장건물의 측창(좌:남서측창, 우:남동측창)

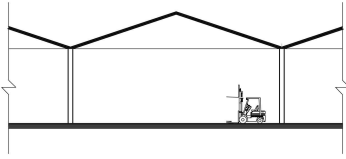
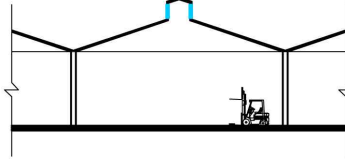
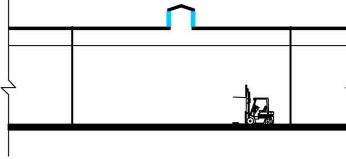
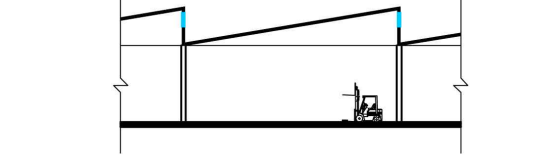
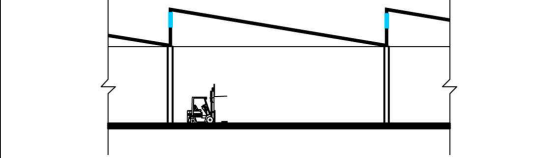
나) 지붕형태(환기창) 변화에 따른 환기

지붕형태 변화에 따른 설계변수는 <표 4.17>과 같이, 지붕형태별로 적용되는 개방가능한 창의 위치 변화가 설계변수라 할 수 있다. 즉 지붕형태는 각 형태별로 적용되는 창의 위치가 다르기 때문에, 창면적비가 동일한 전체조건하에 지붕형태별 자연환기의 효과를 비교하는 것이 목적이다. 이를 위하여

자연채광에서의 창면적비와 같이 모든 창의 면적비를 10%로 고정시키고, 환기창이 없는 기존의 산형지붕, 모니터창을 적용한 산형지붕, 모니터창을 적용한 평지붕, 고측창을 적용한 톱날지붕을 설계변수로 하였다.

<표 4.17> 지붕형태(환기창) 변화에 따른 설계변수

	기존(산형지붕)	산형지붕 (모니터창)	평지붕 (모니터창)	톱날형 지붕(고측창)	
				남측면 경사	북측면 경사
지붕 창면적	0%	10% (5%+5%)	10% (5%+5%)	10%	10%
측창면적		개방면적 : 창면적의 1/2 고정변수			

기존(산형지붕)	산형지붕 (모니터창)	평지붕 (모니터창)
		
톱날지붕_남측면 경사(고측창)	톱날지붕_북측면 경사(고측창)	
		

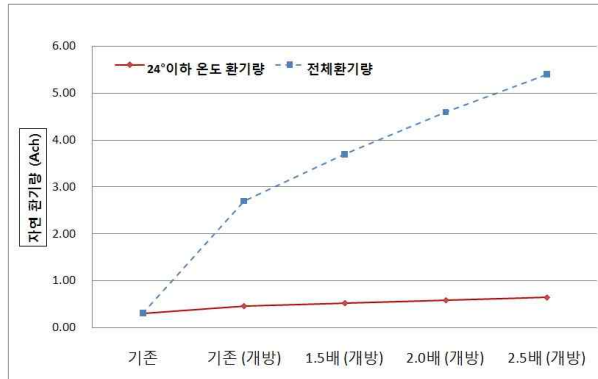
(3) 시뮬레이션 분석 결과

가) 측창면적 변화에 따른 변수

변수별 냉방설정기간의 실내 공기이동량을 분석한 결과, 측창을 통한 맞통풍이 발생하는 것보다 <표 4.18>과 같이 측창 및 외벽의 누기면으로부터 공기가 유입되고, 지붕의 누기면을 통해 배출되는 패턴을 보인다. 이는 실내상승기류에 의한 결과라고 볼 수 있으며, 대상공장건물은 측창을 통한 자연환기 방식보다는 상승기류를 활용하여 지붕으로 환기창을 계획하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

<표 4.18> 측창면적별 공기이동량(6월~9월)

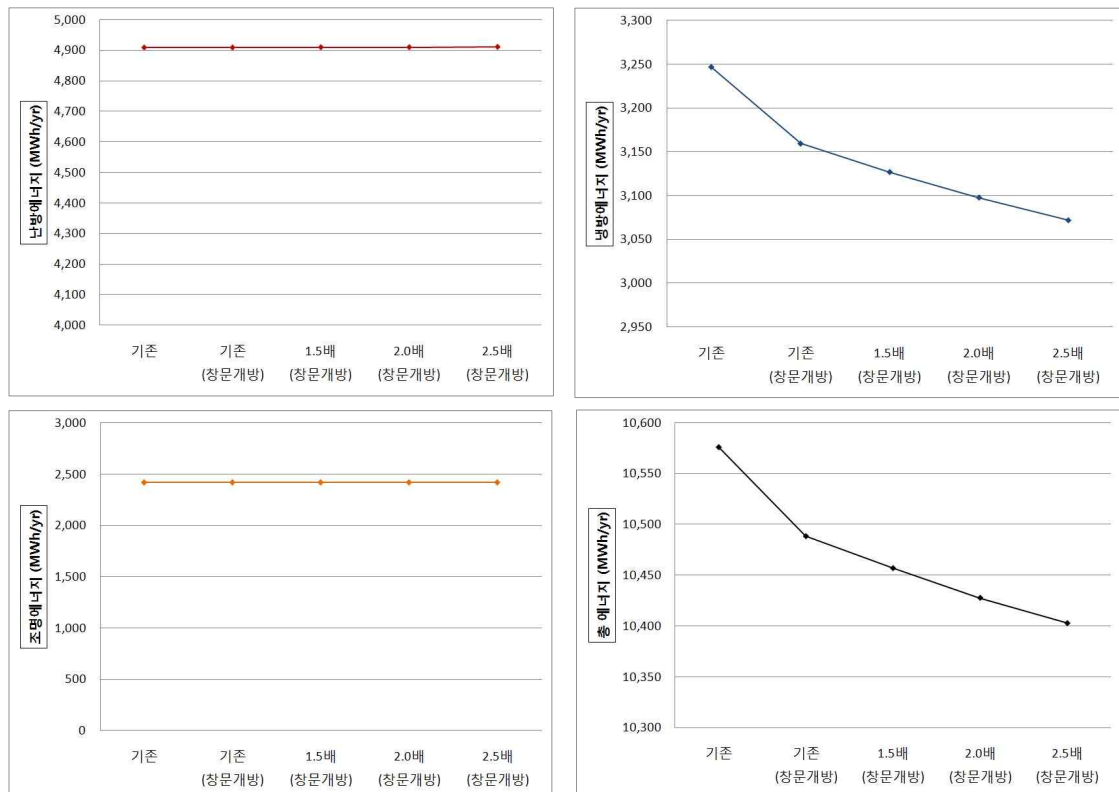
[단위: m³/s]	남서면 (창/문,벽체)		남동면 (창/문,벽체)		지붕 누기면	
	In → Out	Out → In	In → Out	Out → In	In → Out	Out → In
기존 (Close)	-		-		71.5	3.2
기존 (Open)	18.8	135.8	21.3	73.2	224.2	10.7
1.5 배	31.1	179.7	40.2	94.5	251.5	10.9
2.0 배	46.5	218.0	62.4	112.2	264.7	10.3
2.5 배	66.7	258.6	90.4	131.1	272.2	9.3



[단위:ACH]	전체 환기량	24℃이하 온도 환기량
기존	0.31	0.31
기존 (개방)	2.71	0.46
1.5배 (개방)	3.68	0.53
2.0배 (개방)	4.62	0.59
2.5배 (개방)	5.39	0.65

(그림 4.23) 측창면적별 전체환기량과 24℃이하온도 환기량

또한 전체환기량과 실내 냉방에너지 절감에 효과적인 냉방설정온도 이하의 공기 환기량을 분석한 결과는 (그림 4.23)과 같다. 측창면적이 증가할수록 전체환기량은 크게 증가하지만 냉방에너지 절감에 효과적인 방설정온도 이하의 공기 환기량은 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.



