

第 65 回 博士學位論文

指導教授 李 彦 求

共同住宅의 自然通風 計劃에 관한 研究

A Study on the Natural Ventilation Strategies
for Apartment Houses

中央大學校 大學院

建築工學科 建築計劃 및 環境 專攻

羅 修 年

1999年 6月

共同住宅의 自然通風 計劃에 관한 研究

A Study on the Natural Ventilation Strategies
for Apartment Houses

이 論文을 博士學位 論文으로 提出함

1999年 6月

中央大學校 大學院

建築工學科 建築計劃 및 環境 專攻

羅 修 年

羅 修 年의 博士學位 論文을 認定함.

審査委員長 _____ (印)

審査委員 _____ (印)

審査委員 _____ (印)

審査委員 _____ (印)

審査委員 _____ (印)

中央大學校 大學院

建築工學科 建築計劃 및 環境 專攻

羅 修 年

1999年 6月

국 문 요 약

본 연구에서는 우리 나라 주거용 건물의 과반수를 차지하면서 최근 냉방에너지 수요가 급증하고 있는 공동주택을 대상으로 자연통풍의 적극적인 이용을 통하여 쾌적하고 건강한 주거환경을 조성하고 에너지절약을 꾀할 수 있도록 건축설계의 각 단계에서 적용할 수 있는 계획방법을 제시하고자 하였다.

기후분석을 통하여 우리 나라의 기후 조건에서 가장 적절한 자연냉방 기법은 자연통풍임을 확인하고, 풍동실험 및 수동실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다양한 공동주택의 주동형태, 평면유형 및 단위공간의 설계변수에 대한 자연통풍성을 정량적, 정성적으로 분석함으로써 계획방법을 추출하였다. 또한 사례연구를 통하여 제시된 계획방법을 기존 설계안에 적용하고 그 결과를 비교, 분석해봄으로써 연구의 적합성을 검토하였다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주동형태에 따른 통풍성능과 자연통풍 계획

1) □형, I형, L형, 비대칭 ㄷ형, T형, Y형과 꺾인 I형 등의 기본적인 주동형태에 따른 평균 차압분포를 비교해 보았을 때, 45도정도 꺾인 I형 주동형태의 통풍성능이 가장 우수한 것으로 나타났고, 단순한 I형이나 L형 주동도 비교적 자연통풍을 이용하기에 적절한 형태인 것을 알 수 있었다. 다만, 단순한 I형의 자연통풍 성능은 주동의 배치각도에 크게 영향을 받으므로 상풍향에 대한 상세한 분석이 요구된다.

2) 주동의 적정 배치각도는 주동형태에 따라 각각 다르지만 일반적으로 주풍향에 대하여 45° 나 315° 로 기울어진 경우 통풍성능이 우수한 것으로 분석되었다.

3) 주동의 높이 및 지붕형태에 따른 평균풍압을 비교해보면, 주동의 높이가 증가할수록 후면의 무풍지대가 증가하고 차압도 커졌다. 반면에 지붕의 형태 변화에 의한 차압의 변화는 거의 나타나지 않았으며 기류패턴에도 큰 차이가 없었다.

2. 단위세대 평면유형에 따른 통풍성능과 자연통풍 계획

1) 8가지 전형적인 단위세대 평면유형에 대해 기류패턴과 유입풍량 및 실내기류속도 측면에서 통풍성능을 분석한 결과, 주기류가 모든 실내공간 특히 각 공간의 거주역을 통과하도록 하는 것이 가장 중요한 평가기준이 되며, 그 다음으로 중요한 기준은 충분한 유입풍량이 각 실에 유입될 수 있도록 하는 것이다.

2) 유입풍량을 확보하고 유입된 기류가 실내공간에 적절히 분포될 수 있도록 하기 위해서는 공간계획에서 전면과 후면 공간의 연결을 고려하여 공간의 조닝을 해야 한다. 전체적인 실내 기류패턴은 단위세대 계획에서 결정되므로 모든 실에 기류가 유입될 수 있도록 풍로를 확보하고 가능한 한 거주역으로 기류가 지나갈 수 있도록 한다.

3) 단위세대내의 평면계획에서 모든 공간이 어떤 풍향에 대해서도 충분한 통풍성능을 갖도록 계획하기에는 공간구조나 개구부 계획상 다소 한계가 있다. 따라서 공간의 이용패턴을 고려하여 야간에만 주로 사용하는 침실보다는 거실과 식당, 주방에서 자연통풍을 충분히 활용할 수 있도록 계획한다.

4) 전면 개구부뿐 아니라 후면에서 바람이 유입되는 경우도 고려하여 전후면 각 개구부의 위치와 면적을 계획해야 한다.

3. 단위공간의 자연통풍 계획

1) 침실의 형태는 전면 폭이 넓으면 창호의 크기를 증가시킬 수 있으므로 통풍성능이 좋아지지만 같은 개구 면적에서는 폭이 넓은 형태보다는 길이가 긴 형태가 좋다.

2) 거실과 식당 및 주방의 형태는 후면에 있는 부엌이나 식당에 적정 개구면적을 확보할 수 없는 평면형의 경우 장방형이 더 좋은 통풍조건을 제공할 수 있다. 반면에 후면 개구부를 충분한 크기로 분산해서 배치할 수 있으면 실의 형태가 장방형보다 비정형인 경우에 기류패턴이 더 향상된다.

3) 거실과 식당을 구분 짓는 실내문은 설치하지 않는 것이 통풍에 유리하지만, 설치할 경우에는 개구면적이 후면 유출구 면적보다 커지도록 해야 하며, 미서기 문보다는 문짝이 벽속으로 들어가거나 벽면으로 겹쳐져서 개구면적이 커질 수 있는 미닫이문을 설치하는 것이 좋다.

4) 창호의 종류는 주풍향과 실의 통풍설계 수준 및 위치에 따라 선택되어야 한다. 일반적으로 사용하는 미서기창은 창의 개폐방법에 따른 기류패턴의 편차를 클 뿐 아니라 유효개구면적이 평균 45%정도로서 통풍성능이 떨어진다. 여닫이 창이나 수직회전창을 설치하면 동일 창면적의 미서기창에 비해 유입풍량이 각각 35%, 40% 증가되는 효과가 있어 통풍성능이 크게 향상되는 것으로 나타났다. 창의 개구형태가 수평으로 긴 오르내리창을 설치하면 유효 개구면적은 작지만 풍향 변동에 따른 유입풍량의 편차가 적고 실내기류 분포도 비교적 우수하다.

5) 전면벽체 발코니에 발코니 새쉬를 설치하면 유입풍량이 크게 감소되므로 새쉬를 설치하지 않는 것이 자연통풍에 유리하지만, 설치하는 경우에는 발코니새쉬의 개구면적은 벽체에 설치된 개구부의 면적보다 크게 계획하여야 한다.

4. 본 연구에서는 사례연구를 통하여 앞에서 제시된 자연통풍 계획방법을 설계의 각 단계에 적용해 봄으로써 연구의 적합성을 검토하였다. 기존의 면적 배분 위주의 공동주택 설계방법에서 벗어나, 자연통풍을 적극적으로 활용할 수 있도록 주동의 형태를 선정하고, 단위세대에서 공간을 효과적으로 조닝하고, 단위공간 계획에서 창호의 크기와 개폐방식을 설정함으로써 기존 설계안의 소요공간이나 기능을 유지하면서도 자연통풍성능을 크게 향상시킬 수 있는 설계가 가능함을 확인하였다.

목 차

국문 요약

제 1 장 서론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	3
1.2.1 연구의 내용	3
1.2.2 연구의 방법	4
1.3 연구의 범위	5
제 2 장 공동주택의 자연통풍에 관한 기초연구	7
2.1 공동주택의 냉방실태 및 문제점 고찰	7
2.1.1 공동주택의 냉난방 실태	7
2.1.2 공동주택 냉방의 문제점	8
2.2 자연냉방의 기본 개념 및 종류	10
2.2.1 자연통풍(Natural Ventilation)	10
2.2.2 구조체 냉각(Mass Cooling)	15
2.2.3 복사냉각(Radiative Cooling)	16
2.2.4 증발냉각(Evaporative Cooling)	20
2.3 기후분석을 통한 적정 냉방기법의 선정	21
2.3.1 자연냉방 시스템의 적용을 위한 기후조건	22
2.3.2 생체기후도를 이용한 기후분석	24
2.4 자연통풍 계획을 위한 기후자료 분석	26
2.4.1 자연통풍으로 인한 인체 냉각효과	26
2.4.2 자연통풍 계획을 위한 기후 데이터	28

2.5 자연통풍에 관한 기존 연구	30
2.5.1 국외 연구현황	30
2.5.2 국내 연구현황	37
2.6 소 결	39
제 3 장 자연통풍 성능 분석도구의 고찰	40
3.1 개 요	40
3.2 분석도구의 종류 및 특성	42
3.2.1 풍동 실험 장치(Wind Tunnel)	42
3.2.2 수동 실험 장치(Water Mapping Table)	45
3.2.3 PHOENICS 프로그램	45
3.3 실험을 통한 기류 해석 도구의 비교 및 검증	46
3.3.1 각 분석도구의 실험방법	47
3.3.2 주동의 전후면 풍압의 비교	49
3.3.3 단위 세대 내 풍속의 비교	50
3.3.4 가시화의 비교	51
3.4 소 결	55
제 4 장 주동 형태에 따른 통풍성능 분석	57
4.1 개 요	57
4.2 주동 규모에서 통풍성능에 영향을 미치는 요인	58
4.3 주동 평면형태에 따른 기류 패턴과 차압분포	59
4.3.1 □ 형	60
4.3.2 I 형	61
4.3.3 L 형	63
4.3.4 비대칭 U 형	63
4.3.5 T 형	68

4.3.6 Y 형	69
4.3.7 꺾인 I 형	70
4.4 주동의 높이 및 지붕 형태별 풍압분석	73
4.5 소 결	76
제 5 장 평면유형에 따른 통풍성능의 분석	79
5.1 개 요	79
5.2 공동주택 단위평면 유형	79
5.3 실내기류 분포에 대한 분석	82
5.3.1 각 평면유형별 통풍 특성	83
5.3.2 단위세대 평면유형에 따른 기류패턴의 평가	98
5.4 각 평면유형별 유입풍량 및 기류속도의 분석	99
5.5 평면유형에 따른 통풍성능의 비교	102
5.6 소 결	107
제 6 장 설계변수(Design Element)에 따른 통풍성능 분석	111
6.1 개 요	111
6.1.1 통풍성능에 영향을 미치는 설계변수	111
6.1.2 실내 기류 분포에 영향을 미치는 각 설계변수의 범위	114
6.2 공간형태에 따른 실내 통풍 성능	115
6.2.1 각 공간의 장단변비	115
6.2.2 공간의 형태	117
6.3 개구부 계획	119
6.3.1 개구부의 위치와 크기	119
6.3.2 창호종류에 따른 실내 통풍 성능	124

6.4 외부 돌출부에 따른 실내 통풍 성능	134
6.4.1 전면 발코니 설치에 따른 실내 통풍성능	135
6.4.2 발코니 새쉬 설치에 따른 실내 통풍성능	136
6.5 소 결	140
제 7 장 자연통풍 계획의 사례연구	149
7.1 개 요	149
7.2 대상 공동주택	149
7.2.1 서초동 SD아파트(Unit 7)	149
7.2.2 가양동 D아파트(Unit 8)	151
7.3 자연통풍을 고려한 공동주택 설계안	152
7.3.1 서초동 SD아파트(Unit 7)의 대안	152
7.3.2 수서동 H아파트(Unit 8)의 대안	157
7.4 통풍성능의 평가	161
7.4.1 서초동 SD아파트(Unit7)의 기존안과 대안의 통풍성능 비교	161
7.4.2 수서동 H아파트(Unit 8)의 기존안과 대안의 통풍성능 비교	163
7.4.3 기존안과 대안의 통풍성능 비교평가	165
7.5 설계방법의 제안	167
제 8 장 결 론	169
참고문헌	173
ABSTRACT	179

표 목 차

<표 2.1> 개구부 크기 비율에 따른 R값	11
<표 2.2> 하절기 평균 운량	23
<표 2.3> 하절기 건구온도와 습구온도의 최대값	23
<표 2.4> 기류속도 증가로 인한 냉각효과	27
<표 2.5> 월별 평균풍속 및 최대풍속	29
<표 3.1> 송풍기의 사양	42
<표 3.2> PHOENICS 계산을 위한 주요 입력 변수값	48
<표 4.1> 주동형태에 따른 기류패턴 및 풍압산정을 위한 실험 변수	58
<표 4.2> 주동형태에 따른 평균 풍압분포	77
<표 4.3> 주동형태에 따른 풍향에 대한 적정 배치 방위	78
<표 5.1> 평면유형의 분류 척도	80
<표 5.2> 아파트 단위평면 유형의 선정	80
<표 5.3> 평면유형별 설계변수와 유입풍량 및 실내 평균속도의 비교	102
<표 5.3> 실내 기류패턴의 평가항목	103
<표 5.4> 평가항목의 평가척도	104
<표 5.5> 평가기준 매트릭스	105
<표 5.6> 분석매트릭스를 이용한 평면유형별 통풍성능의 평가	106
<표 6.1> 창호의 종류	113
<표 6.2> 각 설계변수의 범위	114
<표 6.3> 창호종류에 따른 유효 개구면적	133
<표 6.4> 창호종류에 따른 통풍성능의 비교	142
<표 6.5> 통풍을 고려한 전면 침실 공간의 창호규모 및 개폐 방법	144
<표 6.6> 통풍을 고려한 후면 침실 공간의 창호규모 및 개폐 방법의 평가	144
<표 6.7> 거실 창호의 크기와 개폐 방식에 따른 유효개구면적	146
<표 6.8> 거실 유효개구면적에 따른 주방과 식당의 창호크기(1)	147
<표 6.9> 거실 유효개구면적에 따른 주방과 식당의 창호크기(2)	147
<표 6.10> 통풍성능을 고려한 발코니 새쉬 창호의 비교	148
<표 7.1> 대안의 통풍성능 비교 및 평가	166

그 립 목 차

(그림 1.1) 연구 흐름도	6
(그림 2.1) 국내 에어컨의 년도별 출하현황	7
(그림 2.2) 지붕연못방식	19
(그림 2.3) 간접 복사 냉각	20
(그림 2.4) 6월15일- 9월15일까지의 외기온 분포와 생체기후도	24
(그림 2.5) 서울지방의 기간별 풍속분포	25
(그림 2.6) 6월15일- 9월15일까지의 외기온 분포와 건물 생체기후도	26
(그림 2.7) 기류 속도 증가에 따라 확장된 쾌적 한계	27
(그림 2.8) 풍향의 빈도수(하절기)	28
(그림 2.9) 하절기 풍속 분포	29
(그림 3.1) 출력 주파수에 따른 풍속	42
(그림 3.2) 풍동장치의 형태	43
(그림 3.3) 수동장치의 구조	44
(그림 3.4) □자형 주동 모델	47
(그림 3.5) 단위세대 모델	47
(그림 3.6) 높이에 따른 풍속 분포의 비교	49
(그림 3.7) 전면 풍압의 비교	50
(그림 3.8) 후면 풍압의 비교	50
(그림 3.9) 단위세대내 위치별 실내 기류속도	51
(그림 3.10) 풍동실험을 이용한 □자형 주동의 가시화	52
(그림 3.11) 풍동실험을 이용한 단위세대의 가시화	52
(그림 3.12) 수동실험을 이용한 □자형 주동의 가시화	52
(그림 3.13) 수동실험을 이용한 단위세대의 가시화	53
(그림 3.14) CFD 프로그램을 이용한 □자형 주동의 가시화	54
(그림 3.15) CFD 프로그램을 이용한 단위세대의 가시화	54
(그림 4.1) 주동의 평면 형태	59
(그림 4.2) 차압분포	60
(그림 4.3) 주동 배치에 따른 기류패턴과 차압분포(Pa) : □형	61
(그림 4.4) 주동 배치에 따른 기류패턴 : I 형	62
(그림 4.5) 주동 배치에 따른 기류패턴 : L형(1)	64
(그림 4.6) 주동 배치에 따른 기류패턴 : L형(2)	65
(그림 4.7) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 비대칭 ㄷ형(1)	66
(그림 4.8) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 비대칭 ㄷ형(2)	67
(그림 4.9) 주동 배치에 따른 기류패턴 : T 형(1)	68
(그림 4.10) 주동 배치에 따른 기류패턴 : T 형(2)	69
(그림 4.11) 주동 배치에 따른 기류패턴 : Y 형	70

(그림 4.12) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 꺾인 I 형(1)	71
(그림 4.13) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 꺾인 I 형(2)	72
(그림 4.14) 주동높이에 따른 기류패턴	74
(그림 4.15) 지붕형태에 따른 기류패턴	75
(그림 4.16) 주동형태에 따른 차압의 비교	77
(그림 5.1) 단위세대 평면유형	81
(그림 5.2) Unit 1 (현관문을 닫은 경우)	83
(그림 5.3) Unit 1 (현관문을 열어둔 경우)	84
(그림 5.4) Unit 2 (현관문을 닫은 경우)	85
(그림 5.5) Unit 2 (현관문을 열어 둔 경우)	85
(그림 5.6) Unit 3 : 전면풍향	86
(그림 5.7) Unit 3 : 후면풍향	87
(그림 5.8) Unit 4 : 전면 풍향 (현관문을 닫은 경우)	88
(그림 5.9) Unit 4 : 후면 풍향(현관문을 닫은 경우)	89
(그림 5.10) Unit 4 (현관문을 열어둔 경우)	89
(그림 5.11) Unit 5 (1) : 전면 풍향	90
(그림 5.12) Unit 5 (2) : 후면 풍향	91
(그림 5.13) Unit 6 (1) : 전면풍향	92
(그림 5.14) Unit 6 (2) : 후면풍향	93
(그림 5.15) Unit 7 : 전면 풍향 (현관문을 닫은 경우)	94
(그림 5.16) Unit 7 : 후면 풍향 (현관문을 닫은 경우)	95
(그림 5.17) Unit 7 (현관문을 열어둔 경우)	95
(그림 5.18) Unit 8 : 전면 풍향	96
(그림 5.19) Unit 8 : 후면 풍향	97
(그림 5.20) 풍향에 따른 단위세대별 평균 유입풍량의 비교	100
(그림 5.21) 평면유형별 평균풍량의 비교	101
(그림 5.22) 평면유형별 실내 평균속도 및 최대속도의 비교	101
(그림 6.1) 창호의 종류	113
(그림 6.2) 거실, 식당, 주방의 조합 형태	115
(그림 6.3) 장단변비에 따른 실내 기류 속도(m/s)	116
(그림 6.4) 공간 형태에 따른 실내 기류패턴 및 속도(1)	117
(그림 6.5) 공간 형태에 따른 실내 기류패턴 및 속도(2)	118
(그림 6.6) 공간형태별 유입풍량의 비교	118
(그림 6.7) 문의 위치에 따른 실내 기류 속도	120
(그림 6.8) 문의 위치에 따른 유입풍량의 비교(문=유출구)	120
(그림 6.9) 문의 위치에 따른 유입풍량의 비교(문=유입구)	120
(그림 6.10) 유입구 : 유출구 비율에 따른 실내 기류속	121
(그림 6.11) 유입구 : 유출구 비율에 따른 유입풍량의 비교	122
(그림 6.12) 거실문 설치에 따른 실내 기류속도 분포	123

(그림 6.13) 거실문 설치에 따른 유입풍량의 비교	123
(그림 6.14) 창면적비 증가에 따른 유입풍량의 비교(미서기창)	124
(그림 6.15) 각 창호의 개폐방법 (창호크기와 유효개구면적이 같은 경우)	125
(그림 6.16) 미서기창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포	126
(그림 6.17) 미서기 창호의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교	126
(그림 6.18) 여닫이창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포	127
(그림 6.19) 여닫이창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교	128
(그림 6.20) 수직회전창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포	129
(그림 6.21) 수직회전창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비	129
(그림 6.22) 오르내리창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포	130
(그림 6.23) 오르내리창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교	131
(그림 6.24) 각 창호의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교	132
(그림 6.25) 창호의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포	133
(그림 6.26) 창호종류에 따른 실내 평균 유입풍량	134
(그림 6.27) 발코니 설치에 따른 실내 기류속도 분포	135
(그림 6.28) 전면 발코니를 설치했을 때 유입풍량의 변화	136
(그림 6.29) 발코니 새쉬를 설치한 모습	136
(그림 6.30) 전면차폐물에 따른 실내 기류속도 분포	137
(그림 6.31) 발코니 개구면적에 따른 유입풍량의 비교	138
(그림 6.32) 발코니 새쉬 설치에 따른 각 창호의 실내 기류속도 분포	139
(그림 6.33) 발코니 새쉬 설치에 따른 창호종류별 평균유입풍량의 변화	140
(그림 7.1) 서초동 SD아파트의 위치	150
(그림 7.2) 서초동 SD아파트의 단위세대 평면도	150
(그림 7.3) 가양동 D아파트의 위치	151
(그림 7.4) 가양동 D아파트의 단위세대 평면도	151
(그림 7.8) 대안1의 주동 평면도(Unit 7)	156
(그림 7.9) 대안1의 단위세대 평면도(Unit 7)	156
(그림 7.10) 대안2의 주동 평면도(Unit 7)	157
(그림 7.11) 대안2의 단위세대 평면도(Unit 7)	157
(그림 7.12) 대안1의 주동 평면도(Unit 8)	160
(그림 7.13) 대안1의 단위세대 평면도(Unit 8)	160
(그림 7.14) 대안2의 주동 평면도(Unit 8)	160
(그림 7.15) 대안2의 단위세대 평면도(Unit 8)	160
(그림 7.16) 기존안과 대안의 실내 기류분포의 비교(Unit 7)	162
(그림 7.17) 기존안과 대안의 유입풍량 비교(Unit 7)	163
(그림 7.18) 기존안과 대안의 실내 기류분포의 비교(Unit 8)	164
(그림 7.19) 기존안과 대안의 유입풍량 비교(Unit 8)	165
(그림 7.20) 대안과 평면유형의 통풍성능 비교	166

제 1 장 서 론

1.1 연구목적

자연통풍은 가장 역사가 오래되면서도 쾌적하고 건강한 건물 냉방기술이다. 동서고금을 통하여 1950년대 초 일반용의 에어컨이 보급되기 전까지 건물의 냉방은 전적으로 자연통풍에 의존하여 왔다. 그 후, 석유에너지의 보급으로 지난 30여년 동안 기계냉방기술은 비약적인 발전을 이루었으나, 우리 나라의 경우에는 생활수준이 취약하여 일반주거에서의 기계 냉방 시설은 이용할 수 없었고 자연통풍이 주된 냉방 수단이었다. 특히, 1970년대의 에너지 파동 이후 에너지 절약 을 이유로 난방위주의 건물에너지정책이 시행되면서 이에 따라 단순한 형태의 고단열, 고기밀화된 건물이 보급되었고, 그 결과 자연통풍을 이용한 자연냉방기법은 거의 개발되지 못하였다.

그러나, 최근 국민생활수준이 크게 향상됨에 따라 쾌적한 주거환경에 대한 욕구가 급증하고 있으며, 이에 따라 에어컨의 사용이 보편화되면서 냉방 에너지 소비가 크게 증가하고 있다. 지금까지 주로 겨울철 난방 에너지의 소비가 대부분을 차지하고 있던 건축부분에서의 에너지 소비 패턴이 최근 몇 년 사이에 여름철 냉방에너지가 차지하는 비중이 난방 에너지를 능가하는 형태로 전환되고 있다. 특히, 우리 나라 주택보급의 과반수를 차지하는 공동주택의 경우에는 1998년 현재 에어컨의 보급률이 약 40%정도에 이르면서 앞으로도 보급률이 계속 증가할 것으로 예상되어 주거부분에서의 냉방 에너지 소비 증가가 에너지 수급 계획에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

또한, 에어컨을 이용한 기계냉방은 실내를 외기와 단절시킴으로서 공기환경의 질을 저하시키고 동시에 냉방기 작동으로 인한 주변 온도상승(열섬현상), 전력생산과정에서 석탄연료의 사용으로 인한 이산화탄소의 방출 및 냉매로 인한 오존층파괴 등 환경문제를 야기하고 있다.

따라서, 공동주택에서 자연통풍을 적극적으로 활용할 경우 쾌적하고 건강한 주거환경을 조성할 수 있을 뿐만 아니라 냉방에너지의 절약을 통하여 국가에너지 소비를 크게 절감시킬 수 있고, 나아가 지속 가능한 지구환경의 보존에도 기여할 것이다. 특히, 공동주택은 표준화된 설계와 시공을 통하여 자연통풍기법의 다량 보급이 가능하기 때문에 파급효과가 지대할 것으로 기대된다.

건물의 자연통풍과 관련된 기존의 연구들은 주로 모형실험을 통한 기류패턴의 분석과 함께 실내공간의 통풍율과 주동의 풍압계수 측정, 개구부의 최적설계 등과 관련된 사항을 다루어 왔으나 비교적 다른 분야의 연구에 비해서는 빈약한 실정이다. 또한, 건물에 적용될 수 있는 종합적이고 체계적인 연구보다는 단순 공간에 대한 기초적 연구가 대부분이고, 정성적인 연구가 주로 이루어졌기 때문에 연구의 결과에 대한 검증이 미흡하여 신뢰성이 떨어지는 경우가 많이 있었다.

건물 내외부에서의 자연통풍 성능을 분석하기 위해서는 복잡한 바람의 변화와 다양한 건축공간에서의 기류패턴을 정성적 측면에서는 물론 정량적 측면에서도 파악하여야 한다. 또한, 실제 건축물에서 자연통풍기법을 적용하기 위해서는 건물의 배치 및 형태, 단위공간 및 각종 설계디테일에 대한 종합적인 계획방안이 필요하다.

본 연구는 우리 나라 주거용 건물의 과반수를 차지하면서 최근 냉방 에너지 수요가 급증하고 있는 공동주택을 대상으로 다양한 주동형태, 단위 세대 유형 및 단위 공간의 설계요소에 대해 풍동(風洞)실험 및 수동(水洞)실험을 통한 모델 시뮬레이션과 CFD해석기법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 자연통풍성능을 분석한 후 그 결과를 종합하여 각 설계단계에서 적용할 수 있는 자연통풍계획을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

1.2.1 연구의 내용

본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 기초연구

- (1) 공동주택의 냉방실태를 조사하고 문제점을 고찰한다.
- (2) 다양한 자연냉방 방식의 종류, 개념 및 특성을 고찰한 뒤 기후분석을 통해 자연통풍의 적용가능성을 검토한다.
- (3) 우리 나라 기후 데이터를 정리하여 자연통풍 계획을 위한 기초자료를 제공한다.
- (4) 자연통풍에 관한 국내외 기존 연구현황을 문헌조사를 통해 고찰한다.
- (5) 자연통풍 성능을 분석할 수 있는 도구들을 비교, 검토하여 적절한 분석 도구를 선정한다.

2) 자연통풍 성능의 분석

공동주택의 각 설계단계에서 자연통풍을 향상시키기 위한 주요 설계요소들의 적정안을 제안한다.

- (1) 주동형태에 따른 자연통풍 성능 분석
다양한 주동형태에 따른 기류분포와 차압을 분석하여 각 주동형태에 따른 적정 배치각도와 바람직한 주동형태를 제안한다.
- (2) 단위세대 유형에 따른 자연통풍 성능 분석
대표적인 공동주택 평면유형들을 선정하여 실내기류 분포와 속도를 분석하여 단위세대 규모에서의 자연통풍 계획방향을 제시한다.
- (3) 단위공간에서의 자연통풍 성능 분석
각 단위공간에서 통풍에 영향을 미치는 설계요소들을 추출하고 수준별 시뮬레이션을 진행하여 적정안을 제안한다.

3) 공동주택의 자연통풍계획 방안 제시

공동주택의 각 설계단계에서 적용할 수 있는 주요 요소들에 대한 자연통풍 성능 분석을 토대로 주동, 단위세대 및 단위공간의 자연통풍 계획방법을 제안한다.

4) 사례연구

사례연구를 통하여 자연통풍 계획이 적용된 대안을 제시하고 기존안과 비교하여 통풍성능의 향상을 확인한다.

이상의 내용을 연구흐름도로 나타내면 (그림 1.1)과 같다.

1.2.2 연구의 방법

본 연구에서는 연구방법으로 문헌조사와 모형실험, 컴퓨터 시뮬레이션 및 사례연구의 다양한 방법론을 사용하였다.

1) 문헌조사(Literature Search)

기초 연구단계에서 공동주택의 냉방실태, 기후 데이터 등에 대하여 기존 연구 자료를 조사, 분석함으로써 공동주택에서의 통풍을 이용한 자연냉방의 가능성을 확인하였고 자연통풍에 관련된 국내외 기존 연구의 내용 및 방법 등을 고찰하여 연구의 방향을 수립하였다.

2) 모형실험(Physical Model Test)

건물의 내외부에서의 자연통풍을 통한 기류패턴의 정성적 분석을 위하여 수동 실험장치(Water Mapping Table)를 이용한 모형실험을 실시하였고, 정량적 분석에 있어서는 풍동실험장치(Wind Tunnel)를 이용하여 모형실험을 하였다. 풍동장치는 기류해석을 위해 일반적으로 사용되는 도구이지만 경계조건의 설정 및 Scale Factor에 의한 오차가 발생할 수 있으므로 정밀한 측정을 위해서는 실험준비와 모델제작에 많은 시간이 요구된다. 본 연구에서는 풍동실험을 수동실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 타당성을 검증하는 도구로서 기초연구단계에서 활용하였다.

3) 컴퓨터 시뮬레이션(Computer Simulation)

컴퓨터를 이용한 유체해석 방법(전산유체해석, CFD)을 이용하여 공동주택의 주동, 평면유형 및 설계변수에 대한 자연통풍성능을 정성적으로 분석하여 이를 수동실험의 결과와 비교, 분석하였고 동시에 풍압, 풍속 및 풍량 등에 대한 정량적 분석을 실시하였다.

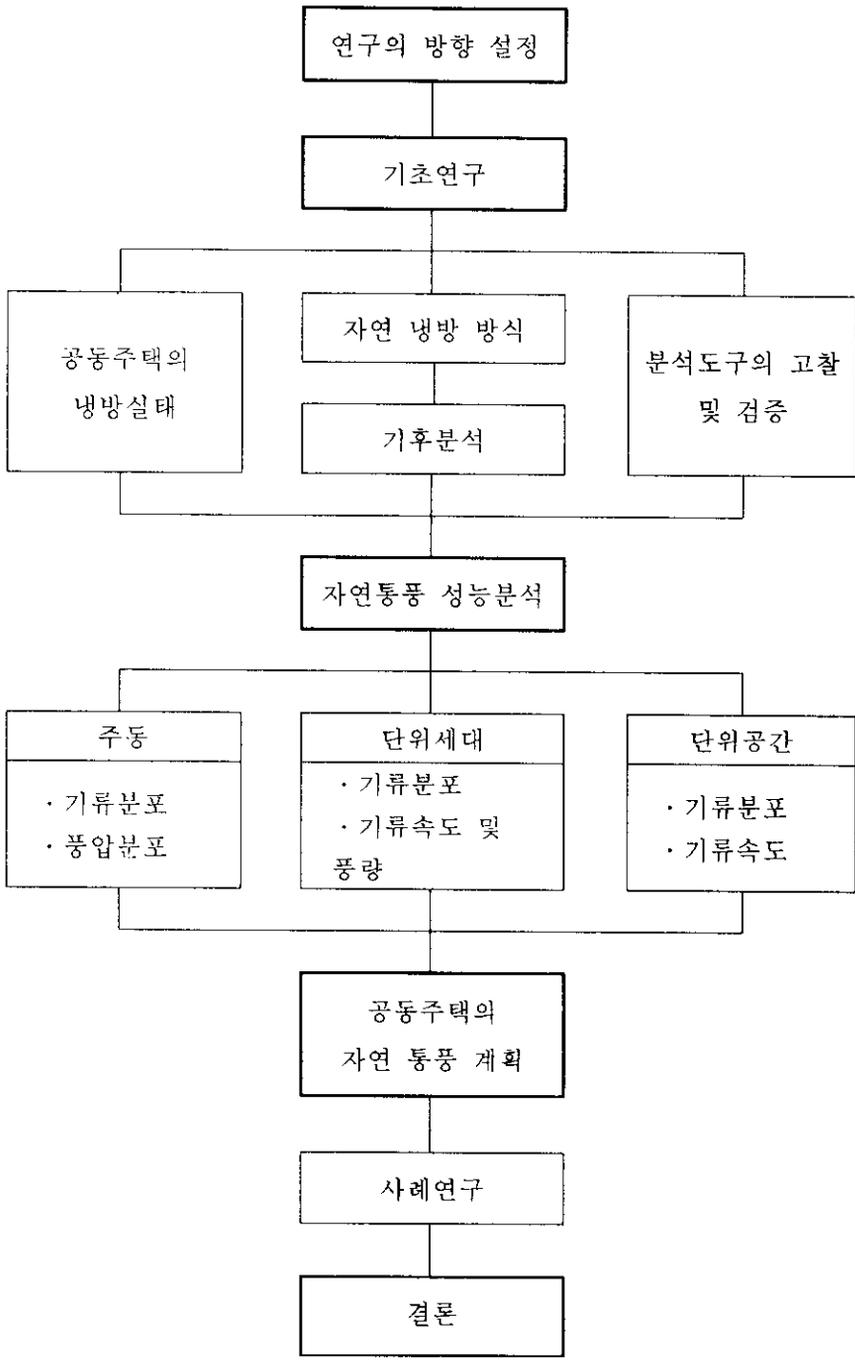
4) 사례연구(Case Study)

본 연구에서는 다양한 주동형태, 평면유형 및 설계변수 등에 대한 통풍성능을 분석하여 효과적인 자연통풍의 활용을 위한 적정계획안을 제시하였다. 또한 이 결과를 대상 공동주택에 직접 적용하여 기존 설계안에서의 자연통풍 성능과 적정계획안을 적용하였을 경우 자연통풍 효과의 향상정도를 확인할 수 있는 사례 연구를 실시하였다.

1.3 연구의 범위

우리 나라에서 가장 보편적인 공동주택의 형식은 다수의 단위세대로 구성된 아파트가 단지를 이루는 대규모 집합주거가 많다. 이와 같은 주거단지의 경우 자연통풍의 성능 분석은 단지의 규모, 입지 특성, 경사도, 식생 및 주변 환경요소와 단지밀도, 주동의 배치, 도로배치 등 단지 및 지역설계의 측면까지 고려해야 한다. 그러나 이와 같은 지역스케일의 연구는 상당부분 기존 연구에서 수행된 바 있고, 공동주택에 한정되어 적용되는 것이 아니라 일반적인 건물유형에 보편적으로 적용될 수 있다. 또한 연구결과가 건물 외부의 기류특성에는 직접적으로 영향을 미치지만 건물내부의 통풍성능에는 영향이 적다.

따라서 본 연구에서는 주거공간인 공동주택의 실내 통풍성능에 직접적인 영향을 미치는 설계요소인 단위공간의 설계변수, 평면유형 및 주동의 형태로 연구범위를 한정하였다. 주동형태는 하부에 필로티를 갖거나 중간층에 Open Space를 갖는 입면형상은 제외하였으며, 평면유형에서는 계단실형과 편복도형을 분석대상으로 하였다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

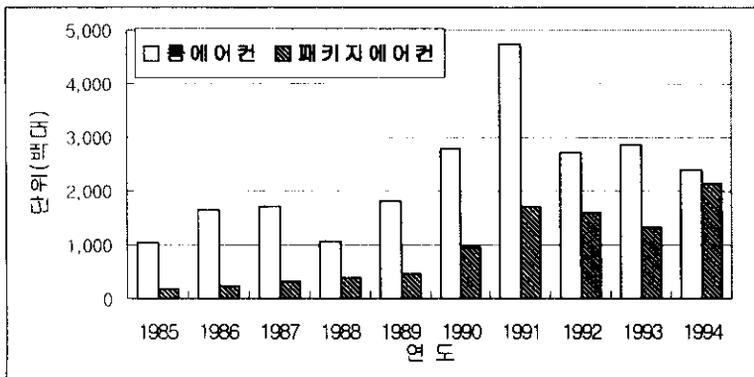
제 2 장 공동주택의 자연통풍에 관한 기초연구

2.1 공동주택의 냉방실태 및 문제점 고찰

2.1.1 공동주택의 냉난방 실태

공동주택의 난방방식은 저온복사패널을 이용한 온수온돌이 일반적으로 사용되는데 개별난방과 중앙난방 및 지역난방으로 구분된다. 난방 시스템은 설계 초기 단계에서부터 계획되며 공동주택 난방방식에 관한 연구도 비교적 활발히 진행되고 있다. 반면, 공동주택의 건축 계획단계에서 냉방을 고려하는 경우는 거의 없으며 거주자가 입주 후에 패키지 에어컨을 구입하여 개별적으로 설치 운영하는 실정이다.

(그림 2.1)은 국내 에어컨의 출하량¹⁾을 보여주는 데 여기서 볼 수 있듯이 특히 가정용 패키지 에어컨의 증가추세가 두드러지고 있다. 1996년 현재 가정에 보급되어 있는 에어컨은 약 160만대로 추정되고 있으며 설문조사를 통한 결과에서도 공동주택에서 개별 냉방기기의 보유율은 거의 45%에 육박하고 있다²⁾. 이처럼 공동주택의 냉방에 대한 필요성은 가중되고 있으나 실제로 이에 대한 건축적 해결을 위한 접근은 매우 부족한 실정이다.



(그림 2.1) 국내 에어컨의 연도별 출하현황

- 1) 한국 냉동공조공업협회, 『통계자료』, 냉동·공조·공기기기, 서울, 1995.
- 2) 홍민호, 중앙대 석사논문, 1996.

2.1.2 공동주택 냉방의 문제점

우리 나라 공동주택에서는 입주 후에 거주자가 개별적으로 패키지 에어컨을 설치하여 냉방하고 있으며 이에 따라 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다.

1) 쾌적성 : 일반적으로 거실(식당, 부엌포함) 규모에 맞추어 냉방기기를 설치하므로 냉방되는 공간인 거실과 비냉방공간 간의 온도차가 심하여 실내 각 공간을 출입할 때 신체의 열적 스트레스가 증가된다. 실내문을 개방해서 전체 실들을 냉방할 경우 과부하가 걸리게 된다. 또한 취출온도차와 기류속도에 따라 신체 일부에 차가운 기류가 직접 접촉하여 드래프트로 인한 불쾌감을 느낄 수 있다.

2) 설치공간문제 : 에어컨이나 실외유닛을 설치하기 위한 별도의 공간이 요구된다. 일반적으로 가정용 에어컨은 분리형 에어컨을 사용하는데 실내유닛은 증발기만 있고, 압축기 및 응축기를 포함한 다른 장치는 실외유닛으로 분리되어 외부에 설치된다. 이때 실외유닛은 주로 전면 남향 발코니에 설치되어 일사로 인한 효율저하가 문제가 될 뿐 아니라 사용되는 기간이 하절기 일부 기간인데 비하여 1년 내내 발코니 공간을 차지하게 되므로 공간 이용상 문제점이 지적되고 있다. 실제로 설문조사결과 75%이상의 사람들이 에어컨을 설치할 때 특히 실외유닛을 위한 별도의 공간이 필요하다고 요구하였다³⁾.

3) 응축수의 배출 : 우리 나라의 하절기 기후가 고온다습하므로 냉방기를 가동할 때 많은 량의 응축수가 발생하게 되는데 응축수 배출에 대한 건축적 배려가 요구된다. 현재는 주로 발코니의 배수나 우수배관까지 응축수 배관을 연장하여 배수시키고 있다.

4) 실내공기환경 (IAQ) : 에어컨 내부의 필터 오염으로 인한 악취발생 및 위생상의 문제가 제기되고 있다. 일반적으로 냉방기기를 운영할 경우 외기도입이 거의 없으므로 환기율이 크게 감소되어 실내 공기환경이 악화된다.

3) Ibid, p.18

5) 주변환경의 악화 : 각 공동주택에서 에어컨을 사용하게 되면 압축식 냉방기기의 작동으로 인한 주변 온도의 상승으로 전체 단지와 나아가 도시의 열섬 현상을 가중시킨다.

6) 에너지 소비 : 우리 나라는 에너지의 대부분을 외국에서 수입하고 있어 해외 의존도가 1997년 현재 97.5%⁴⁾에 이른다. 반면 우리 나라 에너지 소비 증가율은 경제규모 및 소득수준에 비하여 에너지를 과도하게 소비하여 경제성장률을 상회하고 있다. 특히 주택 분야의 전력소비는 가전제품의 대형, 고급화와 냉난방기의 보급이 증가됨에 따라 계속 증가추세에 있다. 실제로 하절기 냉방기기 사용으로 인한 최대전력 부하의 상승은 국가 전력수급에도 차질을 빚고 있어 이에 대한 대책이 시급하다.

7) 환경적인 문제 : 냉방기기는 하절기 전력 소비량을 폭등시키는 주요인으로서 전력생산과정에서 화석연료의 사용으로 인한 이산화탄소의 배출과 냉매 유출로 인한 오존층 파괴 등의 환경적인 문제를 야기시킨다. 화력발전소는 1kWh를 생산할 때마다 0.5kg의 탄소를 이산화탄소 형태로 산화 방출⁵⁾하는 것으로 알려져 있다. 또한 순간최대 전력부하가 증가하면 전력발전소를 추가로 필요하게 되어 이를 부담하기 위해 전력 비용이 비싸진다.

따라서 공동주택의 냉방방식에 대한 보다 쾌적하고 건강하고 에너지 절약적이고 환경친화적인 접근방법이 요구되는데 혹서기를 제외한 나머지 냉방기간 중에는 자연통풍을 이용한 자연냉방을 적극 활용하는 것이 가장 바람직한 대안이다.

공동주택에서 자연통풍을 이용한 냉방은 다음과 같은 잇점이 있다.

1) 쾌적성 : 외기가 쾌적 조건일 때는 외기를 직접 실내로 공급함으로써 실내를 쾌적하게 유지할 수 있으며, 기온이 다소 높더라도 자연통풍은 실내기류속도를 상승시켜 거주자들에게 직접 냉방효과를 주어 열 쾌적 한계를 상승시킨다.

4) 「공동주택의 에너지 절약형 냉방시스템 개발에 관한 최종보고서」 산업자원부, 1998.

5) Akbari, H. J. Huang, P. Martien, L. Rainer, A. Rosenfield and H.Taha(1988), *'The impact of summer heat islands on cooling energy consumption and global CO₂concentration'*, ACEEE Summer Study on 'Energy Efficiency in Buildings', Asilomar, CA.

쾌적 한계의 상승은 거주자들의 냉방 요구량을 감소시키고 냉방기간을 축소시킨다. 또한 외기 및 각 실내공간 사이의 온도차가 작으므로 온도차에 의한 열적 스트레스를 받지 않는다.

2) 에너지 절약 : 냉방부하를 감소시킴으로서 전력소비량을 감소시킨다. 또한 냉방기간을 축소시켜 냉방기기의 운영시간을 줄인다. 자연통풍은 혹서기를 제외한 하절기 대부분의 기간과 중간기에 특히 유용하게 이용될 수 있다.

3) 환경 친화적 : 자연통풍을 이용하여 냉방하면 냉방기기의 운영에 따른 전력 소비의 감소로 인해 전력생산으로 인한 이산화탄소의 방출량을 감소시킬 수 있다. 또한 냉방기 설치를 줄일 수 있으므로 냉매 사용을 최대한 억제할 수 있다.

4) 실내 공기환경 : 실내에 충분한 환기량을 확보할 수 있으므로 최근 공동주택에서 문제가 되고 있는 실내 공기환경의 오염물질을 희석 배출시킬 수 있다.

그 외에도 공동주택에서 자연통풍을 이용하면 냉방기 설치로 인해 야기되는 공간이용상의 문제점이나 응축수 배출에 대한 부담이 없다.

2.2 자연냉방의 기본 개념 및 종류

2.2.1 자연통풍(Natural Ventilation)

자연통풍은 어떤 표면으로 공기가 흘러가면서 열을 빼앗아 그 표면 온도를 낮추는 대류에 의한 열 전달에 기초한다. 따라서 건물을 냉방하기 위해서는 들어오는 바람의 온도가 실내기온보다 낮아야 한다. 그러나 비록 외기온이 실내온도보다 더 높다고 하더라도 실내공간의 기류는 거주자들의 열쾌적 조건에 긍정적인 효과를 일으키는데 이는 실내기류가 인체로부터 열손실을 증가시키고 증발 및 대류 열손실을 촉진시키기 때문이다. 상대습도 75%의 실내환경에서 기류속도가 0.15m/s정도 증가하면 쾌적 한계 온도가 0.56℃ 정도 상승한다⁶⁾.

자연통풍의 효율은 외기 조건(풍속, 온도, 습도, 주변지형) 및 건물 조건(향, 창의 개수, 크기, 위치 등)으로 결정된다.

6) E. Arens, *Passive Cooling by Natural Ventilation*, Florida Solar Energy Center, 1981.

건물을 통과하는 기류는 유입구와 유출구의 압력차로 인해 발생되며 압력차는 바람이나 건물실내와 외부의 온도차에 의한 굴뚝효과로 발생된다. 바람은 건물 주변에 압력차를 만들어 건물 내에 주로 수평적인 기류이동을 일으키고 온도/밀도차로 인한 굴뚝효과는 건물 내에 수직적인 기류 움직임을 만든다.

자연통풍에 의한 열 제거량은 유입(유출)풍량과 외부와 실내 온도차의 함수로 나타난다⁷⁾. 바람이 유입구에 직각으로 또는 비스듬히 불어올 때 실내공간을 통과하는 풍량은 식 (2.1)로 계산될 수 있다⁸⁾.

$$V = 3600 \times O \times R \times A \times v \dots\dots\dots(2.1)$$

V : 개구부를 통과하는 풍량(m³/h)
 O : 유효개구율
 R : 개구부 크기 비율에 의한 계수
 A : 더 작은 개구부의 유효면적(m²)
 v : 기류속도(m/s)

개구부의 유효개구율(O)은 바람이 직각으로 불어올 때는 0.5-0.6, 비스듬히 불어올 때는 0.25-0.35의 값을 대입한다. R값은 유입구, 유출구에 상관없이 더 큰 규모의 개구부와 그보다 작은 개구부의 비율에 의한 계수로서 <표 2.1>에 나타나 있다. 개구부를 통과하는 풍량은 루버나 방충망 등에 의해 감소되므로 이러한 영향을 고려하여 개구부의 유효면적을 산정해야한다.

<표 2.1> 개구부 크기 비율에 따른 R값

더 큰 개구부/더 작은 개구부	R값
1.00	1.00
1.25	1.11
1.50	1.18
1.75	1.23
2.00	1.27
2.5	1.32
3.00	1.34
4.00	1.37
5.00 이상	1.38

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

8) Ibid.

한편 굴뚝효과로 인한 통풍량은 바람으로 인한 통풍량에 비하여 매우 미미하기 때문에 굴뚝효과는 통풍을 위한 부차적 방안으로 고려된다. 굴뚝효과로 인한 통풍은 상층부의 과열을 제거하기 위한 수단으로 주로 사용되며 창을 통한 자연 통풍과 조화를 이루어야한다.

바람으로 인한 통풍에 영향을 미치는 요인들은 다음과 같다.

① 건물의 형태

자연통풍 성능은 건물의 형태, 즉 건물의 조밀성(compactness), 바닥면적에 대한 외피 면적비, 외벽에서 돌출 또는 후퇴하는 현관 포치나 발코니 유무에 따라 달라진다. 이러한 형태적인 특징은 건물주변의 풍압분포에 영향을 미칠 뿐 아니라 개구부 배치에 제약조건이 되기도 한다. 일반적으로 건물이 조밀하게 뭉치지 않고 널리 펼쳐진 복잡한 형태이면 맞통풍에 유리하다. 또한 바닥면적에 대한 외피면적이 크면 개구부를 만들 수 있는 기회가 더 많이 제공된다.

② 풍향에 대한 개구부의 위치

일반적으로 바람이 주요 개구부에 대하여 직각으로 불어올 때 건물의 전면부와 후면부에 가장 큰 압력차가 생기므로 통풍에 가장 효과적이라는 것이 일반적인 견해이다. 그러나 실제로 건물 외벽에서의 개구부의 상대적 위치나 전체의 통풍성능을 고려하면 개구부에 바람이 비스듬히 부는 경우가 더 유리할 때가 있다. 즉, 개구부를 갖는 외벽이 가장 큰 풍압면에 노출될 때 유입되는 풍량이 가장 크므로 건물의 장변이 바람에 면하도록 배치되는 것이 유리하다.

③ 창문면적

창문면적, 즉 유효 개구면적이 커지면 실내로 유입되는 통풍량도 커지므로 같은 크기의 창호라도 개구면적이 더 큰 창호가 통풍에 유리하다. 미서기 창이나 오르내리창의 개구면적이 창호면적의 반정도 밖에 안되는 것에 비해서 여닫이창과 오닝창의 유효개구면적은 90%이상이다.

유입구와 유출구의 면적비율 역시 통풍량에 영향을 미친다. 유효통풍면적 (A_{eff})은 식 (2.2)와 같이 계산될 수 있다⁹⁾.

$$A_{eff} = \frac{A_o / A_i}{\sqrt{A_o^2 + A_i^2}} \dots \dots \dots (2.2)$$

위 식에서 A_i 는 유입구의 면적이고, A_o 는 유출구의 면적이다. 유입구나 유출구 둘 중 하나의 면적이 커지면 통풍량은 증가하지만 전체 개구부 면적이 일정하다면 유입구와 유출구의 면적이 같을 때 통풍성능이 가장 좋다. 실내 기류속도 측면에서는 유입구의 면적이 유출구보다 크면 유출구부근의 기류속도가 빨라지고 유입구보다 유출구의 면적이 크면 유입구 주변의 기류속도가 더 빨라진다.

④ 창문형태와 유형

길이보다 폭이 더 긴 창문형태가 바람이 비스듬히 부는 경우 더 좋은 통풍성능을 갖는다¹⁰⁾. 바람이 창문에 대하여 직각으로 부는 경우는 마찬가지이다.

창문의 개폐방식에 따라 유입되는 풍량과 풍향이 바뀐다. 수직회전창, 여닫이창, 오닝창(Awning Window) 등은 유입 기류의 방향을 조절할 수 있는 반면 미서기창과 오르내리창 등은 벽면에서 작동하므로 기류의 방향을 조절할 수 없다. 여닫이창은 특히 비스듬히 부는 바람에 대하여 효과적이며 여닫이창과 오닝창은 틈새바람 량이 적어서 난방에도 유리하다. 여닫이창과 수직회전창이 기류를 수평적으로 조절하는데 비하여 오닝창은 기류를 수직적으로 조절할 수 있다.

⑤ 창호설계

창문 주변에 미적, 기능적, 에너지 절약 등의 이유로 부가되는 다양한 디테일들은 창문의 통풍성능에 영향을 미친다. 일사를 조절하기 위한 차양장치들은 유입되는 기류 방향 및 풍량에 영향을 미치므로 이에 대한 고려가 필요하다. 수평 차양 장치는 유입풍량 및 기류 방향을 수직적으로 조절할 수 있으며 수직 편익의

9) Donald W. Abrams, *Low Energy cooling, van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986, p.119.*

10) H. J.Sobin, *Window design for passive ventilating cooling- An experiment model scale study.* In Proc. International Passive and Hybrid Cooling Conference. AS/ISES, 1981.

경우 바람이 비스듬히 불어올 때 벽면에 압력 차이를 크게 만들어 유입풍량을 증가시킨다¹¹⁾.

루버와 블라인드는 차양장치와 유사한 효과를 갖는다. 실내 측에 사용되는 커튼은 유입기류량을 감소시킬 뿐 아니라 거주자가 개구부를 조절하는 빈도수를 줄이는 경향이 있다. 따라서 커튼보다는 통풍에 영향을 덜 미치는 블라인드를 사용하는 것이 좋다. 방충망은 창문에 유입되는 풍량을 크게 줄이는데 일반적으로 50%정도 감소되는 것으로 본다¹²⁾.

⑥ 실내공간의 분할

유입구로부터 유출구로까지 흐르는 기류가 하나 이상의 실을 통과할 때 기류는 그 경로 중에 하나 이상의 실내 개구부를 지나게 된다. 이 때 실내 개구부의 크기에 따라 실내공간을 지나는 기류의 방향과 기류패턴이 변화되고 기류속도가 증감되고 난류가 발생되고 풍량이 감소된다. 만약 바람이 실내로 유입될 때 유입구와 유출구 사이에 유입구나 유출구보다 더 작은 크기의 개구부들이 있다면 실제 풍량은 더 작은 실내 개구부의 크기에 의해 결정된다.

통풍을 위해서는 적정 위치에 개구부를 갖는 개방평면이 바람직하지만 실제 건물 사용에 있어서는 공간의 분할이 요구되므로 가능하면 기류흐름은 방해하지 않으면서 거주공간 모두에 기류가 지나갈 수 있도록 칸막이 벽의 위치를 선정해야 한다. 일반적으로 칸막이 벽은 바람이 불어 가는 쪽에 넓은 공간을 만들 수 있도록 위치를 잡아야 한다.

⑦ 건축디테일

자연통풍을 위해 창이나 다른 개구부를 사용하는 것과 함께 공기의 흐름을 촉진시키기 위한 몇 가지 부가적인 수단이 있다.

1) 풍탑(Wind Tower) : 바람의 동적인 에너지를 이용하여 공간 내에 바람을

11) E. G. Smith, *The Feasibility of Using Models for Predetermining Natural Ventilation*, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1951.

12) B. Givoni, *Man, Climate and Architecture*, 2nd Edition, London, Applied Science Publishers, 1976

발생시키기 위하여 건물 내에 적절히 풍로를 만드는 방법으로 건물의 설계요소들과 통합시켜 설계될 수 있다.

2) 날개벽(Wing-Wall) : 날개벽은 단순히 창문 옆에서 바깥쪽으로 돌출된 벽으로 비록 벽을 향해 약한 바람이 불더라도 한쪽 면에는 정압을, 다른 면에는 부압을 생성한다. 이러한 압력의 차이는 열린 창문을 통해 외부공기가 빨려 들어가게 하며 옆의 다른 창으로는 바람이 나가게 만든다. 특히 바람의 속도가 느리고 다양한 방향에서 불어오는 지역에서 사용된다. 날개벽을 설치하면 바람이 직각으로 불 때는 실내 기류속도가 50%정도 증가되며 바람이 22.5° ~ 45° 비스듬히 불면 실내 기류속도가 150%이상까지 증가된다¹³⁾. 단, 여닫이창이나 창 앞에 큰 판목이 있으면 효과는 감소된다.

2.2.2 구조체 냉각(Mass Cooling)

구조체 냉각방식은 열용량이 큰 재료를 이용하여 낮동안 열을 저장했다가 외기온이 더 낮아지는 야간에 열을 배출하여 냉방하는 방식이다. 구조체 냉각은 야간에 실내공간 또는 구조체내의 통기로를 통해 외부공기를 순환시킴으로서 구조체를 냉각시키고 낮동안에는 건물 개구부를 닫아 외부공기의 유입을 막는다. 냉각된 구조체는 다음날 주간엔 건물 내에서 발생하는 열을 흡수하는 축열체 역할을 한다. 야간통풍을 이용한 구조체 냉각은 여름철 밤동안의 최저온도가 20℃ 이하이고 하루 일교차가 대략 15℃를 넘는 기후에서 효과적이다. 야간 통풍을 하는 건물의 실내온도의 패턴은 외부 온도 분포를 따른다. 단열이 잘된 큰 매스 건물의 경우, 주간에는 일사를 차단시키고 창을 닫고 야간에 통풍을 이용하면 구조체 냉각으로 외기온에 비해 약 35~45%정도 실내기온을 더 낮게 유지할 수 있다.

야간통풍으로 인한 구조체의 냉각 저장력은 축열체의 열용량과 온도변화로 개략적으로 계산될 수 있다¹⁴⁾. 구조체 냉각에서 건물의 냉방성능은 축열체의 열용량에 따라 좌우된다.

13) Ibid.

14) B. Givoni, *Performance and Applicability of Passive and Low Energy Cooling systems*, Energy and Buildings V-17, 1991 pp.177-199.

설계측면에서 개구부의 디자인은 주간 자연통풍이나 야간통풍 모두에 적합하도록 계획될 수 있다. 그러나 건축적 디테일, 특히 건물매스와 같은 설계요소들은 다른 설계 접근 방법이 필요하다. 축열체는 벽, 바닥 등의 구조적 매스를 그대로 사용할 수도 있고 구조체내에 분산시킬 수 있는데 예를 들어 벽, 천장, 바닥, 또는 자갈 축열층(Rock Bed), 또는 물 등과 같이 특정한 열 저장소에 저장할 수 있다. 축열체가 건물의 밖에 위치한 경우라면 환기되는 공기를 예냉하는데 사용될 수 있고 또는 폐회로 방식(Closed Circuit)으로 건물을 냉각시킬 수 있다. 야간통풍의 효율은 외기와 실내의 기온차, 환기율, 축열면적, 유입공기에 접촉하는 면적, 저장재료의 열용량과 열전도율 등에 의해 결정된다. 따라서 구조체 냉각을 위한 건축 설계에는 건물의 구석구석에 특히 축열체 표면에 대해 높은 환기율이 보장되어야 한다. 이때 사용되는 축열체는 표면적이 크고 수평보다 수직적인 것이 효과적이다.

2.2.3 복사냉각(Radiative Cooling)

복사냉각은 어떤 따뜻한 물체가 마주 대하고 있는 차가운 물체에 전자복사의 형태로 열에너지를 방사하는 기본 원리에 근거를 두고 있다. 태양은 주간 단파복사의 형태로 지구로 열을 복사하고 지구는 다시 장파복사의 형태로 차가운 하늘로 복사열을 재방사한다. 복사 열손실은 주간과 야간에 모두 일어난다.

복사냉각은 대기 속에 있는 수증기, 이산화탄소, 먼지와 같은 입자들 때문에 감소되므로 맑은 밤하늘에서 더 강하다. 이런 입자들은 장파를 흡수하고 다시 방사하기 때문에 복사냉각 방식을 이용하기 위해서는 천공이 맑아야한다. 수평의 표면은 하늘에 대한 최고의 복사체이기 때문에, 지붕은 가장 효과적인 복사체가 된다. 표면복사는 더운 여름에 공기가 표면을 둘러싸면 감소되는 데 그 이유는 공기가 대류 되어 표면으로 열을 전달시키기 때문이다. 대류 열전달은 풍속에 따라 증가하므로, 바람막이(Wind-screen)를 사용함으로써 감소시킬 수 있다.

