

第 98 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

이중외피 시스템이 적용된 초고층 사무소 건물의
자연환기에 관한 연구

A Study on the Natural Ventilation for High-rise Office Building
with Double-Skin Facade System

中央大學校 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
許 扇

2002年 12月

이중외피 시스템이 적용된 초고층 사무소 건물의
자연환기에 관한 연구

A Study on the Natural Ventilation for High-rise Office Building
with Double-Skin Facade System

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2002年 12月

中央大學校 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
許 扇

許 扇의 碩士學位 論文을 認定함.

審査 委員長 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

審査 委員 _____ (印)

中央大學校 大學院
建築學科 建築計劃 및 環境專攻
許 扇
2002年 12月

목 차

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	3
제 2 장 자연환기 및 이중외피 시스템에 대한 이론적 고찰 6	
2.1 초고층 사무소 건물 환기의 문제점	6
2.1.1 초고층 사무소 건물의 실내 공기 환경의 문제점	6
2.1.2 자연환기를 통한 사무소 건물의 실내 공기 환경 개선 방안	7
2.2 이중외피 시스템	7
2.2.1 Active Facade	8
2.2.2 이중외피 시스템	11
2.2.3 자연환기	10
2.3 이중외피 시스템을 적용한 사무소 건물 자연환기 사례조사	16
2.3.1 RWE Tower in Essen	16
2.3.2 The Administration Building in Hanover	25
제 3 장 이중외피 중공층의 굴뚝효과에 의한 자연환기	31
3.1 기류의 기본원리	31
3.1.1 기류발생원	31
3.1.2 기류량	33
3.1.3 대류에 의한 기류량	35
3.2 분석 결과	36
3.2.1 복사열	36
3.2.2 굴뚝효과에 의한 상승력	37
3.2.3 압력손실	40
3.2.4 냉각온도	42

3.2.5 저항계수 별 필요 기류량과 냉각온도	43
3.3 소 결	45
제 4 장 이중외피 시스템 풍력에 의한 자연환기	47
4.1 개 요	47
4.1.1 프로그램 개요	47
4.1.2 분석 개요	48
4.1.3 기후 데이터 분석	49
4.2 초고층 건물 형태에 따른 기류패턴과 풍압분포	51
4.2.1 개요	51
4.2.2 평면형태에 따른 기류패턴과 풍압계수	53
4.2.3 소 결	64
4.3 설계 변수에 따른 초고층 건물 자연환기 성능 분석	65
4.3.1 이중외피 유형 선정	65
4.3.2 증공층 너비 선정	67
4.3.3 안쪽외피 창호 계획	68
4.3.4 실내자연환기성능	72
4.3.5 소 결	80
제 5 장 결 론	83
참고문헌	94
국 문 초 록	98
ABSTRACT	102

표 목 차

<표 2.1> Active Facade 유형	8
<표 2.2> 개구부 크기 비율에 따른 값	12
<표 3.1> 차양장치 별 분석결과	37
<표 3.2> 굴뚝효과에 의한 상승력 분석결과	38
<표 3.3> 굴뚝효과에 의한 기류량 분석결과 (단, 개구부면적 0.20m ² /m)	39
<표 3.4> 압력손실 분석결과	40
<표 3.5> 중공층 냉각온도 분석결과	42
<표 3.6> 저항계수 별 기류량 분석결과	44
<표 3.7> 중공층 냉각온도 분석결과	45
<표 4.1> 분석개요	49
<표 4.2> 건물 높이별 보정풍속	50
<표 4.3> 건물형태에 따른 기류패턴과 풍압산정을 위한 설계변수	52
<표 4.4> 평가인자에 따른 이중외피 유형별 특성 비교	67
<표 4.5> 사용목적에 따른 중공층 너비	68
<표 4.6> 창호 종류에 따른 유효창호면적	70
<표 4.7> 창호의 종류	70
<표 4.8> 창호 종류에 따른 평가	81
<표 4.9> 실내통과 풍량	81

그림 목 차

(그림 1.1) 연구 흐름도	5
(그림 2.1) 환기가 적용된 외피의 개념도	9
(그림 2.2) Climate Facade	10
(그림 2.3) Climate Window	10
(그림 2.4) 이중외피 시스템	11
(그림 2.5) 박스형 이중외피의 자연환기	6
(그림 2.6) 샤프트형 이중외피의 자연환기	7
(그림 2.7) 복도형 이중외피의 자연환기	8
(그림 2.8) 전면형 이중외피의 자연환기	9
(그림 2.9) Brussimo	13
(그림 2.10) UCB Building	13
(그림 2.11) Commerzbank	13
(그림 2.12) 종여단이창	14
(그림 2.13) Fish mouth	19
(그림 2.14) 대각선환기시스템	19
(그림 2.15) 이중외피시스템의 유리 구조	20
(그림 2.16) RWE의 압력계수	22
(그림 2.17) 압력분포	22
(그림 2.18) 복측입구측 건물	27
(그림 2.19) 기준 평면	27
(그림 2.20) 이중외피 단면	28
(그림 2.21) 환기구가 있는 벽	28
(그림 2.22) 복도형 이중외피	29
(그림 2.23) 자연채광과 차양	29
(그림 3.1) 차양 장치 별 흡수된 복사열	37
(그림 3.2) 유입구와 유출구 간 온도차에 따른 상승압력	38
(그림 3.3) 굴뚝효과에 의한 기류량 (단, 개구부면적 $0.20\text{m}^2/\text{m}$)	40
(그림 3.4) 기류량에 따른 압력손실	41
(그림 3.5) 냉각온도 (값 = 3)	42
(그림 3.6) 저항계수 별 필요기류량 (단, 개구부 면적 = $0.20\text{m}^2/\text{m}$)	44
(그림 3.7) 저항계수 별 냉각온도 (단, 개구부 면적 = $0.20\text{m}^2/\text{m}$)	45

(그림 4.1) 사무소 건물의 평면형태	52
(그림 4.2) 해석대상공간 격자체계	53
(그림 4.3) 평면의 기류패턴 -Vector	54
(그림 4.4) 수직 단면 기류패턴 -Vector	54
(그림 4.5) 풍압계수 (Cp) -Contour	55
(그림 4.6) 횡단면 기류패턴 -Vector	55
(그림 4.7) 수직 단면 기류패턴 -Vector	56
(그림 4.8) 풍압계수 (Cp) -Contour	56
(그림 4.9) 횡단면 기류패턴 -Vector	57
(그림 4.10) 수직 단면 기류패턴 -Vector	57
(그림 4.11) 풍압계수 (Cp) -Contour	58
(그림 4.12) 횡단면 기류패턴 -Vector	58
(그림 4.13) 수직 단면 기류패턴 -Vector	59
(그림 4.14) 풍압계수 (Cp) -Contour	59
(그림 4.15) 횡단면 기류패턴 -Vector	60
(그림 4.16) 수직 단면 기류패턴 -Vector	60
(그림 4.17) 풍압계수 (Cp) -Contour	61
(그림 4.18) 횡단면 기류패턴 -Vector	61
(그림 4.19) 수직 단면 기류패턴 -Vector	62
(그림 4.20) 풍압계수 (Cp) -Contour	62
(그림 4.21) 횡단면 기류패턴 -Vector	63
(그림 4.22) 수직 단면 기류패턴 -Vector	63
(그림 4.23) 풍압계수 (Cp) -Contour	64
(그림 4.24) 이중외피가 적용된 단위공간 (개실)	69
(그림 4.25) 이중외피 건물에 적용할 수 있는 창호종류	71
(그림 4.26) 해석공간 격자모델(횡여닫이창)	72
(그림 4.27) 미서기창의 실내기류분포	73
(그림 4.26) 횡여닫이창의 실내기류분포 (문 개폐각 90°)	75
(그림 4.27) 횡여닫이창의 실내기류분포 (문 개폐각 90°)	76
(그림 4.28) 종여닫이창의 실내기류분포	77
(그림 4.29) 회전창의 실내기류분포	79
(그림 4.30) 창호 종류 및 개폐방법에 따른 풍량	82

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 지구환경의 오염문제는 인류가 시급히 해결해야할 가장 심각한 문제의 하나로 인식되고 있다. 그러나 지구환경문제는 주로 대기, 수질, 토양 등의 외부 환경에 대해서만 초점이 모아지고 있다. 현대인은 하루의 80% 이상을 밀폐된 공간에서 생활하고 있으며, 이는 외부환경의 오염 못지않게 현대인의 일상생활에 큰 영향을 미치고 있다.

건물은 국가의 에너지 요구량의 약 50%와 CO₂ 량의 30~40%를 초래한다. 이 에너지는 재실자에게 쾌적한 내부환경을 제공하는데 사용되는데, 1970년대 에너지 파동 이후 에너지 절약 측면에서, 사무소 건물의 외피구조가 점차적으로 고단열, 고기밀화되고 있다. 이러한 실내 환경 조건을 유지하기 위하여 주로 에어컨 등의 기계적인 공조 시스템에만 의존함으로써 실내공기의 오염도가 크게 증가하여 재실자에게 피로감, 두통, 메스꺼움 등을 발생케하는 Sick Building Syndrome과 관련된 증상들이 나타나고 있다.

건물 내에서의 인체활동과 건축자재 등에서 배출되는 오염물질이 실내에 정체되고, 실내에 신선한 공기를 충분히 확보하지 못하므로 업무효율의 저하와 함께 재실자의 건강에 악영향을 주고 있다. 자연환기로 인한 신선한 외기도입은 실내오염물질의 희석을 위한 가장 보편적인 조절방법으로 재실자와 관련된 오염물질처럼 오염원이 잘 정의되어 있지 않고, 오염원이 유동적이며 실내에 확산되어 있는 경우 거의 유일한 오염원 제거 방법이다.

이제까지 중저층 사무소 건물에서는 개구부의 조절 등의 방법을 통하여 부분적으로 자연환기를 도입하기도 하였으나, 고층 사무소 건물에서의 자연환기를 도입하는 것은 불가능하였다. 따라서 보다 적극적인 방법인 이중외피 적용을 통하여 건물 외피의 성능 개선하였을 때, 건물 내부로의 자연환기가 가능할 것으로 기대

되며, 이를 적극적으로 활용할 경우 쾌적하고 건강한 실내 환경을 조성할 수 있을 것이다.

유럽에서는 1980년대 중반 이후로 이중외피는 점차적으로 널리 보급되었고, 현재 많은 건물들이 이중외피로 신축·개축되어지고 있다. 그러나 우리나라의 경우에는 기술적, 환경적 문제, 그리고 특히 비용의 문제 등으로 건물에 이중외피 시스템을 적용하지 못하고 있다. 또한 기존의 연구들은 그린 빌딩에 적용된 이중외피의 열성능을 측정하여 문제점을 제시하는 데에만 초점이 맞추어져 있고, 기술개발 또한 아직 초보적인 수준이라 할 수 있다.

따라서 초고층 건물에 자연환기를 가능하게 하는 유일한 설계기법인 이중외피를 건물에 적용하기 위하여 건물의 배치, 형태, 적정 이중외피 선정, 창호계획 등 설계변수에 대한 종합적인 계획 방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 초고층 건물 내의 자연환기를 가능하게 함으로써 실내공기환경 질을 개선하고, 재실자 쾌적을 향상하기 위한 방안으로, 이중외피 시스템 적용을 통한 초고층 사무소 건물의 자연환기 도입 방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 사무소 건물 환기의 문제점을 고찰한 후, 현재 적용되고 있는 이중외피 시스템에 대한 기본개념, 이중외피 시스템의 유형 및 특성, 그리고 이중외피 시스템의 자연환기 성능을 문헌을 통해 고찰하였다. 또한 이중외피를 통해 자연환기를 적용하는 원리는 굴뚝효과와 풍압 2가지로 나타나는데, 굴뚝효과에 의한 효과는 예측식을 통하여 분석하였고, 풍압에 의한 효과는 기후 분석, 건물의 향과 형태, 이중외피 종류, 중공층 너비, 창호형태 등의 설계변수를 고려하여 이중외피 시스템의 설계요소 및 설계방법을 제안하였다. 이를 사무소 단위공간에 적용한 후 컴퓨터 시뮬레이션으로 자연환기 가능성을 평가하였다.

본 연구의 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 이중외피 시스템에 대한 이론적 고찰

사무소 환기의 문제점을 기존의 연구를 통해 분석하고, 이중외피 시스템에 대한 기본 개념과 종류 및 특성, 그리고 자연환기 성능을 문헌을 통해 고찰하였다.

(2) 이중외피 시스템 사무소 건물 적용 사례조사

이중외피 시스템이 적용된 외국의 건물 사례조사를 통해 적용된 기술 요소와 설계기법 등을 분석하였다.

(3) 이중외피 시스템을 적용한 건물에서 굴뚝효과에 의한 환기효과 분석

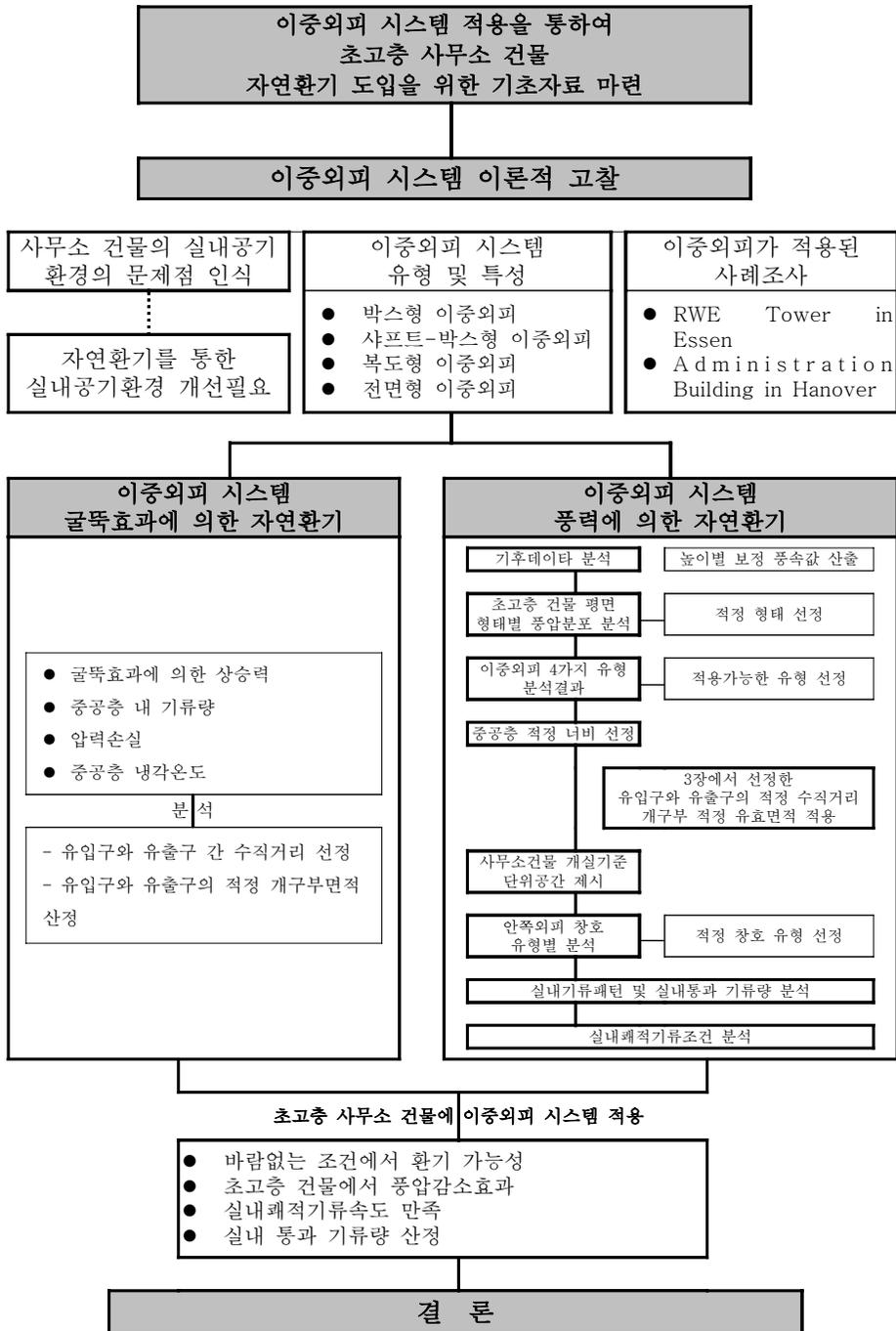
바람이 전혀 없는 조건에서, 이중외피가 적용되었을 때 굴뚝효과에 의한 환기효과를 차양장치 색, 굴뚝효과에 의한 상승력, 중공층 내 기류량, 압력손실, 중공층 내 냉각온도를 예측식으로 분석하여, 유입구와 유출구간 수직거리 및 적정 개구면적을 산정하였고, 적정 저항계수 값을 선정하였다.

(4) 이중외피 시스템을 적용한 초고층 사무소 건물 자연환기 평가

이중외피 시스템을 적용한 초고층 건물에서 건물주변 기류의 특성을 평면 형태

별로 파악하고, 이중외피 적정 유형과 중공층 적정 너비를 선정하여 이를 단위공간에 적용하였다. 이 모든 요소를 단위공간에 적용한 후, 안쪽외피 개구부 유형별로 자연환기에 의한 기류패턴과 속도를 컴퓨터를 이용한 유체해석방법(CFD)을 이용하여 분석하였다. 이 해석결과를 국내 사무소 건물 필요환기량과 비교분석하였다.

이상의 연구 내용 및 방법에 대한 흐름도는 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

제 2 장 자연환기 및 이중외피 시스템에 대한 이론적 고찰

2.1 초고층 사무소 건물 환기의 문제점

2.1.1 초고층 사무소 건물의 실내 공기 환경의 문제점

산업 혁명 이후 야기된 사회적, 경제적 필요성에 따른 기술적 부응에 힘입어 급속히 발전해 온 고층 사무소 건물의 경우에 있어서는 외피 및 설비관련기술의 발달, 에너지절약 및 외관상의 미적요구 등에 따라 그 대다수가 자연환기를 고려하지 않는 밀폐형 건물로 건축됨으로써, 실내 자연 환기량이 부족하게 되어 실내공기환경이 악화되고 있다.

실내에서는 재실자의 신진대사나 활동, 각종 기기나 건축자재, 마감재료, 가구 등으로부터 방출되는 열이나 이산화탄소, 먼지, 각종 휘발성 유기화합물질(VOCs)이 공기를 오염시키고, 실내 공간이나 건축설비 시스템에서 서식하는 세균, 곰팡이와 같은 미생물들이 실내로 유입될 수 있다. 이러한 물질이 실내공기 중에 정체되거나 재방출 된다면 재실자에게 각종 질병을 유발할 수 있다.

또한 현대에 와서 사무소 등과 같은 밀폐된 건물 내에서 근무하는 사람 가운데 직업과 관련된 건강장애를 호소하는 사례가 증가하고 있는데, 실내공기의 각종 오염물질의 농도가 모두 허용치 이내로 유지되더라도 재실자가 두통, 피로, 눈의 통증 등의 증상으로 불쾌감을 호소하고, 그 원인이 확실하지 않은 경우를 말한다. 이를 Sick Building Syndrome이라고 하는데, Sick Building Syndrome은 재실자가 건물 밖으로 나가면 비교적 단시간에 불쾌감이나 증상이 해소된다.

중저층 사무소 건물에서는 개구부의 조절 등의 방법을 통하여 부분적으로 자연환기를 도입하기도 하였으나, 초고층 사무소 건물에서는 풍압, 풍속 및 차압 등이 크게 증가하여 자연환기를 도입하는 것은 불가능하였다. 따라서 보다 적극적인 방법인 이중외피 적용을 통하여 건물 외피의 성능 개선하였을 때, 건물 내부로의 자연환기가 가능할 것으로 기대되며, 이를 적극적으로 활용할 경우 쾌적하고 건강한 실내 환경을 조성할 수 있을 것이다.

2.1.2 자연환기를 통한 사무소 건물의 실내 공기 환경 개선 방안

사무소 건물의 실내공기 오염문제의 실질적인 해결을 위해서는 실내공기 오염물질을 효과적으로 제거, 교체 또는 희석할 수 있는 자연환기 방법이 제시되어야 한다.

기존의 연구들은 사무소 건물의 실내 환경요소 중에서 자연환기를 위한 개폐가 가능한 창을 실내 환경의 질에 가장 중요한 영향을 미치는 요소라고 판단하였다¹⁾. 또한 기계적인 환기 또는 난방시스템의 고장에 대비하고 예상치 못한 일시적인 오염의 제거를 위해 모든 작업실이나 거실에는 개폐 가능창을 설치할 것을 권장하고 있다²⁾.

따라서 본 연구에서는 초고층 사무소 건물의 실내공기환경을 개선하기 위한 대안으로 이중외피 시스템을 적용하여 실내로 자연환기를 가능하게 하는 것을 제안하였다. 초고층 사무소 건물에 자연환기를 가능하게 하는 설계기법은 현재까지는 이중외피 시스템이 유일하기 때문이다.

2.2 이중외피 시스템

Active Facade는 환경에 적응력이 있는 능동적인 기능을 하는 외피이다. 외피를 적용하는 목적 또는 외피의 기능에 따라 Active facade는 Climate facade, Double-skin facade, Interactive wall, Double facade 등의 많은 용어로 불리워진다.

본 장에서는 Active Facade의 한 유형인 Double-Skin Facade(이하 이중외피 시스템)를 초고층 건물에 적용하기 위하여, 이중외피 시스템의 유형에 따른 특성을 비교분석하였다.

1) 진경일 외, "인텔리전트 빌딩의 실내공기환경에 대한 실태조사 연구", 대한건축학회논문집 17권 2호, pp 693-700, 1997.10 / 이경희 외, "사무소건물의 실내공기환경에 대한 실태조사연구", 대한건축학회논문집 11권 12호, pp179-188, 1995.12

2) Fanger, p. Ole "The Philosophy Behind Ventilation : Past, Present and Future", Proceedings of Indoor Air '96 at Nagoya, Japan, Vol.4, p6, 1996

2.2.1 Active Facade

2.2.1.1 Active Facade 개념

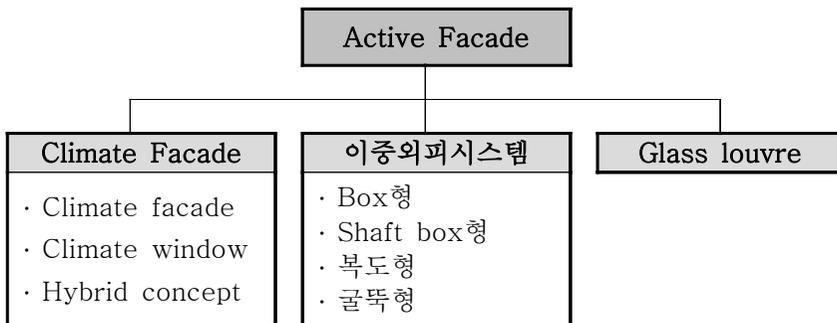
Active Facade는 한층 이상의 건물에서 한 겹이 아닌 여러 겹의 유리층으로 구성된 외피이다. 이 외피는 밀폐되어 있을 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 이러한 외피 구성에서 바깥쪽 외피와 안쪽의 외피 사이 중공층 내에서는 자연환기 또는 기계 환기가 가능하다. 중공층 자연환기는 시간에 따라 그 기법이 달라진다. 중공층 내에 설치되는 시스템이나, 장치들은 실내 환경을 개선하기 위하여 설비형 또는 자연형 기술과 통합되는 시스템이다.

2.2.1.2 Active Facade의 유형 및 특성

1) Active Facade 환기 특성에 의한 분류

외피를 적용하는 목적 또는 외피의 기능에 따라 Active facade는 Climate facade, Double-skin facade, Interactive wall, Double facade 등의 많은 용어로 불리워진다. 외피의 기능과 환기특성에 따른 Active facade의 유형을 분류한 것은 <표 2.1>와 같다. Climate facade는 실내 공기를 이용한 환기를 기본으로 하고, 이중외피시스템과 Glass louvre는 외기를 이용한 자연환기를 기본으로 한다.

<표 2.1> Active Facade 유형

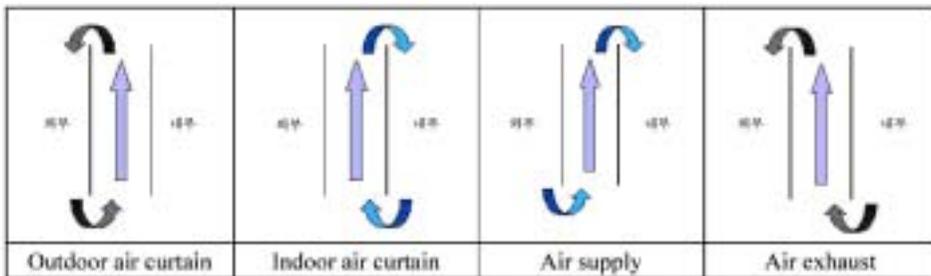


2) 중공층에서의 환기 개념

Active facade의 개념에서 가장 중요한 요소는 중공층 환기 계획이다. 외피를 계획하는데 있어 중공층 내에서의 기류 패턴을 파악하는 것은 중요하다. 환기 계획은 외피를 계획하는 데에 있어 가장 중요한 요소이다. (그림 2.1)은 환기를 적용한 외피의 개념을 도식화한 것이다.

Climate Facade의 경우 Indoor air curtain(실내공기를 이용한 환기)만이 적용 가능하지만, 이중외피시스템을 적용한 환기는 Outdoor air curtain(외기를 이용한 중공층환기), Air supply(외기를 이용한 실내자연환기), Air exhaust(실내오염공기 외부로 배출)이 모두 가능하다.

건물에서의 이러한 환기는 창의 개폐여부에 상관없이 적용가능하며, 중공층 내에서 환기가 이루어진다. 이러한 환기 계획은 자연환기 또는 기계 환기에서 모두 적용 가능하다.



(그림 2.1) 환기가 적용된 외피의 개념도

2.2.1.3 Climate facade

Climate facade는 건물 전체의 층을 계획하는 Climate facade와 창문턱까지 계획하는 Climate window로 분류되며, (그림2.2) 및 (그림 2.3)에 도식화하였다. Climate facade는 특징은 다음과 같다.

(1) 바깥 외피는 투명복층유리를 설치한다. 유리의 열성능이 우수해야 결로문제를 해결할 수 있다. 안쪽 외피는 강화단층유리를 설치한다.

(2) 공기가 유입되도록 안쪽 유리 하단을 약 10mm 바닥으로부터 떠운다. 실내 공기는 이 틈을 통하여 중공층으로 유입될 수 있다.

(3) 중공층의 너비는 130mm~200mm이며, 실내 공기를 기계적으로 환기시킨다. 실내 공기는 기계환기 시스템을 통하여 외부로 배출된다.

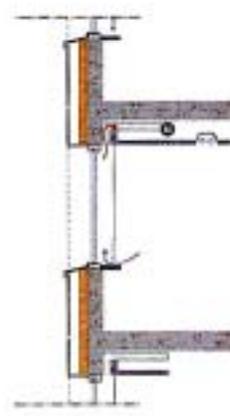
(4) 환기 플레넘(plenum)은 대체로 외피 상부에 놓여진다. 플레넘은 균일하게 배기가 이루어질 수 있도록 하며, 건물 환기 시스템과 연결된다.

(5) 베니션 블라인드, 또는 solar screen 등의 차양 장치가 중공층에 설치된다.

(6) 안쪽 외피는 유지관리를 위하여 개폐된다. 이때, 개폐의 정도에 따라 완전 개폐창(total opening), 부분개폐창(partial opening), 회전창(pivoting panel), 미서기창(sliding opening)으로 분류된다.



(그림 2.2)
Climate facade



(그림 2.3)
Climate window

Climate facade의 구성요소에 따라 일사획득계수(g-value)가 결정되는데, 그 값이 0.15이하이고, 일반적으로 투명유리를 사용한다. 이것은 차양 장치가 설치되어 있어도 시감투과율을 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 미적인 이유로 색유리가 사용되기도 한다.

Climate facade에서는 창이 개폐되지 않으므로 자연환기를 기대할 수 없지만, 안쪽 외피는 개폐가 가능하다. 외피의 환기 시스템은 건물의 HVAC 시스템과 연결되므로, 건물 리모델링에 적합하지는 않다.

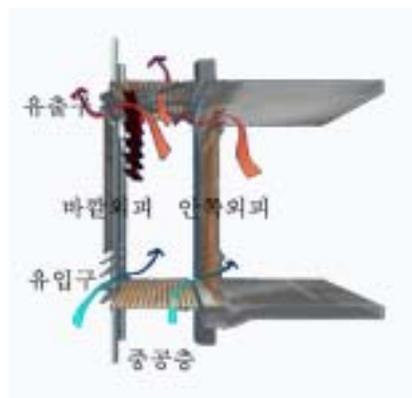
Climate facade에서는 복층유리의 안쪽 부분에서 결로 문제가 발생할 수도 있다. 단층유리로 된 안쪽외피로 인하여 복층유리의 안쪽 면에 열저항이 발생하는데, 이로 인하여 겨울철 밤 동안에 복층유리의 안쪽 표면온도가 내려가게 된다. 환기 시스템이 작동하지 않게 되면, 실내 상대습도는 쾌적 범위 내에 들어가고, 결로 문제가 발생하게 된다. 따라서 극한기 동안, 결로 문제를 해결하기 위한 방안으로 최소 환기율이 적용되기도 한다.

2.2.2 이중외피 시스템

2.2.2.1 이중외피의 정의 및 특성

1) 이중외피의 정의

이중외피라는 용어는 본래 건물 외피(안쪽외피)의 전면부에 유리로 된 외피(바깥외피)가 추가 설치되는 것을 의미한다. 이중외피는 바깥외피, 중공층, 안쪽외피로 구성되며, 바깥외피에 외기의 출입이 가능한 유입구와 유출구가 설치되고, 중공층엔 일사 제어 장치가 설치된다. 안쪽외피에는 사용목적에 따라 개폐가능한 창이나 Slit이 설치된다(그림 2.4).



