

第 84 回 博士學位論文

指導教授 李 彦 求

하이브리드 환기시스템을 적용한
공동주택의 환기성능 향상방안에 관한 연구

Improvement of Ventilation Performance
in Apartment Housing
by Hybrid Ventilation System

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

全 炷 英

2008年 12月

하이브리드 환기시스템을 적용한 공동주택
의 환기성능 향상방안에 관한 연구

Improvement of Ventilation Performance
in Apartment Housing
by Hybrid Ventilation System

이 論文을 博士學位論文으로 提出함.

2008年 12月

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

全 炆 英

全炆英의 博士學位論文으로 認定함.

審查委員 長 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

審 查 委 員 _____ ㉠

中央大學校 大學院

2008年 12月

제 목 차 례

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 내용	4
1.2.1 연구의 범위	4
1.2.2 연구의 내용 및 방법	5
1.3 국내외 연구동향	9
제 2 장 하이브리드 환기시스템 특성 고찰	17
2.1 하이브리드 환기시스템의 정의	17
2.2 하이브리드 환기시스템의 국내외 설치사례	20
2.2.1 국내 사례	20
2.2.2 국외 사례	25
2.2.3 국내외 사례 분석	38
제 3 장 환기기준 및 환기성능 평가지표에 대한 이론적 고찰	40
3.1 국내외 환기기준	40
3.1.1 국내 환기기준	40
3.1.2 국외 환기기준	43
3.2 환기성능 평가지표	53
3.2.1 환기효율의 정의	53
3.2.2 환기효율의 지표 및 산출법	56
제 4 장 하이브리드 환기시스템의 현장 실험	64

4.1 환기시스템 현장 실험	64
4.1.1 실험 개요	64
4.1.2 실험 방법	72
4.2 환기시스템 성능 측정	76
4.2.1 실내외 온·습도 측정	76
4.2.2 자연 침기량 측정	78
4.2.3 환기성능 측정	79
4.3 소 결	82
 제 5 장 하이브리드 환기시스템의 환기효율 CFD 시뮬레이션 검증	84
5.1 CFD 시뮬레이션 개요	84
5.1.1 CFD 시뮬레이션 개념	84
5.1.2 CFD 시뮬레이션 이론	85
5.2 현장실험과 비교한 CFD 시뮬레이션의 신뢰도 검증	91
5.2.1 CFD 시뮬레이션 개요 및 경계조건	92
5.2.2 CFD 시뮬레이션을 이용한 현장 환기시스템 성능 평가	97
5.2.3 시뮬레이션 결과 및 현장실험 결과 비교 검증	98
5.3 소 결	100
 제 6 장 CFD 시뮬레이션을 이용한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안	102
6.1 CFD 시뮬레이션 개요	102
6.1.1 시뮬레이션 경계조건	102
6.1.2 환기성능 향상을 위한 CFD 시뮬레이션	113
6.2 하이브리드 환기시스템 (HB:창틀자연급기+욕실·거실배기)	118
6.2.1 시뮬레이션 개요	118
6.2.2 시뮬레이션 결과	121
6.2.3 결과 분석	142

6.3 하이브리드 환기시스템 (HD:창틀자연급기+덕트배기)	148
6.3.1 시뮬레이션 개요	148
6.3.2 시뮬레이션 결과	151
6.3.3 결과 분석	167
6.4 소 결	172
 제 7 장 결론	 174
 참고문헌	 179
 부 록	 185
 국문초록	 215
 영문초록	 219

표 차 례

<표 2.1> 성남관교 D주택 하이브리드 환기시스템 설치 상세도	21
<표 2.2> 성남관교 D주택 B5-2BL 환기시스템 선정 고려사항	22
<표 2.3> 화성동탄 B주택 하이브리드 환기시스템의 구성요소	23
<표 2.4> 일본 미쓰비시社의 환기시스템 선정 방법	32
<표 2.5> 후지타 기술센터 자연통풍모드 운전조건	37
<표 2.6> 국내외 하이브리드 환기시스템 설치사례 특징	39
<표 3.1> 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 개정령(건설교통부령497호) ...	42
<표 3.2> ASHRAE 62-2001 주거용 건물 환기기준	44
<표 3.3> 실내 오염물질 조절방법 및 제거를 위한 최소 환기량	45
<표 3.4> 건물특성 및 등급에 따른 환기량(유럽 CEN/TC156)	46
<표 3.5> 주거용 건물의 환기기준(유럽 CEN/TC156)	46
<표 3.6> 건축재료 등급기준	47
<표 3.7> 거실의 종류에 따른 환기횟수	48
<표 3.8> 재실인원당 필요환기량	49
<표 3.9> 건축자재 및 재실자 이외의 오염원에 대한 환기량	50
<표 3.10> 주요 국가의 환기 규정(Standards, Codes & Regulations)	51
<표 3.11> 외국 주거용 건물의 실별 환기 기준	52
<표 3.12> 환기효율의 정의방법에 따른 특징	54
<표 4.1> 현장실험 개요	66
<표 4.2> 환기시스템 설치 현황	66
<표 4.3> 하이브리드 환기시스템 채원	68
<표 4.4> 실험기자재	75
<표 4.5> 실내외 평균 온·습도 측정결과	77
<표 4.6> 자연 침기량 측정결과	79
<표 4.7> 환기시스템별 환기효율 측정결과	80
<표 5.1> CFD 시뮬레이션 조건	94