	기존(Close)	기존(Open)	1.5배(Open)	2.0배(Open)	2.5배(Open)
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	10,488	10,457	10,428	10,403
기존 대비 절감율 (%)	.	0.83	1.13	1.40	1.64

(그림 4.24) 측창면적 변화에 따른 에너지 사용량

에너지 사용량에 대한 시뮬레이션 분석 결과, 냉방에너지의 경우 실내설정 온도보다 낮은 온도만을 선택적으로 자연환기를 시켰을 때 절감되는 에너지 사용량으로, 개방 가능한 창면적의 증가할수록 환기량이 증가하여 냉방에너지 사용량이 감소시키는 것으로 나타났다. 난방에너지의 경우는 창을 개방하지 않기 때문에 창면적의 증가에 따라 창을 통한 열손실이 발생하지만, 그 양이 작아 거의 변화가 없는 것으로 보인다. 또한 조명에너지의 경우도 측창면적 증가에 따라 주광의 유입이 증가하지만, 거의 영향을 받지 않는다.

따라서 측창을 통한 자연환기는 여름철 냉방설정기간 동안 난방과 조명에너지에 영향을 거의 미치지 않으면서, 냉방에너지를 줄일 수 있다.

나) 측창면적 변화에 따른 변수

공기이동량 분석결과, <표 4.19>와 같이 모든 변수들에서 측창으로 공기가 유입되고, 지붕의 창을 통해서 배출되는 패턴을 보인다. 변수별 환기량은 톱날지붕(고측창) 형태보다 모니터형 창이 적용된 지붕형태의 환기량이 더 많이 발생하여 모니터창의 자연환기 성능이 더 좋은 것으로 분석된다. 또한 산형지붕(모니터창)이 평지붕(모니터창)보다 환기량이 더 많이 발생하는 것은 층고가 높아 상승기류가 더욱 활발하게 발생한 것으로 판단된다. 톱날형지붕(고측창)의 경우는 남측경사지붕의 환기량이 북측경사지붕의 환기량보다 많게 나타났다. 이는 남측경사지붕은 고측창의 향이 공기가 유입되는 측창과 반대 방향이고, 북측경사지붕은 측창과 동일한 방향이기 때문에 측창과 반대 방향인 고측창이 실내에서의 공기 흐름을 더 원활하게 유도하는 것으로 판단된다.

<표 4.19> 지붕형태(환기창)별 공기이동량(6월~9월)

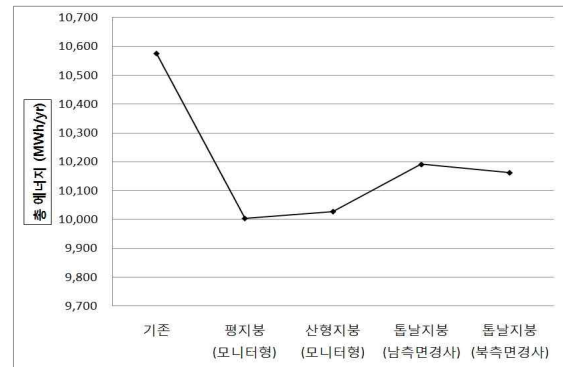
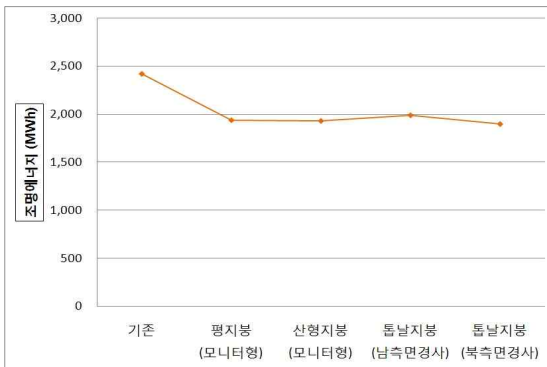
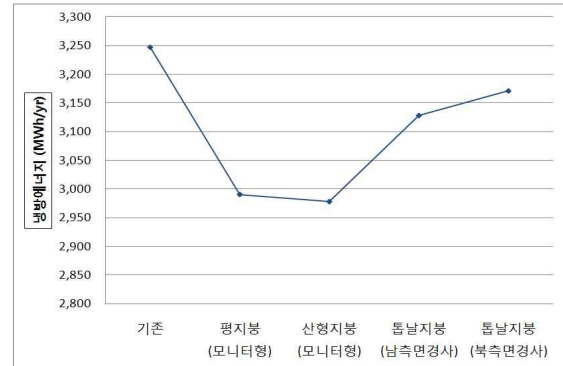
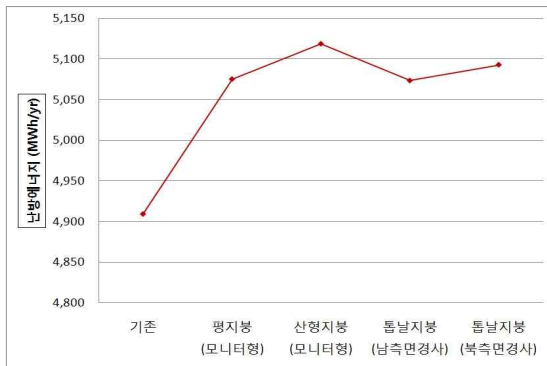
[단위:m³/s]	남서면 (창/문,벽체)		남동면 (창/문,벽체)		지붕면 (창, 지붕)	
	In → Out	Out → In	In → Out	Out → In	In → Out	Out → In
기존 (Close)	-		-		71	3
기존 (Open)	18	135	21	73	224	10
산형지붕 (모니터창)	87.2	172.8	57.6	109.1	1,665.3	1,528.0
평지붕 (모니터창)	87.1	171.8	62.6	104.2	1,652.3	1,526.4
남측경사 톱날지붕 (고측창)	124.6	242.0	48.2	136.6	600.6	394.8
북측경사 톱날지붕 (고측창)	25.3	149.2	63.6	157.7	539.5	321.2



[단위:Ach]	전체 환기량	24°C이하 온도 환기량
기존	0.31	0.31
평지붕 (모니터창)	2.71	0.46
산형지붕 (모니터창)	3.68	0.53
툽날지붕_남 (고측창)	4.62	0.59
툽날지붕_북 (고측창)	5.39	0.65

(그림 4.25) 지붕형태(환기창)별 전체환기량과 24°C이하온도 환기량

또한 지붕형태(환기창)별 자연 환기량을 분석한 결과는 (그림 4.25)와 같으며, 산형지붕(모니터창)의 환기량이 가장 많으며, 평지붕(모니터창)-툽날형지붕(북측면 경사, 고측창)-툽날형지붕(남측면 경사, 고측창) 순으로 나타났다.



	기존(산형지붕)	산형지붕 (모니터창)	평지붕 (모니터창)	툽날지붕_남측 (고측창)	툽날지붕_북측 (고측창)
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	10,004	10,028	10,191	10,163
기존 대비 절감율 (%)	.	5.41	5.18	3.64	3.91

(그림 4.26) 지붕형태(환기창) 변화에 따른 에너지 사용량

에너지 사용량에 대한 시뮬레이션 분석 결과, 냉방에너지 사용량은 자연환기에 효과적인 지붕형태 및 창 위치일수록 냉방에너지가 감소시키는 것으로 나타났으며, 산형지붕(모니터창)이 가장 절감효과가 좋으며, 평지붕(모니터창)-툽날지붕(남측면경사, 고측창)-툽날지붕(북측면경사, 고측창)순으로 효과가 큰 것으로 나타났다. 난방에너지 사용량의 경우는 자연환기 계획과 관련이 없기 때문에 표면적의 영향만을 받아 표면적이 가장 큰 산형지붕(모니터창)-평지붕(모니터창)-툽날지붕(남측면경사, 고측창)-툽날지붕(북측면경사, 고측창) 순으로 크게 나타났다. 또한 조명에너지의 경우는 앞서 분석한 지붕형태(채광창)별 자연채광의 분석과 동일하게 나타났다.

그러나 총 에너지사용량의 경우는 평지붕(모니터창)이 가장 절감율이 높게 나타났는데, 이는 산형지붕(모니터창)의 냉방에너지 절감이 가장 크지만, 난방에너지가 가장 크게 때문에 합산된 총 에너지 사용량에서는 평지붕(모니터창)이 가장 효과적으로 나타났다.