(그림 2.4) 이중외피 시스템

이러한 장치들은 기후 또는 공기오염의 영향으로부터 외피를 보호하는 역할을 한다. 이러한 요소는 초고층 건물 또는 도심 부근에 위치한 건물일 때 특히 중요한 역할을 하게 된다. 이중외피 시스템의 구성요소는 다음과 같다.

(1) 바깥외피는 보통 강화단층유리 또는 접합단층유리이고, 100% 전면 유리가 가능하다.

(2) 안쪽외피는 단열복층유리이고, 바깥외피보다 유리의 면적이 감소한다.

(3) 중공층은 외기에 의해 자연환기가 가능하다.

(4) 안쪽외피의 창은 채실자에 의해 개폐가 가능하므로, 이를 통하여 자연환기가 가능하다.

(5) 외피의 목적에 따라 중공층 너비가 달라지는데, 200mm~2m가 일반적이다. 중공층의 너비는 유지관리 측면에 영향을 미치게 된다.

(6) 난방설비는 대개 외피 근처에 놓인다.

2) 이중외피 시스템의 특성

이중외피 시스템의 일반적인 특성은 다음과 같다.

① 자연환기

일사가 강할 때, 굴뚝효과로 인한 중공층 환기가 가능하므로, 과열이 방지된다. 이 때, 중공층의 너비와 바깥외피의 유입구와 유출구 면적이 중요한 변수가 된다. 중공층과 외기 사이의 환기율은 건물주변의 풍압분포, 굴뚝효과 그리고 유입구와 유출구의 저항계수(zeta value) 등에 따라 결정된다. 문헌연구에 의하면 중공층 내 자연환기로 인하여, 일사로 인한 복사열의 25%까지 제거할 수 있다고 나타났다³⁾

유입구와 유출구가 항상 열린 상태인 자연형과, 채실자 또는 기계설비에 의해 개폐가능한 설비형이 있다. 설비형은 매우 복잡하기 때문에, 설치비와 유지관리비가 증가하게 된다. 또한 안쪽외피 창의 개폐가 가능하므로 사무소 내로 자연환기가 가능하고, 건물의 축열체를 통해 야간냉각도 가능하다.

3) Compagno A, "Intelligent Glass Facades : material, practice, design", Birkhauser-Verlag, p118, 1999

② 열쾌적

겨울철 중공층은 열적완충공간의 역할을 하여, 열손실이 감소하고, 일사로부터 열획득이 가능해진다. 중공층 내부 기온이 상승하여, 유리 표면에서 관류열량을 낮출 수 있으므로, 유리의 표면온도를 높게 유지할 수 있다. 따라서 창유리에 인접한 공간이 열적으로 쾌적 조건이 향상되기 때문에, 보다 많은 공간의 활용이 가능해진다. 또한 이중외피는 사용한 배기로부터 열교환기를 통하여 에너지를 재생할 수도 있다.

이중외피 시스템은 여름철 일사를 차단하는데 유리하다. 흡수된 일사로 인한 복사열이 이중외피 중공층 내에서 재복사되었을 때, 자연적으로 굴절효과가 발생하므로, 공기가 상승하여 열은 외부로 빠져나간다. 이와 같이 중공층 내의 환기는 자연적으로 발생하지만, 어떤 경우 팬을 설치하여 중공층 환기를 돕기도 한다.

③ 일사 차양 장치

일사차양장치는 바깥외피와 안쪽외피 사이의 중공층 내에 설치되는데, 외부차양장치와 동일한 수준의 효과를 기대할 수 있으므로, 매우 높은 반사율을 갖게된다. 흡수된 열은 중공층 내 환기에 의해 외부로 배출되는데, 환기에 의하여 기류의 흐름이 원활할 수 있도록 차양장치의 위치가 정해져야 한다.

차양장치는 바깥 외피에 의해 바람, 비 그리고 눈 등으로부터 보호되며, 외부에 설치되는 차양장치보다 저렴하며, 특히 초고층 건물과 같이 풍속이 높은 곳에도 적용할 수 있다. 일반적으로 창유리와 일사차양장치가 적절하게 설치되면, 일사획득계수(g-value)가 낮아지므로, 여름철에 유리하게 작용할 수 있다.

④ 화재 및 소음으로부터 보호

이중외피시스템은 화재와 소음관련 법규를 준수하여 계획되어야 한다. 공기의 온도가 높아지면, 공기는 상승하려하기 때문에, 중공층을 몇 개의 층마다 수평으로 구획하는 것이 일반적인데, 이러한 수평구획은 중공층을 화재로부터 보호할 수 있고, 직상층 간 소음을 막아주게 된다. 또한 이중외피는 5~30dB까지 방음효과가 있는 것으로 나타났다⁴⁾

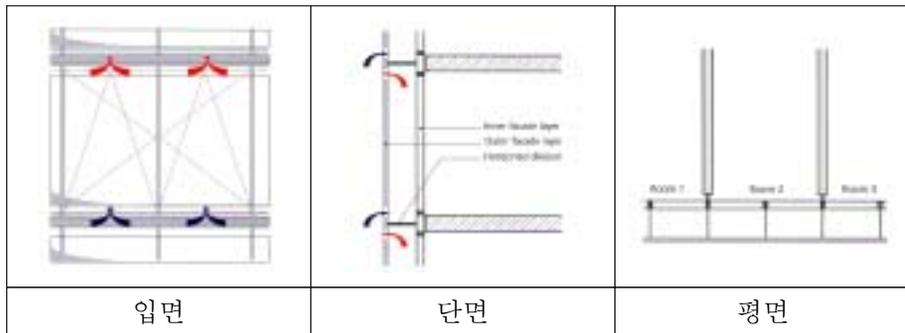
4) Ibid.

2.2.2.2 이중외피 시스템 유형별 특성

1) 박스형 이중외피 (Box Double-Skin Facades)

박스형은 (그림 2.5)에서 볼 수 있듯이 층마다 수평으로 구획되고, 창문마다 수직으로 구획된다. 이러한 구획은 중공층을 통한 음 또는 냄새의 투과로부터 실을 보호하는 역할을 한다.

따라서 박스형은 외부소음 레벨이 매우 높거나, 방음이 중요한 실에 적용한다. 박스형은 기존 건물의 개구부에 이러한 기능이 추가된 형태이다. 하나의 외피 단위마다 유입구와 유출구가 있으므로, 자연환기의 효과가 클 것으로 기대된다. 이때 유입구와 유출구는 바깥 외피에 설치된다. 중공층의 너비는 약 200mm로 좁은 편이며, 창문을 열 수 있으므로 외피와 차양 장치의 유지관리가 가능하다⁵⁾.



(그림 2.5) 박스형 이중외피의 자연환기

일사가 강할 때, 온실효과로 인하여 중공층의 온도는 상승한다. 그러나 굴뚝효과에 의하여 더워진 공기는 이중외피 상단에 설치된 유출구를 통하여 외부로 배출된다. 이 때, 외피의 온도가 건물 주변온도와 큰 차이가 날수록, 굴뚝효과로 인한 환기효과가 커지게 된다.

기존의 연구자들은 이중외피는 봄과 가을에 가장 효과가 있다고 밝혔다. 여름철에는 중공층 내 온도가 매우 높으므로, 과열이 야기될 수 있다. 겨울철에는 안쪽

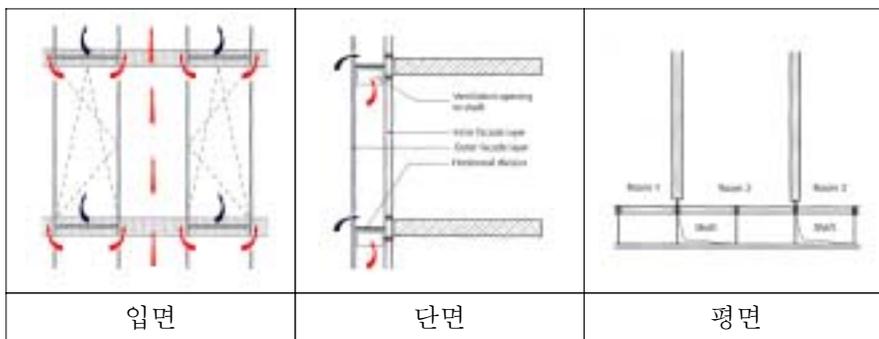
5) Oesterle, Eberhard, "Double-Skin Facades", Prestel Pub, p13, 2001

외피를 열면 실내의 따뜻한 공기로 인하여, 바깥외피의 안쪽부분에 응축문제가 발생한다. 이때 바깥외피가 프레임이 없고, 수평으로 회전되는 루버(frameless, pivoting glass louver)라면 응축문제를 해결할 수 있다.

겨울철에 루버가 닫히면, 중공층은 완충공간이 된다. 여름철에는 루버가 기울어지면서 개방되면 외기가 중공층 내로 유입되고, 외부일사차양이 설치된 건물과 같은 효과를 기대할 수 있다⁶⁾.

2) 샤프트-박스형 이중외피 (Shaft-box Double-Skin Facades)

샤프트-박스형 이중외피는 (그림 2.6)에서 볼 수 있듯이, 전면형과 박스형이 합쳐진 형태이다. 전면형 중공층은 배기를 위한 수직 환기구 역할을 한다. 박스형의 상단에 개구부가 전면형 샤프트로 연결된다. 박스형 외피에서 더워진 공기는 샤프트로 유입된 후, 굴뚝효과에 의하여 샤프트 상부를 통하여 외부로 배출된다.



(그림 2.6) 샤프트형 이중외피의 자연환기

샤프트형에서는 풍속이 약할 때에도 샤프트 내 굴뚝효과에 의하여 건물의 자연 환기를 확보할 수 있다. 따라서 바깥외피의 유입구 크기가 작아지므로, 방음 효과가 기대된다.

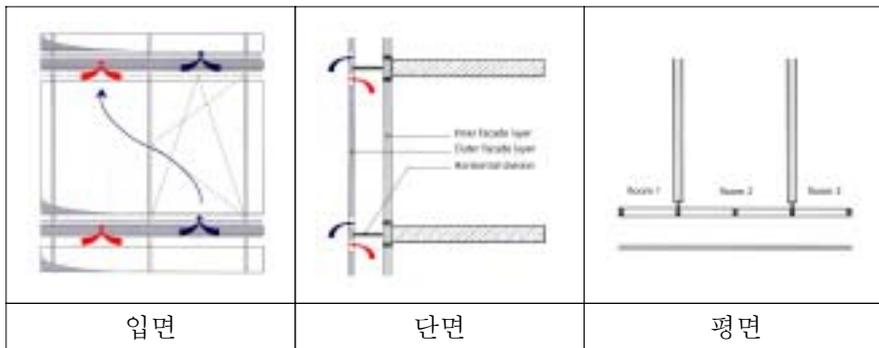
그러나 특정 높이에서 압력이 역전되어 데워진 공기가 박스형 중공층으로 되돌

6) Sini Uuttu, "Study of Current Structures in Double-skin facades", master's thesis, Helsinki University, p17, 2001

아 가기도 한다. 이러한 이유로 샤프트의 높이는 제한되는데, 건물의 높이와 우세 풍(prevaling wind) 등에 따라 결정된다. 건물의 높이가 높아질수록, 환기 샤프트 내의 온도가 증가할 우려가 있다. 따라서 샤프트-박스형 이중외피는 중규모 건물에 적합하다⁷⁾.

3) 복도형 이중외피 (Storey-High Double-Skin Facades)

복도형 이중외피는 (그림2.7)에서 볼 수 있듯이, 중공층이 각 층마다 수평으로 구획된 형태이다. 방음, 화재방지 그리고 환기 등의 이유 때문에 수평으로 구획한다.



(그림 2.7) 복도형 이중외피의 자연환기

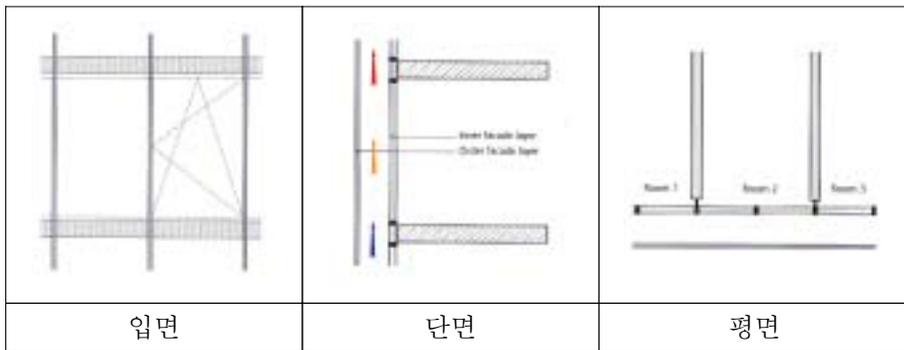
환기 측면에서 보면, 건물의 코너와 같이 압력 차가 크게 발생하는 곳에서, 안쪽 외피의 개구부는 역류로 인하여 불쾌한 드래프트가 발생하게 된다. 이 때, 측면에서 코너공간을 마감하여 인접 외피를 분할함으로써, 이 문제를 해결할 수 있다. 코너부분을 제외하면 중공층 내의 압력차는 작아지지만, 자연환기는 가능하다.

외기의 유입구와 유출구는 각 층의 바닥과 천정 부근에 설치된다. 이 개구부는 서로 엇갈리게 배치하는데, 아래층에서 배출된 공기가 직상층으로 유입되는 것을 방지하기 위해서이다⁸⁾.

7) Compagno A., op. cit., p181.

4) 전면형 이중외피 (Building-High Double-Skin Facades)

전면형은 (그림 2.8)에서 볼 수 있듯이, 바깥외피와 안쪽외피 사이에 수평 또는 수직으로 어떠한 구획도 되어 있지 않은 형태이다. 중공층 환기는 최하층과 지붕층에 대규모의 개구부를 통하여 이루어진다. 난방기에 이 개구부들은 닫혀져서, 중공층에 의한 단열효과를 기대할 수 있다.



(그림 2.8) 전면형 이중외피의 자연환기

전면형 이중외피는 특히 음향을 중시하는 장소에 적용하는 것이 바람직하다. 여름철에는 특정 높이에서 중공층의 온도가 매우 높아질 수 있다. 따라서 외피에 면한 실내공간들은 기계 환기가 필요하므로, 덕트와 연결되어 있어야 한다. 전면형에서는 중공층 내 차음이 고려되어야 한다.

그러나 전면형에서는 자연환기를 적용할 수 없는데, 더워진 공기가 상승하면서 건물 상층부의 열려진 창을 통하여 유입될 수도 있기 때문이다. 따라서 전면형은 공기의 유입과 유출을 위한 대규모 샤프트로써 적용된다⁹⁾.

8) Oesterle, Eberhard., op. cit., p20.

9) Sini Uuttu., op. cit., p14.

2.2.3 자연환기

적정 환기와 관련하여, 작업환경에서의 쾌적 조건과 자연환기에 관한 규제요소를 살펴본다. 재실자 쾌적에 있어서 필요 환기량과 기류 속도는 매우 중요한 요소이다.

2.2.3.1 실내 환기 규제조건

작업환경은 특정 변수들이 고려되어야 하고, 실내에 적정 자연환기가 가능하도록 규제되어야 한다. 예를 들어 환기가 한쪽 면에서만 이루어지는 사무실 공간에서는 개구부 면적이 바닥면적의 1/20이상이어야 한다. 실깊이는 높이의 2.5배까지 허용된다. 실 맞은 편에 개구부가 있어 맞통풍이 가능한 사무소 건물에서는 5배의 깊이까지 허용된다.

용도별 각 실에 관한 필요 환기량에는 여러 제안치가 있는데, 사무소에 대하여 공기조화위생 공학회에서 참고치로 제시한 값이, 개실일 경우 $6.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이고, 일반일 경우 $7.2\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 이다¹⁰⁾. 이때 바닥면적 10m^2 , 실높이가 3m라고 가정하면 시간당 환기회수는 2회 정도이다.

재실자는 특정 시간동안 창문을 열어 실내를 환기시키고, 너무 차가운 외기, 또는 소음의 이유로 창문을 닫는다. 다시 환기를 위해 창문은 열린다. 이러한 환기 프로세스는 한꺼번에 많은 양의 환기가 이루어지는 것이 아니라, 주기적으로 적은 양의 환기가 이루어지기 때문에, 과도한 열손실과 열린 창으로 인한 소음 장애로부터 보호된다.

작업실에서의 재실자 1인당 환기량은 최소 $30\text{m}^3/\text{h}$ 이 되어야 한다. 그러므로 차음 측면을 고려하였을 때 주기적인 환기에 의해 적정 외기가 실내로 공급되어야 한다. 평가를 위해 환기가 이루어지는 동안 창을 통과하는 기류량을 알아야 한다. 이 값은 개구부의 크기, 창 종류 그리고 실내외 온도차에 의해 결정된다.

자연환기에 의한 환기율은 특히 겨울철에 그 값이 매우 크지만, 드래프트를 방지하기 위하여 대부분의 재실자들은 창을 완전 개방하지는 않으며, 시간당 환기율은 최대 4~6회가 된다. 이 값으로부터 점유된 공간에서의 시간 당 환기시간을 정

10) 박동진, “건축환경공학”, p207, 2000

의할 수 있는데, 재실자 1명에 대하여 시간당 6~9분의 환기가 충분하며, 2명에 대하여 12~18분이 필요하다.

일반적으로 인체에 닿는 기류 속도는 과도하면 불쾌감을 주게 되므로, 실내 기류속도는 실내공기환경 기준인 0.5m/s 이상이어서는 안되지만, 0.2~0.3m/s가 바람직하다¹¹⁾. 또한 독일의 경우, 0.13~0.2m/s를 권장하고 있다. 또한 신체 발부분과 머리 사이의 온도차는 2.5K 이상이어서는 안된다.

2.2.3.2 실내를 통과하는 기류량

건물을 통과하는 기류는 압력차에 의해 발생되며, 압력차는 바람이나 온도차에 의한 굴뚝효과로 발생하게 된다. 자연환기 효율은 풍속 등의 외기조건과 창 의 크기, 위치, 형태 등의 건물 조건으로 결정된다. 건물을 통과하는 기류량은 (식 2.1)로 계산될 수 있다.

$$V = 3600 \times O \times R \times A \times \nu \quad (\text{식 2.1})$$

V : 건물을 통과하는 기류량 (m^3/h)

O : 유효개구율

R : 개구부 크기 비율에 대한 계수

A : 더 작은 개구부의 유효면적 (m^2)

ν : 기류속도 (m/s)

개구부의 유효개구율(O)은 바람이 직각으로 불어올 때는 0.5~0.6, 비스듬히 불어올 때는 0.25~0.35의 값을 대입한다. R 값은 더 큰 규모의 개구부와 그보다 작은 개구부의 비율에 의한 계수로서 <표 2.2>에 나타나 있다¹²⁾.

11) ASHREA Handbook, 1993 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., p8.20

12) Donald W. Abrams, "Low Energy cooling", van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986

<표 2.2> 개구부 크기 비율에 따른 R값

$\frac{\text{더 큰 개구부}}{\text{더 작은 개구부}}$	R 값
1.00	1.00
1.25	1.11
1.50	1.18
1.75	1.23
2.00	1.27
2.50	1.32
3.00	1.34
4.00	1.37
5.00 이상	1.38

굴뚝효과로 인한 기류량은 바람에 의한 기류량에 비하여 매우 미미하고, 특히 초고층 건물에서 바람에 의한 영향이 매우 크다. 따라서 본 연구에서는 바람이 전혀 없는 날 굴뚝효과로 인한 환기는 그 가능성만을 보여주었고, 주로 바람에 의한 환기를 고려하였다.

초고층 건물에서 바람으로 인한 환기성능에 영향을 미치는 요인들은 다음과 같다.

1) 건물 형태

초고층 건물에 자연환기를 도입하기 위해서는 건물의 형태, 즉 바닥면적에 대한 외피 면적비, 외벽에서 돌출 또는 후퇴하는 부분의 유무, 평면 형태 등에 따라 달라진다. 이러한 형태적인 특징은 건물 주변의 풍압분포에 영향을 미치게 된다.

2) 이중외피의 유형

이중외피는 각 유형에 따라 이중외피 구성과 개구부의 특성이 달라지기 때문에, 이중외피를 적용함에 있어 어떤 유형이 적합한지 판단하는 것이 우선적으로 필요하다. 건물의 높이와 우세풍, 굴뚝효과의 정도는 각 유형마다 다르고, 이는 이중외피 설계에 큰 영향을 미친다. 따라서 이중외피 유형을 선정하는 일이 이중외피 설계에서 가장 우선적으로 필요하다.

3) 바깥외피의 유입구와 유출구의 저항요소

유입구와 유출구에 설치되는 루버, 메쉬, 그물망 등에 따라 저항계수가 달라지는데, 저항계수에 따라 중공층 내 기류량에 영향을 미치게 된다. 기류의 흐름을 원활하게 하기 위해 저항계수가 커지지 않도록 설계되어야 한다.

4) 중공층 너비

중공층은 목적에 따라 너비를 달리하며, 초고층 건물에서 중공층의 너비 500mm 이상에서는 풍압의 감소 효과를 보기 어려우므로, 중공층의 너비를 고려하여 설계해야만 한다. 중공층 너비가 50~200mm는 Climate Facade에서 주로 사용하며(그림 2.9), 500~2000mm는 중공층으로의 접근이 가능하므로, 청소 등의 유지관리 측면에서 편리하고, 복도공간으로 사용할 수도 있다(그림 2.10). 중공층 너비가 2000mm 이상인 경우 중공층 공간이 아트리움 등의 공간으로 이용이 가능하다(그림 2.11).



(그림 2.9) Brussimo (그림 2.10) UCB Building (그림 2.11) Commerzbank

5) 안쪽외피 창문 면적

창문 면적, 즉 유효 개구면적이 커지면 실내로 유입되는 기류량도 커지므로 같은 크기의 창호라도 개구면적이 큰 창호가 환기에 유리하다. 미서기 창이나 오르내리 창의 개구면적이 창호면적의 45%정도 밖에 안되는 것에 비해, 오닝창(awning)의 유효개구면적은 75%, 여닫이창은 90%에 이른다¹³⁾.

6) 안쪽외피 창문 형태와 유형

창문의 형태와 유형에 따라 유입되는 풍량과 풍향이 바뀐다. 수직회전창, 여닫이창, 오닝창 등은 유입기류의 방향을 조절할 수 있지만 미서기창과 오르내리창 등은 기류의 방향을 조절할 수 없다. 여닫이창은 특히 비스듬히 부는 바람에 대하여 효과적이며 여닫이창과 오닝창은 틈새바람 량이 적어서 난방에도 유리하다.

2.2.3.3 유효 개구부 면적 산정

필요 환기량을 만족시키기 위해, 그 값을 산출하기에 앞서, 개구부에 따른 유입 풍량을 명확하게 제시하여야 한다. 특히 개구부 면적을 명확하게 제시해야 한다.

일반적으로 여닫이창, 미서기창, 회전창과 같은 개폐창은 허용범위 내의 저항값을 갖는다. 종여닫이창의 경우에, 양쪽 옆면의 삼각형 면적과 열려진 창과 프레임 사이의 사각형 면적을 더하여 구한다. 이때 개폐각은 30° 까지이다.

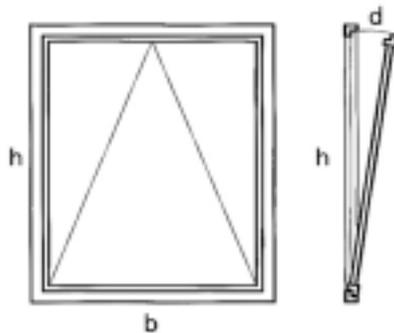
종여닫이창의 기하학적 면적 A_{geo} 는 (식 2.2)과 같다.

$$A_{geo} = b \cdot h \quad (\text{식 2.2})$$

기류가 흐르는 면적, 즉 유효개구부 면적은 (식 2.3)의 식으로 산출할 수 있다.

$$A_{aero} = (b \cdot d) + 2(h \cdot d/2) \quad (\text{식 2.3})$$

이러한 경우, 창의 양쪽 옆면을 통한 기류의 유출입 역시 제한된다.



(그림 2.12) 종여닫이창

13) Stein, Benjamin., "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings", p345, 1999

유입구와 유출구의 면적 비율 역시 실내를 통과하는 기류량에 영향을 미치게 된다. 유효환기면적(A_{eff})은 (식 2.4)로 계산할 수 있다¹⁴⁾.

$$A_{eff} = \frac{A_o/A_i}{\sqrt{A_o^2 + A_i^2}} \quad (\text{식 2.4})$$

위 식에서 A_i 는 유입구 면적이고, A_o 는 유출구 면적이다. 유입구나 유출구 둘 중 하나의 면적이 커지면 통과하는 기류량이 증가하지만, 유입구와 유출구의 면적이 같을 때 환기 성능은 좋아진다. 실내 기류속도 측면에서 유입구의 면적이 유출구보다 크면 유출구 부근의 기류속도가 빨라지고, 유입구보다 유출구의 면적이 크면 유입구 주변의 기류속도가 더 빨라지게 된다.

14) Donald W. Abrams, op.cit., p119,

2.3 이중외피 시스템을 적용한 사무소 건물 자연환기 사례조사

2.3.1 RWE Tower in Essen

건물의 열성능과 자연환기 이용을 극대화하고, 환경친화적 건물설계를 위하여 이중외피시스템이 적용된 RWE Tower를 분석해 보고자 한다. 건물의 개요는 다음과 같다.

- 건축주 : Hochtief Projektentwicklung GmbH Et Co.
- 위치 : Opernplatz 1, Essen, Germany. opposite the Alvar Aalto theatre
- 건축가 : Ingenhoven Overdiek und Partener, Dusseldorf
- 설비 기술자 : HL-Technik AG Beratende Ingenieure, Munich/Dusseldorf
- 외피 기술자 : Josef Gatner Et Co.
- 시공 : 1994.7.1 ~ 1996.12.31
- 전체면적 : 36,000 m²
(건물면적 25,200m², 공원 4,800m², 설비공간 6,000m²)
- 외피면적 : 안쪽외피 7,500m², 바깥외피 11,500m²
- 연간 에너지 수요(추정) : 기존외피보다 약 30% 저감

2.3.1.1 건물 배치와 계획

RWE Tower는 지름 32m, 24층의 타워로, 7층 건물과 결합되어 Essen의 German City 중심부에 위치하고 있다. 120m 높이의 RWE Tower는 1996년 12월 완공되어, Ruhr 지역에서 가장 높은 사무실 건물이다. RWE Tower는 프랑크푸르트에 위치한 Commerzbank에 앞서 완공되었기 때문에, 독일 최초의 생태학적 초고층 건물로 인식되고 있다.

RWE Tower는 지하층(지하 1층과 2층)에 주차장과 공조실 그리고 저장실이 있고, 정원층은 테라스와 연결되어 있다. 건물의 2/3 정도 높이에 공조실이 있어 31층 이상 층을 담당하며, 최상층에는 옥상정원이 있다. 지름 32m 실린더형인 RWE Tower는 외피 전체가 0.50m 폭의 중공층을 갖는 이중외피로 되어있으며, 4개의 엘리베

이터가 있는 사각형의 작은 타워와 연결되어 있다. 이것 역시 유리로 되어있으며, 이 건물의 코어부분이 된다.

기준층은 1인실 또는 2인실인 경우, 사무실 너비가 5.85m로 건물 외주부에 위치한다. 원형의 복도공간은 엘리베이터 실, 그리고 회의실과 서비스 룸이 있는 내부 코어와 연결되어 있다.

2.3.1.2 이중외피 시스템

RWE Tower의 가장 두드러진 특징은 건물외관 전면이 이중외피로 이루어져 있다는 것이다. 안쪽외피는 복층유리로 되어있기 때문에, RWE Tower는 사실상 3중 유리로 된 외피라고 할 수 있다. 이중외피로 된 고층건물의 자연환기가 가능하고, 투명하면서 동시에 에너지 절약적인 건물이 가능해졌다. 미국에서도 초고층건물에서 일사를 차단하는 열-반사 유리를 사용했지만, 투명 유리는 아니었다.

1) 이중외피 구성

안쪽외피와 바깥외피의 간격은 50cm이고, 그 사이 중공층에 80mm 폭의 알루미늄으로 되어 있는 루버 블라인드가 설치되어 있다. 이는 원격조정으로 제어된다. 블라인드는 바람과 우수로부터 바깥외피에 의해 보호되고, 실내공간으로 전달되는 열은 안쪽외피에 의해 조절될 수 있다. 내화성 소재로 된 차양 장치(roller shade)는 안쪽 외피에 설치된다.

중공층은 유리패널에 의하여 수직 또는 수평으로 각 실마다 구획되었다. 그러므로 중공층 내 기류의 흐름이 조절되고, 각 실들 사이 음의 투과나 냄새 등을 제어할 수 있다. 벽의 구획 위치는 바꿀수 있는데, 이때 유리패널은 2시간 내에 2사람에 의해 이동될 수 있도록 계획되었다. 또한 외기가 유입되어, 중공층을 흐른 후 외부로 다시 배출될 수 있도록 fish-mouth라고 불리는 새시가 중공층에 설치되었다.

바깥외피는 1,970mm × 3,461mm 단위의 투명강화유리로 되어 있다. DPG 기법에 의해 각각의 멀리온의 8개 지점을 볼트로 고정한다. 바깥외피는 상부까지 새시없이 연속적으로 설치되므로 투명하고 경쾌한 건물이 되었으며, 안쪽외피는 바닥에

서 천정까지 전면 유리로, 창호는 약 15cm 개폐가능하도록 계획되었다¹⁵⁾.