<표 5.2> CFD 시뮬레이션 검증 단위세대 평면 및 환기장치 설치 위치 ..	96
<표 5.3> CFD 시뮬레이션 경계조건	96
<표 5.4> 검증 단위세대 CFD 시뮬레이션 결과(공기연령: 1.5m)	97
<표 5.5> 환기량 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과	98
<표 5.6> 환기량 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과 비교	100
<표 6.1> 입구 경계조건	103
<표 6.2> 풍향별 관측횟수의 백분율(%)	105
<표 6.3> 풍향별 평균 풍속(m/s)	106
<표 6.4> 시뮬레이션 대상 조건	107
<표 6.5> 대상세대 압력분포 결과	112
<표 6.6> CFD 시뮬레이션 조건	115
<표 6.7> CFD 시뮬레이션 경계조건	115
<표 6.8> CFD 시뮬레이션 유형	117
<표 6.9> 하이브리드 환기시스템(HB : 창틀자연급기+욕실 · 거실배기) CFD시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대중심쪽)	119
<표 6.10> 하이브리드 환기시스템(HB : 창틀자연급기+욕실 · 거실배기) CFD시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대경계쪽)	120
<표 6.11> 하이브리드 환기시스템(HB : 창틀자연급기+욕실 · 거실배기) 환기효율 결과	143
<표 6.12> 하이브리드 환기시스템(HD : 창틀자연급기+덕트배기) CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대중심쪽)	149
<표 6.13> 하이브리드 환기시스템(HD : 창틀자연급기+덕트배기) CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대경계쪽)	150
<표 6.14> 하이브리드 환기시스템(HD : 창틀자연급기+덕트배기) 환기효율 결과	168

그 립 차 례

(그림 1.1) 연구 흐름도	8
(그림 1.2) EC RESHYVENT의 하이브리드 환기시스템 개발사례	15
(그림 2.1) 하이브리드 환기방식의 유형별 개념	18
(그림 2.2) 성남 판교 D주택 전경	21
(그림 2.3) 화성동탄 B주택 하이브리드 환기시스템 개념도	24
(그림 2.4) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템	25
(그림 2.5) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 개념도	26
(그림 2.6) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 특징	27
(그림 2.7) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 센서	27
(그림 2.8) European NatVent 프로젝트 환기시스템 설계도	28
(그림 2.9) 가지마건설의 24시간 환기 뉴플랫코어방식의 실외기	30
(그림 2.10) 가지마건설의 24시간 하이브리드 환기시스템	31
(그림 2.11) 일본 도호쿠대의 하이브리드 환기시스템(환기실험동)	33
(그림 2.12) 일본 도호쿠대의 하이브리드 환기시스템 개념	34
(그림 2.13) 후지타 기술센터의 자연통풍 계획 개요	35
(그림 2.14) 후지타 기술센터의 평면도 및 통풍 개구부	35
(그림 3.1) 공기연령과 잔여체류시간의 개념	55
(그림 3.2) 추적가스주입방법(펄스법)에 따른 농도변화	58
(그림 3.3) 추적가스주입방법(농도감쇠법)에 따른 농도변화	59
(그림 3.4) 추적가스주입방법(일정농도상승법)에 따른 농도변화	61
(그림 4.1) 하이브리드 환기시스템 실험세대 모습	65
(그림 4.2) 실험 단지 배치도	65
(그림 4.3) 기준층 전체 평면도	65
(그림 4.4) 창틀설치형 자연환기장치 내부와 외부에서의 설치 모습	66
(그림 4.5) 창틀자연급기+욕실·거실배기 환기시스템 설치 도면	69
(그림 4.6) 창틀자연급기+욕실·거실배기 환기시스템 설치 사진	69

(그림 4.7) 창틀자연급기+덕트배기 환기시스템 설치 도면	70
(그림 4.8) 창틀자연급기+덕트배기 환기시스템 설치 사진	70
(그림 4.9) 실험기자재	74
(그림 4.10) 실내외 온·습도 측정결과	77
(그림 4.11) 자연 침기량 측정결과	78
(그림 4.12) 환기량 측정결과	80
(그림 5.1) 수치 시뮬레이션의 흐름	85
(그림 5.2) 시뮬레이션 프로그램 구조	89
(그림 5.3) 시뮬레이션 프로세스	90
(그림 5.4) 대상 단지 시뮬레이션 모델	93
(그림 5.5) 대상 세대동 모델 상세모습	93
(그림 5.6) 대상 단지 주변의 기류분포	95
(그림 5.7) 대상 단지 주변의 압력분포	95
(그림 6.1) 서울지역 풍배도(30년간:1970~2000)	105
(그림 6.2) 대상 세대동 시뮬레이션 모델	107
(그림 6.3) 대상 세대동 모델 상세 모습	108
(그림 6.4) 대상 세대동 주변의 기류분포(10m)	109
(그림 6.5) 대상 세대동 주변의 압력분포(10m)	109
(그림 6.6) 대상 세대동 주변의 기류분포(20m)	110
(그림 6.7) 대상 세대동 주변의 압력분포(20m)	110
(그림 6.8) 대상 세대동 주변의 기류분포(30m)	111
(그림 6.9) 대상 세대동 주변의 기류분포(30m)	111
(그림 6.10) 시뮬레이션 대상세대 압력분포	112
(그림 6.11) 하이브리드 환기시스템 설치 모습	114
(그림 6.12) 대상 단위세대 시뮬레이션 모델	114
(그림 6.13) 모델 상세 모습(mesh)	114
(그림 6.14) HB_CA CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	122
(그림 6.15) HB_CB CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	123
(그림 6.16) HB_CC CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	124