복사냉각이란 전자기파 에너지 방사에 의한 복사열교환에 의해 일어나는데 복사는 직선 상으로 서로 마주보고 있는 두 물체 사이에서 일어나며 두 물체사이

의 온도차가 클수록 열류량이 커진다. 따라서 복사열교환에는 두 물체의 면적 뿐 아니라 상대적인 위치가 매우 중요하다.

기본적인 복사열교환 방정식은 다음과 같다¹⁵⁾.

$$Q_r = \sigma \times F \times \epsilon \times A \times (T_1 - T_2)^4 \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

- 단, Q_r : 복사로 인한 열류량
 σ : 스테판-볼츠만 상수
 F : 형태계수
 ϵ : 복사체의 방사율
 A : 복사체의 면적
 T_1 : 복사체의 온도(K)
 T_2 : 흡수체의 온도 (K)

식 (2.3)에서 F(형태계수)는 두 물체가 어떻게 마주보고 있느냐에 따라 0에서 1까지의 값을 갖는다. 일반적으로 지붕처럼 천공이외에는 다른 물체와 거의 마주 보고 있지 않는 물체는 형태계수를 1로 본다. 복사 냉각율을 계산하기 위한 천공온도는 구름 및 공기 중에 포함된 수증기를 포함한 상당온도로 계산해야한다. 일반적으로 건조하고 맑은 기후에서 천공온도는 기온보다 11℃가량 낮지만 다습한 기후에서는 8℃보다 작은 온도차를 갖는다.

천공온도는 건구온도, 노점온도를 이용하여 식 (2.4)과 같이 계산될 수 있다¹⁶⁾.

$$T_{sky} = (0.742 + 0.0015T_d)^{1/4} (T_o + 459.7) = T_o [0.8 + (T_d - 273)/250]^{1/4} \dots (2.4)$$

- 여기서 T_{sky} : 천공의 절대온도(K)
 T_d : 지표부근의 노점온도(℃)
 T_o : 지표부근의 외기 건구온도(℃)

천공온도는 물체까지의 대기투과 길이가 가장 짧은 바로 윗부분의 하늘이 가장 낮으므로 복사냉각을 위해서는 수평면이 가장 유리하다. 45° 정도 기울어진 면은 수평면보다 냉각효과가 40-60% 정도 감소되며 주변의 다른 물체에서 복사열을 받으므로 불리하다. 건물의 복사냉각은 건물이 천공으로 8-13μm정도의

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

16) D. Watson, *Climatic Design*, New York, McGraw-Hill company, 1983, p.62.

적외선을 방사함으로써 일어난다. 그러나 이러한 냉각효과는 냉각된 축열체와 다른 건물표면에서도 일어나기 때문에 복사 냉각된 표면의 냉각효과는 다른 표면과의 열교환으로 인해 감소된다. 따라서 실제로 천공의 온도가 기온보다 10°C 이상 낮더라도 복사냉각으로 인한 온도강하는 이보다 작아진다. 또한 천공복사로 인해 지붕의 온도가 기온보다 낮아지면 주변 공기와 대류 열교환이 일어나며 복사표면이나 대류를 막기 위한 Wind Screen에 결로가 발생할 수도 있다.

복사냉각은 복사표면을 건물 실내와 열적으로 어떻게 연결시키는가에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

· 직접복사냉각(Direct Radiative Cooling) : 지붕이 복사표면으로서 작용한다. 지붕은 여름철 태양복사열의 가장 많은 부분을 흡수하는 건물요소¹⁷⁾이며, 또한 천구에 대해 가장 좋은 조망을 갖고 있기 때문에 효과적인 복사체가 된다. 높은 축열체의 사용은 야간에 재복사된 열이 실내로 전달되는 것을 지연시킴으로서 건물의 복사 냉각능력을 증가시킬 수 있다. 고온 건조한 아열대성 기후지역에 있는 전통적인 건축은 보울트 천장으로 된 지붕(Vaulted Roofs)을 사용하여 복사 냉각하는 예를 보여준다. 이러한 보울트 천장의 표면은 그것의 수평바닥(반구형의 지붕보다 3배 더 큰)보다 더 크며, 따라서 이것은 주간에는 더 큰 축열면이 되고, 야간에는 더 큰 복사표면이 된다.

‘지붕연못’ 또는 ‘Skytherm System’ 은 이러한 복사냉각을 가장 독특하게 현대적으로 응용한 것이다¹⁸⁾. (그림 2.2)와 같이 지붕연못의 구조를 살펴보면 철제 데크 플레이트(Steel Deck Plates)위에 물이 채워진 플라스틱주머니를 놓는다. 이때 가동식 패널은 여름철 주간에는 물 백을 덮고 야간에는 천정반구로 물 백을 노출시킨다.

복사냉각효과를 증가시키기 위해 선택복사체(selective radiator)의 개발을 시도한 연구도 수행된바 있다. 이러한 연구¹⁹⁾들은 천공창(atmospheric window)의

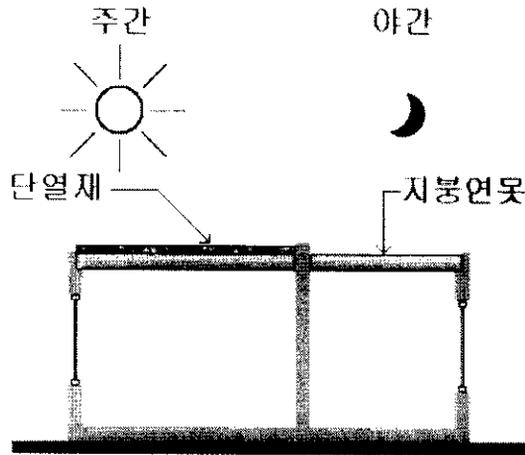
17) M. S. Sodha, N. K. Bansal, P. K. Bansal, A. Kumar and MA, S, Malik, *Solar passive building* ; Science and Design, Pergamon Press, International Series on Building Environmental Engineering, Vol. 2, Oxford and New York, 1986.

18) H. B. Hay, and I. J. Yellot, ‘Natural air-conditioning with roof ponds and movable insulation’, ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part 1, 1969.

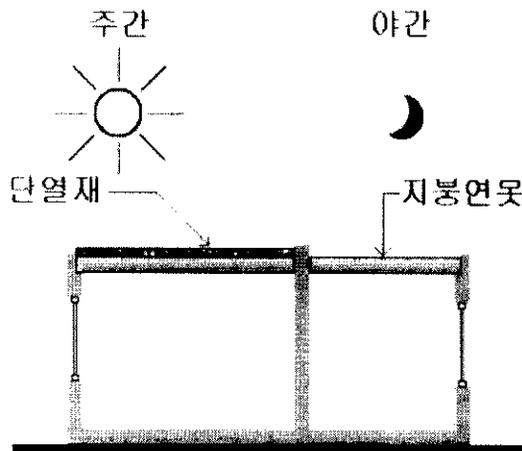
19) D. Michell, *Selective Radiation Cooling*, Another Look, CSIRO Division of Tribophysics, University of Melbourne, Australia, 1976.

장파 스펙트럼범위($8-13\mu m$)에서는 높은 방사율을 가지면서 그 범위 밖에서는 높은 반사율을 갖는 재료를 개발함으로써 천공창에 대한 복사냉각효과를 극대화하려는 시도였다.

지붕 복사시스템의 냉각효과는 지붕과 접촉하는 공간에 한정되므로 단층의 주택 또는 다층의 건물의 최상층에서 유용하다.



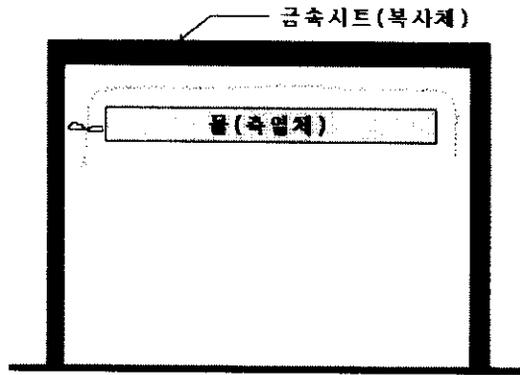
여름



겨울

(그림 2.2) 지붕연못방식

· 간접복사냉각(Indirect Radiative Cooling) : 천공복사를 통해 유체(물 또는 공기)를 냉각시키는 방식으로 유체의 냉기는 특정한 축열체 예를 들어 자갈층(Rock-bed), 물탱크 또는 건물의 구조체 속에 저장된다. 이 때, 차가운 공기는 건물로 직접 공급될 수도 있는데 냉기가 축열체를 지나가도록 하면 더 좋다. (그림 2.3)에서 5~10cm정도의 공기 층을 아래에 두고 있는 금속 시트는 복사체 역할을 한다²⁰⁾.



(그림 2.3) 간접 복사 냉각

2.2.4 증발냉각(Evaporative Cooling)

증발이란 액체가 표면에서 기화하는 상변화현상을 말한다. 증발이 일어날 때 습한 표면과 접촉하는 공기나 증발이 일어나는 표면으로부터 많은 열이 흡수된다. 증발냉각은 공기중에 함유된 수증기량의 변동에 따라 다음과 같이 구분된다.

① 직접증발냉각(Direct Evaporative Cooling) : 바람이 습한 표면 위를 지나가면서 습기를 증발시킴으로써 주변공기가 직접 냉각된다. 이때 공기 중에 수증기량이 증가되므로 직접증발은 습구온도가 일정한 상태에서 이루어진다.

② 간접증발냉각(Indirect Evaporative Cooling) : 간접증발냉각은 직접증발냉각

20) M. Santamouris and D. Asimakopoulos, *Passive cooling of Buildings*, London, James & James, 1996.

과정으로 차가워진 표면에서 발생한다. 이 때 차가운 표면과 접촉한 공기는 실제로 습기가 증가되지 않으면서 냉각된다.

증발과정의 효율은 기온과 습한 표면의 온도, 공기의 습기 함유량과 습한 표면위로 흐르는 기류 속도에 달려있다. 기류는 자연통풍 또는 간단한 기계장치에 의해 유도될 수 있다.

전통적인 건축들을 보면 젖은 형갈대를 만들어 창문에 두거나 들어오는 바람을 물이 담긴 단지에 통과시키거나 물을 뿌려 냉각시키는 풍탑(Wind Tower) 등의 예를 볼 수 있다. 지붕 증발 냉방(Roof Spray Cooling System)은 지붕을 습하게 유지하기 위하여 지붕 표면 위에 얇은 물막을 형성하거나 또는 물을 뿌려서 건물의 지붕을 냉각시키는 방법이다. 지붕연못(Roof-pond)도 증발을 이용하여 지붕표면을 냉각하기 위하여 사용될 수 있다. 건물은 지붕과 지붕에 접촉한 실내공기의 온도가 낮아지므로 냉각된다. 지붕 냉각 기술은 건물의 열을 제거하기보다는 지붕을 통한 열획득 방지책으로서 지붕을 통한 냉방부하의 비율이 높은 경우 사용된다.

2.3 기후분석을 통한 적정 냉방기법의 선정

자연냉방은 그 적용과 효율에 있어 자연난방에 비해 기후에 대하여 더 의존적이다. 자연형 태양열 난방은 일사량만 충분히 확보된다면 세계 여러 지역에서 보편적으로 이용될 수 있지만 자연냉방은 기온, 습도, 풍속, 풍향 등 기후요소에 따라 지역마다 각기 다른 방법이 적용된다.

본 연구에서는 6월 15일부터 9월 15일까지 3개월을 하절기 냉방기간으로 보고 기후분석을 실시하여 다양한 자연냉방 기법의 적용가능성을 알아보고 우리나라 기후조건에서 가장 효과적인 자연냉방 기법이 자연통풍임을 검증하였다. 분석 대상은 서울지역으로 한정하였으며 기후 데이터는 한국 공기조화 냉동학회의 공기조화 설계용 기상 데이터를 이용하였다.

2.3.1 자연냉방 시스템의 적용을 위한 기후조건

일반적으로 각각의 자연냉방 방식에 요구되는 기후적인 특징과 우리 나라 기후조건을 분석, 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 자연통풍

자연통풍은 고온다습한 기후대에서 적용할 수 있는 가장 간단한 자연냉방 방법이다. 실내 기류 속도가 비교적 빠르다면 낮동안 통풍으로 인해 실내기온은 거의 외기온에 가까워진다. 즉, 기류속도를 1.5-2.0m/s라고 볼 때, 냉방효과를 얻을 수 있는 쾌적통풍은 최고 외기온이 28-32℃인 기후조건에서 가능하다²¹⁾.

서울의 경우 하절기 외기온이 28℃이상인 시간은 281시간이며 이 중에서 1.5m/s 이상의 바람이 부는 경우는 82%인 231시간으로 자연통풍의 이용 가능성이 크다.

(2) 야간통풍

야간통풍(Nocturnal Ventilative Cooling = Mass Cooling)은 충분한 열용량을 가진 건물인 경우 낮기온이 30~36℃사이이고 밤기온은 20℃이하인 건조지역에서 주로 적용된다. 야간통풍을 적용하기 위한 기후조건은 하루 중 최저온도가 20℃이하이고 일교차는 15℃이상 이여야 한다²²⁾.

그러나, 서울의 일교차는 6월말과 9월초가 평균 8~9℃, 7월과 8월은 평균 8℃이하이므로 야간통풍을 이용한 구조체 냉각의 효용이 떨어지는 것으로 분석되었다.

(3) 복사냉각

천공복사를 이용하는 복사냉방에 있어서 주된 기후조건은 야간에 구름이 적어 야하며 하늘이 맑은 한 습도는 그다지 중요하지 않다. 건조한 기후에서 천공복

21) B. Givoni, *Performance and Applicability of Passive and Low Energy Cooling systems*, Energy and Buildings V-17, pp.177-199. 1991

22) Ibid.

사를 이용하면 약 3-5℃의 온도강하를 기대할 수 있다²³⁾.

<표 2.2>은 서울지방의 하절기 평균 운량을 보여주는데 하절기 대부분의 기간의 운량이 평균 6.5이상이고 야간에 청명한 시간이 거의 없는 우리 나라에서는 복사냉각을 이용하는 데는 다소 어려움이 있다는 것을 알 수 있다.

<표 2.2> 하절기 평균 운량

기 간	하늘이 청명한 시간수 (운량이 0인 경우)		평균운량
	주 간	야 간	
6월15일 - 6월30일	28	10	6.47
7월 1일 - 7월31일	32	11	7.19
8월 1일 - 8월31일	33	3	7.10
9월 1일 - 9월14일	29	15	6.26

(4) 증발냉각

직접 증발냉각은 건조한 기후이면서 물을 풍부하게 쓸 수 있는 지역에서만 적용되며 기후 조건은 최대 습구온도로 표현된다. 실내기류와 습도의 쾌적에 대한 효과를 고려할 때 직접 증발냉각은 여름철 최대 습구온도가 22-24℃이하이고 건구온도가 42-44℃이하인 지역에서만 적용이 가능하다. 또한 간접 증발 냉방을 위해 제안된 기후조건은 최대 습구온도는 25℃, 최대 건구온도는 46℃이다.

<표 2.3>은 서울지방의 하절기 건구온도 및 습구온도의 최대값과 평균값을 보여준다. 여기서 알 수 있듯이 증발냉각 방식을 적극적으로 이용하기에는 우리 나라 하절기의 습구온도가 다소 높은 것으로 나타났다.

<표 2.3> 하절기 건구온도와 습구온도의 최대값

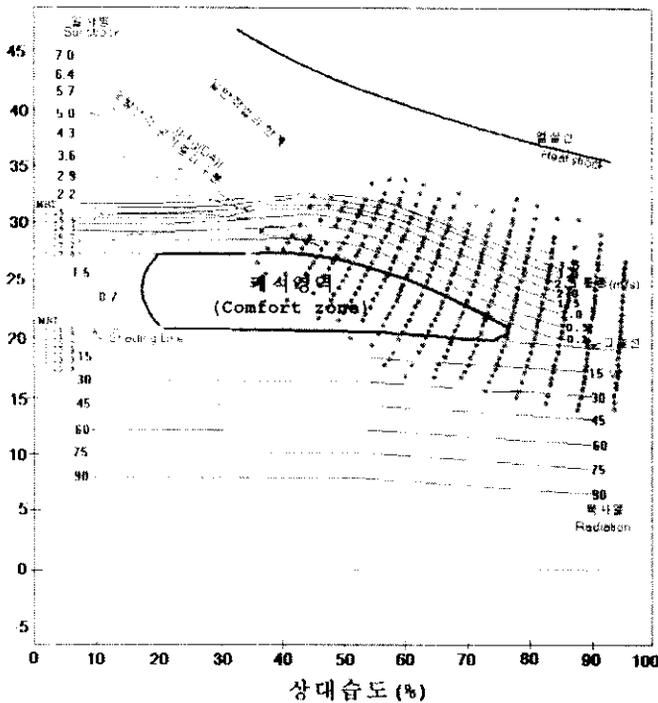
기 간	건구온도(℃)		습구온도(℃)	
	최대값	평균값	최대값	평균값
6월15일 - 6월30일	29.44	26.25	22.78	19.79
7월 1일 - 7월31일	30.56	26.36	23.89	22.18
8월 1일 - 8월31일	32.22	26.85	23.89	22.31
9월 1일 - 9월14일	27.78	25.50	23.89	19.66

23) B. Givoni, *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994

2.3.2 생체기후도를 이용한 기후분석

생체기후도(Bio-climate Chart)²⁴⁾는 기후조건에 따른 환경설계의 기법을 제시하기 위하여 Olgay가 제안한 도표로서 클라이모그래프에 표시된 쾌적영역(Comfort Zone)과 같은 쾌적감을 얻을 수 있는 자연형 조절의 수단을 나타내고 있다.

(그림 2.4)와 같이 서울 지방의 하절기 온습도 분포를 생체 기후도에 표시해본 결과 가장 효과적인 자연냉방 기법이 자연통풍이라는 사실을 쉽게 확인할 수 있다. 여기서 볼 수 있듯이 전체 냉방 필요시간 중 80%이상이 자연통풍으로 냉방이 가능한 것으로 나타났다.



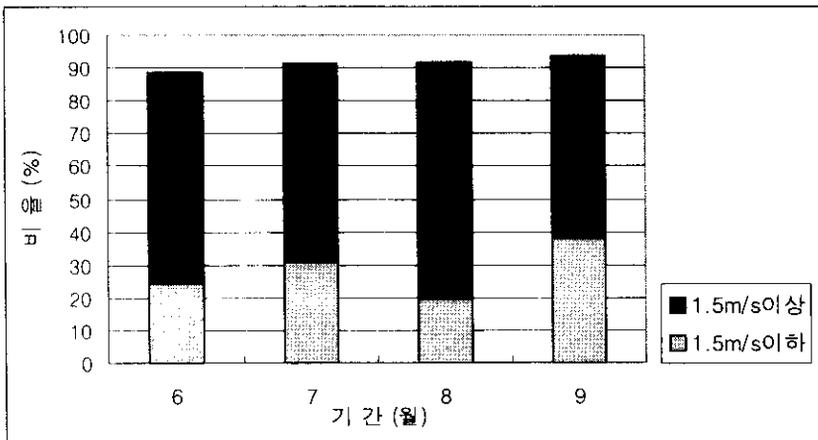
(그림 2.4) 6월15일- 9월15일까지의 외기온 분포와 생체기후도

24) A. Olgay & V. Olgay, *Design with Climate*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1957.

따라서 우리 나라의 기후 조건에서 가장 적절한 자연냉방 기법은 자연통풍인 것으로 보인다. 생체기후도에 나타난 온습도 분포를 기간별로 살펴보면 우선 초여름이라고 볼수 있는 6월 하순-7월 하순(6월15일-7월14일)에는 자연통풍을 이용하여 100% 냉방이 가능하고 풍속 1m/s이하로도 냉방 필요시간의 80%이상을 쾌적한 상태로 만들 수 있다. 혹서기인 7월 하순-8월 초순에는 온도뿐 아니라 습도가 높아져서 1.5m/s이상의 풍속이 요구되지만 8월 하순(8월15일)부터는 다시 1m/s이하의 풍속으로도 충분히 자연냉방이 가능하다.

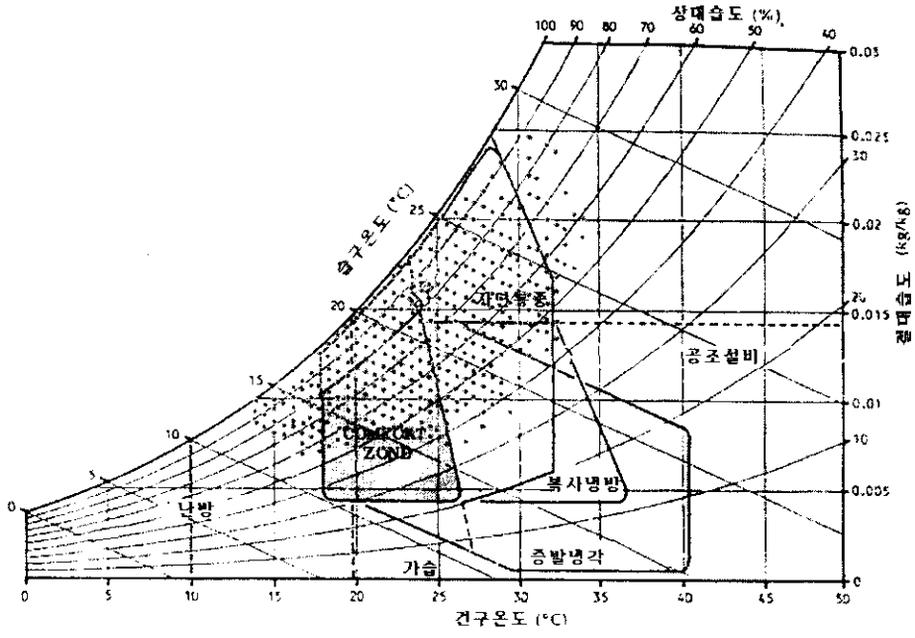
(그림 2.5)는 월별 풍속분포를 보여준다. 서울 지방의 외기 풍속은 각 기간별로 요구되는 풍속 수준을 충분히 만족시킬 수 있는 것으로 나타났다.

건물 생체기후도(Building Bio-climatic Chart)²⁵⁾는 자연형 조절과 설비형 조절을 포함한 환경설계의 기법을 습공기선도에 표시한 것이다. (그림 2.6)는 서울 지방의 온습도 분포를 건물 생체기후도에 표시한 것으로서 여기서도 가장 효과적인 자연냉방의 기법은 자연통풍이라는 사실을 확인할 수 있다.



(그림 2.5) 서울지방의 기간별 풍속분포

25) B. Stein, J. S. Reynolds and W. J. McGuinness, *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, New York, John Wiley & Sons, 1986.



(그림 2.6) 6월15일- 9월15일까지의 외기온 분포와 건물 생체기후도

2.4 자연통풍 계획을 위한 기후자료 분석

2.4.1 자연통풍으로 인한 인체 냉각효과

기류는 피부와 주변 공기 사이의 대류 열전달률 및 피부 습기의 증발로 인한 인체 냉각률에 영향을 미친다. 기온이 체온보다 낮으면 항상 냉각효과가 일어나며 기류속도가 빨라지면 열전달률도 커진다. 한편 증발량은 기류속도와 습도에 영향을 받는다. 비록 습도가 높으면 냉각효과는 감소되지만 기류속도가 빨라지면 증발 냉각은 항상 늘어난다.

기류속도의 증가로 인한 전체적인 냉방효과는 <표 2.4>에 나타나 있다. 이것은 기류가 거의 없는 25°C 상태에서 쾌적을 느낄만한 가벼운 옷차림에 상대습도는 60%인 조건에서 실험한 결과이다²⁶⁾.

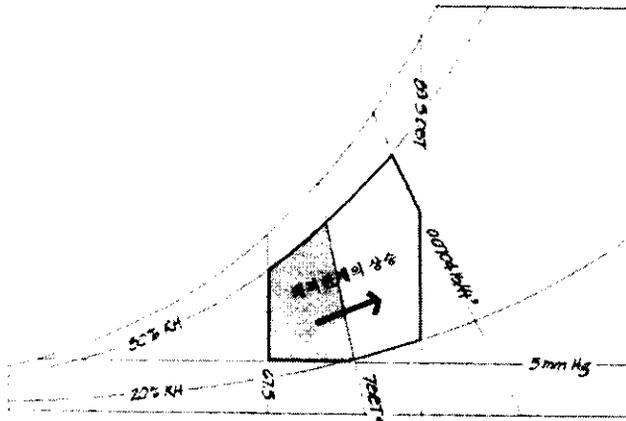
26) Arens, E., cited in world Literature review and Annotated

<표 2.4> 기류속도 증가로 인한 냉각효과

기류속도(m/s)	쾌적온도(℃)	쾌적온도 상승값(℃)
0.25 이하	24.8	-
0.5	26.4	1.6
1	28.4	3.6
2	30	5.2
4	31	6.2

기류속도와 쾌적 사이의 상관관계는 많은 연구자들에 의해 연구되었으며 기류속도를 증가시킴으로서 쾌적대의 한계를 더 높은 온도까지 확장시킬 수 있다는 점에서 모두 일치하고 있다. (그림 2.7)에서는 다양한 기류속도에 따라 확장된 쾌적 한계들을 습공기선도에서 보여준다²⁷⁾.

기류속도 0.15m/s가 증가하면 쾌적 온도는 0.56℃ 정도 상승하지만 0.8m/s 이상의 기류속도에서는 종이 날리고 1.5m/s 이상에서는 불쾌감을 느끼므로 피해야한다. 그러나 실제로 무더운 환경조건에 노출된 경우 (그림 2.4)에서 볼 수 있듯이 생체기후도의 분석결과 인체가 냉각효과를 느끼려면 1.5m/s이상의 기류속도가 필요한 경우도 있다.



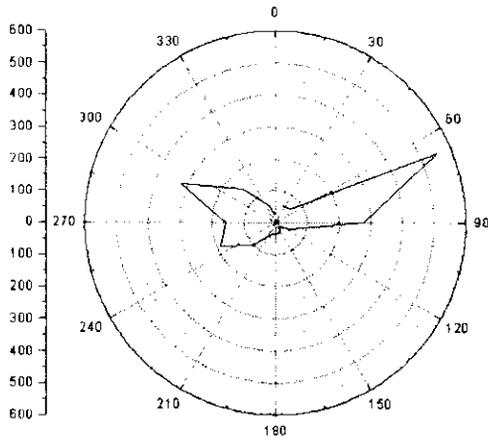
(그림 2.7) 기류 속도 증가에 따라 확장된 쾌적 한계

Bibliography, *Passive Cooling by Natural Ventilation*, Florida Solar Energy Center, 1981.

27) D. Watson, FAIA, and Kenneth Labs, *Climate Design*, Mcgraw-hill company, NY, 1983

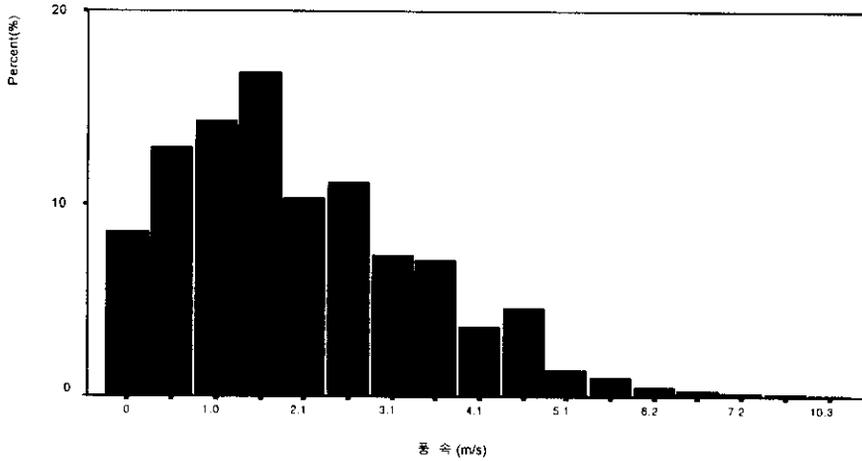
2.4.2 자연통풍 계획을 위한 기후 데이터

건물에 자연 통풍 기법을 적용하기 위해서는 설계 초기단계부터 풍향과 풍속에 대한 충분한 고려가 필요하다. (그림 2.8)은 하절기의 풍향에 따른 빈도수를 나타낸다. 하절기 주풍향이 남동풍이라는 일반적인 상식과는 달리 서울지방의 주풍향은 북동향 및 북서향으로 나타났다.



(그림 2.8) 풍향의 빈도수(하절기)

(그림 2.9)는 우리 나라 서울 지방의 하절기 풍속분포를 빈도수로 나타낸다. 여기서 볼 수 있듯이 우리 나라 하절기 평균풍속은 2.01m/s이며 5.1m/s이하의 풍속이 전체의 95%를 차지하는 것으로 나타났다. <표 2.5>은 하절기 각 기간 별 평균풍속과 최대풍속을 보여준다.



(그림 2.9) 하절기 풍속 분포

<표 2.5> 월별 평균풍속 및 최대풍속

기 간	평균풍속(m/s)	최대풍속(m/s)
6월15일 - 6월30일	1.99	6.7
7월 1일 - 7월31일	1.95	8.2
8월 1일 - 8월31일	2.1	6.7
9월 1일 - 9월14일	1.98	10.3

바람은 지역, 지형적 특성에 따라 변동이 심하며 고도에 따라서도 변화한다. 더구나 기후 데이터 상의 풍속, 풍향 값은 탁 트인 벌판에서 대부분 측정하므로 건물군이 밀집되어 있거나 주변에 언덕이 많은 부지의 경우 차이가 있다. 설계 데이터로 사용하고 있는 상풍향도 단지 그 방향의 바람이 다른 방향보다 좀더 많이 분다는 것으로 실제로 바람의 방향과 속도는 정확한 예측이 거의 불가능하다. 따라서 자연통풍을 고려한 건축계획은 단지 상풍향에 대한 통풍만을 고려할 것이 아니라 어느 향의 바람이든 모두 수용할 수 있는 계획이 되어야 할 것이다.

또한 설계에 적용을 위한 풍속 데이터는 연간 평균이 아닌 여름철 데이터이어야 하며 냉방기 대부분에 적용할 수 있는 계산 결과를 얻기 위해서는 여름철 평균풍속의 1/2값을 적용하는 것이 합리적이다²⁸⁾.

2.5 자연통풍에 관한 기존 연구

2.5.1 국외 연구현황

자연통풍에 관한 국외 연구를 살펴보면 우선 1970년대 이전에는 비공조 건물을 대상으로 실내 기류속도, 실내기류패턴의 특성, 창호설계 및 건물 주변의 기류 특성 등에 초점이 맞추어졌다. 일반적으로 단일 공간 규모에서의 기류속도의 증가로 인한 인체 쾌적이 주된 연구의 목적이었으며 기류의 양적인 평가는 거의 이루어지지 않았다.

그러나 1970년대 중반의 에너지 위기 이후, 자연통풍에 대한 연구는 에너지 절약의 관점에서 재평가되었으며 공조되는 건물을 대상으로 자연통풍과 기계냉방을 적절히 통합하기 위한 방법들이 연구되었다. 주된 연구목적은 자연통풍을 이용한 에너지 절감 효과를 평가하는 것이었는데, 대부분의 연구가 설계대안을 제시하기보다는 컴퓨터 프로그램과 알고리즘을 개발하는데 주력하였다.

자연통풍에 관한 연구들은 크게 실내 기류속도에 관한 연구, 실내 유입풍량에 관한 연구, 설계대안에 관한 연구 등으로 구분될 수 있다.

1) 실내 기류속도에 관한 연구

자연통풍으로 인한 인체의 냉각효과는 실내 기류속도의 증가로 인한 대류열전달 및 증발냉각에 의해 일어난다. 따라서 통풍효과를 평가하는데 있어 기류속도가 주된 척도로 사용되었는데 연구자들에 따라 유입구의 기류속도, 실내공간의 최대기류속도, 공간의 평균기류속도, 거주영역(바닥에서 1m 높이의 위치)에서의 평균기류속도 등이 평가척도로서 제안되어 왔다.

1950년대 초, Texas A&M 대학에서 등속 풍동장치(Uniform Speed Wind Tunnel)를 이용하여 다양한 형태와 개구부를 가진 공간의 자연통풍 성능을 분석하기 위한 모델실험이 수행되기 시작하였다. Reed²⁸⁾, Evans³⁰⁾, Bowen³¹⁾ 등은

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

29) R. H. Reed, *Design for Natural Ventilation in Hot Humid Weather*, Reprint from

Texas A&M에서 공간의 다양한 기류패턴에 관하여 연구하였는데 풍동모델과 실제 건물의 기류패턴이 거의 유사하다는 것을 가시화 분석을 통하여 최초로 증명하였다. Texas A&M의 연구목적은 실내에 기류속도를 증진시키기 위한 것³²⁾으로 이러한 연구결과들은 대부분 기류흐름을 나타내는 다이어그램으로 표현되었다. Texas A&M의 연구들은 그 외에도 풍량은 유입구와 유출구의 크기가 같을 때 가장 큰 반면 실내기류속도는 유출구가 유입구보다 다소 큰 경우 가장 빠르며, 유출구의 위치는 실내기류패턴에 큰 영향을 미치지 않는 반면 유입구의 위치가 기류패턴을 조절한다는 것을 알아내었다³³⁾. 또한 기류패턴에 대한 평가를 거주영역에서 처음으로 실시하였으며, 유입구가 벽체에 가깝게 배치된 경우 유입된 기류가 가까운 벽을 타고 흐르게되는 Wall-jet 효과를 발견하였다.

1960년대부터 Givoni³⁴⁾는 스케일모델을 이용한 풍동실험을 이용하여 실내 통풍 속도를 증진시키기 위한 건물군과 중정을 갖는 건물의 기류속도, 중앙복도식 건물의 맞통풍기법, 통풍을 증진시키기 위한 건물의 배치방법 등을 연구하였다. 또한 유입구와 유출구 계획에서 직접 마주보지 않고 맞붙어있는 벽체에 위치한 개구부의 통풍성능을 비교하였으며 비록 수평형 창호에 한정되었지만 다양한 창호종류에 따른 기류패턴의 변화를 연구하였다. 특히 한쪽 면에만 개구부가 있는 실의 통풍을 향상시키기 위한 설계대안으로서 날개벽(Wing wall)을 제안하기도 하였다.

영국 Architectural Association의 Sobin³⁵⁾은 최초로 경계면 풍동장치

Housing and Building in Hot Humid and Hot Dry Climates, Washington, D. C. National Research Council, 1953.

30) B. H. Evans, *Energy conservation with natural air flow through windows*, ASHRAE Transactions, 1979.

31) A. Bowen, *Classification of air motion system and patterns*, Miami Beach, AS/ISES, 1981.

32) T. R. Holleman, *Air Flow through Conventional Window Openings*, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1951.

33) E. G. Smith, *The Feasibility of Using Models for Predetermining Natural Ventilation*, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1951.

34) B. Givoni, *Man, Climate and Architecture*, 2nd Edition, London, Applied Science Publishers, 1976.

35) H. J. Sobin, *Window design for passive ventilating cooling- An experiment model scale study*, Proc. International Passive and Hybrid Cooling Conference, AS/ISES, 1981.

(Boundary layer wind tunnel)를 자연통풍 연구에 사용하였다. 경계면 풍동장치는 항공학에서 주로 사용하는 것으로 풍속의 변화와 바람의 난류특성을 더욱 잘 시뮬레이션할 수 있다³⁶⁾. 1984년에는 미국에서도 Arens³⁷⁾가 UC-Berkely에 경계면 풍동장치를 설치하였다.

통풍성능에 대한 방충망의 영향은 세계각국에서 연구되었는데 Givoni는 1976년 방충망의 설치 위치에 따른 실내기류속도를 비교하였고 Van Staaten³⁸⁾은 유입바람의 속도가 방충망을 통과하면서 감소되는 비율을 연구하였다.

한편, 실내 기류속도를 예측하기 위한 수학적 접근은 1974년 Nielsen³⁹⁾에 의해서 연구되기 시작하였다. 이 복잡한 3차원 난류방정식을 검증하기 위하여 일련의 풍동실험이 Colorado State 대학에서 실시되었다.⁴⁰⁾

2) 실내 유입 풍량에 관한 연구

1970년대에 이르러 에너지 파동 이후 기후조건에 적절한 건물을 계획함으로써 냉방에너지를 줄이기 위한 목적으로 자연통풍 연구에 대한 관심이 되살아나기 시작했다. 풍량의 정확한 계산은 열쾌적 분석뿐 아니라 냉난방 부하의 계산을 위해 중요하며 자연통풍을 이용한 에너지 절감량은 외기 도입량으로 계산되므로 실내 유입풍량의 산정에 관한 연구가 주로 이루어졌다.

Aynsley, Melbourne과 Vickery⁴¹⁾는 단일 유입구와 유출구를 가진 맞통풍되는 단위공간에서 유량계수(Discharge Coefficient)와 풍압계수(Pressure Coefficient)를 이용하여 실내에 유입되는 풍량을 계산하는 식을 고안하였다. Aynsley의 방정식을 이용하기 위해서는 유량계수(Cd)와 풍압계수(Cp)가 필요하므로 경계면 풍동장치를 이용한 건물의 유량계수 및 풍압계수 측정에 관한 연구가 다수 진행

36) R. M. Aynsley, W. Melbourne, and B. J. Vickery, *Architectural Aerodynamics*, London, Applied Science Publishers, 1977.

37) E. A. Arens, *Prediction thermal comfort of people in naturally ventilated buildings*, ASHRAE Transactions, 1984.

38) van Straaten, J.F., *Thermal Performance of Buildings*, Amsterdam: Elsevier, 1967

39) Nielsen, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, 1974.

40) M. Poreh et al, *Wind Tunnel Research of Flowfields within Naturally Ventilated Rooms of Simple Geometry*, Colorado State university, 1982.

41) R. M. Aynsley, W. Melbourne, and B. J. Vickery, *Architectural Aerodynamics*, London, Applied Science Publishers, 1977.

되었다. Riffat⁴²⁾, Kiel과 Wilson⁴³⁾ 및 , Santamouris⁴⁴⁾ 등은 풍동실험결과를 분석하여유량계수(Cd)을 계산하는 방법을 제안하였으며 Darliel과 Lane Serff⁴⁵⁾는 물을 사용한 실험을 통해 Cd값을 측정했다.

Cp값은 바람으로 유도되는 압력의 변화를 설명하는 계수로서 풍향, 지세, 풍향에 대한 지면의 거칠기 등에 따라 변한다. 단독 건물의 풍압계수 (Cp값)는 Davenport, Surry와 Stathopoulos⁴⁶⁾, MacDonald⁴⁷⁾, Newberry와 Eaton⁴⁸⁾, 그리고 Vickery, Baddour와 Karakatsanis⁴⁹⁾등의 연구들에 나와있다. 또한 Allen⁵⁰⁾은 기존의 풍압계수 데이터들을 포괄적으로 정리하였으며 최근 Hussein과 Lee의 실험결과와 Cermark의 실험결과를 분석하여 제안된 Cp값 계산모델이 Santamouris와 Simakopoulos의 저서⁵¹⁾에 나와있다.

풍압계수와 관련하여 Evans⁵²⁾는 건물 후면의 무풍지역이 건물높이의 3배에서 4배에 이른다는 사실을 발견하였으며 Vickery⁵³⁾는 주변 건물의 차폐효과로 인한

42) S. B. Riffat, *A study of heat and mass transfer through a doorway in a traditionally built house*, ASHRAE Transactions, pp. 584-589, 1989.

43) D. E. Kiel and D. J. Wilson, *Combining door swing pumping with density driven flow*, ASHRAE Transactions, pp.590-599, 1989.

44) M. Santamouris, *Natural convection heat and mass transfer through large openings*, Model Development Subgroup Meeting, Lyon, 1992.

45) S. B. Darliel and G. f. Lane-Serff, *The hydraulics of doorway exchange flows*, Building and Environment, Vol. 26, No.2, pp.121-135, 1991.

46) A. G. Davenport, D. Surry, and T.Stathopoulous, *Wind Load on Low Rise Buildings*, London, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario, 1978.

47) A. J. MacDonald, *Wind Loading on Buildings*, London, Applied Science Publishers, 1975.

48) C. W. Newberry and K. J. Eaton, *Wind Loading Handbook* (Third impression) Watford, Building Research Establishment, 1976.

49) B. J. Vickery, R. E. Baddour, and C.A. Karakatsanis, *A Study of the External Wind Pressure Distributions and Induced Internal Ventilation Flows in Low-Rise Industrial and Domestic Structures*, London, University of Western Ontario, 1983.

50) C. Allen, *Wind Pressures for Air Infiltration Calculations*, Berkshire, Air Infiltration Centre(AIC), 1983.

51) M. Santamouris and D. Asimakopoulos, *Passive cooling of Buildings*, London, James & James, 1996.

52) B. H. Evans, *Natural Air Flow around Buildings*, Texas, Texas Engineering Experiment Station, 1957.

53) B. J. Vickery, *The use of the wind tunnel in the analysis of naturally ventilated*

풍압계수값의 감소에 관하여 연구하였다.

또한 실험 데이터를 이용하여 단일공간의 풍량을 계산하는 몇 가지 간단한 방법이 개발되었는데 British Standard Method⁵⁴⁾, NORMA⁵⁵⁾, PHAFF Method⁵⁶⁾ 등이다. 3개 이상의 창문을 갖는 일반적인 경우에는 건물의 유입풍량을 예측하기 위하여 일련의 비선형 대수방정식을 해석해야 하는데 Vickery⁵⁷⁾와 Walton⁵⁸⁾이 이에 관해 연구하였다.

2개 이상의 공간이 연결된 경우 풍량의 계산방법은 2가지 접근방식이 있는데 CFD(Computational Fluid Dynamics) 모델링과 Zonal Method(Mass balance /flow network approach)이다. CFD 모델링은 Navier-Stokes 방정식의 해석에 기초하여 2차원 또는 3차원의 그리드 체계내에서 질량, 운동량과 에너지 보존방정식을 계산하는 것이다. Santamouris는 PHOENICS를 이용하여 정상상태에서 실내의 온도 및 속도를 시뮬레이션 하였다⁵⁹⁾. Zonal Method는 건물의 각 공간이 하나의 압력존을 형성한다는 개념에 기초한다. 최근에 Dascalaki⁶⁰⁾는 다양한 형태의 개구부에 대하여 5가지 대표적인 컴퓨터 프로그램(AIRNET, BREEZE, ESP, PASSPORT-Air, COMIS)를 이용하여 각각 시뮬레이션 하였으며 비교결과

structures, Miami, AS/ISES, 1981.

54) BS 5925, Code of Practice for Design of Buildings, *Ventilation Principles and Designing for natural Ventilation*, London, British Standards Institution, 1980.

55) M. Santamouris, *NORMA- A method to calculate the thermal performance of passively cooled buildings*, cooling of Buildings, Vol.5, Dublin, University Coolege Dublin, 1993.

56) ANNEX 20, Air flow patterns within buildings - *Air flow through large openings in buildings*, International Energy agency, 1992

57) B. J. Vickery, *The use of the wind tunnel in the analysis of naturally ventilated structures*, In Proc. International Passive and Hybrid Conference, Miami Beach, AS/ISES, 1981.

58) G. Walton, *Thermal Analysis Research Program(TARP) Reference Manual*, Gaithersburg, MD : National Bureau of Standards, 1983

59) M. E. Santamouris, E. Dascalaki, A. Argiriou, C. Helmis and D. N. Asimakopoulos, *Analysis of Heat and mass flow due to temperature difference in a two-zone test cell*, Model Development Subgroup PASCOOL Meeting, Florence, 1992.

60) E. Daskaki, P. Drouta and M. Santamouris, *Interzonal comparison of five multizone air flow prediction tools*, Model Development Subgroup PASCOOL Meeting, Florence, 1992.

가 거의 일치한다는 것을 보여주었다.

모델실험 또는 현장에서 기류의 측정에는 추적가스 실험을 이용할 수 있다. 추적가스의 농도가 희석되는 비율로 유입또는 유출풍량을 측정하는 방법은 1955년 Van Straaten에 의해 최초로 이용되었다. 1983년 Chandra⁶¹⁾는 SF₆를 이용하여 현장실측 조사를 실시하였으며 이러한 실측조사를 통하여 실제 건물에서의 통풍량은 외기 풍향의 변동에 따라 풍동실험에서 예측된 결과보다 더 커질 수 있음을 알아냈다.

한편, 풍량의 산정 방식에 관한 연구와 함께, 1980년대 이후 몇몇의 연구자들이 거주건물⁶²⁾과 상업건물을 대상으로 자연통풍을 이용한 냉방에너지 절감량을 분석하고 있다.⁶³⁾ 또한 습도가 높은 기후에서는 습기로 인한 잠열부하가 냉방부하에 상당히 많은 부분을 차지하게되므로 Florida Solar Energy Center를 중심으로 습도조절을 통한 에너지절약에 관한 연구들이 진행되었다. 1982년 Carroll⁶⁴⁾ 등은 사무소 건물들에서 통풍률을 다르게 했을 때 냉방 에너지 절감율을 비교하였다. 그러나 이상의 모든 연구 결과들은 모두 일정량의 환기율을 가정한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 분석으로 실제 외기풍속을 실시간 입력하여 분석한 예는 없었다.

3) 자연통풍 설계 계획에 관한 연구

자연통풍 계획방법에 관한 기존 연구는 소규모 주택을 중심으로 이루어져 왔으며 학교⁶⁵⁾ 등을 제외하고 대규모 현대건축에 대한 자연통풍 설계지침은 거의 전무한 실정이다.

61) S. Chandra, *A design procedure to size windows for naturally ventilated rooms*, Boulder, ASES, 1983.

62) T. Kusuda, *Savings in Electric Cooling Energy by the Use of a Whole House Fan*, Gaithersburg, National Bureau of Standards, 1981.

63) D. A. Neeper, and R. D. McFarland, *Some Potential Benefits of Fundamental Research for Passive Solar Heating and Cooling of Buildings*, Los Alamos, Los Alamos National Laboratories, 1982.

64) W. C. Carroll, *Passive Cooling Technology Assessments*, Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory, 1982.

65) S. Chandra, *Low Energy Design for Schools and Public Buildings*, Natural Ventilation Vol.II, Florida Solar Energy Center, 1985.

Givoni는 자연통풍에 영향을 미치는 설계요소들에 대하여 지적하고 중복도형 건물의 통풍방법, 통풍을 증진시키기 위한 건물의 배치방법⁶⁶⁾, 창호의 개폐방법에 따른 통풍성능과 날개벽의 효과⁶⁷⁾, 방충망의 영향⁶⁸⁾ 등을 기류 패턴과 기류속도 분포 측면에서 분석하였다. Chandra, Fairey와 Houston은 자연통풍을 이용하는 실내공간에서 적당한 크기의 창문크기를 계산할 수 있는 방법⁶⁹⁾을 제안하고 있다.

또한 설계 디테일에 관한 연구로서 Solar Chimney, Double Roof와 Double wall 등이 Schubert와 Hahn⁷⁰⁾ 그리고 Chandra, Fairey와 Houston⁷¹⁾, Chandra, Fairey와 Houston⁷²⁾ 등에 의해 연구되었다. Santamouris⁷³⁾와 Hoffman⁷⁴⁾는 야간통풍을 건축에 적용하기 위한 일련의 방법에 대하여 설명하고 있으며 Goulding⁷⁵⁾는 사례연구를 통해 야간통풍을 이용할 경우 실내 최고 온도의 감소 폭을 보여주었다. 또한 Koos van der Maas는 굴뚝효과로 인한 냉각효과를 예측하기 위한 간단한 모델⁷⁶⁾을 제안하였다.

66) B. Givoni, *Building and Urban Design Guidelines for Different Climates*, 1994, New York, Van Nostrand Reinhold.

67) B. Givoni, *Man Climate and Architecture*, 2nd edition, London, Applied Science Publishers, 1976.

68) B. Givoni, *Ventilation Problems in Hot Countries*, Research report to Ford Foundation, Israel, 1968.

69) S. Chandra, *A design procedure to size windows for naturally ventilated rooms*, 8th National Passive Solar Conference, 1983.

70) R. P. Schubert, and P. Hahn, *The design and testing of a high performance ventilator cowl*, Boulder, ASES, 1983.

71) S. Chandra, P. Fairey and M. Houston, *A Handbook for Designing Ventilated Buildings*, Florida Solar Energy Center, 1983.

72) S. Chandra, P. W. Fairey, and M. M. Houston, *Analysis of Residential Passive Design Techniques for the Florida Model Energy Code*, Florida Solar Energy Center, 1984.

73) M. Santamouris, *Passive and Hybrid cooling projects in Greece*, Processings of Building 2000 Workshop, Barcelona, 1988.

74) M. E. Hoffman and M. Gideon, *Window design practical directions for passive heating and cooling in heavy and light buildings*, Processing : Windows in Building Design and Maintenance, Sweden, 1984

75) J. R. Goulding, J. Owen Lewis and T. C. Steemers, *Energy in Architecture*, The European Passive Solar handbook, Commission of the European Communities, 1993.

76) J. Koos van der Maas and C. A. Roulet, *Nighttime ventilation by stack effect*, ASHRAE Technical Data Bulletin, Vol. 7, 1991.

2.5.2 국내 연구현황

우리 나라는 하절기에 쾌적한 실내환경을 얻기 위한 수단으로 맞통풍을 적극적으로 이용하였으며 전통건축은 고온다습한 기후와 건물과의 조화를 보여준다. 그러나 냉방을 위한 자연통풍 계획에 관한 연구는 1970년대까지 거의 전무한 상태이며 공동주택의 경우, 난방부하 감소를 위한 환기성능에 대한 연구가 주류를 이루었다.

자연통풍에 관한 국내 연구는 실측과 풍동실험을 통한 실내공간의 통풍률, 건물의 풍압계수 측정실험 및 개구부의 설계와 최적화에 집중되어 왔으며 주로 건물 외벽의 풍압계수와 실내 통풍률로 건물의 통풍성능을 평가하고 있다.

1984년 안병욱⁷⁷⁾은 설문조사와 기류속도 실측을 통하여 고층아파트의 주호 위치에 따른 통풍실태를 조사하였으며 이하성⁷⁸⁾은 설문조사와 함께 풍량을 수계산하여 주방의 적정 개구부면적을 층별로 제시하였다.

윤재욱⁷⁹⁾은 축소모델을 이용한 풍동실험으로 주동배치에 따른 풍압계수 및 주호에서 개구부 개폐에 따른 실내 기류속도를 측정하였으며 황광석⁸⁰⁾은 주변 구조물 배치에 따른 주택주변의 외부 기류패턴과 이에 따른 실내기류패턴을 풍동실험을 통해 고찰하였다. 이처럼 자연통풍에 관한 연구들은 주거건물, 특히 고층 아파트가 주된 대상이었으며 실측범위나 실험변수는 매우 한정적이었다.

단위공간의 통풍성능에 관한 연구로는 김한태, 김수인과 박병전⁸¹⁾ 등이 실의

77) 안병욱, 「고층아파트에서의 통풍실태에 관한 조사연구」, 한양대, 석사논문, 1984

78) 이하성, 「고층아파트의 자연통풍에 의한 개구부계획에 관한 연구」, 건국대산업대학원, 석사논문, 1990.

79) 윤재욱, 「고층아파트의 자연통풍에 관한 모형 실험연구」, 연세대 석사논문, 1985

80) 황광석, 「주거용 건물의 통풍계획에 관한 실험적 연구」, 영남대 석사논문, 1989.

81) 김한태, 김수인, 박병전, 「모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(I)」, 대한 건축학회논문집 4권5호, 1988.

김한태, 김수인, 박병전, 「모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(II)」, 대한 건축학회논문집 5권1호, 1989.

김한태, 김수인, 박병전, 「모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(III)」, 대한 건축학회논문집 5권2호, 1989.

김한태, 김수인, 박병전, 「모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(VI)」, 대한 건축학회논문집 5권4호, 1989.

크기, 창외 크기 및 위치와 바람의 유입각도에 따른 실내 기류분포와 유입구 평균속도를 풍동장치를 통해 실험, 분석하였다.

80년대 후반부터 풍동실험을 통한 풍압계수에 관한 연구가 많이 수행되기 시작하는데 자연통풍을 위한 연구가 아니라 겨울철 환기량의 산정⁸²⁾이나 풍력계수⁸³⁾의 산정을 위한 것이 대부분이었다. 정재국⁸⁴⁾은 고층 건물 주변의 풍환경을 평가하여 강풍영역에 대한 방풍대책을 제시하였다.

한편, 이명근⁸⁵⁾은 풍량을 계산하고 신유효온도와의 비교를 통해 쾌적지수를 산정하여 주거건물에서 냉방효과를 평가하는 컴퓨터 프로그램을 제안하였다.

1990년대 초에는 전통민가의 자연통풍 및 복사냉방 원리를 미기후의 실측을 통해 분석한 연구⁸⁶⁾가 있었으며 김완기⁸⁷⁾는 공동주택 단위세대의 기류패턴을 수동실험 장치를 통해 분석하고 풍동장치를 이용하여 개구부 종류에 따른 풍량을 산정하였다.

82) 윤재옥, 『풍동실험을 이용한 고층 아파트의 환기량 산정에 관한 연구』, 건축학회 논문집 6권 3호, 1990.

83) 최영규, 김노동, 「고층 아파트 단지의 배치형태에 따른 풍력계수 변화에 관한 연구」, 대한 건축학회 논문집 4권 5호, 1988.

84) 정재국, 「고층건축물 주변 풍환경 평가에 관한 실험적 연구」, 연세대 박사논문, 1992.

85) 이명근, 자연통풍에 의한 주거용 건물의 냉방효과에 관한 연구, 연세대 석사논문, 1986.

86) 이경희 외, 「전통민가의 자연형 냉방디자인의 원리와 기법에 관한 연구」, 대한건축학회 학술발표 논문집 14권 2호, 1994.

87) 김완기, 「자연통풍성능을 고려한 공동주택의 개구부 특성에 관한 연구」, 중앙대 석사논문, 1998.

2.6 소 결

1. 우리 나라 공동주택의 냉방실태를 살펴보면, 건축계획에서부터 냉방을 고려하는 경우는 거의 없고 거주자가 개별적으로 에어컨을 설치, 운영함으로써 많은 문제점이 제기되고 있다. 이에 보다 쾌적하고 건강하고 에너지 절약적이고 환경친화적인 대안이 요구되는데 혹서기를 제외한 나머지 냉방기간 중에는 자연통풍을 이용한 자연냉방을 적극 활용하는 것이 가장 바람직한 대안이다.

2. 기후분석 결과, 우리나라의 기후 조건에서 가장 적절한 자연냉방 기법은 자연통풍이며 하절기 냉방 필요시간 중 80%이상이 자연통풍으로 냉방이 가능한 것으로 나타났다.

3. 자연통풍 계획을 위한 기후 데이터는 단지 상풍향에 대한 통풍만을 고려할 것이 아니라 어느 향의 바람이든 모두 수용할 수 있는 계획이 되어야 하며 설계에 적용을 위한 풍속 데이터는 여름철 평균풍속의 1/2값을 적용하는 것이 합리적이다. 서울지방의 하절기 주풍향은 북동풍이며 평균풍속은 2m/s로 나타났다.

4. 우리 나라의 자연통풍에 관한 기존 연구들은 외국의 사례나 다른 분야의 연구에 비하여 빈약한 실정이며 건물 설계에 적용될 수 있는 종합적인 연구보다는 측정, 실험을 통한 기초연구가 대부분이었다. 또한 실측지점이나 실험변수가 매우 한정적이며 연구결과에 대한 검증이 미흡하여 결과에 대한 신뢰성이 떨어지는 경우가 많이 있다. 본 연구에서는 먼저 분석도구의 검증을 통하여 신뢰성을 확보하고, 자연통풍 성능을 평가하는데 있어서 정성적인 측면뿐 아니라 정량적인 분석을 함께 실시하여 객관적인 결과를 도출하고 실제로 이용할 수 있는 건축 계획 방안을 제시하고자 한다.

제 3 장 자연통풍 성능 분석도구의 고찰

3.1 개요

건물 내외부의 기류의 해석에는 일반적으로 수학적 계산, 컴퓨터를 이용한 유체해석(CFD), 풍동(Wind Tunnel)실험 및 수동(Water Mapping Table)실험 등이 이용된다.

수학적 계산방식은 기본적인 유체역학의 이론에 각종 경험식과 실험 데이터를 대입하여 기류를 해석하는 방법이다. 대표적인 수학적 계산 방법은 ASHRAE에서 제시한 공식¹⁾을 주로 사용하고 있는데, 여기에서는 환기율(Air Change Rate)과 실내외 차압(Pressure Difference) 및 풍량(Airflow Rate)을 계산하고 있다. 이 방식은 유입구를 통한 기류속도나 실내로 유입되는 풍량을 산출하는 데에는 유용하게 사용될 수 있고, 이에 따른 공간의 냉난방 부하를 계산하는데 활용될 수 있다. 그러나 수학적 계산 방법은 실내 공간 내에서의 기류속도를 파악할 수 없기 때문에 자연통풍을 통한 냉방효과를 확인할 수 없다. 또한 자연통풍에서 중요하게 고려되어야 하는 실내 기류패턴 역시 기존의 수학적 계산방법으로는 해석이 불가능하다. 즉, 수학적 해석방법은 자연통풍의 효율성을 정확하게 해석하는 데에는 제약이 있다.

풍동은 모델주변의 기류를 연구하기 위하여 실험자에 의해 제어되는 바람을 공급하는 기계적인 장치이다. 풍동의 유입구는 풍동을 통과하는 바람이 일정하도록 조절한다. 풍동을 이용한 기류해석은 건물 내외부의 기류 패턴을 가시적으로 확인할 수 있을 뿐 아니라 공간내의 기류속도를 측정할 수 있다. 또한 풍동 실험은 실물을 그대로 축소시킨 모델을 이용하기 때문에 3차원으로 실제와 유사한 상황을 재현할 수 있다. 그러나 경제적 측면에서 풍동장치는 풍동 설치비용, 풍동의 측정, 정교한 공구 및 센서의 사용 및 모델 제작 등에 많은 비용과 시간이 소요된다.

1) ASHRAE Handbook, 1997 *Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., pp.25.1-25.28

한편, 수동실험은 2차원 모델을 이용하여 건물 내외부에서의 기류패턴을 쉽게 가시화할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 사용한 수동장치(Water Mapping Table)는 평판 위에 일정한 양의 물을 일정한 속도로 고르게 흘러보내면서 평판 위에 놓인 건물의 2차원 모델과의 관계를 관찰할 수 있는 장치이다. 자연통풍을 시뮬레이션할 때 바람의 속도는 흐르는 물의 속도를 모델의 스케일과 같은 비율로 환산하여 가정할 수 있다. 수동실험은 장치가 단순하고 모델의 제작과 실험에 있어서 경비와 시간이 크게 절감되므로 설계 초기 단계나 예비 연구 단계에서 손쉽게 이용할 수 있다. 그러나 수동실험은 3차원 공간에서의 기류패턴을 파악할 수 없기 때문에 수동실험을 통해 분석된 기류패턴의 결과는 풍동실험과의 검증이 필요하다.