4.1.7 에너지절약요소별 최적변수 도출

앞서 분석한 결과를 바탕으로 각 에너지절약요소별 최적변수를 <표 4.20>과 같이 정리하였다. 냉·난방에너지 모두 표면적이 작고 창을 계획하지 않는 지붕형태가 좋지만, 냉방에너지의 경우는 자연환기를 위해서는 창면적이 크고 환기효과가 큰 지붕형태(창형태)가 효과적이다. 조명에너지는 자연채광만을 고려하였을 때는 산형지붕형태에 천창을 적용하고 창면적을 크게하는 것이 효과적이지만, 자연환기부분과 관련하여 개폐가 가능한 창을 적용하기 위해서는 툽날지붕(남측면 경사)에 고측창을 계획하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

또한 총 에너지의 경우도 창에 대한 고려가 없을 때에는 표면적이 작은 평지붕형태로 계획하는 것이 좋지만, 자연채광을 위해서는 산형지붕-천창(10%)로 계획하는 것이 효과적이고, 자연환기까지 고려할 때는 평지붕에 모니터창을 계획하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

<표 4.20> 에너지절약요소별 최적변수

에너지절약요소		난방에너지	냉방에너지	조명에너지	총 에너지
지붕형태		평지붕	평지붕	—	평지붕
단열성능		우레탄 150T	우레탄 150T	—	우레탄 150T
표면성질		반사율 0.25 (Green/Blue)	반사율 0.50 (White)	—	반사율 0.50 (White)
침기량	기밀성능	1.5cm ³ /m ²	1.5cm ³ /m ²	—	1.5cm ³ /m ²
	출입문 개방방식	순차적 개폐 방식	순차적 개폐 방식	—	순차적 개폐 방식
자연 채광	천장면적	0% (기준)	0% (기준)	30%	10%
	지붕형태 (채광창형태)	산형지붕-창(無) (기준)	산형지붕-창(無) (기준)	산형지붕-천창	산형지붕-천창
자연 환기	측창면적	기준	2.5배 (기준 대비)	2.5배 (기준 대비)	2.5배 (기준 대비)
	지붕형태 (환기창형태)	산형지붕-창(無) (기준)	산형지붕-모니터창	툽날지붕 (북측면 경사) -고측창	평지붕-모니터창

4.2 대상공장의 건물에너지 통합 절약 방안 제시

본 절에서는 앞서 도출한 에너지절약요소별 최적의 설계변수를 분석하여, 난방·냉방·조명에너지와 총 에너지에 대한 각각의 최적조합을 도출함으로써 각 에너지별 통합절감모델을 제시하고, 최종적으로 통합절감모델별 에너지 성능 평가를 하여 총에너지사용량을 비교 분석하였다.

최적조합을 도출하는 방식은 기본적으로 에너지절약요소별 최적변수들을 조합하는 방식으로 하였다. 그러나 에너지절약요소별 최적변수는 개별적으로 평가를 하였을 때에 해당 설계변수 범위 내에서만 유용한 최적의 변수이고, 단일한 모델로 통합하기 위해서는 중복되는 변수가 있으면 안 되므로, 중복이 되는 최적변수에 대해서는 종합적으로 에너지 절감효과 큰 변수를 선정하였다. 즉, 지붕형태와 같은 경우는 자연채광과 자연환기에서의 지붕형태(창형태)와 중복이 되어 단일한 모델로 통합할 수 없는 경우를 말한다.

조명에너지의 경우, 창에 대한 설계변수가 없는 에너지절약요소가 있기 때문에, 이러한 에너지절약요소 대해서는 이후 통합절감모델별 총에너지사용량을 객관적으로 비교분석하기 위하여 총 에너지의 최적변수를 적용하였다.

4.2.1 각 에너지별 최적조합(통합절감모델) 도출

(1) 난방에너지 최적조합

난방에너지 최적변수의 경우, 지붕 형태는 평지붕, 단열성능은 우레탄 150T, 표면성질은 반사율 0.25(Green/Blue)이며, 침기량은 기밀성능 1.5cm³/m²의 순차적 개폐 방식이고, 자연채광은 채광창이 없는 기존의 산형지붕형태이다. 이러한 난방에너지 최적변수들을 바탕으로 도출한 최적조합은 <표 4.21>과 같다. 그러나 지붕형태의 경우 창에 대한 고려 없이 형태적인 측면만 보았을 때는 평지붕이 최적변수이고, 자연채광과 자연환기부분에서의 지붕형태(창형태)는 평지붕에 대한 설계변수가 없으므로 창이 없는 기존의 지붕형태가 최적변수이다. 이는 난방에너지만을 고려했을 때, 창을 계획하지 않는 것이 효과적이라는 결과임으로, 창을 고려하지 않는다면 산형지붕보다 평지붕을 적용하는 것이 더 효과적이다.

따라서 난방에너지 통합절감모델의 지붕형태는 창이 없는 평지붕을 적용하였으며, 이로 인해 난방에너지 통합절감모델은 자연환기 계획이 고려되지 않는다.

<표 4.21> 난방에너지 통합절감모델

에너지절약요소		난방에너지 최적변수	난방에너지 절감율(%)	난방에너지 최적조합
지붕형태		평지붕	0.5	평지붕
단열성능		우레탄 150T	19.0	우레탄 150T
표면성질		반사율 0.25 (Green/Blue)	1.8	반사율 0.25 (Green/Blue)
침기량	기밀성능	1.5cm ³ /m ²	2.4	1.5cm ³ /m ²
	출입문 개방 방식	순차적 개폐 방식	9.2	순차적 개폐 방식
자연채광	천창면적	0% (기존)	0	평지붕-창(無)
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-창(無) (기존)	0	
자연환기	측창면적	기존	0	기존
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-창(無) (기존)	0	평지붕-창(無)
통합모델을 위한 지붕형태(창형태) 선정		평지붕, 창(無)		

(2) 냉방에너지 최적조합

냉방에너지 최적변수의 경우, 지붕 형태는 평지붕, 단열성능은 우레탄 150T, 표면성질은 반사율 0.25(Green/Blue)이며, 침기량은 기밀성능 1.5cm³/m²의 순차적 개폐 방식이고, 자연채광은 채광창이 없는 기존의 산형지붕형태, 자연환기는 측창면적 2.5배의 산형지붕 모니터창이다. 이러한 냉방에너지 최적변수들을 바탕으로 도출한 최적조합은 <표 4.22>와 같다. 그러나 지붕형태의 경우, 자연환기를 고려하지 않았을 때는 난방에너지 최적변수와 같이 창이 없는 평지붕 형태가 효과적이지만, 자연환기에 대해서는 산형지붕의 모니터창이 최적변수이다. 이에 따라 통합모델을 위한 지붕형태(창형태)는 절감율이 가장 큰 모니터창이 적용된 산형지붕형태를 적용하는 것이 효과적이다.

또한 자연채광의 경우, 자연환기의 최적변수와 중복이 될 수 없으므로, 자연환기의 최적변수와 동일하게 적용하였으며, 모니터창 면적은 지붕형태(창형태)의 면적비인 10%로 하였다.

<표 4.22> 냉방에너지 통합절감모델

에너지절약요소		냉방에너지 최적변수	냉방에너지 절감율(%)	냉방에너지 최적조합
지붕형태		평지붕	0.2	산형지붕(모니터형)
단열성능		우레탄 150T	33.7	우레탄 150T
표면성질		반사율 0.50 (White)	4.6	반사율 0.50 (White)
침기량	기밀성능	1.5cm ³ /m ²	1.4	1.5cm ³ /m ²
	출입문 개방 방식	순차적 개폐 방식	5.3	순차적 개폐 방식
자연채광	천창면적	0% (기존)	0	10% (모니터창)
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-창(無) (기존)	0	산형지붕-모니터창
자연환기	측창면적	2.5배 (기존 대비)	5.4	2.5배 (기존 대비)
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-모니터창	8.3	산형지붕-모니터창
통합모델을 위한 지붕형태(창형태) 선정		산형지붕-모니터창(10%)		

(3) 조명에너지 최적조합

조명에너지 최적변수에서 지붕 형태, 표면성질, 침기량의 경우는 창에 대한 설계변수가 없으므로 직접적으로 관련이 없는 에너지절약요소다. 이에 따라 창의 크기 및 위치와 관련된 자연채광과 자연환기 부분의 최적변수를 바탕으로 최적조합을 도출하였다. 조명에너지 최적조합은 <표 4.23>과 같이 지붕형태, 표면성질, 침기량은 총 에너지 최적변수를 적용하였으며, 천창이나 측창면적은 클수록 자연채광에 효과적임에 따라 최적변수를 적용하였다. 단일 모델로 통합하기 위한 지붕형태와 창형태는 자연채광만을 고려했을 때, 산형지붕-천창이 톱날지붕(북측면 경사)-고측창보다 효과적이므로 산형지붕-천창을 적용하였다.