(그림 6.17) HB_CD CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	125
(그림 6.18) HB_CE CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	127
(그림 6.19) HB_CF CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	128
(그림 6.20) HB_CG CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	129
(그림 6.21) HB_CH CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	131
(그림 6.22) HB_BA CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	132
(그림 6.23) HB_BB CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	133
(그림 6.24) HB_BC CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	135
(그림 6.25) HB_BD CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	136
(그림 6.26) HB_BE CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	137
(그림 6.27) HB_BF CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	139
(그림 6.28) HB_BG CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	140
(그림 6.29) HB_BH CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	142
(그림 6.30) 급기구 위치에 따른 환기효율	144
(그림 6.31) 배기구 위치에 따른 환기효율	145
(그림 6.32) 배기구 개수에 따른 환기효율	146
(그림 6.33) HD_CA CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	152
(그림 6.34) HD_CB CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	153
(그림 6.35) HD_CC CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	154
(그림 6.36) HD_CD CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	156
(그림 6.37) HD_CE CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	157
(그림 6.38) HD_CF CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	158
(그림 6.39) HD_BA CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	160
(그림 6.40) HD_BB CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	161
(그림 6.41) HD_BC CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	162
(그림 6.42) HD_BD CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	164
(그림 6.43) HD_BE CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	165
(그림 6.44) HD_BF CFD 시뮬레이션 결과(Age of air)	167
(그림 6.45) 급기구 위치에 따른 환기효율	169

(그림 6.46) 배기구 위치에 따른 환기효율	170
(그림 6.47) 배기구 개수에 따른 환기효율	171

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1960년대 이후 우리나라는 급속한 산업화를 통한 경제발전으로 삶의 질이 향상되었으나 한편으로는 무분별한 개발을 통한 심각한 환경오염 문제를 발생시켰다. 각 산업분야에서는 1990년대부터 이러한 환경오염 문제의 심각성을 인식하고 환경문제의 개선 및 친환경 기술에 대한 개발이 이루어지기 시작했다. 특히, 현대인이 대부분의 시간을 실내에서 생활하게 됨으로써 실내에서 발생하는 각종 오염물질의 인체에 미치는 영향이 중요한 문제가 되었으며, 이의 해결을 위한 발생 오염물질 규명 및 개선에 대한 노력들이 1990년대 이후 지속적으로 이루어지게 되었다.

우리나라는 2004년 5월, 환경부의 ‘다중이용시설등의 실내공기질 관리법’을 개정하였으며, 개정과 더불어 각 언론매체들이 새집증후군과 관련된 실내의 공기환경 문제를 국민에게 알리면서 공동주택에 있어서의 실내공기환경의 중요성이 심각하게 인식되어왔다. 불특정 다수가 일시적으로 이용하는 다중이용시설과 달리 공동주택의 경우는 소수 특정인들이 지속적으로 사용하고 거주하는 공간이며, 또한 면역력이 약한 노인과 어린이 등의 노약자가 하루 중 대부분의 시간을 주로 거주하기 때문에 아토피피부병, 화학물질과민증과 같은 새 건물로 인하여 발생하는 질병(SBS, Sick Building Syndrome, 새집증후군)이 더욱 크게 사회적문제가 되어왔다.

실내공기질을 개선하는 방법은 크게 실내공기질을 오염시키는 발생원을 직접적으로 제어하는 방법과 오염된 실내공기를 외부로 배출시키는 환기에 의한 방법이 있다. ‘다중이용시설 등의 실내공기질 관리법’이 개정된 이후 새집증후군을 해결하기 위하여 다중이용시설의 필요환기량 산정 및 환기설비 설치기준에 대한 연구¹⁾를 기반으로 환기시스템 관련 법령으로서 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’이 개정(2006년 2월)되어 시행되었다. 개정이유는 건축자재 및 가구 등에서 방출되는 유해화학물질로 인한 실내공기질 문제를 효과적으로 개선하기 위하여 신축 공동주택 및 리모델링 공동주택의 환기설비

1) 환경부, ‘다중이용시설등의 환기설비 설치기준 설정 연구’, 2005. 3

기준을 마련하여 국민의 건강 증진에 기여하고자 하는 목적에 의해서다. 주요 개정내용은 공동주택의 경우 필요 환기량을 시간당 0.7회 이상이 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하도록 규정하고 있다²⁾. 또한, 신축공동주택에 자연환기설비를 설치하는 경우에는 자연환기설비가 환기횟수를 충족하는 지에 대하여 지방건축위원회 심의를 받도록 되어 있으며, 기계환기설비를 설치하는 경우에는 별도의 설치기준에 적합해야 한다³⁾.