컴퓨터를 이용한 유체 해석 방법(전산유체해석, Computational Fluid Dynamics)은 건축물과 같은 복잡한 형상을 갖는 공간에서의 유동 현상을 해석하기 위하여 해석 공간을 일련의 제어체적(Control Volume) 또는 요소(Element)들로 근사시키는 수치 해석적 방법으로 각 요소내의 기류는 질량보존의 법칙 및 운동량 보존의 지배방정식을 충족시키도록 다양한 방법에 의해 모델링된다. CFD 해석방법은 일반적인 수학적 계산 방법이나 풍동, 수동 실험 방법에서 고려하기 어려웠던 개구부의 위치나 건물 내외부를 통과하는 질량유동, 유동 경계층의 유형, 표면의 특성, 장애물 등에 대해 정확한 해석이 가능하다. 일반적으로 해석 대상 공간은 수많은 제어체적으로 나뉘어지며, 각 요소는 전체 공간 중에서 단지 한 부분만을 나타내게 된다. 유체의 이동 및 확산은 불연속전달방정식(Discreted Transport Equation)의 연속에 의해 각 제어 체적 안에 표시된다. 직접적인 해석은 거의 불가능하기 때문에 모든 변수에 대해 각각의 방정식이 균형을 이룰 때까지 반복 계산이 필요하며 이를 위해서는 대용량 컴퓨터의 활용이 필수적이다. 전산유체 해석을 위한 컴퓨터 프로그램에는 CFX, PHOENICS, Fluent, Star-CD 등이 있으며 본 연구에서는 최근 건축분야에서 활용빈도가 높아지고 있는 PHOENICS 프로그램을 이용하였다.

3.2 분석도구의 종류 및 특성

3.2.1 풍동 실험 장치(Wind Tunnel)

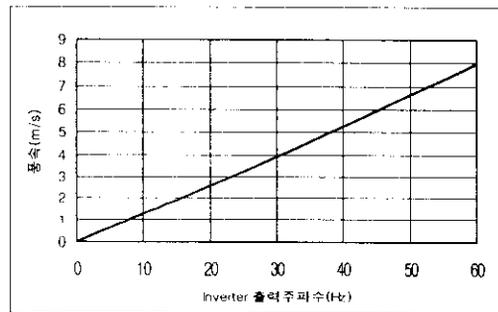
1) 실험 장치

실험에 쓰인 풍동은 전장이 17.5m, 풍동실험부 단면의 크기가 1.7m x 1.3m, 측정부 길이 6m인 보출형 풍동장치이다²⁾. (그림 3.2)는 풍동장치의 형태 및 제원을 보여준다.

풍동내의 풍속변화를 조절하기 위해 확대부에 2개, Settling Chamber에 4개의 스크린이 설치되어 있다. Settling Chamber 시작부분에는 Honeycomb을 설치하여 바람의 균질화를 유도하였다. 풍동에 사용된 송풍기 사양은 <표 3.1>과 같으며 출력 주파수를 조절함으로써 송풍기의 회전수를 조절하여 원하는 풍속을 만들 수 있도록 설계되었으며, 풍속의 균일도는 $\pm 2\%$ 내외로 매우 균일하게 발생된다. (그림 3.1)는 출력주파수에 따른 풍속의 변화를 보여준다. 측정부에는 축소모형을 제작, 설치하도록 직경 1.6 m의 원판이 마련되어 있으며, 풍향에 따른 실험이 가능하도록 360° 회전할 수 있다.

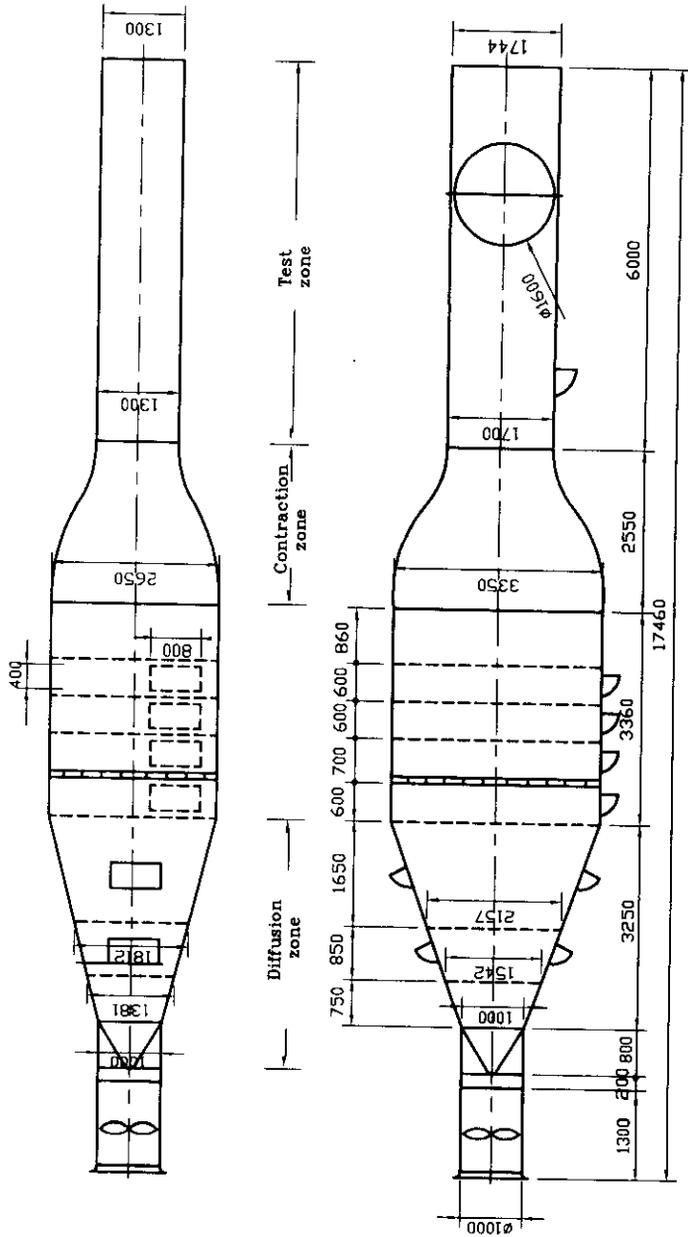
<표 3.1> 송풍기의 사양

풍량	최대 630 m ³ /min
정압	50 mmAq
회전수	1,315 rpm
형태	AXIAL FLOW FAN
출력	15 KW
상/주파수	3상 60Hz

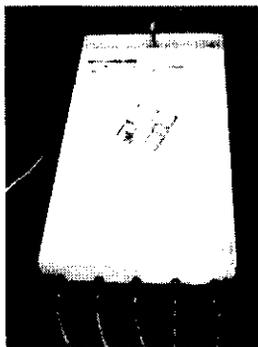
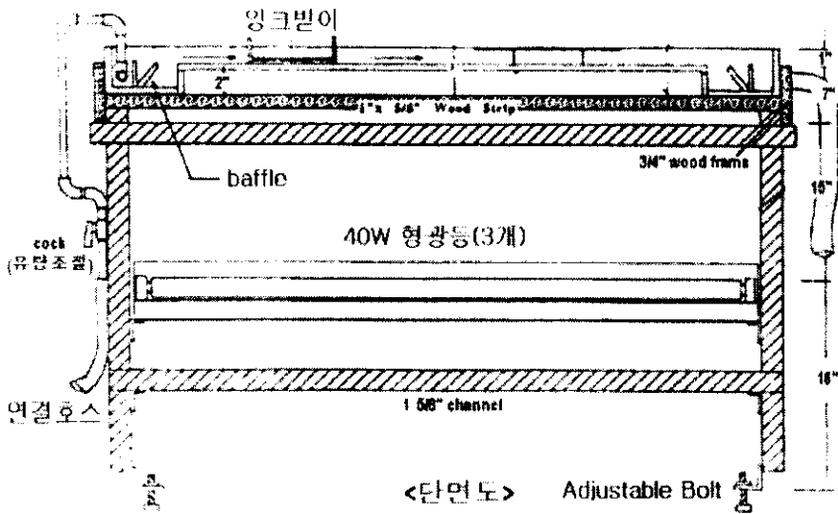
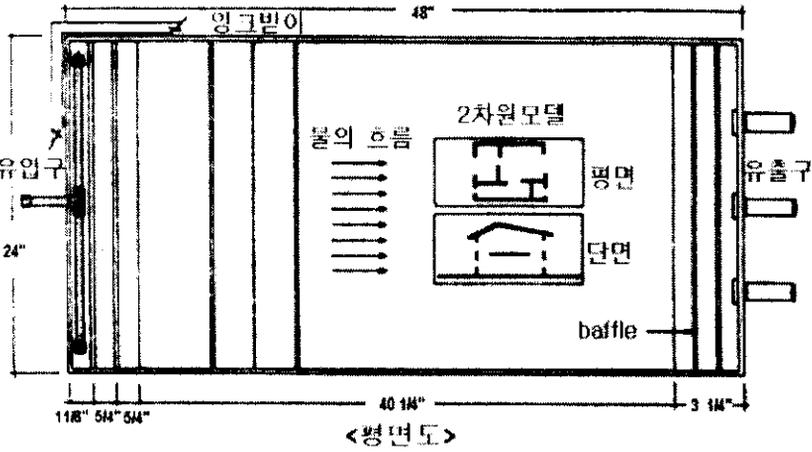


(그림 3.1) 출력 주파수에 따른 풍속

2) 서울시립대학교 대기환경 실험실 보유장치



(그림 3.2) 풍동장치치의 형태



(완성모습)

(그림 3.3) 수동장치의 구조

3.2.2 수동 실험 장치(Water Mapping Table)

(그림 3.3)에서 볼 수 있듯이 수동은 다양한 형태의 배치를 갖는 물체를 둔 아크릴 판 위에 얇은 막을 형성하면서 흘러가는 물의 흐름을 이용하는 장치이다. 이 장치는 건물 주변 및 내부의 기류특성을 가시화하는 데 매우 간편하게 사용될 수 있다. 수도꼭지에서 공급되어 호스를 통해 Table의 상부에 떨어진 물이 흐를 때 불용성 잉크가 잉크받이에서 떨어진다. 잉크와 물은 천천히 흘러 나가며 유체가 움직이는 경로 중에 물체를 만나면 다른 방향으로 움직이게 된다. 물에 섞여 흐르는 잉크는 기류의 움직임과 같으며 이와 같은 간단한 실험을 통하여 건물 내외부에서의 자연통풍을 통한 기류패턴을 가시화할 수 있다.

풍동이 3차원 모델이 필요한 반면 수동장치는 2차원 실험이 가능하며 수평면과 수직면 모두 보여줄 수 있다. 그러므로 모델은 주어진 조건에서 2차원으로 가장 효과적으로 보여줄 수 있도록 만들어야 한다.

물의 유속은 수도꼭지로 유량을 조절함으로써 각기 다른 바람속도를 나타낼 수 있으며 조절장치가 있다면 Water Table을 기울여서 조절할 수도 있다.

3.2.3 PHOENICS 프로그램

PHOENICS는 영국 Imperial College의 D. B. Spalding박사가 개발한 범용 전산 열·유체해석 프로그램으로, 건축, 기계, 환경, 화공, 우주항공 등의 분야에서 열전달, 유체의 이동, 화학반응 등을 해석하는데 사용되고 있다. 특히 건축환경 및 공조분야 해석에 적합한 FLAIR라는 전용 프로그램 모듈을 채택하여 다른 기계분야의 범용유체해석 프로그램보다 실내와의 기류 및 온도분포해석을 보다 용이하게 수행할 수 있다³⁾.

PHOENICS의 이산화(離散化)방법은 유한체적법(Finite Volume Method)으로서 운동량 및 질량의 보존법칙을 만족시키기 위해 용이하도록 적분으로 기초방정식을 이산화하고 있다. PHOENICS의 그리드 시스템은 직교 좌표계와 곡면 형상을

3) 송국섭, 윤재옥 외, 『그린빌딩의 에너지 소모량 평가 및 환경성능분석』, 동우건축 건축기술 연구소, 1998.

해석할 수 있는 밀착 좌표계(BFC ; Body Fitted Coordinates)가 있다. 비정상상태와 정상상태를 모두 다룰 수 있으며, 또한 다양한 난류 모델링과 층류, 비압축성 유체와 압축성유체, 이상유동해석이 모두 가능하다. 대류항의 이산화방법으로는 1, 2차 정도 풍상차분법, 하이브리드법, Quick법, 맥승법 등 매우 다양한 방법을 제공하고 있으며 비선형방정식의 해법으로는 반복해법, 계수의 자동설정법 등을 사용하고 있다. 시간적분법을 고려한 비정상상태를 해석할 때는 완전음해법 등을 사용하고 압력장을 해석하는 방법으로는 SIMPLEST방법을 이용한다. 벽면경계조건을 설정하는 방법으로는 no-slip조건과 slip조건 그리고 맥법칙 등을 사용하고 있다.

경계조건은 일정변수값 경계조건, 일정유속조건, 선형경계조건, 비선형경계조건, 벽조건, 입출구조건 등이 있으며 그 중에서 가장 많이 사용되는 유입, 유출구의 경계조건 및 적용방법으로 유속설정방법, 압력설정방법, 자연유출방법, 주기경계방법 등을 사용하고 있다. 기초적이고 일반적인 해석은 모두 pull-down방식의 menu를 통해 쉽게 해석이 가능하며 menu에서 제공하지 못한 특수한 문제들은 user interface program을 통해 보다 깊고, 정확하게 해석을 할 수 있다.

또한 사용자의 편이를 위해 계산과정 중 특정한 위치에서의 유동변수들 예를 들면 유속, 온도, 난류에너지, 소산항, 압력, 온도 등의 변화과정과 오차를 볼 수 있어 계산중인 문제의 즉각적인 수렴성 판별이 매우 용이한 상용 프로그램이다.

3.3 실험을 통한 기류 해석 도구의 비교 및 검증

기류에 영향을 미치는 다양한 요인들 사이의 관계를 이해하기 위한 대표적인 실험 방법으로 풍동장치가 보편적으로 사용되지만 시스템의 복잡함과 비용, 시간적 측면에서 많은 제약이 뒤따른다. 따라서 본 연구에서는 수동장치(Water Mapping Table)를 이용한 가시화 실험과 함께 풍압 및 풍속의 양적인 평가를 위하여 CFD 프로그램인 PHOENICS를 이용하였으며 수동장치의 실험 결과와 PHOENICS의 계산 결과의 검증을 위하여 풍동 실험을 실시하여 각각의 결과를 다음과 같이 비교, 분석하였다.

3.3.1 각 분석도구의 실험방법

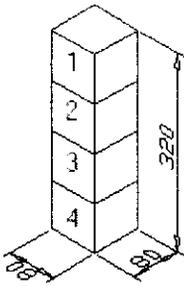
1) 풍동장치

① 실험 모델

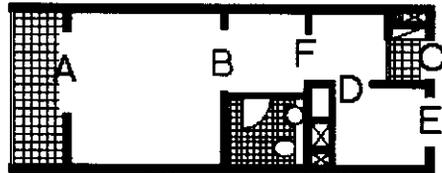
주동 및 단위 세대 규모의 간단한 모델을 선정하여 각각 풍동실험을 실시하여 풍압과 기류속도를 측정하였다.

실험 모델은 가시화 실험이 가능하도록 투명한 아크릴로 제작하였으며 빈틈이 없도록 모든 틈새를 투명한 셀룰로이드 테이프로 봉하였다.

풍압측정을 위한 주동모델 형태 및 풍압 측정 위치는 (그림 3.4)과 같으며 기류측정을 위한 단위세대 모델의 형태 및 풍속 측정위치는 다음(그림 3.5)과 같다.



(그림 3.4) □자형 주동 모델



(그림 3.5) 단위세대 모델

② 풍압의 측정

(그림 3.4)와 같은 실험모델에서 풍압의 실측 위치는 GRID로 나뉜 각 셀(cell)의 중앙 지점이다. 풍압의 측정에는 미차압계를 사용하였고 각 측정위치에서 아크릴 벽체를 뚫어 풍압 측정관을 풍향과 마주보도록 삽입하여 전압(정압+동압)을 측정하였다.

③ 실내 기류 속도의 측정

기류 속도의 측정은 (그림 3.5)와 같이 단위 세대 모델 각 개구부의 중앙 점에서 측정하였으며 측정 기기는 다점 풍속계(Multichannel Anemometer)를 이용하였다.

④ 풍동실험의 가시화

가시화 실험을 위하여 풍동장치 내에 90mm x 90mm의 아크릴 판을 배치하고 바닥에서 10cm 높이에 열선을 수평으로 설치하였다. 이 열선들 위에 파라핀을 바르고 전류가 통하면 파라핀이 연소되어 연기가 흐르도록 하였다.

2) 수동장치

풍동실험의 모델과 동일한 평면 모델을 제작하여 주동 주변과 단위세대 내의 기류패턴을 가시화하였다. 모델의 벽체는 청색 물감과 구분이 가도록 회색 아크릴로 제작하였다.

3) CFD 프로그램

① 시뮬레이션 조건

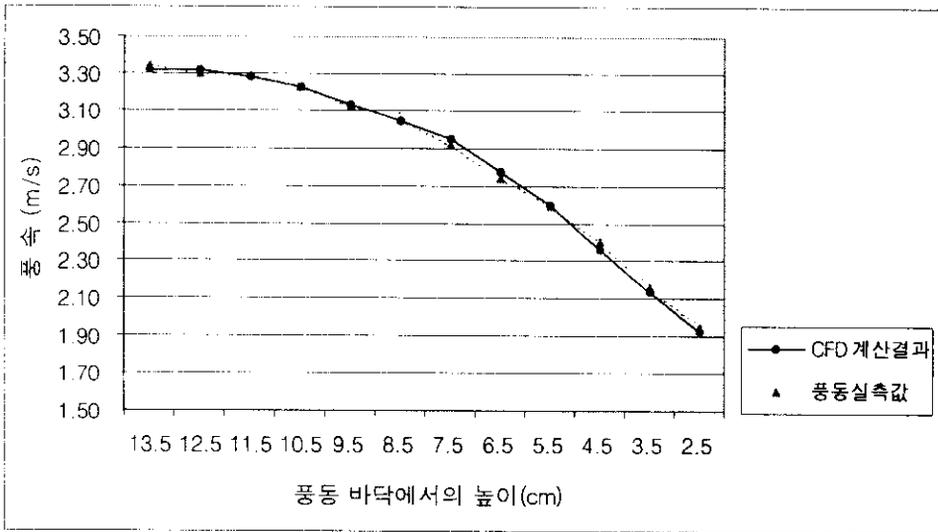
기본적인 Domain의 크기를 풍동실험 장치와 동일하게 설정하고 실험모델의 크기를 그대로 입력하였다. PHOENICS에 입력된 주요 변수 값들은 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> PHOENICS 계산을 위한 주요 입력 변수값

변 수	설 명	입력된 변수값
Domain	풍동크기(높이= y)	X=1.74 Y=0.95 Z=3.00
Menu	입력방식	VR mode
Grid	계산 셀의 수	40 x 64 x 60
main fluid	유체종류	14℃ 공기
Solution variables	계산변수	압력, 속도
Relax Control	Relaxation 값	압력 P1= 0.1 속도 u1,v1,w1= 0.1
Global Convergence Criterion	계산시 목표 오차값	0.1%
Inlet 속도	높이에 따라 다름	풍동장치의 값과 동일
turbulent Intensity	난류강도	5%
Model	난류해석모델	K-ε RNG Model

② 풍동 내 기류 분포 시뮬레이션

풍동실험의 풍속분포가 높이에 따라 다르므로 PHOENICS 프로그램을 이용하여 기본 Domain을 만든 다음 Inlet을 13개로 나누어 수직 배분함으로서 이때 평균속도가 실제 풍동 내 기류분포와 유사하도록 하였다. (그림 3.6)은 풍동에서의 실측 풍속과 PHOENICS 프로그램으로 시뮬레이션한 풍동모델 내의 수직적인 풍속분포를 비교하여 보여준다.

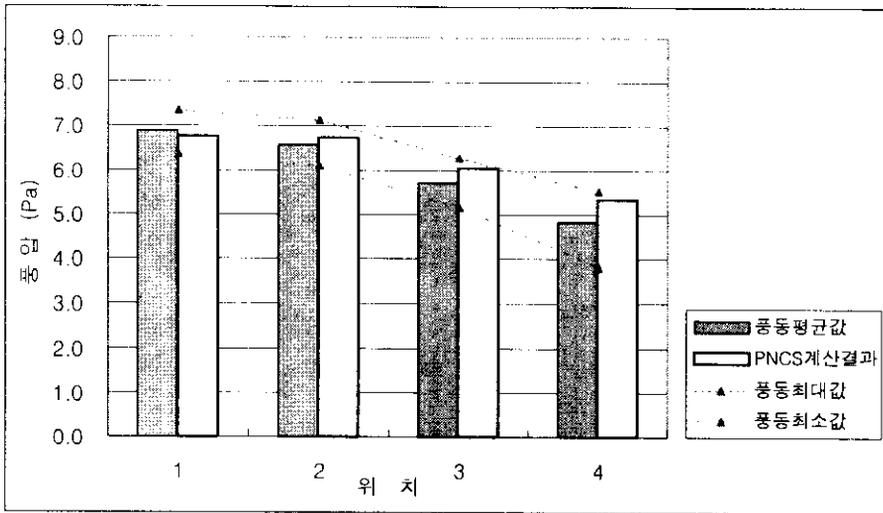


(그림 3.6) 높이에 따른 풍속 분포의 비교

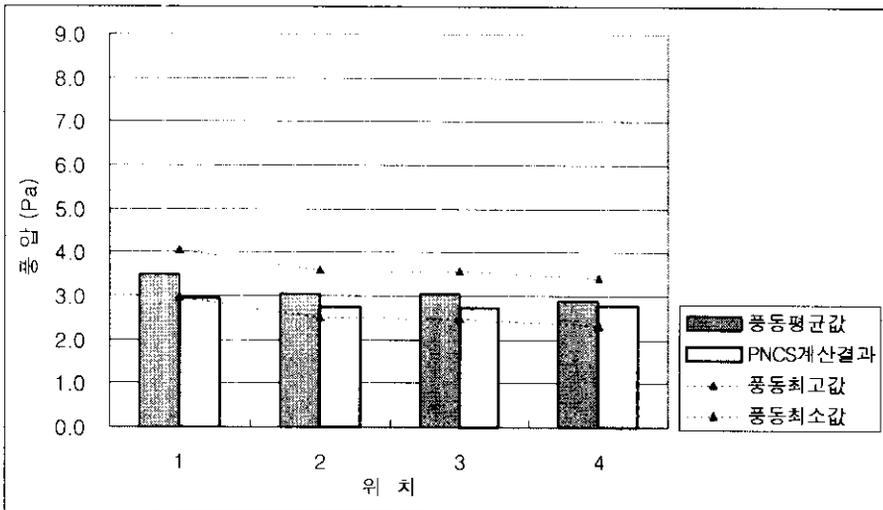
3.3.2 주동의 전후면 풍압의 비교

(그림 3.4)와 같은 U자형 주동 모델의 풍동 실측 결과 및 CFD프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과를 비교하면 (그림 3.7) 및 (그림 3.8)과 같다.

풍동 실험 결과의 평균값과 비교하여 컴퓨터 시뮬레이션 계산치의 오차는 전면이 평균 4%, 후면은 평균 11%로 후면의 최상부 층을 제외하면 매우 유사한 값을 나타내었다.



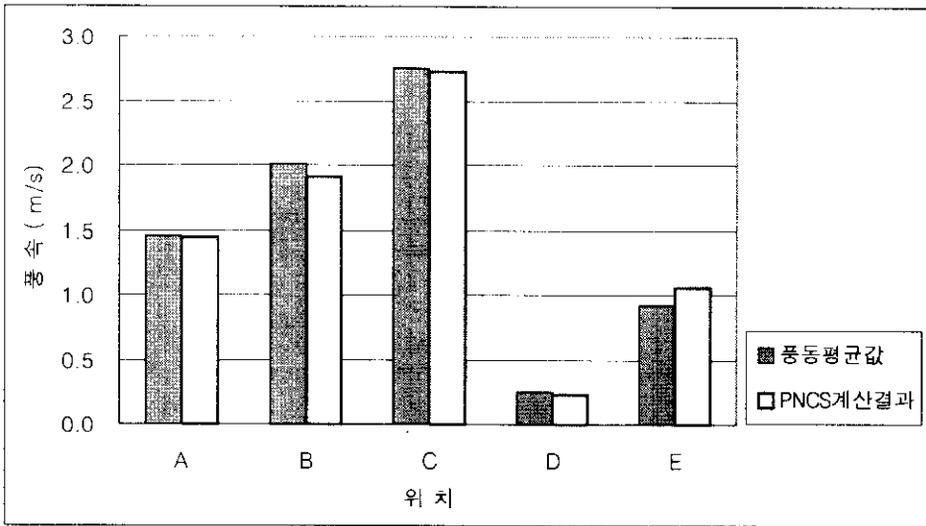
(그림 3.7) 전면 풍압의 비교



(그림 3.8) 후면 풍압의 비교

3.3.3 단위 세대 내 풍속의 비교

CFD 프로그램을 이용한 단위세대 실내기류 분포의 계산은 풍동실험 값의 평균치와 비교하여 (그림 3.9)와 같이 12%이내의 오차를 보였다. 풍동장치 자체의 오차를 고려하면 CFD 프로그램(PHOENICS)을 이용한 실내기류 속도의 계산값은 충분한 신뢰도를 갖는다고 볼 수 있다.



(그림 3.9) 단위세대내 위치별 실내 기류속도

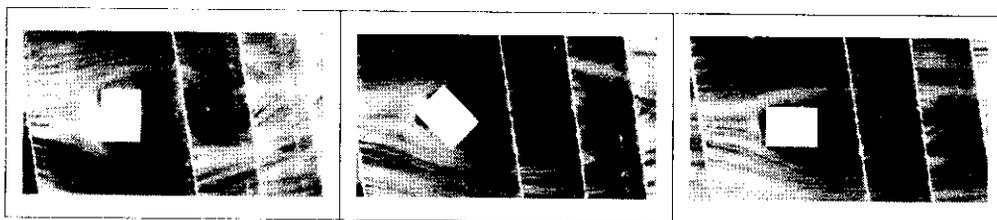
3.3.4 가시화의 비교

풍동장치와 수동장치의 가시화 실험 결과 및 CFD 프로그램의 기류속도 벡터 결과를 비교한 결과는 다음과 같다.

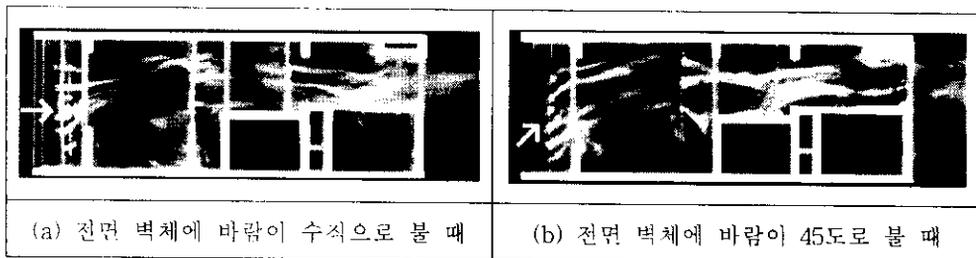
1) 풍동실험의 가시화

(그림 3.10)과 (그림 3.11)은 각각 주동 주변 및 단위 세대의 실내기류 패턴을 보여준다. 여기서 볼 수 있듯이 풍동의 유입 풍속을 충분히 작게 했음에도 불구하고 파라핀의 연소 특성과 난류 때문에 연기가 뒤섞여 기류패턴이 명확하게 구분되지 않고 있다. 특히 (그림 3.11)에서 볼 수 있듯이 단위 세대의 경우는 이러한 난류 유동이 심하여 전체 기류의 유동을 판단하기 어려운 부분도 생긴다.

또한 풍동 실험 결과의 가시화는 사진을 이용하게 되는데 이때 많은 시행착오를 거쳐 적절한 노출시간과 밝기를 조절해야하므로 많은 시간과 비용이 소모된다. 이때 좀더 명확하게 결과물을 보기 위해서 컴퓨터를 이용한 그래픽 작업을 할 수도 있다.



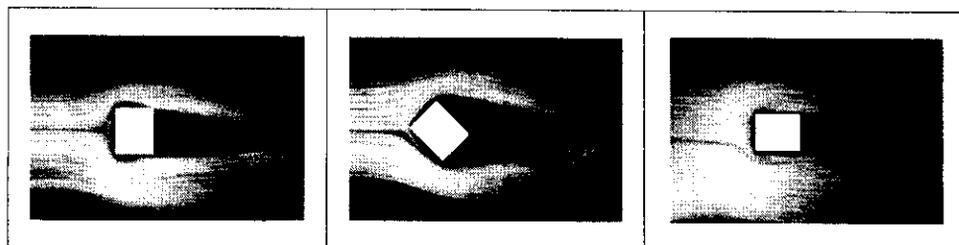
(그림 3.10) 풍동실험을 이용한 □자형 주동의 가시화



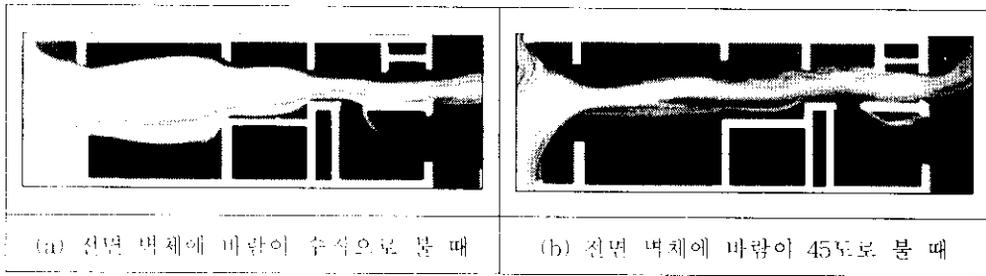
(그림 3.11) 풍동실험을 이용한 단위세대의 가시화

2) 수동실험의 가시화

(그림 3.12)와 (그림 3.13)은 수동장치를 이용한 주동 및 단위세대의 가시화 결과를 보여준다. 수동실험은 풍동 결과와 비교할 때 난류가 거의 보이지 않으며 바람의 경로를 전체적으로 보여줌으로서 주된 기류 흐름을 한눈에 파악할 수 있다. 그러나 주동주변에서 일어날 수 있는 미세한 기류변동이나 실내 공간의 유입구 및 유출구와 동떨어진 부분에서 일어나는 미미한 기류분포는 파악하기 어려운 한계가 있다. 수동 실험의 가시화 결과도 역시 사진기를 이용하지만 노출 시간 등의 제약을 받지 않으므로 디지털 카메라를 이용하면 훨씬 간편하다.



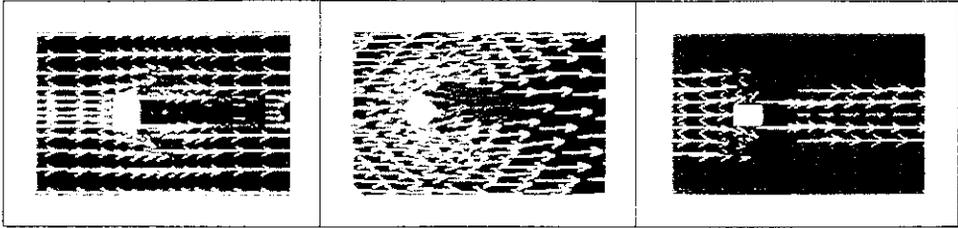
(그림 3.12) 수동실험을 이용한 □자형 주동의 가시화



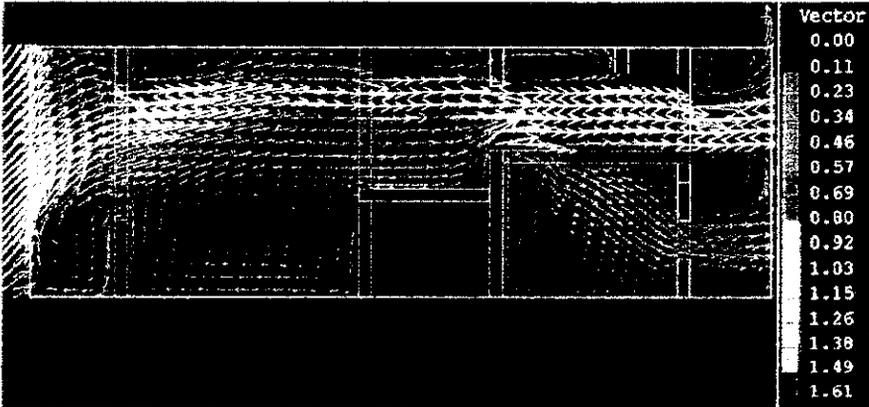
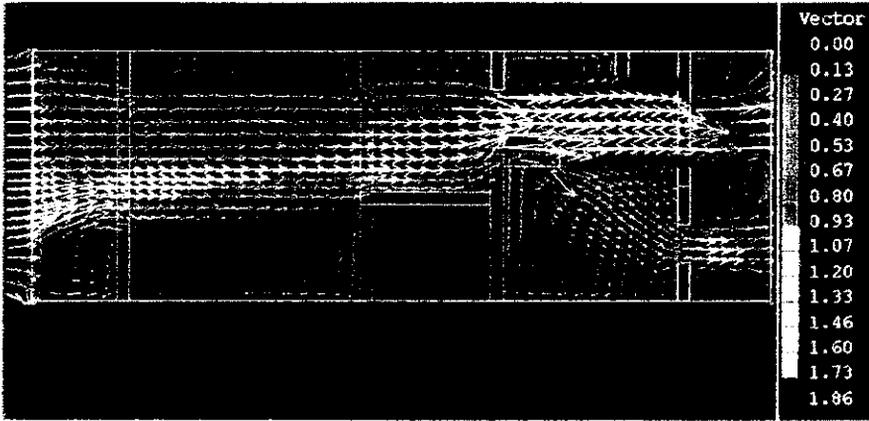
(그림 3.13) 수동실험을 이용한 단위세대의 가시화

3) CFD 프로그램을 이용한 가시화 결과

(그림 3.14)와 (그림 3.15)는 CFD 프로그램(PHOENICS)을 이용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 여기서 볼 수 있듯이 속도 벡터를 색으로 구분하여 크기를 나타내므로 정상적인 기류 패턴뿐 아니라 정량적인 속도분포를 동시에 파악할 수 있다. 그러나 시뮬레이션 모델에 대해 명확한 경계조건을 주고 적절한 격자체계를 구성해야 제대로 된 결과가 나올 수 있으며 수렴에 드는 시간이 많이 소요된다. 명확한 분석이 필요한 경우 풍동과 병행 사용이 가능하다.



(그림 3.14) CFD 프로그램을 이용한 □자형 주동의 가시화



(그림 3.15) CFD 프로그램을 이용한 단위세대의 가시화

3.4 소 결

자연통풍을 해석하는 분석도구인 풍동 및 수동장치와 CFD 프로그램에 대하여 결과의 정확성, 실험의 간편함, 비용 및 소요 시간 등의 측면에서 각각의 특성을 비교하면 다음과 같다.

1) 가장 일반적인 통풍 성능 분석 도구로 쓰이고 있는 풍동 실험의 경우, 실제와 가장 유사한 상황을 재현할 수 있으나 정확한 결과를 위해서는 실험 목적에 맞는 명확한 경계 조건이 필수적이다. 실험장치인 송풍기를 포함한 풍동장치 외에 측정요소에 따라 차압계나 속도계와 같은 정밀한 기자재가 필요하며 이러한 기자재의 정확한 원점보정과 운용이 풍동자체의 경계면 조건이나 상사조건만큼 결과에 중요한 영향을 미친다. 따라서 실험 자체의 소요시간은 비교적 짧지만 이를 위한 기자재의 준비, 모델 제작에 많은 시간이 소요된다. 특히 파라핀 연소 가스를 이용한 가시화 실험의 경우, 파라핀의 연소 특성과 난류 유동 때문에 순간 순간의 기류가 변동하여 사진을 찍을 때 시간과 비용이 많이 소요되며 명확한 결과물을 얻기는 매우 어렵다.

2) 수동장치는 2차원으로 통풍 특성을 가시화할 수 있는 도구로서 전체적인 유동특성을 가시화하는 데 유용하지만 정량적인 분석에는 다소 제약이 있다. 풍동장치의 가시화 결과보다 난류 발생이 거의 없다는 차이가 있지만 CFD 프로그램을 이용한 속도 벡터 시뮬레이션 결과와는 유사하다. 즉, 수동장치를 이용한 가시화 결과는 아주 미세한 난류 유동은 보여주지 않지만 기류의 주된 흐름을 한 눈에 보여준다. 또한 실험 장치가 간편하고 소요시간도 적게 걸리므로 설계 초기 단계에 기류의 전반적인 패턴을 분석하고 대안을 검토할 수 있는 좋은 평가 도구로 사료된다.

3) CFD 프로그램의 경우 유체의 특성과 경계조건을 정확하게 정의하여 입력한다면 정성적인 기류패턴의 가시화나 정량적인 계산 결과를 동시에 산출할 수

있지만 프로그램의 운영에 시간이 많이 소요된다. 대상주변이나 실내 내부의 각 지점의 속도 및 압력분포를 상세히 산출할 수 있지만 계산 결과의 정리에도 대상 모델의 격자구조에 대한 상세한 이해와 노력이 필요하다. 가시화의 결과는 각 지점의 속도 벡터 크기가 색상 척도로 산출되므로 컬러 프린트를 이용하여 결과물을 출력해야한다. 만약 색상 척도를 명암 척도로 바꾸려면 다른 컴퓨터 프로그램을 이용하여 그래픽 작업을 해야한다.

이상과 같은 자연통풍 해석도구들을 이용하여 실제 모델을 선정하여 통풍성능을 분석한 결과를 비교해 볼 때 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 풍동 실험 결과와 CFD 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과의 양적인 비교는 평균오차 11% 이하로 비교적 큰 차이가 없었다. 주동 모델에서 전면 풍압값은 풍동 실험값이 CFD 프로그램에서 산정한 값보다 다소 작게 나온 반면 후면 풍압값은 다소 큰 것으로 비교되었다. 단위 세대 모델에서 실내 기류 속도값의 차이는 평균 9% 이내이다.

2) 기류패턴의 가시화는 풍동과 수동의 가시화 실험결과 및 CFD프로그램을 이용한 속도벡터의 시뮬레이션 결과가 거의 유사하였다. 단, 풍동에서는 미세한 난류까지 볼 수 있는 반면 수동장치는 전체적인 바람의 흐름을 볼 수 있고 CFD 프로그램은 각 지점의 속도 벡터값까지 색상변화로 보여준다.

3) 따라서, 자연통풍의 해석을 위한 분석도구로서 기류패턴의 가시화의 경우에는 수동실험의 결과가 풍동실험이나 CFD 해석 결과와 유사하게 나타나므로 신뢰성이 있는 것으로 판단되며, 풍압 및 풍속의 정량화 해석의 경우에는 CFD해석을 이용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

제 4 장 주동 형태에 따른 통풍성능 분석

4.1 개 요

바람은 건물의 주위를 비껴 나가면서 무풍지역이나 소용돌이 등을 형성함으로써 압력의 차이를 만든다. 바람에 직접 면하는 풍상측엔 정압이 생기고, 이 지역에서는 기류가 건물 주위에서 새로운 경로를 찾기 전까지 속도를 늦추게 된다. 그러다가 새로운 경로가 결정되면 건물 주위의 기류는 초기속도보다 훨씬 더 빠르게 지나간다. 이때 건물의 바람이 불어 나가는 풍배측과 옆면에는 공기의 밀도가 낮아져서 부압이 생성된다. 건물을 통과하는 실내 기류는 이러한 풍상측의 정압과 풍배측의 부압 차이에 의해 결정된다.

건물의 형태, 방위, 높이, 지붕모양 등은 바람으로 인한 건물 주변의 풍압분포에 영향을 미침으로서 주변 바람의 패턴과 속도뿐 아니라 건물을 관통하는 실내 기류의 특성을 변화시킨다. 그러므로 공동주택의 실내공간에서 자연통풍을 이용하기 위해서 우선 주동 외부의 기류 특성 및 건물 외벽에 형성되는 풍압의 검토가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 주동 규모에서의 자연통풍 계획을 위하여 다양한 주동 형태에 따른 차압을 비교, 분석함으로써 각 주동형태에 따른 적정 배치 방위와 통풍성능이 우수한 몇 가지 주동형태를 제안하고자 하였다. 주동 주변의 기류패턴은 수동장치(Water Mapping Table)를 이용하여 가시화하였으며 주동 건물의 전후면 풍압은 CFD(PHOENICS)프로그램으로 계산하였다.

4.2 주동 규모에서 통풍성능에 영향을 미치는 요인

건물의 배치방위, 높이 및 지붕 모양은 복합적으로 건물주변 뿐만 아니라 건물을 관통하는 기류의 양, 속도, 패턴에 광범위하게 영향을 미친다. 공동주택 주동의 형태와 배치방위는 매우 다양하지만 전형적인 몇 가지 유형을 대상으로 연구함으로써 몇 가지 기초적인 기류조절 원리를 파악할 수 있다.

<표 4.1>은 통풍에 영향을 미치는 주동의 형태, 배치 각도 및 입면 요소들을 보여준다.

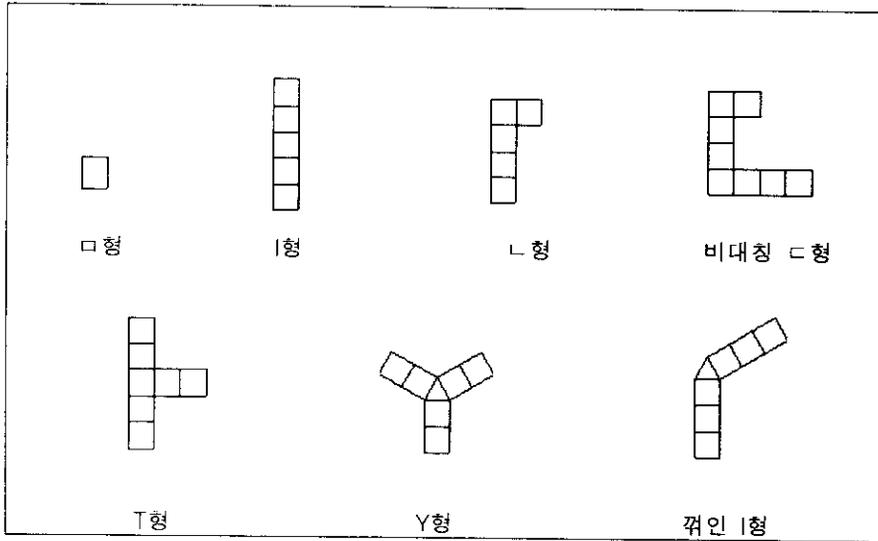
<표 4.1> 주동형태에 따른 기류패턴 및 풍압산정을 위한 실험 변수

실험 변수		범 위
평면	주동의 평면형태(7가지)	일자형 : I 형 절곡형 : L형, 비대칭 ㄷ형, 꺾인 I형 집중형 : ㄱ형, T형, Y형.
	풍향에 대한 배치 각도(8방)	0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°
입면	높이(층수)	5층, 9층, 15층, 19층
	지붕형태(4가지)	평지붕, 박공지붕, 외쪽지붕.

(그림 4.1)에 나타난 평면형태는 공동주택의 주동에 쓰이고 있는 일반적인 기본 형태들을 보여준다¹⁾. 기류 패턴의 크기와 특성은 건물 형태 비에 의해 결정되기 때문에²⁾ 본 연구에서는 정방형 모듈을 기본으로 각 주동의 평면형태를 구성하였다.

1) 이성욱, 『아파트 주동의 형태유형과 특성에 관한 분석적 연구』, 중앙대 석사논문, 1993.

2) Terry S. Boutet, *Controlling Air Movements*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987, p.56.



(그림 4.1) 주동의 평면 형태

4.3 주동 평면형태에 따른 기류 패턴과 차압분포

실내공간에서 바람으로 인한 통풍은 건물의 풍상측과 풍배측의 차압에 의해 발생된다. 풍배측 무풍지역 내의 소용돌이는 건물의 통풍성능에 그다지 중요하지 않지만³⁾, 무풍지역의 크기, 특히 깊이는 건물을 통과하는 기류의 잠재력과 직접적으로 관계된다. 건물을 통과하는 기류의 발생 가능성은 일반적으로 무풍지역의 크기(깊이와 높이)로 예측할 수 있다.

주동의 평면 형태에 따른 통풍성능은 다음과 같은 방법으로 분석하였다.

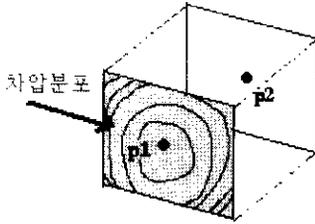
1) 수동장치(Water Mapping Table)를 이용하여 전체적인 기류 패턴을 살펴봄으로서 주변 환경에 미치는 영향을 파악하고 무풍지대의 크기를 비교하여 건물의 통풍 가능성을 예측하였다.

3) Ibid, p.59.

2) CFD 프로그램(PHOENICS)을 이용하여 전후면 벽체의 차압분포를 산정하여 통풍 성능을 정량적으로 비교, 검토하였다.

① 외기 풍속은 하절기 평균풍속인 2m/s를 기준으로 하였으며, 풍향에 대한 주동의 배치 각도는 (그림 4.1)과 같은 배치를 0° 로 보고 시계방향으로 45° 씩 회전시켜 315° 까지 8가지로 분석하였으며 이때 바람은 왼쪽에서 오른쪽으로 부는 것으로 보았다. 이때 지면의 마찰력은 10%로 가정하고 시물레이션을 실시하였다.

② 차압은 (그림 4.2)에서처럼 같은 수직 위치에 있는 전, 후면 벽체의 풍압차이로 계산하였으며, 풍압분포는 각 지점의 차압을 전면 벽체에서 바라본 등압 분포도로 표현하였다.



$$\Delta P = P1 - P2$$

ΔP : 차압(Pa)

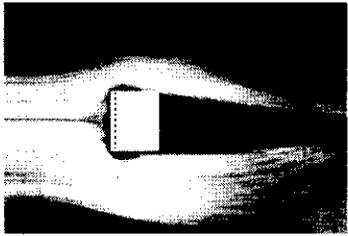
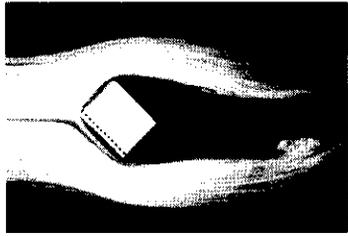
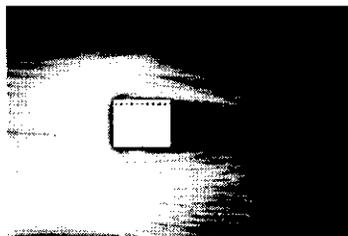
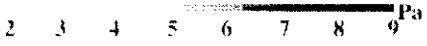
P1 : 전면 벽체의 풍압(Pa)

P2 : 후면 벽체의 풍압(Pa)

(그림 4.2) 차압분포

4.3.1 □형

타워형 주동 평면인 □형에서는 (그림 4.3)에서처럼 주동주변의 기류 패턴의 변동 범위가 크지 않으며, 풍향에 대한 건물 방위에 따라 무풍지역의 규모가 크게 변화하지 않는다. □형은 주동 주변의 미기후에 큰 영향을 미치지 않지만, 전후면 벽체의 차압이 0.1~3.5Pa정도로 매우 작은 값을 나타내므로 통풍성능은 좋지 않다.

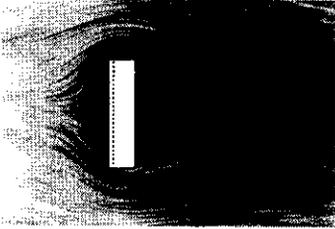
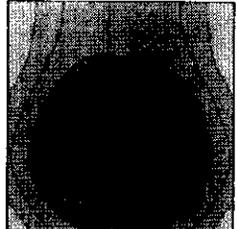
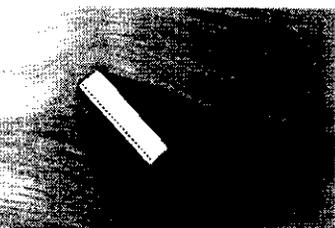
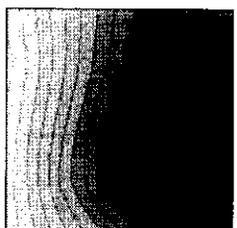
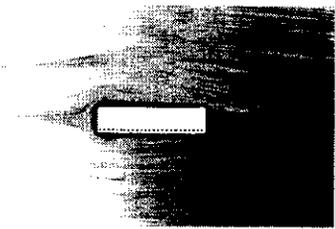
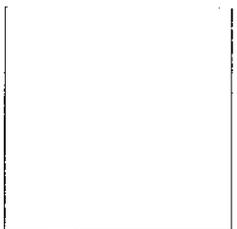
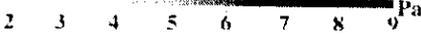
배치각도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	3.451	2.980	1.751
 (45°)	3.005	2.265	0.918
 (90°)	0.002	0.001	0.000
등풍압분포도를 그리는 전벽벽체			

(그림 4.3) 주동 배지에 따른 기류패턴과 차압분포(Pa) : □ 형

4.3.2 I 형

가장 일반적인 주동형태인 I 형은 (그림 4.4)에서 볼 수 있듯이 배치 각도에 따라 무풍지역의 깊이와 폭이 크게 변화하며, 풍향이 45° 정도 사선방향일 경우 무풍지역의 크기가 가장 큰 것으로 나타났다. 차압을 보면 정면에서 바람이 부는 경우 중앙에서 약간 아래쪽에 최대차압이 형성되며, 풍향이 45° 정도 기울어진

성우 바람을 받는 주동의 우측 벽체가 7Pa정도의 최대차압을 형성하게 되지만 반대쪽 벽면의 차압이 작아지기 때문에 평균 차압은 큰 변화가 없다. 다만 바람이 전면 벽체에 평행하게 부는 경우 통풍성능은 급격히 떨어진다. 따라서 자연통풍성능을 고려할 때 I 형 주동은 여름철 주풍향의 방향과 평행이 되도록 배치하는 것 (90° 또는 270°)을 피해야 한다.

배치각도에 따른 기류패턴	진후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	 6.180	5.187	4.427
 (45°)	 7.217	5.131	2.857
 (90°)	 0.002	0.002	0.001
..... 동풍압분포도를 그리는 진면벽체	 Pa		

(그림 4.4) 주동 배치에 따른 기류패턴 : I 형

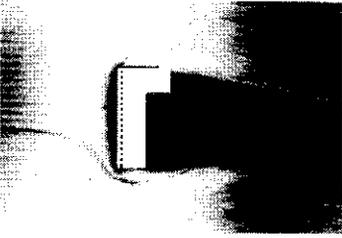
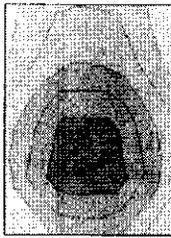
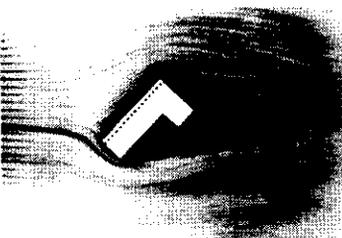
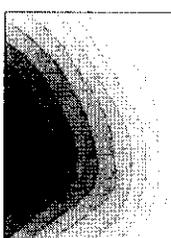
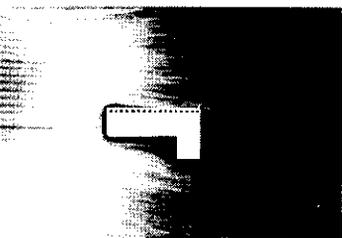
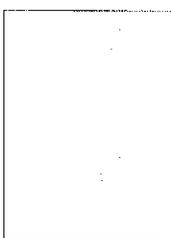
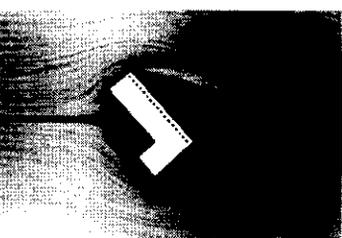
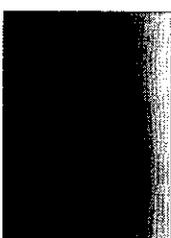
4.3.3 L형

L형 주동의 경우, I형 주동과 거의 유사한 패턴을 보이는데 장변이 주풍향에 대해 수직이거나 약간 기울어진 경우 무풍지대가 가장 크게 나타난다. (그림 4.5)와 (그림 4.6)에서 볼 수 있듯이 L형태의 안쪽 움푹한 부분으로 바람이 불 때 무풍지대의 길이가 조금 더 길어지며 차압의 비교에서도 L형 내부에 바람을 모을 수 있는 135° 의 배치일 때 가장 우수하였다. 따라서 전체 주동의 통풍성능을 고려하면 주풍향에 대한 L형 주동의 배치 방위는 135° , 315° , 180° 정도가 적절할 것으로 보인다.

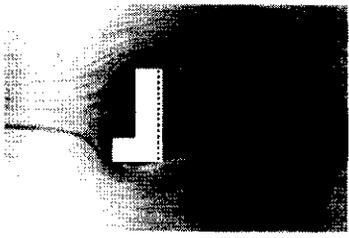
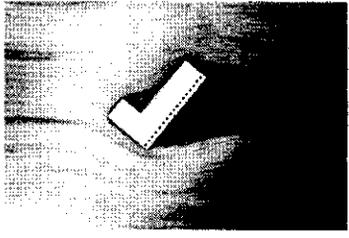
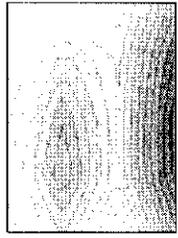
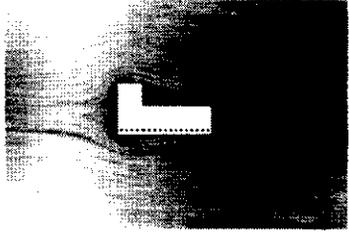
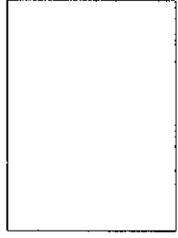
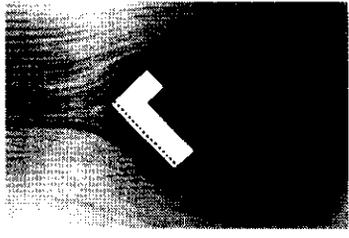
4.3.4 비대칭 ㄷ형

편복도형 주동에서 주로 이용되는 비대칭 ㄷ형태에서는 (그림 4.7) 및 (그림 4.8)과 같이 풍향에 대한 배치각도에 따라 무풍대의 크기가 크게 변화하지 않았다. 비록 이러한 측면에서는 ㄱ형과 유사한 패턴을 보이지만 ㄷ형태의 열린 부분이 바람을 향하는지 아닌지에 따라 기류를 이용할 수 있는 잠재력이 달라진다. ㄷ형태의 열린 부분이 풍상측을 향하면 바람이 그 안에 모여져 정압이 커지고 기류를 이용할 수 있는 잠재력이 커질 것으로 보인다.

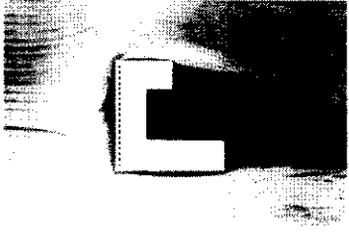
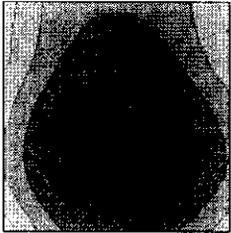
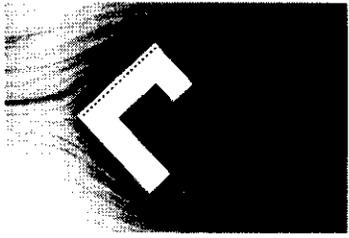
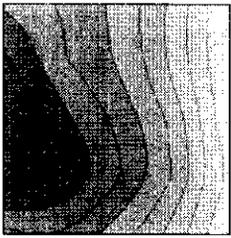
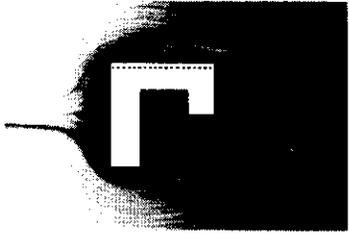
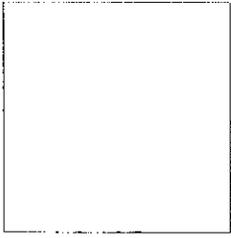
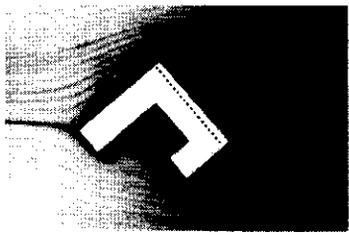
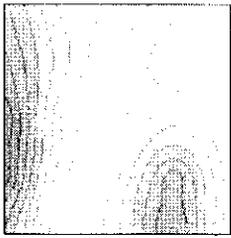
차압을 산정한 결과에서도 225° 정도 기울어진 경우의 차압이 가장 큰 것으로 나타났다. 그 이외의 방위에서는 비록 한쪽 장변의 평균 차압은 좋아지더라도 단변의 차압이 크게 떨어져서 전체 차압을 고려해볼 때 걱정하지 않은 것으로 나타났다.