또한 천창은 개폐가 가능한 창이 아니므로, 조명에너지 통합절감모델은 난방에너지 통합절감모델과 같이 자연환기 계획이 고려되지 않는다.

<표 4.23> 조명에너지 통합절감모델

에너지절약요소		조명에너지 최적변수	조명에너지 절감율(%)	조명에너지 최적조합
지붕형태		—	—	산형지붕
단열성능		—	—	우레탄 150T
표면성질		—	—	반사율 0.50 (White)
침기량	기밀성능	—	—	1.5cm ² /m ²
	출입문 개방 방식	—	—	순차적 개폐 방식
자연채광	천창면적	30%	25.8	30% (천창)
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-천창	24.2	산형지붕-천창
자연환기	측창면적	2.5배 (기준 대비)	0.3	2.5배 (기준 대비)
	지붕형태 (창형태)	톱날지붕(북측면 경사) -고측창	21.5	산형지붕-천창
통합모델을 위한 지붕형태(창형태) 선정		산형지붕-천창(30%)		

(4) 총 에너지 최적조합

총 에너지 최적변수의 경우, 지붕 형태는 평지붕, 단열성능은 우레탄 150T, 표면성질은 반사율 0.25(Green/Blue)이며, 침기량은 기밀성능 1.5cm³/m²의 순차적 개폐 방식이고, 자연채광은 산형지붕-천창(10%), 자연환기는 측창면적 2.5배의 평지붕 모니터창이다. 이 중 단열성능, 표면성질, 침기량과 천창 및 측창면적은 <표 4.24>와 같이 각 최적변수와 동일하게 적용하였다. 지붕형태의 경우, 냉·난방에너지 최적조합과 같이 자연환기를 고려하지 않았을 때는 평지붕 형태가 효과적이지만, 자연채광은 천창(10%)을 적용한 산형지붕이 최적변수이고, 자연환기에서는 평지붕의 모니터창이 최적변수이다. 이에 따라 통합모델을 위한 지붕형태(창형태)는 절감율이 가장 큰 평지붕 모니터창을 적용하는 것이 효과적이다.

또한 자연채광의 경우, 자연환기의 최적변수와 중복이 될 수 없으므로, 자연환기의 최적변수와 동일하게 적용하였으며, 모니터창 면적은 지붕형태(창형태)의 면적비인 10%로 하였다.

<표 4.24> 총 에너지 통합절감모델

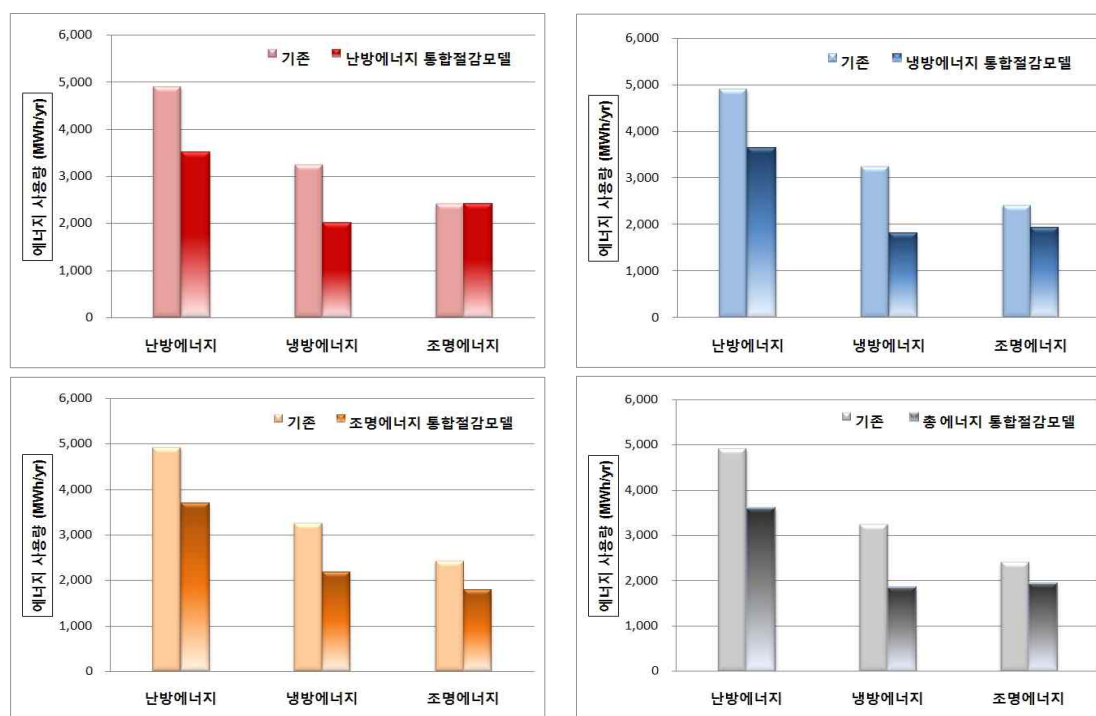
에너지절약요소		에너지절약요소별 최적변수	총에너지 절감율(%)	총 에너지 최적조합
지붕형태		평지붕	0.3	평지붕 모니터형
단열성능		우레탄 150T	19.2	우레탄 150T
표면성질		반사율 0.50 (White)	0.8	반사율 0.50 (White)
침기량	기밀성능	1.5cm ³ /m ²	1.3	1.5cm ³ /m ²
	출입문 개방 방식	순차적 개폐 방식	5.9	순차적 개폐 방식
자연채광	천창면적	10%	4.8	평지붕 모니터창(10%)
	지붕형태 (창형태)	산형지붕-천창	4.8	
자연환기	측창면적	2.5배 (기존 대비)	1.6	2.5배 (기존대비)
	지붕형태 (창형태)	평지붕-모니터창	5.4	평지붕 모니터창
통합모델을 위한 지붕형태(창형태) 선정		평지붕-모니터창, 창면적 10%		

4.2.2 통합절감모델별 에너지 성능 평가

(1) 통합절감모델별 난방·냉방·조명에너지 사용량

통합절감모델별의 에너지 성능 평가 결과는 (그림 4.27)과 같이 나타났으며, 총에너지 절감모델을 제외한 3가지 통합절감모델은 모두 각기 해당되는 에너지의 절감율이 다른 통합절감모델에 비해 가장 높게 나타났다.

난방에너지 통합절감모델은 난방에너지 28.4%, 냉방에너지 38.2% 절감되어, 자연환기가 고려되지 않은 냉방에너지의 절감율도 비교적 높게 나타났지만 조명에너지는 절감되지 않았다. 냉방에너지 통합절감모델은 난방에너지 25.6%, 냉방에너지 43.9%, 조명에너지 20.2% 절감되었으며, 자연환기를 위하여 산형지붕을 적용되었기 때문에 난방에너지는 난방에너지 통합절감모델보다 높게 나타났지만, 냉방에너지와 조명에너지 절감율이 높게 나타났다.