2) Fish mouth

RWE Tower는 박스형 이중외피가 적용되었으며, (그림 2.13)에서 볼 수 있듯이 fish-mouth라고 불리워지는 장치가 설치되었다. Fish-mouth는 폭 2m, 높이 3.6m 유리패널의 상부와 하부마다 설치되며, 바깥외피 하부에서 공기가 유입되고, 상부에서 공기가 유출될 수 있도록 계획되었다. (그림 2.14)에서 볼 수 있듯이 한 개의 유리패널 단위마다 하부엔 유입구의 역할을 하는 fish mouth가 있어서, 중공층으로 유입된 공기는 곧바로 상부로 상승하여, 인접 패널에 설치된 상부 fish mouth를 통하여 배출된다.

① 형태

알루미늄 시트가 완만히 구부러진 형태인 fish-mouth는 상부는 힌지가 달려 움직일 수 있으나, 하부는 고정되어 있다. Fish-mouth가 공기 유입구로 작동할 때에는 상부 시트를 통하여 기류가 흐르게 되고, 공기 유출구로서 작동할 때에는 하부 시트를 통하여 기류가 흐르게 된다.

Fish mouth는 청소작업을 할 때, 덮개를 올려서 발판으로서 사용할 수 있고, 상하층에 화재가 퍼져나가는 것을 방지한다. 완만하게 구부러진 아랫면은 일광을 적절하게 반사시키고, 태양에너지를 최대한으로 받아들일 수 있는 형태이다.

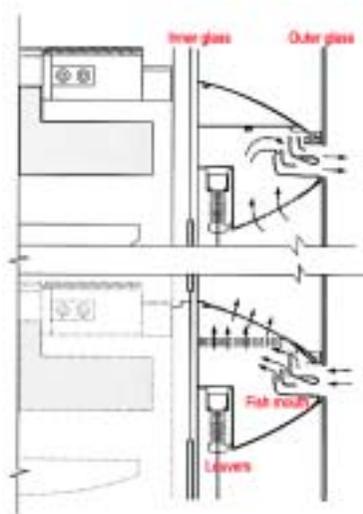
② 기류조절기능

이 시스템은 자연환기 측면에서 매우 유리한데, 외기가 중공층으로 유입될 때, fish mouth를 통과하면서 기류가 적절한 속도로 조절된다. 풍속이 강한 경우에는 속도를 늦추고, 반대로 풍속이 충분치 않은 경우에 속도를 증가시키는 역할을 한다. 또한 fish-mouth를 통해 우수가 들어올 수 없으며, 부착된 센서가 외기의 상태를 감지한다.

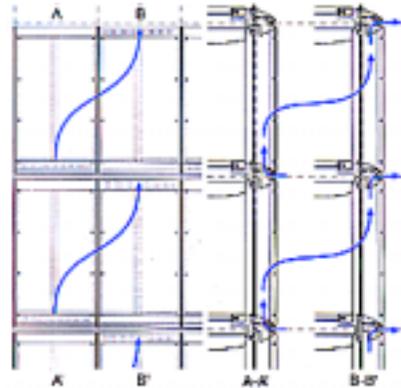
풍속을 포함하여 공기 상태가 높이에 따라 변하기 때문에, 16층 이상과 이하의

15) Internet page of Space Modulator, an architecture magazine edited and published by Nippon Sheet Glass Co., Ltd.,
http://www.nsg.co.jp/spm/sm81~90/sm86_contents/sm86_e_2skin3_txt.html

층을 분리하여, fish-mouths 크기를 다르게 한다. 또한 기류를 받아들일 때, 기류 저항이 최적화되므로 조절이 되어 소음이 발생되지 않는다¹⁶⁾.



(그림 2.13) Fish mouth



(그림 2.14) 대각선환기시스템

③ 자연환기기능

초고층 건물에서 자연환기를 하였을 때, 문을 열 때, 매우 강한 힘이 필요하고, 실에서 복도까지 기류가 흐르게 되어, 종이 등이 날라가며, 기류로 인한 불쾌소음이 형성된다.

그러나, fish mouth가 설치된 박스형 이중외피로 이러한 문제들이 해결된다. 문을 열 때 필요한 힘은 기존 건물보다 20%정도 감소하는 것으로 나타났다¹⁷⁾. 또한 실내로의 유입풍이 통제되므로 종이가 날라 흩어지지 않는다. 공기 유입과 유출 시에 소음이 발생되지 않는다. 일년의 70% 기간동안, 공조를 하지않고 자연환기가 가능하다. 이때 안쪽 외피에 개폐가능한 창호를 설치하여 재실자의 개별제어가 가능하도록 하였다. 자연환기를 함으로써, 완전 공조하는 고층건물에 쉽게 나타나는

16) Baird, George, "The Architectural Expression of Environmental Control System", E&FN spon , pp198~202, 2001.

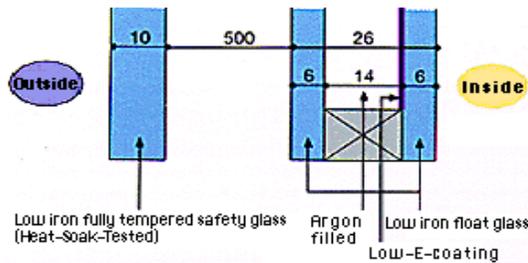
17) Daniels, Klaus, "The Technology of Ecological Building", Chronicle Books, 1994.

병든건물증후군(Sick-building syndrome)을 예방할 수 있다¹⁸⁾.

3) 외피유리재료

건축주들은 RWE Tower가 투명한 요리용 젤리(aspic)처럼 보여지기를 원했다고 한다. 즉, 이것은 건물이 매우 투명하여 내부에서 일어나는 일이 가시화되는 것을 의미한다. 이를 위해 투명한 유리를 설치해야만 했고, 전면유리는 열적으로 매우 불리하므로, 보완대책이 필요했다. 따라서 열적으로 불리함이 없이 외피 전체를 투명하게 하기 위한 대안으로 이중외피를 건물에 적용하였다.

이중외피의 바깥외피는 단층이고, 안쪽외피가 복층유리이므로, 3겹의 유리가 건물 전체에 적용되었기 때문에, 유리재료 선택에 세심한 주의가 필요하다. 이중외피 시스템에 설치된 유리는 (그림 2.15)와 같고, 일사로부터 건물 내부를 보호하기 위하여, 최하층의 유리는 열반사 코팅으로 마감되었고, 1층 이상에는 Low-e 유리가 사용되었다. 열투과율이 낮은 고효율 외피는 이중외피 설비에서 매우 중요한 요소가 된다.



(그림 2.15) 이중외피시스템의 유리 구조

18) Internet page of Space Modulator, an architecture magazine edited and published by Nippon Sheet Glass Co., Ltd., http://www.nsg.co.jp/spm/sm81~90/sm86_contents/sm86_e_2skin3_txt.html

2.3.1.3 박스형 이중외피와 복도형 이중외피의 비교

RWE Tower는 이중외피로 된 31층의 실린더형 건물이다. 이중외피는 사무실의 외주부에 자연환기를 제공하기 위한 목적으로 계획되었다. 이중외피의 중공층으로 외기가 공급되는데, 이것은 유입구와 유출구를 설치함으로써 가능하다.

이중외피는 수평선상으로 설치된 divider에 의해 층이 구별된다. 바깥외피에는 기준 패널마다 상부와 하부에 개구부가 설치된다. 유출 공기가 다시 유입되는 것을 막기 위해서, 유입구는 유출구와 대각선으로 위치하게 된다.

HLL-Technik은 박스형과 복도형 이중외피를 비교분석하는 연구를 수행하였다. 박스형은 수직선상에 divider가 있어, 중공층의 한 부분이 다른 부분과 분리된다. 외피의 둘레를 따라 매 2m마다 divider가 설치된다. 복도형은 divider가 설치되지 않아, 실린더 전체 둘레는 북동쪽과 남서쪽, 두 영역으로 나뉘어 진다. 이 두 영역에서, 외피를 통해 유입된 공기는 건물의 주변부를 순환하게 된다¹⁹⁾.

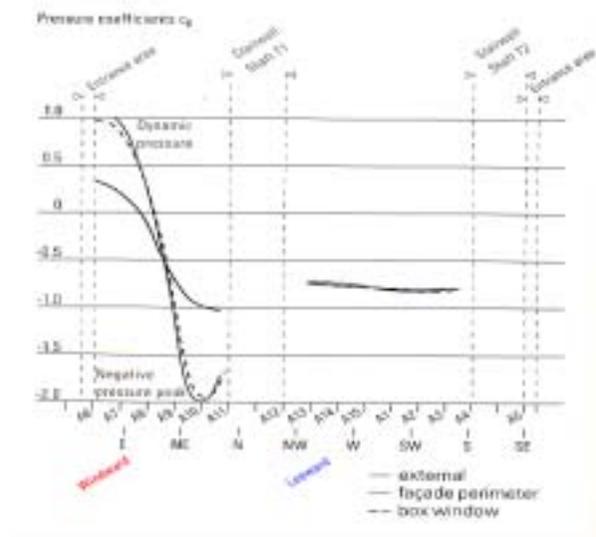
1) 문을 개폐하는 힘

문을 개폐하는 힘은 박스형이 복도형보다 불리하게 나타났다. 따라서 박스형일 때에는, 문을 개폐하는데 힘이 많이 필요하므로 풍속이 8~9m/s 이상인 기간동안에는 문을 닫아 놓는 것이 바람직하다. (그림 2.16)에서처럼 복도형의 경우, 압력계수는 정압이 걸리는 부분에서 50%까지 감소하였으며, 부압이 걸리는 부분에서도 비슷한 결과가 나타났다.

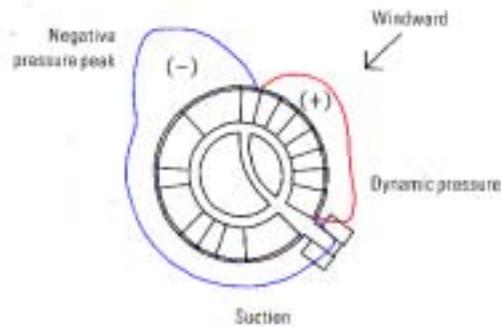
이 실험은 RWE Tower의 형태가 실린더 형이므로 매우 극적으로 나타났다. 그러나 실제로 직사각형 건물에서는 건물 주변의 기류에 더 큰 유동저항이 있을 것이다.

그러나 이 연구에서는 복도형이 아닌 박스형을 선택해야 하는 이유에 대하여 명확하게 제시하고 있지 않다. 아마도, human-interface가 외피의 열역학 성능보다 우선이기 때문이다. 인접 사무실로의 소음을 제어하는 것이 가장 중요하다고 생각했는지도 모른다. 또한 박스형은 연기나 화재에 매우 효과적인 시스템이다.

19) Daniels, Klaus, "The Technology of Ecological Building", Chronicle Books, pp110~121, 1994.



(그림 2.16) RWE의 압력계수



(그림 2.17) 압력분포

풍동실험을 통하여, 창 의 개폐에서, 허용 가능한 외기온도의 범위를 분석하였는데, 창문을 열수 있는 온도는 15~27℃였다. 풍속과 온도에 있어서, 기후 데이터와 상관없이 지상에서 100m 높이에서, 짧은 시간동안 열었을 때는 69%의 기간동안, 그리고 오랫동안 열었을 때는 22%의 기간동안 창문을 열 수 있었고, 50m 높이에서는 각각 75%와 24%의 기간동안 창문을 열어놓는 것이 가능한 것으로 나타났다²⁰⁾.

20) Ibid.

2) 중공층 온도

중공층 내의 온도는 외피를 통해 공간과 재실자에게 도달하는 열과 관련하여 매우 중요한 요소이다. 일사 차양 장치는 복사열에 따라 조절될 수 있어야 한다.

HL-Technik는 최대기온 32℃인 7월의 맑은날 이중외피 내 중공층의 온도변화를 알기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 박스형과 복도형의 중공층 온도는 유사하였다. 북동측 외피는 최고온도가 36℃였고, 남서측 외피는 42℃가 최고온도였다. 기류를 적용하였더니, 복도형은 중공층 내의 열을 제거하는 자체 냉방 능력이 있었다. 기류를 적용한 경우에, 북동측 외피에서는 두 경우 모두 32℃였으나, 남서측 외피에서는 박스형은 36~39.5℃였고, 복도형은 33.5~37.5℃였다.

박스형에서 사무실 공간에 더 큰 부하가 발생하고, 평균복사온도가 더 높게 나타난다. 복도형은 기류 통로에 방해물이 없으므로 과도한 환기율로 인하여, 불쾌감이 생길 가능성이 있다. 그러나 이러한 문제는 창을 닫음으로써 해결된다.

중공층 온도를 1년 단위로 시뮬레이션 한 결과, 중공층의 온도가 30℃ 이상 상승하는 빈도가 복도형보다 박스형에서 더 크게 나타났다. 빈도는 외피에 의해서 달라지지만, 박스형에서 15~30% 더 높게 나타났다.

2.3.1.4 시스템 요소

사무실 내부는 천정에 설치된 복사 패널과 실의 상부에 설치된 HVAC 시스템을 통하여 공조된다. 따라서 바닥면적의 총 70%를 차지하는 외주부 공간에 설치된 친환경 제어 시스템은 자연형과 설비형이 조합된 혼합형이다.

혼합형에서 설비형 공조는, 복도의 천정 위에 급기와 배기 덕트가 설치되어 있어, 천정공간을 통하여 각 사무실로 공급된다. 건물의 2/3 정도 높이에 공조실이 2개 층에 걸쳐 위치하고 있으므로, 최상층까지 공조가 수월하다. 각 사무실은 천정에 설치된 복사패널이 설치되어 있고, 외주부에 난방코일이 설치되어 있다.

지하층에는 전기설비, 1300kW 용량의 열교환기 2개가 내장된 중앙난방 설비(Essen 지역의 난방시스템과 연결), 그리고 700kW 용량의 냉각장치 3개가 있다. 2개의 주공조기와 냉각탑은 17층과 18층에 설치되어 있다.

냉각탑과 공조기로부터의 다양한 기류가, 인접한 층의 자연환기 기능을 방해하지 않는다는 것을 확인하기 위하여 풍동실험을 실시하였다. 공기를 외부로 빼내는 노즐은, 겨울철에 상대적으로 습도가 높은 배기가 충분히 그리고 빠르게 외부로 배출되어, 건조한 외기와 신속하게 혼합됨으로써, 응축과 결로 형성을 방지할 수 있다²¹⁾.

기계 환기는 공간의 온도에 따라 조절되지만, 사무실 공간에 난방과 냉방을 공급하기 위해 계획되지는 않는다. 급기의 습도는 전문가에 의해 제어된다. 엔지니어 역시, 사무실 공간으로 급기를 하기에 앞서, 전기 전열기에 의한 재가열이 가능하다.

이 공기는 오전 7시에 출근하는 재실자를 위하여 오전 4시부터 공급된다. 환기는 야간에는 하지 않는다. 보조 수동 장치는 없다. 풍량 역시 조절되지 않으며, on과 off 뿐이다. 코어부분의 회의실 같은 특정 구역은 재실자가 있는 경우 급기율이 높아진다. Commerzbank와 Victoria Insurance의 경우에는 ‘재실/부재’와 같은 제어시스템이 없다. 회의실에 ‘사용중’ 버튼이 있어서, 회의 중에는 신선한 공기를 더 많이 공급하게 된다.

야간 설정온도는 겨울에는 낮아지고, 여름에는 높아지는데, 사용된 공기로부터 열을 제거하여 이용된다. 이 냉각수는 천정 복사 냉방에서 사용되지만, 도입 외기를 이용하여 냉방에 사용하기도 한다²²⁾.

2.3.1.5 비용

이중외피를 사용함으로써, 총비용을 감소시키고자 하는 목적이 있겠지만, 이중외피 시스템이 일반 커튼월 시스템보다 비용 면에서 불리한 것이 사실이다. RWE는 아마도 가장 비싼 이중외피 시스템 중 하나일 것이다. Fish mouth는 가동을 포함하여 매우 복잡한 시스템이고, 이것이 초기 디자인이기 때문이다.

Commerzbank 외피의 비용은 1200~1300DM/m²으로, 일반 커튼월 시스템에 비하여 20~30% 증가하였다. RWE 역시 많은 비용이 들어간 것은 당연하다. 단일 외피 건물

21) Baird, George, "The Architectural Expression of Environmental Control System", E&FN spon, pp198~202, 2001

22) Arons, Klaus., op, cit., p49.

에 비하여, 800~3000DM/m²의 비용이 추가로 들어간다.

일반 외피의 건물인 경우, 수명이 보통 50년이지만, 이중외피 건물은 좀 더 복잡하다. 안쪽 외피인 경우 자외선 또는 외기로부터 보호되기 때문에 수명이 일반건물에 비해서 길다. 그러나 차양 장치와 동력 장치 등의 수명은 그다지 길지 않다. 바깥외피 역시 일반 커튼월 건물보다 Life span이 짧은데, 이것은 중공층의 온도가 상승하기 때문이다.

RWE Tower를 설계한 건축가는, 외피 시공 시에 들어간 추가비용은 빠른 시일 내에 회수될 것이라고 말한다. 이 건물은 에너지 절약이 가능한 여러 시스템들이 적용되었기 때문이다. 그러나 아직은 경제성에 대해 독자적으로 테스트를 실시한 적이 없으며, 복잡한 외피 시스템을 유지관리 하는 것이 매우 어려운 일이라는 것을 안다. 보조 냉방 및 환기 시스템의 설치 역시 고려되어야 하는데, 건물의 외피와 냉방 시스템은 동시에 고려되어야 한다.

원금회수는 오로지 에너지 절약의 측면에서만 고려되는 것은 아니다. 독일은 연료비용이 비싸다. 건축적인 이유 이외에, 이중외피를 사용하는 것은 쾌적감과 자연환기의 측면에서 생각해 볼 수 있다. 어느 곳에서든지 또는 초고층 건물에서, 자연환기를 가능하게 하는 방법은 오로지 이중외피뿐이기 때문이다. 이중외피 시스템은 초고층 건물에서 자연환기를 할 수 있는 유일한 해결책이라는 것을 잊어서는 안된다.

2.3.2 The Administration Building in Hanover

기존 사무소 건물의 증축은 근무 환경을 개선하고, 친환경적 에너지 저감에 대한 계획을 반영한다. 이중외피 건물은 기계 환기와 함께 자연환기를 가능하게 한다. 건물의 환기는 주로 굴뚝효과와 바람에 의한 자연환기에 의해 가능해진다. 냉난방 부하 역시 이중외피의 적용으로 감소된다. 이중외피 적용 사무소 건물의 개요는 다음과 같다.

- 건축주 : Deutsche Messe AG, Hanover
- 위치 : Messagelaende Hanover
- 건축가 : Herzog + Partner BDA, Munich Prof. Thomas Herzog, Hanns Joerg

Schrade, Diplomingenieure Architekten BDA GbR with Roland Schneider

- 설비 기술자 : Ingenieurbuero Hausladen GmbH, Kirchheim
- 시공 : 1997~
- 전체면적 : 13,563 m²
- 전체부피 : 48,181 m³
- 건축비 : ~ DM 3,900/m²
- 운영비(추정) : ~ DM 12.50/m² (기존건물 DM 15.00 ~ 38.00/m²)
- 연간 난방 수요(추정) : 43 kWh/m²/a (저에너지소비건물 기준 25%까지 저감)
- 이중외피 :
 - 2 × U-value glass 1.1 W/m²/K
 - 이중외피 중공층 내 기류를 이용하여 실내 자연환기 가능
 - 이중외피 중공층 내 일사열을 이용하여 외기를 예열.
 - 팬(fan)을 이용하여 남측면에서 북측면으로 수평 기류 발생.
 - 일사로 인한 남측면의 잉여 에너지를 북측면에서 사용가능.

2.3.2.1 위치

대지는 무역박람회 대지의 북측 입구에 근접해 있다. Hanover에서 가장 높은 건물인 20층으로 된 Administration Building은 무역박람회 대지의 랜드마크가 되고 있다. 이 건물은 EXPO 2000의 모토인 ‘인간-자연-기술’ (Man-Nature-Technology)가 잘 표현된 건물이다.

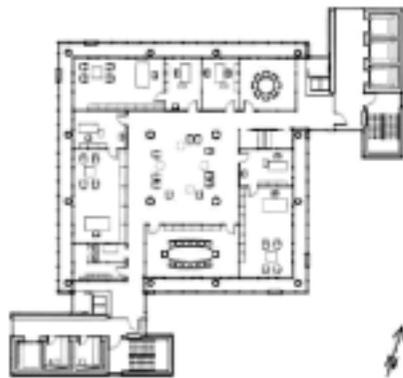
2.3.2.2 건물 형태

이 독립구조로서 있는 유일한 구조물은 기존 사무소 건물의 증축의 결과이다. 대지에 여유가 없는 이유로 초고층 건물로 건축이 이루어진다. 건축학적으로 그리고 도시계획의 측면에서, 이 건물은 비스듬하게 배치되었다. 건축 계획에서 가장 중요했던 것은 이 건물이 투명하게 보여지는 것이었고, 남동쪽에 조망을 위한 open space를 위해 북쪽을 기준으로 공간배치를 비스듬하게 하였다. 건물의 배치

는 정사각형의 사무소 건물(평면 24×24m)과 두 코아 영역이 뚜렷하게 구분된다. 20층의 건물에는 3개 층의 휴식 공간, 14개 층의 사무실, 회의실이 있는 행정업무 담당 층 그리고 기계설비가 있는 층 등으로 구성되어 있다.



(그림 2.18) 북측입구측 건물



(그림 2.19) 기준 평면

2.3.2.3 외 피

코아 타워는 외피가 점토타일 커튼월로 시공되었다. 외장은 알루미늄 지지구조에 고정되고, 후면부는 중공층에 의해 환기된다. 수평 흡이 있는 facing slab는 이 건물에서 최초로 시도되었다. 이 흡은 외피에 대하여 빗물의 흐름을 지체시키기 때문에, 건물의 최상층에서 강한 바람에 의하여 빗물이 상승하는 것을 막을 수 있다.

사무소 건물에 적용된 이중외피는 바깥외피와 안쪽외피가 모두 복층유리이다($2 \times U$ -value glass, $k = 1.1 \text{ W/m}^2/\text{K}$). 바깥외피는 색의 뒤틀림이 없고 투명성이 확보되어야 하므로 플린트 유리(flint glass)가 사용되었다. 바깥외피는 강철 기둥과 레일로 구성되고, 안쪽외피는 목재와 유리가 사용되었다. 안쪽외피는 기후조건의 영향을 받지 않는다. 바닥 슬래브의 캔틸레버 부분은 방화의 역할을 한다.

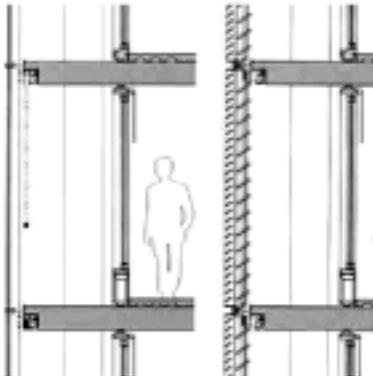
전면이 유리로 되어 있으므로 실내공간으로 양질의 자연채광이 확보되고, 공간의 이용도가 높아진다. 캔틸레버 바닥 슬래브는 재실자들이 일반적으로 고층건물에서 느끼는 고소공포증을 느끼지 않게 한다.

두 코아 구조물은 건물의 남쪽면과 동쪽면의 유리외피 부분을 감소시키거나 음영지지 않도록 배치와 크기가 결정되었다. 전체가 유리로 된 사무소 건물에서 과열과 현휘가 고려되어야 한다. 일사 차양 장치는 중공층에 간단하게 설치되어, 실내 공간을 외부 기후로부터 보호하여 쾌적한 환경을 조성할 수 있다.

2.3.2.4 환기 개념

창문을 열어 환기하는 것이 가장 기본적인 자연환기 기법이지만, 바람 등의 기후의 영향을 고려하였을 때, 이중외피는 유리한 외피 시스템이다. 중공층은 열적 완충공간으로서 작용하므로, 에너지 소비를 저감하고, 실내 열환경이 향상되므로 작업환경을 개선시킬 수 있다.

이중외피는 일사를 이용한 예열기능도 있다. 태양 에너지는 건물의 남쪽면은 과잉되므로, 팬에 의한 수평 기류에 의하여 북쪽면으로 보내진다. 여름철의 일사와 같은 불필요한 열은 중공층 내 기류에 의해 외부로 배출시킨다.



(그림 2.20) 이중외피 단면



(그림 2.21) 환기구가 있는 벽



(그림 2.22) 복도형 이중외피



(그림 2.23) 자연채광과 차양

바람에 의해 건물외피 주변의 압력분포(건물 전면부는 정압, 후면부는 부압)는 바깥외피의 유입구와 유출구에서 공기의 흐름이 조절되므로 평형의 상태가 된다. 개구부의 치수는 풍동실험에 의한 압력분포를 기본으로 하여 결정되었다.

복도형 이중외피에서는, 건물을 둘러싸고 있는 복도가 거대한 환기 덕트로서 작용한다. 바깥외피에 설치된 루버는 압력상태에 따라 자동적으로 제어되므로, 중공층에 외기 유입량을 조절하게 된다. 이 때 사무실의 열려진 창을 통해 공기가 실내로 유입되므로 자연환기가 가능해진다. 루버의 간격은 정교한 풍동실험과 시뮬레이션에 의하여 결정되었다.

실내 창은 중공층으로 개폐가능하다. 이 건물에서는 작은 사이즈의 덕트가 목재 벽체에 설치되었다. 이 덕트의 배출구는 외피 모듈에 따라 배치되었다. 열린 창을 통해 환기가 이루어지는데, 이 때 열손실이 발생하기 때문에, 창문이 열렸을 때, 기계설비에 의하여 바깥외피의 유출구는 닫히게 된다. 이렇게 자연환기와 기계환기가 혼합되어 사용된다.

배기는 중앙식 도관 설비에 의해 층별로 수집된 후, 수직 샤프트를 통해 건물의 최상층까지 유인된 후 배출된다. 건물의 환기는 주로 자연환기에 의한 것이며, 건물의 높이에 의해 발생하는 굴뚝효과와 건물 상층부에서의 강한 풍속에 의하여 가능하다. 겨울철에 회전식 열교환기(rotary heat exchange unit)은 유입외기를 예열하기 위해 배기를 85%까지 이용한다.

이 건물은 건축비의 증가없이 친환경적 건물을 건축하였다. 또한 일사 또는 바

람과 같은 자연에너지가 이 개념에 도입되었다. 이 건물은 이중외피 시스템이 초고층 건물에서 자연환기에 매우 유리하다는 것을 보여준다. 외피에 사용된 판유리는 기능적, 건설적 그리고 미적 기준을 고려한 매우 효율적인 외피시스템을 가능하게 한다.

제 3 장 이중외피 중공층의 굴뚝효과에 의한 자연환기

본 장에서는 이중외피 중공층의 굴뚝효과에 의한 상승력과 기류발생량 등을 예측회귀식을 통하여 해석함으로써, 자연환기의 가능성을 예측하고, 바깥외피 유입구와 유출구 간 적정 수직거리 및 유효단면적을 설정하였다.

3.1 기류의 기본원리

3.1.1 기류발생원

압력차는 기류발생 원인이다. 평형상태를 이루기 위해, 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 기류가 이동하게 된다. 건물과 관련하여 압력차가 발생하는 원인은 다음의 3가지로 나타난다.

(1) 기계설비에 의한 압력차

기류를 기계적으로 추진시키는 역할은 팬(fan)이 담당한다. 프로펠러에는 날개(vane)들이 달려있어, 특정 방향으로 기류를 생성하게 된다. 이때 날개는 돌아가면서 전면의 공기를 계속적으로 압박하기 때문에, 고압의 상태가 된다. 반대로 후면은 저압의 상태가 되는데, 이 때 주변으로부터 기류가 유입되어 압력의 평형을 이루게 된다.

(2) 굴뚝효과에 의한 압력차

굴뚝효과(thermal buoyancy, thermal uplift pressure)는 더운 공기는 상승하고, 차가운 공기는 하강하는 원리이다. 온도의 변화에 의해 공기의 밀도가 변하기 때문에 발생한다. 즉 더운 공기가 차가운 공기보다 가볍기 때문이다.

이러한 원리에 의해 이중외피의 중공층에서 압력차가 발생하게 된다. 일사에 의해 중공층 내 공기의 온도는 외기보다 상승하게 된다. 중공층 내의 공기가 외기보

다 가벼워지기 때문에, 유입구를 통해 차가운 외기가 유입되면, 유출구를 통하여 더운 공기는 배출된다.

굴뚝효과에 의한 압력차는 온도차와 유효상승높이(effective uplift height)를 곱하여 구할 수 있는데, 이중외피의 경우 유효상승높이는 유입구(air-inlet)과 유출구(air-outlet) 사이의 높이가 된다. 굴뚝효과에 의한 압력차는 (식 3.1)로 계산할 수 있다¹⁾.

$$\Delta P_{th} = \Delta \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot \Delta t_m \quad (\text{식 3.1})$$

여기서 ΔP_{th} 는 굴뚝효과에 의한 열적 상승압력차이고, $\Delta \rho$ 는 온도 변화에 따른 공기밀도의 변화이며, 이 값은 약 $0.004 \text{ [kg/m}^3\text{K]}$ 이고, g 는 중력가속도 $9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$, Δh 는 유효높이로 층수와 층고를 곱한 값이다. Δt_m 은 평균온도차[K]이다.

Δt_m 은 건물 전체 높이에 대한 온도를 고려하여 산출되어야 한다. $\Delta \rho$ 는 일반적인 기체방정식으로부터 도출되었는데, $\Delta \rho = \rho/T_m \approx 0.004 \text{ [kg/m}^3\text{K]}$ 이다. 이때, 절대온도 T_m 은 (식 3.2)로부터 도출된다.

$$T_m = t_{ZU} + \Delta t_m + 273.15K \quad (\text{식 3.2})$$

(3) 바람에 의한 압력차

바람은 건물의 주변부와 실내의 기류에 영향을 준다. 건물은 기류에 대한 장애물로 작용하여, 바람은 건물 주변부를 돌아가게 된다. 이 때 바람이 불어오는 쪽(windward side)은 정압이, 바람이 불어가는 쪽(leeward side)는 부압이 형성된다.