환기설비 관련 법개정에 따라 환기설비 시장규모도 커졌으며, 특허청의 발표자료⁴⁾에 의하면 2008년 5,500억원 규모의 환기설비 시장이 2010년에는 1조 원 규모로 성장할 것으로 전망하고 있다. 또한, 2001년 49건에 불과하였던 환기설비 관련 특허출원이 최근 3년간(2005~2007) 887건이 출원되었다. 기술개발 발전과 더불어 법 개정초기의 환기설비시스템은 대부분 수입에 의존하여 고가였으나 현재는 환기장치 비용이 상당부분 저감되었다. 그러나, 환기장치의 성능 및 환기시스템 가동을 통해 발생하는 에너지손실을 회수하기 위한 열교환기의 성능에 대한 검증은 검토되지 못한 채 가격, 시공의 용이성, 디자인 등이 우선되어 적용되고 있는 실정이다. 따라서, 실질적으로 시스템을 사용하게 되는 사용자 입장에서의 환기의 효율성, 환기시스템의 초기투자비의 적정성, 사용의 용이성, 유지관리비의 경제성, 청소 및 관리의 편의성 등에 대한 검토 및 분석이 종합적으로 이루어져야 한다.

최근 환기설비시스템의 설치사례를 살펴보면, 대규모로 건설되고 있는 중대형 이상의 공동주택 및 주상복합 등의 대형 고급주택에서는 열교환 기능의 환기설비 설치가 일반적이며, 일부 자동센서 연동형 환기시스템이 설치되는 사례도 있다. 또한, 공동주택을 대상으로 한 ‘친환경건축물 인증제도’ 및 ‘주택 성능등급 표시제도’가 활성화되면서 공동주택에 시간당 0.7회 이상의 환기설비(자연환기설비 포함)와 더불어 열교환기 및 고성능외기청정필터의 설치도 유도되고 있다. 그러나 일반 소형 공동주택의 경우는 대부분 창 및 자연환기 장치에 의존하거나 배기팬을 활용한 환기장치를 설치하여 환기기준을 만족시키고 있다.

2) 건설교통부, ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’(건설교통부령 제497호 개정), 2006.2

3) 건설교통부, ‘공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서’, 2006.6

4) 특허청, ‘웰빙 바람타고 환기설비 출원 증가’, 2008. 6.17

제도상으로는 자연환기의 경우 시간당 0.7회의 환기량 확보여부의 입증 및 환기경로 계획이 이루어지면 인정되는 것으로 되어있으나 자연환기의 성능확보에 대한 검증이 어려울 뿐만 아니라, 각종 시뮬레이션을 통한 성능예측 자료를 첨부하더라도 사업승인 단계에서 통과되지 못하는 경우가 많다. 또한, 자연환기시스템으로 시간당 0.7회의 환기량이 확보된다 할지라도 기상조건에 따라 환기성능이 달라지고 제어가 어려우며, 적용이 극히 제한적이라는 문제점과 자연환기를 강화할수록 에너지 손실이 증대될 수 있다는 문제점이 발생한다. 건물이 고층화되면서 고층부의 경우 돌풍 등의 영향으로 자연환기장치 및 창문 개폐를 통한 환기는 더욱 어려운 실정이며 외부공기가 오염된 도심지나 산업시설 인근의 공동주택의 경우 자연환기를 통한 외기도입은 실내공기를 더욱 악화시키는 주요 원인이 될 수 있다.

따라서 개정된 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'에서 제시하고 있는 환기성능에 적합하고 신축 공동주택의 새집증후군 관련 문제를 적극적으로 개선할 수 있으며 입주자의 사용 및 관리 용이성이 반영된 환기시스템에 대한 성능뿐 만 아니라 경제성에 대한 검토도 종합적으로 필요하다. 환기설비 설치를 위한 초기시공비, 사용 시의 관리운영비 및 에너지비용은 그대로 소비자에게 전가되기 때문에, 소형공동주택 일수록 무엇보다도 설치에 따른 비용 문제가 큰 부담이 될 수 있으므로 보다 저렴하면서 관리와 운영이 효율적인 환기시스템이 요구된다.

소형 공동주택은 공간이 비교적 작기 때문에 과도한 기계환기시스템의 설치보다 적절한 환기시스템의 설치로 효율성을 집중, 증대시킬 수 있는 비용이 저렴하고 관리운영이 용이한 하이브리드 환기시스템⁵⁾의 적용이 용이하다. 그러나 하이브리드 환기시스템의 환기성능에 대한 검증 연구가 아직 미흡하며, 공동주택에 적용하기 위한 설계방법에 대한 구체적인 자료가 현재는 부족한 실정이다.