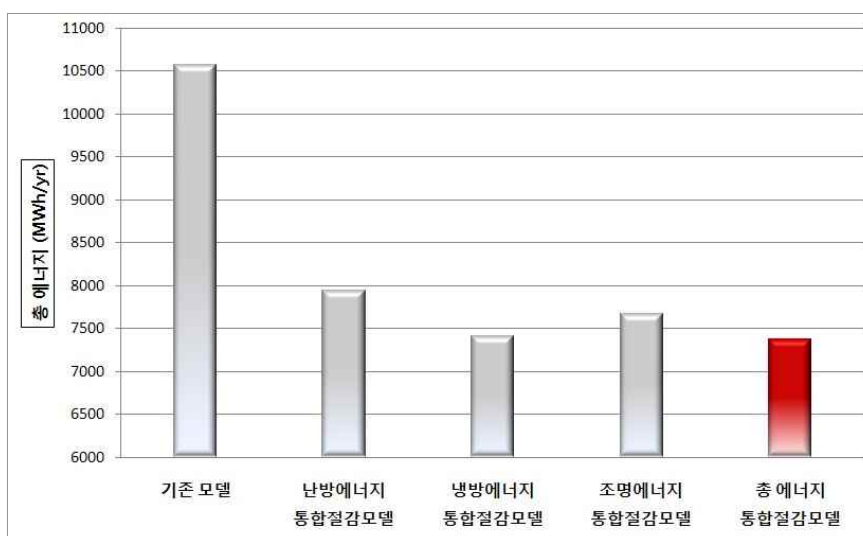
		기본	난방에너지 통합절감모델	냉방에너지 통합절감모델	조명에너지 통합절감모델	조명에너지 통합절감모델
난방 에너지	사용량(MWh/yr)	4,909	3,515	3,653	3,687	3,604
	절감율(%)	·	28.4	25.6	24.9	26.6
냉방 에너지	사용량(MWh/yr)	3,247	2,007	1,821	2,183	1,843
	절감율(%)	·	38.2	43.9	32.8	43.3
조명 에너지	사용량(MWh/yr)	2,420	2,420	1,932	1,795	1,939
	절감율(%)	·	0	20.2	25.8	19.9

(그림 4.27) 통합절감모델별 난방·냉방·조명에너지 사용량과 절감율

조명에너지 통합절감모델의 경우, 조명에너지 절감율은 가장 높지만, 천창의 면적이 크기 때문에 열손실을 증가시켜 난방에너지 절감율이 낮게 나타났으며, 일사획득이 많고 천창을 적용함에 따라 자연환기를 고려하지 않았기 때문에 냉방에너지의 절감율도 낮게 나타난 것으로 판단된다. 총 에너지 절감모델의 경우는 전체적으로 각 에너지별 절감율이 고르게 나타났다.

(2) 통합절감모델별 총 에너지 사용량

최종적으로 통합절감모델별 총 에너지 사용량과 기존 대비 절감율을 분석한 결과는 (그림 4.28)과 같이 나타났으며, 총 에너지 통합절감모델이 총 에너지사용량 7,385MWh/yr, 기존 대비 절감율 30.2%로 나타나 4가지 통합모델 중 가장 에너지 절약적인 모델인 것으로 나타났다.



	기존	난방에너지 통합절감모델	냉방에너지 통합절감모델	조명에너지 통합절감모델	총 에너지 통합절감모델
총 에너지사용량 (MWh/yr)	10,576	7,942	7,406	7,665	7,385
기존 대비 절감율 (%)	.	24.9	29.9	27.5	30.2

(그림 4.28) 통합절감모델별 총 에너지 사용량과 절감율

4.3 소 결

본 장에서는 대상공장건물의 에너지절약요소를 중심으로 각 요소별 설계변수를 설정한 후, 그에 따른 난방·냉방·조명에너지 사용량과 3가지 에너지를 합산한 총에너지 사용량을 평가하였으며, 이를 통해 에너지절약요소별로 각 에너지의 최적변수를 도출하였다. 또한 에너지절약요소별 최적변수를 바탕으로, 난방·냉방·조명에너지와 총 에너지에 대한 각각의 최적조합을 도출하여 에너지 종류별 통합절감모델을 제시하였다.

에너지절약요소별 에너지 성능평가를 통하여 도출한 각 에너지종류별 최적변수를 정리하면 다음과 같다.

(1) 난방에너지 최적변수의 경우, 지붕형태-평지붕, 단열성능-150T, 표면성질-반사율 0.25(Green/Bule)이며, 침기량은 기밀성능- $1.5\text{cm}^2/\text{m}^2$, 출입문 개방방식-순차적 개방방식으로 나타났다. 자연채광은 천창면적-0%(기존), 지붕형태(채광창형태)-기존 산형지붕(無창)이며, 자연환기는 측창면적-기존, 지붕형태(환기창형태)-기존 산형지붕(無창)으로 나타났다.

(2) 냉방에너지 최적변수의 경우, 지붕형태-평지붕, 단열성능-150T, 표면성질-반사율 0.50(White)이며, 침기량은 기밀성능- $1.5\text{cm}^2/\text{m}^2$, 출입문 개방방식-순차적 개방방식으로 나타났다. 자연채광은 천창면적-0%(기존), 지붕형태(채광창형태)-기존 산형지붕(無창)이며, 자연환기는 측창면적-2.5배, 지붕형태(환기창형태)-산형지붕(모니터창)으로 나타났다.

(3) 조명에너지 최적변수의 경우, 지붕형태, 단열성능, 표면성질, 침기량은 조명에너지 직접적으로 영향을 미치지 않기 때문에 자연채광과 자연환기 부분의 최적변수만 도출하였다. 자연채광은 천창면적-30%, 지붕형태(채광창형태)-산형지붕(천창)이며, 자연환기는 측창면적-2.5배, 지붕형태(환기창형태)-북측면경사 톱날지붕(고측창)으로 나타났다.

(4) 총 에너지 최적변수의 경우, 지붕형태-평지붕, 단열성능-150T, 표면성질-반사율 0.50(White)이며, 침기량은 기밀성능- $1.5\text{cm}^2/\text{m}^2$, 출입문 개방방식-순차적 개방방식으로 나타났다. 자연채광은 천창면적-10%, 지붕형태(채광창형태)-산형지붕(천창)이며, 자연환기는 측창면적-2.5배, 지붕형태(환기창형태)-평지붕(모니터창)으로 나타났다.

이러한 각 에너지별 최적변수를 바탕으로 최적의 조합을 도출하여 <표 4.25>와 같이 각 에너지 종류별 통합절감모델을 제시하였다.

<표 4.25> 각 에너지별 통합절감모델

에너지절약요소		난방에너지 최적조합	냉방에너지 최적조합	조명에너지 최적조합	총 에너지 최적조합
지붕형태		평지붕	산형지붕 모니터형	산형지붕	평지붕 모니터형
단열성능		우레탄 150T	우레탄 150T	우레탄 150T	우레탄 150T
표면성질		반사율 0.25 (Green/Blue)	반사율 0.50 (White)	반사율 0.50 (White)	반사율 0.50 (White)
침기량	기밀성능	1.5cm ² /m ²	1.5cm ² /m ²	1.5cm ² /m ²	1.5cm ² /m ²
	출입문 개방 방식	순차적 개폐 방식	순차적 개폐 방식	순차적 개폐 방식	순차적 개폐 방식
자연채광	천창면적	평지붕-창(無)	산형지붕 (모니터창-10%)	산형지붕 (천창-30%)	평지붕 (모니터창-10%)
	지붕형태 (창형태)				
자연환기	측창면적	기준	2.5배 (기준 대비)	2.5배 (기준 대비)	2.5배 (기준대비)
	지붕형태 (창형태)	평지붕-창(無)	산형지붕 (모니터창)	산형지붕 (천창)	평지붕 (모니터창)
통합모델을 위한 지붕형태(창형태) 선정		평지붕-창(無)	산형지붕 모니터창(10%)	산형지붕 천창(30%)	평지붕 모니터창(10%)

통합절감모델별 에너지 성능 평가 결과, 난방에너지 통합절감모델은 난방 에너지 28.4%, 냉방에너지 38.2% 절감되었으며, 냉방에너지 통합절감모델은 난방에너지 25.6%, 냉방에너지 43.9%, 조명에너지 20.2% 절감되었다. 조명에너지 통합절감모델의 경우, 난방에너지 24.9%, 냉방에너지 32.8%, 조명에너지 25.8% 절감되었으며, 총 에너지 절감모델의 경우는 전체적으로 각 에너지별 절감율이 고르게 나타났다. 따라서 총에너지 절감모델을 제외한 3가지 통합절감모델은 모두 각기 해당되는 에너지의 절감율이 다른 통합절감모델에 비해 가장 높게 나타났다.

최종적으로 통합절감모델별 총 에너지 사용량과 기준 대비 절감율을 분석한 결과, 총 에너지 통합절감모델이 총 에너지사용량 7,385MWh/yr, 기준 대비 절감율 30.2%로 나타나 4가지 통합모델 중 가장 에너지 절약적인 모델인 것으로 나타났다.