배치각도에 따른 기름패턴	진후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	 5.60	468	3.97
 (45°)	 7.33	4.74	2.44
 (90°)	 3.38	1.87	0.10
 (135°)	 8.57	6.50	2.84
동풍압분포도를 나타내는 선면벽체			

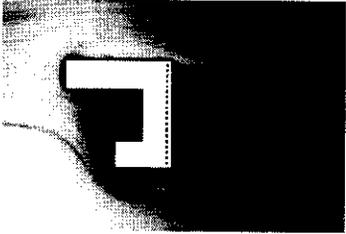
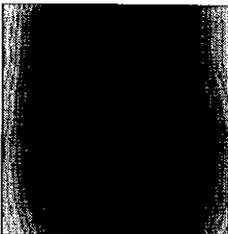
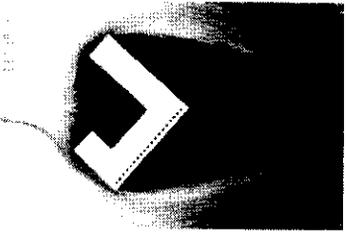
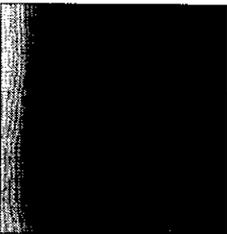
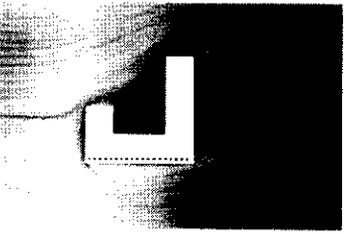
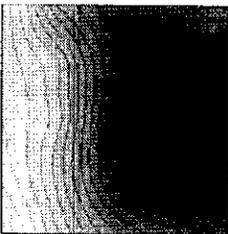
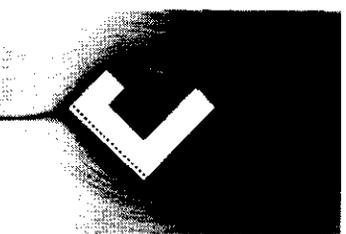
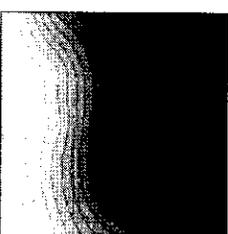
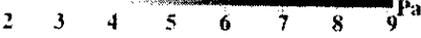
(그림 4.5) 주동 배치에 따른 기름패턴 : L형(1)

매치각도에 따른 기름패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)			
	최대값	평균값	최소값	
 (180°)		6.91	5.28	3.46
 (225°)		5.57	3.61	1.97
 (270°)		0.82	0.39	0.02
 (315°)		6.32	5.03	3.60
동풍압분포도를 그리는 진면벽체	 Pa			

(그림 4.6) 주동 배치에 따른 기름패턴 : L형(2)

배치각도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	 5.60	4.68	3.97
 (45°)	 7.33	4.74	2.44
 (90°)	 3.38	1.87	0.10
 (135°)	 4.80	2.79	1.12
동풍압분포도를 그리는 전면벽체	 Pa		

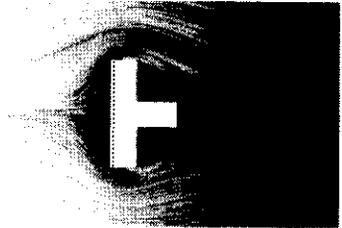
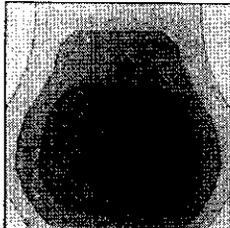
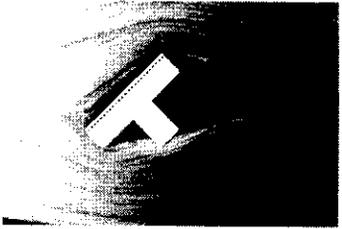
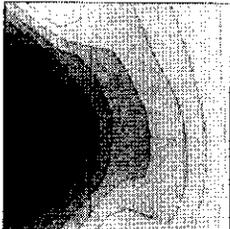
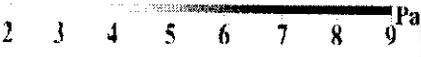
(그림 4.7) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 비대칭 ㄷ형(1)

배치각도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)			
	최대값	평균값	최소값	
 (18°)		7.37	5.75	3.49
 (225°)		8.45	6.52	2.42
 (270°)		4.08	2.29	0.01
 (315°)		6.28	4.42	2.36
등풍압분포도를 그리는 전면벽체				

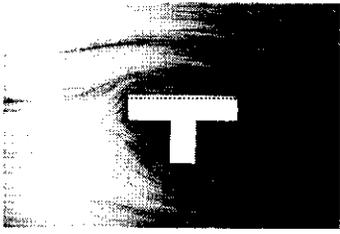
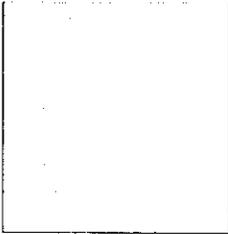
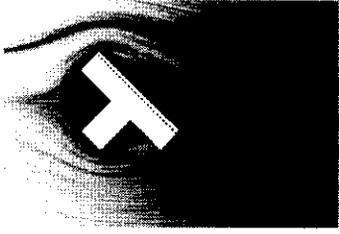
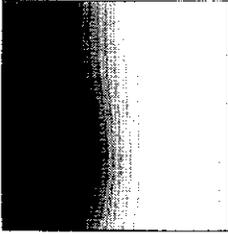
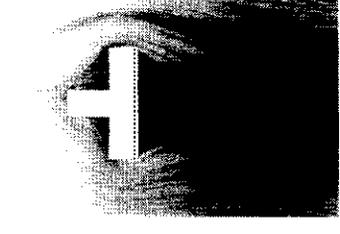
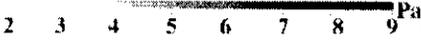
(그림 4.8) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 비대칭 ㄷ형(2)

4.3.5 T형

T형 주동 형태는 일반적으로 중앙 돌출부는 작고 장변이 긴 형태가 대부분이다. (그림 4.9)에서처럼 배치각도에 상관없이 전반적인 기류패턴은 유사하며 풍향에 대해 장변이 수직인 경우 무풍지역이 최대가 된다. 차압분포도 주풍향에 대한 배치 방위가 0° 인 경우 평균값이 가장 큰 것으로 나타났지만 이 경우 중앙의 돌출부에서는 농풍효과가 거의 없으므로 전체적인 통풍성능을 고려하면 45° 나 135° 가 최적으로 보인다. 45° 나 135° 로 기울어진 방위의 경우 평균 차압값이 0° 인 경우보다 다소 작지만 최대값은 더 커지는데, 이는 T형태의 가운데 돌출 부분이 바람을 차단하기 때문인 것으로 보인다.

배치각도에 따른 기류패턴	선후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	 6.13	5.15	4.39
 (45°)	 7.70	4.93	3.38
등풍압분포도를 그리는 직면벽체	 Pa		

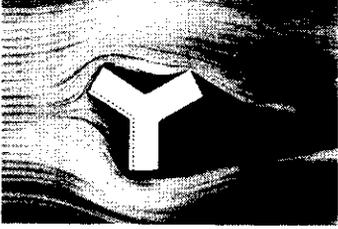
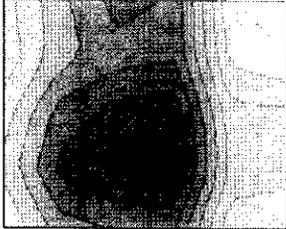
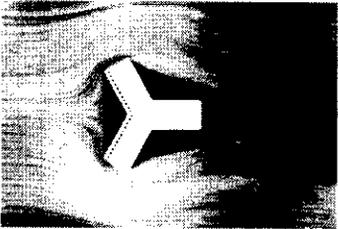
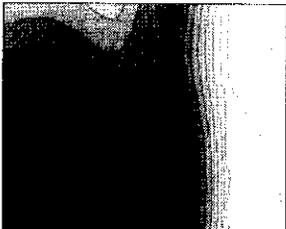
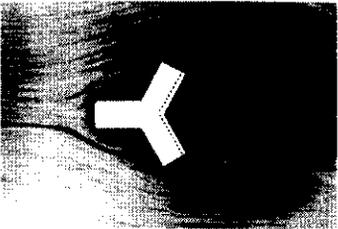
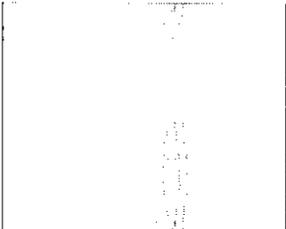
(그림 4.9) 주동 배치에 따른 기류패턴 : T형(1)

배치가도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (90°)			
	3.54	1.45	0.00
 (135°)			
	9.26	4.36	0.20
 (180°)			
	6.17	4.94	3.47
등풍압분포도를 그리는 전면벽체			

(그림 4.10) 주동 배치에 따른 기류패턴 : T 형(2)

4.3.6 Y형

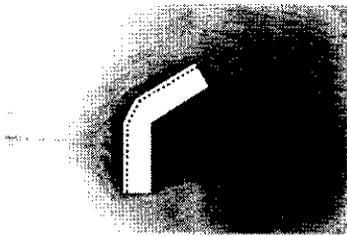
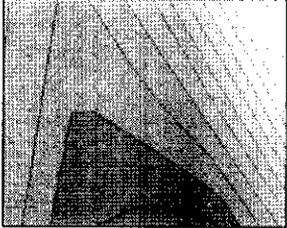
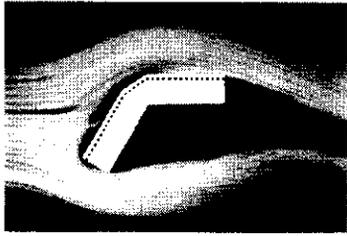
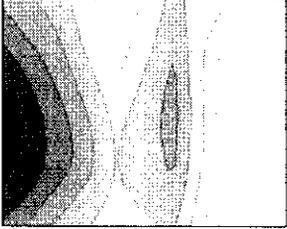
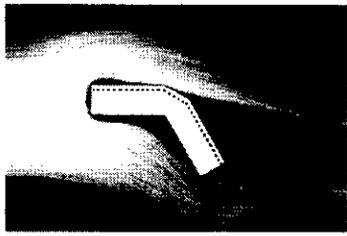
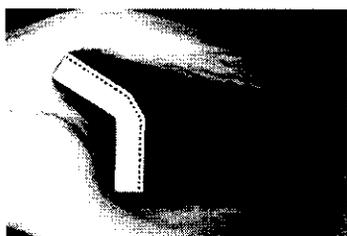
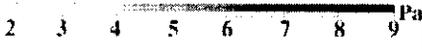
타워형 주동형태중 하나인 Y형에서 무풍지역의 크기는 풍향에 대한 주동의 배치 각도에 상관없이 거의 유사하지만 차압을 비교해 보면 90° 배치에서 값이 크게 떨어진다. (그림 4.11)에서 볼 수 있듯이 3개의 날개부로 구성된 Y형은 어떤 배치에서도 적어도 한 개의 날개부가 통풍에 불리한 조건을 갖는다

배치각도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)			
	최대값	평균값	최소값	
 (0°)		6.55	4.85	2.75
 (45°)		8.42	3.93	0.11
 (90°)		4.03	1.63	0.09
등풍압분포도를 그리는 진면벽체	 Pa			

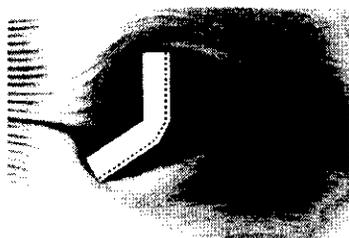
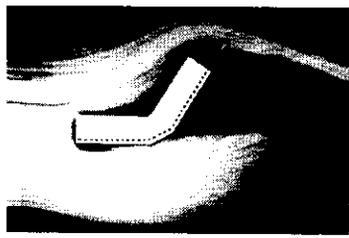
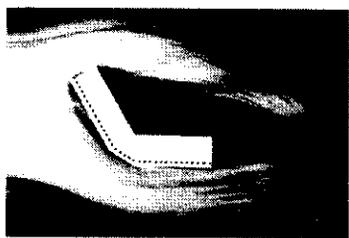
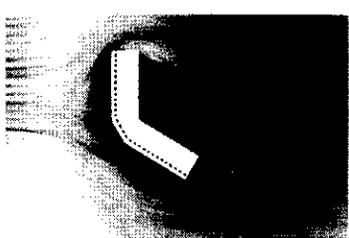
(그림 4.11) 주둥 배치에 따른 기류패턴 : Y 형

4.3.7 꺾인 I 형

남향면적을 확보하기 위하여 I형 주둥의 각도를 15~45° 정도 꺾기도 하는데 이 경우 전체적인 기류패턴은 I형과 거의 유사하다. (그림 4.12) 및 (그림 4.13) 에서와 같이 상변이 주풍향에 마주보도록 배치된 경우의 부풍지역이 가장 크며 차압의 분포에서도 배치각도가 135°, 180°, 315° 인 경우 실내 통풍 가능성이 가장 크다.

배치각도에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 (0°)	 5.87	4.53	0.88
 (45°)	 7.22	5.13	2.85
 (90°)	 8.47	3.69	0.19
 (135°)	 8.75	6.62	0.63
<p>등풍압분포도를 그리는 전면벽체</p>			

(그림 4.12) 주동 배치에 따른 기류패턴 : 꺾인 I 형(1)

배치각도에 따른 기류패턴	진후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 <p>(180°)</p>	7.81	6.14	3.63
 <p>(225°)</p>	8.96	3.76	0.69
 <p>(270°)</p>	6.74	2.49	0.09
 <p>(315°)</p>	14.17	7.10	3.56
<p>등풍압분포도를 그리는 진면벽체</p>			

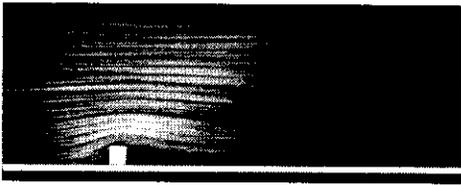
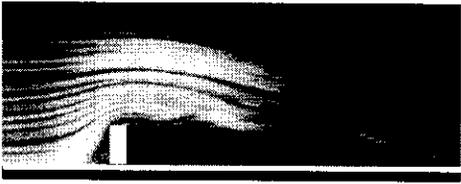
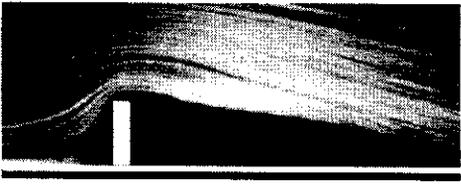
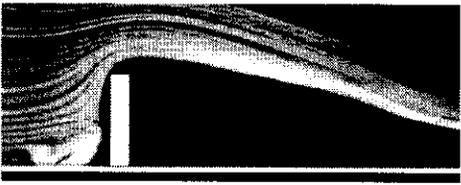
(그림 4.13) 주둥 배치에 따른 기류패턴 : 꺾인 I 형(2)

4.4 주동의 높이 및 지붕 형태별 풍압분석

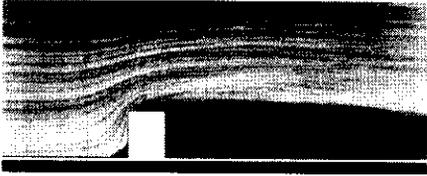
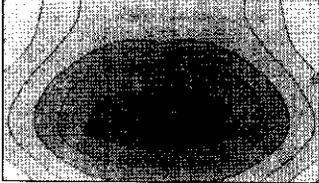
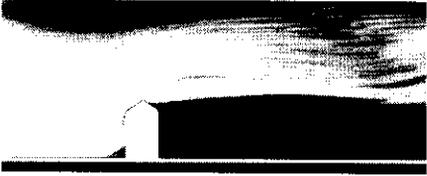
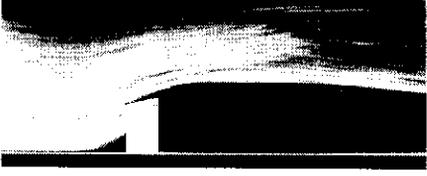
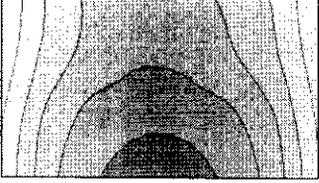
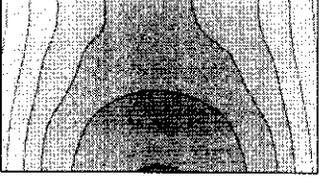
주동의 높이 및 지붕형태에 따른 통풍성능을 평가하기 위하여, 주동높이가 5층, 9층, 15층, 19층으로 증가되는 경우와 주동지붕의 형태가 평지붕, 박공지붕 또는 외쪽지붕일 때 주변 기류패턴을 가시화하고 전후면 벽체의 차압을 등압분포도로 작성, 비교하였다.

(그림 4.14)에서 볼 수 있듯이 주동의 높이가 높아질수록 풍배측의 무풍지대가 커질 뿐 아니라 전면의 소용돌이 구역도 증가한다. 차압의 비교에서도 높이가 높아질수록 평균값이 커지며 최대 차압이 생기는 위치가 점점 상승하는 것으로 나타났다.

반면에 지붕의 형태에 따라 주동주변의 기류패턴은 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. (그림 4.15)에서 볼 수 있듯이 비록 평지붕보다는 박공지붕이, 박공지붕보다는 외쪽지붕의 무풍지대가 다소 커지지만 거의 유사한 기류패턴을 보인다. 차압 평균값도 큰 차이가 없는데 평지붕보다는 지붕이 있는 경우 평균차압값이 다소 컸다. 이러한 차이는 지붕 형태 차이 때문이 아니라 지붕의 경사도에 따른 높이 변화 때문에 생긴 것으로 보인다. 즉, 지붕 형태보다는 주동의 높이가 주변 기류 패턴이나 주동의 차압분포에 영향을 미치는 주요 입면 요소로 나타났다.

주동 높이에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)		
	최대값	평균값	최소값
 <p>5층</p>	2.43	2.08	1.81
 <p>9층</p>	3.17	2.65	1.94
 <p>15층</p>	3.52	2.90	1.95
 <p>19층</p>	3.61	2.99	2.05

(그림 4.14) 주동높이에 따른 기류패턴

지붕형태에 따른 기류패턴	전후면 벽체의 차압분포(Pa)			
	최대값	평균값	최소값	
 <p>(A) 평지붕</p>		2.48	2.08	1.81
 <p>(B) 박공지붕</p>		3.01	2.59	1.95
 <p>(C) 외쪽기붕-1</p>		3.07	2.58	2.02
 <p>(D) 외쪽지붕-2</p>		3.01	2.51	1.95

(그림 4.15) 지붕형태에 따른 기류패턴

4.5 소 결

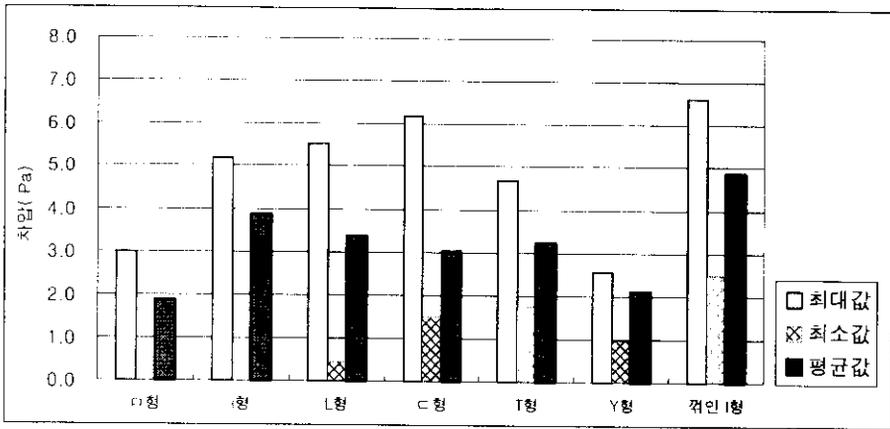
1) 주동형태에 따른 전후면 벽체의 차압비교

(그림 4.16)은 각 형태별 전체 주동의 평균 차압분포를 나타내고 있는데, 여기에서 볼 수 있듯이 □형 주동의 평균 차압값이 가장 떨어진다. 반면에 I형, L형, 비대칭 ㄷ형, 꺾인 I형의 최대 차압 및 평균 차압값이 비교적 우수하였다. 그러나 비대칭 ㄷ형의 경우, 어떤 배치방위에서 기준 전면 벽체나 장변의 차압분포가 커지더라도 항상 다른 쪽 단변의 차압은 크게 떨어지므로 전체적인 통풍성능이 우수하다고 볼 수 없다.

꺾인 I형 주동은 형태적으로는 I형과 유사하지만 배치각도에 따른 변동도 작고 훨씬 통풍성능이 우수한 것으로 나타났다. L형 주동의 경우, 배치각도에 따라 단변의 통풍성능이 작아지는 경우가 있으나 전체적인 통풍성능은 비교적 우수한 것으로 나타났다. 또한 I형 주동의 경우는 <표 4.2>에서 볼 수 있듯이 최대값과 평균값이 우수한 편이지만 배치각도에 따라 전체 주동에 차압이 전혀 형성되지 않을 수도 있다.

따라서, 주동형태에 따른 차압분포를 각 배치방위별로 살펴볼 때, 45° 정도 꺾인 I형 주동형태가 통풍성능이 가장 우수한 주동형태이다.

또한 I형이나 L형 주동도 비교적 자연통풍을 이용하기에 적절한 형태이지만 I형의 경우는 배치각도의 영향을 크게 받으므로 상풍향에 대한 상세한 분석이 요구된다. 반면에 비대칭 ㄷ형, T형, Y형 등은 배치각도에 따라 차압이 큰 부분도 생기지만 일부 성능이 크게 저하되는 부분이 생기며 □형 주동의 통풍성능이 가장 떨어진다.



(그림 4.16) 주동형태에 따른 차압의 비교

<표 4.2> 주동형태에 따른 평균 풍압분포

주동형태	전체 차압의 비교(Pa)			배치 각도에 따른 평균 차압 비교(Pa)							
	최대값	최소값	평균값	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
□형	3.45	0.000	1.758	2.980	2.265	0.001	2.265	2.980	2.265	0.001	2.980
I형	5.187	0.002	3.866	5.187	5.137	0.002	5.137	5.187	5.137	0.002	5.137
L형	6.500	0.390	4.013	4.680	4.74	1.870	6.500	5.280	3.610	0.390	5.030
비대칭 ㄷ형	6.520	0.380	3.991	5.100	4.670	0.380	2.790	5.760	6.520	2.290	4.420
T형	5.150	1.450	4.018	5.150	4.930	1.450	4.360	4.740	4.830	1.450	4.930
Y형	4.850	1.632	3.583	4.850	3.925	1.632	3.925	4.850	3.925	1.632	3.925
꺾인 I형	6.615	2.490	4.871	4.530	5.130	3.688	6.615	6.142	3.760	2.490	6.615

2) 주동형태에 따른 적정 배치 각도

각 주동형태에서 평균 차압값보다 큰 차압이 형성되는 경우를 적정 배치각도로 선정하여 <표 4.3>과 같이 ○로 표시하였다. 또한 L형, 비대칭 ㄷ형 및 T형과 같은 형태에 대해서는 장변이나 전면 벽체의 차압은 충분히 크더라도 단변이나 다른 벽체의 차압값이 크게 작아지면 △로 표시하였다.

주동형태에 따른 적정 배치각도는 각각 다르지만 일반적으로 45° 나 315° 로 기울어진 경우 통풍성능이 우수한 것으로 분석되었다.

<표 4.3>은 자연동풍을 위한 각 주동형태의 적정 배치각도를 보여준다. 이 표는 형태간의 통풍성능 비교를 목적으로 하는 것이 아니고, 다만 각각의 주동 형태에서 배치방위에 따른 통풍성능을 비교하기 위한 것이다.

<표 4.3> 주동형태에 따른 풍향에 대한 적정 배치 방위

배치각도	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
□형	○	○	×	○	○	○	×	○
I형	○	○	×	○	○	○	×	○
L형	△	○	×	○	△	×	×	○
비대칭 □형	△	△	×	×	△	△	×	△
T형	△	○	×	○	△	○	×	○
Y형	△	△	×	△	△	△	×	△
꺾인 I형	×	○	×	○	○	×	×	○

범례) ○ : 적정 배치각도, △ : 주동일부의 차압성능이 저하될 수 있음, × : 부적절한 배치각도

3) 주동의 높이 및 지붕형태에 따른 차압

주동의 높이 및 지붕형태에 따른 평균풍압을 비교해보면 주동의 높이가 증가할수록 후면의 무풍지대가 증가하고 차압값도 커진다. 반면에 지붕의 형태 변화에 의한 차압차는 거의 보이지 않으며 기류패턴에도 큰 차이가 없다.

제 5 장 평면유형에 따른 통풍성능의 분석

5.1 개요

통풍은 여름철 실내를 쾌적하게 유지할 수 있는 주된 환경요소 중 하나다. 이러한 통풍의 성능을 알아보기 위하여 단위 세대 내의 통풍량이나 전면 개구부의 유입 풍속을 실측하는 실험은 비교적 많이 실행되고 있다. 그러나 인간의 쾌적이라는 시각에서 통풍을 평가하려면 단순히 전체 기류의 양이나 속도뿐 아니라 통풍되는 공간의 기류 분포에도 주의를 기울여야한다. 비록 실내를 통과하는 풍량이 많고 기류속도도 적절하다 할지라도 거주자가 실제로 점유하고 있는 부분으로 기류가 통과하지 않으면 냉각효과를 기대할 수 없다.

따라서 본 장에서는 기존의 공동주택 단위세대 평면들 중 대표적 유형 8가지를 대상으로 각 단위 세대 내에서의 자연통풍 특성을 가시화하고 동시에 실내 기류 속도와 풍량을 산정, 분석함으로써 단위공간의 구조에 따른 문제점을 지적하고 각 평면유형의 통풍계획을 위한 기본방향을 제시하고자 하였다. 실내 기류 패턴은 수동장치를 이용하여 가시화 하였으며 풍속 및 풍량의 계산은 CFD 프로그램을 이용하였다. 이 때 외부 풍속은 하절기 평균 풍속의 절반수준인 1m/s로 설정하였으며¹⁾ 풍향은 전면 및 후면 벽체에 대하여 각각 직각으로 부는 경우(남풍과 북풍)와 ± 45 도씩 기울어져 불어오는 경우(남동풍, 남서풍 및 북동, 북서풍)에 대하여 분석하였다.

5.2 공동주택 단위평면 유형

대표적인 아파트의 단위세대 평면유형을 선정하기 위하여 서울 시내 아파트 중 300여개의 다양한 평면들을 수집²⁾하고, <표 5.1>과 같은 척도에 따라 분류하

1) D. W. Abrams, *Low Energy Cooling*, Van Nostrand Reinhold company Inc, 1986, p.117

2) 『아파트 백과』, 세진기획, 1995.

였다. 즉, 수집된 평면들을 주동 형식에 따라 양분한 뒤, 각각 공간구성에 따라 1R(Room), 2R, 3R, 4R타입으로 나누고 다시 실배치 형상³⁾에 따라 14가지로 세분하였다. 이 중 빈도수가 많고 일반적인 형태를 <표 5.2>와 같이 8가지로 선정하였다. (그림 5.1)은 선정된 단위세대 평면도들을 보여준다.

<표 5.1> 평면유형의 분류 척도

분류척도	변 수
주동형식	편복도형, 계단실형
공간구성	1R-LDK 2R-DK, 2R-LDK 3R-DK, 3R-LDK 4R-DK, 4R-LDK
실배치형상	공간 인접도와 배치 (예) 전면 : L+R - 후면 : R+DK 전면 : R+L+R - 후면 : DK

<표 5.2> 아파트 단위평면 유형의 선정

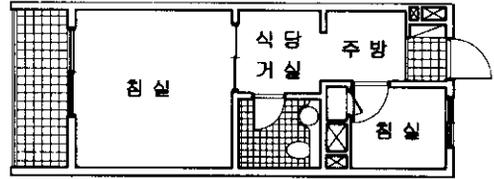
번호	평면유형	주동형식	공간구성	실배치형상			비고
				전면	중앙	후면	
1	1R 편복도형	편복도형	1R-LDK	R	(LD)	K B	
2	2R 편복도형	편복도형	2R-DK	R	D B	K R	전용면적 35-45m ²
3	2R 계단실형	계단실형	2R-LDK	R	B	(DK) R	전용면적 55-87m ²
4	3R 편복도형	편복도형	3R-LDK	L R	D B	K R R	전용면적 44-95m ²
5	3R 계단실형	계단실형	3R-LDK	R L R	B	K D R	(돌출형)
6	3R 계단실형	계단실형	3R-LDK	L R	B	R D K R	전용면적 74-95m ²
7	4R 편복도형	편복도형	4R-LDK	R L R	D B	R R K	(실내복도)
8	4R 계단실형	계단실형	4R-LDK	R L R	B	R K D R	전용면적 95-133m ²

* 단, L : 거실, R : 방, D : 식당, K : 주방, B : 화장실

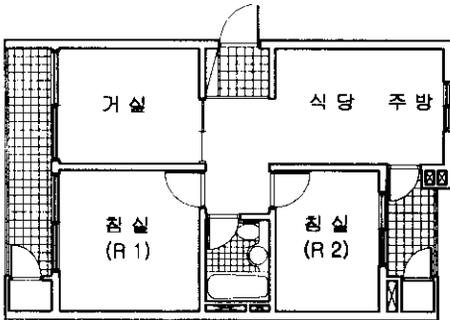
3) 최용수, 심우갑, 「유형론적 지식을 이용한 아파트 평면계획 모델에 관한 연구」, 대한건축학회 논문집 9권1호 통권 51호, 1993.



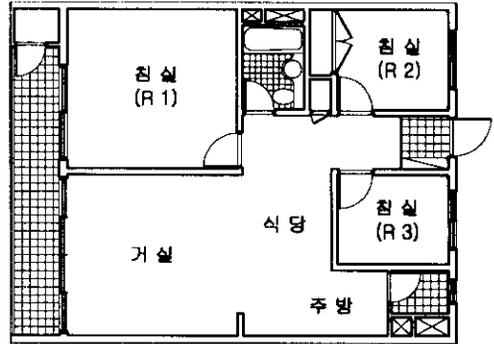
(1) Unit 1 : 1R-LDK 편복도형



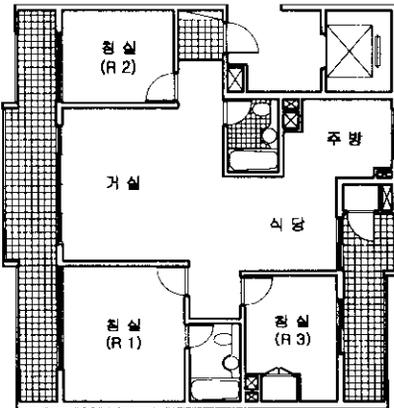
(2) Unit 2 : 2R-DK 편복도형



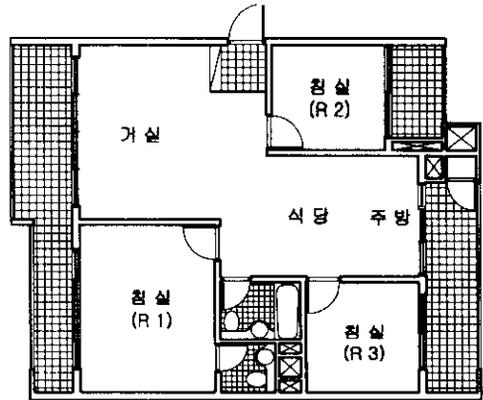
(3) Unit 3 : 2R-LDK 계단실형



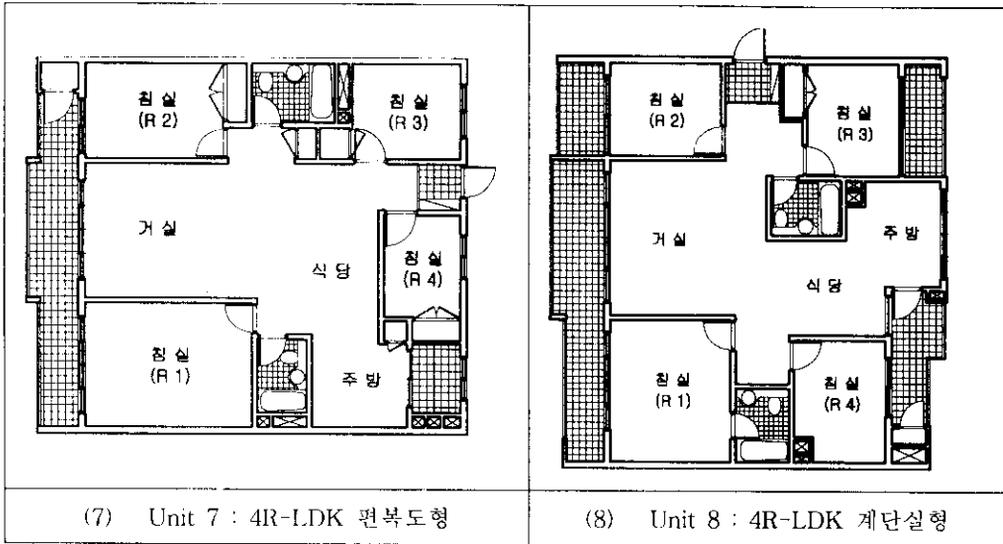
(4) Unit 4 : 3R-LDK 편복도형



(5) Unit 5 : 3R-LDK 계단실형-A



(6) Unit 6 : 3R-LDK 계단실형-B



(그림 5.1) 단위세대 평면유형

5.3 실내기류 분포에 대한 분석

단위세대 평면계획에서 모든 공간이 어떤 풍향에 대해서도 충분한 통풍성을 갖도록 계획하기에는 공간구조나 개구부 계획상 한계가 있다. 실제로 각 공간의 이용패턴을 살펴보면 침실은 취침 기능이 많은 비중을 차지하여 대부분 야간에 사용되고, 거실, 식당 등은 가족공용 공간으로서 저녁시간에 많이 사용되며, 주방은 주부가 주로 일하는 공간으로 야간을 제외하고 하루종일 간헐적으로 사용된다. 이러한 사용패턴을 볼 때 침실의 경우 취침 시에는 창을 닫는 경향이 있으므로 통풍성능 수준이 거실이나 식당, 주방보다 다소 떨어져도 큰 문제는 없을 것으로 보인다. 반면에 거실과 식당 및 주방에는 냉방의 필요성이 상대적으로 커서 적극적인 통풍계획이 요구되므로 전통주거에서의 대청과 같이 맞통풍을 이용하여 충분한 풍량과 적절한 기류분포가 이루어지도록 계획해야 할 것이다.

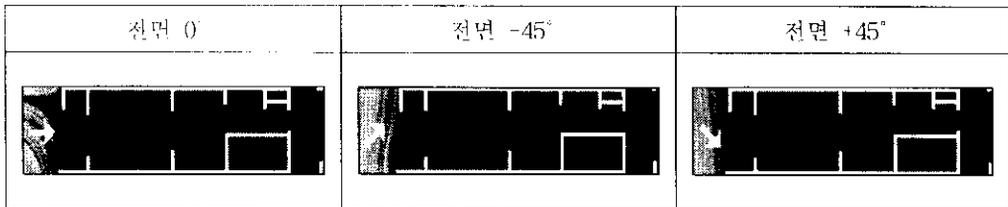
본 장에서는 평면유형별 실내 기류패턴 및 속도분포를 각각 (그림 5.2)~(그림 5.17)과 같이 분석하였으며 속도 분포도에는 각 실의 평균속도를 실 중앙에 입력하였다.

5.3.1 각 평면유형별 통풍 특성

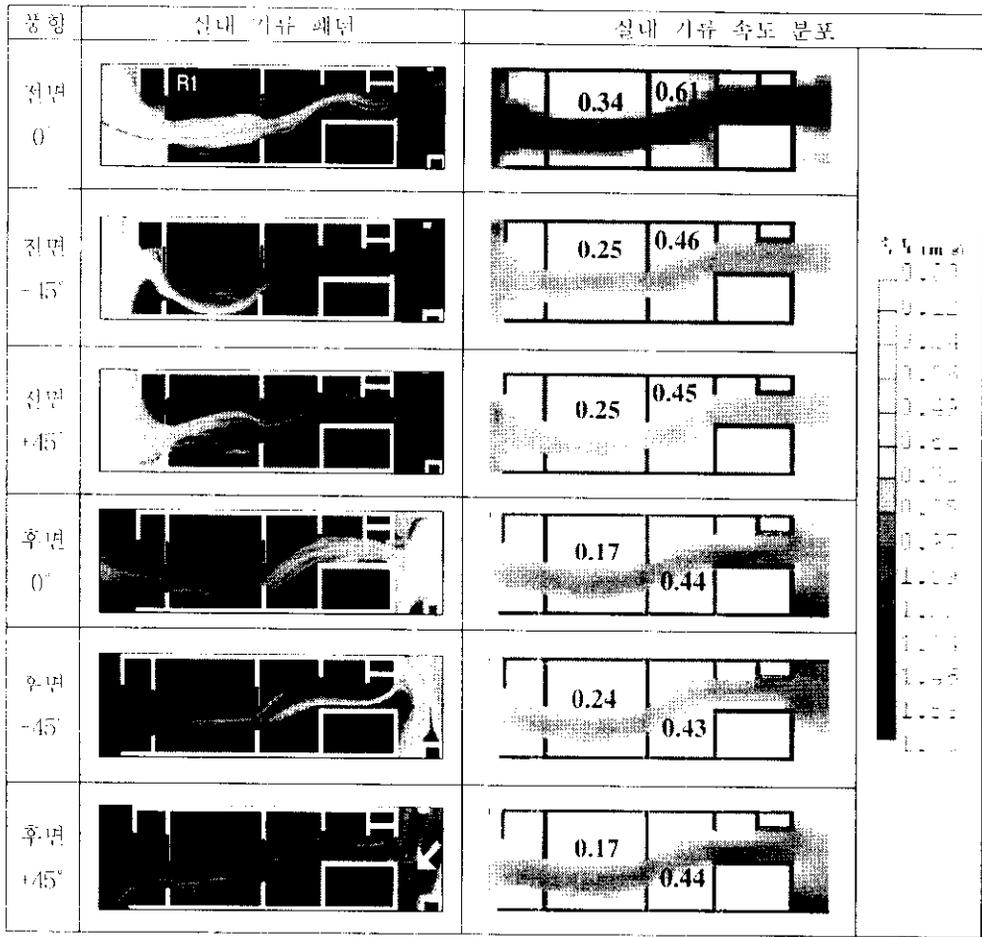
1) Unit 1 : 1R+LDK+B · 편복도형

Unit 1과 같이 침실이 하나인 평면은 현관을 제외하고 후면에 개구부가 없다. 따라서 소음, 방호, 프라이버시상의 이유로 유일한 유출구인 현관을 닫으면 (그림 5.2)과 같이 전혀 통풍이 일어나지 않는다. 따라서 Unit 1과 같은 평면계획에서는 통풍을 유도할 수 있는 후면 개구부 계획이 필요하다.

현관문을 열면 (그림 5.3)에서 볼 수 있듯이 실내공간에는 침실, 주방, 현관문을 관통하는 1차형 기류가 생긴다. 이때 기류의 분포는 실내 전체에 곧고류 분포되지 않고 개구부와 개구부를 잇는 최단경로를 따라 곧바로 통과할 뿐이다. 각 실의 실내 기류 속도를 비교해보면 풍향에 따라 다소 차이를 보이는데, 안방보다는 작은 거실의 풍속분포가 더 좋다. 만약 안방과 거실 사이의 실내 문을 개구면적이 더 큰 미닫이를 사용하면 안방의 전체 기류분포가 향상될 것으로 보인다.



(그림 5.2) Unit 1 (현관문을 닫은 경우)



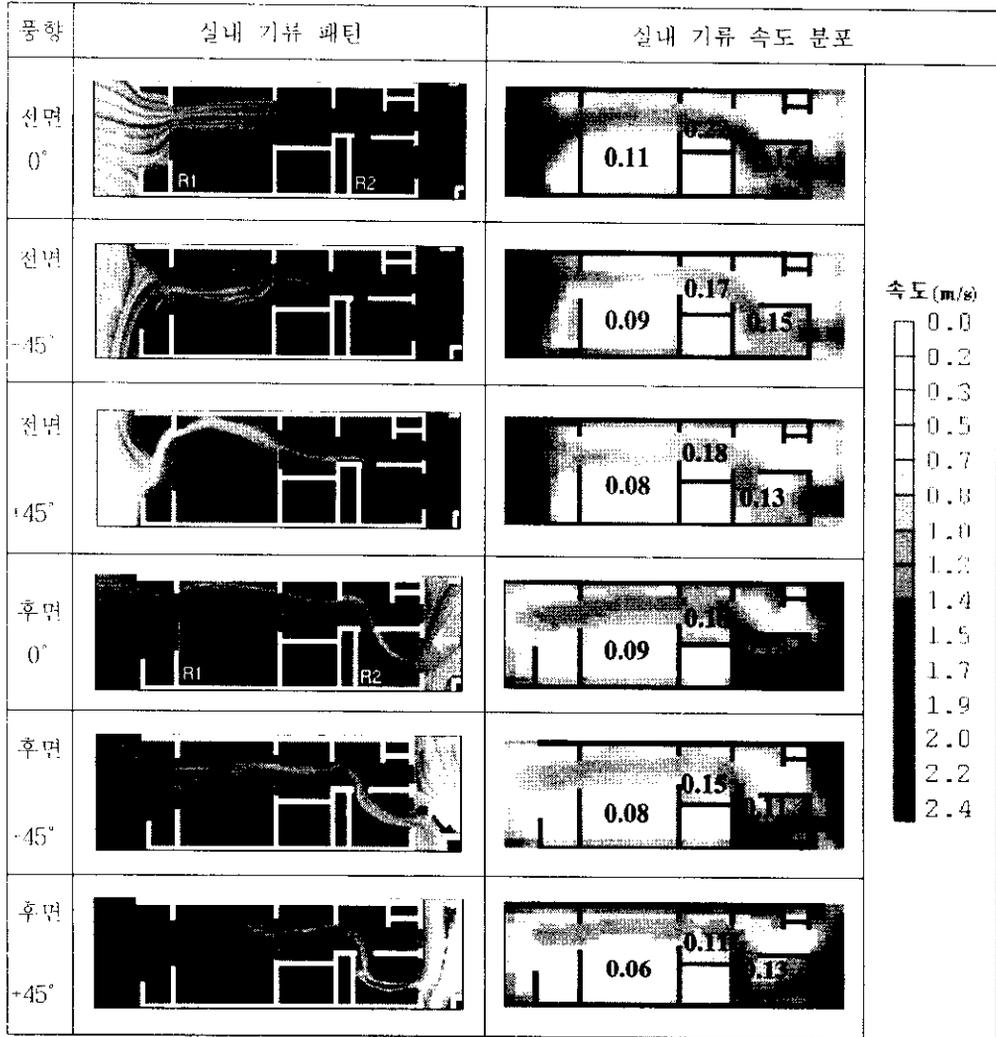
(그림 5.3) Unit 1 (현관문을 열어둔 경우)

2) Unit 2 : 2R+DK+B - 편복도형

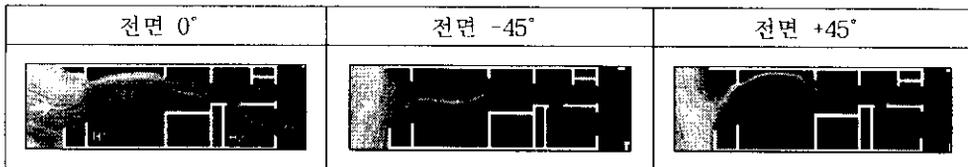
Unit 2는 Unit 1과 거의 유사한 평면형태를 갖지만 복도 측에 작은 방(R2)이 추가되면서 통풍성능이 크게 달라진다. (그림 5.4)와 같이 현관문을 닫은 경우, 외부의 풍향이 변하더라도 주침실에서 후면 작은 방까지 통과하는 주기류는 거의 변화가 없는 반면, 주방에는 전혀 통풍이 되지 못한다. 각 실의 풍속분포는 0.08~0.2m/s로 바람이 거의 느껴지지 않을 정도이므로 통풍을 이용한 냉방효과는 기대할 수 없다.

전면에 위치한 안방(R1)은 실내 기류가 골고루 분포되지 못하고 풍속도 미약하여 가장 취약한 부분으로 평가되었다. 즉, 아무리 전면 개구부를 크게 하여도

유출구가 되는 후면의 창호가 작으면 통풍성능은 향상될 수 없다. 반면에 (그림 5.5)와 같이 현관문을 열어둔 경우에는 안방의 통풍성능이 향상되지만 남동풍이 불면 작은 방(R2)에 기류가 전혀 유입되지 않는다.



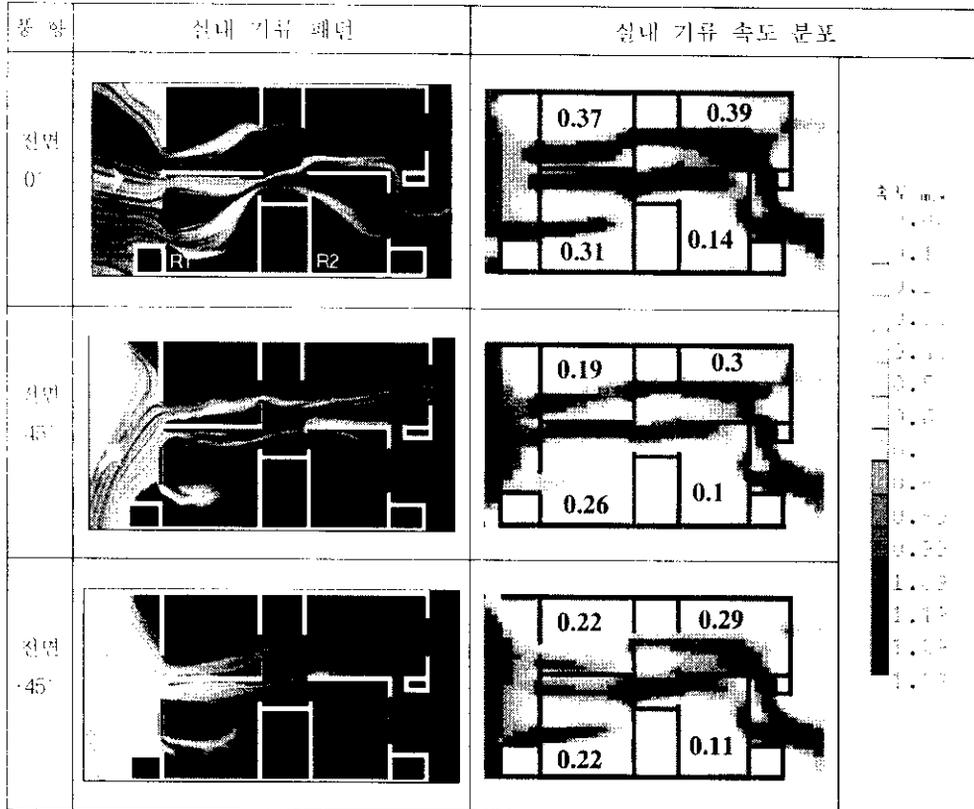
(그림 5.4) Unit 2 (현관문을 닫은 경우)



(그림 5.5) Unit 2 (현관문을 열어 둔 경우)

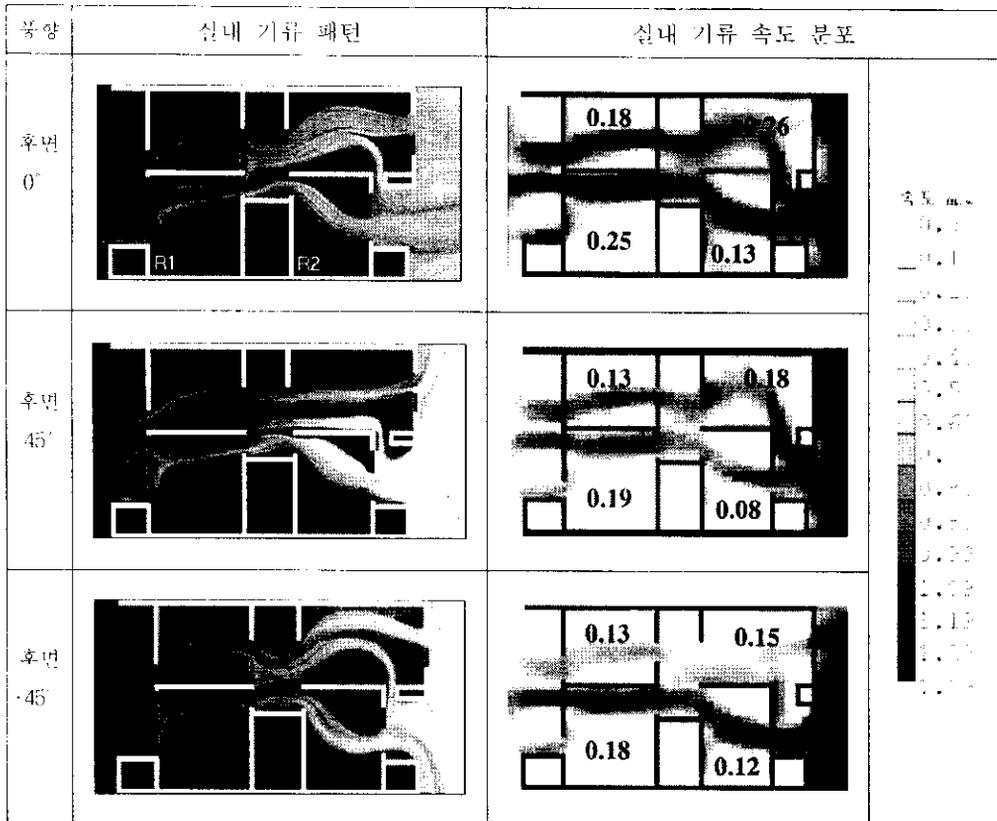
3) Unit 3 : 2R+L+DK+B - 계단실형

Unit 3은 거실, 식당 및 주방의 형태가 장방형이고 거실을 구분 짓는 마서기분이 설치되어 있다. 기류패턴을 보면 (그림 5.6)과 (그림 5.7)에서처럼 풍향에 상관없이 모든 방에 기류가 흐르지만, 풍향에 따라 안방(R1)과 작은 방(R2)의 실내 기류 분포의 변동이 크다. 실제 주된 흐름은 거실과 주방, 안방과 뒷방을 잇는 선으로 양분되며 풍향에 따라 일부가 식당에서 통합된다.



(그림 5.6) Unit 3 : 전면풍향

실내 기류속도를 비교해볼 때 남풍이 불 때를 제외하고 안방보다 거실의 통풍 성능이 전반적으로 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 거실전면에 고정창을 설치하여 창호크기에 비하여 유효 개구면적이 작을 뿐 아니라 실내문의 설치로 실제 유출구가 감소되기 때문이다.



(그림 5.7) Unit 3 : 후면풍향

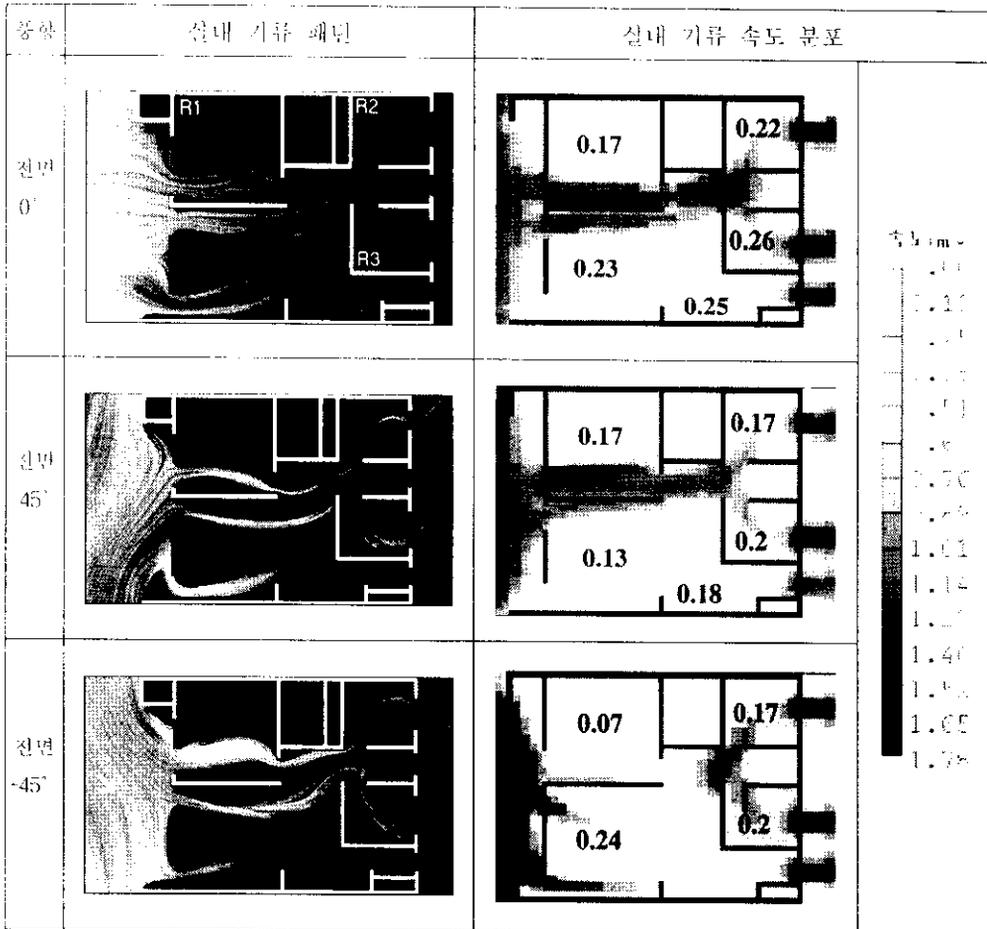
Unit 3과 같은 평면구조에서는 모든 실에 바람이 유입되기는 하지만 식당과 주방을 제외하고 풍향에 따른 기류분포의 차이가 크고 실제 거주역으로 기류가 지나지 않으므로 각 개구부에 대한 상세 계획이 필요하다.

4) Unit 4 : 3R+L+DK+B - 편복도형

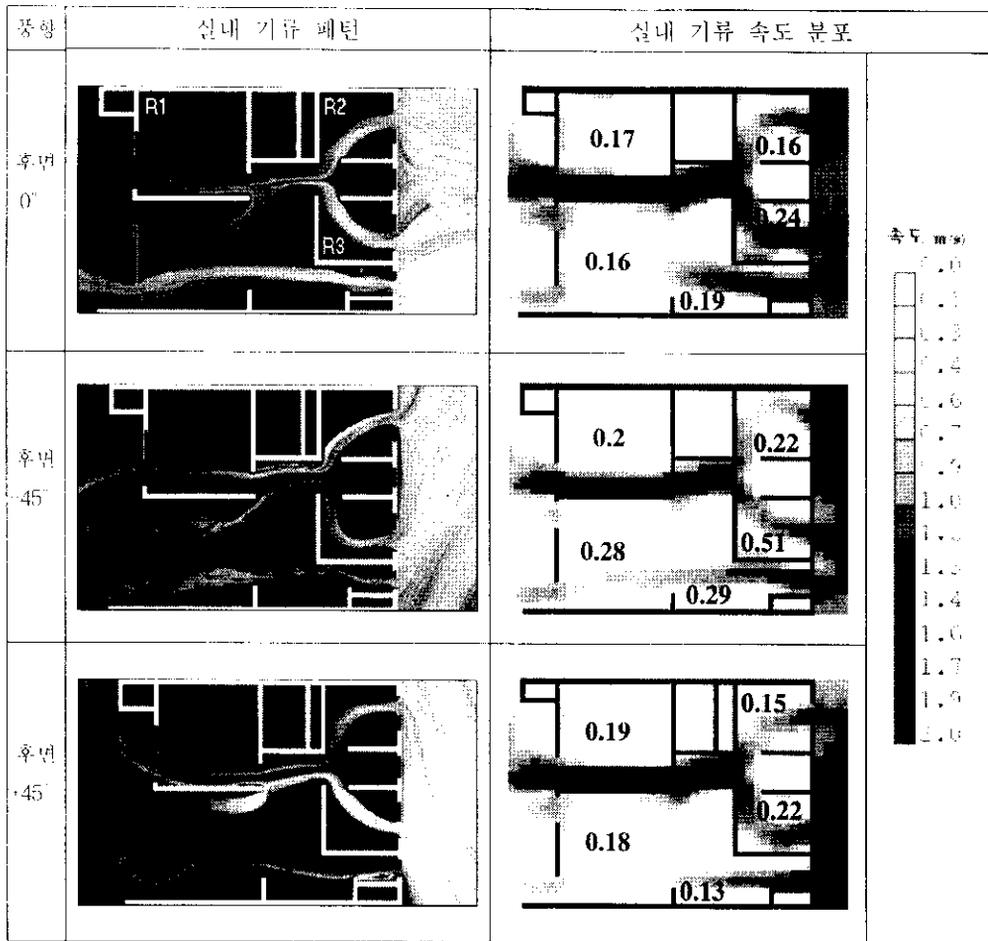
Unit 4는 후면에 2개의 방을 배치한 편복도형 평면이다. (그림 5.8) 과 (그림 5.9)에서 볼 수 있듯이 전면에서 유입된 기류는 양분되어 각각 작은 방(R2, R3)으로 흐른다. 유입된 기류는 대부분 벽을 타고 흐르는 Wall-Jet 현상으로 거주역이 아닌 부분을 지나므로 다른 단위세대 평면에 비해서 전체적인 기류 분포가 좋지 않다. 각 실의 평균 기류속도도 0.07~0.29m/s로 작아서 실제로 통풍을 이용한 냉방효과는 기대하기 어렵다. 특히 거실의 경우, 유입된 기류는 방향을 바

꾸어 후면 방을 통해 나가거나 식당과 주방을 지나 다용도실의 유출구를 통해 나가야 한다. 이러한 방향전환이 기류가 가지고 있는 초기에너지와 속도를 감소시켜 농공성능을 크게 떨어뜨리고 있다.

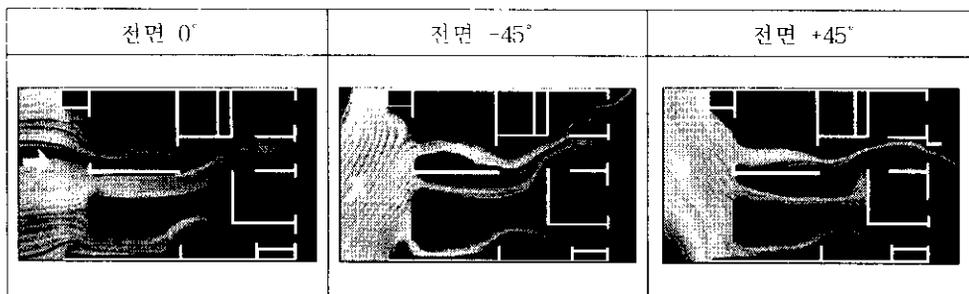
후면에 2개의 실을 배치하는 편복도형 평면계획에서는 거실의 대향벽을 막는 구조보다는 주방과 후면의 방의 배치를 바꾸어 거실과 주방이 직접 연결되도록 하여 유입된 기류가 곧바로 나갈 수 있는 유출구를 제공해야 할 것이다.