국토해양부에서 2006년 6월 제시한, '공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서'⁶⁾에 의하면, 하이브리드 환기방식의 경우 실물실험(full-scale

5) 원종서 외, '공동주택 발코니 공간을 이용한 하이브리드 환기시스템의 성능 평가', 대한건축학회 논문집 제23권 제5호, 2007, pp.187~194

6) 국토해양부, '공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서', 2006,

test), 축소모형실험(mock-up test), 또는 CFD(Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션 등의 실험이나 해석 방법 중 하나로 필요환기량, 0.7회/h 확보가 입증될 경우 인정하도록 제시되어있다. 실물실험과 축소모형실험의 경우, 실내외온도 및 풍속, 실내외 압력차와 같은 실내외 조건을 맞추기 위하여 인공 기후챔버 같은 인위적 기후조성 실험시설이 필요하며, 모든 평면유형에 대하여 실물모형 또는 축소모형을 만들어 성능실험을 해야 하는 어려운 점이 있다. CFD 시뮬레이션의 경우는 이상의 두가지 방법과 비교하여 적용이 용이하나 신뢰성부분에서 문제가 되고 있다.

이에 본 연구는 공동주택에 하이브리드 환기시스템의 적용가능성을 평가하여 환기성능 개선을 위한 환기설계방안을 제시하며, 환기성능 평가방법으로서 현장 실험과 비교하여 검증된 CFD 시뮬레이션의 활용 방법을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

1.2 연구의 범위 및 내용

1.2.1 연구의 범위

하이브리드 환기시스템의 유형과 공동주택의 범위는 매우 광범위하여 포괄적인 연구결과와 도출이 어려우며, 또한 도출결과의 활용적 측면에서도 연구 범위에 따라 활용이 제한적일 수 있기 때문에 본 연구에서는 연구의 대상 범위를 다음과 같이 설정하여 연구를 수행하였다.

(1) 하이브리드 환기시스템

본 연구에서는 하이브리드 환기시스템의 적용원리에 따라 분류할 수 있는 자연환기+보조팬 환기방식과 자연환기+기계환기방식을 적용하였다. 자연환기 방식으로서는 창틀자연급기구를 활용하였으며, 보조팬 환기방식으로는 기존 공동주택에서 적용이 용이한 욕실배기팬 연동형 방식과 기계환기방식으로는 각실 덕트배기 방식을 적용하였다. 하이브리드 환기시스템의 운용적 측면에서 분류될 수 있는 자연환기와 기계환기의 독립적 운용과 동시운용에 대한

제어적 측면은 연구범위에서 고려하지 않았다.

(2) 연구대상 공동주택의 유형

하이브리드 환기시스템의 환기성능 평가를 위한 현장실험 및 CFD 시뮬레이션 대상 공동주택은 대상 평면의 종횡변 길이가 짧고 공간이 비교적 작아 하이브리드 환기시스템의 성능 활용이 유리한 소형 공동주택을 선정하였다.

소형 공동주택의 유형은 주로 소형 위주로 건설되고 있는 임대주택 건설사업 중에서 대한주택공사의 기본 표준평면으로 활용되고 있는 51㎡를 활용하였으며, 발코니 미확장 및 새시가 미설치된 복도식 타입으로 구성되어 있다.

(3) 하이브리드 환기시스템의 성능평가

실제 하이브리드 환기시스템을 공동주택에 적용하기 위해서는 하이브리드 환기시스템에 대한 종합적 성능 검토가 필요하다. 즉, 기본요소인 환기성능, 초기 시공비 및 운영유지비와 관련한 경제성능, 설치 및 시공 성능, 사용 및 관리 성능, 내구성능, 저소음성능 등의 복합적 성능이 검토되어야 한다. 또한 환기성능에는 실내공기 오염농도 개선 성능, 기류분배 성능, 에너지절약 성능이 포함된다. 본 연구에서는 하이브리드 환기시스템의 성능범주 중 환기성능에 대하여 검토하였으며, 기류분배성능 중심의 평가지표인 환기효율을 중심으로 환기성능을 평가하였다.

1.2.2 연구의 내용 및 방법

공동주택에 하이브리드 환기시스템의 적용 가능성을 검토하고, 환기성능 검증 방법으로서 현장실험을 통한 CFD시뮬레이션 검증과 환기시스템 설계 및 성능 향상방안에 대한 CFD 시뮬레이션 활용방안에 대하여 제시하고자 한 본 연구는 하이브리드 환기시스템 및 환기기준, 환기성능 평가에 대한 이론적 고찰부분, 하이브리드 환기시스템 환기성능 현장실험부분, CFD 시뮬레이션의 현장실험과의 비교 검증, 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안 도출

을 위한 CFD 시뮬레이션 활용방안 순으로 진행되었으며 각 단계별 주요 내용 및 방법은 다음과 같다.

(1) 공동주택의 환기시스템 및 하이브리드 환기시스템에 관한 기존문헌 고찰

공동주택의 환기시스템 관련 국내외 연구 동향을 조사하고, 국내외 적용 사례를 조사하여 특성을 고찰함으로써, 공동주택에 적합한 하이브리드 환기시스템을 파악하였다.