바람은 압력차에 의해 발생하는데, 특히 고층 건물군이 있는 경우, 건물에 기류가 정면으로 부딪히면, 기류가 억제되어 정압의 상태가 발생하게 된다. 정압의 크

1) Oesterle, Eberhard., op, cit., p87.

기는 정체압력(stagnation pressure)이라고 불리는데, 이것은 풍속에 의해 결정된다. 정체압력은 흐름의 속도를 0으로 한 경우에 생길 수 있는 압력으로 정체압력 q 는 (식 3.3)에 의해 산출된다.

$$q = \rho/2 \cdot v^2 \quad (\text{식 3.3})$$

이 때, ρ 는 공기밀도[kg/m^3]이고, v 는 풍속[m/s]이다. 국부적인 정압과 부압은 풍압계수 C_p 가 주어질 때 (식 3.4)에 의해 구할 수 있다.

$$p_{wind} = C_p \cdot q \quad (\text{식 3.4})$$

건물 주변 풍압 배치(distribution)는 풍속에 의해 결정되는데, 건물의 형태와 풍향 역시 풍압계수 C_p 를 결정하는데 중요한 요소가 된다. 이러한 이유로 이러한 값들은 특정 공간에 대하여 모든 풍향에 대하여 측정되어야 한다. 풍압계수 C_p 는 바람으로 유도되는 압력의 변화를 설명하는 계수로서 풍향, 지세, 풍향에 대한 지면의 거칠기 등에 따라 변한다.

3.1.2 기류량

자연 환기는 개구부를 통해 공기가 자연적으로 흐르는 것인데, 개구부의 면적과 종류에 따라서 공기의 흐름이 달라지게 된다. 또한 창이 열리는 방식과 열린 각도에 따라서 공기의 흐름은 달라지게 된다. 이러한 공기가 흐르기 어려운 정도를 수량적으로 나타낸 것을 저항계수라고 하며, ζ (zeta)로 표시한다. 저항계수가 커질수록 공기의 흐름은 방해받게 된다.

저항(resistance force)은 개구부의 면적과 공기가 개구부를 통과하면서 발생하는 압력손실과 관련이 있다. 풍압에 대하여, 압력손실 ΔP_{loss} 은 저항계수 ζ 에 의해 구해진다(식 3.5).

$$\Delta P_{loss} = \zeta \cdot q \quad (\text{식 3.5})$$

저항계수는 개구부의 형상에 따라서 달라지게 된다. 기류가 유입구를 통과할 때, 유입구에 루버, 매시, 와이어 등의 저항요소 등이 많을 경우에, 중공층 내 기류의 속도가 상당히 느려지게 된다. 바깥외피 개구부의 크기는 중요한 변수인데, 개구부 크기는 중공층 너비보다 커서는 안된다²⁾.

일반적으로 유입구로 들어온 공기의 량은 유출구를 통하여 배출되는 공기의 량 양과 같다. 기류량은 공기의 속도와 개구부 면적을 곱한 값이며, 연속 방정식은 (식 3.6)과 같다.

$$V_{in} = V_{out} \quad \text{또는} \quad A_{in} \cdot v_{in} = A_{out} \cdot v_{out} \quad (\text{식 3.6})$$

여기서 V 는 기류량[m³/s]이고, A 는 개구부 면적[m²]이고, v 는 A 를 통한 기류 속도[m/s]를 나타낸다.

이 때, 유입구 면적이 유출구 면적의 2배라면, 공기속도는 유출구에서 2배가 되어야 하며, 정체압력은 속도의 제곱에 비례하므로, 유입구에서의 압력손실은 4배가 된다. 그러므로 유입구와 유출구의 크기가 같아야 한다.

압력차에 의해 기류가 발생하게 되면, 압력 평형에 도달할 때까지 기류는 흐르게 된다. 이러한 개념은 (식 3.7)의 압력 평형식으로 나타난다.

$$\Delta P_{th} + \Delta P_{wind} = \Delta P_{loss} \quad (\text{식 3.7})$$

여기서 ΔP_{th} 는 굴뚝효과에 의한 압력차[Pa], ΔP_{wind} 는 바람에 발생한 압력차 [Pa], 그리고 ΔP_{loss} 는 기류 압력손실을 나타낸다.

중공층 내 기류, 즉 유입구와 유출구를 통한 기류는 건물의 전반적인 기류 패턴에 상당한 영향을 미친다. 작업환경에서 기류속도는 열쾌적 측면에서도 결정적인 역할을 하게 된다.

2) Ibid.

3.1.3 대류에 의한 기류량

자연환기의 원동력은 풍력과 굴뚝효과이다. 중공층을 통과하는 기류량 역시 이 2가지 변수에 의해 결정된다. 여름철에는 이중외피 시스템에서 더운 공기를 충분히 제거할 수 있는지가 가장 중요하다.

여름철에 바람이 없다면, 중공층 자연환기는 굴뚝효과에 의해서만 발생하게 된다. 굴뚝효과의 원동력은 외기와 중공층 내부의 온도차이다. 바깥외피와 차양 장치에 도달한 일사가 열로 전환되어 공기는 덩혀져서 상승하게 된다. 덩혀진 공기는 유입구로부터 들어오는 차가운 외기와 교체되면서, 환기가 이루어지게 된다.

바깥외피의 유입구와 유출구 면적, 그리고 저항 계수에 따라 기류의 양은 달라진다. 이때 차양 장치가 백색일 때, 복사열의 30%가 흡수되는데 이 열은 대류에 의해 제거될 수 있다(식 3.8).

$$Q_{conv} = \rho \cdot c \cdot V \cdot \Delta t \quad (\text{식 3.8})$$

여기서 Q_{conv} 은 대류에 의해 제거되는 열[kW], ρ 는 공기밀도(20°C에서 약 1.2kg/m³), c 는 공기비열(20°C에서 약 1kJ/kg·K), V 는 환기량[m³/s], 그리고 Δt 는 유입 외기와 배출 공기와의 온도차[K]를 뜻한다.

개구부의 크기에 따라 공기의 흐름이 달라지고, 저항계수에 따라 환기량이 달라진다. 굴뚝효과에 의한 기류량을 분석하는데 유입구와 유출구 사이의 온도차가 중요한 변수가 되며, 평균 온도차 Δt_m 와 유입구와 유출구 사이의 온도차 Δt 사이의 관계는 (식 3.9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta t_m = \Delta t/3 \quad (\text{식 3.9})$$

이 때, 굴뚝효과에 의한 상승압력은 (식 3.10)과 같다.

$$\Delta P_{th} = \Delta \rho \cdot g \cdot h \cdot (\Delta t/3) \quad (\text{식 3.10})$$

여기서 $\Delta\rho$ 는 공기밀도의 변화로 이 값은 약 0.004 [kg/m³K], g는 중력가속도 9.81 [m/s²], h는 유효높이[m]로 보통 3~4m의 값을 갖는다. 이때 압력 평형 방정식에 따라, ΔP_{th} 값은 압력손실 ΔP_{loss} 값과 일치해야 한다.

$$\Delta P_{loss} = \rho/2 \cdot v^2 \cdot \Sigma\zeta \quad (\text{식 3.11})$$

여기서 v 는 개구부 단면에서의 기류속도[m/s]이고, $\Sigma\zeta$ 는 저항계수의 합이다. 개구부 형태가 적합하고, 기류의 흐름통로에서 압력손실이 크게 발생하지 않는 경우, 유입구와 유출구의 단면적이 같은 경우에 $\Sigma\zeta$ 의 값은 3~4의 값을 갖는다. 저항계수 ζ 값은 유입 풍량에 영향을 주게 된다.

3.2 분석 결과

앞서 기술한 공식들에 의해서, 바람이 전혀 없는 조건에서, 이중외피가 적용되었을 때 굴뚝효과에 의한 환기효과를 차양장치, 개구부간 수직거리, 개구부간 온도차, 굴뚝효과에 의한 상승력, 압력손실, 중공층 냉각온도, 저항계수별 유입풍량 등을 예측식으로 분석하였다.

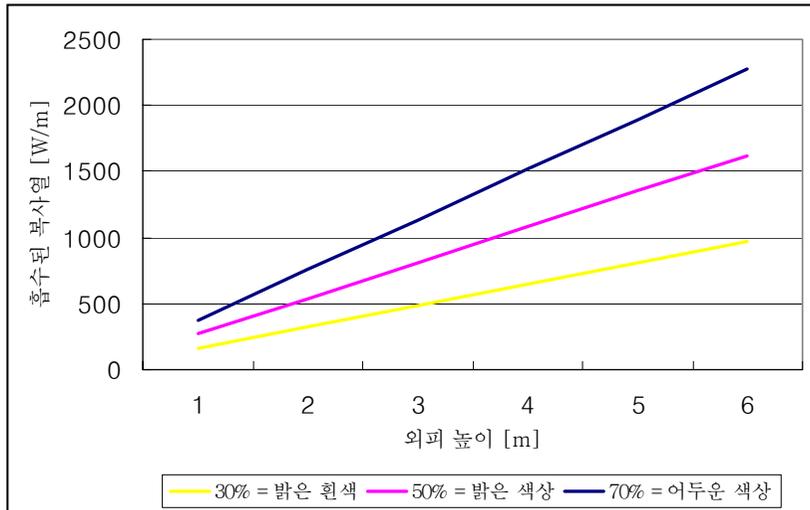
3.2.1 복사열

<표 3.1>은 이중외피 중공층 내에 설치된 차양 장치에 따라 흡수되는 복사열을 분석한 것이다. 이 때 일사량은 서울지역의 11년간(1991~2001)의 총일사량을 총일조시간으로 나눈 값인 541W/m²을 사용하였다.

여름철 일사로 인한 중공층 내 과열은 건물을 열적으로 매우 불리하게 하므로, 차양 장치를 설치하여 일사열을 차단해야 한다. 그러나 일사에 의한 열이 차양장치에서 흡수되기도 한다. 그러나 굴뚝효과의 원동력은 외기와 중공층 내부의 온도차이다. 바깥외피와 차양 장치에서 흡수된 복사열로 공기가 덩혀져서 상승하게 되고, 외기와 중공층 내부의 온도차가 커질수록 기류의 흐름이 원활해지게 된다.

<표 3.1> 차양장치 별 분석결과

차양장치 색 (흡수율)		흰색 (30%)	밝은 색 (50%)	어두운 색 (70%)
		차양장치에 흡수된 복사열 (W/m)		
외 피 높 이	1m	162.3	270.5	378.7
	2m	324.6	541	757.4
	3m	486.9	811.5	1136.1
	4m	649.2	1082	1514.8
	5m	811.5	1352.5	1893.5
	6m	973.8	1623	2272.2



(그림 3.1) 차양 장치 별 흡수된 복사열

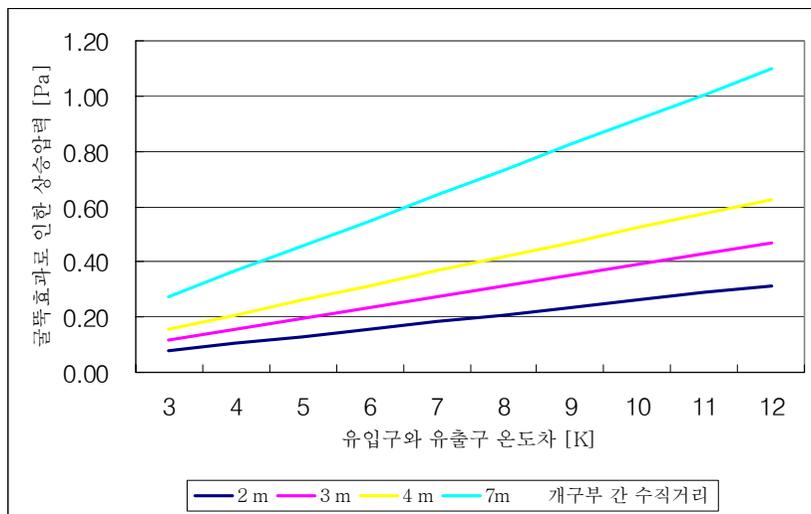
일반적으로 사무소 건물 한 개층 외피의 높이는 3~4m인데, (그림 3.1)에서 볼 수 있듯이 높이 3m일 때 흡수되는 복사열은 흰색인 경우 487W/m, 밝은 색상인 경우 812W/m, 어두운 색상인 경우 1136W/m로 나타났다. 이렇게 획득열은 색상에 따라 약 2~3배의 차이가 나기 때문에, 차양 장치를 선택할 때, 어두운 색상은 지양해야 하는 것으로 나타났다.

3.2.2 굴뚝효과에 의한 상승력

<표 3.2>는 유입구와 유출구의 온도차에 따라, 이중외피 내 굴뚝효과를 분석한 것이다. 유입구와 유출구 사이의 온도차가 커질수록 굴뚝효과는 증가하게 된다. 높이(유입구와 유출구 간 수직거리)가 4m에서, 외기와 중공층 내 온도차가 5K일 때, 굴뚝효과로 인한 상승력은 0.26Pa이다. 이 값은 ΔT 가 3일 때, 0.38m/s의 기류를 발생시킬 수 있다. <표 3.2>의 어두운색 부분은 굴뚝효과의 상승력에 의해 발생하는 기류속도를 나타낸 것이다.

<표 3.2> 굴뚝효과에 의한 상승력 분석결과

유입구와 유출구 간 수직거리		2m		3m		4m		7m	
		굴뚝효과에 의한 상승력 (Pa)							
유입구와 유출구 간 온도차	3K	0.08	0.21m/s	0.12	0.25m/s	0.16	0.29m/s	0.27	0.39m/s
	4K	0.10	0.24m/s	0.16	0.29m/s	0.21	0.34m/s	0.37	0.45m/s
	5K	0.13	0.27m/s	0.20	0.33m/s	0.26	0.38m/s	0.46	0.50m/s
	6K	0.16	0.29m/s	0.24	0.36m/s	0.31	0.41m/s	0.55	0.55m/s
	7K	0.18	0.32m/s	0.27	0.39m/s	0.37	0.45m/s	0.64	0.59m/s
	8K	0.21	0.34m/s	0.31	0.41m/s	0.42	0.48m/s	0.73	0.63m/s
	9K	0.24	0.36m/s	0.35	0.44m/s	0.47	0.51m/s	0.82	0.67m/s
	10K	0.26	0.38m/s	0.39	0.46m/s	0.52	0.53m/s	0.92	0.71m/s
	11K	0.29	0.40m/s	0.43	0.48m/s	0.58	0.56m/s	1.01	0.74m/s
	12K	0.31	0.41m/s	0.47	0.51m/s	0.63	0.58m/s	1.10	0.77m/s



(그림 3.2) 유입구와 유출구 간 온도차에 따른 상승압력

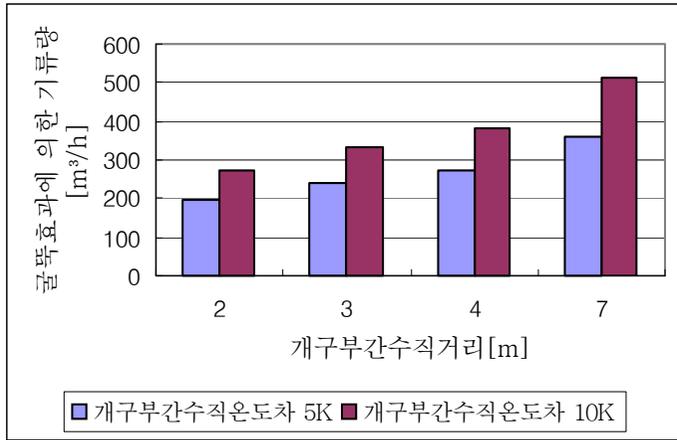
(그림 3.2)에서 볼 수 있듯이, 상승력은 유입구와 유출구 간의 온도차보다, 두 개구부 간의 거리에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 두 개구부 사이의 수직거리가 7m일 때, 상승력은 0.46Pa로 4m에서보다 2배에 가까운 값을 갖는다. 따라서 기류량 역시 2배에 가까운 차이를 보이게 된다(그림3.3).

개구부 간 온도차와 수직거리에 따라 굴뚝효과에 의한 상승력은 달라지는데, 이 힘에 의해 발생하는 기류량을 분석한 것은 <표 3.3>과 같다. 이 때 유입구와 유출구의 면적은 각각 0.20m²/m이다. 이 기류량은 풍력을 고려하지 않은 값이며, 바람이 없는 조건에서도 중공층 내 기류가 발생하므로 환기가 가능한 것으로 나타났다. 또한 실제 외피에 설치되는 개구부 면적은 단위길이당 개구부 면적인 0.20m²/m보다 크기 때문에 기류량 역시 약 2배정도 증가할 것이다.

따라서 여름철 바람이 없는 조건에서 높은 환기량을 기대한다면, 두 개구부 사이의 수직거리를 크게 하는 것이 바람직하며, 이 때 이중외피 유형은 Shaft형이나 전면형을 선택하도록 한다.

<표 3.3> 굴뚝효과에 의한 기류량 분석결과 (단, 개구부면적 0.20m²/m)

개구부간 수직거리	2m	3m	4m	7m	
	굴뚝효과에 의해 발생하는 기류량(m ³ /h)				
유입구와	3K	151.2	180	208.8	280.8
	4K	172.8	208.8	244.8	324
	5K	194.4	237.6	273.6	360
	6K	208.8	259.2	295.2	396
유출구간	7K	230.4	280.8	324	424.8
	8K	244.8	295.2	345.6	453.6
	9K	259.2	316.8	367.2	482.4
온도차	10K	273.6	331.2	381.6	511.2
	11K	288	345.6	403.2	532.8
	12K	295.2	367.2	417.6	554.4



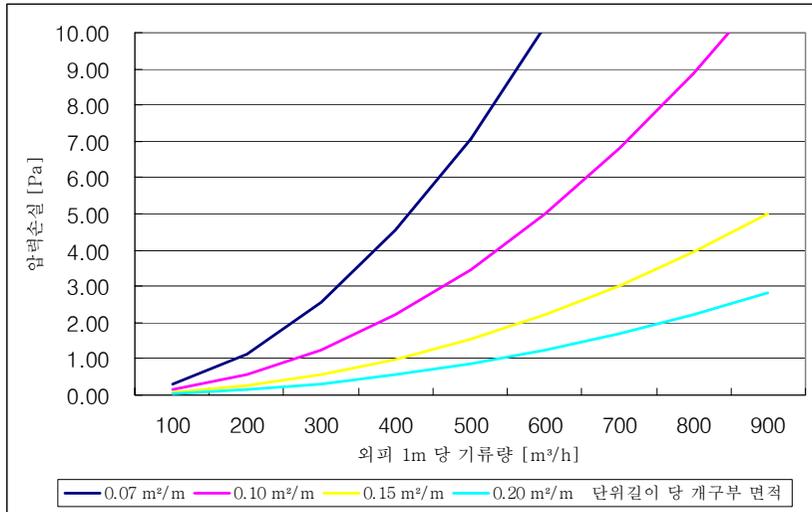
(그림 3.3) 굴뚝효과에 의한 기류량 (단, 개구부면적 0.20m²/m)

3.2.3 압력손실

<표 3.3>은 단위 길이당 개구부 면적에 대한 압력손실을 분석한 결과를 나타낸 것이다. 이중외피를 통과하는 기류량이 많아질수록, 유입구 또는 유출구에서 속도가 증가하기 때문에, 압력손실은 커지게 된다. 또한 개구부의 면적이 작을수록 압력손실은 커지게 되는데, (그림 3.3)에서 볼 수 있듯이, 개구부 면적 0.15m²/m 이하일 때, 압력손실은 기하급수적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 0.20m²/m에서는 기류량이 증가하여도, 압력손실이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

<표 3.4> 압력손실 분석결과

개구부면적	0.07m ² /m	0.10m ² /m	0.15m ² /m	0.20m ² /m	
	압력손실 (Pa)				
기류량	100m ³ /h	0.28	0.14	0.06	0.03
	200m ³ /h	1.13	0.56	0.25	0.14
	300m ³ /h	2.55	1.25	0.56	0.31
	400m ³ /h	4.54	2.22	0.99	0.56
	500m ³ /h	7.09	3.47	1.54	0.87
	600m ³ /h	10.20	5.00	2.22	1.25
	700m ³ /h	13.89	6.81	3.02	1.70
	800m ³ /h	18.14	8.89	3.95	2.22
	900m ³ /h	22.96	11.25	5.00	2.81



(그림 3.4) 기류량에 따른 압력손실

이중외피의 유입구와 유출구의 단위면적은 같고, 저항계수 $\Sigma\zeta$ 값은 3이라고 가정하면, 외피 1m 당 기류량이 500m³/h일 때, 개구부 면적 0.20m²/m에서 0.87Pa의 압력손실이 발생하고, 0.10m²/m에서 3.47Pa의 압력손실이 발생하게 된다.

압력손실이 굴뚝효과에 의한 상승력보다 크게 되면, 자연환기는 불가능하게 된다. 따라서 압력 손실 값은 상승력보다 작아야만 한다. 또한 굴뚝효과에 의한 상승력은 그 값이 크지 않으므로, 단위길이 당 개구부 면적이 0.15m²/m 이하의 값을 갖지 않도록 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

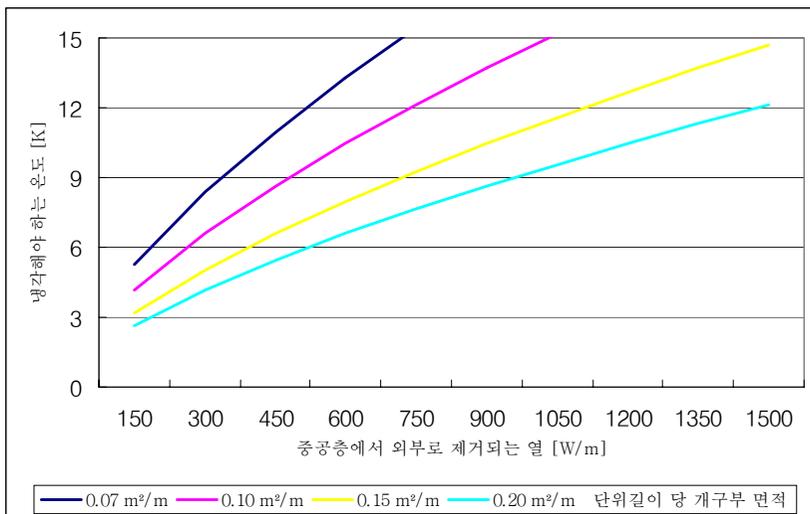
이때 설비형과 결합하여 이중외피 개구부에 팬(fan)을 설치한다면, 압력손실의 허용값을 증가하여도 환기를 유도할 수 있다. 또한 개구부의 면적을 크게 함으로써, 압력손실을 줄일 수 있지만, 개구부는 외부 기후요소, 또는 새, 벌레 등의 침입으로부터 보호되어야 하기 때문에, 루버, 와이어, 매시 등이 설치되어야 한다. 이러한 요소들로 인하여 저항계수 값이 증가하고, 유효면적이 줄어들기 때문에 압력손실은 또다시 증가하게 된다. 따라서 이러한 저항요소들을 기류를 유도할 수 있는 형태로 계획하여, 개구부에서의 압력 손실을 줄이는 것이 바람직하다.

3.2.4 냉각온도

단위길이 당 개구부 면적에 대한 중공층 냉각온도를 분석한 것은 <표 3.4>와 같다. 중공층 내부에 있던 열은 굴뚝효과에 의한 상승력에 의해 외부로 배출된다. (그림 3.4)에서 볼 수 있듯이, 중공층에서 외부로 제거해야 하는 열량이 같을 때, 단위길이 당 개구부 면적이 작을수록 냉각해야 하는 온도는 커지는 것으로 나타났다.

<표 3.5> 중공층 냉각온도 분석결과

개구부면적		0.07m ² /m	0.10m ² /m	0.15m ² /m	0.20m ² /m
		냉각해야 하는 온도(K)			
외부 로	150W/m	5.27	4.15	3.17	2.62
	300W/m	8.36	6.59	5.03	4.15
	450W/m	10.96	8.64	6.59	5.44
	600W/m	13.28	10.47	7.99	6.59
제거 되는 단 열	750W/m	15.41	12.15	9.27	7.65
	900W/m	17.40	13.72	10.47	8.64
	1050W/m	19.28	15.20	11.60	9.58
	1200W/m	21.08	16.62	12.68	10.47
열	1350W/m	22.80	17.97	13.72	11.32
	1500W/m	24.46	19.28	14.71	12.15



(그림 3.5) 냉각온도 ($\Sigma\zeta값 = 3$)

예를 들어, 제거해야 하는 열량이 500W/m일 때, 개구부 면적 0.10m²/m에서 9.3K를, 0.15m²/m에서 7.1K를, 0.20m²/m에서 5.8K를 생각시켜야만 한다. 이것은 개구부 면적이 작아질수록, 외기와 중공층 간 온도차가 커져야만 충분한 환기가 가능하다는 것을 의미한다. 외부와 중공층 간 온도차가 커지도록 하려면, 중공층에 많은 복사열이 흡수되도록 한다. 그러나 이러한 경우에, 중공층 내부가 과열되어 건물이 열적으로 매우 불쾌적인 상태가 될 우려가 있다.

따라서 단위길이 당 개구부의 면적이 커질수록, 외기와 중공층 간 온도차에 영향을 덜 받게 되고, 중공층 냉각 온도가 낮아지기 때문에, 개구부 면적은 최소 0.15m²/m 이상을 선택하는 것이 바람직하다.

3.2.5 저항계수 별 필요 기류량과 냉각온도

저항계수를 변화하였을 때, 중공층의 냉각온도와 필요기류량을 분석한 것은 <표 3.5>, <표 3.6>과 같다. 개구부의 면적이 같더라도 그 형상에 따라서 공기의 흐름은 달라지는데, 공기의 흐름이 어려운 정도를 수량적으로 나타낸 것을 저항계수라고 한다.

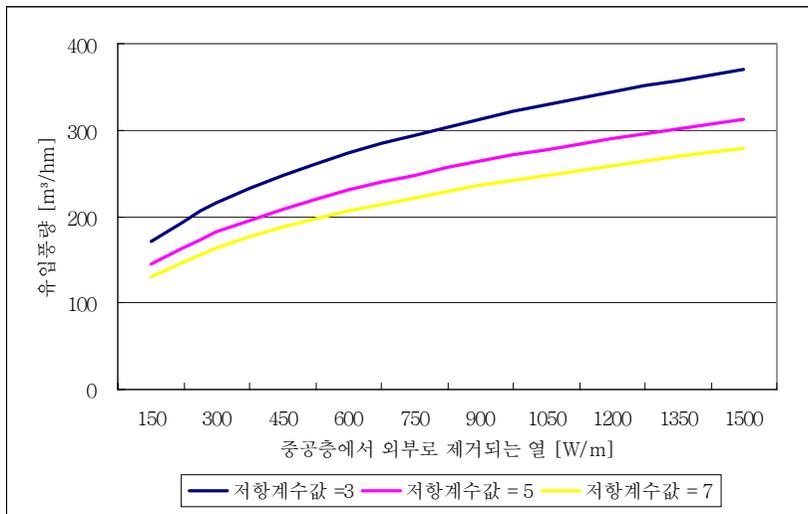
(그림 3.5) 및 (그림 3.6)에서 볼 수 있듯이, 중공층에서 제거되는 열이 일정할 때, 저항계수가 작을수록 기류량이 커지게 되는데, 따라서 냉각해야 하는 온도는 낮아지는 것으로 나타났다.

중공층에서 외부로 제거되어야 하는 열량이 750W/m일 때, 기류량은 저항계수 3에서 294m³/hm, 5일 때 248m³/hm, 7일 때 221m³/hm로 나타났다. 같은 조건에서 냉각온도는 저항계수 7일 때 10.1K로 가장 높았으며, 3일 때 7.7K로 가장 낮게 나타났다.