제 5 장 결 론

본 연구는 공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 것으로, 자동차공장을 대상으로 연구를 진행하였다. 이에 따라 자동차공장을 중심으로 한 공장건물의 환경적 특성과 친환경 자동차공장의 사례를 분석한 후, 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지영향요소 및 에너지절약기법을 도출하였다. 그리고 그 중 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하여 각 설계변수별 난방·냉방·조명에너지 사용량과 총에너지 사용량을 분석하였고, 그에 따른 각 에너지별 최적조합을 도출함으로써 각 통합절감모델을 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다

(1) 난방에너지 절약기법은 실내의 열손실을 최소화하고 일사획득을 촉진시키는 원리인 반면, 냉방에너지 절약기법은 실내의 열획득을 최소화하고 내부의 열을 외부로 배출시키는 원리이다. 조명에너지는 자연채광을 통해 실내의 빛 유입을 최대화하는 원리를 사용한다. 따라서 각 에너지 절약기법은 복잡한 상관관계가 존재하기 때문에 개별적인 에너지 절약기법은 또 다른 에너지를 증가시킬 것으로 판단된다.

(2) 공장건물은 대부분 대규모의 형태이고 지붕의 면적이 외피의 대부분을 차지함에 따라 지붕을 활용한 자연채광 및 자연환기 계획이 효과적이며, 그 방식에 따라 다양한 지붕형태를 갖는다. 외피재료는 구조적 특성상 샌드위치패널이 보편적으로 적용되며, 패널 강판은 다양한 색상으로 제작된다. 또한 자재 반입을 위해 대형 출입문이 빈번히 개방되어 외기 침입량이 크다.

(3) 공장건물의 에너지절약기법의 경우, 난방에너지는 표면적이 작고 일사획득에 유리한 지붕형태 계획, 샌드위치패널 단열성능 향상, 반사율/방사율이 낮은 강판 색상 사용, 천창면적 최소화, 대형 출입문 개방에 따른 침기량 차단 계획 등으로 분석되었다. 냉방에너지는 난방에너지 절약기법과 유사하나, 일사차단에 유리한 지붕형태 계획, 반사율/방사율이 높은 강판 색상 사용, 주풍향과 실내상승기류를 활용한 자연환기 계획에서 차이를 보인다. 조명에너지절약기법은 자연채광을 고려한 지붕형태, 창면적 최대화, 가시광선 투과율이 높은 채광판 사용 등으로 분석되었다.

(4) 대상지역의 기후를 분석한 결과, 겨울철은 단열성능 강화 및 침기차단, 창을 통한 태양열 획득, 방풍계획 순으로 효과적인 것으로 나타났고, 여름철은 차양계획과 자연환기 계획이 적합한 것으로 분석되었다. 대상공장의 연간 에너지사용량을 분석한 결과, 난방에너지 4,909MWh/yr(46.4%), 냉방에너지 3,247MWh/yr(30.7%), 조명에너지 2,420MWh/yr(22.9%), 총 에너지 10,576MWh/yr로 나타났다. 난방, 냉방, 조명에너지 순으로 비중이 높지만, 비교적 균등한 비중을 차지하는 것으로 판단되기 때문에 건물에너지 절약을 위해서는 3가지 에너지에 대한 복합적인 고려가 필요할 것으로 보인다.

(5) 대상공장은 외피의 노후화로 인해 단열성능과 기밀성능이 좋지 못하고, 지붕면적이 외피 전체면적의 96%를 차지하기 때문에 외벽 및 창에 대한 비중이 현저히 낮다. 또한 층고가 높아 실내상승기류가 클 것으로 예상되며, 자재 반입에 따라 대형 출입문이 빈번히 개방된다. 이러한 대상공장의 특성과 대상지역의 기후특성을 고려하여, 앞서 도출한 공장건물의 에너지영향요소 및 에너지절약기법 중 대장공장에 적용 가능한 에너지절약요소로 지붕형태, 단열성능, 외피표면성질, 침기량, 자연채광, 자연환기를 선정하였다.

(6) 에너지절약요소별 에너지 성능 평가 결과, 절감율이 가장 큰 에너지절약요소는 냉·난방에너지의 경우 단열성능(우레탄 150T)이 조명에너지는 천창면적(30%)이 가장 큰 것으로 나타났다. 총 에너지는 냉·난방에너지와 같이 단열성능(우레탄150T)의 절감율이 가장 큰 것으로 나타났다. 한편, 대상지역(남부지역)의 단열 기준은 90~135T(지붕)로 규정하고 있으며, 이에 대하여 샌드위치패널의 적정 두께를 분석한 결과, 우레탄(0.024W/mK)과 그라스울(0.034/mK)은 100T이상, EPS(0.036W/mK)는 125T이상이 적합한 것으로 나타났다.

(7) 에너지 종류별로 최적조합을 도출함으로서 제시한 각 통합절감모델의 에너지 성능 평가 결과, 모두 각기 해당되는 에너지의 절감율이 다른 통합절감모델에 비해 가장 높게 나타났다. 총에너지 통합절감모델의 경우는 전체적으로 각 에너지별 절감율은 고르게 나타났으나, 총 에너지 절감율(30.2%)이 4가지 통합모델 중 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 가장 에너지 절감적인 모델인 총에너지 최적의 조합은 지붕형태-평지붕, 단열성능-150T, 표면성질-반사율 0.50(White)이며, 침기량은 기밀성능-1.5cm³/m², 출입문 개방방식-순차적 개방방식, 자연채광은 천창면적-10%, 지붕형태(채광창형태)-산

형지붕(천창), 자연환기는 측창면적-2.5배, 지붕형태(환기창형태)-평지붕(모니터창)인 것으로 나타났다.

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 공장건물의 에너지 절약을 위해서는 대상공장의 여러 조건과 문제점 분석을 통하여, 대상건물의 부하 특성과 에너지 절약요소의 상관관계가 고려된 최적의 조합을 선정하는 것이 가장 바람직 할 것으로 판단된다.

본 연구는 자동차공장건물을 대상공장으로 하여 에너지절약요소 변화에 따른 난방·냉방·조명에너지의 상관관계와 총 에너지 사용량을 분석함으로써, 각 에너지 종류별 통합절감모델을 제시하였고, 최종적으로 총 에너지사용량 절약에 가장 효과적 모델을 제안하였다. 그러나 본 연구는 에너지 성능평가에 필요한 데이터를 조사함에 있어, 현 대상공장의 여건상 정확한 데이터를 얻을 수 없는 부분에 대해서는 문헌조사를 통하여 가정하였다. 이에 따라 현 대상공장의 에너지 성능 평가에 대한 정확성의 한계가 있다. 또한 추후연구에 있어 건축계획적인 측면 외, 건축설비적인 측면과 공장건물에서의 신재생 에너지 활용 방안에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

1. 강수연, Zero Emission Building의 디자인 프로세스에 관한 연구, 중앙대 석사논문, 2008
2. 건설교통부, 대규모 산업시설의 설계표준화 지침서 개발연구, 1998
3. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2009.12.31 국토해양부령 제205호
4. 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부 고시 제2008-652호
5. 공효주, 정측창시스템의 자연채광성능 평가에 관한 축소모형 실험 연구, 경희대 석사논문, 2009
6. 김대웅 외, 고온다습 기후지역의 공장건물의 자연환기 적용에 따른 환기 성능 분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2007.10
7. 김동호, 건물 내 열/공기환경 통합시뮬레이션 기법에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2006.10
8. 김삼수, 자연에너지를 고려한 지붕의 최적 기울기에 관한 연구, 명지대 석사논문, 2001.2
9. 김성실 외, 창외 침기부하 산정용 노모그래프 개발, 대한건축학회 논문집, 2000
10. 김 옥, Cool Roof 시스템의 성능기준 및 설계지침에 관한 연구, 중앙대 박사학위논문, 2010
11. 김재수 저, 건축환경공학, 서우문화사, 2005
12. 김창언 저, 건축계획·설계론, 도서출판 서우
13. 나수연, 주택의 에너지 절약 설계기법 및 효율평가에 관한 연구, 중앙대 석사논문, 1994
14. 문덕희, 자동차 공장에서 CRS와 PBS의 전용레인 설치에 관한 시뮬레이션 연구, 한국시뮬레이션학회 논문집, 2004.5
15. 민연기, 생체기후도를 이용한 서울지역의 주거건축 설계에 관한 연구, 광운대 석사논문, 2000
16. 박병규 외, 지붕형태에 따른 열성능 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 2001.9
17. 엄성운, 자동차 생산공장의 배치계획에 관한 연구, 한양대 석사논문, 1999
18. 유정수, 자연채광의 건축설계 적용기법 및 과정에 관한 연구, 건국대 석사논문, 2001