(2) 공동주택의 환기기준 및 환기성능 평가에 관한 이론적 고찰

공동주택의 국내외 환기기준을 조사하여 실내공기질을 확보하기 위한 공동주택의 필요 환기량을 고찰하고, 환기시스템의 환기성능 평가 방법들을 고찰하여 Mock Up 현장실험을 통한 환기성능 평가방법 및 CFD 시뮬레이션의 환기성능 평가방법으로 활용하였다.

(3) 공동주택의 하이브리드 환기시스템 현장 실측을 통한 성능 평가

창틀설치형 자연환기장치와 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치 및 덕트배기장치의 하이브리드 환기시스템을 소형 공동주택 현장에 시공하여 동절기의 환기성능을 측정하였으며, 현장 측정결과를 통하여 하이브리드 환기시스템의 효율성을 확인하였다.

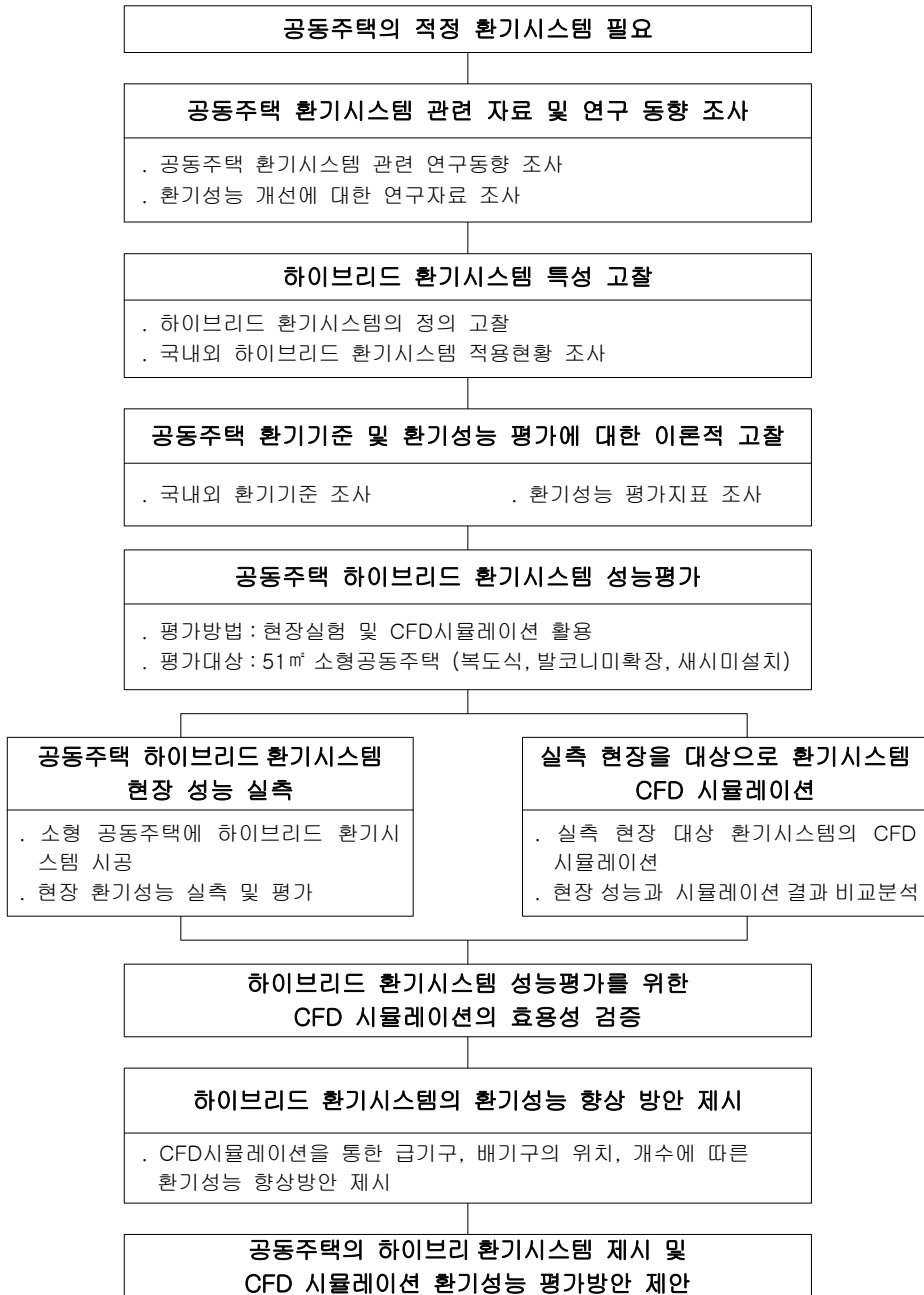
(4) CFD 시뮬레이션 기법을 활용한 하이브리드 환기시스템 성능 검증

현장실측 공동주택을 대상으로 환기방식별 환기효율을 CFD 시뮬레이션 기법을 이용하여 해석하였다. 실측시와 동일한 조건을 모델링하여 시뮬레이션한 후 결과를 실측치과 비교·분석함으로써 시뮬레이션 해석기법의 신뢰도를 확보하였으며, 이후 공동주택에 적용하기 위한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안 제시를 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