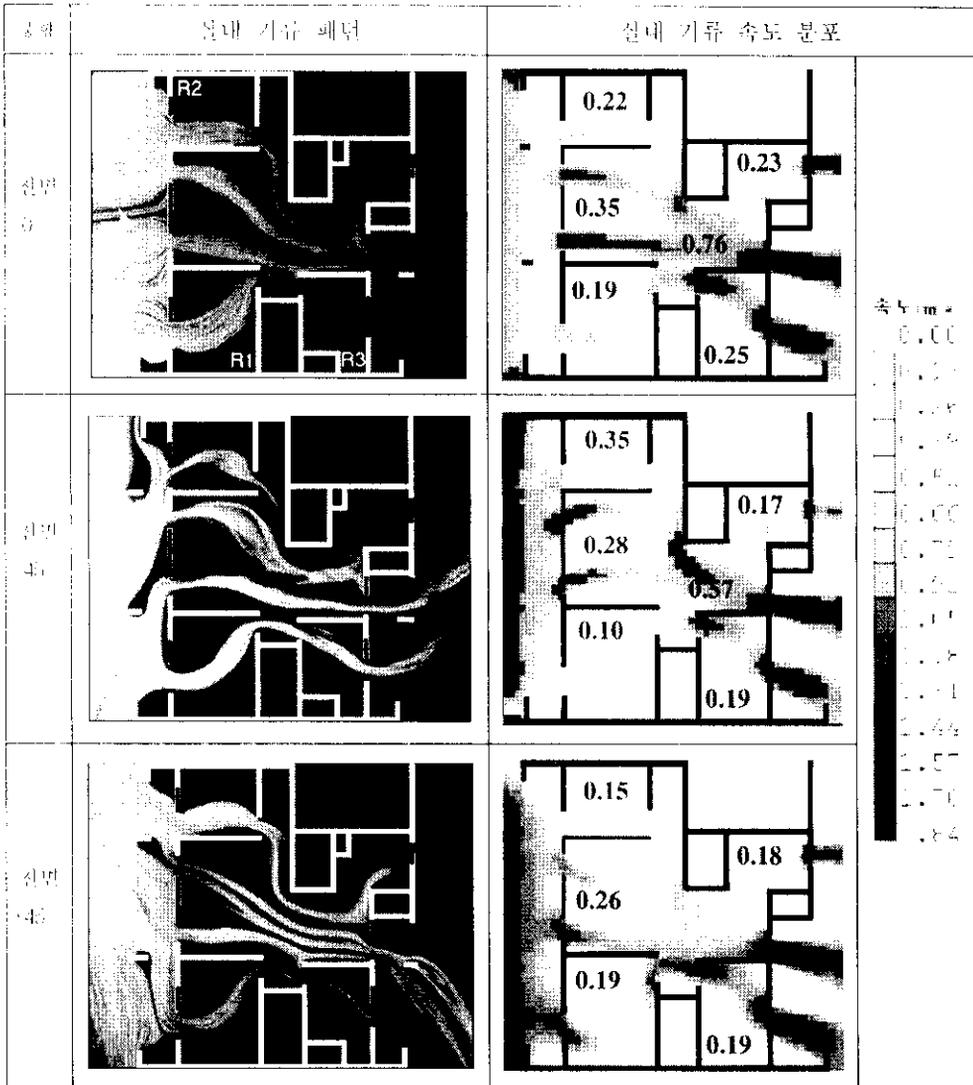
(그림 5.8) Unit 4 : 전면 풍향 (현관문을 닫은 경우)



(그림 5.9) Unit 4 : 후면 풍향(현관문을 닫은 경우)



(그림 5.10) Unit 4 (현관문을 열어둔 경우)

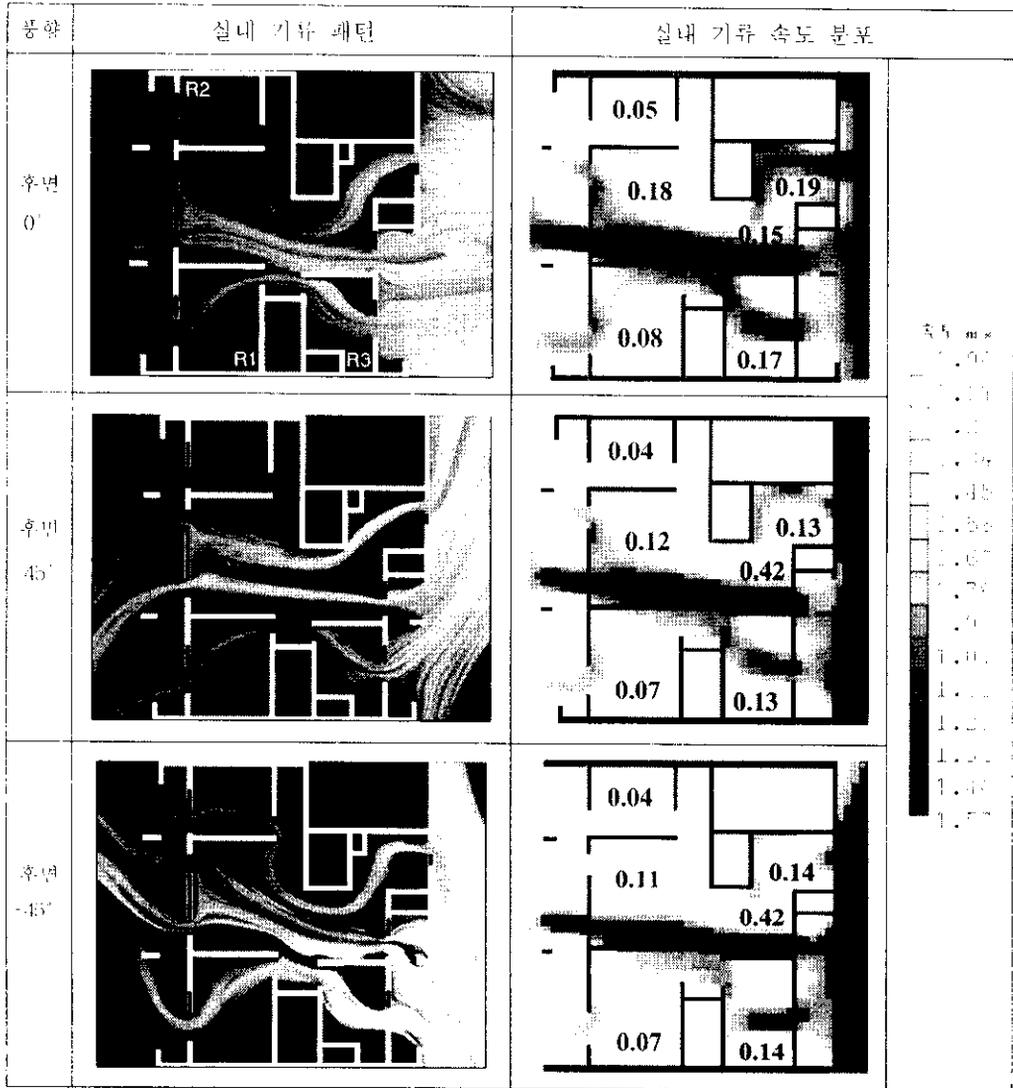


(그림 5.11) Unit 5 (1) : 전면 풍향

5) Unit 5 : 3R+L+DK+2B - 계단실형(A)

Unit 5는 전면에 거실과 두 개의 침실이 배치되고 이 중에 침실 하나가 전체 장방형 평면형태에서 돌출된 형태를 갖는다. 이때 돌출된 침실에서는 유입구와 유출구의 크기나 위치를 충분히 고려하더라도 실제 통풍효과를 기대하기 어렵다. (그림 5.11)과 (그림 5.12)에서 볼 수 있듯이, 전면 작은 방(R2)의 통풍성능이 떨어지는데 특히 후면에서 바람이 불면 기류가 거의 유입되지 않는다. 후면에서

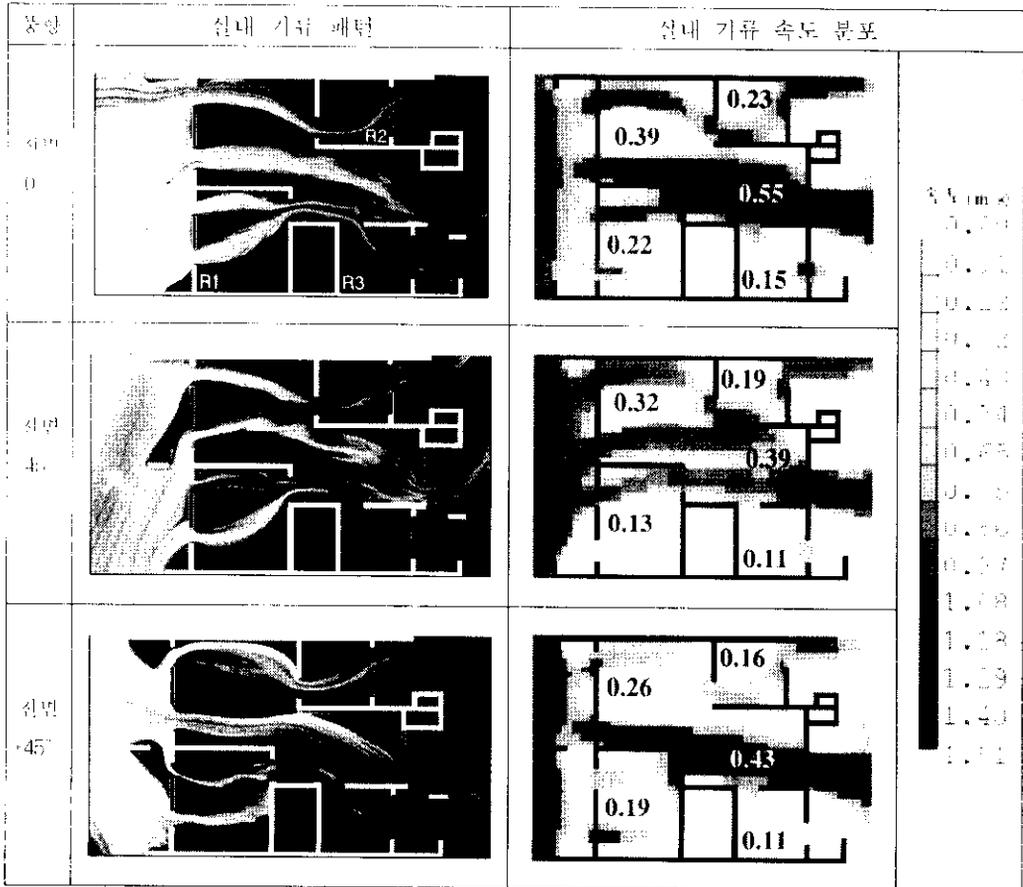
유입되는 바람을 가로막는 화장실의 위치와 크기가 조절되지 않는 한 전체 평면 구조를 유지하면서 동출된 작은 방(R2)의 통풍성능을 향상시킬 수 없다. 반면에 거실, 식당과 주방을 지나는 기류흐름은 풍향에 상관없이 일정한 편이며 평균속도도 비교적 양호하다.



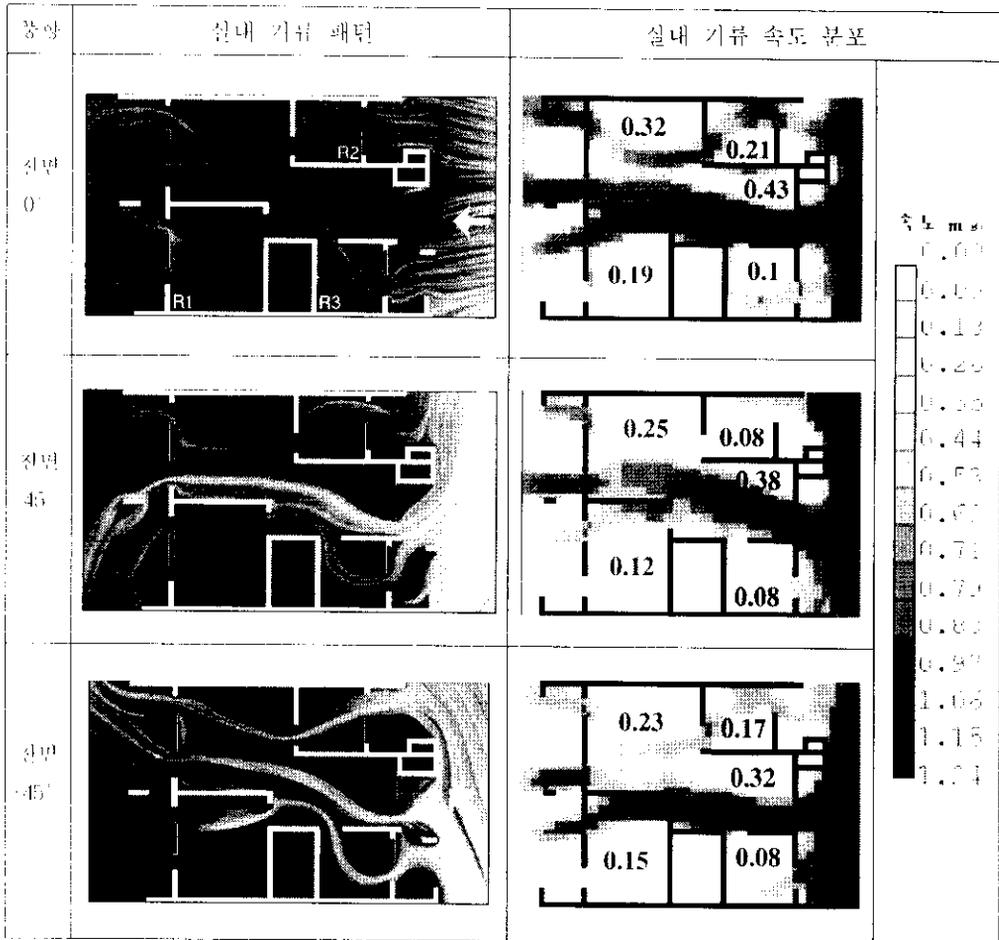
(그림 5.12) Unit 5 (2) : 후면 풍향

6) Unit 6 : 3R+L+DK+B 세단실형(B)

후면에 두 개의 방과 식당, 주방이 위치되는 Unit 6은 가장 전형적인 3LDK 평면이다. (그림 5.13)과 (그림 5.14)에서 볼 수 있듯이 기본적으로 모든 실에 바람이 유입되며 특히 거실, 식당 및 주방의 통풍성능이 매우 좋다. 반면 후면의 작은방(R3)이 다른 방에 비하여 통풍성능이 크게 떨어지는데 이는 문의 부적절한 배치가 주된 요인이다. 따라서 Unit 6과 같은 평면형에서는 각 실의 개구부 계획과 후면에 위치한 실의 개구부 위치에 대한 주의면 기울이면 충분한 통풍효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.



(그림 5.13) Unit 6 (1) : 전면풍향

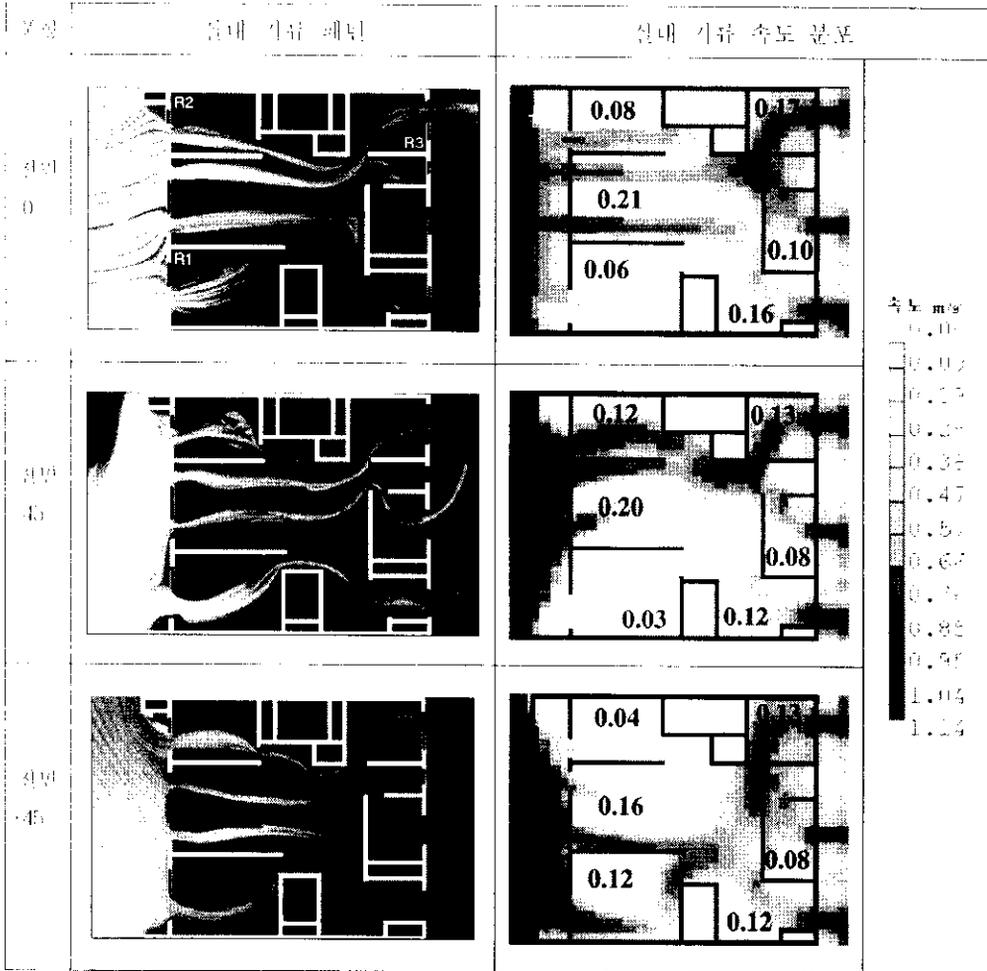


(그림 5.14) Unit 6 (2) : 후면풍향

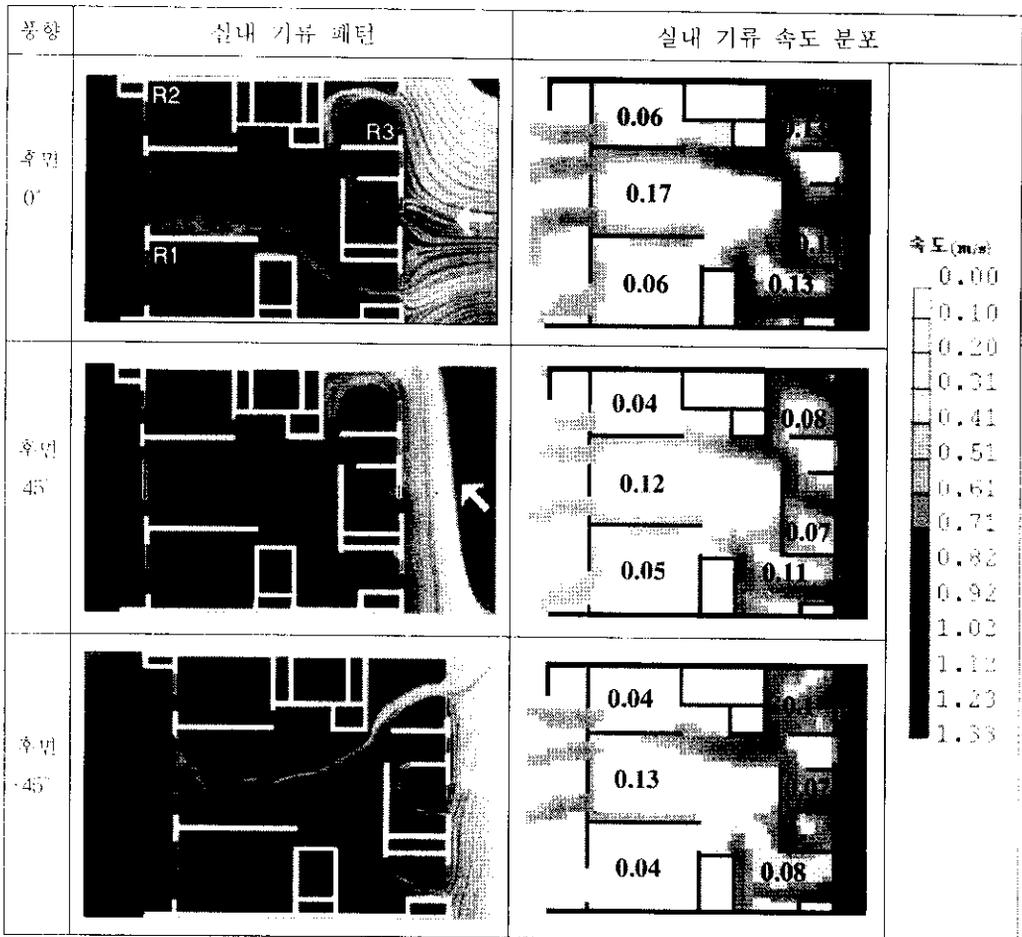
7) Unit 7 : 4R+L+DK+2B - 편복도형

Unit 4와 거의 유사한 구조인 Unit 7은 (그림 5.15) 및 (그림 5.16)과 같이 뚜렷한 수기류 흐름이 보이지 않으며 실내 기류속도도 매우 미약하다. 거실과 후면 방의 간벽이 마주 보고 있어 기류의 흐름을 가로막고 있으며 전면창호를 통해 유입되는 기류들은 실내 벽들과 부딪히고 많은 방향전환을 하면서 후면 방을 통한 유출구를 통해 나간다. 이와 같은 평면구조에서는 현관을 열어 유출구를 추가로 제공해도 (그림 5.17)에서 볼 수 있듯이 거실의 기류패턴은 약간 좋아지지만 후면 작은 방들의 통풍성능이 더욱 나빠진다.

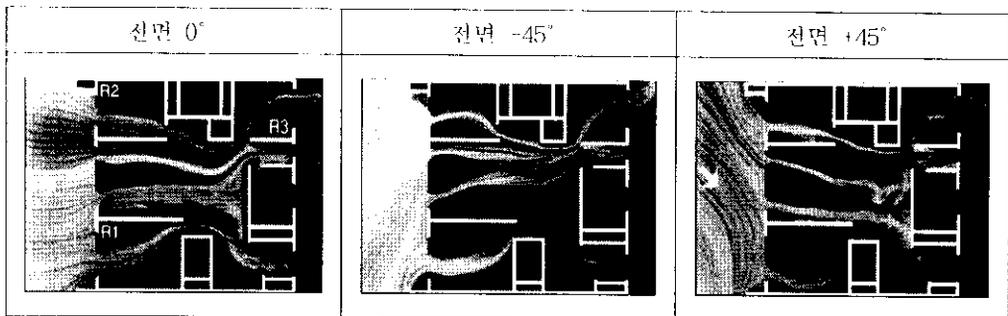
Unit 7과 같은 평면에서는 기실에 유입된 기류가 적절한 기류분포와 속도를 유지할 수 있도록 기실-식당-주방을 연결하여 배치하고, 기류의 흐름에 방해가 되고 방향전환을 요구하는 평면부조를 지양해야 할 것이다.



(그림 5.15) Unit 7 : 전면 풍향 (현관문을 닫은 경우)



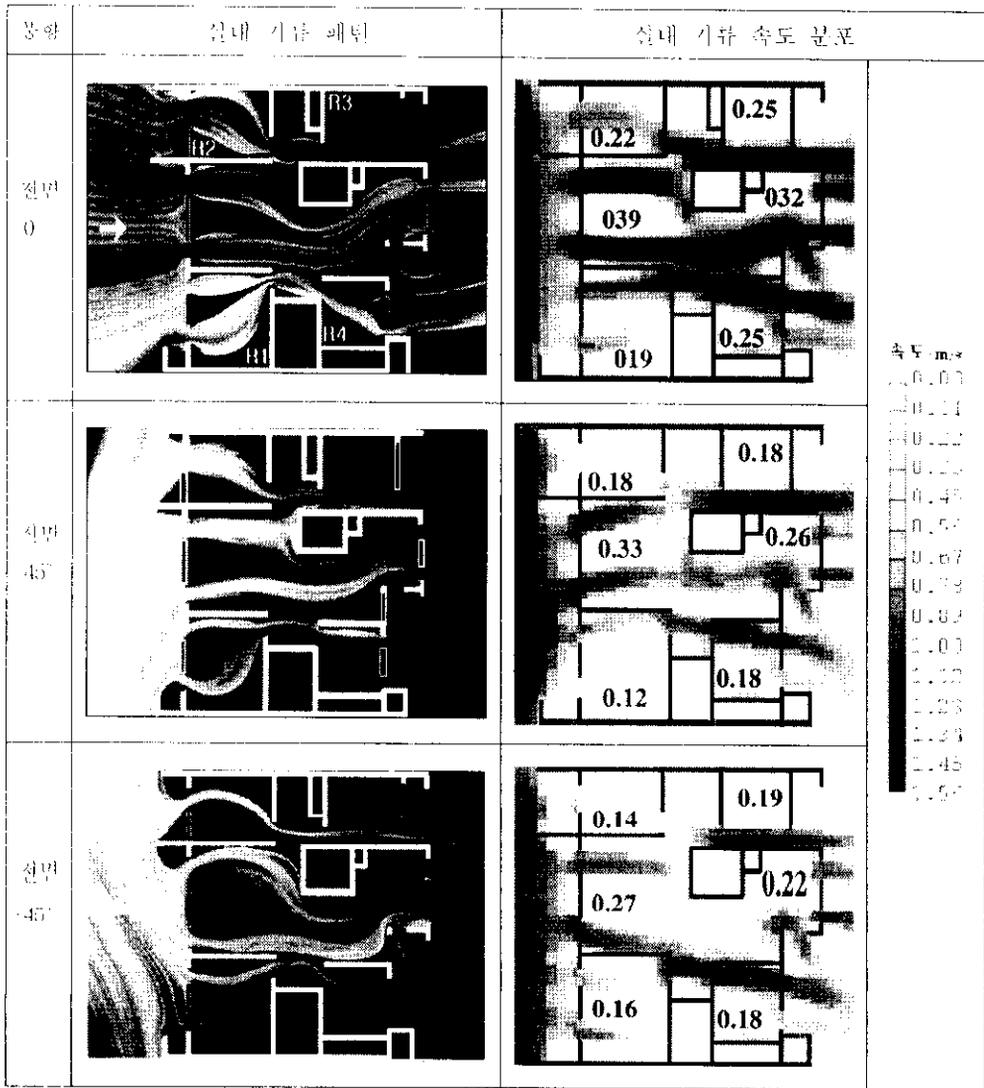
(그림 5.16) Unit 7 : 후면 풍향 (현관문을 닫은 경우)



(그림 5.17) Unit 7 (현관문을 열어둔 경우)

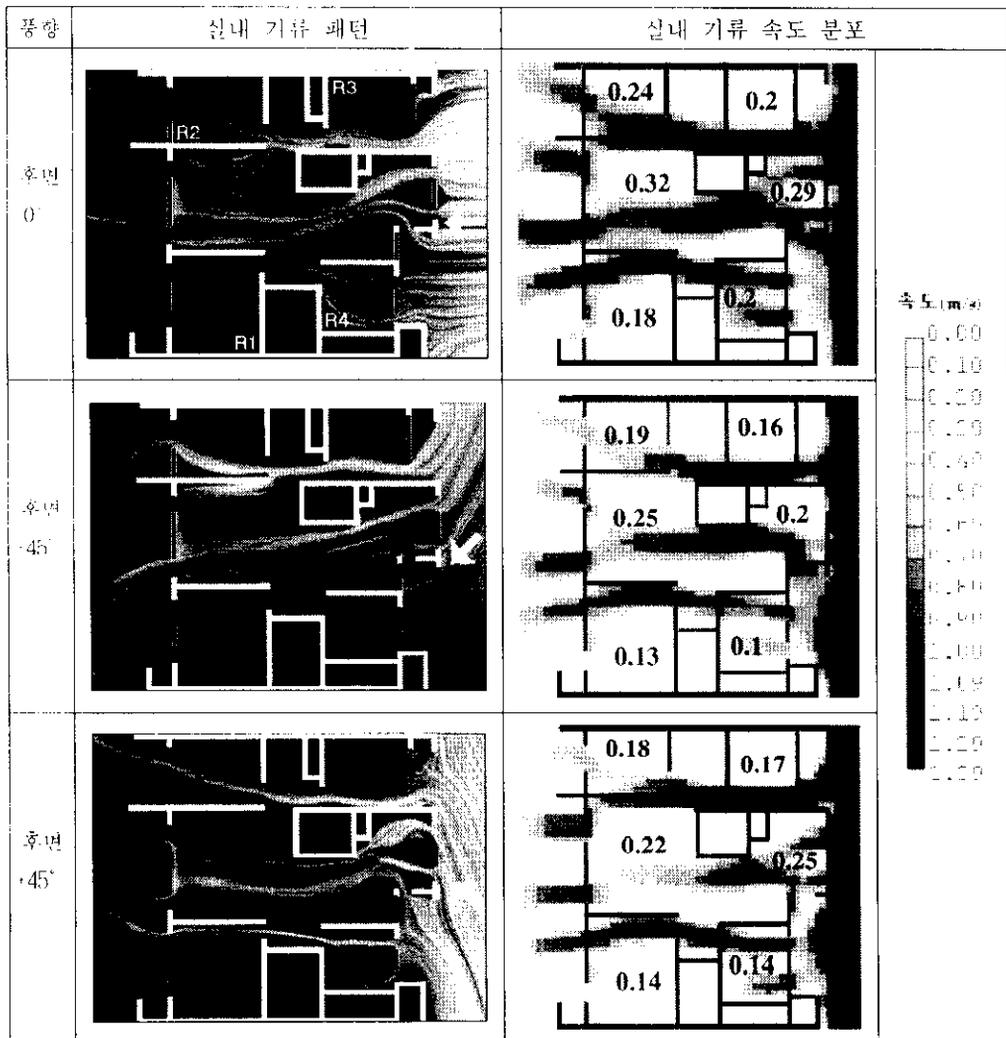
8) Unit 8 : 4R 계단실형

침실을 4개 갖는 형편 중에 가장 일반적인 형태인 Unit 8에서는(그림 5.18)과 (그림 5.19)에서 볼 수 있듯이 풍향에 상관없이 모든 실에 기류가 유입된다. 각 실의 평균속도는 0.14~0.32m/s로 비교적 균등한 편이지만 고정창을 설치한 후면 방(R3)의 경우 유입된 바람은 벽을 따라 그대로 통과하기 때문에 실제 통풍효과는 열기 힘들다.



(그림 5.18) Unit 8 : 전면 풍향

단위세대 규모가 커지면 각 창호의 폭도 커지므로 3쪽창이나 고정창을 설치하여 유효 개구면적을 감소시키는 경향이 있는데, Unit 8도 역시 전체적으로는 모든 공간에 기류가 유입되고 공간구조상의 큰 문제는 없지만 고정창 비율이 커서 실제로 유입되는 기류의 양은 창호면적에 비하여 크게 떨어진다. 따라서 개구부를 충분히 활용하여 실질적인 냉방효과를 얻기 위해서는 각 실의 창호 형태 및 개폐방법에 대한 상세한 계획이 필요하다.



(그림 5.19) Unit 8 : 후면 풍향

5.3.2 단위세대 평면유형에 따른 기류패턴의 평가

실내 기류패턴에 대한 평가는 가시화 실험결과를 바탕으로 연구자의 정성적인 판단에 의해 이루어지고, 같은 평면이라도 풍향에 따라 기류패턴이 달라지므로 간단하게 비교, 설명하기가 어렵다. 일반적으로 실내기류는 개구부 특성에 따라 유입된 기류가 어떤 경로로 실내 공간을 지나가는지가 주된 고려사항이므로 기류패턴을 쉽게 비교할 수 있는 척도로서 주기류(Main Stream)개념이 제안될 수 있다. 즉, 각 단위평면들의 기류패턴을 분석해보면 풍향에 따라 변동하지 않고 일정하게 그 경로가 유지되는 기류의 흐름이 있는데, 이러한 주기류(Main Stream)의 특성이 전체 단위세대의 통풍성능을 단적으로 보여준다.

8가지 주요 단위평면의 통풍성능을 분석한 결과, 각 단위세대는 주기류에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 1개의 주기류(Main Stream)를 갖는 경우
: Unit 1, Unit2, Unit 4(현관을 여는 경우), Unit 5.
- 2개의 주기류(Main Stream)를 갖는 경우
: Unit3, Unit4, Unit 6.
- 3개의 주기류(Main Stream)를 갖는 경우 : Unit 8
- 주기류(Main Stream)가 없는 경우 : Unit7.

이 때 주기류의 특성에 따라 실내 기류패턴은 다음과 같이 평가될 수 있다.

- i) 주기류가 모든 단위 공간을 통과할 때 통풍성능은 양호하다,
- ii) 일반적으로 2개 이상의 주기류를 갖는 경우 실내 기류 분포가 비교적 양호하며 대안의 제시에도 유리하다. 반면에 주된 기류가 없이 풍향에 따라 실내 기류 패턴이 각각 변동하는 경우 전체적인 통풍성능은 떨어진다.
- iii) 주기류가 하나만 있을 때 주기류의 경로상에 있는 개구부들 중 하나가 닫히면 세대 전체의 통풍성능이 현저히 나빠진다.
- iv) 주기류들이 공간 내에서 합쳐지거나 분리되는 형태를 가지면 각 실의 개구부들이 닫히더라도 그 실을 제외한 다른 공간의 통풍 성능이 비교적 크게 저하되지 않는다.

v) 주기류가 실제 거주영역, 즉, 일반적으로 각 단위공간의 중앙을 통과하는 경우 실내 통풍성능은 좋다(wall-jet 현상이 일어나지 않아야 한다).

vi) 통풍이 중요한 실에는 반드시 1개이상의 주기류가 통과해야한다.

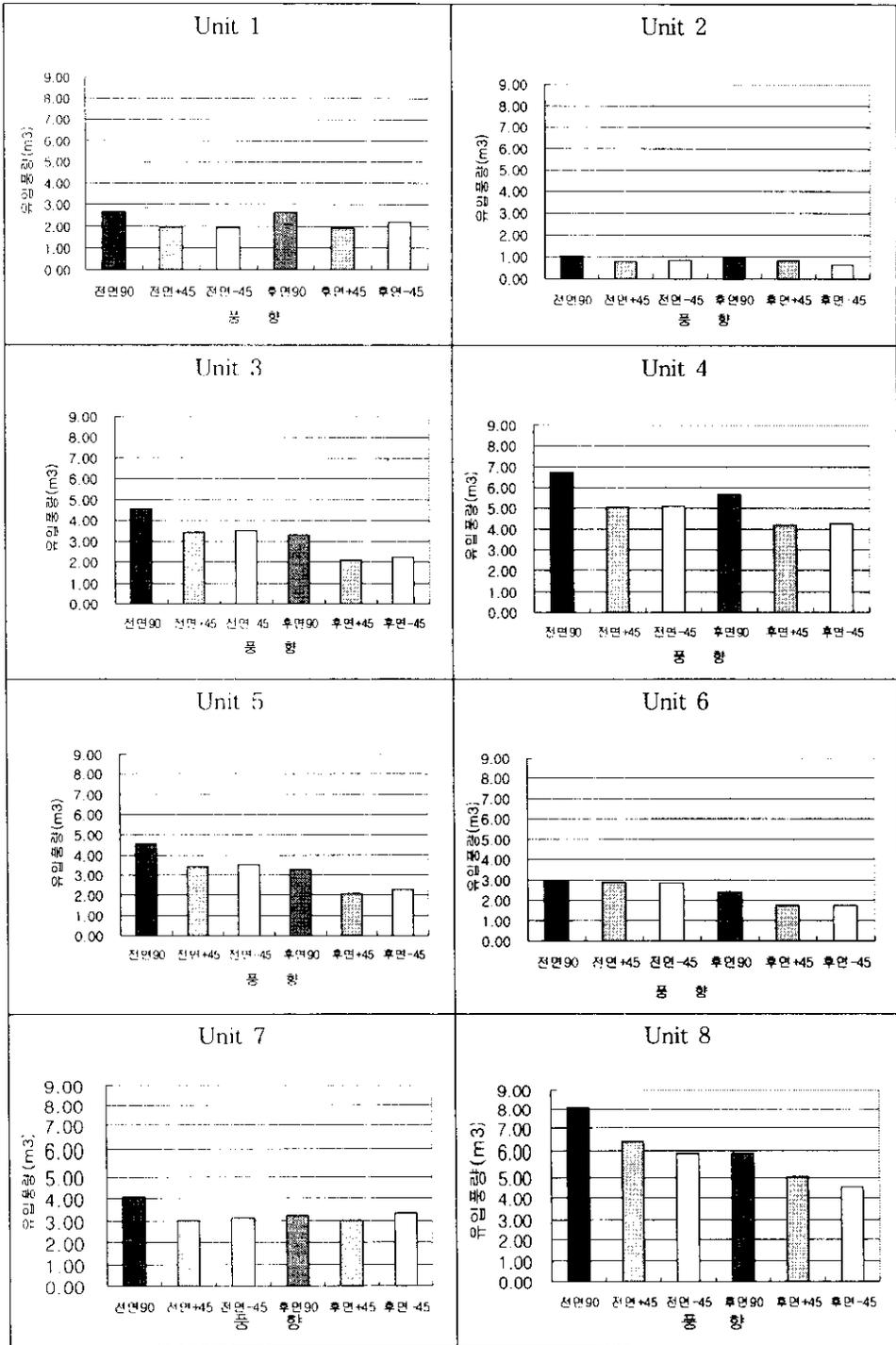
5.4 각 평면유형별 유입풍량 및 기류속도의 분석

실내공간의 통풍성능을 평가하는 양적인 척도는 개구부를 통한 유입풍량, 실내 최대 기류속도 및 평균 기류속도와 거주역에서의 최대 기류속도 및 평균기류속도 등이 있다. 자연통풍을 이용한 냉방에너지 절감량은 유입풍량으로 계산되며, 실내 기류속도 증가로 인한 인체 쾌적도의 상승은 거주역에서의 평균속도 및 최대속도로 평가된다.

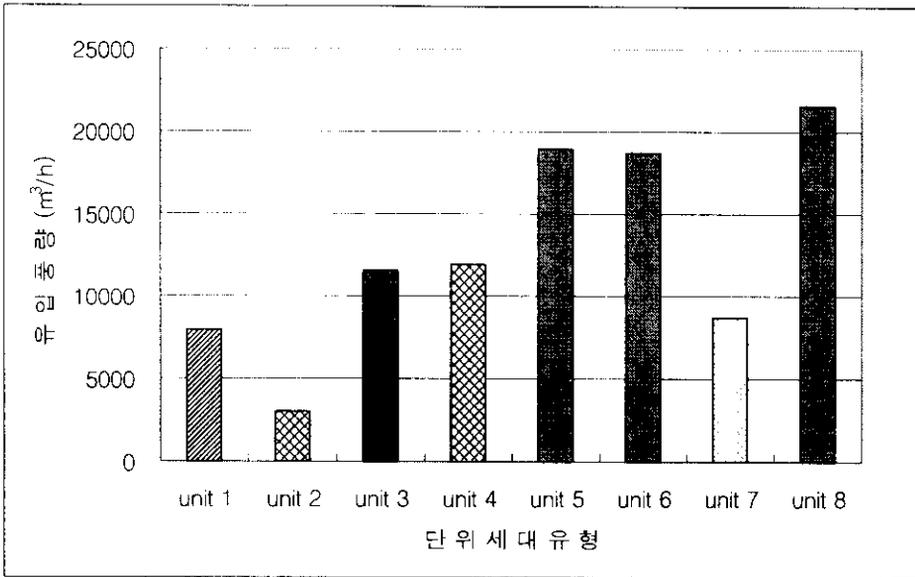
(그림 5.20)은 각 단위세대의 풍향별 유입풍량을 비교해서 보여주는데, 전반적으로 바람이 전면 벽체에 대하여 수직으로 불어올 때 유입풍량이 가장 많으며 각 평면유형에 따라 공간에 유입풍량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이 때 단위세대 평면유형에 따라 공간의 규모와 깊이, 개구부를 낼 수 있는 외벽면적 등이 달라지므로 각 세대에 유입되는 풍량의 크기만으로 통풍성능을 비교할 수 없다.

(그림 5.21)은 각 평면유형의 평균 유입풍량을 보여주고 있으며 (그림 5.22)는 평면유형별 각 실의 평균속도 및 거주역에서의 최대 풍속을 보여준다. (그림 5.21)과 (그림 5.22)를 비교해보면 유입풍량이 많다고 해서 실내기류 속도가 커지는 것은 아니다. Unit 8을 보면 유입풍량은 크지만 각 실의 평균속도는 다른 평면유형보다 작은 것으로 분석되었는데, 이는 유입된 바람이 전체에 분포되지 않고 곧바로 유출구로 흘러나가 각 실의 많은 부분에 정체역이 형성되었기 때문이다.

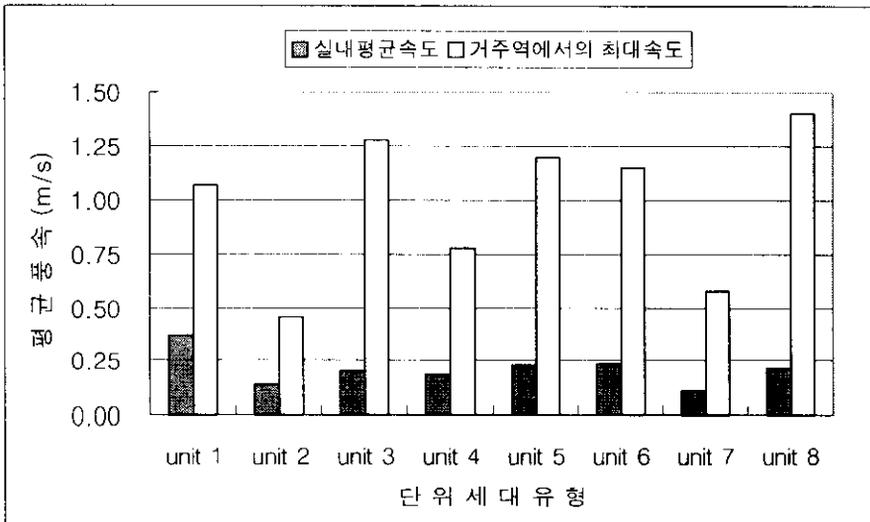
<표 5.6>는 각 평면유형에서 유입풍량에 영향을 미치는 설계변수들과 평균 유입풍량을 비교한 표이다. 이 때 설계변수들과 유입풍량과의 상관관계를 살펴보면 실제로 유입풍량에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 전후면 유효개구부의 면적비로 나타났으므로 '유입풍량'대신 개구부를 만들 수 있는 '외벽 면적당 유입풍량'을 평가척도로 사용하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다.



(그림 5.20) 풍향에 따른 단위세대별 평균 유입풍량의 비교



(그림 5.21) 평면유형별 평균풍량의 비교



(그림 5.22) 평면유형별 실내 평균속도 및 최대속도의 비교

<표 5.3> 평면유형별 실계변수와 유입풍량 및 실내 평균속도의 비교

평면유형		UNIT1	UNIT2	UNIT3	UNIT4	UNIT5	UNIT6	UNIT7	UNIT8
실계변수									
평면형태 (장단변비)		0.33	0.38	0.61	0.66	1.03	0.78	0.84	1.02
장면적비 (%)	전체	38	29	49	40	40	64	34	59
	전면	50	47	63	64	53	59	59	67
	후면	27	11	35	15	26	63	14	51
유효개구 면적비(%)	전체	58	42	50	42	44	62	37	59
	전면	31	36	26	33	30	32	29	32
	후면	28	6	24	9	14	3	8	27
개구비율		0.76	0.51	0.49	0.52	0.52	0.79	0.26	0.46
유입/유출구비		1.10	5.87	1.11	3.45	2.11	1.07	3.52	1.19
거실문 설치		없음	있음	있음	없음	없음	없음	없음	없음
유입풍량×10 ⁴ (m ³ /h)		7.97	3.08	11.52	11.91	18.90	18.66	8.76	21.55
외벽 면적당 유입풍량(m ³ /h m ²)		503	157	363	295	320	413	178	364
평균기류속도(m/s)		0.37	0.13	0.20	0.18	0.22	0.23	0.10	0.21
최대기류속도(m/s)		1.07	0.46	1.28	0.78	1.20	1.15	0.58	1.34

5.5 평면유형에 따른 통풍성능의 비교

단위세대의 공간구조에 따른 문제점을 지적하고 통풍계획의 기본방향을 제시하기 위해서는 통풍성능을 객관적으로 비교, 평가하여야하므로 다음과 같은 평가 기준을 설정하였다.

- 1) 통풍성능의 평가는 정성적인 측면과 정량적인 측면을 함께 고려한다.
- 2) 풍향의 변동에 상관없이 기본적으로 모든 실내 공간에 바람이 유입되면서 거실과 식당, 주방에는 충분한 풍량과 적절한 기류분포가 이루어지는 것을 목표로 한다.

3) 기류패턴과 같은 정성적인 측면은 주기류의 특성으로 평가하며 풍향의 변동에 상관없이 모든 실내공간에 바람이 유입되고 거주역으로 바람이 지나가는 것을 '아주 좋다'로 평가한다.

4) 정량적인 측면은 유입풍량과 실내 평균기류속도 및 거주역에서의 최대속도로 각 평면유형을 평가하고 각 공간에 충분한 풍량(상대적 평가)이 유입되면서 거주역의 기류속도가 냉각효과를 기대할 수 있는 수준(0.5m/s)이상이 되는 것을 '아주 좋다'로 평가한다.

<표 5.3>과 <표 5.4>는 각 평면유형의 통풍성능에 대한 평가항목 및 평가척도를 요약하여 보여준다.

<표 5.3> 실내 기류패턴의 평가항목

평가내용		평가항목	
기류패턴	A	주기류가 모든 실내공간을 통과할 것	주기류가 통과하지 않는 공간 갯수
	B	주기류들이 공간 내에서 합쳐질 것	기류의 형태
	C	주기류가 각 공간의 거주역을 통과할 것	주기류가 거주지역을 통과하지 않는 공간 갯수
	D	통풍에 중요한 공간에는 1개 이상의 주기류가 지나가고 기류가 거주역을 통과할 것	거실, 식당 및 주방의 주기류 특성
풍량 및 속도	E	각 공간에 충분한 양의 풍량이 유입될 것 (상대적 비교)	외벽면적당 유입풍량
	F	모든 공간에 기류속도가 균등하게 분포될 것 (상대적 비교)	각 공간의 평균속도
	G	거주역의 기류속도가 냉각효과를 기대할 수 있는 수준(0.5~1.5m/s)이상일 것	거주역에서의 최대속도 (바닥에서 1~1.2m)

<표 5.4> 평가항목의 평가척도

평가항목		평가내용	평가척도
A	주기류가 통과하지 않는 공간	안방, 작은방 2개 또는 거실·식당·부엌에 주기류가 통과안함.	아주 나쁘다
		안방과 작은방 또는 식당이나 부엌에 주기류가 통과안함.	나쁘다
		안방 또는 작은방 2개에 주기류가 통과안함.	보통이다
		작은방 1개에 주기류가 통과안함.	좋다
		모든 공간에 주기류가 형성됨.	아주 좋다
B	주기류의 형태	주기류가 각각 분리됨.	아주 나쁘다
		풍향에 따라 분리, 합쳐짐(6개 풍향 중 3번 이하).	나쁘다
		풍향에 따라 분리, 합쳐짐(6개 풍향 중 4번 이상).	보통이다
		거실·식당·부엌 중 비거주역에서 합쳐짐.	좋다
		거실·식당·부엌 중 거주역에서 합쳐짐.	아주 좋다
C	주기류가 거주역을 통과하지 않는 공간	안방과 작은방 2개 또는 거실·식당·부엌	아주 나쁘다
		안방과 작은방 또는 작은방 3개 또는 식당이나 부엌	나쁘다
		안방 또는 작은방 2개	보통이다
		작은방 1개	좋다
		없음.	아주 좋다
D	거실과 식당 및 주방의 주기류 특성	주기류가 거주역으로 안 지나감.	아주 나쁘다
		거실·식당·주방중 일부만 거주역 지나감.	나쁘다
		풍향에 따라 거주역을 일부 지나감(6개 풍향 중 3번 이하).	보통이다
		풍향에 따라 거주역을 일부 지나감(6개 풍향 중 4번 이상.)	좋다
		주기류가 거주역으로 지나감.	아주 좋다
E	외벽면적당 유입풍량 (m ³ /h(m ²)) (외기풍속 1m/s일때)	200m ³ /h (m ²)미만	아주 나쁘다
		200m ³ /h (m ²)이상 ~ 300m ³ /h (m ²)미만	나쁘다
		300m ³ /h (m ²)이상 ~ 400m ³ /h (m ²)미만	보통이다
		400m ³ /h (m ²)이상 ~ 500m ³ /h (m ²)미만	좋다
		500m ³ /h (m ²)이상	아주 좋다
F	각 공간의 평균 속도 (외기풍속 1m/s일때)	0.15(m/s)미만	아주 나쁘다
		0.15(m/s)이상 ~ 0.2(m/s)미만	나쁘다
		0.21(m/s)이상 ~ 0.25(m/s)미만	보통이다
		0.26(m/s)이상 ~ 0.3(m/s)미만	좋다
		0.31(m/s)이상	아주 좋다
G	각 공간의 거주역에서의 최대 기류속도 (외기풍속 1m/s일때)	0.5 (m/s) 이하 또는 1.5(m/s)이상	아주 나쁘다
		0.5(m/s)이상 ~ 0.75(m/s)미만	나쁘다
		0.76(m/s)이상 ~ 1.0(m/s)미만	보통이다
		1.1(m/s)이상 ~ 1.25(m/s)미만	좋다
		1.26(m/s)이상 ~ 1.5(m/s)미만	아주 좋다

<표 5.3> 및 <표 5.4>에서 제안된 평가항목들은 정성적인 측면과 정량적인 측면에 동시에 고려되었으며 통풍성능에 미치는 영향의 정도가 각각 다르기 때문에 가중치를 주어 비교해야 한다. 본 연구에서는 CWM(Criteria Weighting Method : 평가기준 가중계수법)을 이용하여 각 평가항목의 가중치를 산정하였다.

<표 5.5> 평가기준 매트릭스

평가항목							가중치 (각 항목의 총점수)	순위
A	B	C	D	E	F	G		
A	A-5	A-0	A-3	A-1	A-5	A-3	A-17	1
	B	C-5	D-1	E-5	B-3	B-3	B-6	4
		C	C-3	E-0	C-3	C-3	C-14	2
			D	E-3	D-3	D-1	D-5	5
				E	E-5	E-3	E-11	3
					F	G-1	F-0	7
						G	G-1	6

* 중요도 척도 :

(0 ; 차이가 없다), (1 ; 약간 중요하다), (3 ; 중요하다), (5 ; 훨씬 중요하다)

* 표기 예 : A-5 (우 항목 중 A가 훨씬 중요하다)

<표 5.5>는 평가항목의 중요도를 비교하기 위한 평가기준 매트릭스(Criteria Matrix)이다. 매트릭스의 작성방법은 먼저 상부 X축에 평가항목을 나열한 뒤 각 평가항목을 다른 항목들과 쌍(pair)으로 비교하여 중요도를 판정한다. 중요도는 0에서 5까지의 스케일, (0: 차이가 없다), (1: 약간 중요하다), (3: 중요하다), (5: 훨씬 중요하다)로 구분된다. 첫 번째 행(row)에서는 A와 나머지 B-G를 각각 쌍으로 비교하게 되는데 A와 B의 비교에서는 A가 '훨씬 중요'하므로 A-5를 표시한다. A와 C의 비교에서는 중요도의 차이가 없고 A가 D보다 '중요'하므로 A-3을 표시한다.

이와 같은 방법으로 각 평가항목의 중요도를 쌍으로 비교한 후 각 항목의 중요도를 합산한 결과, 자연통풍 성능의 평가항목 중 A(주기류가 통과하지 않는 공간)가 가장 중요한 기준이 되며 그 다음으로 C(주기류가 거주역을 통과하지

않는 공간), E(유입풍량), B(주기류의 형태), D(거실과 식당 및 주방의 주기류특성), G(실내 최대기류속도), F(평균기류속도)의 순으로 나타났다.

평가기준 매트릭스(Criteria Matrix)를 통해 각 평가항목의 중요도를 결정한 후 <표 5.6>과 같이 분석 매트릭스(Analysis Matrix)를 작성하였다. 분석매트릭스에서는 x축에 분석하고자 하는 평면유형을 나열하고 y축에는 평가항목과 각 평가항목의 중요도 점수를 기입한다. 그리고 각 평면유형에 대해 평가항목에 따라 평가점수를 (1: 아주 나쁘다), (2: 나쁘다), (3: 보통이다), (4: 좋다), (5: 아주 좋다)의 5가지 척도로 평가하고 가중치를 곱하여 산정하면 전체 통풍성능을 점수의 합으로 나타낼 수 있게 된다.

<표 5.6> 분석매트릭스를 이용한 평면유형별 통풍성능의 평가

평가 항목	평판 중요도 점수	UNIT1	UNIT2	UNIT3	UNIT4	UNIT5	UNIT6	UNIT7	UNIT8
		A	17	5 85	2 34	5 85	2 34	1 17	5 85
B	6	1 6	1 6	4 24	1 6	4 24	4 24	1 6	1 6
C	14	2 28	2 28	1 14	1 14	2 28	1 14	1 14	1 14
D	5	3 15	2 10	3 15	1 5	3 15	3 15	1 5	3 15
E	11	5 55	1 11	3 33	2 22	3 33	4 44	1 11	3 33
F	0	4 0	1 0	3 0	2 0	3 0	3 0	1 0	3 0
G	1	4 4	1 1	5 5	3 3	4 4	4 4	2 2	5 5
총 점		193	90	176	84	121	186	55	158
순 위		(1)	6	3	7	5	2	8	4

* 표시방법 :

N1 /
N2

 N1 ; 평가점수, N2 : 평가점수×중요도

<표 5.6>에서 볼 수 있듯이 각 평면유형의 통풍성능을 실내 기류 분포 및 유입풍량 및 기류속도 측면에서 비교해보면, 일반적으로 주동형식이 편복도형인 경우 통풍성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 평면유형 중에서는 UNIT 6의 통풍성능이 가장 우수한 것으로 평가되었으며 UNIT 7의 통풍성능이 가장 나빴다.

이때 통풍성능이 떨어지는 주된 요인은 주기류가 일부 실내공간을 통과하지 않거나 통과하더라도 거주역을 지나지 않아 실내 기류분포가 나쁘고 각 공간에 유입되는 풍량이 작기 때문이다. 즉, 공간 구조적 측면에서 1) 전후면 공간의 연결을 고려하지 않은 공간구획으로 인하여 풍로가 확보되지 않거나 2) 후면 개구부 크기가 작아 유입풍량이 미소하거나 3) 창호면적은 충분하더라도 유효 개구면적비가 작아서 통풍성능을 저하시키는 것으로 지적되었다.

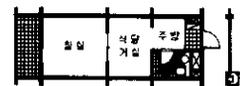
5.6 소 결

본 연구에서는 다양한 단위세대 평면을 대상으로 실내 기류 패턴 및 기류속도 분포 및 풍량을 산정, 분석함으로써 각 단위세대의 공간 구조적인 특징과 문제점을 지적하고 통풍성능을 향상시킬 수 있는 자연통풍 계획 방향을 제시하고자 하였다.

1) 공동주택의 단위세대 평면유형에 따른 통풍계획은 다음과 같이 요약된다.

① 1R+LDK : UNIT1

일반적으로 편복도형 주동형식을 갖는 1-Room 평면은 전면에 비해 측면이 긴 형태를 갖는다. 전면에 위치하는 안방에는 발코니에 직접 접근할 수 있는 큰 개구부가 설치되지만 후면에는 현관을 제외한 개구부가 전혀 고려되지 않는다. 이러한 평면형에서는 후면의 개구부 계획이 가장 중요하며 전면 벽체의 개구부 규모에도 제약이 있으므로 유효개구면적이 충분히 확보될 수 있는 창호의 선택이 중요하다.



Unit1

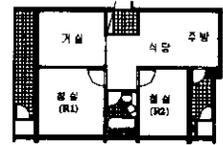
② 2R+L+DK : UNIT2, UNIT3

세장형(Unit 2)보다는 장방형(Unit 3)평면형이 통풍계획에 유리하다. 세장형의 경우 후면에 배치된 방의 통풍성능이 떨어지기 쉽고 후면 개구부계획에 제약이 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다.

Unit 3에서는 평면구조상의 큰 문제점은 없으나 거실문의 설치로 인해 거실-식당-주방의 전반적인 기류분포가 나빠지고 있다.



Unit2



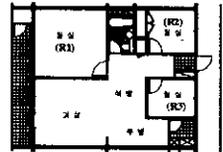
Unit3

③ 3R+L+DK : UNIT4, UNIT5, UNIT6

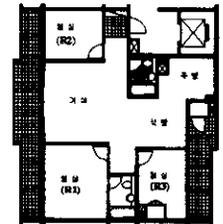
Unit 4와 같이 편복도형에서 후면에 두 개의 방을 배치하는 경우 거실과의 상대적 위치를 고려해야한다. 즉, 거실에서 유입된 기류가 충분한 기류속도를 가지고 거주역을 통과하기 위해서는 거실 창과 대향에 유출구가 제공되어야하므로 후면 방의 위치를 바꾸고 거실과 식당, 주방을 직접 연결하는 공간계획이 필요하다.

Unit 5와 같이 기본 평면에서 돌출된 실을 갖는 경우가 부분의 통풍성능은 매우 취약하다. 전체 평면형태를 바꾸지 않으면서 이 부분의 통풍성능을 향상시키려면 후면바람을 가로막는 화장실의 위치를 바꾸거나 크기를 조절해야한다. 반면에 거실-식당-주방의 통풍성능은 좋다.

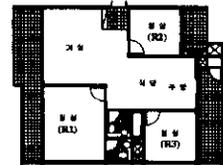
Unit 6은 후면 작은 방을 제외한 나머지 부분의 통풍성능은 우수한 편이다. 특히 식당의 기류속도 및 분포가 좋다.



Unit4



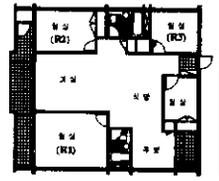
Unit 5



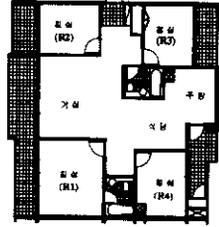
Unit 6

④ 4R+L+DK : UNIT7, UNIT8

Unit 7과 같이 간벽이 무질서하게 배치되어 유입된 바람의 풍로가 제대로 확보되지 않는 평면의 경우 통풍성능은 현저히 저하된다. 우선 거실의 통풍성능을 향상시키기 위해서는 Unit4와 같이 후면 방과 식당, 주방의 배치변경이 필요하며 각 공간을 조닝하여 실내 간벽을 정리하는 것이 필요하다.