따라서 저항계수가 커질수록 기류량이 감소하는데, 기류량이 감소하기 때문에 냉각해야 하는 온도는 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 저항계수는 기류가 잘 흐를 수 있도록 높은 값이어서는 안되며, 3~4정도의 값을 갖는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

<표 3.6> 저항계수 별 기류량 분석결과

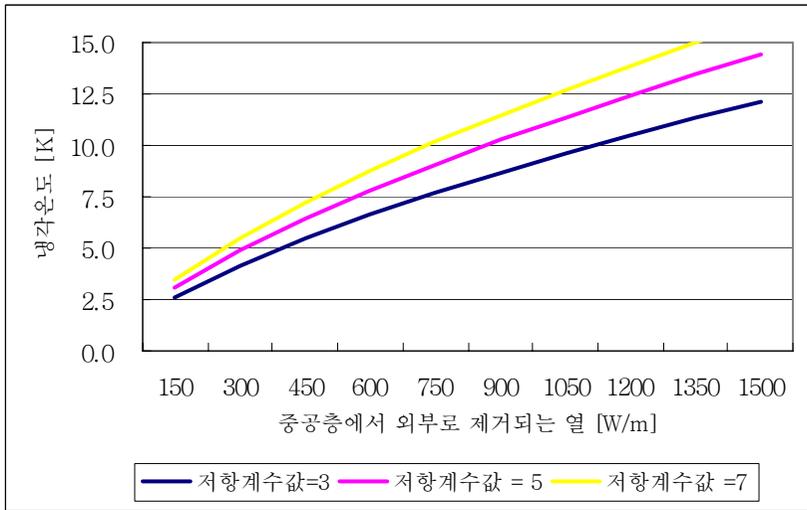
저항계수	3	5	7	
	필요기류량 (m ³ /hm)			
외부로 제거되는 열	150W/m	171.97	145.04	129.65
	300W/m	216.66	182.74	163.35
	450W/m	248.02	209.19	186.99
	600W/m	272.98	230.24	205.81
	750W/m	294.06	248.02	221.71
	900W/m	312.48	263.56	235.60
	1050W/m	328.96	277.46	248.02
	1200W/m	343.93	290.08	259.31
	1350W/m	357.71	301.70	269.69
	1500W/m	370.49	312.48	279.33



(그림 3.6) 저항계수 별 필요기류량 (단, 개구부 면적 = 0.20m²/m)

<표 3.7> 중공층 냉각온도 분석결과

저항계수		3	5	7
		냉각해야 하는 온도(K)		
외부로 제거되는 열	150W/m	2.6	3.1	3.5
	300W/m	4.2	4.9	5.5
	450W/m	5.4	6.5	7.2
	600W/m	6.6	7.8	8.7
	750W/m	7.7	9.1	10.1
	900W/m	8.6	10.2	11.5
	1050W/m	9.6	11.4	12.7
	1200W/m	10.5	12.4	13.9
	1350W/m	11.3	13.4	15.0
	1500W/m	12.1	14.4	16.1



(그림 3.7) 저항계수 별 냉각온도 (단, 개구부 면적 = 0.20m²/m)

3.3 소 결

바람이 없는 조건에서, 사무소 건물 내 굴뚝효과에 의한 자연환기의 가능성과 설계요소에 따른 특성을 예측 회귀식을 통하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 높이 3m의 유리로 된 외피에 흡수되는 복사열은 차양장치 색상에 따라 달라지는데, 흰색, 밝은 색상, 어두운 색상이 각각 487W/m, 812W/m, 1136W/m인 것으로 나타났다. 흡수되는 복사열이 많을수록 중공층 내부온도가 상승하므로, 차양장치를 선택할 때 어두운 색상은 바람직하지 않은 것으로 나타났다.

2. 굴뚝효과에 의한 상승력은 유입구와 유출구의 온도차, 즉 외기와 중공층 내부의 온도차보다, 두 개구부 간 수직거리에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 여름철 바람이 없는 조건에서 높은 환기량을 기대한다면, 두 개구부 간의 수직거리를 크게 한다. 그러나 초고층 건물에서는 굴뚝효과에 의한 상승력보다 풍압에 의해 훨씬 큰 영향을 받게 되므로, 상승력과 풍압에 의한 효과를 동시에 고려한다면 개구부간 수직거리 4m가 바람직한 것으로 나타났다.

3. 이중외피를 통과하는 기류량이 많아질수록, 개구부의 면적이 작을수록 압력손실은 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 개구부 면적 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이하에서는 기류량이 증가하면 압력손실이 기하급수적으로 증가하는데 반해, $0.20\text{m}^2/\text{m}$ 에서는 기류량이 증가하여도 압력손실이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 압력손실이 굴뚝효과에 의한 상승력보다 크게 되면 중공층 환기가 불가능해지므로, 개구부 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이하의 값을 갖지 않도록 한다.

4. 중공층에서 외부로 제거해야 하는 열량이 동일할 때, 개구부 면적이 작을수록 냉각해야 하는 온도는 커지는 것으로 나타났다. 즉 개구부의 면적이 커질수록, 냉각온도가 작아지기 때문에 외기와 중공층 간 온도차에 영향을 덜 받게 된다. 이러한 측면을 고려하였을 때, 개구부 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이상의 값을 선택하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

5. 이중외피 개구부의 저항계수가 커질수록 기류량이 감소하는데, 기류량이 감소하기 때문에 냉각해야 하는 온도는 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 저항계수가 높아지면 기류의 흐름을 방해하므로, 3~4정도의 값을 갖게 되도록 개구부를 설계하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

제 4 장 이중외피 시스템 풍력에 의한 자연환기

4.1 개 요

4.1.1 프로그램 개요

1) CFD 해석의 개념

본 연구에서는 건물 내외부 기류를 해석하는데 있어, 수학적 계산, 컴퓨터를 이용한 유체해석(CFD)을 이용하였다. 이미 본 연구의 제 3장에서 수학적 계산방법을 이용하여 이중외피 중공층의 굴뚝효과에 의한 상승력, 압력손실, 저항계수 별 유입 풍량과 냉각온도 등을 계산하였다. 이 방식은 바람이 전혀 없는 조건에서 굴뚝 효과에 의한 환기율과 풍량을 계산하는데 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 수학적 해석방법은 이중외피에 의한 자연환기의 효율성을 정확하게 해석하는데 제약이 있다.

컴퓨터를 이용한 유체 해석 방법(전산유체해석, Computational Fluid Dynamics)은 건축물과 같은 복잡한 형상을 갖는 공간에서의 유동현상을 해석하기 위하여 해석 공간을 일련의 제어체적(Control Volume) 또는 요소(Element)들로 근사시키는 수치해석적 방법으로 각 요소내의 기류는 질량보존의 법칙 및 운동량 보존 지배방정식을 충족시키도록 다양한 방법에 의해 모델링된다.

CFD 해석방법은 일반적인 수학적 계산 방법에서 고려하기 어려웠던 개구부의 위치나 건물을 통과하는 질량유동, 유동 경계층의 유형, 표면의 특성, 장애물 등에 대해 정확한 해석이 가능하다. CFD 계산 영역을 여러 개의 작은 요소로 분할하여 물리적 현상을 지배하는 미분 방정식을 확립한 후, 미분 방정식을 대수 방정식으로 전환하여 각 요소에서 대수방정식의 해를 구하는 과정을 거치게 된다.

일반적으로 비압축성 유동은 연속방정식과 Navier-stokes 방정식으로 해를 구한다. 연속방정식은 유체의 질량보존법칙을 나타내고, Navier-stokes 방정식은 유체의 운동량 보존법칙을 나타낸다. 유도된 Reynolds 방정식을 이용하여 난류모델을 만들고 난류에너지 방정식의 유무 또는 개수로 대수모델, $k-\epsilon$ 방정식, 응력방정식 모델 등 여러 종류의 해석방법을 사용한다. 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용

되는 난류모델인 $k-\varepsilon$ 을 사용하였다. 여기서 k 는 난류의 운동에너지(kinetic energy of turbulence)를 의미하고, ε 은 난류소산율(turbulence dissipation rate)를 뜻한다.

2) Fluent 프로그램 개요

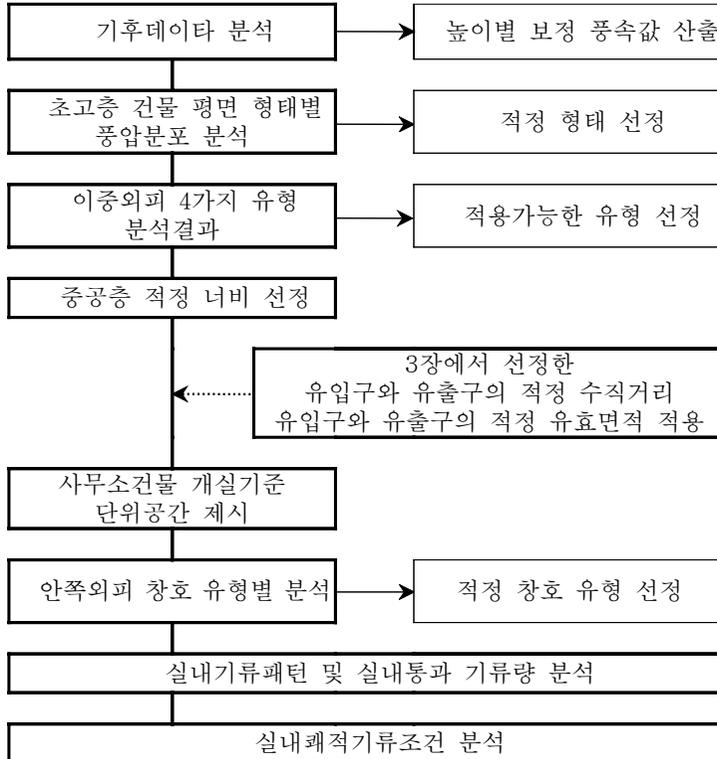
본 연구에서는 국내에서 상용코드로 사용되고 있는 Fluent 6.0을 해석의 도구로 사용하였다. Fluent는 Pre-Processor 기능의 GAMBIT과 Solver 및 Post-Processor 기능의 FLUENT로 구성되어 있다. GAMBIT에서는 Edge, Face, Volume의 3가지 요소로 모델의 기하학적 형태를 형성할 수 있으며, 각 요소별로 격자의 형성이 가능하다. 또한 격자계는 사각형, 삼각형, 원형 등을 사용하여 정렬, 비정렬, 혼합격자계를 사용할 수 있다.

계산영역인 FLUENT에서는 이산화방법으로 유한체적법(FVM : Finite Volume Method)을 사용하고 있으며, 비압축성 기류, 경미한 압축성 기류, 복잡한 물리학을 포함하는 기류에 가장 적합한 Solver로 알려져 있다.

4.1.2 분석 개요

초고층 건물에서 풍압은 크게 증가하기 때문에, 초고층 건물에서 자연환기를 도입하는 것은 불가능하였다. 풍압 분포에 영향을 미치는 가장 큰 변수는 건물의 높이이며, 건물의 높이에 의하여 수직으로의 상승기류가 발생하고, 높이가 증가하면 풍속이 증가한다. 그러나 기존의 외피에 하나의 외피를 추가(이중외피)시키고, 추가된 외피에 다양한 저항요소들을 설치함으로써, 초고층인 경우에도 창문을 통한 자연환기를 가능하게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이중외피를 적용함으로써 초고층 사무소 건물에 자연환기를 도입하는 것이 가능한지를 분석하여 보았다. 분석개요는 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 분석개요



4.1.3 기후 데이터 분석

1) 기후 데이터 분석

초고층 건물에 이중외피 시스템을 적용하기 위해서는 풍력의 특성을 분석하는 것이 필수적이며, 분석된 특성에 따라 적절한 설계기법을 도입할 수 있다. 본 연구는 서울 지역의 1991년부터 2001년까지 11년간 서울지역 기상대 측후소(관측높이 약 10m)의 풍속 데이터를 분석하였다.

서울지역의 11년간 풍향과 풍속을 분석한 결과, 최대풍속은 11m/s를 넘지 않으므로 비교적 온화한 조건이다. 서울지역의 주풍향은 북동풍과 서풍, 북서풍으로 일년의 약 50%를 차지한다. 평균풍속은 2.2m/s로 나타났다. 또한 본 연구에서는

일반 사무소 건물의 재실여부를 기준으로 주간과 야간으로 구분하였다. 주간(08시-19시)의 평균풍속은 2.63m/s, 야간(20시-07시)의 평균풍속은 1.76m/s로 주간이 야간보다 강한 풍속을 나타냈다. 본 연구에서는 시뮬레이션 수행 시, 주간 평균 풍속값을 도입하였다.

2) 초고층 건물에서의 풍속보정

풍속은 일반적으로 높이가 높아질수록 증가하는데, 지표면 부근에서 풍속이 약해지는 것은 지면마찰에 의한 것이다. 풍속계는 보통 10m 높이에 설치되지만, 우리나라 기상대산하의 서울측후소의 풍속 측정높이는 10.6m이다. 이를 초고층 사무소건물 높이별로 보정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$V_n = \left(\frac{h_n}{10} \right)^\alpha \cdot V_{10} \quad (\text{식 4.1})$$

여기서 V_n 은 높이 n m에서 보정된 풍속(m/s), V_{10} 은 측후소에서 관측된 풍속, h_n 은 보정높이인 n m, 그리고 10은 측후소의 풍속 관측 높이를 나타내고 있다. α 는 지표면의 형상에 따라 결정되는 지수로써, 일반적으로 평원이나 해안에서는 0.16, 삼림지역에서는 0.20, 시가지에서는 0.22~0.50의 값을 갖는다¹⁾.

본 연구에서는 α 를 0.30으로 입력하여 풍속데이터를 보정하였으며, <표 4.2>와 같다. 이 값은 맞통풍을 시뮬레이션 할 때 사용되며, 강풍을 고려함으로써 건물을 배치하고 계획할 수 있다.

<표 4.2> 건물 높이별 보정풍속

높이	10m	40m	80m	120m	160m	200m
보정풍속(m/s)	2.63	3.99	4.91	5.54	6.04	6.46

1) Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press, p54, 1999

4.2 초고층 건물 형태에 따른 기류패턴과 풍압분포

4.2.1 개요

바람은 건물의 주변에 무풍지역이나 소용돌이 등을 형성함으로써 압력의 차이를 만든다. 바람이 불어오는 풍상측엔 정압이 생기고, 기류가 건물주변에서 새로운 경로를 찾기 전까지 속도가 늦춰졌다가, 경로가 결정되면 건물 주위의 기류는 초기속도보다 훨씬 빠르게 지나간다. 이 때 바람이 불어나가는 풍배측과 건물 옆면에 공기의 밀도가 낮아져서 부압이 생성된다. 건물을 통과하는 자연환기 성능은 이러한 풍상측의 정압과 풍배측의 부압 차이에 의해 결정된다.

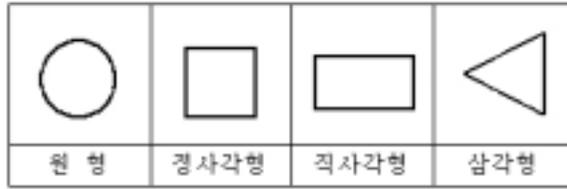
건물의 형태, 방위, 특히 초고층건물에서 높이 등은 바람으로 인한 건물 주변의 풍압분포에 영향을 미침으로써, 건물 주변 바람 패턴과 속도뿐 아니라 자연환기 성능에 영향을 미치게 된다. 그러므로 초고층 건물에서 자연환기를 가능하게 하기 위해서, 건물 주변의 기류 특성 및 외벽에 형성되는 풍압의 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 초고층 건물의 다양한 평면형태에 따른 차압을 비교, 분석하여 초고층 건물의 적정 평면 형태를 제안하고, 이중외피를 적용함으로써 초고층 건물에서 자연환기의 가능성을 보여주고자 하였다. 이중외피를 적용한 건물의 전후면 풍압은 CFD 프로그램((Fluent))으로 계산하였다.

1) 입력조건

초고층 사무소 건물의 형태와 배치는 매우 다양하지만, 본 연구에서는 국내외 사무소 건물 몇 가지 유형을 대상으로 연구함으로써 몇 가지 기초적인 기류조절 원리를 파악하였다. 자연환기 성능에 영향을 미치는 건물의 형태와 배치 및 면적은 <표 4.3>에서 제시하였다. 평면의 면적은 약 707m² 값을 갖으며, 높이는 200m의 건물이다.

풍향에 대한 배치 각도는 (그림 4.1)과 같은 배치를 0°로 보고 시계방향으로 회전시켜 형태별로 분석하였으며, 바람은 왼쪽에서 오른쪽으로 부는 것으로 보았다.



(그림 4.1) 사무소 건물의 평면형태

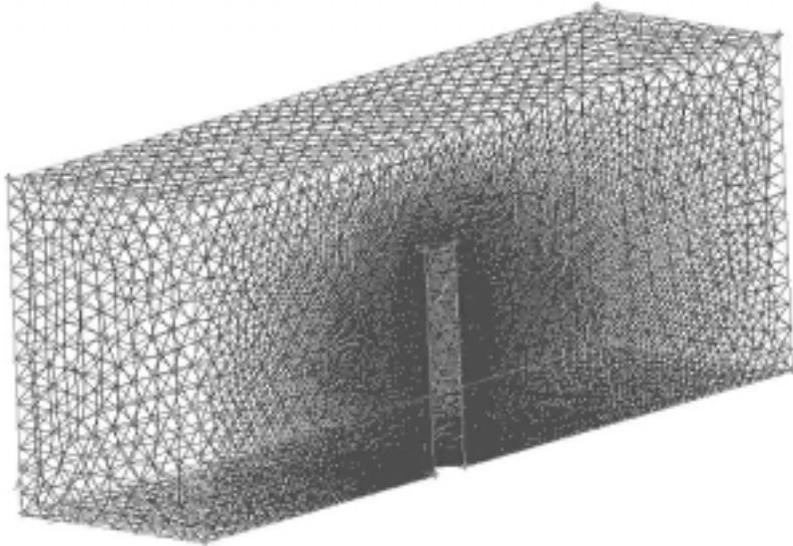
<표 4.3> 건물형태에 따른 기류패턴과 풍압산정을 위한 설계변수

변수	범위	평면 면적(m ²)	외피면적에 대한 바닥면적의 비	
풍향에 대한 배치각도	원형	0°	$\pi \times (15)^2 = 707$	0.0375
	정사각형	0°, 45°	$26.6 \times 26.6 = 708$	0.0332
	직사각형	0°, 90°	$39 \times 18 = 702$	0.0307
	삼각형	0°, 60°	$\sqrt{3} \times (40.4)^2 / 4 = 707$	0.0292

2) 입력 경계조건

경계조건으로 사용된 외기풍속은 서울지역 주간 평균풍속인 2.63m/s을 200m에서 보정한 값인 6.46m/s를 적용하였으며, 건물에서 250m 떨어진 위치의 300×300m²의 면에서 건물을 향해 바람이 부는 것으로 가정하고 해석하였다. 이 때 중력가속도는 9.81m/s²이고, 공기밀도는 1.225kg/m³를 입력하였다. 지붕의 형태는 평지붕으로 설정하였으며, 건물의 횡단면 기류패턴은 건물의 최상층과 최하층을 제외하고 다소 일정한 흐름을 보이기 때문에 2차원적으로 나타내었다. 2차원 평면의 기류패턴과 풍압계수는 높이 200m에서 선정된 값이다.

계산의 격자체계는 건물 주위의 풍압분포와 기류속도가 중요한 변수이므로 조밀하게 형성하였으며, 풍속을 기준으로 좌우대칭 공간이므로 Symmetry(대칭공간의 반을 해석하는 것)를 사용하여 분석하였다. 해석 대상공간의 격자체계는 (그림 4.2)와 같고, 총 180,863개의 격자가 사용되었다.



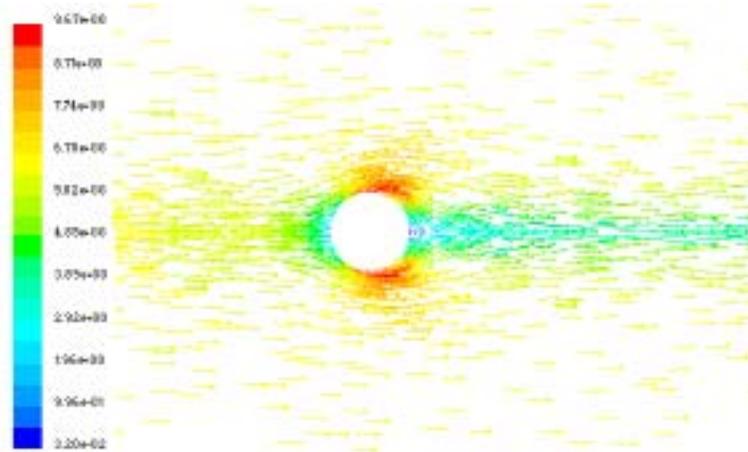
(그림 4.2) 해석대상공간 격자체계

4.2.2 평면형태에 따른 기류패턴과 풍압계수 분석

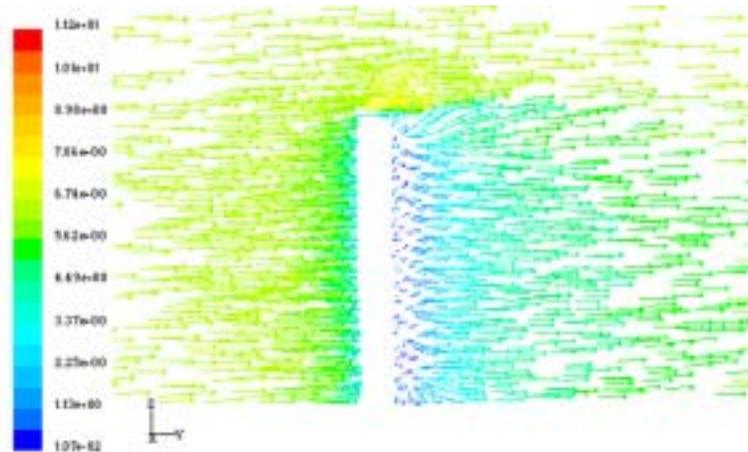
초고층 건물에서 평면형태에 따른 건물 주변 기류패턴과 풍압계수를 분석한 것은 다음과 같다.

4.2.2.1 원형

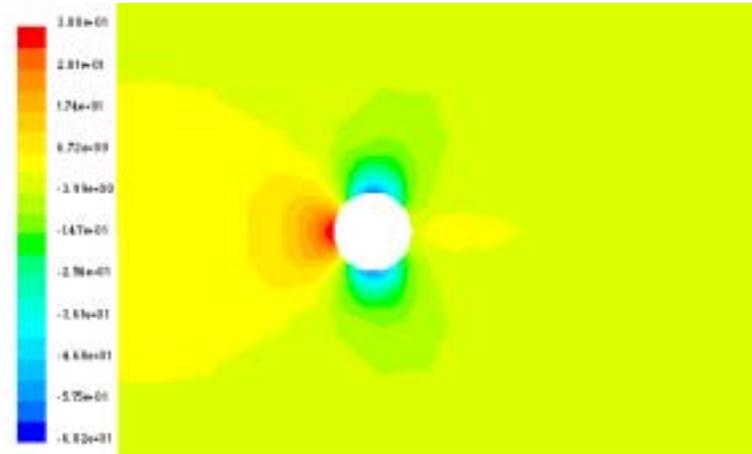
(그림 4.3)에서 볼 수 있듯이, 실린더형 주동 평면인 원형건물 주변기류는 풍향에 관계없이 일정한 기류패턴을 갖게 된다. 측면의 속도가 9.67m/s까지 증가하지만, (그림 4.4)에서 볼 수 있듯이, 건물 후면에 큰 소용돌이나 역류가 발생하지 않는다. 따라서 차압분포 역시 건물의 전 층에 대하여 다소 일정하게 나타나게 된다. 초고층 건물의 지붕면 상부로 거대한 기류가 형성되는데, 기류 속도는 7.3m/s를 나타내었다. (그림 4.5)에서처럼 풍압계수는 최고값이 건물 전면부에서 38.8Pa, 측면부에서 -68.8Pa, 후면부에서 -9.3Pa를 나타내고 있으나 그 면적이 작고, 다른 평면에 비하여 풍압계수가 작게 나타났다.



(그림 4.3) 평면의 기류패턴 -Vector



(그림 4.4) 수직 단면 기류패턴 -Vector

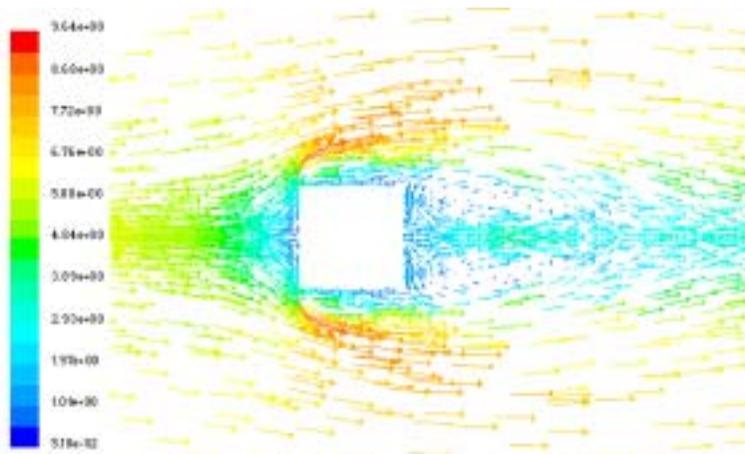


(그림 4.5) 풍압계수 (Cp) -Contour

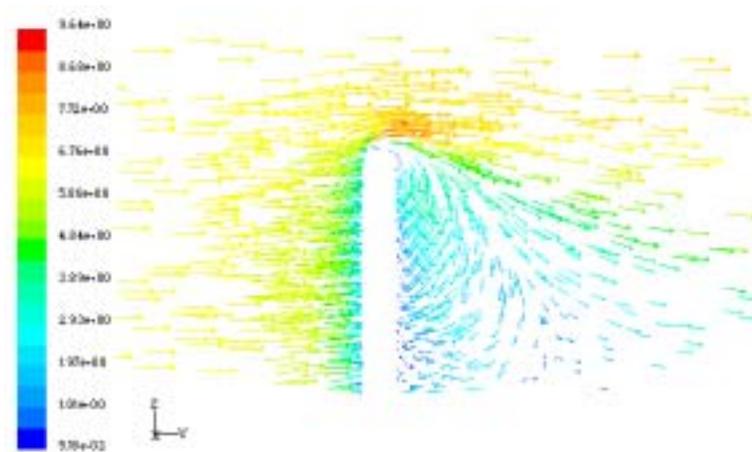
4.2.2.2 정사각형

1) 배치각도 0°

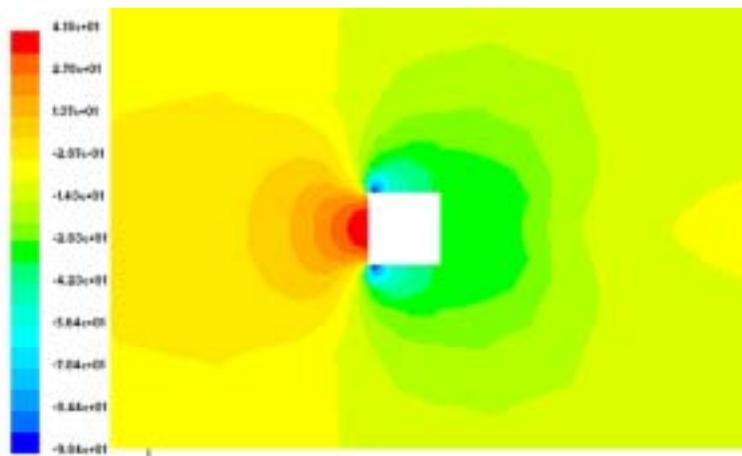
(그림 4.6) 및 (그림 4.7)에서 볼 수 있듯이, 평면의 모서리 부분에서 기류패턴이 끊어지면서 건물 주변의 속도가 크게 증가하며, 건물 후면부에 거대한 역류가 형성되고, 지붕면 상부에서 기류속도가 9.64m/s까지 상승하게 된다. (그림 4.8)에서 평면의 모서리가 분리점이 되면서, 모서리 부분에 -98.4Pa의 매우 높은 부압이 형성되어 흡인력을 갖게 된다.



(그림 4.6) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.7) 수직 단면 기류패턴 -Vector



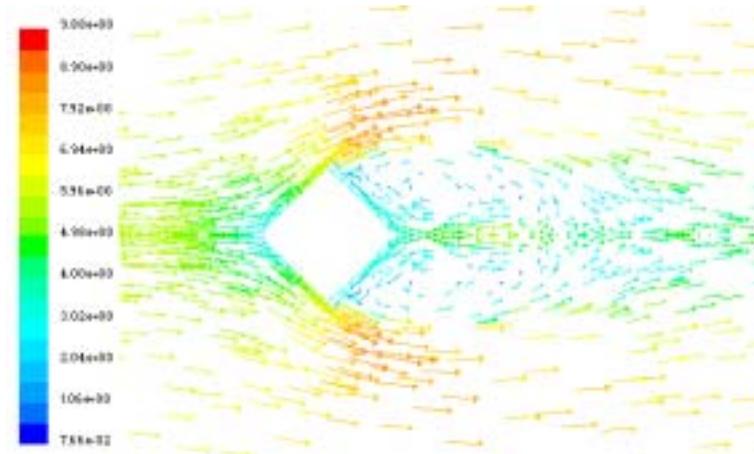
(그림 4.8) 풍압계수 (Cp) -Contour

2) 배치각도 45°

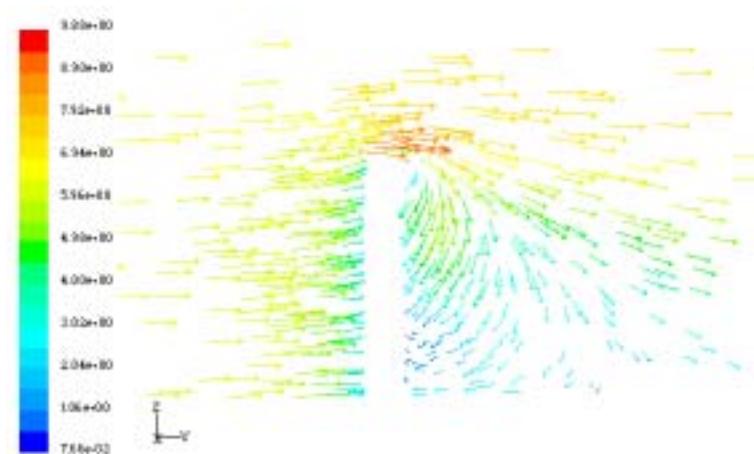
(그림 4.9) 및 (그림 4.10)은 배치각도 0°와 비슷한 기류패턴을 보이고 있다. 그러나 건물 측면의 최고 기류속도가 9.88m/s에 이르고, 건물 후면부의 무풍지역의 규모가 증가하였다. 또한 지붕면의 최고 기류속도도 9.88m/s로 0° 배치에서보다 0.24m/s 증가하였다. (그림 4.11)에서처럼, 건물의 풍압계수는 전면부는 최고 37.1Pa, 후면부 -72.5Pa로 배치각도 0°에서보다 다소 강한 부압이 나타났고, 후면

부에 부압이 거대한 규모로 나타나고 있다.