(5) CFD 시뮬레이션을 활용한 하이브리드 환기시스템 환기효율 향상 방안 제시

현장실측 및 CFD 시뮬레이션 검증을 통하여 소형 공동주택의 환기성능이 입증된 하이브리드 환기시스템에 대하여 환기효율 개선을 위한 급배기구의 위치 및 적정 급배기구 수 등의 환기계획에 대하여 CFD 시뮬레이션 기법을 통하여 제시함으로써, 공동주택에 적용 가능한 하이브리드 환기시스템을 제안하고 환기시스템의 효율적인 활용을 유도하고자 하였다.

본 연구의 세부 추진 흐름도는 다음(그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

1.3 국내외 연구 동향

우리나라 공동주택의 실내공기환경 관련 연구는 1980년대 후반에서 1990년대 들어 현황 및 실태조사에 관한 연구가 일부 진행되기 시작하였으며, 1990년대 후반에는 공동주택의 새집증후군 및 실내공기질과 입주민의 건강에 관련된 문제들을 매스컴에서 활발하게 보도하기 시작했다. 이의 영향으로 1990년대 후반 및 2000년대 초반에 걸쳐서는 신축 공동주택 뿐만 아니라 사무실, 학교, 다중이용시설 등의 시설에도 조사연구가 널리 시행되었고, 건축 마감재 및 자재의 오염물질 방출량을 측정하고 마감재의 오염물질 방출량 및 실내공기질을 측정하는 방법론을 수립하기 위한 연구들이 활발하게 이루어졌다. 이와 같은 실내공기환경 문제가 사회적 문제로 확산되면서 2004년 환경부의 ‘다중이용시설등의 실내공기질 관리법’이 개정되었으며, 신축 공동주택의 실내공기질을 측정하여 입주민에게 공고하고 관련 승인기관에 제출하도록 제도가 개정되었다. 이와 더불어 국립환경과학원에서는 전국의 신축 1년 이내의 공동주택을 대상으로 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 오염정도에 대한 실태조사를 실시한 결과⁷⁾, 포름알데히드 오염수준 평균 $150.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 휘발성유기화합물 중 벤젠은 평균 $2.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 톨루엔 평균 $127.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 평균 $30.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자일렌 평균 $59.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 검출되었다. 공동주택 규모에 따른 포름알데히드 방출량은 규모가 증가할수록 감소하였으나 휘발성유기화합물은 증가하는 경향을 나타냈다. 층별 농도의 차이는 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 입주시기는 길수록 대체적으로 방출량이 감소하는 경향을 나타내는 것으로 조사되었다.

이와 같은 전국 실태조사를 기초 자료로 2006년에는 공동주택의 실내공기질 권고기준이 설정되고 권고기준을 달성하기 위한 필요 환기량 산정⁸⁾ 및 환기설비 설치기준이 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’의 개정을 통하여 시행되었다. 2000년대 초·중반기에는 공동주택의 필요 환기량 산정 연구 및 환기시스템 선정에 위한 성능 검증 및 실험연구들이 다수 수행되었다. 류영희 등⁹⁾은 일반 자재를 사용하는 경우 총휘발성유기화합물 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의

7) ‘전국 신축공동주택 실내공기질 실태조사’, 국립환경과학원, 2004

8) ‘다중이용시설등의 환기설비 설치기준 설정 연구’, 환경부, 2005

농도로 유지하기 위해서는 2 회/h에 가까운 환기량이 필요하며, 친환경건축자재 최우수등급의 자재가 적용될 경우 총휘발성유기화합물 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하가 되기 위해서는 적어도 0.4 회/h 이상의 환기량이 필요한 것으로 결과를 도출하였다. 최정민 등¹⁰⁾은 신축 공동주택의 거실과 침실을 대상으로 실내 사용 마감재의 친환경건축자재 인증등급 기준 및 가구재의 사용에 따른 환기량을 포름알데히드와 휘발성유기화합물의 배출 측면에서 산정하였다.

환기시스템 관련 연구동향은 2000년대 초·중반에는 공동주택에 적용하기 위한 환기설비시스템 및 환기설비시스템의 환기성능 향상을 위한 연구가 진행되었다. 김기훈 등¹¹⁾은 천장취출 및 흡입 방식의 기계환기시스템이 설치된 공동주택을 대상으로 환기효율을 실측 및 CFD 시뮬레이션을 통하여 환기효율을 향상시키기 위한 설비적 측면의 환기계획기법에 대하여 제시하였다. 고현준 등¹²⁾은 환기시스템 운전모드별 가동에 따른 실내공기질 제어특성을 실측조사하였다. 실측 결과는 환기모드(환기횟수 0.9 회/h)를 적용하였을 경우, 가동전 초기농도에 비하여 5시간 가동 후 포름알데히드 평균 52%, 총휘발성유기화합물 평균 38%의 제거율을 보였으며, 공기청정모드 적용의 경우 5시간 가동후 포름알데히드 평균 66%, 총휘발성유기화합물 평균 61%의 제거율을 나타냈다. 환기와 공기청정 통합모드의 경우 5시간 가동후 포름알데히드 및 총휘발성유기화합물 모두 평균 68%의 제거율을 나타냄으로써 통합모드가 빠른 시간내에 실내오염물질을 가장 효과적으로 제거하는 것을 실증하는 측정 결과를 도출하였다. 김동석 등¹³⁾은 CFD 시뮬레이션을 이용하여 실내의 오염농도 분포에 영향을 주는 급·배기구의 위치에 관한 해석을 실시하여 기계환기의 경우 급기구와 배기구의 위치관계가 환기효율을 결정하는 중요한 요인