19. 윤성환, 주문형 자동차 도시형 공장 계획안, 한양대 건축대학원 석사논문, 2006
20. 이경희 저, 건축환경계획(3판), 문운당, 2008
21. 이연구 저, 건축환경계획론, 태림문화사, 1999
22. 이종식, 공동주택 건축기술요소의 친환경 성능평가에 관한 연구, 중앙대 석사논문 2009
23. 이충식, BIPV의 한국 산업용 지붕 적용에 따른 효과분석 연구, 세명대 석사논문, 2009.2
24. 임정빈, 한국철도차량(주) 창원공장 및 환기설비공사 설계 및 시공 사례, 대한설비공학회 설비저널, 2006.6
25. 임홍순, 건축용 샌드위치패널의 연소성능 등급분류에 관한 연구, 한양대 석사논문, 2009.8
26. 조재훈, 고층 주거건물에서 연돌효과로 인한 압력분포 예측 및 평가, 서울대 박사논문, 2005
27. 최중진, 에너지절약형 건축설계를 위한 기후설계 방법에 관한 연구, 이화여대 석사논문, 2001
28. 태원진 외, 냉방부하 최소화를 위한 지붕의 최적기울기에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2005
29. 한국산업안전공단, 고열작업환경 관리 지침, 2007.6
30. 황재환, 에너지 성능 평가를 통한 냉동창고 전실부의 침기방지에 관한 연구, 영남대 박사학위, 2004

[국외문헌]

1. ASTM. 1998a. "ASTM E 1980-98 : Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surface"
2. CIBSE(The Chartered Institution of Building Services Engineers) Guide A Steering Committee
3. D. H. MOON, A case study of the body shop design in an automotive factory using 3D simulation, International Journal of Production Research, 2006
4. ENERGY STAR Roof Product List, List Posted on September 16, 2010

5. Howard D, Goodfellow, Tahti, Esko, Industrial Ventilation Design Guidebook, AcademicPress, 2001
6. International Energy Agency(IEA), Key World Energy STATISTICS, 2010
7. Jose-Tomas San-Jose Lombera, A System Approach to the Environmental Analysis of Industrial Building, Building and Environmental 45. 2010
8. Lixing Gu, AIRFLOW NETWORK MODELING IN ENERGYPLUS, Bilding Simulation 2007
9. R.U. Halwatura, M.T.R. Jayasinghe, Thermal Performance of Insulated Roof Slabs in Tropical Climates, Energy and Building 40. 2008
10. Spencer Dutton, Li Shao, Validation and Parametric Analysis of EnergyPlus : Air Flow Network Model Using CONTAM, Third National Conference of IBSPSA-USA, 2008.1
11. Stig-Inge Gustafsson, Refurbishment of Industrial Building, Energy Conversion and Management 47, 2006
12. S. Wijewardane, M.T.R. Jayasinghe, Thermal Comfort Temperature Range for Factory Workers in Warm Humid Tropical Climates, Renewable Energy 33. 2008
13. Xiaoxin Wang, Chis Kendrick, Dynamic Thermal Simulation of a Retail Shed with Solar Reflective Coatings
14. 2007 ASHRAE Handbook : HVAC Applications, CHAPTER 29, VENTILATION OF THE INDUSTRIAL ENVIRONMENT
15. 2009 ASHRAE Handbook : Fundamentals, CHAPTER 18, NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS

[Web Site]

1. 에너지 연별 통계, 에너지경제연구원 홈페이지, <http://www.keei.re.kr>
2. 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr>
3. American Honda Motor, <http://www.honda.com>
4. Green Car, <http://www.keei.re.kr>
5. U.S. Green Building Council, <http://www.usgbc.org>

국 문 초 록

공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 연구

: 자동차공장을 중심으로

채 민 수

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 박 진 철

최근 전 세계는 지속가능한 개발을 추구하며, 에너지 및 CO₂ 배출 감소를 위한 노력을 구체화하고 있다. 우리나라는 해외 에너지 의존도가 높은 에너지 다소비 국가이며, 특히 건물에너지가 총 에너지 사용량 중 24%를 차지함에 따라 건물에너지 관련 연구를 활발히 진행하고 있다. 그러나 이는 특정한 건물용도에만 국한 되어있고, 공장건물과 같은 특수한 건물용도에 대한 연구는 전무한 실정이다. 공장건물에서의 에너지 절약은 지구의 환경 문제 측면에서도 중요한 부분이지만, 에너지절약적인 생산기반 구축을 가능하게 하여 생산제품의 원가를 절감시킴에 따라 국가 경제 발전에도 중요한 역할을 한다.

본 연구는 공장건물의 에너지 절약 계획에 관한 것으로, 자동차공장을 대상으로 연구를 진행하였다. 이에 따라 자동차공장을 중심으로 공장건물에서 고려되어야 할 주요 에너지절약기법을 도출한 후, 그 중 대상공장건물에 적용 가능한 에너지절약요소를 선정하여 설계변수별 난방·냉방·조명에너지 사용량과 총에너지 사용량을 분석하였다. 이를 통하여 각 에너지별 최적조합을 도출함으로써 각 통합절감모델을 제시하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다

(1) 건물 에너지 절약기법을 분석한 결과, 난방·냉방·조명에너지는 복잡한 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 이에 따라 개별적인 에너지 절약기법은 또 다른 에너지를 증가시킬 것으로 판단된다.

(2) 공장건물의 주요 에너지절약기법을 분석한 결과, 지붕의 표면적에 대한 고려, 자연채광과 자연환기를 위한 지붕형태 및 창 계획, 샌드위치패널의 단열성능과 표면성질에 대한 고려, 자재 반입에 따른 외기 침입량을 차단하는 계획이 중요한 것으로 분석되었다.

(3) 대상지역의 기후에 적합한 에너지절약기법은 단열성능 강화, 침기 차단, 창을 통한 태양열 획득, 차양계획, 자연환기 계획인 것으로 분석되었다. 대상공장의 에너지 성능평가 결과, 난방에너지 46.4%, 냉방에너지 30.7%, 조명에너지 22.9%로 비교적 균등한 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이에 따라 건물에너지 절약을 위해서는 3가지 에너지에 대한 복합적인 고려가 요구된다.

(4) 대상공장의 특성과 대상지역의 기후특성을 고려하여, 앞서 도출한 공장건물의 주요 에너지절약기법 중 대장공장에 적용 가능한 에너지절약요소를 분석한 결과, 지붕형태, 단열성능, 외피표면성질, 침기량, 자연채광 및 자연환기 계획이 중요한 것으로 분석되었다.

(5) 에너지절약요소별 에너지 성능 평가 결과, 절감율이 가장 큰 에너지절약요소는 냉·난방에너지의 경우 단열성능(우레탄 150T)이 조명에너지는 천창면적(30%)이 가장 큰 것으로 나타났다. 총 에너지는 냉·난방에너지와 같이 단열성능(우레탄150T)의 절감율이 가장 큰 것으로 나타났다.

(6) 각 통합절감모델의 에너지 성능 평가 결과, 모두 각기 해당되는 에너지의 절감율이 다른 통합절감모델에 비해 가장 높게 나타났다. 총에너지 통합절감모델의 경우는 전체적으로 각 에너지별 절감율은 고르게 나타났으나, 총 에너지 절감율(30.2%)이 4가지 통합모델 중 가장 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 에너지 성능평가에 필요한 데이터를 조사함에 있어, 현 대상공장의 여건상 정확한 데이터를 얻을 수 없는 부분에 대해서는 문헌조사를 통하여 가정하였다. 이에 따라 현 대상공장의 에너지 성능 평가에 대한 정확성의 한계가 있다. 또한 추후연구에 있어 건축계획적인 측면 외, 건축설비적인 측면과 공장건물에서의 신재생에너지 활용 방안에 관한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

A Study on the Energy Conservation Strategies in Factory Building : Focusing on Automotive Factory Building

Chae, Min Su

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Park, Jin Chul, Ph. D.