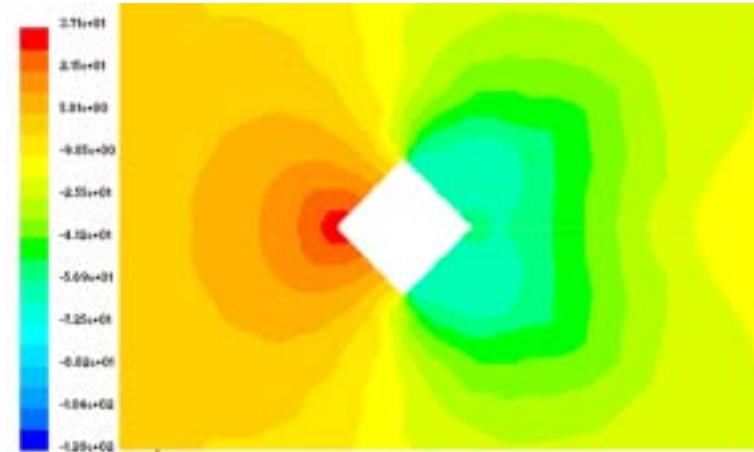
따라서 정사각 평면은 건물 주변의 기류패턴과 풍압계수를 분석하였을 때, 원형의 평면보다 기류속도와 차압 등이 크게 나타나 불리한 것으로 나타났다. 또한 지붕면에 형성되는 거대기류의 속도가 9.88m/s로 매우 높게 나타났으므로, 최상층 바깥외피 유출구의 기능에 매우 불리하게 작용될 수 있다.



(그림 4.9) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.10) 수직 단면 기류패턴 -Vector

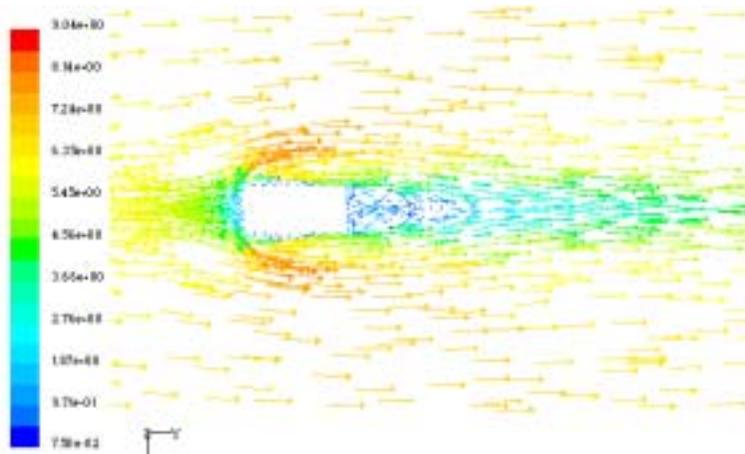


(그림 4.11) 풍압계수 (C_p) -Contour

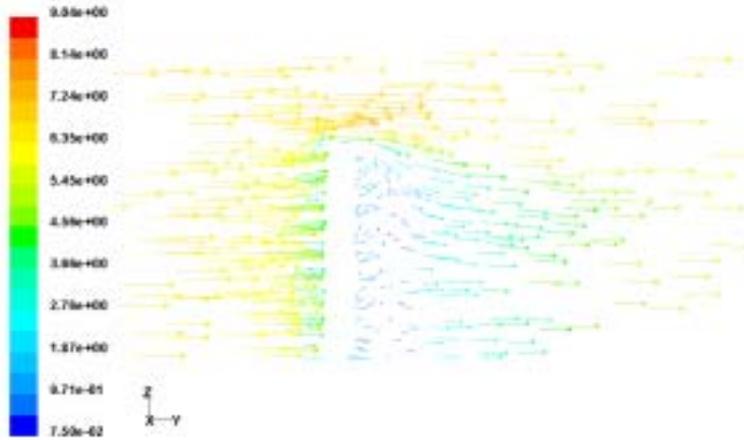
4.2.2.3 직사각형

1) 배치각도 0°

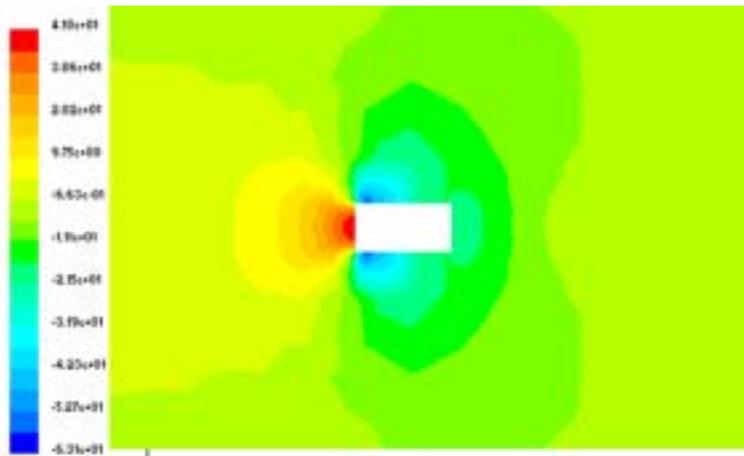
(그림 4.12)에서처럼, 배치각도 0° 에서 기류속도가 원형과 정사각형 평면에 비해 크게 낮았다. 최고속도는 모서리 부분에서 7.69m/s 로 나타나며, (그림 4.13)에서 볼 수 있듯이, 지붕면의 기류가 6.8m/s 로 다른 평면들에 비해 매우 낮게 나타났다. (그림 4.14)에서 풍압계수는 전면부 최고 41Pa , 측면부 모서리 부분에 최고 부압이 -63.1Pa , 측면부와 후면부에 -31.9Pa 의 거대한 부압이 형성되었다.



(그림 4.12) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.13) 수직 단면 기류패턴 -Vector

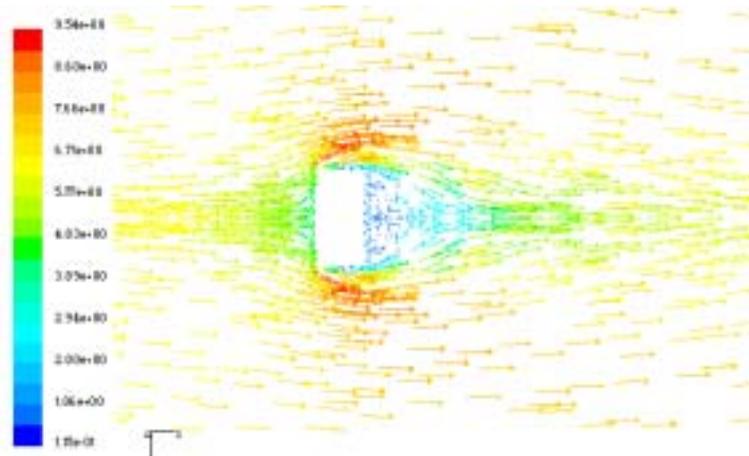


(그림 4.14) 풍압계수 (Cp) -Contour

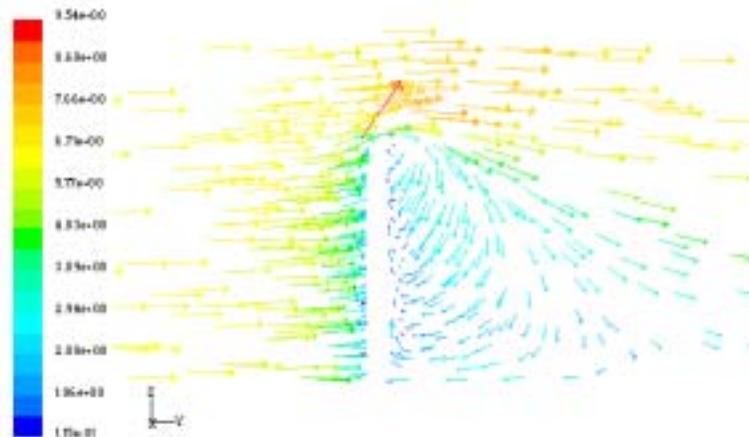
2) 배치각도 90°

(그림 4.15) 및 (그림 4.16)에서 볼 수 있듯, 이 배치에서는 기류가 매우 강하게 발생하였다. 건물의 측면부와 지붕면에서 상승하는 기류의 속도가 9.54m/s에 이르고, 후면부에서 거대한 역류가 발생하고 있다. (그림 4.17)에서처럼, 건물 측면의 부압은 최고 -91.4Pa로 나타났고, 전면부는 41.6Pa, 후면부는 -41.9Pa의 거대한 부압이 형성되어 있다.

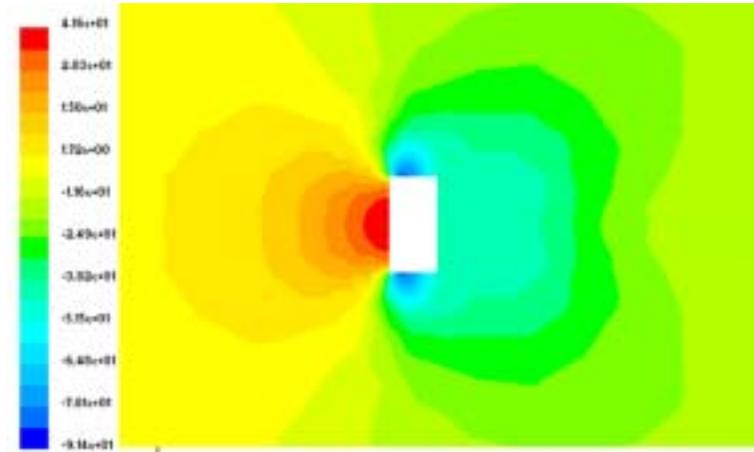
따라서 건물의 평면 형태가 직사각형인 경우는, 0° 의 배치에서는 매우 온화한 기류패턴을 보이는 반면, 90° 의 배치에서는 전후면 벽체의 차압이 급격히 증가하여, 강한 기류패턴을 나타내고 있다. 따라서 고른 기류분포를 나타내야 하는 초고층 건물에 대하여, 직사각 평면 형태는 풍향에 따라 기류패턴이 크게 변화하는 것으로 나타났다.



(그림 4.15) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.16) 수직 단면 기류패턴 -Vector

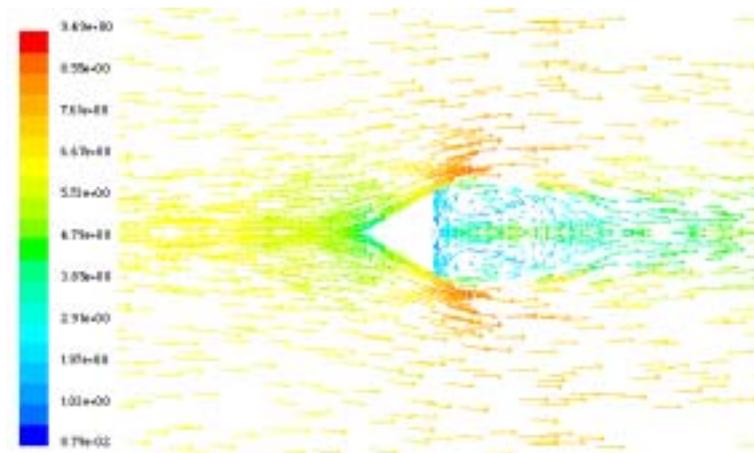


(그림 4.17) 풍압계수 (Cp) -Contour

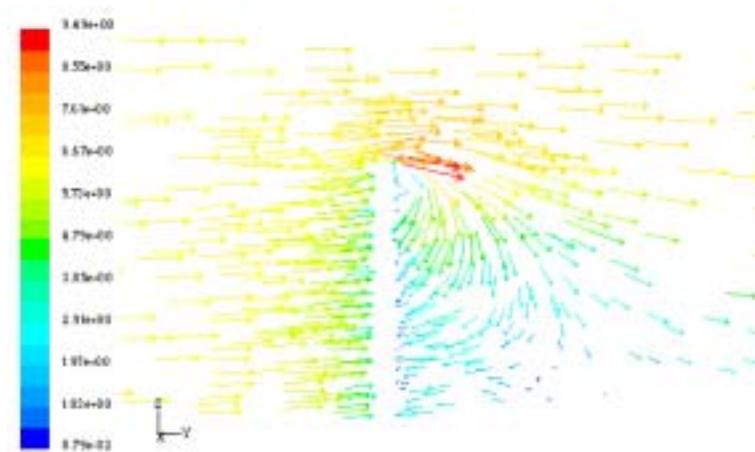
4.2.2.4 삼각형

1) 배치각도 0°

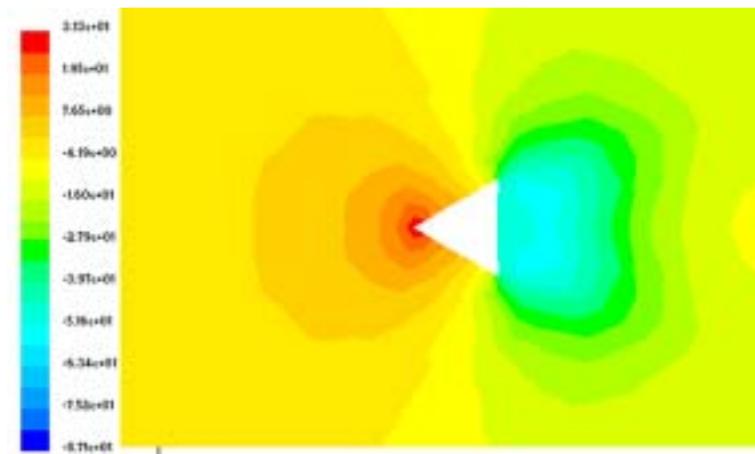
(그림 4.18)과 (그림 4.19)에서 볼 수 있듯이, 이 형태에서 기류의 최고 속도는 모서리 부분에서 8.55m/s로 나타났고, 다른 형태에 비해 건물 후면부에 소용돌이와 역류가 매우 강하게 나타났다. 또한 지붕면에서 9.49m/s의 강한 하강기류가 발생하므로, 최상층의 유출구로 바람이 유입될 가능성이 매우 크다. (그림 4.20)에서처럼 건물 전면부는 최고 31.3Pa, 후면부는 -57.5Pa로 나타났다.



(그림 4.18) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.19) 수직 단면 기류패턴 -Vector



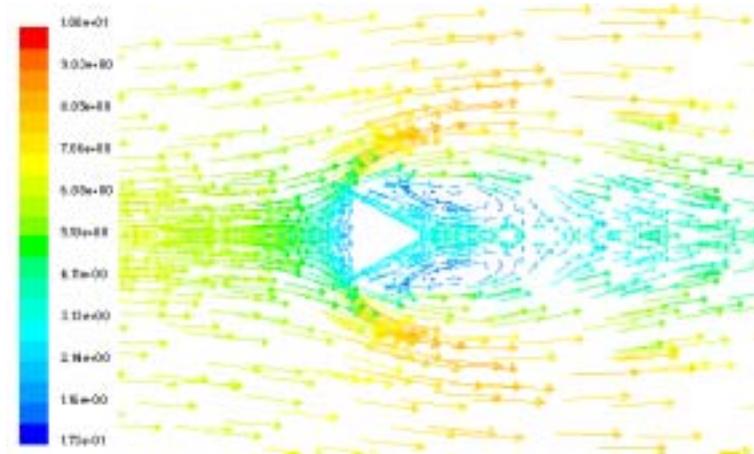
(그림 4.20) 풍압계수 (Cp) -Contour

2) 배치각도 60°

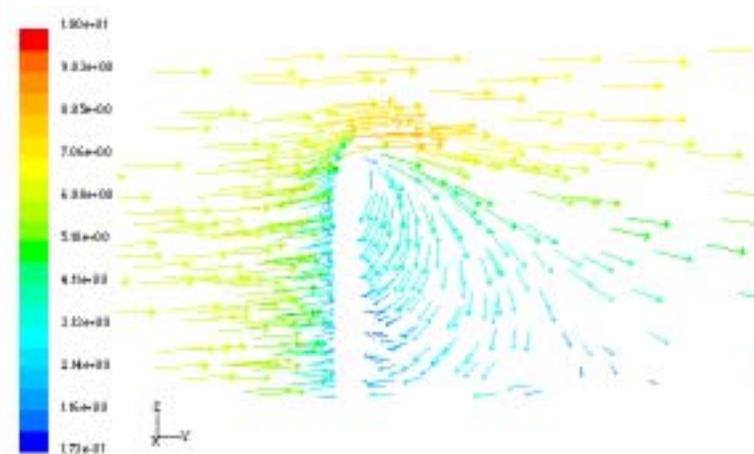
(그림 4.21) 및 (그림 4.22)은 전면부에서 기류가 퍼지면서 후면부에 역류를 발생시키고, 역시 지붕면에서 하부로 하강기류가 발생한다. (그림 4.23)에서 건물 전면부는 최고 43.6Pa, 후면부는 -57.9Pa의 거대한 부압이 형성되어 차압이 크게 나타났다.

평면 형태가 삼각형인 경우, 지붕면으로부터 하강기류가 강하고, 역류되는 기류

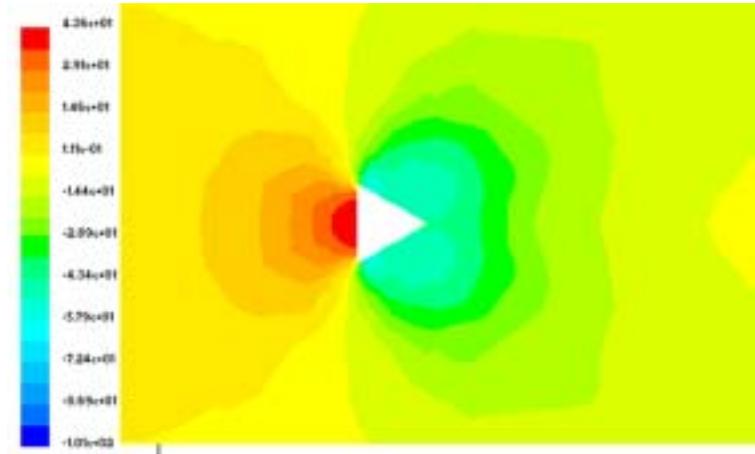
가 많기 많이 발생하였다. 또한 배치각도 60°에서 다른 평면에 비하여 차압이 크게 발생하였다. 따라서 초고층 건물에 적용하기에 불리한 것으로 나타났다.



(그림 4.21) 횡단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.22) 수직 단면 기류패턴 -Vector



(그림 4.23) 풍압계수 (C_p) -Contour

4.2.3 소 결

초고층 건물에서 주동형태에 따른 건물 주변의 기류패턴과 풍압계수를 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 평면 형태가 원형인 경우, 건물주변과 지붕면의 기류패턴과 차압분포가 가장 유리한 것으로 나타났다. 다른 평면과는 달리 건물 후면부에 소용돌이나 역류가 크게 발생하지 않았으며, 차압이 상대적으로 작게 나타났다. 또한 원형의 평면형태는 서울처럼 주풍향이 일정하지 않은 경우에, 풍향과 관계없이 일정한 기류패턴을 갖을 수 있으므로 초고층 건물에 적용하기에 가장 우수한 평면 형태라고 생각된다.

2) 평면 형태가 정사각과 직사각형인 경우, 모서리 부분에서 매우 높은 부압이 형성되면서 속도가 크게 증가하는 기류패턴을 보였고, 지붕면에서 기류속도가 크게 증가하였다. 또한 각이 있는 형태인 경우에, 풍향에 따라 기류패턴과 풍압계수가 크게 변화하여, 초고층 건물에 자연환기를 적용할 때 고려해야 할 변수가 증가하게 된다. 따라서 두 형태는 초고층 건물에서 적용하기에 적당하지 않다.

3) 평면형태가 삼각형인 경우 역시 풍향에 따라 기류패턴과 풍압계수가 크게 변화하며, 건물 후면부에 역류가 강하게 발생하고, 배치각도 60°에서는 건물 전후면부에 차압이 크게 나타났다. 또한 지붕면에서 하강기류가 가장 강하게 발생하므로 초고층 건물에서 매우 불리한 형태인 것으로 나타났다.

4) 평면 형태별 외피면적에 대한 바닥면적의 비는 원형 0.0375, 정사각형 0.0332, 직사각형 0.0307, 삼각형 0.0292로 평면이 원형인 경우가 가장 큰 값을 갖게된다. 외피면적에 대한 바닥면적비가 클수록 외기에 의한 영향이 줄어들기 때문에, 4가지 평면 형태 중 외기에 의한 영향을 고려하였을 때 원형평면이 가장 유리할 것으로 평가된다.

4.3 설계 변수에 따른 초고층 건물 자연환기 성능 분석

4.3.1 이중외피 유형 선정

4.3.1.1 개요

이중외피는 각 유형에 따라 이중외피 구성과 개구부의 특성이 달라지기 때문에, 이중외피를 적용함에 있어 어떤 유형이 적합한지 판단하는 것이 우선적으로 필요하다. 건물의 높이와 우세풍, 굴뚝효과의 정도는 각 유형마다 다르고, 이는 이중외피 설계에 큰 영향을 미친다. 따라서 이중외피 유형을 선정하는 일이 이중외피 설계에서 반드시 필요하다.

4.3.1.2 이중외피 유형 선정 절차 및 적용

본 연구에서는 초고층 건물에 적용가능한 이중외피 유형을 선정하기 위하여 문헌연구를 통하여 다음과 같은 이중외피 시스템 평가인자를 선정하고, 이중외피 유형선정 절차를 제시하였다.

평가인자는 풍압 감소 효과, 바람에 의한 자연환기 효과, 문을 개폐하는 힘, 굴뚝 효과에 의한 자연환기 효과, 인접실간 소음 제어, 오염물 확산 제어, 프라이버시,

외부에 대한 방음효과, 중공층 내 공간활용, 외피와 차양장치 유지관리로 총 10가지이며, 이중외피를 유형별로 비교분석한 것은 <표 4.4>와 같다.

평가인자를 바탕으로 비교분석을 통한 이중외피 유형선정 절차 방법은 다음과 같다.

1) 초고층 건물에 대한 제약 적용

중공층의 수직높이가 높아질수록, 특히 초고층 건물인 경우 중공층 내부의 굴뚝 효과로 인하여 큰 문제가 발생하게 된다. 따라서 초고층 건물에서는 특성상 수평 구획이 불가능한 전면형과 샤프트-박스형을 적용할 수 없다.

2) 다층/단층 이중외피 선정

다층 이중외피에서는 굴뚝효과가 강하여, 중공층 내 자연환기 성능이 좋아지지 만, 연기나 오염물을 확산시킬 우려가 있으며, 초고층인 경우 굴뚝효과로 인한 상승기류가 기하급수적으로 증가하므로 단층 이중외피를 선택하였다. 따라서 건물이 초고층인 경우, 박스형 또는 복도형의 단층 이중외피를 선택한다. 단층 이중외피는 유지관리 또는 사람의 접근이 용이하며, 풍속과 풍압이 강한 초고층 건물에서 풍압의 감소효과가 있으므로 단층 이중외피를 선택한다.

3) 박스형/복도형 이중외피 선정

박스형과 복도형 이중외피의 차이점은 수직구획의 유무이다. 복도형은 풍압감소 효과와 문을 개폐하는 힘이 박스형보다 유리하지만, 소음, 오염물의 확산 방지, 프라이버시 측면에서 박스형보다 크게 불리한 것으로 나타났다. 박스형은 수직구획이 되어있어, 재실자의 쾌적에 대한 요구조건이 다양할 때 유리하다.

4) 초고층 건물에서의 이중외피 유형 선택

따라서 본 연구에서는 이중외피 유형 선정 절차에 따라 초고층 사무소 건물의 경우에 박스형을 적용하는 것이 가장 유리할 것으로 판단하여, 시뮬레이션 실행시 박스형 이중외피를 적용하였다.

<표 4.4> 평가인자에 따른 이중외피 유형별 특성 비교

이중외피유형 평가인자		단층형		다층형	
		박스형	복도형	샤프트 박스형	전면형
초 고 층	풍압 감소 효과	○	◎	초고층 불가능	초고층 불가능
	바람에 의한 자연환기 효과	○	○		
	문을 개폐하는 힘	○	◎		
굴뚝효과에 의한 자연환기 효과		△	△	◎	×
인접실간 소음 제어		◎	△	△	△
오염물 확산 제어		◎	○	△	△
프라이버시		◎	△	△	△
외부에 대한 방음효과		○	○	◎	◎
중공층 내 공간활용		◎	◎	×	×
외피와 차양장치 유지관리		○	○	△	×
적용건물		초고층건물	초고층건물	중규모건물	음향중시공간

◎: 매우 유리함, ○: 유리함, △:보통, ×:불리함

4.3.2 중공층 너비 선정

중공층은 목적에 따라 너비를 달리하며, 목적에 따른 분류는 <표 4.5>와 같으며, 분류방법은 기존의 연구문헌을 기본으로 하였다²⁾. 초고층 건물에서 중공층의 너비 500mm 이상에서는 풍압의 감소 효과를 보기 어려우므로, 중공층의 너비를 고려하여 설계해야만 한다.

중공층 너비가 50~200mm는 Climate Facade에서 주로 사용하고, 500mm 이하까지는 풍압의 감소효과가 있다. 500~2000mm는 중공층으로의 접근이 가능하므로, 청소 등의 유지관리 측면에서 편리하고, 복도공간으로 사용할 수도 있다. 중공층 너비가 2000mm 이상인 경우 중공층 공간이 아트리움 등의 공간으로 이용이 가능하다.

따라서 초고층 사무소 건물에 이중외피를 적용할 때, 풍압의 감소효과와 청소 등의 유지관리의 두 가지 측면에서 중공층 너비 500mm가 유리할 것으로 판단되어, 시뮬레이션 실행시, 이 값을 적용하였다.

2) "Active facades; Source book for better understanding of conceptual and operational aspects of active facades", Belgian Building Research Institute, Version 1, p47, 2002.

<표 4.5> 사용목적에 따른 중공층 너비

중공층 너비	목 적
< 50 mm	실제 거의 사용되지 않음
50 ~ 200 mm	Climate facade에서 주로 사용
200 ~ 500 mm	풍압 감소효과
500 ~ 2000mm	유지관리 측면에서 사람이 접근 가능
2000 mm <	아트리움 등 다른 용도로 이용 가능

4.3.3 안쪽외피 창호 계획

초고층 사무소 건물에 자연환기를 가능하게 하기 위해, 평면형태, 이중외피 유형 그리고 중공층의 적정 너비, 유입구와 유출구 간 수직거리 및 면적이 정해지면, 안쪽 외피의 창호를 계획한다. 환기의 기능을 고려했을 때, 실을 통과하는 기류패턴과 속도는 중공층으로 유입된 바람이 또다시 창호로 유입될 때의 방향, 창호와 문의 크기 및 비율과 같은 요소들에 의해 조절된다.

본 연구에서는 앞서 선정했던 이중외피의 유형, 중공층의 너비, 유입구와 유출구 간 수직거리 및 면적을 적용하고, 창호의 종류를 변화시키면서, 실내기류패턴과 속도 및 실내를 통과하는 풍량을 비교, 검토함으로써 초고층 건물에 자연환기 계획을 위한 적정안을 제시하고자 하였다.

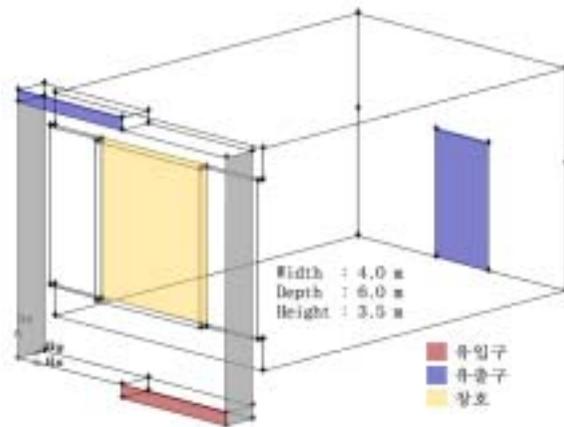
1) 해석 공간

① 공간형태

실내 기류의 패턴과 속도는 공간크기에 따라 변화하므로 각 실내공간의 폭, 깊이, 높이와 형태 등은 실내기류를 예측할 수 있는 척도가 된다. 본 연구에서는 사무소 공간을 개실로 설정하였으며, 이 공간은 사무소 건물이 실린더형인 경우, 어느 곳이나 적용할 수 있는 단위공간이 될 수 있다. 또한 유입구와 유출구를 대각선으로 위치하여, 서로 직상층에서 만나지 않도록 함으로써 유출구에서 빠져나온 기류가 다시 유입구로 재유입되지 않도록 하였다.

기준층 층고는 3.5m이고, 실 깊이는 6m인 개실을 기준으로 하였으며, 바깥외피

유입구와 유출구 간 수직거리는 4m, 입구와 유출구의 크기는 각각 $0.20\text{m}^2/\text{m}$ 로 같다고 가정하였다. 창호가 설치되는 면적은 $2 \times 2.5\text{m}^2$ 이고, 창호를 통하여 실내로 유입된 기류가 빠져나가는 문의 면적은 $1 \times 2\text{m}^2$ 라고 가정하였다. 이 공간은 상하 또는 좌우로 합쳐져서 하나의 건물이 완성될 수 있는 단위공간이 될 수 있다(그림 4.24).



(그림 4.24) 이중외피가 적용된 단위공간 (개실)

② 창호와 문의 위치와 크기

자연환기를 하는데 있어서 창호와 문은 각각 별도로 자연환기 성능에 영향을 미치는 것이 아니라 하나의 시스템으로 작용하므로 상호관계가 중요하다. 실내 기류 속도는 두 창호 중 더 작은 창호의 크기에 의해 좌우된다³⁾.

기류가 유입되는 창호와 기류가 빠져나가는 문의 면적비는 창호의 종류 또는 개폐각에 따라 달라지는데, 문의 크기가 커지면 실제 기류속도 분포에 거의 영향이 없는 반면 창문의 크기가 커지면 실내기류가 보다 넓게 분포되므로, 본 연구에서는 <표4.6>과 같이 창문의 유효면적을 크게 하였다. 즉 창문(유입구)과 문(유출구)의 상대적 크기에서 창문의 크기는 실내기류에 영향을 미치고, 문의 크기는 풍량에 영향을 미치게 된다⁴⁾.