Unit 7



Unit8

Unit 8은 전체 공간의 조닝에는 큰 문제가 없지만 각 개구부의 유효 개구면적비가 작아서 실제 유입되는 통풍량은 개구부 크기에 비해 작다.

2) 유입풍량은 주로 전, 후면 개구부의 면적에 의해 결정되지만 유입된 바람이 적정속도를 유지하면서 거주공간에 적절히 분포되는 것은 유입구와 유출구의 상대적 위치 및 실내 공간의 배치 등의 설계변수가 복합적으로 작용한다. 이 때 공간과 공간의 연결이나 상호위치에 따른 통풍성능은 전체 평면구조 내에서 평가되어야 하므로 단위세대 규모의 자연통풍계획에서 가장 중요한 고려사항은 실내 기류패턴이다.

3) 단위세대의 자연통풍계획에는 다음과 같은 사항이 우선 고려되어야 한다.

① 공간구조 : 단위세대내 공간구조는 전면과 후면공간의 연결을 고려하여 조닝을 해야 한다. 각 실의 간벽들이 연장선상에 서로 일치될 필요는 없지만 각 개구부가 대향에 배치되도록 하는 것이 좋다.

② 거실과 식당 및 주방의 연결 : 단위세대 공간들의 사용패턴을 고려하여, 실제로 자연통풍이 가장 효과적으로 이용될 수 있는 거실-식당-주방 공간을 중심으로 통풍계획을 세운다. 거실과 식당 및 주방의 실행태는 정방형에서 벗어난

형태가 기류가 비교적 널리 분포될 수 있으나 식당과 주방의 개구부 면적을 충분히 확보하지 않으면 실내 통풍성능이 오히려 나빠진다. 일반적으로 거실 부분의 개구부보다 주방의 개구부 면적이 작는데, 전면에서 바람이 부는 경우엔 주방 부근의 속도를 빠르게 하는 이점이 있지만 후면에서 바람이 부는 경우엔 거실의 통풍성능이 떨어진다. 거실의 통풍성능을 향상시키기 위해서는 주방의 개구부 면적을 거실과 유사한 크기로 증가시키고 주방이나 식당의 개구부를 분산시켜 배치하는 것이 좋다.

거실과 식당사이에 실내문을 설치하면 전반적인 기류패턴이 나빠지고 거실을 통한 유입풍량이 감소되므로 실내문을 설치하는 경우에는 미서기 문보다는 개구 면적이 큰 미닫이문을 사용하는 것이 좋다.

③ 개구부 배치 계획

각 개구부들은 정면에서 직접 마주보는 것보다는 대향 벽에 위치하면서 다소 어긋나게 배치하는 것이 좋다. 특히 후면에 배치되는 실의 창호는 유출구로서의 역할만을 고려하게 되는데 전면뿐 아니라 후면에서 유입된 바람이 실내에 골고루 분포되면서 적정기류속도를 가질 수 있도록 각 개구부의 위치와 면적을 계획해야한다.

제 6 장 설계변수(Design Element)에 따른 통풍성능 분석

6.1 개요

공동주택의 단위평면 계획에서 소요공간과 공간의 위치 및 규모가 정해지면 각 공간에 대한 치수, 개구부 위치나 창호 크기 등이 계획된다. 이러한 단위공간 규모의 설계요소(Design element)는 실내 통풍 성능에 직접적으로 영향을 미치며 다양한 설계변수들이 관련된다.

본 연구에서는 단위공간규모에서 통풍성능에 영향을 미치는 설계변수들을 추출하고 이에 따른 실내풍속 분포 및 풍량을 비교, 검토함으로써 자연통풍 계획을 위한 적정안을 제시하고자 하였다.

단위공간 규모에서는 전체 평면내의 공간과 공간의 복잡한 연결이 배제되어 일반적으로 단순한 기류패턴을 이루므로 우선 기류속도 분포 및 유입풍량만을 평가적으로 보았다. 풍속 및 풍량의 산정은 CFD 프로그램을 사용하였으며, 시뮬레이션을 위한 기본 경계 조건은 각 공간이 전체 주동에서 중앙층에 위치하는 중간세대 내에 위치하는 것으로 보았다. 외부 바람의 조건은 풍속이 1m/s이고, 풍향은 전면 벽체에 수직으로 부는 경우(90°)와 비스듬히 부는 경우(45°, -45°)로 구분하였으며, 개구부 계획상 필요한 경우에는 후면에서 바람이 부는 경우를 추가하였다.

6.1.1 통풍성능에 영향을 미치는 설계변수

단위공간 규모에서 실내 기류분포에 영향을 미치는 주요 설계요소들은 다음과 같다.

① 공간의 형태

실내기류의 패턴과 속도는 공간 크기에 따라 변화되므로 각 실내공간의 폭, 깊이, 높이와 형태 등은 실내기류를 예측할 수 있는 척도가 된다.

공동주택에서 각 침실은 장방형 형태이며 장단변비가 1:2이하로 구성되는 반면, 거실, 식당 및 주방의 경우는 장방형이외에 다양한 형태를 갖는다. 천장높이는 2.2m~2.4m로 큰 변화를 보이지 않는다.

② 개구부의 상대적 위치 및 크기

자연통풍에 있어서 유입구와 유출구는 각각 별도로 통풍성능에 영향을 미치는 것이 아니라 하나의 시스템으로 작용하므로 상호관계가 중요하다. 실내 기류속도는 유입구나 유출구와 상관없이 둘 중 더 작은 개구부의 크기에 의해 좌우된다¹⁾. 실내 기류속도는 유출구에 대한 유입구의 비율이 커질수록 증가하며 기류속도가 빨라질수록 기류의 분포는 실 전체에 분포되지 않고 일부분에 집중된다. 실을 통과하는 기류의 방향과 속도는 단지 유입구나 유출구에 의해서만 조절되는 것은 아니며 외부 바람의 초기 방향과 개구부의 상대적 크기 및 비율과 같은 몇 가지 요소들의 상호 관계에 의해서 조절된다.

일반 주거건물과는 달리 공동주택은 대부분 전면 또는 후면의 창호를 통해서만 외부바람이 유입되므로 각 실에서 유입구(또는 유출구) 중에 하나는 실내 출입문이 된다. 실내 출입문의 설계에는 크기와 구조적 강성, 내구성 및 가동성과 기류 조절 능력이 중요한데, 이때 문의 구조적 특징은 기류패턴을 바꾸지 못하며 실제로 실내 기류패턴에 영향을 미치는 것은 문의 크기 및 개폐방법과 전체 공간에서의 문의 위치이다.

③ 창호의 종류 및 크기

공동주택의 창호설계에서는 일반적으로 단열성능, 기밀성(氣密性), 내구성, 조망성(眺望性), 적절한 일사부과 및 차단능력, 구조적 강성, 내후성(耐候性), 유지관리상의 용이성, 미관 및 경제성 등이 고려되고 있는데 창호의 기류 조절 능력

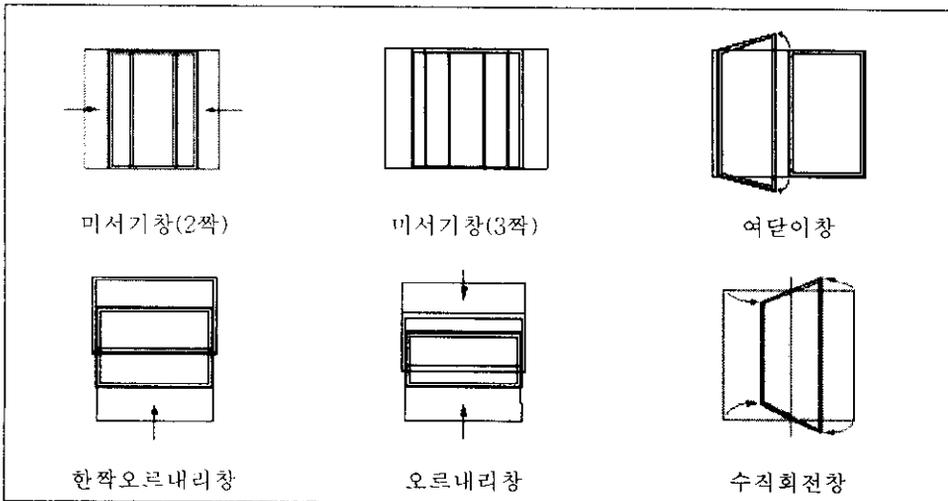
1) Terry S. Boutet, Controlling Air Movements, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.

역시 실내 쾌적과 에너지 측면에서 간과할 수 없는 특성이다. 창호는 종류, 형태와 크기에 따라 매우 다양한 통풍특성을 가지며 각각의 개폐방법도 기류의 패턴과 속도에 영향을 미친다.

일반적으로 창호의 종류는 <표 6.1>과 같이 크게 3가지로 구분될 수 있다. 이 중에서 수평형 창호는 공동주택에 실제로 적용하기에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 (그림 6.1)과 같이 단순형 창호와 수직형 창호를 분석대상으로 하였다.

<표 6.1> 창호의 종류

구분	특성	종류
단순형 창호	개구부가 같은 면에서 미끄러져 열리는 창호	미서기창, 오르내리창, 한쪽오르내리창
수직형 창호	수직 축을 주축으로 회전하여 열리는 창호	여닫이창, 수직회전창, 접이창
수평형 창호	수평축을 주축으로 회전하여 열리는 창호	미들창, 수평회전창, 베이스먼트창(basement), 오닝창, 미늘살창



(그림 6.1) 창호의 종류

④ 외부 돌출부

건물 외부 특히 유입구 가까이에 돌출된 입면 요소는 기류패턴에 영향을 미친다. 개구부 자체가 유입되는 기류를 변화시키지만 외부 돌출부, 차양장치, 방충망, 루버 등은 기류가 유입구에 도달하기전 또는 통과할 때 영향을 미친다. 외부 차폐요소들에 의해 기류는 크게 강화되거나 저하될 수 있으며 이러한 변화는 실내 기류 분포에 수평적, 수직적으로 영향을 미친다.

공동주택에서 특징적인 외부 돌출물은 발코니와 구조적 또는 방호적 이유에서 설치되는 발코니 칸막이 벽 및 발코니 새쉬 등이 있다.

6.1.2 실내 기류 분포에 영향을 미치는 각 설계변수의 범위

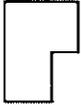
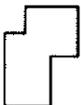
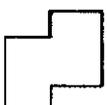
공동주택의 실내 기류패턴에 영향을 미치는 단위공간 설계변수들과 각 변수들의 범위는 <표 6.2>와 같이 요약된다.

<표 6.2> 각 설계변수의 범위

기류분포에 영향을 미치는 요소	설 계 변 수	변 수 범 위
각 공간의 형태	장방형 형태	장단변비(1:1, 1:1.5, 1:2)
	장방형이외의 형태 (거실, 식당, 주방)	굴절형, 분절형, 분리형, 내부돌출형 (그림 6.2) 참고
개구부의 위치 및 크기	유입구와 유출구의 상대적 위치	창호와 마주 보는 위치에 문이 있는 경우, 창호와 마주 보지 않는 위치에 문이 있는 경우
	유입구와 유출구의 상대적 크기	유입구/유출구비(1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1)
	거실 칸막이 문	거실과 식당사이에 출입문이 없는 경우 거실과 식당사이에 미서기문이 있는 경우 거실과 식당사이에 미닫이문이 있는 경우
창호의 종류와 크기	창호종류 및 개폐방식	미서기창, 오르내리창, 여닫이창, 수직회전창
	창호크기	창면적비(20%, 40%, 55%)
외부차폐물	발코니 새쉬	발코니, 발코니 새쉬의 설치 유무 발코니 창의 개구방법 및 개구면적

6.2 공간형태에 따른 실내 통풍 성능

공간형태에 대한 공동주택의 설계변수들은 공간의 전면 폭 및 깊이와 형태 등이다. 공간의 형태는 장방형과 장방형이외의 형태로 나누고 장방형은 다시 장단변비에 따라 구분하였으며 장방형이외의 형태에 대해서는 실제 공동주택의 거실, 식당 및 주방의 조합 형태에 따라 (그림 6.2)와 같이 6가지로 구분하였다.

구분	형태	실예
장방형		
내부돌출형		
유입구2개		
굴절형		
분절형		
분리형		

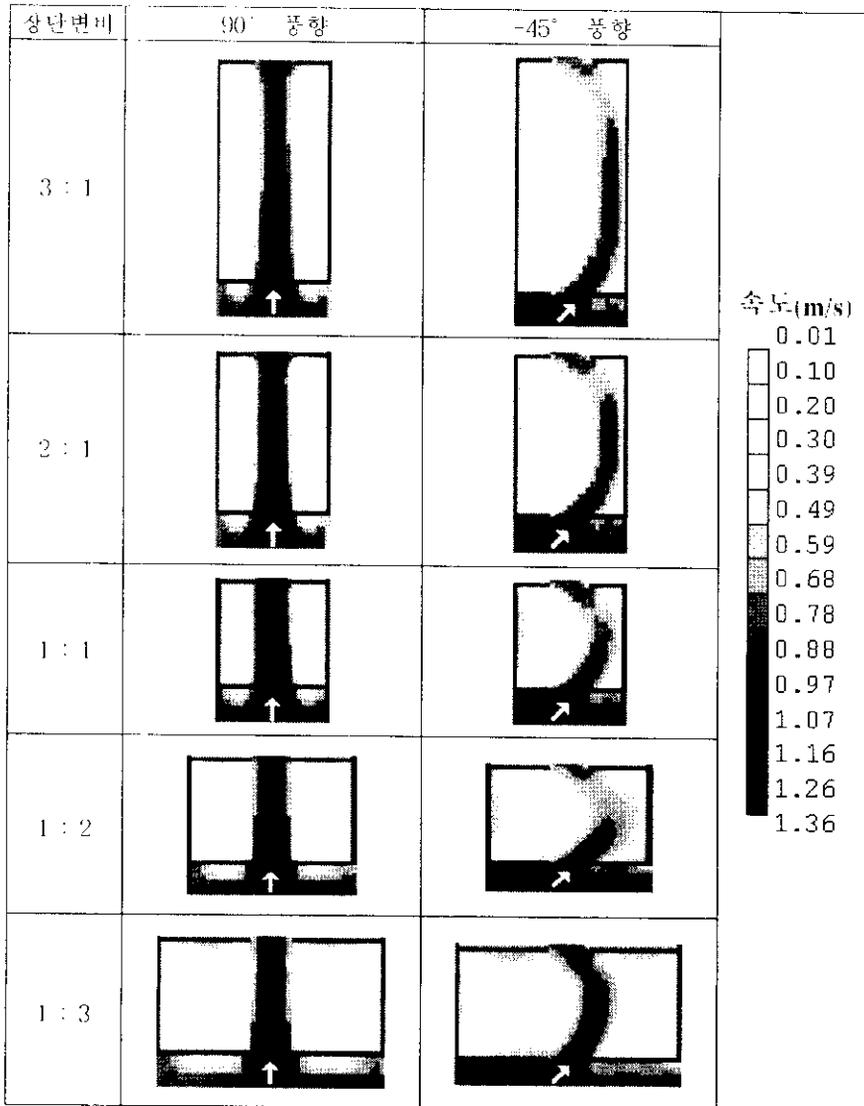
(그림 6.2) 거실, 식당, 주방의 조합 형태

6.2.1 각 공간의 장단변비

장방형 공간에서 개구부의 크기를 일정하게 하고 전면 벽체 길이와 공간 깊이의 비율을 각각 1:3~3:1로 변화시켰을 때 실내 기류속도의 분포는 (그림 6.3)에 나타나 있다. 여기서 볼 수 있듯이 실내 공간의 깊이는 통과하는 기류에 거의

영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 즉, 공간의 폭과 깊이의 비율이 1:1에서 1:2로 커지더라도 실내 기류 패턴은 거의 변화하지 않았으며 창 크기가 동일하므로 유입풍량도 크게 차이 나지 않는다. 반면, 바람이 유입되는 전면 벽체 길이가 늘어나면 기류가 정체되는 지역이 커지므로 전체 기류 분포는 나빠진다.

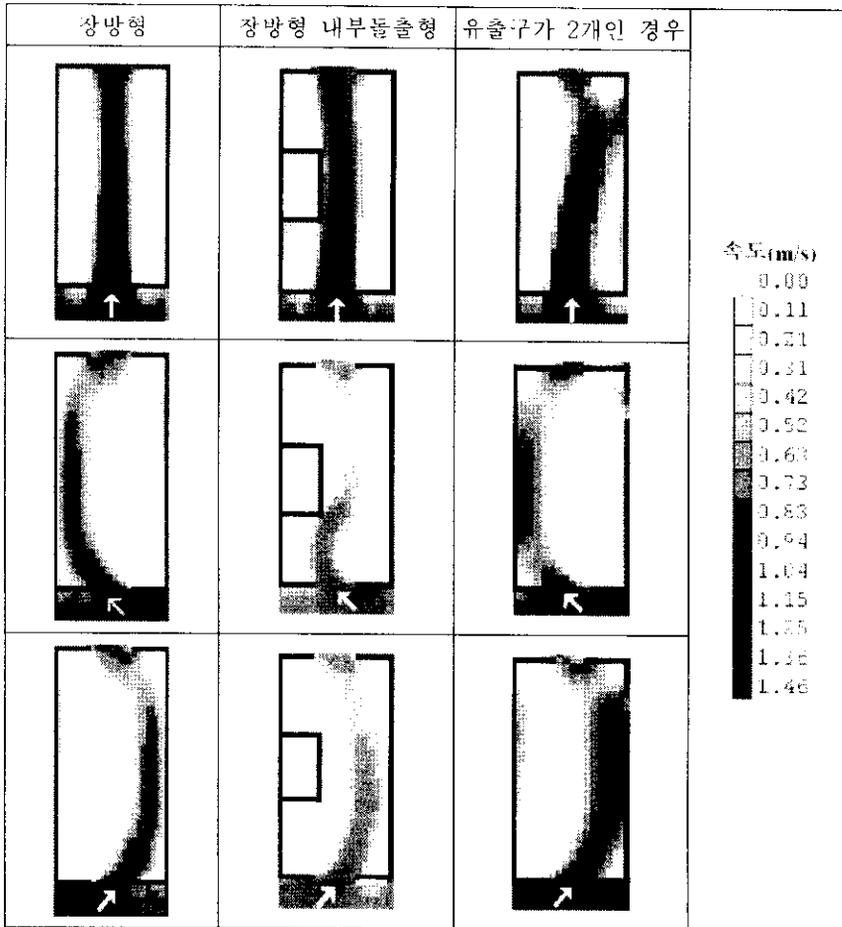
바람이 벽체에 대하여 45°로 비스듬히 부는 경우, 공간 깊이가 폭보다 더 긴 형태이면 기류가 가까운 벽을 따라 흐르는 Wall-Jet 현상이 두드러진다.



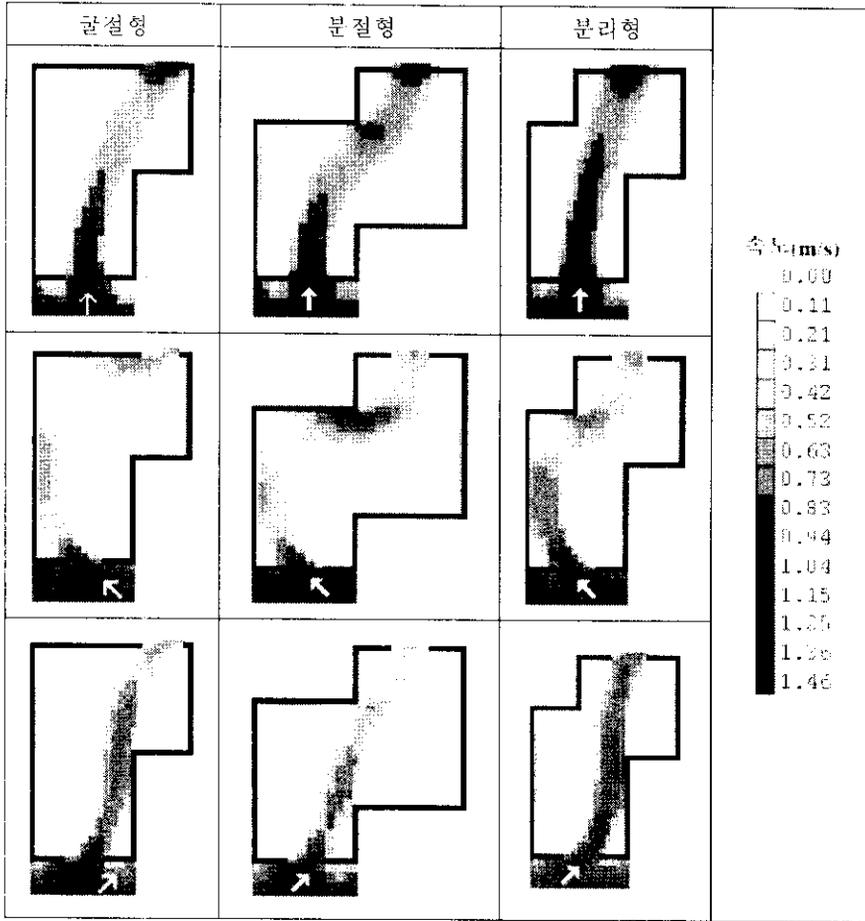
(그림 6.3) 장단면비에 따른 실내 기류 속도(m/s)

6.2.2 공간의 형태

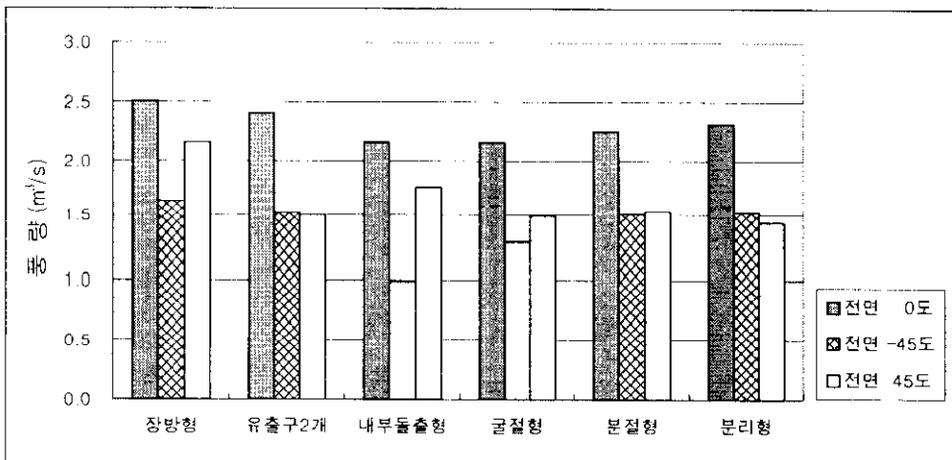
유입구와 유출구 크기를 일정하게 했을 때 공간형태에 따른 실내기류속도 분포는 (그림 6.4) 및 (그림 6.5)와 같다. 여기서 볼 수 있듯이, 공간 내에서 기류 분포는 유입되는 풍향에 따라 변화하며 일반적으로 90°로 바람이 불면 기류가 실 중앙을 관통하지만 45°로 비스듬히 유입되는 경우에는 Wall-Jet 현상이 발생되었다.



(그림 6.4) 공간 형태에 따른 실내 기류패턴 및 속도(1)



(그림 6.5) 공간 형태에 따른 실내 기류패턴 및 속도(2)



(그림 6.6) 공간형태별 유입풍량의 비교

(그림 6.6)에서 유입풍량을 비교해보면 정면에서 90°로 바람이 불 때 공간형태에 따른 유입풍량의 차이는 크지 않지만, 바람이 비스듬히 부는 경우에는 풍량이 크게 감소된다. 상방형의 유입풍량이 가장 크며 공간의 형태가 비정형인 경우 풍량은 감소되고 풍향에 따른 유입풍량의 차이도 커진다. 장방형이라도 내부 돌출형처럼 실내 장애물이 생기면 풍량이 감소된다. 장방형이면서 유출구가 두 개로 나뉘면 유입풍량의 차이는 거의 없으면서 기류분포는 더 향상될 수 있다.

6.3 개구부 계획

공동주택의 개구부 계획에서 실내 통풍성능에 영향을 미치는 주요 설계요소들은 유입구와 유출구의 상대적 위치와 크기 및 개구부의 종류 등이 있다.

이 중에서 개구부의 종류는 출입문과 창호로 나뉘며 창호는 다시 개폐방식에 따라 비서기창, 오르내리창, 여닫이창 및 수직회전창의 4가지로 구분된다.

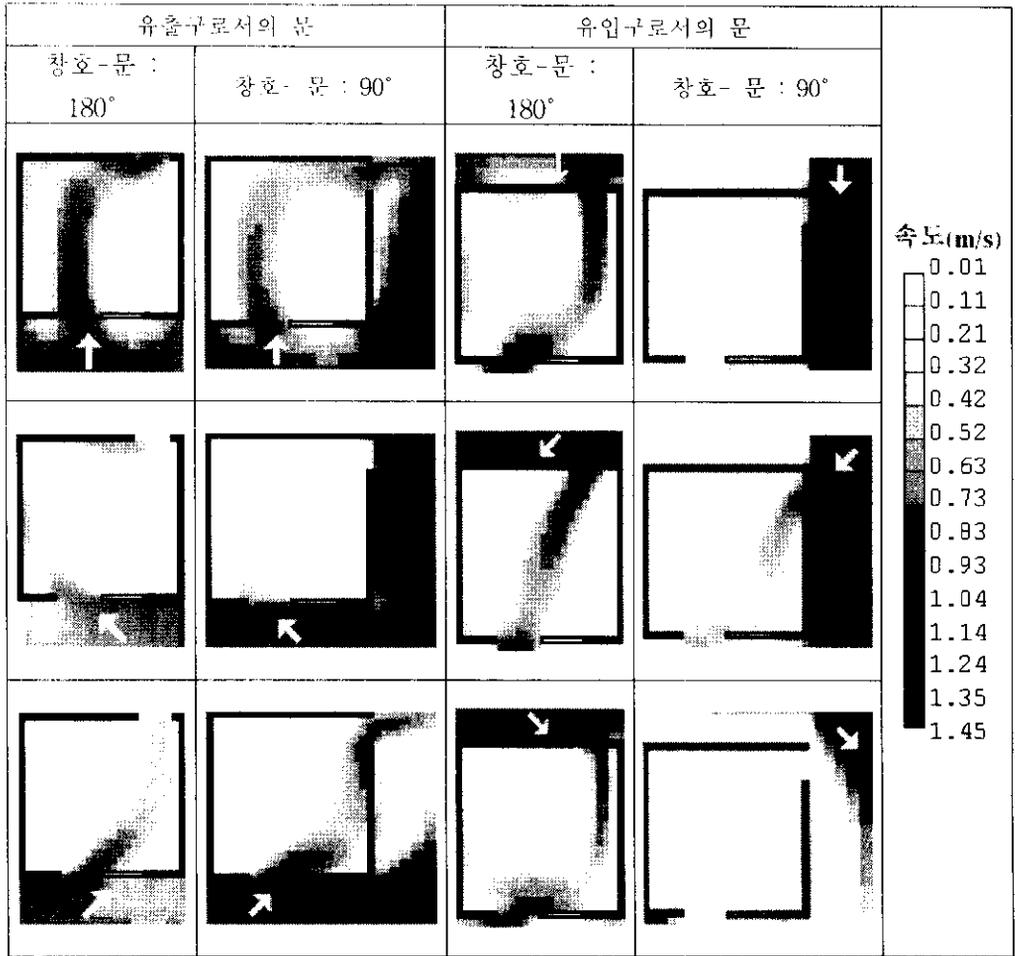
6.3.1 개구부의 위치와 크기

1) 유입구와 유출구의 상대적 위치에 의한 실내 통풍 성능

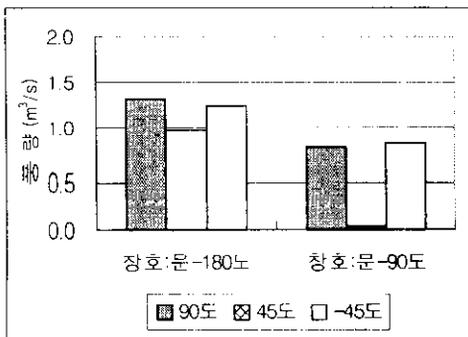
기류의 속도와 패턴은 다양한 요소들에 의해서 결정되며, 처음에 유입된 형태, 방향, 속도대로 유지되거나 변화될 수 있는데 어떤 경우이든지 우선 기류가 실내로 유입되어야 하므로 실내기류를 조절하는 가장 중요한 요소는 유입구이다.

공동주택에서 바람이 불어오는 전면에 위치한 공간의 경우, 유입구는 전면창호가 되고 유출구는 문으로 한정되며 후면에 위치한 경우는 반대로 문이 유입구가 된다. 따라서, 실내 공간에서 유출구뿐 아니라 유입구의 역할을 하게 되는 문의 위치와 크기는 매우 중요하다.

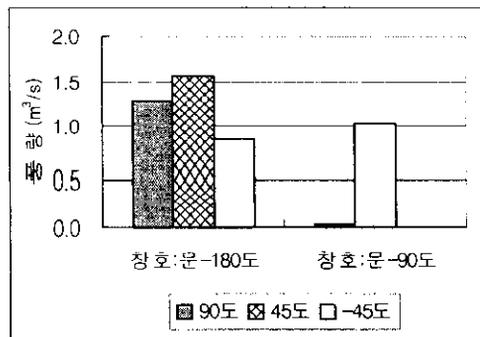
(그림 6.7)은 창호와 문의 상대적 위치에 따른 실내 기류속도 분포를 보여준다. 창호와 문의 상대적인 위치가 90°로 꺾인 경우, 즉, 서로 인접하는 벽에 위치하는 경우에는 실내 기류분포가 나빠진다. 특히 문이 유입구의 역할을 하는 경우 창호와 문이 서로 인접하는 벽체에 배치되면 통풍성능이 현저하게 떨어지며 풍향에 따른 편차도 커진다.



(그림 6.7) 문의 위치에 따른 실내 기류 속도



(그림 6.8) 문의 위치에 따른 유입풍량의 비교(문=유출구)

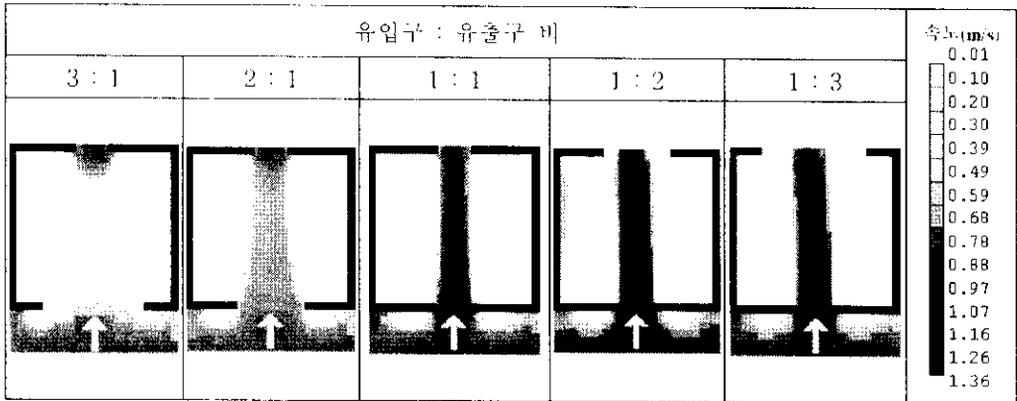


(그림 6.9) 문의 위치에 따른 유입풍량의 비교(문=유입구)

(그림 6.8)과 (그림 6.9)에서 볼 수 있듯이, 유입풍량을 비교하면 창호와 문이 서로 마주보는 경우보다 창호와 문이 마주 보지 않고 90°로 꺾인 위치에 있는 경우에 풍량은 평균 47%까지 감소되며 유입풍량의 편차도 크다.

2) 유입구와 유출구의 상대적 크기에 의한 실내 통풍 성능

(그림 6.10)은 유입구와 유출구의 상대적 크기에 따른 실내 기류속도의 분포를 보여준다. 유출구의 크기가 커져도 실제 기류속도 분포엔 거의 영향이 없지만 유입구의 크기가 커지면 실내 기류가 보다 넓게 분포되는 것을 볼 수 있다. 또한 조기에 유입되는 기류의 방향이 실내 기류패턴에 큰 영향을 미치고 있다.

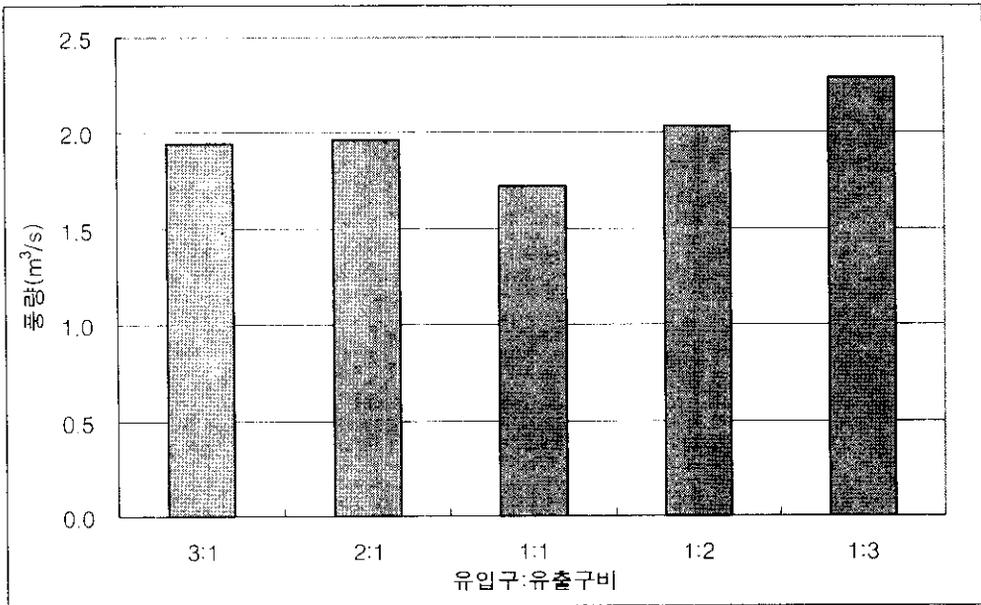


(그림 6.10) 유입구 : 유출구 비율에 따른 실내 기류속

(그림 6.11)은 유입구와 유출구의 상대적 크기에 의한 유입풍량을 비교한 것으로 유입구나 유출구 중 하나의 크기만 커져도 실내에 유입되는 풍량은 증가되는데 특히 유입구보다는 유출구가 증가함에 따라 크게 증가한다. 이는 유입구보다는 유출구의 면적이 유효통풍면적²⁾에 영향을 미치는 정도가 더 크기 때문이다.

즉, 유입구와 유출구의 상대적 크기에 의한 통풍성능에서 유입구의 크기는 주로 실내 기류분포에 영향을 미치고 유출구의 크기는 유입풍량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

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



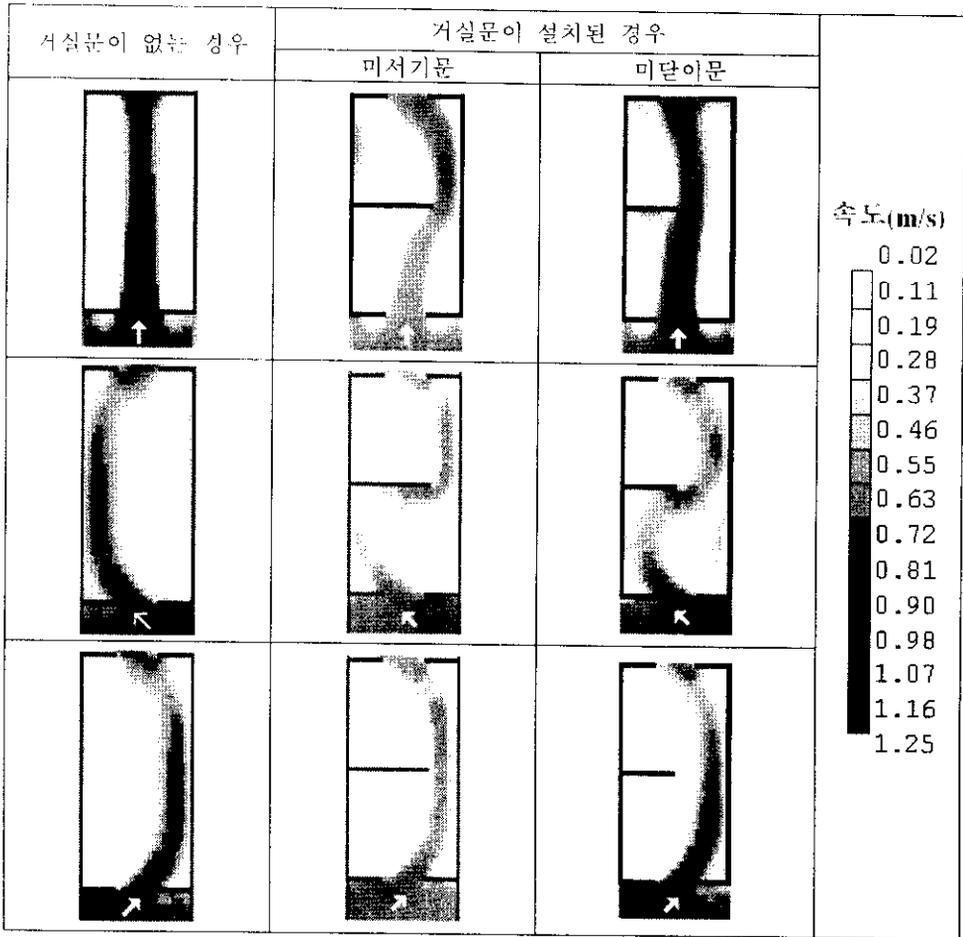
(그림 6.11) 유입구 : 유출구 비율에 따른 유입풍량의 비교

3) 거실문

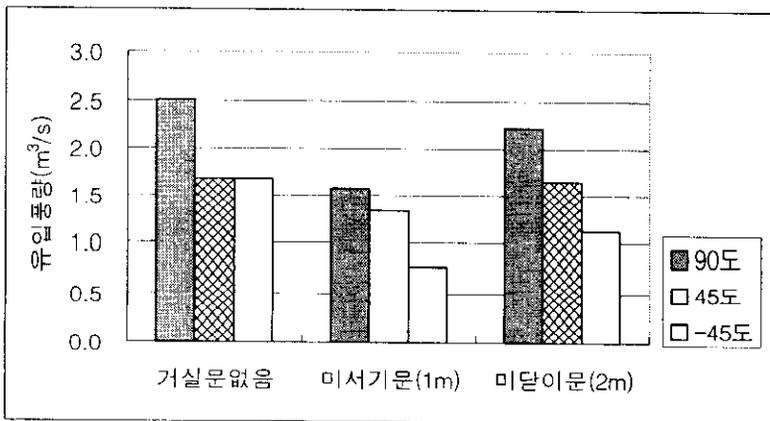
일반적으로 거실과 식당, 주방은 연결되어 독립된 침실과는 다른 통풍특성을 갖는데 공간형태와 유입구나 유출구의 종류, 크기 및 위치를 다양하게 계획할 수 있다. 여기에 거실과 식당을 구분 짓는 거실문이 설치되면 거실의 통풍성능은 외부에 노출된 유입구나 유출구뿐 아니라 실내 출입문의 영향도 받게 된다.

(그림 6.12)는 장방형 거실에서 거실문이 없는 경우와 미서기문이 설치된 경우 및 미닫이문이 설치된 경우에 거실, 식당 및 주방의 실내 기류 속도분포를 보여 준다. 거실문의 설치는 거실 내의 기류분포를 편중시키며 후면에 위치한 식당이나 주방의 기류 분포에도 영향을 미친다.

(그림 6.13)에서 볼 수 있듯이 거실문을 설치하면 유입풍량이 크게 줄어드는데, 이것은 후면 개구부의 크기는 변하지 않더라도 실내문의 설치로 거실 공간의 실질적인 유출구의 크기가 각각 60%(미서기문), 25%(미닫이문)정도 줄어들기 때문이다. 만약 거실문의 크기가 후면에 위치한 유출구보다 크거나 같으면 유입풍량은 거의 유사해진다.



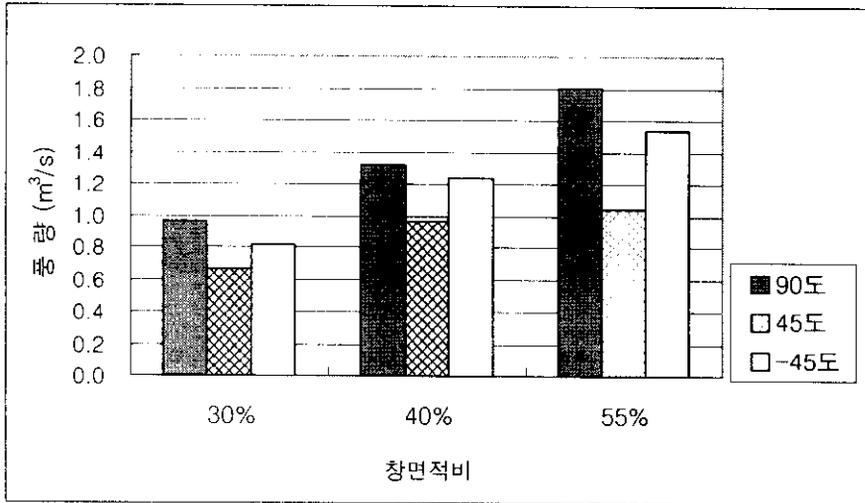
(그림 6.12) 거실문 설치에 따른 실내 기류속도 분포



(그림 6.13) 거실문 설치에 따른 유입풍량의 비교

4) 창호크기

(그림 6.14)는 미서기창의 창면적비 증가에 따른 실내 유입풍량의 변화를 보여 준다. 창면적이 커질수록 유효 개구면적의 증가로 유입풍량은 커지지만 풍향의 변동에 따른 풍량의 편차도 커진다.



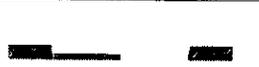
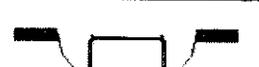
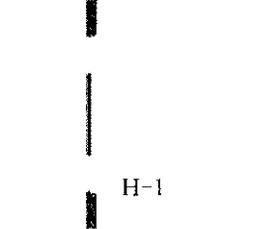
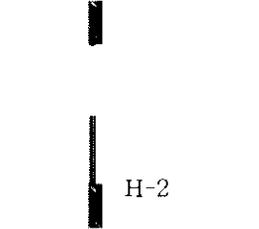
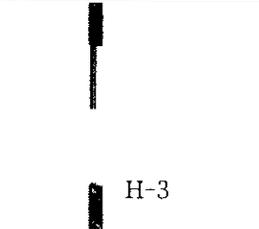
(그림 6.14) 창면적비 증가에 따른 유입풍량의 비교(미서기창)

공동주택에서는 일반적으로 미서기창을 설치하는데 창의 전면 폭이 2.7m이상 이 되면 3쪽창이나 고정창을 설치하므로 창면적비가 커지더라도 바람이 들어올 수 있는 유효 개구면적은 창면적의 30~45%정도가 된다. 따라서 유입풍량을 증가시키기 위해서는 창호의 크기뿐 아니라 유효 개구면적을 크게 할 수 있는 개 폐방법을 선택해야한다.

6.3.2 창호종류에 따른 실내 통풍 성능

1) 유효 개구면적이 같을 때 창호의 개폐방법에 따른 실내 통풍 성능

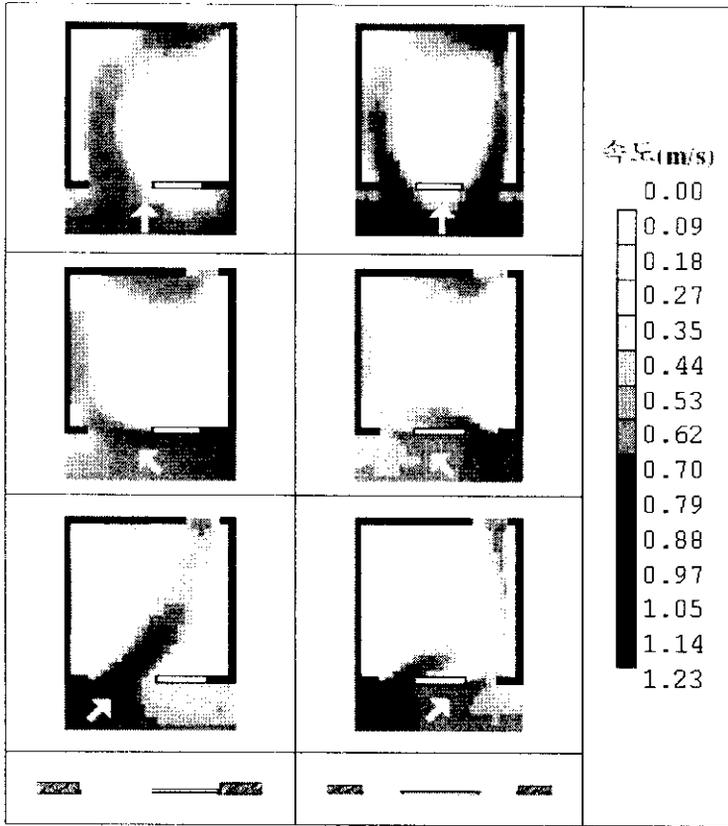
공동주택에 적용이 가능한 창호의 종류는 개폐방법에 따라 미서기창, 여닫이 창, 수직회전창과 오르내리창 4가지로 구분될 수 있다. (그림 6.15)는 창호크기 와 유효 개구면적이 같은 경우, 각 창호의 다양한 개폐방법을 보여준다.

미서기창(평면)		
 S-1	 S-2	 S-3
여닫이창(평면)		
 C-1	 C-2	 C-3
수직회전창(평면)		
 P-1	 P-2	 P-3
오르내리창(입면)		
 H-1	 H-2	 H-3

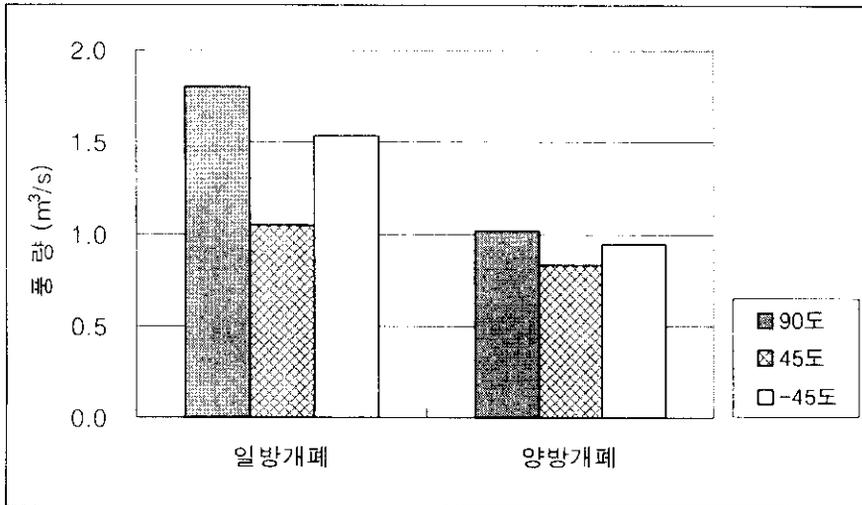
(그림 6.15) 각 창호의 개폐방법 (창호크기와 유효 개구면적이 같은 경우)

(1) 미서기창(Sliding Window)

미서기창은 주거용 건물에서 가장 일반적으로 쓰이는 단순형 창호로 (그림 6.16)와 같이 창호의 개폐 방법에 따라 유입되는 기류의 방향을 수평적으로 조절할 수 있다. 같은 창면적일 때 2쪽창에 비해서 3쪽창을 설치한 경우 실내 기류는 벽면을 따라 흐르게 되며, 3쪽창을 한쪽으로 여는 것(일방개폐)보다 양쪽으로 창을 여는 경우(양방개폐)의 유입풍량이 평균 50%정도 감소한다.



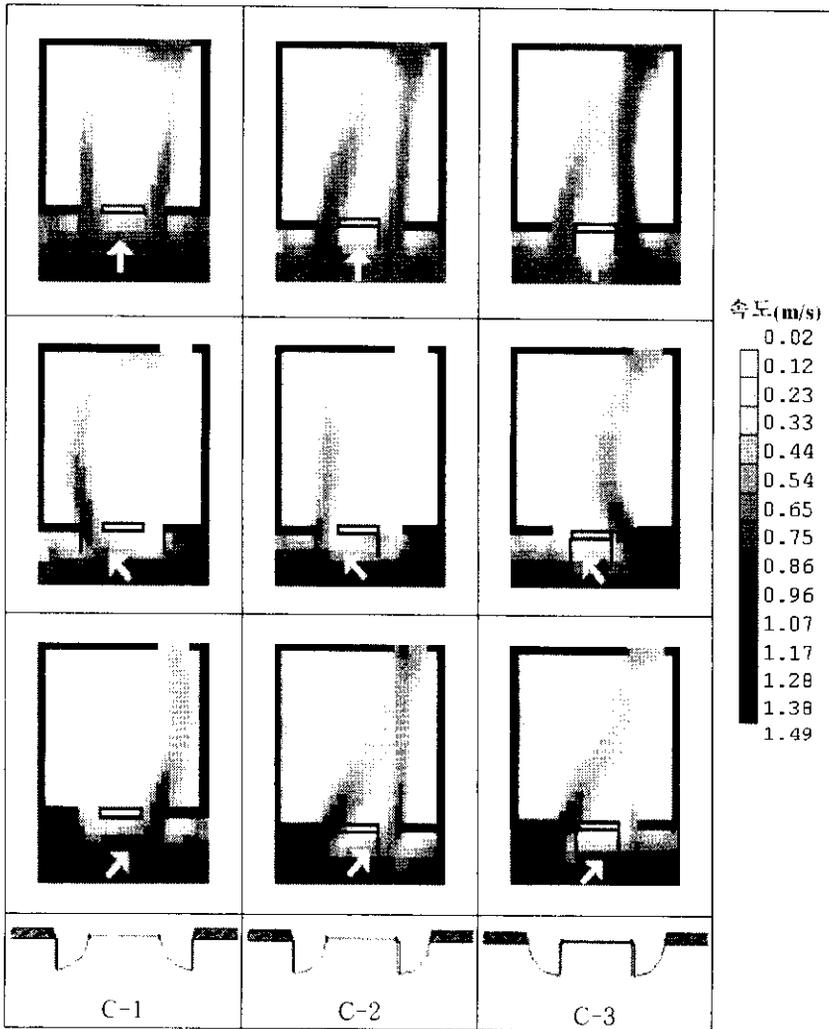
(그림 6.16) 믹서기창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포



(그림 6.17) 믹서기창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교

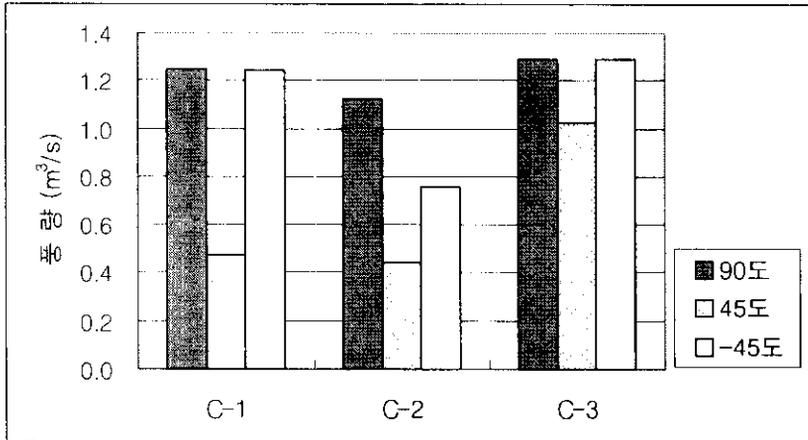
(2) 여닫이창(Casement Window)

여닫이창의 유효 개구율은 완전히 열었을 때 90%이며 여는 방향에 따라 개구 면적을 줄일 수 있고 유입되는 기류의 방향을 수평적으로 조절할 수 있다. 유효 개구율이 45%인 미서기창과 개구면적이 동일하도록 여닫이창을 설치하면 (그림 6.18)과 같이 개폐방법에 따라 세 가지로 구분할 수 있다. 여기서 볼 수 있듯이, 여닫이창은 풍향의 변동에 따른 실내 기류 패턴의 변동이 비교적 크지만 Wall-Jet 현상이 일어나지 않으며 C-3과 같이 두 짝의 창을 중심 쪽으로 열면 풍향에 따른 기류패턴의 변동이 작아진다.



(그림 6.18) 여닫이창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포

(그림 6.19)는 여닫이창의 개폐방법에 따른 유입풍량을 보여준다. C-3과 같이 창을 창의 중심 쪽으로 여는 경우, 유입풍량이 가장 크고 풍향에 따른 편차도 작은 것으로 나타났다.

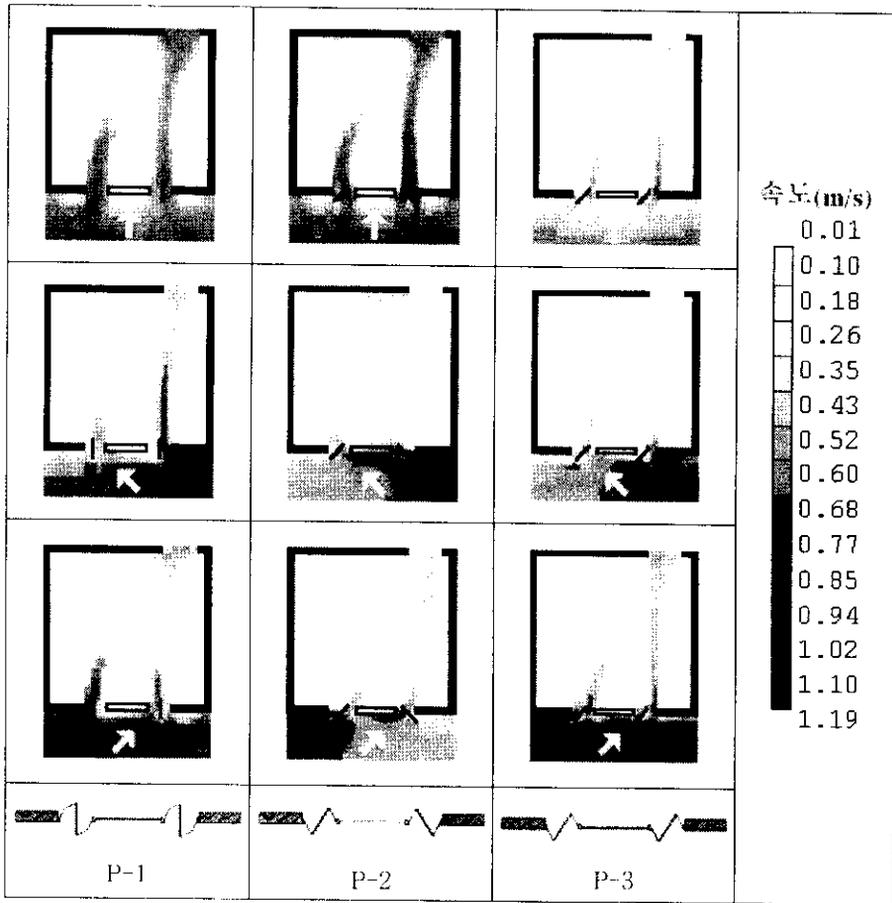


(그림 6.19) 여닫이창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교

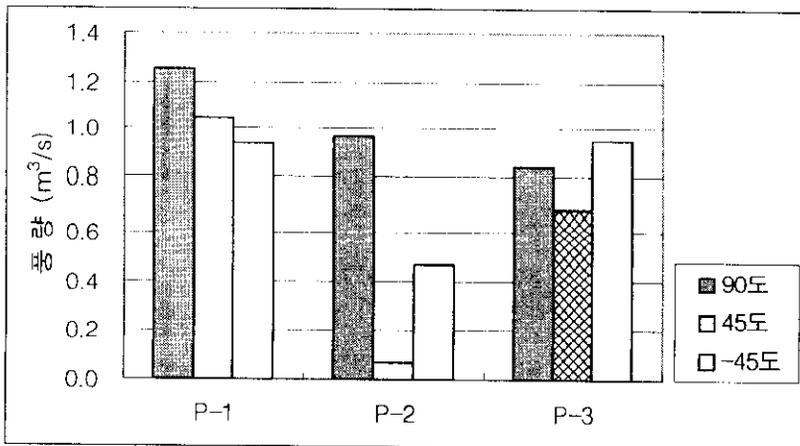
(3) 수직 회전창(Pivot Window)

여닫이창과 마찬가지로 완전히 열면 유효 개구면적이 창호크기의 90%가 되며 유입되는 기류의 방향을 수평적으로 조절할 수 있다. 미서기창과 같은 개구면적을 갖도록 수직 회전창을 설치하면 (그림 6.20)과 같이 개폐방법에 따라 3가지로 구분된다. 기류패턴은 여닫이창과 유사하지만 좁게 집중되어 흐르는 경향이 있으며 풍향과 개폐방법에 따라 기류변동이 크다.

(그림 6.21)에서 볼 수 있듯이 수직 회전창은 P-1과 같이 바람의 흐름에 맞추어 평행하게 여는 경우 유입풍량이 가장 크며 풍향에 따른 편차도 작은 것으로 나타났다.