Recently the whole world pursues the sustainable development and embodies efforts to reduce energy and CO₂ emissions. Our country consumes a lot of energy and highly relies on foreign energy. Especially, building energy accounts for 24% of total energy consumption, so energy-related studies are actively have be performed. However, it is limited to a particular building application, and the studies on the special building uses such as factory buildings, have never been conducted. Energy saving of factory buildings is important in the aspect of global environment, but it will enable the establishment of the energy saving production base, reduce the cost for manufacturing of the products. And as a result, it playes an important role in the economic development of the state.

This study is related with the energy saving of factory buildings, and automotive factory building are targeted for the study. Thus, energy saving strategies of factory buildings have been derived, being focused on automotive factory building, and then the energy saving factors that can be applied to the target factory buildings, have been selected. And then the energy consumption of heating, cooling and lighting, and total energy consumption have been calculated. Through this, the optimal combination by energy, has been derived and each integrated saving model has been proposed.

The results of this study can be summarized as follows:

(1) As a result of the analysis of building energy-saving strategies, complex correlation among heating, cooling and lighting energy appeared to exist. Thus, individual energy-saving strategies is expected to increase the other energy.

(2) As a result of the analysis of major energy-saving strategies of factory buildings, consideration for the surface area of roof, the planning of roof type and window for natural lighting and natural ventilation, and consideration of insulating performance, the surface properties of sandwich panels, and the plans to shut off the amount of air intrusion, are found to be important.

(3) It was analyzed that the energy-saving strategies that are suitable for the climate of the target areas, were the enhanced thermal performance, blocking of infiltration, gaining of solar energy through windows, awning plan and natural ventilation plan. As a result of the analysis of energy performance of the target factories, heating energy, cooling energy and light energy were 46.4%, 30.7% and 22.9%, respective, and it showed a relatively even proportion. Accordingly, three kinds of complex considerations are required for energy-saving of buildings.

(4) As a result of the analysis of energy-saving factors, among the major energy-saving strategies, previously derived, that could be applied to the target factories by considering the features of the target factories and the features of climate of the target factories, it was analyzed that the plan of roof type, properties of surface, infiltration, natural lighting and natural ventilation were important.

(5) As a result of energy performance by energy saving factors, the energy-saving factor with the biggest energy efficiency was insulation performance (Urethane 150T), in case of cooling and

heating energy. And in case of lighting energy, it was the area of skylight. In case of total energy, like cooling and heating energy, the efficiency of insulating performance(Urethane 150T) was the biggest.

(6) As a result of the analysis of energy performance of each integrated saving model, every applicable energy efficiency appeared higher than that of other integrated models. In case of total energy saving integrated models, the energy efficiency by each energy appeared even on the whole but the total energy efficiency appeared as the highest(30.2%) among 4 integrated models.

With regard to the investigation of the data necessary for energy performance assessment, this study, through the literature survey, supposed the area of which data cannot be obtained due to the condition of factories. Thus, there is a limit to the accuracy of the assessment of energy performance of the target factories. In addition, it was thought that the studies on the aspect of architectural equipment and the utilization of renewable energy of factories, were needed to be conducted continuously in the future.

감사의 글

너무나 빠르게 지나갔던 2년이지만, 제 인생의 어느 시기보다 많은 것을 배우고 느끼게 한 시간이었습니다. 감히 최선을 다했다고 말할 순 없지만, 이제 그 ‘최선’이란 단어가 얼마나 대단한 단어인지 대충은 알게 된 거 같습니다. 그리고 석사논문을 마무리하며, 그 동안 대학원 생활을 무사히 마칠 수 있게 도움을 주신 많은 분들께 감사의 말씀을 전하고자 합니다.

먼저 학부 때부터 많은 가르침을 주시고, 부족한 저에게 공부를 더 할 수 있도록 기회를 만들어 주신 이연구 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 항상 인자하신 모습으로 학문적 가르침뿐만 아니라 연구실 생활에서도 많은 배려를 해주신 박진철 교수님께 감사드립니다. 논문을 마치 수 있도록 따뜻한 관심으로 지도를 해주신 권영철 교수님과 논문심사과정에서 세심한 조언을 해주신 황정하 교수님과 김남규 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 건축 환경에 대한 폭넓은 지식을 주신 이수열 교수님과 최창호 교수님께 감사드리고, 저로 하여금 건물에너지 분야에 대한 관심을 일깨워 주시고 진로 선택에 많은 영향을 주신 김기훈 박사님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 학부시절 건축이라는 학문을 배우는데 많은 가르침을 주신 이현호 교수님, 최윤경 교수님, 이은택 교수님, 김인철 교수님, 이정형 교수님, 전영훈 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

연구실을 통해 맺어진 인연은 2년의 대학원 생활에서 얻은 그 무엇보다 소중한 것일 것이고, 그들로 인해 좋은 기억으로 연구실을 떠날 수 있어 행복합니다. 먼저 연구실의 큰 버팀목이시고 맛있는 것도 많이 사주신 박창봉 선배님, 박사과정 마치고 좋은데 취업한 옥선배, 학부 때부터 많은 일을 같이 한 혜진선배, 미국가서 좋은 경험하고 있는 민희선배, 연구실 큰 누님 윤숙누나, 연구실에서 유일하게 형이라 부를 수 있는 건우형께 감사드립니다. 처음 들어왔을 때부터 많은 것을 가르쳐 준 영원한 사수 종식이, 밝은 모습이 보기 좋았던 미연이, 친하게 지내고 싶었는데 아직도 좀 어색한 현도와 정하(니들 내가 형인 거 알지?), 열심히하는 모습에 많은 것을 느끼게 한 민희에게 감사드립니다. 항상 옆자리에서 연구실 생활 모든 것에 대해 함께 고민하고, 희로애락을 같이 한 우진이(이제부터가 진짜다. 잘해보자.), 아직도 입술이 자라지만 형이라고 잘 챙겨 준 동윤이, 힘들거나 바빠도 언제든 웃으면서 대화할 수 있는 선동이, 미우나 고우나 그래도 가장 마음이 통했던 의리의 과천 사모님

이시내 웅, 꼼꼼하고 성실하게 일 잘하지만 왠지 허당같은 동생 아름이, 항상 당당하고 모르는 정보가 없는 변수도사 수영이에게 그 동안의 고마움을 전하고 싶습니다. 그리고 나보다 더 늦은 나이에 연구실 들어온 외국인 친구 광현이, 서울말 한다고는 하지만 사투리가 조금 티나는 착한 동생 혜린이, 항상 궁금한 게 많아 하루에 한 개씩만 질문시켜야하는 승민이, 아직까지 감을 잡을 수 없는 신비의 수현이, 오빠들 사이에서 점점 강해지고 있는 귀여운 호진이, 항상 웃는 모습으로 연구실 굳은 일 잘해내지만 어디서 군생활 했는지 아직 확인되지 않은 진우, 잘은 모르겠는데 어쨌든 남자다운 착한 영현이, 연구실 들어오자마자 시뮬레이션 삼매경에 빠진 의혈 성모에게 고맙다는 말과 함께 남은 연구실 생활 의미있게 잘 보내라는 말을 전하고 싶습니다. 학부연구생으로 많은 일을 도와 준 준용이와 세윤이에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

그동안 대학원 공부한다고 신경을 많이 못 썼지만, 항상 그 자리를 지켜준 친구들에게도 감사의 마음을 전하려고 합니다. 유일한 중학교 친구 훈이, 고등학교 친구들 주한이, 성진이, 진태, 도훈이, 창훈이, 강민이, 진원이, 경민대 친구들 해일이, 형렬이, 계현이, 대희, 승욱이, 동훈이, 상준이, 성영이, 주원이, 태준이, 상진이, 인석이, 현우, 진철이, 영욱이형에게 감사드립니다. 그리고 학부 때부터 좋은 인연이 되어 준 의철이, 지운이, 용권이, 준영이, 주희에게도 감사드립니다.

제가 선택한 길에 항상 무조건적인 믿음을 주시고, 늦은 나이까지 공부하는데 격려와 지원을 아끼시지 않은 부모님과 형, 형수님, 누나, 매형께 진심으로 감사드립니다. 그리고 마지막으로 언제나 한결같은 믿음으로 항상 응원해 주는 정희에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

2010년 2월

흑석동에서 채 민 수