3) Terry S. Boutet, "Controlling Air Movements, McGraw-Hill BookCompany", New York, 1987

본 연구에서는 미서기창만을 제외하고, 모든 창호에 대하여 (그림 4.24)의 창호가 설치되는 면적은 동일하게 하였고, 창호의 종류와 개폐각만을 변화시켰으며, 유효개구면적과 면적비는 <표4.6>과 같다. 단, 미서기창은 횡여닫이창과 개구면적을 동일하게 하였고, 문은 창호가 위치한 맞은 편 벽면의 중앙부에 위치하도록 하였다.

<표 4.6> 창호 종류에 따른 유효창호면적

창호 종류		창호의 유효면적 (m ²)	창문:창 면적비
미서기		5	2.5 : 1
90° 개 폐	횡여닫이-1	5	2.5 : 1
	횡여닫이-2	5	2.5 : 1
	횡여닫이-3	5	2.5 : 1
45° 개 폐	횡여닫이-1	3.3	1.6 : 1
	횡여닫이-2	3.3	1.6 : 1
	횡여닫이-3	3.3	1.6 : 1
종여닫이-1		3	1.5 : 1
종여닫이-2		4	2 : 1
회전창-1		5	2.5 : 1
회전창-2		4	2 : 1
회전창-3		4	2 : 1

③ 창호의 종류

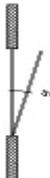
사무실 안쪽 외피에 적용이 가능한 창호의 종류는 개폐방법에 따라 <표4.6>과 같이 분류하였다.

<표 4.7> 창호의 종류

구 분	특 성	종 류
단순형	창호가 같은 면에서 미끄러져 열리는 창호	미서기창, 오르내리창
수직형	수직 축을 주축으로 회전하여 열리는 창호	횡여닫이창, 수직회전창, 접이창
수평형	수평축을 주축으로 회전하여 열리는 창호	종여닫이창, 수평회전창, 오닝창

4) 이수연, “공동주택의 자연통풍 계획에 관한 연구”, 중앙대학교 박사논문, p121, 1999.

이중외피로 된 건물에서는 횡여단이창, 종여단이창, 수직회전창을 주로 적용할 수 있으며, 미서기창을 포함하여 그 외의 창호 종류는 거의 이용되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 이중외피로 된 초고층 건물에 적용할 수 있는 창호의 종류를 (그림 4.25)에 제시하였으며, 이 창호를 분석대상으로 하였다. 또한 중공층 너비가 500mm로 매우 좁기 때문에, 여단이창은 실내 쪽으로만 개폐한다.

종류	미서기창	횡여단이창	종여단이창	수직회전창
입면				
단면 또는 평면				

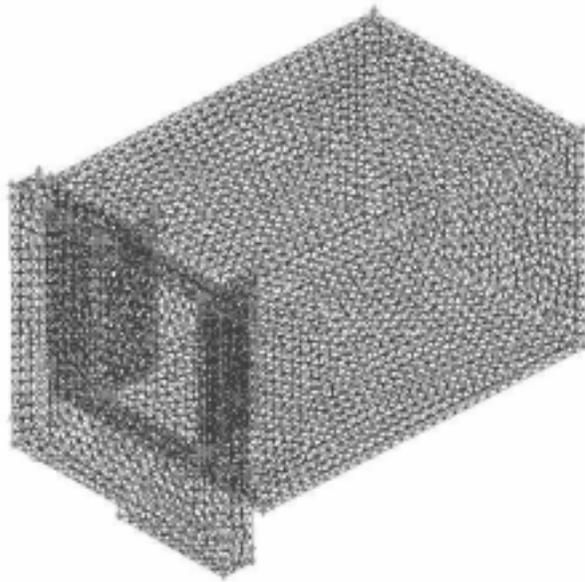
(그림 4.25) 이중외피 건물에 적용할 수 있는 창호종류

2) 경계 조건

본 연구에서는 중공층을 통과하여 실내로 유입되는 실내기류패턴 및 속도, 유입 풍량만을 평가척도로 보았으며, 풍속 및 풍량 산정은 CFD 프로그램(Fluent)을 사용하여 분석하였다.

경계조건으로 사용된 외기풍속은 서울지역 주간 평균풍속인 2.63m/s을 120m(30층~35층 사무소 건물 기준)에서 보정한 값인 5.54m/s이며, 전면 벽체(바깥외피)에 유입구에 수직(90°)으로 부는 것으로 입력하였다. 그러나 유입구를 통하여 중공층으로 들어온 기류는 상부로 꺾어져 올라가는 기류패턴을 보이게 된다. 이 때 바깥외피 유입구 부분의 루버 및 와이어 등으로 풍압 및 풍속 등을 제어할 수 있으나, 여기서는 고려하지 않았다. 중력가속도는 9.81m/s²이고, 공기밀도는 1.225kg/m³이며, 온도는 고려하지 않고 해석을 수행하였다. 계산의 격자체계는 TGrid를 사용하

였으며, 창호의 종류에 따라 70,000~113,000 개의 격자가 사용되었다. 해석 대상 공간의 격자체계는 (그림 4.26)과 같다.



(그림 4.26) 해석공간 격자모델(횡여단이창)

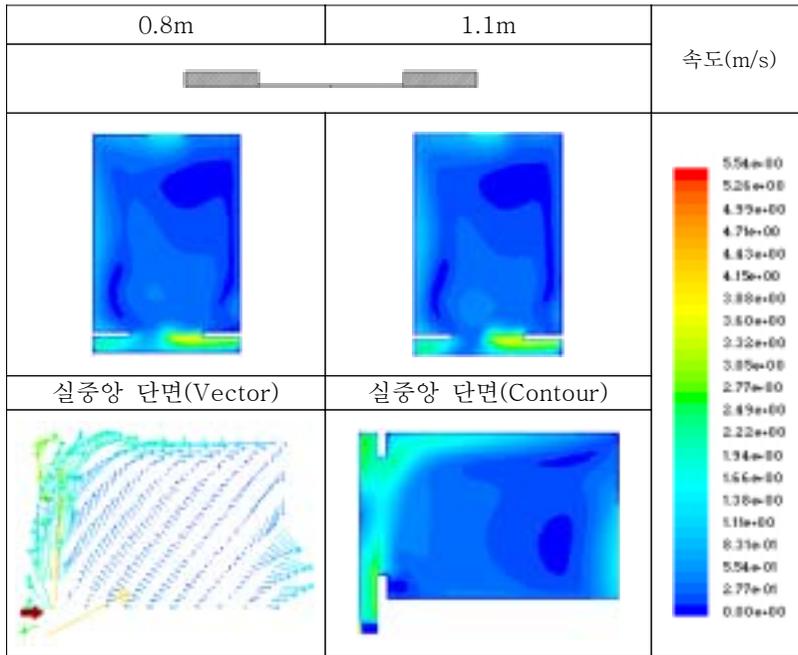
4.3.4 실내자연환기성능

앞서 기술하였던 이중외피의 설계요소들을 단위공간에 적용한 후, 창호의 유형(미서기, 종여단이, 횡여단이, 회전창) 및 개폐각도에 따라, 적정 개폐각과 유효 창호 면적을 산정하였다. 또한 유입풍의 초기방향을 정확하게 알 수 없으므로 시뮬레이션을 통하여 실내의 기류분포 및 속도와 풍량을 분석한 후, 풍량이 필요 환기량을 만족하는지 분석하였다.

이 때 실내의 기류분포는 종이가 날릴 우려가 있는 책상높이 0.8m와 사무실에서 의 주자세인 앉은 자세에서 사람의 목 위치(기류 쾌적을 느끼는 부분)인 1.1m 높이에서 분석하였다. 또한 이중외피를 통하여 자연환기 하는 동안은 공조를 하지 않는다고 가정하고, 실의 공조기류는 고려하지 않았다.

1) 미서기창

미서기창은 이중외피가 적용된 건물에서는 거의 사용되지 않는 창호형태이다. 그러나 (그림 4.25)와 같이 5.54m/s의 풍속이 이중외피를 통하여 유입된 기류의 속도가 감소하면서, 천정 부분에서 2m/s 정도의 다소 강한 기류분포를 보였고, 바닥으로부터의 높이 0.8m와 1.1m부근에서는 실내의 기류속도가 0.14~0.28m/s로 나타났다. 따라서 유입구 부분에 루버 등의 설계요소를 통하여 추가적인 제어가 있다면 더 좋은 기류분포를 나타낼 것으로 예상된다. 미서기창에서의 풍량은 2.46m³/s로 나타났다.



(그림 4.27) 미서기창의 실내기류분포

2) 횡여단이창

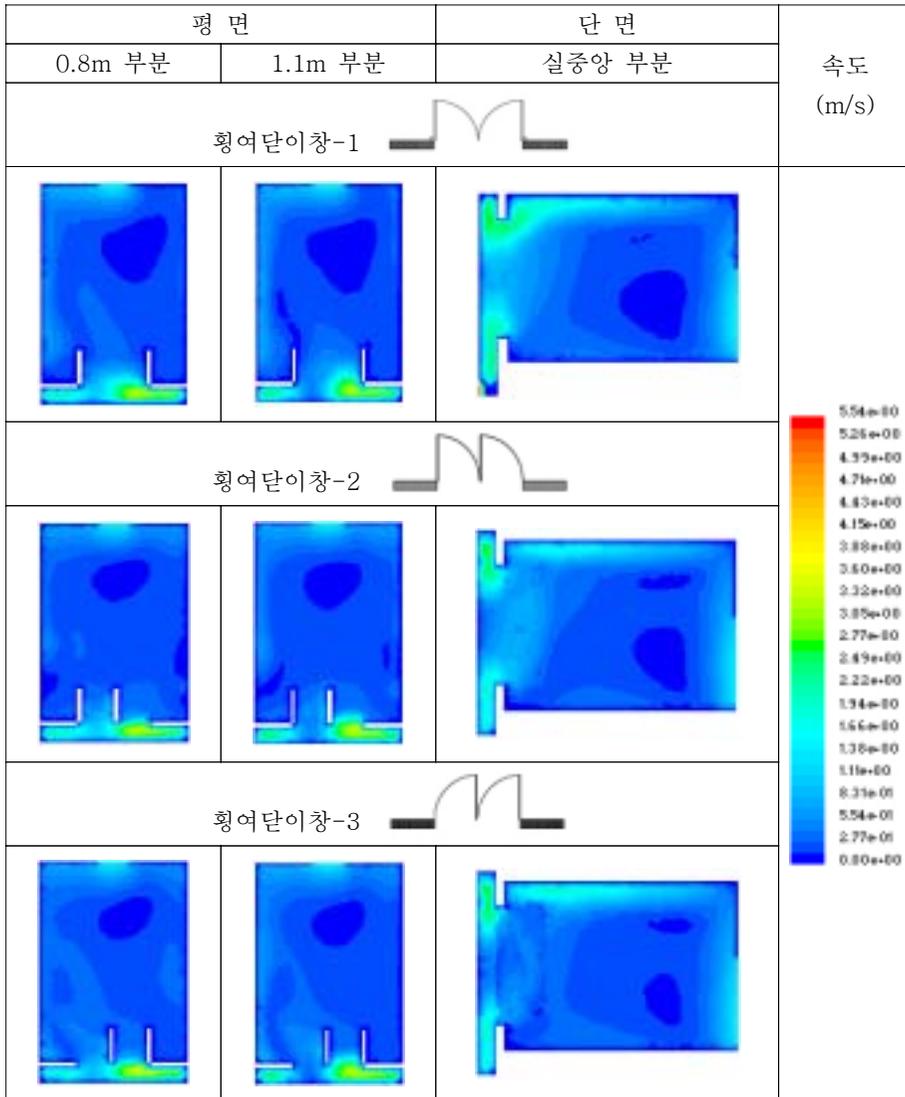
횡여단이창은 여는 방향에 따라 개구면적을 줄일 수 있고, 유입되는 기류의 방향을 수평적으로 조절할 수 있다.

(1) 90° 개폐

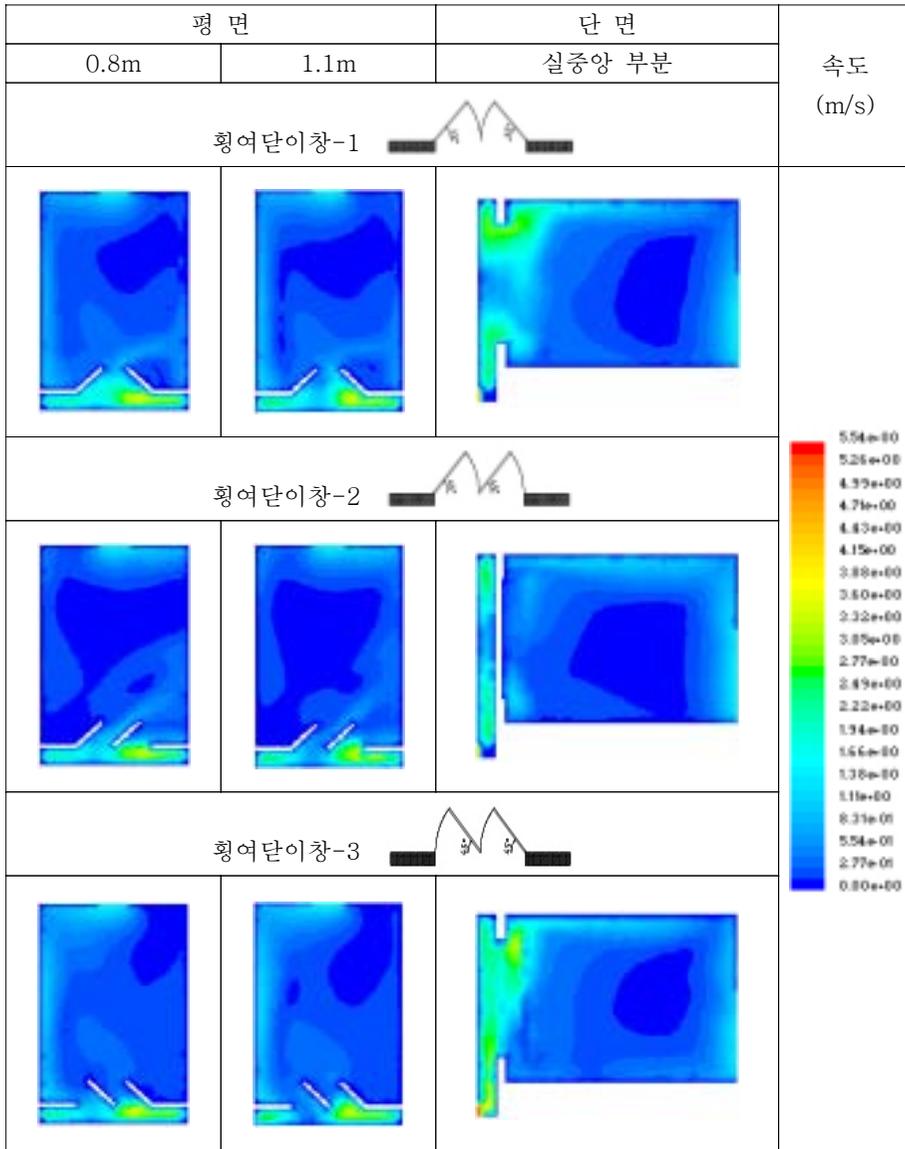
(그림 4.26)에 나타난 모든 경우에서, 실내 기류 속도는 0.14m/s~0.28m/s로 나타나고 있다. 횡여단이창-1과 3은 창문 근처에서의 기류속도가 횡여단이창-2에 비하여 강하게 나타나고 있으며, 특히 횡여단이창-2의 경우는 0.8m와 1.1m높이에서 0.14m/s의 기류가 지배적으로 나타나고 있다. 그러나 횡여단이창은 동일한 유효개구면적의 미서기창에 비하여, 실내기류 속도가 쾌적 조건에 더 근접하는 것으로 나타나고 있다. 풍량은 횡여단이창-1이 2.58m³/s, 횡여단이창-2와 3이 각각 2.55m³/s로 미서기창보다 약간 높은 값이다.

(2) 45° 개폐

(그림 4.27)에서처럼 횡여단이창을 45°만 개폐한 경우는 90°개폐한 경우에 비하여 기류 패턴의 변동이 커졌다. 횡여단이창-1과 2의 경우 창문 근처에서 1.66m/s~1.94m/s의 기류가 집중적으로 오른쪽 방향으로 퍼져나가는 형태이며, 실 중앙부분은 무풍영역이 다른 창호에 비하여 크게 나타나고 있다. 횡여단이창-3은 왼쪽벽면을 따라 1.66m/s~1.94m/s의 기류가 흐르는 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 풍량은 횡여단이창-1이 2.54m³/s, 횡여단이창-2와 3이 각각 2.74m³/s, 2.78m³/s로 나타났다.

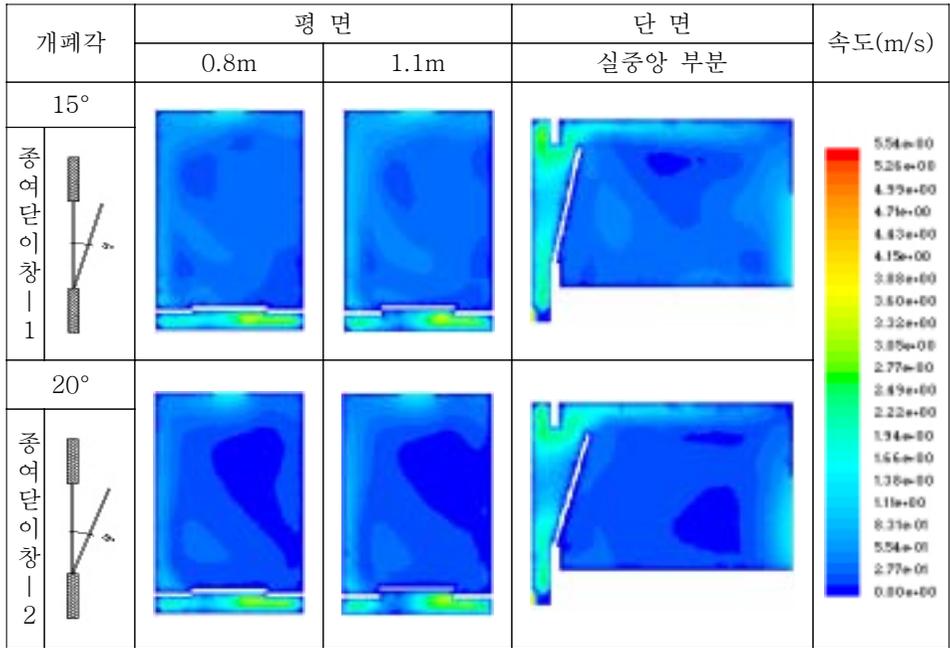


(그림 4.26) 황여단이창의 실내기류분포 (문 개폐각 90°)



(그림 4.27) 횡여단이창의 실내기류분포 (문 개폐각 90°)

3) 종여단이창



(그림 4.28) 종여단이창의 실내기류분포

종여단이창의 개폐각은 보통 30°까지이다. (그림 4.28)과 같이 종여단이창-1은 실내기류속도가 0.28m/s가 지배적이다. 이는 다른 창호에 비하여 높은 값이지만, 0.8m와 1.1m 높이에서 미서기창이나 여단이창에서 창문 근처에서 강한 기류가 나타나는데 비하여, 다른 창호에서 나타나는 국부적인 강한 기류가 나타나지 않고 있다. 따라서 이중외피 유입구 부분에 풍속과 풍량을 제어하는 루버 등의 설계요소를 추가로 설치한다면, 실전체적으로 균일한 속도의 기류분포가 나타날 것으로 예상된다.

종여단이창-2는 실내 기류속도는 종여단이창-1에 비하여 낮게 나타나며, 무풍지역이 다소 크게 발생하고 있다. 풍량은 종여단이창-1이 2.74m/s이고, 종여단이창-2가 2.49m/s로 나타났다. 이때 유효개구면적이 더 작은 종여단이창-1의 풍량이 더 큰 이유는, 창문과 창 면적비가 종여단이창-2에 비하여 작기 때문에, 유출구의

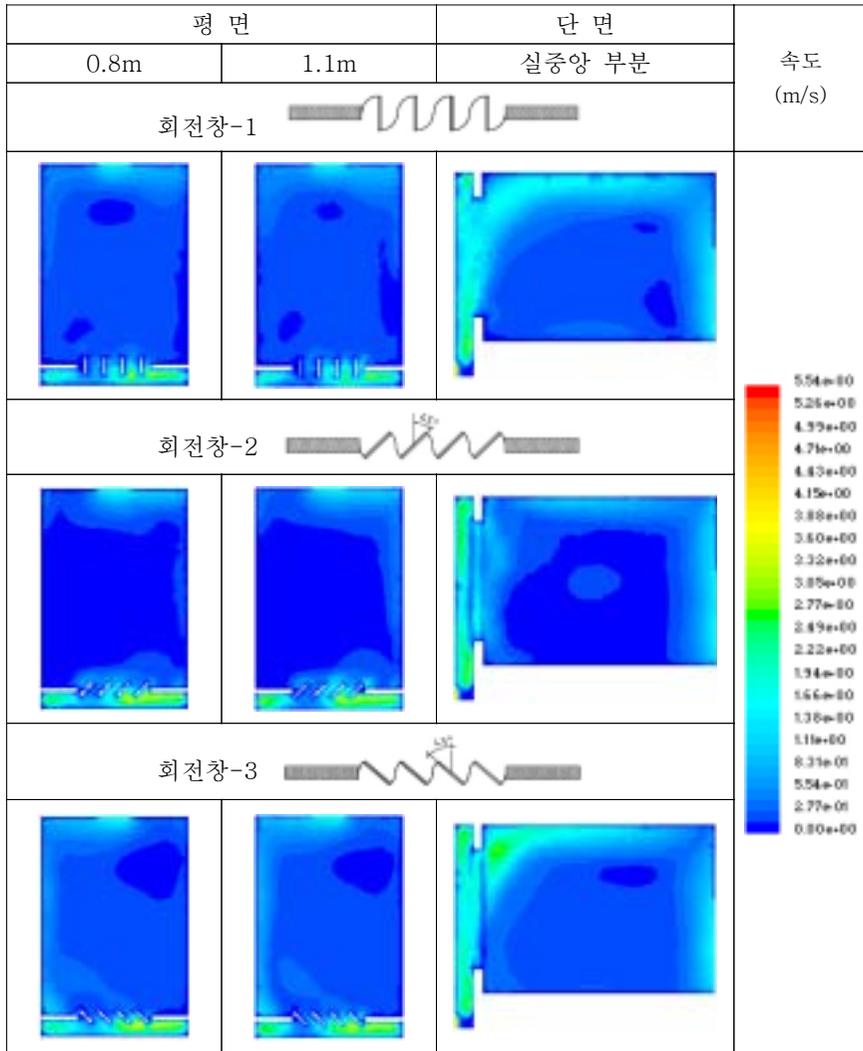
상대적 크기가 증가하므로, 풍량이 증가하기 때문이다.

4) 회전창

(그림 4.29)에서처럼 회전창은 개폐방향과 각도에 따라 매우 상이한 기류분포를 보이고 있다. 회전창-1은 0.8m와 1.1m의 높이에서 0.14m/s의 기류가 지배적으로 분포되고 있으며 무풍지역도 거의 나타나지 않고 있다. 따라서 이중외피 유입구 부분에 루버 등의 설계요소를 전혀 추가하지 않은 조건에서, 창호의 여러 조건 중 가장 좋은 기류분포를 나타내고 있다.

그러나 회전창-2에서처럼 개폐하면, 이중외피 오른쪽 하단에서 유입되는 외기의 기류통로를 회전창이 막게 되므로, 실의 거주영역에 기류는 거의 나타나지 않았다. 회전창-3의 경우는 0.8m와 1.1m의 높이에서 0.14m/s의 기류가 지배적으로 나타나지만, 1m/s 정도의 다소 강한 기류 왼쪽 벽면을 따라 흐르게 된다.

풍량은 회전창-1이 2.79m³/s, 회전창-2가 2.86m³/s, 그리고 회전창-3이 2.83m³/s로 나타났으며, 회전창-1의 유효개구면적이 가장 크기 때문에, 창문과 창면적비가 회전창 2와 3에 비하여 크므로, 풍량은 적게 나타났다.



(그림 4.29) 회전창의 실내기류분포

4.3.5 소 결

이중외피를 통과한 외기가 안쪽외피 창호를 통하여 실내로 유입될 때, CFD를 통하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 이중외피는 안쪽외피의 개구부와 바깥외피에 의한 중공층으로 되어 있어, 풍압에 의한 영향을 둔화시킴으로써, 완충공간으로 작용하여, 유입기류를 완화시키는 것으로 나타났다.

2) 창호의 종류와 개폐방법, 개폐각도에 따른 적정기류패턴을 CFD 해석결과에 따라 분석한 것은 <표 4.8>과 같다.

① 같은 창호 종류라 할지라도, 개폐방법과 개폐각도에 따라서 실내의 기류패턴과 속도에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 회전창-1과 3, 횡여닫이창-2는 무풍지역 없이 0.14m/s의 기류가 실내에 지배적으로 나타나 실내쾌적기류속도를 만족하는 것으로 나타났다.

② Wall-Jet 현상에 대해서 회전창과 횡여닫이창 90° 개폐에서 매우 유리하게 나타났으나, 개폐각 45° 횡여닫이창에서 가장 불리하게 나타났다.

③ 창문 근처의 기류속도에 대해서, 종여닫이창이 창문 근처에서의 강한 기류를 제어하는데 가장 유리한 것으로 나타났으며, 회전창-1과 3 역시 창문근처의 기류속도 제어에 유리한 것으로 나타났다.

이중외피를 적용했을 때, 안쪽외피의 창호로 가장 유리한 형태는 회전창-1로 나타났다고, 회전창-3과 종여닫이창-1도 바람직한 창호 형태로 나타났다. 또한 횡여닫이-2는 실내기류분포 및 속도, Wall-Jet 현상 등에 대하여 모두 유리하였으나, 창문근처에서 기류속도에 대해서 매우 불리한 형태이므로, 이를 적절하게 제어시킨다면, 자연환기에 매우 유리할 것으로 생각된다. 횡여닫이창의 경우, 90° 개폐에서는 유리하게 나타난 반면, 45° 개폐에선 매우 불리한 기류패턴을 보이는 것으로

나타났다.

<표 4.8> 창호 종류에 따른 평가

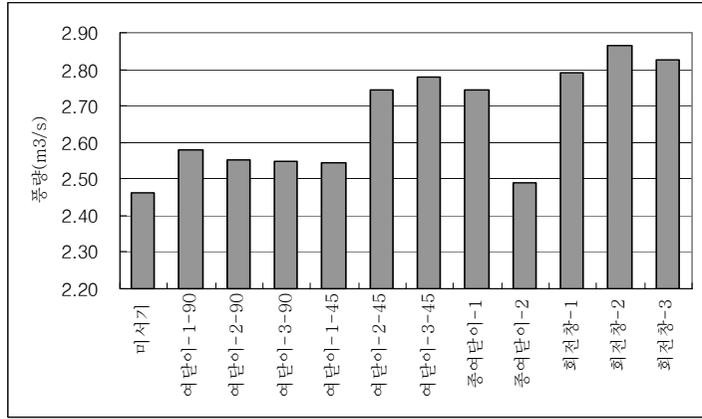
평가인자	미서기	개폐각 90°			개폐각 45°			중여단이 1	중여단이 2	회전창 1	회전창 2	회전창 3
		중여단이 1	중여단이 2	중여단이 3	중여단이 1	중여단이 2	중여단이 3					
실내 주 기류속도	△	△	○	△	×	×	△	△	△	◎	×	○
실내 기류분포	△	△	○	△	×	×	△	◎	△	◎	×	○
Wall-Jet 현상	△	○	◎	◎	△	△	×	△	△	◎	◎	△
무풍지역 면적	△	△	○	○	×	×	△	◎	△	◎	×	○
창문근처기류속도증가	○	×	×	△	×	×	○	◎	◎	○	△	○

◎: 매우 유리함, ○: 유리함, △: 보통, ×: 불리함

3) 외기 풍속 5.54m/s(높이 120m 보정풍속)일 때, 이중외피를 통하여 실내로 유입된 풍량은 <표 4.9>와 같다. 이 값들은 이중외피의 바깥외피 유입구 부분에 루버, 메시, 와이어 등을 고려하지 않은 값이므로, 실제 이중외피가 적용된 건물에서보다 다소 크게 나타난 값이다.

<표 4.9> 실내통과 풍량

창호 종류	풍량(m³/s)	
미서기	2.46	
90° 개 폐	중여단이-1	2.58
	중여단이-2	2.55
	중여단이-3	2.55
45° 개 폐	중여단이-1	2.54
	중여단이-2	2.74
	중여단이-3	2.78
중여단이-1	2.74	
중여단이-2	2.49	
회전창-1	2.79	
회전창-2	2.86	
회전창-3	2.83	



(그림 4.30) 창호 종류 및 개폐방법에 따른 풍량

(그림 4.30)에서 볼 수 있듯이, 풍량은 미서기창과 종여닫이창-2가 2.50m/s 이하의 값으로 가장 낮게 나타났으며, 창호 종류별로 약간의 차이를 보이고 있으나, 초고층 높이에서의 값이므로 2.50~2.90m³/s로 풍량은 다소 크게 나타났다.

이상의 값들은 창과 문이 모두 열려있어 풍량이 최대가 되는 맞통풍의 조건에서의 값이다. 그러나 실제로 사무소 공간의 재실기간동안 문이 닫혀있는 경우가 많을 것이며, 문이 닫히면, 환기는 창호를 통해서만 이루어지기 때문에 풍량은 상당히 감소할 것이라고 생각된다.