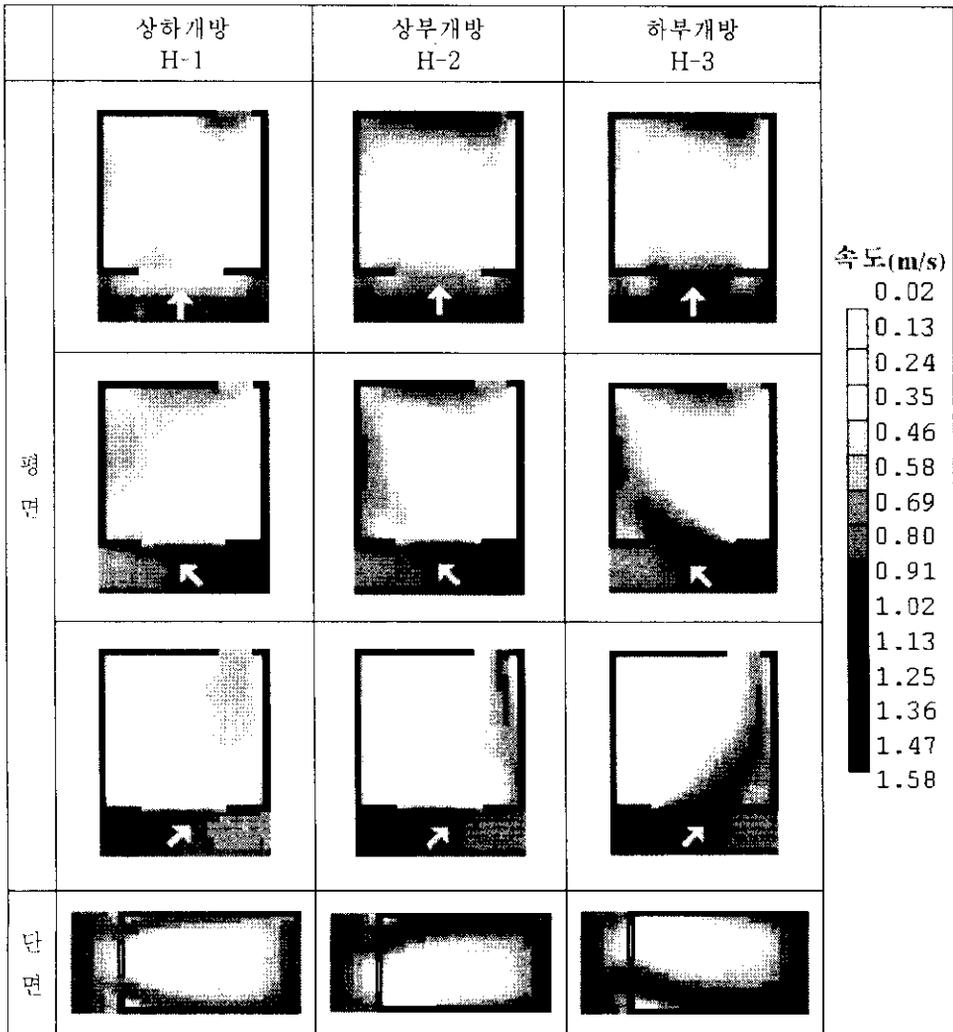
(그림 6.20) 수직회전창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포



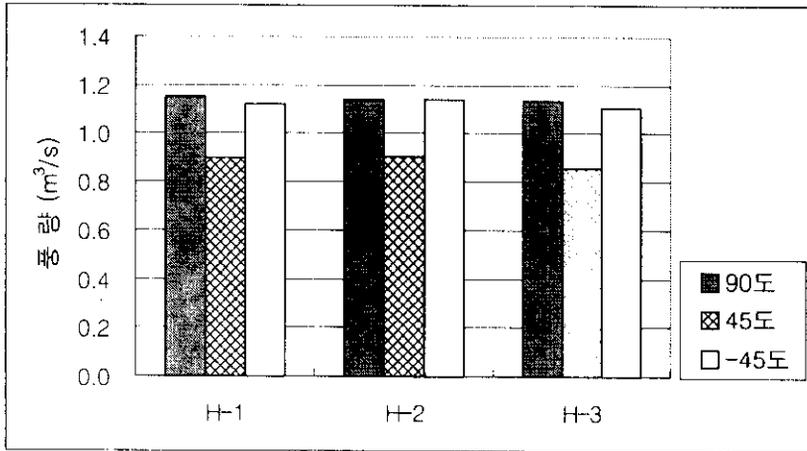
(그림 6.21) 수직회전창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비

(4) 오르내리창 (Double Hung Window)

비서기장과 마찬가지로 유효 개구율이 45%인 창호로서 개폐방법에 따라 (그림 6.22)와 같이 유입되는 기류를 수직적으로 조절할 수 있다. 창의 열린 형태가 길이보다 폭이 긴 형태이기 때문에 풍향의 변동에 대한 편차는 적은 편이며 기류 속도 분포는 바닥에서 1.2m 높이를 기준으로 볼 때 창을 아래로 여는 경우가 가장 좋다. 그러나 개폐방법은 달라지더라도 (그림 6.23)에서 볼 수 있듯이 유입풍량 차이는 거의 없다.



(그림 6.22) 오르내리창의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포



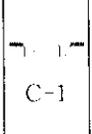
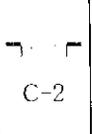
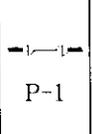
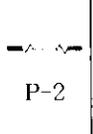
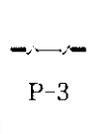
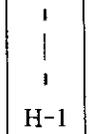
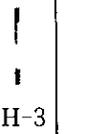
(그림 6.23) 오르내리창의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교

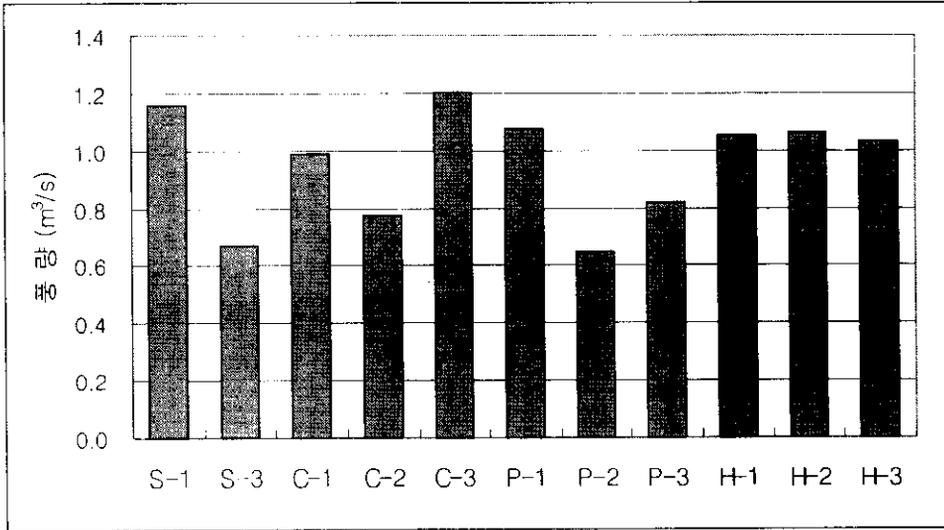
(5) 유효 개구면적이 같을 때 창호 종류에 따른 실내 통풍 성능의 비교

(그림 6.24)은 창호크기와 유효 개구면적이 동일한 경우, 각 창호의 개폐방법에 따른 평균 유입풍량을 비교한 것이다. 여기서 볼 수 있듯이 각 창호의 개구면적은 동일하지만 개폐방법에 따라 풍향변동에 따른 편차가 달라지므로 창호종류와 개폐방법에 따라 평균 유입풍량의 차이가 크게 나타난다.

미서기창의 경우 개폐방법에 따른 유입풍량의 차이가 크고 평균 유입풍량도 다른 창호 종류에 비하여 비교적 작다. 여닫이창의 경우는 개폐방법에 따라 유입풍량의 차이가 크며 C-3과 같이 창의 중심으로 여는 경우의 통풍성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 수직회전창은 P-1과 같이 창을 바람의 흐름과 평행하게 여는 경우가 가장 풍량이 크며 풍향에 다른 편차도 작다. 오르내리창은 유입풍량은 미서기창보다 멀어지지만 개폐방법에 따른 풍량의 차이가 비교적 작다.

미서기창(m-1), 여닫이창(C-3), 수직회전창(P-1), 오르내리창(H-2)을 비교해보면 창호종류에 따라 실내 기류 패턴은 각기 다르지만 개폐방법을 적절히 선택하면 유입풍량은 크게 차이하지 않는 것으로 나타났다.

										
S-1	S-3	C-1	C-2	C-3	P-1	P-2	P-3	H-1	H-2	H-3
미서기창		여닫이창			수직회전창			오르내리창		



(그림 6.24) 각 창호의 개폐방법에 따른 유입풍량의 비교

2) 창호 크기가 같을 때 창호종류에 따른 실내 통풍 성능

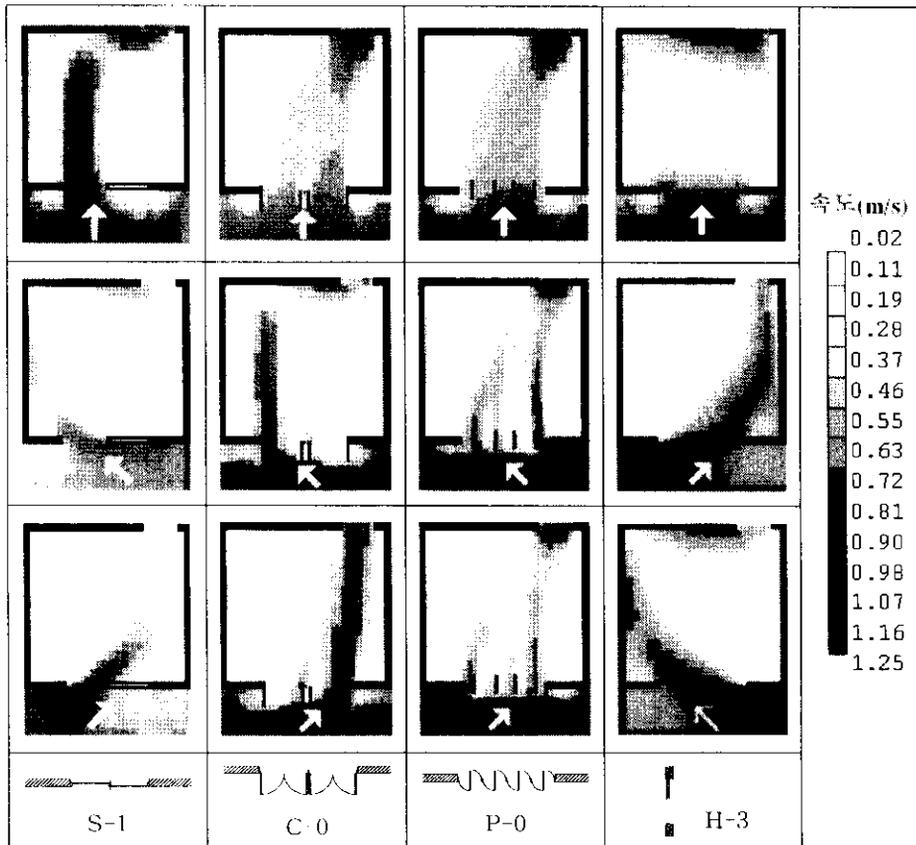
창호면적이 같더라도 창호 종류에 따라 유효 개구율이 달라지므로 실내 기류 패턴과 풍량은 큰 차이를 보인다. <표 6.3>은 창호종류에 따른 유효 개구면적 비³⁾를 보여주는데 단순형 창호보다 수직형 창호의 유효 개구율이 2배 더 크다.

(그림 6.25)와 (그림 6.26)는 창호면적이 같은 경우 창호종류에 따른 실내기류 패턴과 유입풍량을 비교하여 보여준다. (그림 6.25)에서 실내 기류패턴을 살펴보면 미서기창이나 오르내리창은 풍향의 변동에 따라 기류분포의 편차가 심하고 기류가 벽을 따라 흐르는 Wall-Jet 현상이 두드러진다. 반면 여닫이창이나 수직회전창의 경우는 Wall-Jet 현상이 나타나지 않으며 특히 수직회전창은 풍향변동에 상관없이 기류가 항상 공간의 중앙을 지난다.

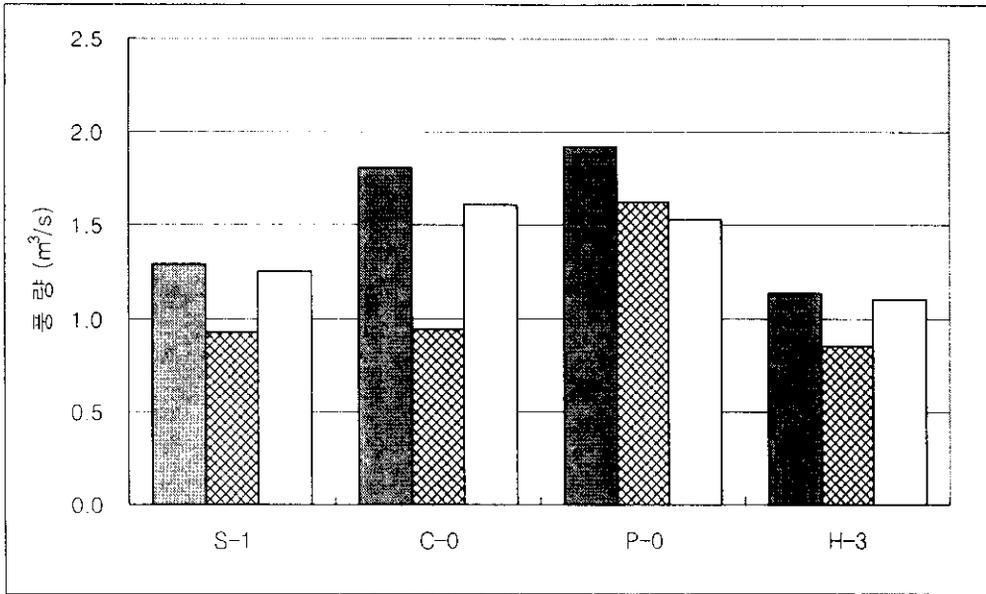
3) R. K. Vierira and K. G. Sheinkopf, Energy-Efficient Florida Home Building, Florida Solar Energy Center, FL, 1988

<표 6.3> 창호종류에 따른 유효 개구면적

창호종류	유효 개구면적
미서기창	45%
여닫이창	90%
오르내리창	45%
한쪽오르내리창	45%
수직회전창	90%



(그림 6.25) 창호의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포



(그림 6.26) 창호종류에 따른 실내 평균 유입풍량

유입풍량을 비교해보면 (그림 6.26)과 같이 여단이창과 수직회전창의 평균 유입풍량이 미서기창보다 각각 25%와 45%씩 증가되므로 같은 창면적일 때 기존의 미서기창보다는 여단이창이나 수직회전창의 통풍성능이 훨씬 우수하다.

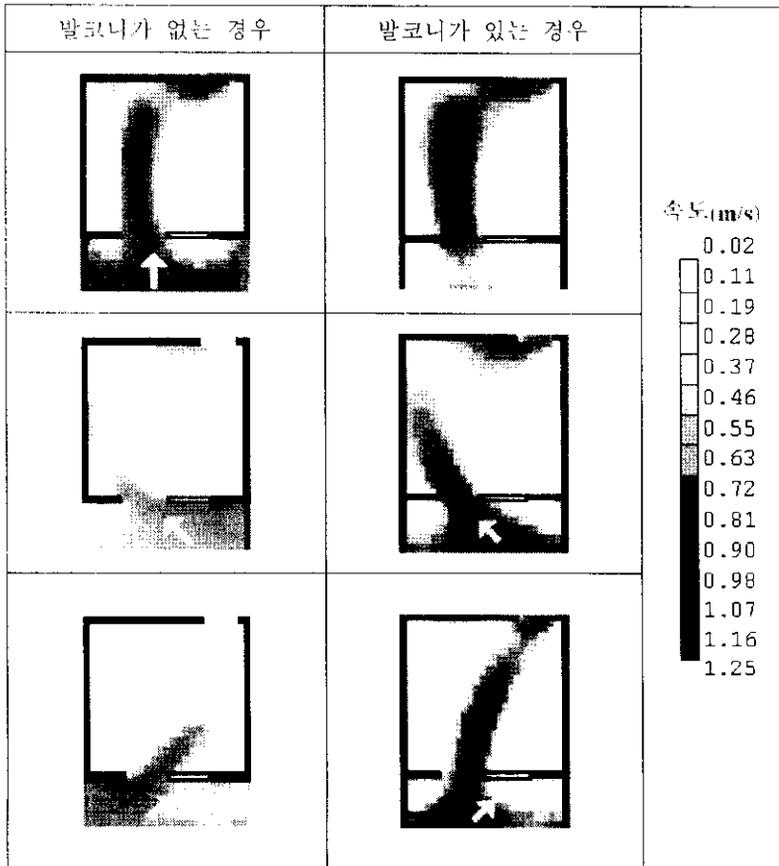
특히, 수직회전창의 경우 풍향 변동에 따른 유입풍량이 편차가 여단이창보다 훨씬 작은 것으로 나타났다.

6.4 외부 돌출부에 따른 실내 통풍 성능

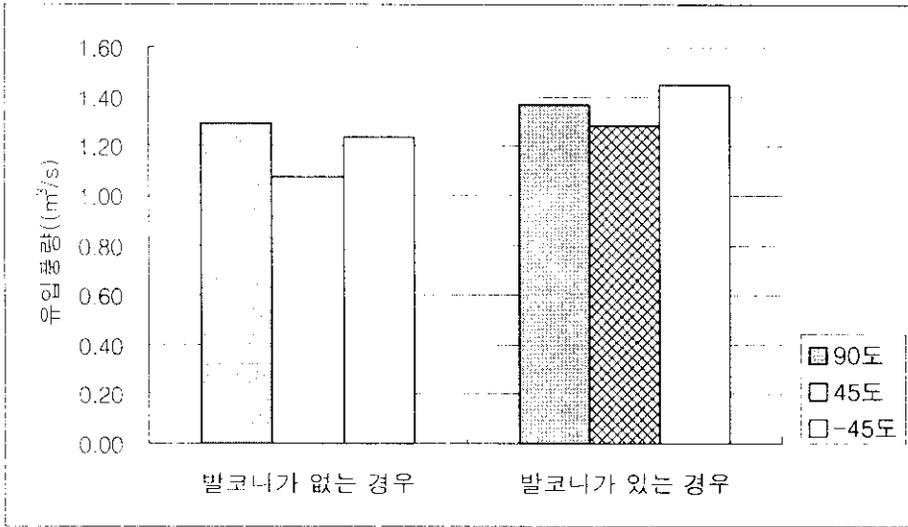
공동주택에서 기류에 영향을 미치는 주요 외부 차폐요소는 발코니와 발코니 새쉬이다. 발코니 새쉬는 건축계획에서 고려하는 설계요소가 아니지만 많은 거주자들이 입주 후에 개별적으로 설치하므로 이에 대한 고려를 추가하였다.

6.4.1 전면 발코니 설치에 따른 실내 통풍성능

(그림 6.27)은 단위공간 전면부에 미서기창이 설치된 일반 벽체와 돌출길이 1.2m의 발코니가 있는 경우 각각의 실내 기류속도 분포를 보여준다. 이때 기류 패턴에는 큰 차이가 없지만 (그림 6.28)에서 볼 수 있듯이 발코니가 전면 벽에 설치되는 경우 평균 유입풍량은 12%가 증가된다. 발코니를 설치했을 때 유입풍량이 증가되는 이유는 돌출된 발코니 바닥 및 측면 간막이 벽이 전면 벽체로 밀려드는 바람의 풍로를 확보해주고 발코니가 없는 벽체와 달리 바람이 미끄러져 측면으로 빠져나가는 것을 막기 때문이다.



(그림 6.27) 발코니 설치에 따른 실내 기류속도 분포



(그림 6.28) 전면 발코니를 설치했을 때 유입풍량의 변화

6.4.2 발코니 새쉬 설치에 따른 실내 통풍성능

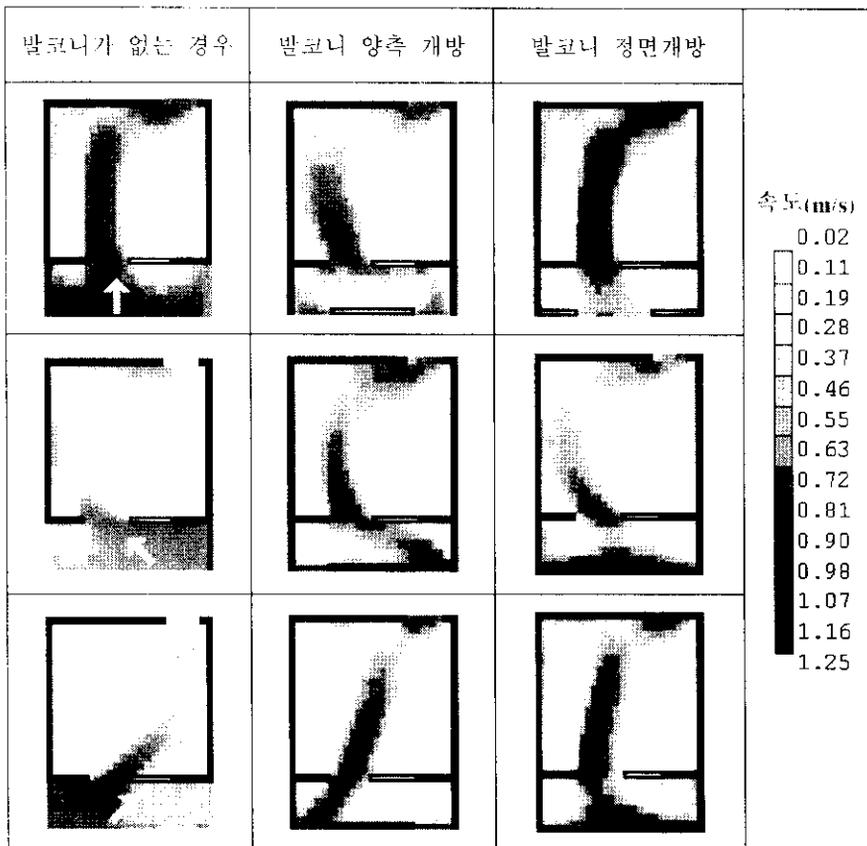
(그림 6.29)는 발코니 새쉬를 설치한 단위세대의 입면을 보여준다. 여기서 볼 수 있듯이 발코니 새쉬는 일반적으로 큰 고정창과 미서기창으로 구성되며 높이는 발코니 난간벽을 제외한 전체 발코니 높이와 같다.



(그림 6.29) 발코니 새쉬를 설치한 모습

1) 발코니 새쉬의 개폐방법 및 개구면적에 따른 실내통풍성능

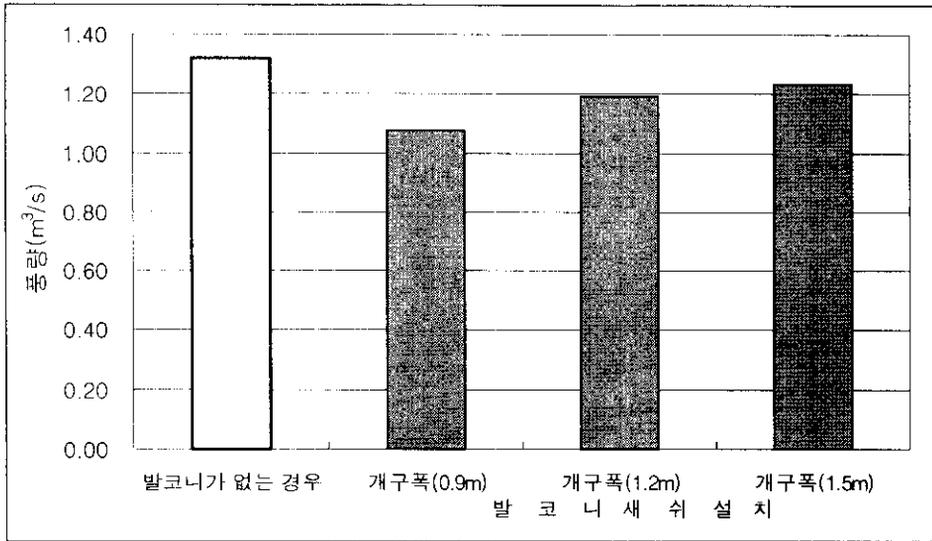
(그림 6.30)은 발코니 새쉬의 개폐방법에 따른 실내 기류속도 분포를 보여준다. 발코니 새쉬 창을 중앙에서 열면 실내기류 분포가 일반벽체의 경우와 거의 유사하지만 양측으로 열면 Wall Jet 현상이 심화된다. 또한 발코니의 개구면적은 같더라도 양측으로 개폐하는 경우보다 중앙에서 열면 실내 유입풍량이 평균 10% 정도 증가된다.



(그림 6.30) 진면차폐물에 따른 실내 기류속도 분포

(그림 6.31)은 발코니 새쉬의 개구면적에 따른 유입풍량을 비교해서 보여준다. 발코니 창을 양측으로 개구하는 경우, 열리는 창폭을 각각 0.9m, 1.2m, 1.5m로 증가시키면 발코니 새쉬의 유입구 면적이 증가함에 따라 풍량이 증가한다. 즉, 발코니 새쉬의 개구비율이 각각 40%, 55%, 67%로 증가함에 따라 유입풍량은 발

코니가 없을 때 풍량의 82%, 91%, 94%를 나타냈다. 따라서 발코니 새쉬 설치로 인한 유입풍량의 감소율을 10%이내로 하려면 발코니 창의 개구비율을 55%이상으로 해야한다.

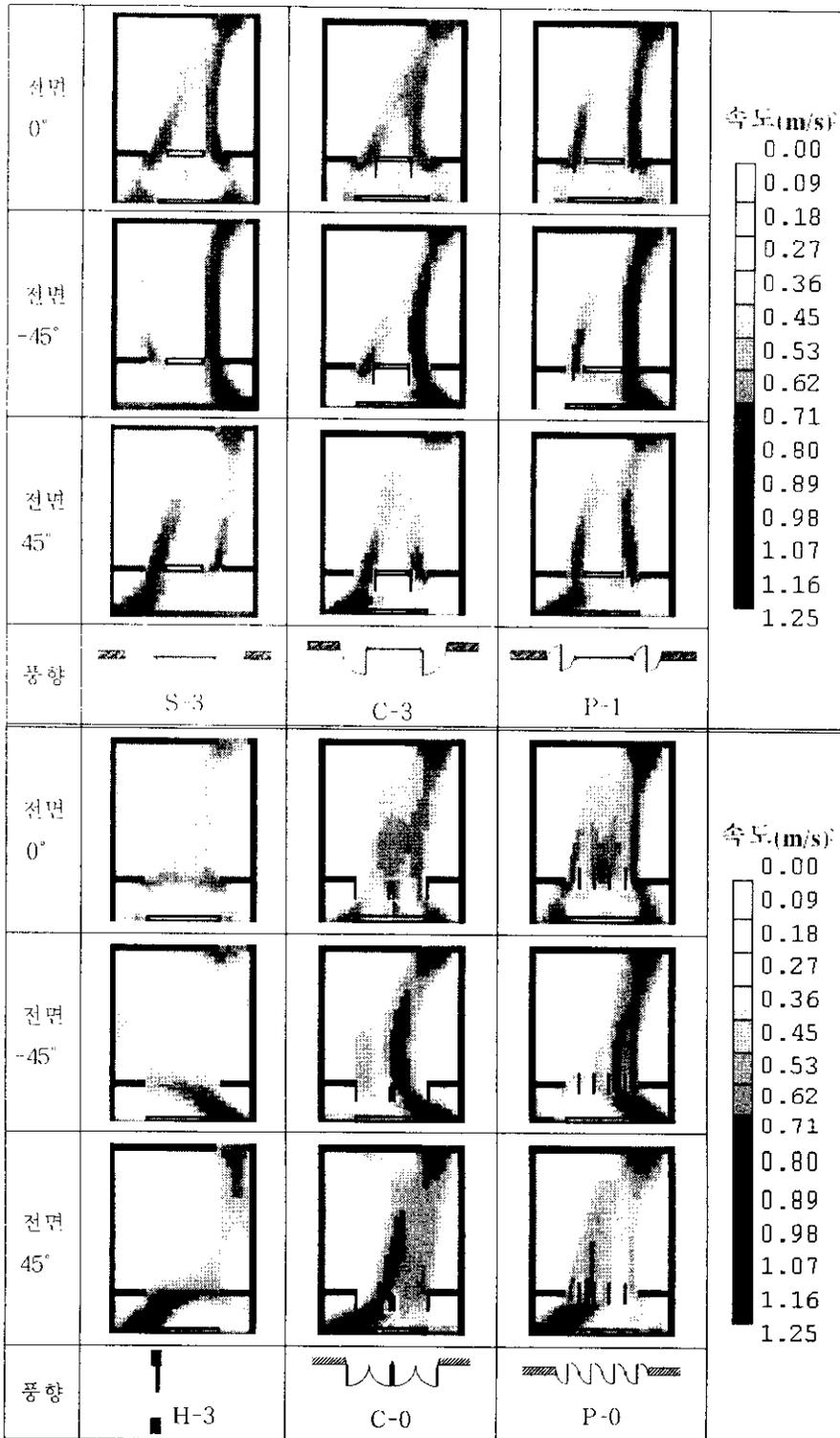


(그림 6.31) 발코니 개구면적에 따른 유입풍량의 비교

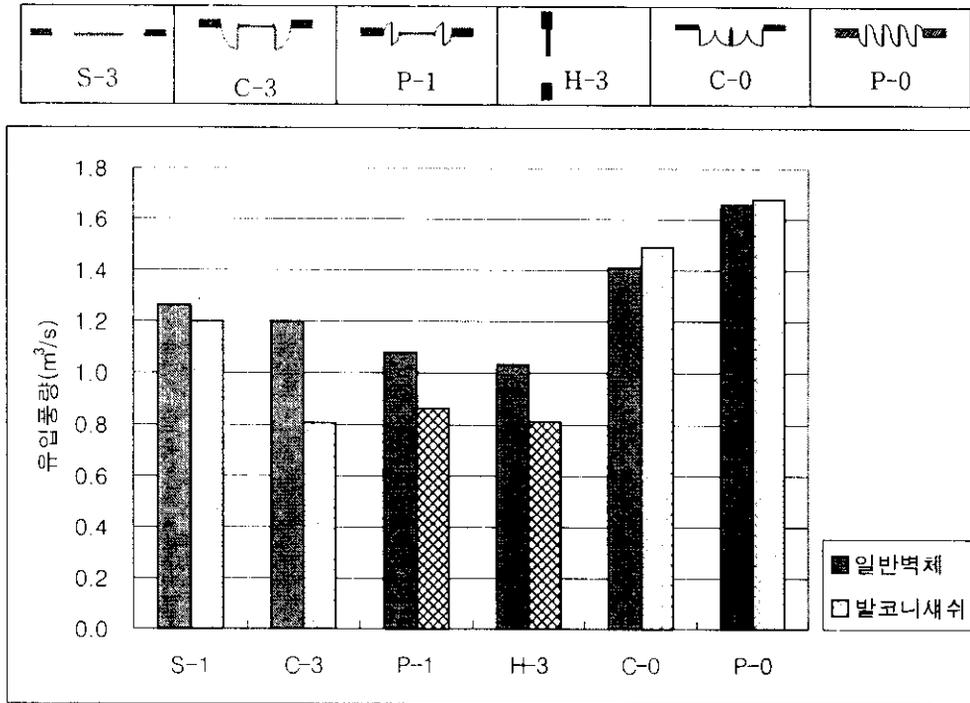
2) 발코니 새쉬와 창호종류에 따른 실내 통풍성능의 비교

(그림 6.32)은 다양한 창호유형에서 발코니 새쉬를 설치한 경우 실내 통풍패턴의 변화를 보여준다. 양측에 1.2m 폭의 발코니 창을 여는 경우, 바람이 발코니 새쉬창을 통과하면서 초기 방향성이 크게 감소되므로 전반적인 기류속도가 떨어짐과 동시에 Wall-Jet 효과가 크게 감소된다. 미서기창이나 오르내리창의 경우, 초기풍향에 따라 실내기류패턴이 크게 변동하는데 비하여 여닫이창과 수직회전창의 실내기류패턴은 비교적 변동이 적었다.

이때 전면에서 바람이 불어오는 경우 발코니 새쉬 설치로 인한 유입풍량의 감소율은 (그림 6.33)와 같다. 풍량감소율을 보면 미서기 창호가 10% 정도인데 비하여 오르내리창의 풍량 감소율은 26%로, 발코니 새쉬 설치로 인한 풍량 감소폭은 오르내리창이 가장 크다.



(그림 6.33) 발코니 새쉬 설치에 따른 각 창호의 실내 기류속도 분포



(그림 6.34) 발코니 새취 설치에 따른 창호종류별 평균유입풍량의 변화

6.5 소 결

본 연구에서는 단위 공간규모에서 통풍성능에 영향을 미치는 설계변수들을 추출하고 각 설계요소들의 단계적 분석을 통해 자연통풍 효율이 큰 설계변수들의 특성을 지적하고 적정안을 제시하고자 하였다.

단위공간의 자연통풍 계획은 다음과 같이 요약된다.

1. 각 공간의 형태

1) 침실 : 개구부가 창호와 문으로 구성되는 장방형의 공간

일반적으로 전면 폭이 넓으면 창호의 크기를 증가시킬 수 있으므로 통풍성능이 좋아지지만 같은 개구면적일 때 공간의 폭이 커지면 실내 기류 패턴이 저하된다. 따라서 전면 개구면적을 확보할 수 없는 경우에는 전면 폭이 넓은 형태보다는 설의 길이가 긴 형태가 좋다.

2) 거실, 식당 및 주방 : 독립된 실로 구분되지 않는 경우, 개구부가 창호와 창호로 구성되는 장방형 공간들의 조합으로 이루어진 공간.

거실, 식당 및 주방의 적정형태는 후면 개구면적에 따라 달라진다. 만약 후면에 있는 주방이나 식당에 적정 개구면적을 확보할 수 없는 평면형의 경우 장방형이 더 좋은 통풍조건을 제공할 수 있다. 반면에 공간의 형태가 비정형인 경우 후면개구부를 충분한 크기로 분산해서 배치하면 장방형보다 기류패턴이 더 좋아진다.

2. 개구부 계획

1) 유입구와 유출구의 상대적 위치

전면 창호에 대해 문은 대향 벽에 위치하고 직접 마주보지 않도록 배치한다. 만약 문과 창호가 인접하는 벽체에 위치한 경우에는 문이 유입구가 될 때 특히 실내 통풍성능이 떨어지므로 전체 평면구조부터 재검토하여 가능한 한 문을 통한 통풍기회가 생기도록 고려해야한다.

2) 유입구와 유출구의 상대적 크기

유입구 크기는 실내 기류패턴에 주로 영향을 미치는 반면 실내 유입풍량은 유출구의 크기가 더 중요하다. 각 공간의 개구면적은 전면과 후면이 같은 비율이거나, 주풍향을 고려하여 주로 유출구가 되는 면의 개구면적이 더 큰 것이 유입풍량의 측면에서 유리하다.

3) 거실문을 설치하는 경우

거실과 식당을 구획하는 실내문을 설치하면 실내 유입풍량이 감소하고 거실 창호로 들어온 바람이 문으로 몰려 빠져나가게 되므로 실내 기류 속도 분포를 편중시킨다. 거실문을 설치할 경우에는 개구면적이 후면 유출구 면적보다 같거나 커지도록 해야하며 미서기문보다는 문짝이 벽면에 들어가 개구면적이 커질 수 있는 미닫이문을 설치하는 것이 좋다.

3. 창호계획

1) 창호의 종류

창호의 종류는 주풍향 및 공간의 통풍설계 수준과 공간의 위치에 따라 선택되어야 한다. <표 6.4>는 전면에 발코니가 설치되지 않은 경우를 기준으로 창호 종류에 따른 기류패턴과 풍량을 비교하여 보여준다.

<표 6.4> 창호종류에 따른 통풍성능의 비교

설계조건						
주풍향	주풍향과 선면벽체가 수직일 때	○	○	△	○	○
	주풍향에 대하여 전면벽체가 수직이 아닐 때	×	○	○	○	×
	풍향 변동이 심한 때	×	△	△	△	○
공간의 위치	후면에 위치한 실인 경우	×	○	×	○	×
통풍성능	1.2m높이에서의 기류패턴	×	△	△	○	△
	같은 창면적일 때 평균유입 풍량	△	○	△	○	×

○ : 좋다 △ : 보통이다 × : 나쁘다

미서기창은 창 의 개폐방향에 따라 실내기류 분포가 수평적으로 달라지며 같은 개구면적일 때 유입풍량이 비교적 크고 풍향에 대한 편차도 비교적 작은 편이다. 여닫이창을 설치하면 유효 개구면적의 증가로 같은 창면적의 미서기창에 비하여 유입풍량이 35%까지 증가될 뿐 아니라 벽면에 측면으로 바람이 부는 경우에 유리하다. 수직회전창의 경우 유입풍량이 같은 창면적의 미서기창보다 40%정도 더 증가될 뿐 아니라 여닫이창보다 풍향에 따른 편차가 적다. 또한 여닫이 창이나 수직회전창을 설치하면 미서기창과 같은 유효 개구면적을 확보하면서도 창면적을 줄일 수 있으므로 유리를 통한 열손실이 크게 감소될 뿐 아니라 틈새바람량도 작다는 잇점이 있다. 창 의 개구 형태가 수평으로 긴 오르내리창을 설치하면 유입풍량은 작지만 풍향 변동에 따른 유입풍량의 편차가 적고 실내기류분포도 비교적 우수하다.

2) 창호의 크기

실내에 유입되는 풍량은 창의 개폐방법보다는 유효 개구면적에 영향을 주로 받으므로 창호의 크기를 계획할 때에는 실제 개구면적을 고려해야한다. 또한 창호의 개구형태는 높이보다는 폭이 긴 형태가 풍향의 변동에 대한 편차가 적다.

다음은 실내기류패턴과 유입풍량을 고려한 각 단위공간의 창호종류 및 최소 크기를 요약한 것이다.

① 전면에 위치한 침실

전면에 위치한 안방의 경우 유출구는 실내 출입문으로 한정되는데 일반적으로 $1.0\text{m} \times 2.1\text{m}$, $1.1\text{m} \times 2.2\text{m}$ 정도의 크기이므로 전면창호의 유효 개구면적은 2.2m^2 이상이어야 한다. <표 6.5>는 유효 개구면적을 2.2m^2 이상 확보하기 위한 창호의 크기를 창호유형에 따라 보여준다. 이때 개폐방법에 대한 평가는 발코니 새쉬를 설치하지 않는다는 조건이며, 기류패턴이 비교적 우수하고 평균 유입풍량이 큰 경우를 그 규모에 적절한 개폐방법으로 평가한다. 또한 창호의 개폐가 쉽지 않거나 구조적으로 불가능한 규모인 경우는 평가에서 제외시켰다. 만약 출입문이 $0.9\text{m} \times 2.2\text{m}$ 크기인 작은방의 경우는 <표 6.6>을 참조한다.

② 후면에 위치한 침실

후면에 위치한 침실의 경우 실내 출입문의 크기는 일반적으로 $0.9\text{m} \times 2.2\text{m}$ 정도의 크기이므로 창호의 유효개구면적은 2m^2 이상이어야 한다. <표 6.6>은 유효 개구면적을 2m^2 이상이 확보하기 위한 창호의 크기를 창호유형에 따라 보여준다. 이때 개폐방법에 대한 평가는 기류패턴과 유입풍량이 우수할 뿐 아니라 유리면적을 최소화하고 틈새바람도 작아서 난방부하를 최소화할 수 있는 경우를 적절한 개폐방법으로 평가한다.

<표 6.5> 통풍을 고려한 전면 침실 공간의 창호규모 및 개폐 방법

창호종류	창호높이	최소 창호폭	개폐방법에 따른 평가				
			미서기창			오르내리창	
							
미서기창/ 오르내리창	2.2	2.0	*	*	*	○	○
	2.1	2.1	△	*	*	△	○
오르내리창	1.8	2.7	△	×	×	△	△
	1.5	3.0	*	×	○	△	△
	1.2	3.9	*	△	○	×	△
	0.9	4.9	*	△	○	×	×

창호종류	창호높이	최소 창호폭	개폐방법에 따른 평가		
					
					
여닫이창/ 수직회전창	2.2	1.0	×	×	○
	2.1	1.0	×	△	○
수직회전창	1.8	1.2	×	△	○
	1.5	1.5	△	○	○
	1.2	1.8	△	○	○
	0.9	2.4	△	○	○

○ : 좋다 △ : 보통이다 × : 나쁘다 * : 불가

<표 6.6> 통풍을 고려한 후면 침실 공간의 창호규모 및 개폐 방법의 평가

창호종류	창호높이	최소 창호폭	개폐방법(평가)			
						
						
미서기창/ 오르내리창	2.2	1.8	×	*	*	△
	2.1	2.0	×	*	*	△
오르내리창	1.8	2.2	×	*	△	△
	1.5	2.5	△	*	△	△
	1.2	2.7	△	△	○	×
	0.9	4.5	*	△	○	×

창호종류	창호높이	최소 창호폭	개폐방법(평가)		
					
					
여닫이창/ 수직회전창	2.2	0.9	×	△	△
	2.1	1.0	×	△	△
	1.8	1.1	×	△	△
	1.5	1.2	△	△	△
	1.2	1.5	△	○	○
	0.9	1.8	△	○	○
	0.6	2.2	△	○	○

○ : 좋다 △ : 보통이다 × : 나쁘다 * : 불가

③ 거실

거실의 유출구는 후면에 배치된 식당이나 주방의 창호가 되며 만약 거실문이 있으면 창호계획은 진면에 위치한 침실과 같은 조건이 된다. 거실 창호는 전면 발코니에 접근할 수 있어야하므로 창호높이가 2.1-2.2m로 정해진다. 또한 거실의 창호는 다른 공간보다 전망이나 채광에 대한 충분한 고려가 요구되므로 창면적비가 60%이상인 경우가 대부분이며 세대규모가 커질수록 창면적비도 커진다.

<표 6.7>에서는 거실창호의 높이를 2.2m로 할 때 창호개폐방법과 창호폭 크기에 따른 유효 개구면적을 계산하고 통풍성능을 비교하여 보여준다. 여기서 구해진 유효 개구면적은 후면 주방 및 식당의 창호계획을 위한 기초자료로 사용한다.

④ 주방 및 식당

주방과 식당의 창호는 거실창호의 개구면적과 유사한 유효개구면적을 갖도록 계획한다. <표 6.8>과 <표 6.9>에서는 주방과 거실 유효개구면적이 같도록 주방과 식당의 창호 최소폭을 산정하여 보여준다. 이때 미서기창이나 오르내리창보다 여닫이창이나 수직회전창을 설치하면 유리면적을 최소화하고 틈새바람도 작아서 난방부하를 최소화할 수 있다.

<표 6.7> 거실 창호의 크기와 개폐 방식에 따른 유효개구면적 (창높이=2.2m)

창폭 (m)	미서기문+미서기창		여닫이문+미서기창(여닫이창)	
	창호형태	유효개구면적	창호형태	유효개구면적
1.8		1.78		1.78
				3.56
2.1		1.78		1.78
				4.16
				4.16*
2.4		1.78		1.78
				3.68*
				3.56
2.7		1.78		1.78
				3.56
3		1.78		5.94
				3.56
3.3		1.78		4.18
		2.38		6.53
3.6		1.78		3.56
		3.56		3.56
		3.56*		7.13*
3.9		1.78		3.56
				3.56
		3.56		7.13*
4.2		1.78		3.56
		3.56		3.56*
		4.16*		8.32*
4.5		1.78		3.56
		3.56		3.56*
		4.46*		8.92*

* : 기류패턴의 측면에서 유리한 개폐방식

<표 6.8> 거실 유효개구면적에 따른 주방과 식당의 창호크기(1)

거실창의 개구면적	창높이(m)	미서기창이나 오르내리창	미서기창+여닫이문 (발코니로 나가는 문이 있는 경우)
		창의 최소폭 (m)	창의 최소폭 (m)
2.0m ² 이하	1.8	2.4	1.0
	1.5	3.0	1.2
	1.2	3.6	1.5
	0.9	4.9	2.0
	0.6	7.2	3.0
2.0m ² ~ 2.5m ² 미만	1.8	3.0	1.5
	1.5	3.6	2.0
	1.2	4.6	2.4
	0.9	6.0	3.0
	0.6	9.2	4.8
2.5m ² ~ 3.0m ² 미만	1.8	3.6	2.2
	1.5	4.2	2.6
	1.2	5.5	3.3
	0.9	7.2	4.4
3.0m ² ~ 3.5m ² 미만	1.8	4.2	2.8
	1.5	5.0	3.0
	1.2	6.3	4.0

<표 6.9> 거실 유효개구면적에 따른 주방과 식당의 창호크기(2)

거실창의 개구면적	창높이(m)	여닫이창이나 수직회전창	여닫이창+여닫이문 (발코니로 나가는 문이 있는 경우)
		창의 최소폭 (m)	창의 최소폭 (m)
2.0m ² 이하	1.8	1.2	0.5
	1.5	1.4	0.6
	1.2	1.8	0.7
	0.9	2.4	0.9
	0.6	3.7	1.4
2.0m ² ~ 2.5m ² 미만	1.8	1.5	0.8
	1.5	1.8	0.9
	1.2	2.4	1.2
	0.9	3.0	1.6
	0.6	4.6	2.4
2.5m ² ~ 3.0m ² 미만	1.8	1.8	1.1
	1.5	2.2	1.3
	1.2	2.7	1.6
3.0m ² ~ 3.5m ² 미만	0.9	3.7	2.2
	1.8	2.1	1.4
	1.5	2.5	1.7
	1.2	3.2	2.1
	0.9	4.3	2.8

4. 발코니 계획

전면벽체에 발코니를 설치하는 경우 유입풍량이 약간 증가되지만 발코니 새쉬를 설치하면 풍량은 크게 감소되므로 발코니의 본래기능을 살려서 가능한 한 새쉬를 설치하지 않는 것이 바람직하다. 일반적으로 발코니 새쉬의 형태는 중앙에 고정창이 설치되고 양측면에 미서기창이 설치되는 형태인데 같은 개구 면적이라도 양쪽으로 나누어 창을 여는 것보다 정면에서 창을 열면 실내 유입풍량이 증가한다. <표 6.10>은 발코니 새쉬에 미서기창을 설치할 경우, 발코니 전면 폭 크기에 따른 적정 창호형태를 제안한 것이다.

<표 6.10> 통풍성능을 고려한 발코니 새쉬 창호의 비교

창호형태	창폭이 3.3m이하일때	창폭이 3.6m이상일때
	△	*
	×	×
	×	△
	○	○

○ : 좋다 △: 보통이다 ×: 나쁘다 * : 불가

제 7 장 자연통풍 계획의 사례연구

7.1 개요

본 연구에서는 앞에서 제시한 자연통풍의 적극적인 활용을 위한 계획방안들을 실제 건물의 설계에 직접 적용하여 자연통풍 성능의 향상효과를 정량적으로 분석함으로써 계획방안의 타당성을 확인하고자 사례연구를 실시하였다.

7.2 대상 공동주택

사례연구는 주동형식을 편복도형과 계단실형 두 가지로 구분하여 편복도형 중에서 가장 통풍성능이 떨어지는 것으로 분석된 Unit 7과 계단실형에서 국민주택 규모 이상 중에서 가장 일반적인 평면유형인 Unit 8을 대상 공동주택으로 선정하였다.

Unit 7과 같은 공간구조를 갖는 기존 공동주택들은 대치동 D아파트, 신반포 S아파트, 서초동 SD아파트, 서초동 SH아파트 등이 있으며, Unit 8과 같은 공간구조를 갖는 기존 공동주택들은 고덕동 W아파트, 잠실 J아파트, 가양동 D아파트, 가락동 S아파트와 WS아파트 및 대치동 SS아파트 등이 있는데 본 연구에서는 서초동 SD아파트(Unit 7)와 가양동 D아파트(Unit 8)를 연구대상으로 선정하였다.

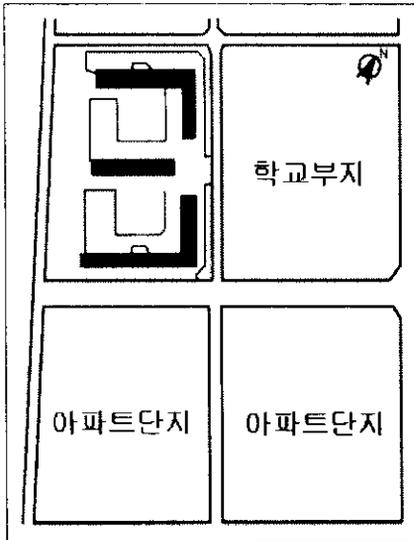
사례연구는 대상 공동주택을 앞에서 제시된 계획방안에 따라 주동형태, 단위세대 평면계획, 단위공간의 설계 등의 순으로 다시 계획한 후 이에 대한 자연통풍 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다.

기존 공동주택의 배치 및 주동과 단위세대의 특성은 다음과 같다.

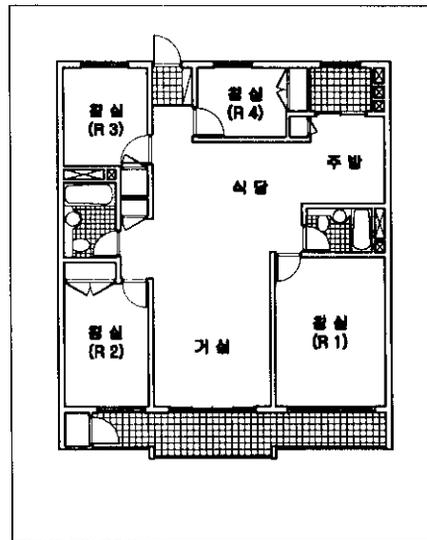
7.2.1 서초동 SD아파트(Unit 7)

1) 서초동 SD아파트는 (그림 7.1)과 같이 동북쪽에 학교가 있고 남측 전면에 다른 아파트들이 배치되어 있는 부지에 위치한다.

- 2) 부지형태에 맞추어 남동향으로 배치된 I형 및 L형 주동으로 구성되어 있다.
- 3) Unit 7 (4R+LKD+2B)은 (그림 7.2)에서 볼 수 있듯이 편복도형으로 전용면적이 108.12m²(32평)이고 소요공간은 침실4개, 거실, 식당 주방과 화장실 2개로 구성된다.
- 4) 실내 공간구조는 종횡의 공간구획(Bay)이 모든 방향에서 일치되지 않는 구조를 갖고 있다.
- 5) 전면 두 침실은 장단변비가 각각 1:1.3과 1:1.4로서 폭에 비해 실의 깊이가 긴 형태이다. 또한 발코니 부분에 창고가 있어서 전면 개구부의 폭과 위치가 일부 한정된다.
- 6) 후면은 복도에 면해 있으므로 창이 바닥에서 1.2m이상 높이에 배치되어야 한다는 제한이 있다.
- 7) 후면 두 침실(R3, R4)의 실내 출입문은 횡방향으로 배치되어 창과 문이 서로 90°를 이룬다.



(그림 7.1) 서초동 SD아파트의 위치



(그림 7.2) 서초동 SD아파트의
단위세대 평면도

7.2.2 가양동 D아파트(Unit 8)

1) D아파트는 (그림 7.3)과 같이 북서측에 국민학교와 공원이 위치하고 전면 남동측에는 다른 아파트들이 배치되어 있는 부지에 위치한다.

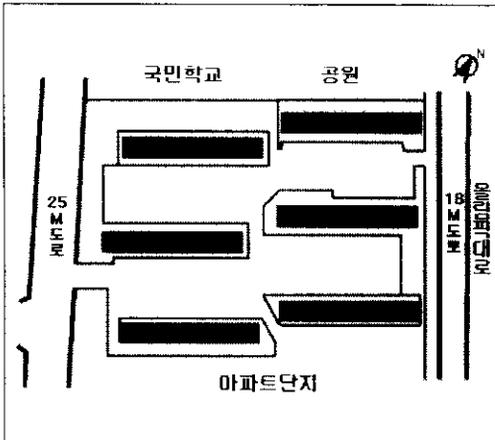
2) 부지형태에 맞추어 남동향으로 배치된 I형 주동으로 구성되어 있다.

3) Unit 8(4R+LKD+2B)은 (그림 7.4)에서 볼 수 있듯이 계단실형으로 전용면적이 115m²(35평)이고 소요공간은 침실 4개, 거실, 식당 주방과 화장실 2개로 구성된다.

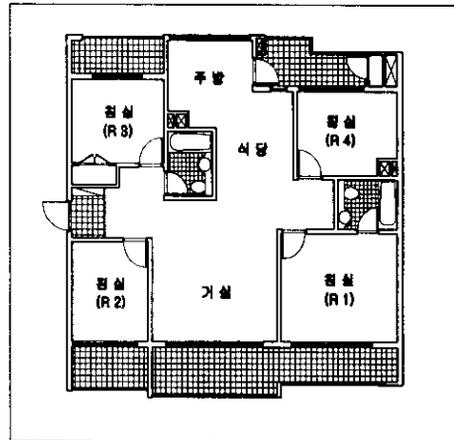
4) 전면과 후면 전체에 발코니가 설치되어 있으며 현관 쪽의 전면 및 후면 실에는 독립 발코니가 설치되어 있다.

5) 거실과 주방 및 식당사이에 화장실이 배치되어 내부돌출형 거실형태를 갖으며 주방과 분리된 식당에는 발코니에 면한 고정창이 배치되어 있다.

6) 전면뿐 아니라 후면에도 규모가 큰 창을 설치하였지만(창면적비:60%이상) 고정창 비율이 커서 개구면적은 작다.



(그림 7.3) 가양동 D아파트의 위치



(그림 7.4) 가양동 D아파트의
단위세대 평면도

7.3 자연통풍을 고려한 공동주택 설계안

7.3.1 서초동 SD아파트(Unit 7)의 대안

1) 주동계획

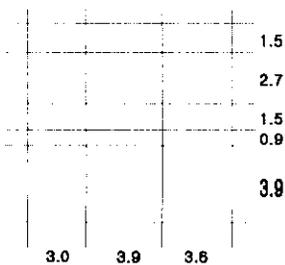
부지의 미기후에 관한 기후 데이터를 실측하기에는 한계가 있으므로 서울지방의 풍배도를 참조하여 부지의 주풍향 특성을 예측하였다. (그림 2.7)를 보면 서울지방의 하절기 바람은 주로 북동풍, 북서풍이 분다. 또한 (그림 7.1)에서 볼 수 있듯이 대상부지가 남동향으로 기울어진 형태이고 북동측에 학교가 있는 반면 남측진면에는 다른 아파트 단지가 있으므로 대상 부지의 주풍향은 북동풍으로 보는 것이 합리적이다.

따라서 북동에서 부는 바람을 주풍향으로 보고 차압성능이 가장 뛰어난 주동 형태인 꺾인 I형을 주풍향에 대하여 135° 각도로 배치한다.

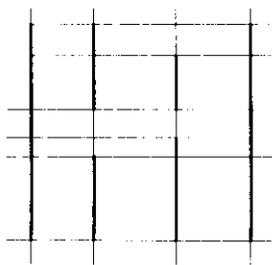
2) 단위세대 계획

편복도형 단위세대에서 전용면적과 소요 실구성은 그대로 유지하면서 다음과 같이 각 실을 조닝하였다.

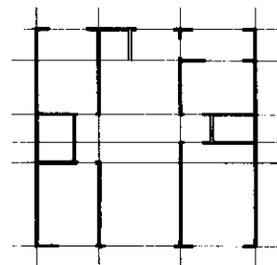
- ① 전면 실의 크기를 고려하여 (그림 7.5)과 같이 기본 구조(bay)를 구성한다.
- ② 전후면 실의 연결을 고려하여 (그림 7.6)와 같이 실을 종방향으로 구획한다.
- ③ 개구부의 상대적 위치를 설정한다. (그림 7.7)에서처럼 기류의 경로를 확보할 수 있도록 가능한 한 창과 문을 마주보는 벽체에 배치한다.



(그림 7.5)



(그림 7.6)



(그림 7.7)

특히 주풍향이 북동풍이므로 후면 개구부로 유입된 바람이 원활하게 실내공간을 지나갈 수 있도록 각 공간의 배치와 연결에 주의하여 계획한다.

3) 단위공간 계획

서초동 SD 아파트는 편복도형이므로 후면 개구부 계획에 제약이 많아 통풍계획에 어려움이 따른다. 즉, 복도에 면한 후면 개구부가 1.2m이상 높이에 설치되므로 개구부 면적이 전면 벽체에 비하여 크게 줄어든다. 반면에 적극적인 통풍계획을 위하여 편복도에 면한 후면 벽체에 기존의 미서기창이 아닌 여닫이 창이나 수직회전창을 설치하면 건축계획상의 문제점이 야기될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 단위공간계획에서 가능한 한 미서기창이나 오르내리창과 같은 단순형 창호를 이용한 '대안1'과 건축 계획적인 제약과 설치비용이 추가되더라도 여닫이창이나 수직회전창과 같은 수직형 창호를 설치하는 '대안2'를 제안하였다.

(1) 단위공간계획 대안1 (Unit 7)

① 전면 침실계획

- 안방(R1) : 실의 폭과 깊이는 3.6m×4.5m로서 가구배치를 고려하면 창을 낼 수 있는 최대 벽길이가 2.4m이다. 이때 <표 6.5>를 참조하여 창호종류와 창호 크기를 선정하면 최소창의 크기가 미서기창과 오르내리창의 경우 2.4m×1.8m로 한정되고 여닫이창과 수직회전창의 경우는 1.8m×1.35m, 1.5m×1.5m...등 다양하게 제안된다. 통풍뿐 아니라 채광과 일사를 충분히 이용할수 있도록 2.4m×1.8m규모의 미서기창을 계획한다.

- 작은방(R2) : 전면 작은 방(R2)의 경우 발코니에 위치한 창고 때문에 전면 창호를 낼 수 있는 전면 폭이 1.8m이다. <표 6.6>을 참조하면 미서기창의 경우, 1.8m×2.1m규모가 적정하지만 안방의 창호높이와 맞추어 1.8m×1.8m로 정한다.

② 후면 침실

후면에 위치한 실들은 편복도와 면하므로, 사생활 보장과 방호(防護)때문에 바닥에서 1.2m이상 높이에 창을 배치한다. 층고를 2.5m로 하면 최대 창높이는 1m 정도이다.

-작은방2(R3) : <표 6.6>을 참조하면 창높이가 0.9m일 때 미서기창이나 오르내리창으로는 통풍을 고려한 충분한 유효 개구면적을 확보할 수 없다. 여닫이 창이나 수직회전창을 선택하는 것이 유리하지만 복도측에 면한다는 것을 감안하여 미서기창을 선택하여 최대한의 창면적(2.4m×0.9m)으로 계획한다.

-작은방3(R4) : 작은방3(R4)은 외기와 직접 면하지 않고 다용도실을 통해 통풍되므로 통풍성능이 떨어진다. 통풍성능만을 고려하면 여닫이 창이나 미서기창이 유리하지만 다용도실의 수납기능을 고려하여 미서기창으로 계획하고 <표 6.6>을 참조하여 크기는 2.4m×1.2m를 선택한다. 또한 외기에 직접 면하는 창이 없어 채광성능도 떨어지므로 식당과 면한 내벽에 채광창을 추가로 설치한다.

③ 거실계획

거실전면에 창을 낼 수 있는 길이는 3.9m이다. <표 6.7>을 참조하면 창의 폭과 개폐방식에 따라 유효 개구면적을 1.78(m²)부터 5.94(m²)까지 선택할 수 있는데 후면 개구부 크기에 한계가 있으므로 과대하게 확보할 필요는 없다. 특히 거실의 경우 통풍뿐 아니라 일사 및 조망성도 중요하므로 3.6m×2.2m 크기의 4짝 미서기창을 선택한다.

④ 주방 및 식당 계획

주방에서는 싱크대의 높이와 수납공간을 고려하여 창높이가 0.6m로 제한되며 창폭도 2.2m이내여야 한다. 그러나 <표 6.8>에서 살펴보면 창높이 0.6m의 미서기창으로는 다용도실로 나가는 여닫이문을 감안해도 거실의 유효 개구면적(3.56m²)과 유사하도록 개구면적을 확보할 수 없다. 따라서 미서기창을 최대 크기인 2.0m×0.9m규모로 설치하고 4짝으로 개폐하여 고정창 비율을 줄인다.

⑤ 다용도실

일반적으로 다용도실은 창고나 가사작업실의 역할을 하므로 통풍을 통한 냉방 효과를 고려하기보다는 최소 환기수준에 맞추어 창호가 계획된다. 그러나 대상 단위세대에서는 작은방3(R4)이 다용도실을 거쳐 통풍되므로 다용도실의 통풍수준을 침실과 동일하거나 더 좋게 설계해야한다. 다용도실에서 창을 낼 수 있는 최대길이는 2.4m이므로 <표 6.8>을 참조하여 $2.4 \times 0.9(m^2)$ 의 4짝 미서기창을 설치한다.

(2) 단위공간계획 대안 2 (Unit 7)

① 전면 침실계획

- 안방 : 충분한 채광과 통풍을 확보할 수 있도록 창폭을 2.4m로 하고 <표 6.5>를 참조하여 $2.4m \times 1.5m$ 규모의 미닫이창을 계획한다.

- 작은방(R2) : 전면 창과 문이 곧바로 마주보는 형태이므로 Wall-jet에 의해 실내 기류패턴이 저하될 수 있다. <표 6.6>을 참조하여 기류의 유입 방향조절 및 풍량측면에서 가장 유리한 수직회전창을 선택하고 창의 크기를 $1.8m \times 1.5m$ 로 정한다.

② 후면 침실

-작은방2(R3) : <표 6.6>을 참조하면 창높이가 0.9m일 때 미서기창이나 오르내리창으로는 충분한 유효 개구면적을 확보할 수 없으므로 $2.0m \times 0.9m$ 의 수직회전창을 선택한다.

-작은방3(R4) : <표 6.6>을 참조하여 $2.4m \times 1.2m$ 의 미서기창을 선택한다.

③ 기실계획

'대안1'과 마찬가지로 <표 6.7>을 참조하여 $3.6m \times 2.2m$ 크기의 미서기창을 선택한다.

④ 주방계획

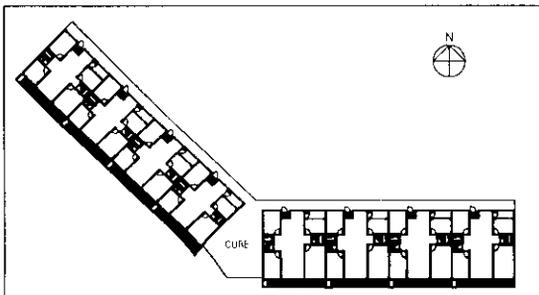
주방의 싱크대와 수납공간을 고려하면 창의 높이가 0.6m로 한정된다. 이때 거실의 유효 개구면적(3.56m²)에 맞추려면 <표 6.8>과 <표 6.9>에서 볼 수 있듯이 다용도실로 통하는 문을 고려하더라도 미서기창이나 오르내리창의 폭이 최소한 4.4m이상 이어야한다. 반면에 여닫이창이나 수직회전창은 2.2m이상이면 되므로 2.0m×0.6m규모의 수직회전창을 선택하고 4짝으로 계획하여 복도측에 돌출되는 길이를 최소화한다.

⑤ 다용도실

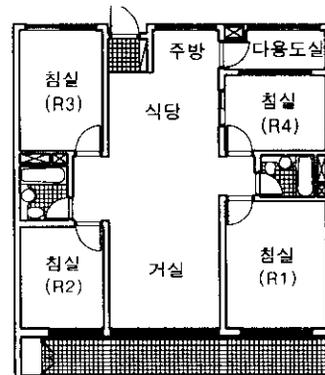
작은방3(R4)이 다용도실을 거쳐 통풍되므로 다용도실의 통풍수준을 최대한 좋게 설계해야한다. 다용도실에서 창을 낼 수 있는 최대길이는 2.4m이므로 <표 6.8>을 참조하여 2.0m×0.9m의 4짝 수직회전창을 설치한다.

4) 서초동 SD 아파트(Unit 7) 대안의 주동 평면도 및 단위세대 평면도

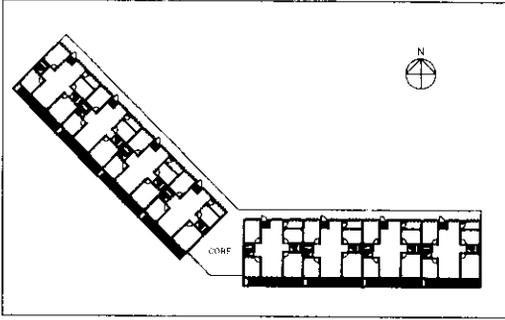
(그림 7.8)과 (그림 7.9)는 서초동 SD아파트(unit7) 대안1의 주동 및 단위세대 평면도를 나타내며 (그림 7.10)과 (그림 7.11)는 대안2의 주동 및 단위세대 평면도를 보여준다.



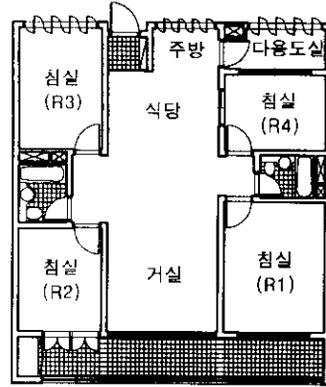
(그림 7.8) 대안1의 주동 평면도(Unit 7)



(그림 7.9) 대안1의 단위세대 평면도 (Unit 7)



(그림 7.10) 대안2의 주동 평면도 (Unit7)



(그림 7.11) 대안2의 단위세대 평면도 (Unit7)

7.3.3 수서동 H아파트(Unit 8)의 대안

1) 주동계획

대상부지가 남동향으로 기울어진 형태이고 북서측에 공원과 학교가 배치되므로 서울지방의 여름철 주풍향 중에서 북서풍과 남서풍을 이 부지의 주풍향으로 볼 수 있다. 따라서 부지형태와 주풍향에 맞추어 주동형태를 꺾인 I형으로 하고 북동풍에 대하여 135° 가 되도록 배치한다.

2) 단위세대 계획

기존안이 전면실과 후면실의 연결을 고려하여 적절히 조닝되어 있으므로 기존의 평면구조를 그대로 이용한다.

3) 단위공간계획

Unit 8의 단위공간계획에서는 기존의 미서기창이나 오르내리창을 이용하는 대안1과 보다 적극적으로 자연통풍 계획을 위하여 수직회전창이나 여닫이 창을 이용하는 대안2를 제안하였다.

(1) 단위공간계획 대안 1(Unit 8)

① 전면 침실계획

- 안방 : 실의 전면폭이 4.5m이고 가구배치를 고려하면 창을 낼 수 있는 최대 벽길이가 3.3m이다. <표 6.5>를 참조하여 창호높이를 1.8m로 하면 미서기창의 폭은 2.4m로 충분하다. 이때 채광 및 기류패턴과 실의 형태가 깊이보다 전면폭이 더 긴 형태라는 점을 고려하여 전면 창호폭을 좀더 크게 하여 3.0m×1.8m의 미서기 창을 계획한다.

- 작은방(R2) : 전면 작은 방(R2)의 경우 창호를 낼 수 있는 전면 폭이 3.0m이고 독립발코니를 가지므로 창높이는 2.2m이다. <표 6.6>을 참조하면 창의 크기는 2.4m×1.8m로 충분하므로 2.4m×2.2m의 미서기창을 계획한다.

② 후면 침실

-작은방2(R3) : 작은방2의 경우 발코니에 출입할 수 있어야하므로 창의 높이가 2.2m로 정해지며 창을 낼 수 있는 전면폭은 3.6m이다. <표 6.6>을 참조하면 미서기창의 경우 2.1m×1.8m가 최소 창호크기이므로 이에 상당하는 1.8×2.2(m²)크기의 미서기창을 설치한다.

-작은방3(R4) : 작은방 3(R4)은 발코니에 설치된 보일러실 때문에 창을 낼수 있는 전면폭이 2.4m로 한정된다. <표 6.6>을 참조하여 2.4m×1.5m의 미서기창을 계획한다.

③ 거실계획

거실전면에 창을 낼 수 있는 길이는 3.9m이다. <표 6.7>을 참조하여 창폭을 3.6m로 보면 개폐방식에 따라 유효개구면적을 1.78(m²)부터 7.13(m²)까지 선택할 수 있다. 3.6m×2.2m 크기의 4짝 미서기창을 계획하여 유효 개구면적을 3.56m²로 확보하면서 개폐방법에 따라 실내기류 패턴을 조절할 수 있도록 계획한다.

④ 주방 및 식당계획

<표 6.8>을 이용하여 거실의 유효개구면적(3.56m²)과 유사하도록 창의 크기를

계획하면 발코니로 나가는 문을 고려하여 창높이가 1.2m일 때 창폭은 2.1m를 확보해야한다. 식당이 외기에 면해 있으므로 1.2m×0.9m의 오르내리창을 계획하고 주방에는 3m×1.2m의 4짝 미서기창을 계획하여 고정창 비율을 줄인다.

(2) 단위공간계획 대안 2 (Unit 8)

① 전면 침실계획

- 안방 : 대안 1과 같이 3.0m×1.8m의 미서기 창을 계획한다.
- 작은방(R2) : 전면 작은 방(R2)의 경우 창호를 낼 수 있는 전면 폭이 3.0m이고 독립발코니를 가지므로 창의 높이가 2.2m로 정해진다. <표 6.7>을 참조하여 0.9m×2.2m의 여닫이문과 1.8m×1.5m의 미서기창을 계획한다.

② 후면 침실

- 작은방2(R3) : 작은방2의 경우 발코니에 출입할 수 있어야하므로 창의 높이가 2.2m로 정해지며 창을 낼 수 있는 전면폭은 3.6m이다. <표 6.6>을 참조하여 1.8m×2.2m크기의 여닫이창을 설치한다.
- 작은방3(R4) : 작은방 3(R4)은 발코니에 설치된 보일러실 때문에 창을 낼 수 있는 전면폭이 2.4m로 한정된다. <표 6.6>을 참조하여 2.0m×1.5m의 수직회전창을 계획한다.

③ 거실계획

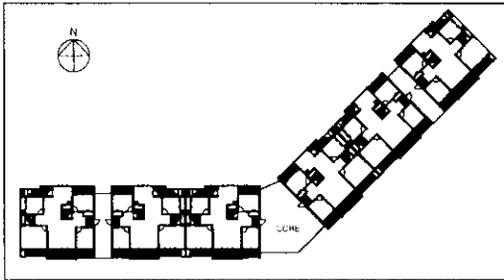
대안 1과 마찬가지로 3.6m×2.2m 크기의 4짝 미서기창을 계획한다.

④ 주방 및 식당계획

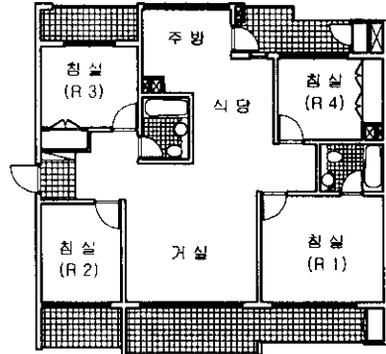
<표 6.8>을 이용하여 거실의 유효개구면적(3.56m²)과 유사하도록 2.4m×0.6m의 여닫이창을 설치하고 식당에는 대안1과 마찬가지로 1.2m×0.9m의 오르내리창을 계획한다.

4) 수서동 H아파트(Unit8) 대안의 주동평면도 및 단위세대 평면도

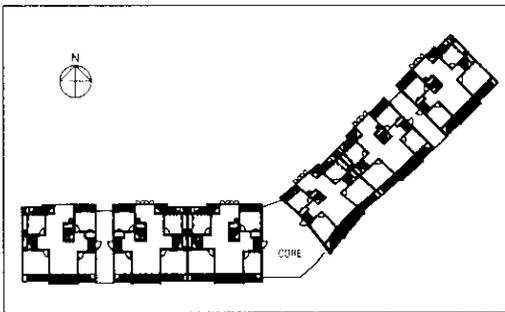
(그림 7.12)과 (그림 7.13)은 수서동 H아파트 대안1의 주동 평면도와 단위세대 평면도를, (그림 7.14)과 (그림 7.15)은 대안2의 주동 평면도와 단위세대 평면도를 보여준다.



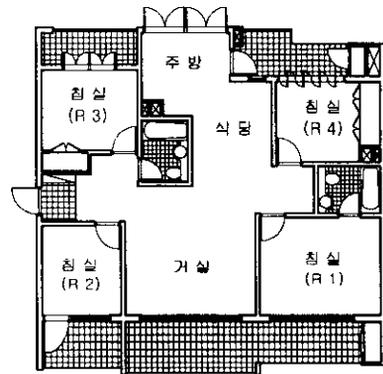
(그림 7.12) 대안1의 주동 평면도(Unit 8)



(그림 7.13) 대안1의 단위세대 평면도 (Unit 8)



(그림 7.14) 대안2의 주동 평면도(Unit 8)



(그림 7.15) 대안2의 단위세대 평면도 (Unit 8)

7.4 통풍성능의 평가

7.4.1 서초동 SD아파트(Unit 7)의 기존안과 대안의 통풍성능 비교

1) 차압성능의 비교

기존의 공동주택과 대안의 주풍향에 대한 차압성능을 비교하면 각각 평균 6.62Pa과 5.12Pa으로서 대안의 차압이 30%정도 증가하였다.

2) 실내 기류속도 분포의 비교

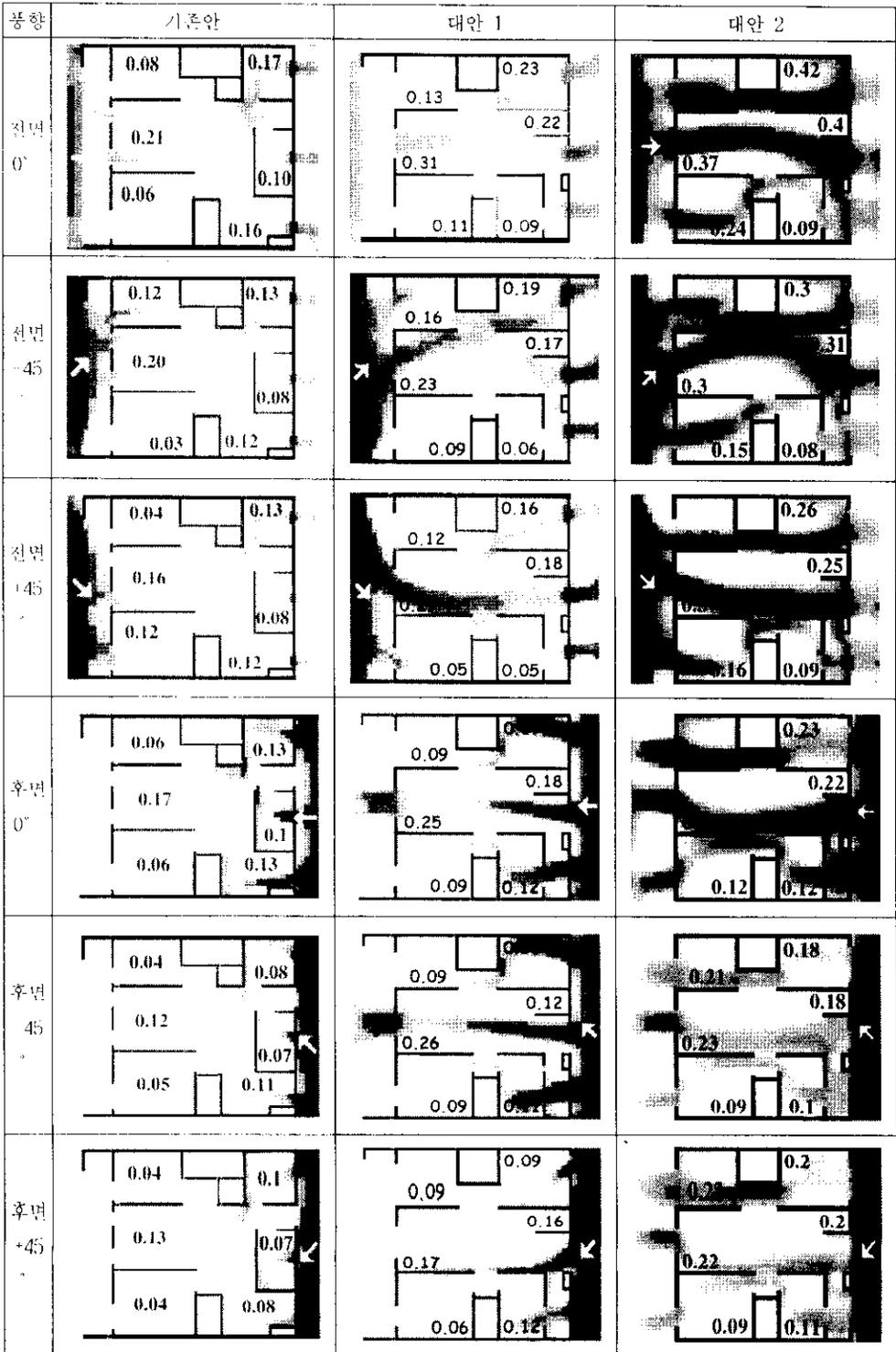
(그림 7.16)은 Unit 7의 기존안과 대안1 및 대안2의 실내 기류속도의 분포를 비교하여 보여준다. 주동형태가 꺾인 I형이고 주풍향이 북동풍이므로 단위세대에서 볼 때 주된 유입풍향은 후면 0°, 후면+45°, 후면 -45° 이다.

편복도형에서는 후면의 개구부가 1.2m이상의 높이에서 배치되기 때문에 거실 창에서 가까운 부분을 제외하고는 전반적으로 기류가 위쪽으로 지나간다. 즉, 창호계획을 통해 유입풍량을 증가시키더라도 기류가 거주역을 통과하게 조절하는 것은 어렵다. 전면 창호의 바닥을 후면 창호에 비하여 가능한 한 낮게 배치하고 충분한 창면적을 확보하는 것이 한가지 대안이 될 수 있다.

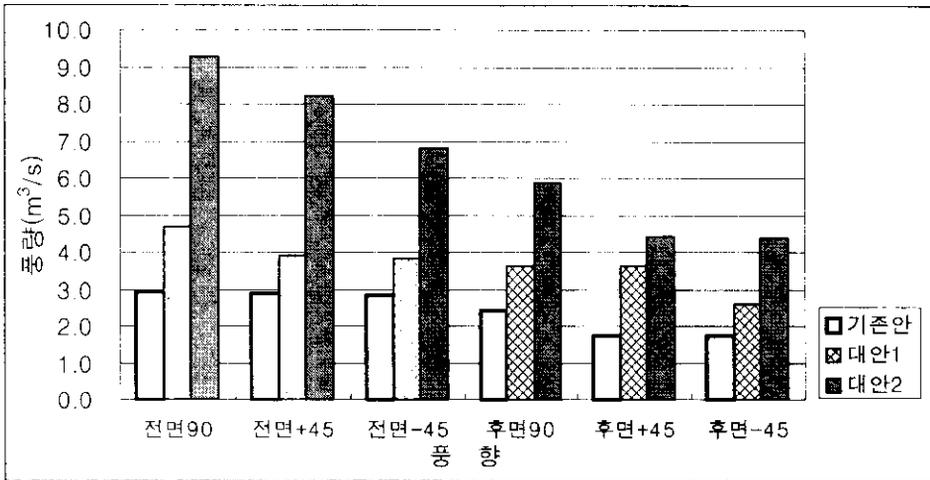
대안1의 경우는 기존의 미서기창을 이용하였으며 대안 2는 각 실의 통풍 수준에 맞추어 여닫이창이나 수직회전창을 설치하였다. 기존안과 비교할 때 대안 1과 대안 2에서는 주기류 3개가 형성되어 모든 실에 기류가 유입되며 특히 거실과 식당 및 주방의 통풍성능이 크게 향상되었다.

3) 실내유입풍량의 비교

(그림 7.17)은 Unit 7의 기존안과 대안1 및 대안2의 각 풍향에 따른 유입풍량을 비교한 것이다. 여기서 볼 수 있듯이 대안 1에서는 평균 53%, 대안2에서는 평균 167%까지 유입풍량이 증가되었다. 따라서 Unit 7과 같이 후면 개구부 계획에 제약이 있는 평면유형에서는 대안2와 같이 적극적인 통풍계획이 요구된다.



(그림 7.16) 기준안과 대안의 실내 기류분포의 비교(Unit 7)



(그림 7.17) 기준안과 대안의 유입풍량 비교(Unit 7)

7.4.2 수서동 H아파트(Unit 8) 기준안과 대안의 통풍성능의 비교

1) 차압성능의 비교

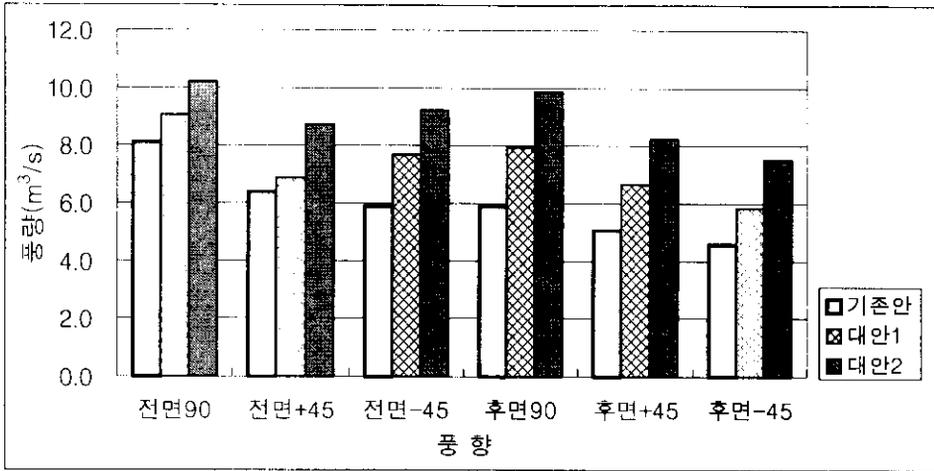
기준안과 대안의 주풍향에 대한 주동의 차압성능을 비교하면 북서풍이 불 때 대안의 차압이 평균 30%정도 더 크다. 또한 남서풍이 불 때는 기준안과 대안의 차압이 각각 평균 0.02Pa과 3.69Pa으로서 평균 차압이 300%이상 증가된다.

2) 실내 기류속도 분포의 비교

(그림 7.18)는 Unit 8 기준안 및 대안1과 대안2의 실내기류 속도분포를 보여준다. 주동 형태가 꺾인 1형이므로 주풍향을 북서풍 또는 남서풍으로 보면 단위세대로 유입되는 바람의 주방향은 후면 90도, -45도, +45도이다. 대안1과 대안2의 실내 기류패턴을 기준안과 비교해보면 모든 실에 기류가 유입될 뿐 아니라 안방을 제외한 모든 실의 기류가 거주역으로 지나가며 거실과 주방 및 식당과 후면에 위치한 침실의 기류분포가 향상되었다. 특히 대안2에서는 후면에서 바람이 불 때 거실 및 식당뿐 아니라 침실의 통풍성능이 크게 향상되었다.

방향	기존안	대안 1	대안 2
진면 0°			
진면 45°			
진면 145°			
후면 0°			
후면 -45°			
후면 =45°			

(그림 7.18) 기존안과 대안의 실내 기류분포의 비교(Unit 8)



(그림 7.19) 기존안과 대안의 유입풍량 비교(Unit 8)

3) 실내 유입풍량의 비교

(그림 7.19)는 기존안과 각 대안의 유입풍량을 비교하여 보여준다. 대안1에서는 유입풍량이 평균 22%까지 증가되었으며 대안2는 평균 53%까지 증가되었다.

이상과 같이 대상 공동주택의 기존안과 대안을 비교하여 보면, 같은 면적과 소요공간을 확보하면서도 통풍성능을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

7.4.3 기존안과 대안의 통풍성능 비교평가

사례연구를 통하여 계획된 편복도형 Unit 7과 계단실형 Unit 8, 두 가지 대안의 통풍성능을 5장에서 제안한 평가항목에 따라 분석하여 기존의 평면유형들과 비교해보면 <표 7.1>과 같다. Unit 7 기존안의 경우, 주기류가 형성되지 못하고 유입풍량도 매우 미소하였으나 계획된 대안들을 보면 주기류가 모든 공간을 통과하고 거실, 식당주방의 기류성능이 크게 향상되었으며 풍량도 증가하였다. 또한 Unit 8의 대안1은 기존안의 창호크기와 같거나 작은 미서기창을 설치하면서도 기류패턴은 크게 향상되었으며 유입풍량도 증가하였다.

이 때 각 평면유형과 대안의 총점을 비교해보면 (그림 7.20)에서 볼 수 있듯이 각 대안들의 통풍성능이 크게 향상된 것을 비교해 볼 수 있다.

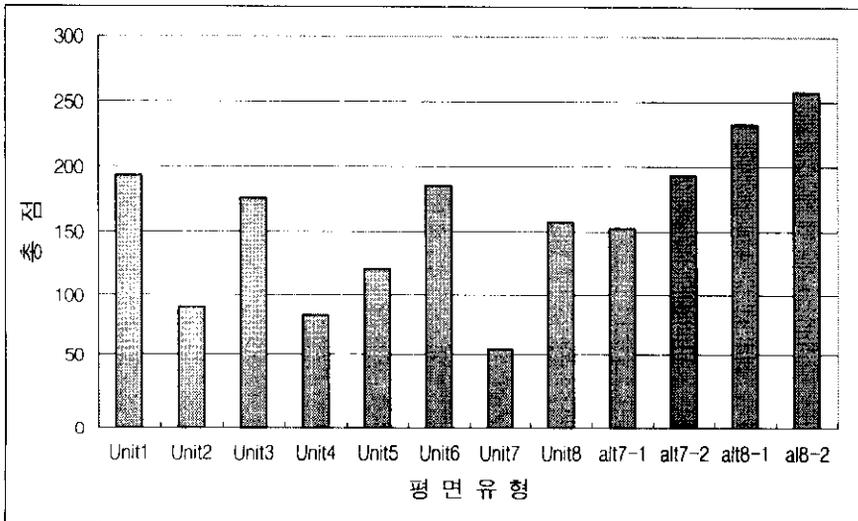
<표 7.1> 대안의 통풍성능 비교 및 평가

평면유형 평가항목	UNIT 1	UNIT 2	UNIT 3	UNIT 4	UNIT 5	UNIT 6	UNIT 7	UNIT 8	UNIT7 대안1	UNIT7 대안2	UNIT8 대안1	UNIT8 대안2
A	5 85	2 34	5 85	2 34	1 17	5 85	1 17	5 85	4 68	5 85	5 85	5 85
B	1 6	1 6	4 24	1 6	4 24	4 24	1 6	1 6	2 12	2 12	3 18	3 18
C	2 28	2 28	1 14	1 14	2 28	1 14	1 14	1 14	2 28	2 28	4 56	5 70
D	3 15	2 10	3 15	1 5	3 15	3 15	1 5	3 15	4 20	2 20	5 25	5 25
E	5 55	1 11	3 33	2 22	3 33	4 44	1 11	3 33	2 22	5 55	4 44	5 55
F	4 0	1 0	3 0	2 0	3 0	3 0	1 0	3 0	1 0	4 0	3 0	4 0
G	4 4	1 1	5 5	3 3	4 4	4 4	2 2	5 5	3 3	3 3	5 5	5 5
총 점	193	90	176	84	121	186	55	158	153	193	233	258
순 위	(3)	9	5	10	8	4	11	8	7	3	2	1

* 표시방법 :

N1 N2

 N1 ; 평가점수, N2 : 평가점수×가중치



(그림 7.20) 대안과 평면유형의 통풍성능 비교

7.5 설계방법의 제안

사례연구를 통하여 기존 공동주택에 대한 대안을 계획하여 통풍성능을 비교한 결과, 각 설계 단계에서 몇 가지 사항만을 추가하여 고려하면 통풍성능을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

일반적으로 기존의 공동주택 설계방법은 다음과 같은 과정으로 이루어져왔다.

1) 사업평가를 통해 규모에 따른 단위세대 유형의 비율을 설정한 뒤 관련법규를 분석하여 부지 내에 최대한 많은 수의 세대가 배치될 수 있도록 주동형태와 방위를 계획한다.

2) 단위세대 계획에서는 주호 규모에 맞는 기본 구조(Bay)를 결정하고 전용면적을 최대한 확보할 수 있도록 각 공간을 구획하고 면적을 재조정한다.

3) 전면에 위치한 실은 실내 가구 배치, 채광 및 조망을 고려하여 창호크기를 정하고 비서기창을 설치한다. 후면에 위치한 실은 최소 환기량 및 채광을 고려하여 창면적을 결정한다.

이러한 기존의 설계방식은 자연통풍을 적극적으로 활용하기 위한 고려가 거의 없으므로 다음과 같은 설계과정을 추가하여 제안할 수 있다.

1) 주동 계획 : 부지의 미기후 분석을 통한 주동형태 및 배치방위의 설정

세대수를 최대한 확보하기 위하여 부지형태에 맞추어 일률적으로 I형 주동을 배치하는 기존의 방법에서 나아가, 미기후 분석을 통하여 주풍향을 확인하고 채광과 일사뿐 아니라 통풍성능을 고려하여 적정 주동형태와 배치 방위를 결정한다. 이 경우, 전체 세대는 같은 숫자를 확보하면서도 다양한 대안의 검토가 가능하다.

2) 단위세대 계획 : 전후면 공간의 연결을 고려한 공간구획

단위세대 공간 조닝에 있어 소요실의 개수 및 각 공간 면적뿐 아니라 전후면 공간의 연결을 고려하여 풍로를 확보한다. 다음에 다른 건축 계획적인 요인과

공간 사용패턴을 고려하여 거실과 식당 및 부엌을 중심으로 통풍계획을 세운다. 전체적인 실내 기류패턴은 단위세대 계획에서 결정되므로 모든 실에 기류가 유입될 뿐 아니라 가능한 한 거주역으로 기류가 지나갈 수 있도록 한다.

3) 단위공간 계획 : 각 실의 통풍성능을 고려한 개구부계획

① 각 실의 형태는 유입구와 유출구의 위치 및 크기와 함께 고려하여 결정해야 한다. 실깊이보다 전면 폭이 넓은 형태가 개구 면적의 확보에 유리하지만 외벽에 창을 낼 수 있는 부분이 한정된 경우에는 실의 전면폭보다는 깊이가 긴 형태가 기류패턴 측면에서 유리하다.

② 거실문과 같이 유입된 기류의 흐름에 방해가 되거나 기류패턴을 저하시킬 수 있는 실내구조물은 통풍에 대한 영향을 최소화시킬 수 있도록 위치와 크기를 고려하여 설치한다.

③ 창호의 종류는 주풍향과 실의 통풍설계 수준에 따라 선택한다. 침실의 경우는 실의 위치, 출입문의 크기 및 전면벽체 길이에 따라 창호의 크기와 종류를 정하고 거실과 주방 및 식당의 개구부는 함께 계획한다. 단위공간의 유효 개구부크기는 주로 전체 유입풍량과 기류속도에 큰 영향을 미치며 창호의 종류 및 개폐방법이 각 실의 실내 기류분포를 결정한다.

④ 전면벽체 발코니에 발코니 새쉬를 설치하면 유입풍량이 크게 감소되므로 발코니의 개구면적은 벽체에 설치된 개구부의 면적보다 크게 계획한다.

제 8 장 결 론

본 연구에서는 우리 나라 주거용 건물의 과반수를 차지하면서 최근 냉방에너지 수요가 급증하고 있는 공동주택을 대상으로 자연통풍의 적극적인 이용을 통하여 쾌적하고 건강한 주거환경을 조성하고 에너지절약을 꾀할 수 있도록 건축설계의 각 단계에서 적용할 수 있는 계획방법을 제시하고자 하였다.

기후분석을 통하여 우리 나라의 기후 조건에서 가장 적절한 자연냉방 기법은 자연통풍임을 확인하고, 풍동실험 및 수동실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다양한 공동주택의 주동형태, 평면유형 및 단위공간의 설계변수에 대한 자연통풍성을 정량적, 정성적으로 분석함으로써 계획방법을 추출하였다. 또한 사례연구를 통하여 제시된 계획방법을 기존 설계안에 적용하고 그 결과를 비교, 분석해봄으로써 연구의 적합성을 검토하였다.

본 연구의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주동형태에 따른 통풍성과 자연통풍 계획

1) □형, I형, L형, 비대칭 ㄷ형, T형, Y형과 꺾인 I형 등의 기본적인 주동형태에 따른 평균 차압분포를 비교해 보았을 때, 45° 정도 꺾인 I형 주동형태의 통풍성능이 가장 우수한 것으로 나타났고, 단순한 I형이나 L형 주동도 비교적 자연통풍을 이용하기에 적절한 형태인 것을 알 수 있었다. 다만, 단순한 I형의 자연통풍 성능은 주동의 배치각도에 크게 영향을 받으므로 상풍향에 대한 상세한 분석이 요구된다.

2) 주동의 적정 배치각도는 주동형태에 따라 각각 다르지만 일반적으로 주풍향에 대하여 45° 나 315° 로 기울어진 경우 통풍성능이 우수한 것으로 분석되었다.

3) 주동의 높이 및 지붕형태에 따른 평균풍압을 비교해보면, 주동의 높이가 증가할수록 후면의 무풍지대가 증가하고 차압도 커졌다. 반면에 지붕의 형태 변화에 의한 차압의 변화는 거의 나타나지 않았으며 기류패턴에도 큰 차이가 없었다.

2. 단위세대 평면유형에 따른 통풍성능과 자연통풍 계획

1) 8가지 전형적인 단위세대 평면유형에 대해 기류패턴과 유입풍량 및 실내기류속도 측면에서 통풍성능을 분석한 결과, 주기류가 모든 실내공간 특히 각 공간의 거주역을 통과하도록 하는 것이 가장 중요한 평가기준이 되며, 그 다음으로 중요한 기준은 충분한 유입풍량이 각 실에 유입될 수 있도록 하는 것이다.

2) 유입풍량을 확보하고 유입된 기류가 실내공간에 적절히 분포될 수 있도록 하기 위해서는 공간계획에서 전면과 후면 공간의 연결을 고려하여 공간의 조닝을 해야 한다. 전체적인 실내 기류패턴은 단위세대 계획에서 결정되므로 모든 실에 기류가 유입될 수 있도록 풍로를 확보하고 가능한 한 거주역으로 기류가 지나갈 수 있도록 한다.

3) 단위세대내의 평면계획에서 모든 공간이 어떤 풍향에 대해서도 충분한 통풍성능을 갖도록 계획하기에는 공간구조나 개구부 계획상 다소 한계가 있다. 따라서 공간의 이용패턴을 고려하여 야간에만 주로 사용하는 침실보다는 거실과 식당, 주방에서 자연통풍을 충분히 활용할 수 있도록 계획한다.

4) 전면 개구부뿐 아니라 후면에서 바람이 유입되는 경우도 고려하여 전후면 각 개구부의 위치와 면적을 계획해야한다.

3. 단위공간의 자연통풍 계획

1) 침실의 형태는 전면 폭이 넓으면 창호의 크기를 증가시킬 수 있으므로 통풍성능이 좋아지지만 같은 개구 면적에서는 폭이 넓은 형태보다는 길이가 긴 형태가 좋다.

2) 거실과 식당 및 주방의 형태는 후면에 있는 부엌이나 식당에 적정 개구면적을 확보할 수 없는 평면형의 경우 장방형이 더 좋은 통풍조건을 제공할 수 있다. 반면에 후면 개구부를 충분한 크기로 분산해서 배치할 수 있으면 실의 형태가 장방형보다 비정형인 경우에 기류패턴이 더 향상된다.

3) 거실과 식당을 구분 짓는 실내문은 설치하지 않는 것이 통풍에 유리하지만, 설치할 경우에는 개구면적이 후면 유출구 면적보다 커지도록 해야 하며, 미서기문보다는 문짝이 벽속으로 들어가거나 벽면으로 겹쳐져서 개구면적이 커질 수 있는 미닫이문을 설치하는 것이 좋다.

4) 창호의 종류는 주풍향과 실의 통풍설계 수준 및 위치에 따라 선택되어야 한다. 일반적으로 사용하는 미서기창은 창의 개폐방법에 따른 기류패턴의 편차가 클 뿐 아니라 유효개구면적이 평균 45%정도로서 통풍성능이 떨어진다. 여닫이창이나 수직회전창을 설치하면 동일 창면적의 미서기창에 비해 유입풍량이 각각 35%, 40% 증가되는 효과가 있어 통풍성능이 크게 향상되는 것으로 나타났다. 창의 개구형태가 수평으로 긴 오르내리창을 설치하면 유효 개구면적은 작지만 풍향 변동에 따른 유입풍량의 편차가 적고 실내기류 분포도 비교적 우수하다.

5) 전면벽체 발코니에 발코니 새쉬를 설치하면 유입풍량이 크게 감소되므로 새쉬를 설치하지 않는 것이 자연통풍에 유리하지만, 설치하는 경우에는 발코니새쉬의 개구면적은 벽체에 설치된 개구부의 면적보다 크게 계획하여야 한다.

4. 본 연구에서는 사례연구를 통하여 앞에서 제시된 자연통풍 계획방법을 설계의 각 단계에 적용해 봄으로써 연구의 적합성을 검토하였다. 기존의 면적 배분 위주의 공동주택 설계방법에서 벗어나, 자연통풍을 적극적으로 활용할 수 있도록 주동의 형태를 선정하고, 단위세대에서 공간을 효과적으로 조닝하고, 단위공간 계획에서 창호의 크기와 개폐방식을 설정함으로써 기존 설계안의 소요공간이나 기능을 유지하면서도 자연통풍성능을 크게 향상시킬 수 있는 설계가 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 자연통풍 계획방법은 기존의 설계조건을 만족시키면서도 정성적인 측면뿐 아니라 정량적인 통풍성능을 향상시킬 수 있으며, 각 설계단계에서 자연통풍을 위해 중요한 요소들을 지적하여 적정규모 계획을 제안하였으므로 설계실무에서 자료로서 간편하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 자연통풍 계획을 위한 외기 풍향 및 풍속 기준을 설정하고 자연통풍 계획안의 평가기준을 제안하여 체계적인 연구방향을 제시하고 주동계획, 단위세대 및 단위공간 계획까지 종합적인 계획방안을 제시하였으나 단일 주동규모까지를 연구범위로 한정하고 현재까지 건설된 공동주택을 대상으로 하였으므로 다음과 같은 후속연구가 요구된다.

1) 다수의 주동이 배치되는 단지규모에서는 각 주동의 위치와 주변 미기후에 따라 풍환경이 달라지므로 이를 고려한 자연통풍 계획이 필요하며 최근에 제안되고 있는 타워형 중복도형 아파트나 주상 복합건물 등의 새로운 공동주택 유형에 대한 연구가 보완되어야 할 것이다.

2) 일반적으로 자연통풍을 통한 에너지 절감량은 유입풍량으로 산정되지만 외기조건과 건물의 열적 특성에 따른 실제 냉방 에너지 절감량을 구체적으로 검토할 필요가 있다. 또한 자연통풍은 외기 도입을 통해 이루어지므로 공동주택 주변의 미기후나 공기환경에 관한 고려가 필요하므로 이 분야에 대한 연구가 후속되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

◇ 국내 참고문헌

- 1) 『공동주택의 에너지 절약형 냉방시스템 개발에 관한 최종보고서』, 산업자원부, 1998.
- 2) 『아파트 백과』, 세진기획, 1995.
- 3) 김완기, 『자연통풍성능을 고려한 공동주택의 개구부 특성에 관한 연구』, 중앙대 석사논문, 1998.
- 4) 김한태, 김수인, 박병전, 『모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(I)』 대한 건축학회논문집 4권5호, 1988.
- 5) 김한태, 김수인, 박병전, 『모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(II)』 대한 건축학회논문집 5권1호, 1989.
- 6) 김한태, 김수인, 박병전, 『모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(III)』 대한 건축학회논문집 5권2호, 1989.
- 7) 김한태, 김수인, 박병전, 『모델실험에 의한 실내기류의 성상 및 풍속분포에 관한 연구(VI)』 대한 건축학회논문집 5권4호, 1989.
- 8) 송국섭, 윤재옥 외, 『그린빌딩의 에너지 소모량 평가 및 환경성능분석』, 동우건축 건축기술 연구소, 1998.
- 9) 안병욱, 『고층아파트에서의 통풍실태에 관한 조사연구』, 한양대, 석사논문, 1984
- 10) 윤재옥, 『풍동실험을 이용한 고층 아파트의 환기량 산정에 관한 연구』, 건축학회 논문집 6권 3호, 1990.
- 11) 윤재옥, 『고층아파트의 자연통풍에 관한 모형 실험연구』. 연세대 석사논문, 1985
- 12) 이경희 외, 『전통민가의 자연형 냉방디자인의 원리와 기법에 관한 연구』, 대한건축학회 학술발표 논문집 14권 2호, 1994.
- 13) 이명근, 자연통풍에 의한 주거용 건물의 냉방효과에 관한 연구, 연세대 석사논문, 1986.
- 14) 이성욱, 『아파트 수동의 형태유형과 특성에 관한 분석적 연구』, 중앙대 석사논문, 1993.

- 15) 이하성, 『고층아파트의 자연통풍에 의한 개구부계획에 관한 연구』, 건국대 산업대학원, 석사논문, 1990.
- 16) 정재국, 『고층건축물 주변 풍환경 평가에 관한 실험적 연구』, 연세대 박사논문, 1992.
- 17) 최영규, 김노동, 『고층 아파트 단지의 배치형태에 따른 풍력계수 변화에 관한 연구』, 대한 건축학회 논문집 4권 5호, 1988.
- 18) 최용수, 심우갑, 『유형론적 지식을 이용한 아파트 평면계획 모델에 관한 연구』, 대한건축학회 논문집 9권1호 통권 51호, 1993. 1.
- 19) 한국 냉동공조공업협회, 『통계자료』, 냉동·공조·공기기기, 서울, 1995.
- 20) 홍민호, 『에어컨으로 개별냉방하는 공동주택의 열환경 특성에 관한 연구』, 중앙대 석사논문, 1996.
- 21) 황광석, 『주거용 건물의 통풍계획에 관한 실험적 연구』, 영남대 석사논문, 1989.

◇ 국외 참고문헌

- 1) A. Bowen, Classification of air motion system and patterns, Miami Beach, AS/ISES, 1981.
- 2) A. G. Davenport, D. Surry, and T. Stathopoulos, Wind Load on Low Rise Buildings, London, Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, University of Western Ontario, 1978.
- 3) A. J. MacDonald, Wind Loading on Buildings, London, Applied Science Publishers, 1975.
- 4) A. Olgyay & V. Olgyay, Design with Climate. Princeton Univ. Press, Princeton, 1957.
- 5) Akhari, H. J. Huang, P. Martien, L. Rainer, A. Rosenfield and H. Taha(1988), 『The impact of summer heat islands on cooling energy consumption and global CO₂ concentration』, ACEEE Summer Study on 'Energy Efficiency in Buildings', Asilomar, CA.
- 6) ANNEX 20, Air flow patterns within buildings - Air flow through large openings in buildings, International Energy agency, 1992.

- 7) Arens, E., cited in world Literature review and Annotated Bibliography, Passive Cooling by Natural Ventilation, Florida Solar Energy Center, 1981.
- 8) ASHRAE Handbook, 1997 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., pp.25.1-25.28.
- 9) B. Givoni, Building and Urban Design Guidelines for Different Climates, New York, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- 10) B. Givoni, Ventilation Problems in Hot Countries, Research report to Ford Foundation, Israel, 1968.
- 11) B. Givoni, Man Climate and Architecture, 2nd edition, London, Applied Science Publishers, 1976.
- 12) B. Givoni, Passive and Low Energy Cooling of Buildings, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- 13) B. Givoni, Performance and Applicability of Passive and Low Energy Cooling systems, Energy and Buildings V-17, 1991, pp.177-199.
- 14) B. H. Evans, Energy conservation with natural air flow through windows, ASHRAE Transactions, 1979.
- 15) B. H. Evans, Natural Air Flow around Buildings, Texas, Texas Engineering Experiment Station, 1957.
- 16) B. J. Vickery, R. E. Baddour, and C.A. Karakatsanis, A Study of the External Wind Pressure Distributions and Induced Internal Ventilation Flows in Low-Rise Industrial and Domestic Structures, London, University of Western Ontario, 1983.
- 17) B. J. Vickery, The use of the wind tunnel in the analysis of naturally ventilated structures, In Proc. International Passive and Hybrid Conference, Miami Beach, AS/ISES, 1981.
- 18) B. J. Vickery, The use of the wind tunnel in the analysis of naturally ventilated structures, Miami, AS/ISES, 1981.
- 19) B. Stein, J. S. Reynolds and W. J. McGuinness, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, New York, John Wiley & Sons, 1986.
- 20) BS 5925, Code of Practice for Design of Buildings, Ventilation Principles and Designing for natural Ventilation, London, British Standards Institution, 1980.

- 21) C. Allen, Wind Pressures for Air Infiltration Calculations, Berkshire, Air Infiltration Centre(AIC), 1983.
- 22) C. W. Newberry and K. J. Eaton, Wind Loading Handbook (Third impression) Watford, Building Research Establishment, 1976.
- 23) D. A. Neeper, and R. D. McFarland, Some Potential Benefits of Fundamental Research for Passive Solar Heating and Cooling of Buildings, Los Alamos, Los Alamos National Laboratories, 1982.
- 24) D. E. Kiel and D. J. Wilson, Combining door swing pumping with density driven flow, ASHRAE Transactions, 1989, pp.590-599.
- 25) D. Michell, Selective Radiation Cooling, Another Look, CSIRO Division of Tribophysics, University of Melbourne, Australia, 1976.
- 26) D. W. Abrams, Low Energy Cooling, Van Nostrand Reinhold company Inc, 1986, p.117.
- 27) D. Watson, Climate Design, New York, McGraw-Hill company, 1983.
- 28) D. Watson, FAIA, and Kenneth Labs, Climate Design, Mcgraw-hill company, NY, 1983.
- 29) Donald W. Abrams, Low Energy cooling, van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986.
- 30) E. A. Arens, Prediction thermal comfort of people in naturally ventilated buildings, ASHRAE Transactions, 1984.
- 31) E. Arens, Passive Cooling by Natural Ventilation, Florida Solar Energy Center, 1981.
- 32) E. Daskaki, P. Drouta and M. Santamouris, Interzonal comparison of five multizone air flow prediction tools, Model Development Subgroup PASCOOL Meeting, Florence, 1992.
- 33) E. G. Smith, The Feasibility of Using Models for Predetermining Natural Ventilation, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1951.
- 34) G. Walton, Thermal Analysis Research Program(TARP) Reference Manual, Gaithersburg, MD : National Bureau of Standards, 1983.
- 35) H. B. Hay, and I. J. Yellot, 'Natural air-conditioning with roof ponds and movable insulation' , ASHRAE Transactions, Vol. 75, Part 1, 1969.

- 36) H. J. Sobin, Window design for passive ventilating cooling- An experiment model scale study. In Proc. International Passive and Hybrid Cooling Conference. AS/ISES, 1981.
- 37) J. Koos van der Maas and C. A. Roulet, Nighttime ventilation by stack effect, ASHRAE Technical Data Bulletin, Vol. 7, 1991.
- 38) J. R. Goulding, J. Owen Lewis and T. C. Steemers, Energy in Architecture, The European Passive Solar handbook, Commission of the European Communities, 1993.
- 39) M. E. Hoffman and M. Gideon, Window design practical directions for passive heating and cooling in heavy and light buildings, Processing : Windows in Building Design and Maintenance, Sweden, 1984.
- 40) M. E. Santamouris, E. Dascalaki, A. Argiriou, C. Helmis and D. N. Asimakopoulos, Analysis of Heat and mass flow due to temperature difference in a two-zone test cell, Model Development Subgroup PASCOOL Meeting, Florence, 1992.
- 41) M. Poreh et al, Wind Tunnel Research of Flowfields within Naturally Ventilated Rooms of Simple Geometry, Colorado State university, 1982.
- 42) M. S. Sodha, N. K. Bansal, P. K. Bansal, A. Kumar and MA, S, Malik, Solar passive building : Science and Design, Pergamon Press, International Series on Building Environmental Engineering, Vol. 2, Oxford and New York, 1986.
- 43) M. Santamouris and D. Asimakopoulos, Passive cooling of Buildings, London, James & James, 1996.
- 44) M. Santamouris, Natural convection heat and mass transfer through large openings, Model Development Subgroup Meeting, Lyon, 1992.
- 45) M. Santamouris, NORMA- A method to calculate the thermal performance of passively cooled buildings, cooling of Buildings, Vol.5, Dublin, University College Dublin, 1993.
- 46) M. Santamouris, Passive and Hybrid cooling projects in Greece, Processings of Building 2000 Workshop, Barcelona, 1988.
- 47) Nielsen, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, 1974.
- 48) R. F. White, Effects of Landscape Development on the Natural Ventilation

- of Buildings and heir Adjacent Areas, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1954.
- 49) R. H. Reed, Design for Natural Ventilation in Hot Humid Weather, Reprint from Housing and Building in Hot Humid and Hot Dry Climates, Washington, D. C. National Research Council, 1953.
 - 50) R. M. Aynsley, W. Melbourne, and B. J. Vickery, Architectural Aerodynamics, London, Applied Science Publishers, 1977.
 - 51) R. P. Schubert, and P. Hahn, The design and testing of a high performance ventilator cowl, Boulder, ASES, 1983.
 - 52) S. B. Darliel and G. f. Lane-Serff, The hydraulics of doorway exchange flows, Building and Environment, Vol. 26, No.2, pp.121-135, 1991.
 - 53) S. B. Riffat, A study of heat and mass transfer through a doorway in a traditionally built house, ASHRAE Transactions, pp. 584-589, 1989.
 - 54) S. Chandra, A design procedure to size windows for naturally ventilated rooms, 8th National Passive Solar Conference, 1983.
 - 55) S. Chandra, Low Energy Design for Schools and Public Buildings, Natural Ventilation Vol.II, Florida Solar Energy Center, 1985.
 - 56) S. Chandra, P. Fairey and M. Houston, A Handbook for Designing Ventilated Buildings, Florida Solar Energy Center, 1983.
 - 57) S. Chandra, P. W. Fairey, and M. M. Houston, Analysis of Residential Passive Design Techniques for the Florida Model Energy Code, Florida Solar Energy Center, 1984.
 - 58) T. Kusuda, Savings in Electric Cooling Energy by the Use of a Whole House Fan, Gaitherburg, National Bureau of Standards, 1981.
 - 59) T. R. Holleman, Air Flow through Conventional Window Openings, Texas A&M University, Texas Engineering Experiment Station, 1951.
 - 60) Terry S. Boutet, Controlling Air Movements, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.
 - 61) van Straaten, J.F., Thermal Performance of Buildings, Amsterdam: Elsevier, 1967.
 - 62) W. C. Carroll, Passive Cooling Technology Assessments, Berkeley, Lawrence Berkeley Laboratory, 1982.

ABSTRACT

The objective of the study is to present architectural design strategies to maximize the utilization natural ventilation in apartment houses as a means of providing human comfort and energy conservation. After having confirmed through the climatic analysis that natural ventilation is the most appropriate natural cooling strategy for the Korean climatic conditions, simulations were conducted to analyze the ventilation performance of typical apartment designs qualitatively and quantitatively. The simulation tools used for the research were water mapping table, wind tunnel and Phoenics CFD program. The strategies were presented for the various design levels such as building block design, unit dwelling design, unit space design and detailed elements design.

The results of the study can be summarized as follows:

1. Natural Ventilation Performance and Strategies at Building Block Design Stage

1) The comparison of average wind pressure difference shows that '45° bent I-shape block is the most effective block shape in terms of ventilation performance. L-shape and simple I-shape are also shown to be relatively effective. However, I shape requires detailed analysis of prevailing wind direction since its performance varies greatly depending on the block orientation.

2) The optimum block orientation toward prevailing wind direction are found to be 45° or 315° , although the performance differs slightly according to the block shape.

3) As the height of the building block increases, the length of wind shadow behind the block increases, and so does the wind pressure difference. On the other hand, the variations of block shape have little effect on the wind pattern and pressure difference.

2. Natural Ventilation Performance and Strategies at Unit Dwelling Design Stage

1) The result of the analysis of ventilation performance on the eight typical plans of unit dwelling in terms of wind pattern, quantity of inflow wind and indoor wind velocity indicates that the most important factor in evaluating the ventilation performance at unit dwelling design is whether the main stream of the wind flows through the living area of every space, and living space in particular. The second most important factor to be considered at this level is whether sufficient quantity of air is introduced to the spaces.

2) In order to ensure the sufficient quantity and good distribution pattern of ventilation air in a dwelling unit, the space zoning should be made considering the connection between the front and rear spaces of the unit. Since the overall airflow pattern is determined at the unit plan design stage, the plan should be organized in such a way that the wind routes for all the spaces be secured and air flow pass through the living zone.

3) In general, there are certain restrictions in space organization and opening scheme to ensure that all the spaces in a house have sufficient air quantity for all directions of wind. Therefore, in designing natural ventilation, it is important to consider the space use patterns and to allow priority to those spaces to be used frequently by family members such as living room, kitchen and dining room.

4) Since the wind directions change occasionally throughout the day, the plan should be made considering the wind flowing from the rear side of the house.

3. Natural Ventilation Strategies at Unit Space Design Stage

1) Shape of Bedroom: As the width of front wall increases, it is possible to increase the window area and the quantity of air flow into a room will be maximized. However, if the window area can not be increased due to certain restrictions, then a room with deep plan has better ventilation performance than a room with wider plan shape.

2) Shape of Living Room/Dining Room/Kitchen: In case if the kitchen and dining room which are located at the rear side cannot have optimum window area, the deep rectangular plan shape performs better. On the other hand, if sufficient area of window can be dispersed at the rear side, irregular polygon shape is better in terms of ventilation performance.

3) Inside Door Partition between Living Room and Dining Room: It is desirable not to install inside door between living room and dining room from natural ventilation point of view. However, if installed, the area of the door opening should be equal to or larger than the rearside out-flow window area. The sliding door which slides into the wall performs better than simple double-sliding door.

4) Type of Window: The type of window should be selected according to prevailing wind directions, the location of window installation and expected degree of natural ventilation. The generally-used sliding windows show great deviations of wind pattern distribution depending on window opening method, and its useful window opening area is only 45% which in turn reduces wind quantity at the same amount. Swing window and vertical

pivoted window have an effect of increasing the net opening area by 35% and 40% respectively, compared to the sliding window with the same window area, thus improves ventilation performance. Although the single-hung window with the shape of long horizontal opening has a small net opening area, it has little deviation in ventilation air quantity and also shows relatively good air distribution.

5) If the window sash is installed in the front balcony, it reduces air quantity greatly. Therefore, when the sash is to be installed, the net opening area of the sash should be designed to be larger than the wall window area.

4. The case study was conducted to demonstrate how to apply the proposed natural ventilation design strategies in the real design process. The result of the case study indicates that the careful consideration of natural ventilation at all stages of design process can greatly improve the building performance in terms of natural ventilation, without altering any space or functional requirements.

感謝의 글

이 작은 결실이 있기까지 많은 도움을 주신 여러분께 진심으로 感謝드리며 본 논문이 이제 시작이라는 각오로 열심히 학문에 정진하겠습니다.

중앙대학교에 입학한 때부터 지금까지 폭넓은 학문의 가르침과 생활에 귀감이 되시며 삶의 지표를 세워주신 이연구 교수님께 깊이 感謝드립니다. 지난 10여년간 세계 학문의 폭을 넓혀주시고 많은 관심과 충고를 아끼지 않으신 이명호 교수님, 이현호 교수님, 정현수 교수님, 김덕재 교수님, 신현식 교수님, 최윤경 교수님과 박찬식 교수님께 진심으로 感謝드립니다. 예비발표에서 논문의 완성까지 세심한 지적과 자상한 조언을 아끼지 않으신 김광우 교수님, 이현우 교수님께도 깊이 感謝드립니다. 프로젝트를 통해 아낌없는 조언과 많은 도움을 주신 김신도 교수님, 유호천 교수님, 조균형 교수님과 태원진 교수님께도 感謝드리며 대학원 생활동안 많은 가르침을 주신 손세관 교수님, 이상우 교수님, 김정태 교수님, 오양기 교수님과 김종진 교수님께도 感謝의 뜻을 전합니다. 이 짧은 지면에 고마운 분들에 대한 제 感謝의 뜻을 모두 표현하기란 불가능한 것 같습니다. 은사님께서 배풀어주신 깊은 사랑과 은혜는 앞으로 제 생활의 뿌리가 될 것이며 자랑스런 제자가 되기 위해 노력하겠습니다.

항상 보이지 않는 관심과 아낌없는 격려를 해주시는 전봉구교수님, 황정하교수님, 안태경교수님과 대학원 과정 내내 많은 충고와 도움을 주신 송국섭교수님, 박신철교수님, 권영철교수님께도 감사드리며 어려울 때 힘이 되어 준 전주영 언니께도 感謝의 뜻을 전합니다. 많은 도움과 따뜻한 격려를 잊지 않는 김남규교수님, 김세훈교수님, 이동주교수님, 전성원오빠께도 感謝드리며 바쁜 와중에 시간을 내어 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 도와준 김완기, 김윤일, 정지윤, 고준성후배님께도 感謝드립니다.

또한 밤샘도 마다 않고 고생해 준 류홍선, 김성준, 김영준 후배님께 깊이 感謝드리고 특히 그래픽 작업을 도와주느라 고생한 막내 지원이와 사진작업을 도와준 준원아에게도 感謝의 뜻을 전합니다.

무엇보다 지극하신 사랑과 희생으로 항상 용기를 북돋아주신 아버님, 어머님, 항상 보이지 않게 힘이 되어주신 할머니님, 할아버님께 본 논문을 바칩니다.

1999년 6월

나 수 연