제 5 장 결 론

본 연구는 이중외피 시스템을 사무소 건물에 적용함으로써, 초고층 건물에서도 실내 자연환기가 가능하게 하는 것을 목적으로 한다. 문헌 및 사례조사를 통하여 이중외피 시스템 계획요소들을 조사, 분석하고, 이중외피 시스템을 건물에 적용하는 과정에서 고려해야할 설계변수들을 굴뚝효과에 의한 자연환기와 풍력에 의한 자연환기의 두 가지 측면에서 분석하였다.

1. 문헌 및 사례조사를 통하여 이중외피 시스템의 유형 및 특성을 분석하고, 설계변수들을 추출하였다. 이중외피 시스템을 건물에 적용하는 과정에서 고려해야할 설계변수는 건물의 형태, 바깥외피의 유입구와 유출구 수직거리 및 유효면적, 이중외피 유형, 중공층 너비, 안쪽외피의 창호 종류 및 개폐각 등이다.

2. 이중외피 시스템을 적용하였을 때, 굴뚝효과에 의한 자연환기를 예측식으로 분석한 결과, 바람이 없는 조건에서 높은 환기량을 기대한다면, 유입구와 유출구 간 수직거리가 클수록 유리하지만, 초고층 건물에서 풍압에 의한 효과가 훨씬 크므로 두 측면을 모두 고려하였을 때, 개구부간 수직거리 4m가 바람직한 것으로 나타났다.

3. 이중외피를 통과하는 기류량이 많아질수록, 창호의 면적이 작을수록 압력손실은 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 창호 면적 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이하에서는 기류량이 증가하면 압력손실이 기하급수적으로 증가하는데 반해, $0.20\text{m}^2/\text{m}$ 에서는 기류량이 증가하여도 압력손실이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 압력손실이 굴뚝효과에 의한 상승력보다 크게 되면 중공층 환기가 불가능해지므로, 창호 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이상의 값이 요구된다. 또한 중공층에서 외부로 제거해야 하는 열량이 동일할 때, 창호 면적이 작을수록 냉각해야 하는 온도는 커지는 것으로 나타났다. 즉 창호의 면적이 커질수록, 냉각온도가 작아지기 때문에 외기와 중공층 간 온도 차에 영향을 덜 받게 된다. 이러한 측면을 고려하였을 때, 창호 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이상이 되도록 계획하는 것이 바람직하다.

4. 풍속데이터를 바탕으로 초고층건물 주변기류를 분석한 결과, 평면 형태가 원형인 경우, 건물주변과 지붕면의 기류패턴과 차압분포가 가장 유리한 것으로 나타났다. 다른 평면과는 달리 건물 후면부에 소용돌이나 역류가 크게 발생하지 않았으며, 차압이 다른 평면 형태에 비하여 상대적으로 작은 값을 나타냈다. 또한 원형의 평면형태는 서울처럼 주풍향이 일정하지 않은 경우에, 풍향과 관계없이 일정한 기류패턴을 갖을 수 있고, 외피면적에 대한 바닥면적 비가 4가지 평면형태 중 가장 크므로, 외기에 의한 영향을 최소화시킬 수 있다. 따라서 원형은 초고층 건물에 적용하기에 가장 우수한 평면형태로 평가되었다.

5. 이중외피 유형 선정을 위한 평가인자를 추출하고, 이중외피 유형의 특성을 평가인자에 따라 분석, 평가하였다. 풍압 감소효과를 기대하였을 때, 초고층 사무소 건물에 가장 유리한 이중외피 유형은 박스형과 복도형인 것으로 나타났으나, 소음, 화재 및 프라이버시 측면에서 박스형이 복도형보다 유리하므로 시뮬레이션 실행 시 복도형을 선택하여 해석하였다. 또한 풍압의 감소효과와 유지관리 측면에서 유리한 중공층 너비는 500mm인 것으로 판단하였다.

6. 위에서 제시한 이중외피 설계요소들을 개실기준 단위공간에 적용하여, 높이 120m에서 보정풍속 5.54m/s의 조건에서 안쪽외피 창호 종류별로 분석한 결과, 대부분의 창호에 대하여 실내기류속도는 0.14~0.28m/s로 나타나 실내쾌적기류속도를 만족하는 것으로 나타났다.

또한 같은 창호 종류라 할지라도, 개폐방법과 개폐각도에 따라서 실내의 기류패턴과 속도가 크게 달라졌는데, 횡여단이창과 회전창이 Wall-Jet 현상에 매우 유리하였으며, 회전창-1과 3, 횡여단이창-2는 무풍지역 없이 0.14m/s의 기류가 실내에 지배적으로 나타나 쾌적기류속도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 종여단이창이 창문 근처에서의 강한 기류를 제어하는데 유리한 것으로 나타났다.

이중외피를 적용했을 때, 안쪽외피의 창호로 가장 유리한 창호는 회전창-1이고, 회전창-3과 종여단이창-1도 바람직한 창호 형태인 것으로 판단된다. 횡여단이창-2는 창문근처에서 기류속도가 크게 증가하게 되는데, 이를 제어시킨다면, 자연환기에

매우 유리한 것으로 판단된다.

사무소 건물에서 쾌적한 실내공기환경을 확보하기 위하여 실내오염물질을 효과적으로 제거, 또는 희석할 수 있는 자연환기의 중요성이 대두되고 있으며, 사무소 공간 계획시 신선한 공기를 접할 수 있도록 고려가 필요한 시점이다. 그러나 초고층 사무소 건물의 경우 풍압, 기류속도 등이 강하여 자연환기를 도입하는 것은 불가능하였으나, 이중외피 시스템을 초고층 건물에 적용하였을 때 외부의 높은 풍속에 도 불구하고 실내쾌적기류속도를 만족시키면서 자연환기가 가능한 것으로 나타났다. 자연환기의 중요성이 강조되고 있는 시점에서 이중외피시스템에 대한 정책적, 기술적 뒷받침이 있을 때, 그 효용성은 증가할 것이다.

본 연구의 한계 및 추후 연구과제는 다음과 같다.

1. 이중외피의 유형은 적용 목적이나 설계자에 따라 그 기법과 설계변수가 달라지는데, 바깥외피 유입구 부분의 루버, 유출구, 실의 깊이, 문의 위치 등 본 연구에서 변수로 설정하지 않은 기타 다른 요소 또한 실내 기류 패턴과 속도 및 기류량에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 또한 이중외피 시스템은 디자인에 있어서 정형이 없으므로, 이중외피의 적용 목적에 따른 분석이 보다 상세하게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2. 본 연구는 초고층 사무소 건물의 자연환기 성능만을 위한 설계 자료이다. 수치예측식과 CFD에 의한 분석으로 이중외피 시스템에 대한 결과를 도출하였으나, 풍동실험을 수행하여 CFD 분석결과에 대한 검증이 필요하다. 또한 공조하지 않는 조건에서 자연환기에 의한 기류패턴과 속도만으로 분석한 결과이므로, 실을 공조할 경우 실내 기류패턴과 기류속도는 영향을 받을 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 CFD를 통한 분석에서 온도의 영향을 고려하지 않고, 외기풍속에 의한 기류만을 고려하였으므로, 향후에는 외기 및 실내 온도를 고려한 종합적인 접근이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) 김동화 外, “공동주택에서의 이중외피시스템의 자연환기성능평가에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 22권 2호, 2002.
- 2) 김영호, “건축설비”, 보문당, 1992.
- 3) 나수연, “공동주택의 자연통풍 계획에 관한 연구”, 중앙대학교 박사논문, 1999.
- 4) 남재호 外, “건축설비”, 세진사, 2001.
- 5) 박동진, “건축환경공학”, 세진사, 2000.
- 6) 박준서 外, “사무소건물의 실내공기환경특성에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 10권 5호, 1994.
- 7) 신치웅, “공기조화설비”, 기문당, 1989.
- 8) 안문찬, “환경적친화 건축외피 구성기법에 관한 연구”, 서울산업대학교 산업대학원 석사논문, 2001.
- 9) 이경희 外, “사무소 건물의 실내공기환경을 고려한 자연환기기준설정에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 13권 6호, 1997.
- 10) 이경희 外, “사무소건물의 실내공기환경에 대한 실태조사 연구”, 대한건축학회논문집 11권 12호, 1995.
- 11) 이경희 外, “사무소건물의 실내공기환경에 대한 실태조사연구”, 대한건축학회논문집 11권 12호, 1995.
- 12) 이경희, “건축환경계획”, 문운당, 1986.
- 13) 진경일 外, “인텔리전트 빌딩의 실내공기환경에 대한 실태조사 연구”, 대한건축학회논문집 17권 2호, 1997.
- 14) Baird, George, "The Architectural Expression of Environmental Control System", E&FN spon, 2001.
- 15) "Active facades; Source book for better understanding of conceptual and operational aspects of active facades", Belgian Building Research Institute, Version 1, 2002.

- 16)"Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades", Belgian Building Research Institute, Version 1, 2002.
- 17)Arons, Daniel, "Properties and Applications of Double-Skin Building Facades", master's thesis, MIT, 2000.
- 18)ASHREA Handbook, 1993 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., p8.20
- 19)Baker, Nick, "Energy and Environmental in Architecture : A Technical Design Guide", E & FN SPON, 2000.
- 20)Compagno, Andrea, "Intelligent Glass facades : material, practice, design", Birkhauser Publishers, 1999
- 21)D.Faggembauu et al., "Strategies to reduce thermal overheatings in mediterranean climates using large glazed areas", FIER 2002.
- 22)Daniels, Klaus, "Low-tech light-tech High-tech", Birkhauser Publishers, 1998.
- 23)Daniels, Klaus, "The Technology of Ecological Building", Chronicle Books, 1994.
- 24)Dolf van Passen, "Development of simplified tools for evaluation energy performance of double facades"
- 25)Donald W. Abrams, "Low Energy Cooling", van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986.
- 26)Fanger, p. Ole "The Philosophy Behind Ventilation : Past, Present and Future", Proceedings of Indoor Air '96 at Nagoya, Japan, Vol.4, 1996.
- 27)FLUENT, FLUENT Tutorial Guide.
- 28)FLUENT, FLUENT User's Guide.
- 29)Herzog, Thomas, "Flat Glass as Part of the Building Skin-New Architectural Opportunities", Glass Processing Days, 18-21, 2001.
- 30)Kragh, M. "Building Envelopes and Environmental Systems",

Proceedings of the Conference on 'Moderne Geveltechnologie voor Kantoorbouw, Delft, 2000.

- 31)Krewinkel, Heinz W., "Glass buildings", Birkhauser Publishers, 1998.
- 32)Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power System", CRC Press, 1999.
- 33)Oesterle, Eberhard, "Double-Skin Facades", Prestel Pub, 2001.
- 34)Sini, Uuttu, "Study of Current Structures in Double-skin facades", master's thesis, Helsinki University, 2001.
- 35)Stein, Benjamin., "Mechanical and Electrical Equipment for Buildings", 1999
- 36)Terezie Dunovska, "Some Experiences with Building Simulation in CZECH Construction Industry", technical report to SIPRAL, 2001.
- 37)Terry S. Boutet, "Controlling Air Movements, McGraw-Hill BookCompany", New York, 1987
- 38)Till Briegleb, "High-rise RWE AG Essen", Birkhauser Publishers, 2000.

- 39)<http://www.ates.co.kr>
- 40)<http://www.josef-gartner.de/referenzen/referenzen2e.htm>
- 41)<http://www.kierantimberlake.com/research/research.html>
- 42)<http://perswww.kuleuven.ac.be/~p5795845/research.htm>
- 43)<http://www.ajplus.co.uk>
- 44)<http://www.amalgam-models.co.uk/Pages/Architectural.html>
- 45)<http://www.battlemccarthy.demon.co.uk>
- 46)<http://www.bbri.be/activefacades>
- 47)<http://www.bii.co.kr/fenster/6월호/실무자기고.htm>
- 48)<http://www.carltd.com/>
- 49)<http://www.commerzbank.com/zentrale/gebaeude.htm>
- 50)<http://www.glassfiles.com>
- 51)<http://www.glassonweb.com/articles/article/72/>

- 52) http://www.gsd.harvard.edu/courses/6400-02f00/lectures/001025_double_skins_files/frame.htm
- 53) <http://www.nsg.co.jp>
- 54) <http://www.nwwda.org/articles/index.html>
- 55) http://www.smartarch.nl/smartgrid/items/039_gotz.htm
- 56) http://www.steelhouse.or.kr/const/materials_06.htm
- 57) 기상청 <http://www.kma.go.kr/>

국 문 초 록

이중외피 시스템이 적용된 초고층 사무소 건물의 자연환기에 관한 연구

허 선

중앙대학교 대학원

건축학과 건축계획 및 환경전공

건물은 국가의 에너지 요구량의 약 50%와 CO₂ 량의 30~40%를 초래한다. 이 에너지는 재실자에게 쾌적한 내부환경을 제공하는데 사용되는데, 1970년대 에너지 파동 이후 에너지 절약 측면에서, 사무소 건물의 외피구조가 점차적으로 고단열, 고기밀화되고 있다. 이러한 실내 환경 조건을 유지하기 위하여 주로 에어컨 등의 기계적인 공조 시스템에만 의존함으로써 실내공기의 오염도가 크게 증가하여 재실자에게 피로감, 두통, 메스꺼움 등을 발생케하는 Sick Building Syndrome과 관련된 증상들이 나타나고 있다.

건물 내에서의 인체활동과 건축자재 등에서 배출되는 오염물질이 실내에 정체되고, 실내에 신선한 공기를 충분히 확보하지 못하므로 업무효율의 저하와 함께 재실자의 건강에 악영향을 주고 있다. 자연환기로 인한 신선한 외기도입은 실내오염물질의 희석을 위한 가장 보편적인 조절방법으로 재실자와 관련된 오염물질처럼 오염원이 잘 정의되어 있지 않고, 오염원이 유동적이며 실내에 확산되어 있는 경우 거의 유일한 오염원 제거 방법이다.

이제까지 중저층 사무소 건물에서는 개구부의 조절 등의 방법을 통하여 부분적으로 자연환기를 도입하기도 하였으나, 고층 사무소 건물에서의 자연환기를 도입하는 것은 불가능하였다. 따라서 보다 적극적인 방법인 이중외피 적용을 통하여 건물 외피의 성능 개선하였을 때, 건물 내부로의 자연환기가 가능할 것으로 기대되며, 이를 적극적으로 활용할 경우 쾌적하고 건강한 실내 환경을 조성할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이중외피 시스템을 사무소 건물에 적용함으로써, 초고층 건물에서도 실내 자연환기가 가능하게 하는 것을 목적으로 한다. 문헌 및 사례조사를 통하여 이중외피 시스템 계획요소들을 조사, 분석하고, 이중외피 시스템을 건물에

적용하는 과정에서 고려해야할 설계변수들을 굴뚝효과에 의한 자연환기와 풍력에 의한 자연환기의 두 가지 측면에서 분석하여, 건물의 배치, 형태, 적정 이중외피 선정, 창호계획 등 설계변수에 대한 종합적인 계획 방안을 제시하고자 하였다.

초고층 건물에 자연환기를 가능하게 하는 유일한 설계기법인 이중외피 적용에 관한 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 문헌 및 사례조사를 통하여 이중외피 시스템의 유형 및 특성을 분석하고, 설계변수들을 추출하였다. 이중외피 시스템을 건물에 적용하는 과정에서 고려해야할 설계변수는 건물의 형태, 바깥외피의 유입구와 유출구 수직거리 및 유효면적, 이중외피 유형, 중공층 너비, 안쪽외피의 창호 종류 및 개폐각 등이다.

2. 이중외피 시스템을 적용하였을 때, 굴뚝효과에 의한 자연환기를 예측식으로 분석한 결과, 바람이 없는 조건에서 높은 환기량을 기대한다면, 유입구와 유출구 간 수직거리가 클수록 유리하지만, 초고층 건물에서 풍압에 의한 효과가 훨씬 크므로 두 측면을 모두 고려하였을 때, 개구부간 수직거리 4m가 바람직한 것으로 나타났다.

3. 이중외피를 통과하는 기류량이 많아질수록, 창호의 면적이 작을수록 압력손실은 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 창호 면적 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이하에서는 기류량이 증가하면 압력손실이 기하급수적으로 증가하는데 반해, $0.20\text{m}^2/\text{m}$ 에서는 기류량이 증가하여도 압력손실이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 압력손실이 굴뚝효과에 의한 상승력보다 크게 되면 중공층 환기가 불가능해지므로, 창호 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이상의 값이 요구된다. 또한 중공층에서 외부로 제거해야 하는 열량이 동일할 때, 창호 면적이 작을수록 냉각해야 하는 온도는 커지는 것으로 나타났다. 즉 창호의 면적이 커질수록, 냉각온도가 작아지기 때문에 외기와 중공층 간 온도차에 영향을 덜 받게 된다. 이러한 측면을 고려하였을 때, 창호 면적은 $0.15\text{m}^2/\text{m}$ 이상이 되도록 계획하는 것이 바람직하다.

4. 풍속데이터를 바탕으로 초고층건물 주변기류를 분석한 결과, 평면 형태가 원형인 경우, 건물주변과 지붕면의 기류패턴과 차압분포가 가장 유리한 것으로 나타났다. 다른 평면과는 달리 건물 후면부에 소용돌이나 역류가 크게 발생하지 않

았으며, 차압이 다른 평면 형태에 비하여 상대적으로 작은 값을 나타냈다. 또한 원형의 평면형태는 서울처럼 주풍향이 일정하지 않은 경우에, 풍향과 관계없이 일정한 기류패턴을 갖을 수 있고, 외피면적에 대한 바닥면적 비가 4가지 평면형태 중 가장 크므로, 외기에 의한 영향을 최소화시킬 수 있다. 따라서 원형은 초고층 건물에 적용하기에 가장 우수한 평면형태로 평가되었다.

5. 이중외피 유형 선정을 위한 평가인자를 추출하고, 이중외피 유형의 특성을 평가인자에 따라 분석, 평가하였다. 풍압 감소효과를 기대하였을 때, 초고층 사무소 건물에 가장 유리한 이중외피 유형은 박스형과 복도형인 것으로 나타났으나, 소음, 화재 및 프라이버시 측면에서 박스형이 복도형보다 유리하므로 시뮬레이션 실행 시 복도형을 선택하여 해석하였다. 또한 풍압의 감소효과와 유지관리 측면에서 유리한 중공층 너비는 500mm인 것으로 판단하였다.

6. 위에서 제시한 이중외피 설계요소들을 개실기준 단위공간에 적용하여, 높이 120m에서 보정풍속 5.54m/s의 조건에서 안쪽외피 창호 종류별로 분석한 결과, 대부분의 창호에 대하여 실내기류속도는 0.14~0.28m/s로 나타나 실내쾌적기류속도를 만족하는 것으로 나타났다.

또한 같은 창호 종류라 할지라도, 개폐방법과 개폐각도에 따라서 실내의 기류패턴과 속도가 크게 달라졌는데, 횡여단이창과 회전창이 Wall-Jet 현상에 매우 유리하였으며, 회전창-1과 3, 횡여단이창-2는 무풍지역 없이 0.14m/s의 기류가 실내에 지배적으로 나타나 쾌적기류속도를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 종여단이창이 창문 근처에서의 강한 기류를 제어하는데 유리한 것으로 나타났다.

이중외피를 적용했을 때, 안쪽외피의 창호로 가장 유리한 창호는 회전창-1이고, 회전창-3과 종여단이창-1도 바람직한 창호 형태인 것으로 판단된다. 횡여단이창-2는 창문근처에서 기류속도가 크게 증가하게 되는데, 이를 제어시킨다면, 자연 환기에 매우 유리한 것으로 판단된다.

본 연구의 한계는 다음과 같다.

1. 이중외피의 유형은 적용 목적이나 설계자에 따라 그 기법과 설계변수가 달라지는데, 바깥외피 유입구 부분의 루버, 유출구, 실의 깊이, 문의 위치 등 본 연구에서 변수로 설정하지 않은 기타 다른 요소 또한 실내 기류 패턴과 속도 및 기류량에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 또한 이중외피 시스템은 디자인에 있어서

정형이 없으므로, 이중외피의 적용 목적에 따른 분석이 보다 상세하게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2. 본 연구는 초고층 사무소 건물의 자연환기 성능만을 위한 설계 자료이다. 수치예측식과 CFD에 의한 분석으로 이중외피 시스템에 대한 결과를 도출하였으나, 풍동실험을 수행하여 CFD 분석결과에 대한 검증이 필요하다. 또한 공조하지 않는 조건에서 자연환기에 의한 기류패턴과 속도만으로 분석한 결과이므로, 실을 공조할 경우 실내 기류패턴과 기류속도는 영향을 받을 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 CFD를 통한 분석에서 온도의 영향을 고려하지 않고, 외기풍속에 의한 기류만을 고려하였으므로, 향후에는 외기 및 실내 온도를 고려한 종합적인 접근이 필요할 것으로 생각된다.

ABSTRACT

A Study on the Natural Ventilation for High-Rise Office Building with Double-Skin Facade System

Huh, Sun

Dept. of Architecture
The Graduate School in
Chung-Ang University

Advised by prof.Rhee, Eon-ku, Ph.D.

Buildings require about 50% of national energy and 30~40% of carbon dioxide (CO₂). This energy used to provide a comfortable internal environment to people who stay in indoor space. Since the energy crisis of the 1970s, the crust structure of office buildings has been more and more highly heat- and air-tight in the aspect of energy saving. To maintain these internal environments simple dependence of only mechanical air-conditioning system affects "Sick Building Syndrome", which brings out the fatigue, the headache and the nausea to indoor workers by increasing a pollution level of internal atmosphere.

That human life inside buildings and the accumulated pollutants in buildings exhausted from certain construction materials impede the supply of sufficient fresh air gives rise to an adverse effect of indoor worker's health as well as a lowering of working efficiency. The introduction of outdoor fresh air by the natural ventilation facilities is the most general way for diluting the internal pollutants, specifically in case of some pollutants concerned with workers, insensible, floating, and dispersed, it is all but sole means to eliminate the pollutants.

Until now, the middle and low office buildings have partly used to natural ventilation facilities like the control of openings. However, it is still impossible to apply the natural ventilation facilities to the high office buildings. Thus, it is possible to make use of natural ventilation to inside buildings when we improve the performance of buildings' skin by more active ways like application of the Double-Skin Facade System. Accordingly, we can create the comfortable and healthy internal environment.

The Double-Skin Facade System, the only measure to enable to naturally ventilate the high-rise buildings, hence is required to very much comprehensive plans about diverse designing variables such as stationing and form of building, the selection of proper Double-Skin Facade System, and the plans for arranging windows etc.

The major findings in this study are summarized as the followings.

1. Using current literatures and case studies, I analyze the types and characteristics of the double-skin facade system, and then extract the designing variables. The designing variables in the process of applying the double-skin facade system to buildings are as follows: (1) the form of buildings, (2) the vertical distances and effective areas between inlet and outlet of outer skin, (3) the shape of the double-skin facade system, (4) the width of cavity and (5) the types and shift angles of inner skin and doors.

2. Applying the double-skin facade system in the aspect of natural ventilation, its results are as follows: if expected the heavy amount of natural ventilation without wind force, the longer the vertical distance between inlet and outlet is, the better it is. However, in case of the high-rise buildings, the effect of wind pressure appears to be very strong. Thus, if considered two aspects simultaneously, the appropriate distance between inlet and outlet would be 4 meters.

3. The heavy amount of air current through the double-skin facade system and the narrow size of openings enable to increase the damage of pressure. In particular, whereas the damage of pressure is exponentially increased below $0.15\text{m}^2/\text{m}$ of size of openings, it is a bit increase at $0.20\text{m}^2/\text{m}$ in spite of the heavy amount of air current. If the damage of pressure was over the stack-effect force, it would be impossible to ventilate the cavity. Thus, the size of openings is required over $0.15\text{m}^2/\text{m}$. Moreover, given that the thermal value to eliminate from the cavity to outside is identical, the smaller the size of openings is, the higher the cooling temperature is. In other words, the wider the size of windows and doors is, the less the cooling temperature is and then the less a temperature change between outer air and the cavity is. Thus, it is to be desired that the appropriate size of openings should be over $0.15\text{m}^2/\text{m}$.

4. The analysis concerning the high-rise buildings surrounding air current based on the data of wind velocity shows that when the form of a roof is round, the pattern of air current and the distribution of the coefficient of wind pressure around buildings and of a roof appear to be most advantageous. Unlike other planes, there is no whirlpool and counter-current around the backside of buildings, and the coefficient shows to be relatively small compared with other types of planes. In addition, the round plane types can minimize the influence of outer air current especially, in case of inconsistent main wind direction like Seoul because it can have the regular patterns of air current irrespective of wind direction and the ratio of the size of ground as to outer size is biggest among four types of planes. Therefore, the round shape is evaluated as the best plane applicable to the high-rise buildings.

5. I extract some evaluation factors to select the types of the double-skin facade system, and then analyze and evaluate the characteristics of the double-skin facade system types by the evaluation factors. When expected the decline effect of wind pressure, even though

the best types of double-skin facade system applicable to high-rise office buildings are box and perimeter type, I select and interpret types in my simulation because box type is better in aspects of soundproofing, fire and privacy. Additionally, the favorable width of empty space is considered as 500mm in the aspect of the decline effect of wind pressure and the maintenance.

6. Applying the designing factors of the double-skin facade system provided above to the unit space standardized by single-unit, as the results of analyzing the types of inner skin of windows under 120 meters in height and 5.54 m/s in the revised wind velocity, the velocity of internal air current appears 0.14 to 0.28 m/s in case of most windows. Thus, it is appeared to be satisfied the velocity of comfortable internal air current. In addition, even same types of windows, according to the ways and angles of opening, the pattern and velocity of internal air current are considerably different. Specifically, horizontally casement window and pivot window are very favorable to the Wall-Jet, and pivot window-1 and 3 and horizontally casement window-2 appear to be satisfied the comfortable air current because internal air current continuously maintains 0.14m/s without the calm wind area. Moreover, vertically casement window appear to be advantageous to control the strong air current around windows.

Applying the double-skin facade system to the high-rise buildings, the best favorable windows is the pivot window-1. In addition, the pivot window-3 and the vertically casement window-1 are also estimated as the suitable types. Horizontally casement window-2 has a characteristic to increase the velocity of air current around windows, if it were controlled, horizontally casement window-2 would be estimated to be very much favorable for natural ventilation.

The limits and tasks considered later of my research are as follows:

1. According to the application objectives and designers, the types of the

double-skin facade system is affected by other techniques and designing variables. Thus, I think that the additional factors not considered here as major variables such as louver, the outlet, the depth of room and the position of doors may influence the patterns of internal air current and the amount of air current. Furthermore, because the double-skin facade system has no designing prototype, the analysis by the application objectives should be in detail accomplished.

2. This research is limited as a designing data only considered the performance of the natural ventilation facilities of the supra-high buildings. In this research I can conclude several results of the double-skin facade system using the numerical estimation and CFD. However, I additionally need to verify the results of CFD analysis using a wind tunnel test. In addition, my results are only analyzed by the patterns and velocity of air current of the natural ventilation system without consideration of air control. Thus, under condition of air control the patterns and velocity of air current are strongly influenced by natural ventilation. In addition, in case of CFD analysis I just consider the air current by the external wind velocity without regard to the influence of temperature. Therefore, more comprehensive researches in consideration of the external air and internal temperature are required in the future.

감사의 글

2년 전 대학원에 입학할 때만 해도 건설현장에서 감사의 글을 쓰게 되리라고는 생각지 못했던 것 같습니다. 대학원에서의 생활과 기억들이 제겐 너무 큰 기쁨이었으며, 특히 2002년 11월과 12월, 저는 인생에 있어 너무 소중한하고 벅찬 경험을 하였던 것 같습니다.

세상에서 가장 존경하는 이언구 교수님, 교수님에 대한 감사한 마음을 감히 글로 표현할 수도 없으며, 교수님의 제자라는 사실이 자랑스럽고 행복할 따름입니다. 대학원 생활을 하는데 많은 관심과 가르침을 주신 송국섭 교수님, 논문 완성에 이르기까지 조언을 아끼지 않으셨던 이현우 교수님께 감사드립니다. 또한 언제나 사랑으로 보살펴주신 이명호 교수님, 이현호 교수님, 정현수 교수님, 최윤경 교수님, 이은택 교수님, 이정형 교수님, 강제훈 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

선배님으로서 학문적 가르침과 자상함으로 이끌어주신 박진철 교수님, 권영철 교수님, 이동주 교수님, 김남규 교수님, 김세훈 교수님, 그리고 멀리서 많은 도움을 주시고 밥도 많이 사주신 나수연 교수님께 감사드립니다. 또한 관호 선배, 성원 선배, 기훈 선배, 현규 오빠, 주영 언니, 상형 오빠, 호준 선배, 우진식 과장님, 황하진 박사님께 깊은 감사드립니다.

마지막까지 같이 고생했던 나의 사랑하는 동기들 현진이, 옥이, 잘생긴 승현 오빠, 항상 웃음만 주었던 진철 오빠, 플루언트 도와준다고 하고 전혀 소식없는 진명 오빠 너무 고맙고, 무거운 짐들 날라주면서 군소리 한 번 안한 기혁 오빠, 현규 오빠, 소이에게 고맙고, 특히 못한 언니 옆에서 묵묵히 도와준 사랑하는 후배 진경이에게 감사드립니다.

올해 저를 가장 힘들게 했지만, 많은 기회와 경험으로 인생의 새로운 지표를 열게 해준 LG건설, 삼성물산, 현대건설, 한화건설, 롯데건설, 대우건설에 감사드리며, 특히 사랑스런 입사동기들을 만나게 해 준 풍림산업에 깊은 감사를 드립니다.

마지막으로 세상에서 가장 소중한 보물인 우리 엄마, 언니, 형부, 서하, 석이, 아람이 그리고 희석이 너무너무 고맙고, 많이 사랑합니다.

2002년 12월 허 선 드림.