9) 류영희 외, '공동주택 실내공기질 측정을 통한 현황 및 환기량과 자재종류에 따른 실내공기질 예측', 대한건축학회 2004 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 2004, pp.577~580.

10) 최정민 외, '건축 마감재와 가구재의 VOCs, HCHO 유해물질에 따른 공동주택 적정 환기량 산정에 관한 연구', 한국주거학회 논문집 제16권 제4호, 2005.8, pp.101~108.

11) 김기훈 외, '공동주택 환기시스템의 환기효율에 관한 연구', 대한설비공학회 2003 동계학술발표대회 논문집, 2003, pp.537~542.

12) 고현준 외, '공동주택용 환기시스템의 실내공기질 개선효과', 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005, pp.848~854.

13) 김동석 외, '공동주택 환기시스템의 환기성능 향상을 위한 최적 급·배기구 위치에 관한 연구', 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집 제25권 제1호, pp.343~346.

으로 작용한다는 결과를 도출하였다. 신선공기가 유입되어 충분히 혼합될 수 있도록 급·배기구의 간격을 확보하여야 하며 간격이 너무 길어질 경우 기류가 이동함에 있어 저항으로 작용하여 오히려 환기효율을 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있다고 제시하였다. 박우진 등¹⁴⁾은 천장덕트형과 바닥온돌형 환기시스템의 환기성능을 비교·평가하는 실험을 수행하였다. 측정결과 두 시스템 모두 가동시 채실자 2인일 때 CO₂ 농도가 1,000 ppm을 초과하지 않았으며, 천장덕트형은 시스템 가동 후 약 1시간 40분 경과 후 약 800 ppm에서 안정화되었고 바닥온돌형 시스템은 약 1시간 40분 경과 후 약 880 ppm에서 안정화 되는 측정결과를 도출하였다.

이와 같은 환기설비시스템에 대한 연구와 더불어 2000년대 중반 이후부터 현재까지는 하이브리드 환기시스템에 대한 연구들이 진행되기 시작했다. 상시 기계환기방식과 비교하여 하이브리드 환기방식이 에너지 절약적인 것¹⁵⁾으로 나타나고 시공 및 유지관리가 용이하다는 장점이 있어 공동주택의 하이브리드 환기시스템에 대한 연구들이 증가하고 있는 이유로 판단된다.

하이브리드 환기시스템 관련 연구들을 고찰하면 송의 등¹⁶⁾은 공동주택 발코니 공간을 이용한 하이브리드 환기방식에 대하여 수치적 해석방법을 활용하여 에너지소비량 등의 열환경적 측면을 평가하였고, 기류네트워크 해석모델을 활용하여 실내공기질을 평가하여 하이브리드 환기방식이 환기설비방식과 비교하여 열환경적 측면에서 큰 차이가 없으면서 실내공기질 개선효과와 에너지소비 절감효과가 있는 것을 확인하였다. 또한 이용준 등¹⁷⁾은 공동주택 하이브리드 환기시스템 적용시의 실내공기질 개선효과에 대한 성능평가를 실시하여 판상형 아파트에서 실내공기질 유지를 위하여 실내외 조건에 따라 자연환기와 기계환기 모드를 병용하는 하이브리드 환기시스템이 효과적인 것으로

14) 박우진 외, '초고층 공동주택 환기시스템의 환기성능 실험에 관한 연구', 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집 제25권 제1호, pp.419~422.

15) 원종서 외, '공동주택 발코니공간을 이용한 하이브리드 환기시스템의 성능 평가', 대한건축학회 논문집 제23권 제5호, 2007, pp.187~194.

16) 송의 외, '공동주택의 발코니 공간을 이용한 하이브리드 환기방식 제안', 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005, pp.807~813.

17) 이용준 외, '실내공기질을 고려한 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 성능평가', 대한건축학회 논문집 계획계 제21권 9호, 2005.9, pp.205~212.

로 평가하였다. 김상진 등¹⁸⁾은 분양 106m² 공동주택에 하이브리드 환기시스템 적용에 따른 실내기류분포, 온도분포, 오염농도 분포에 대하여 CFD (Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 실시한 결과, 냉방기에 하이브리드 환기시스템 적용에 따른 외기도입 시 실내 쾌적온도 범위를 만족하는 것으로 나타났으며, 환기시스템의 종류에 따른 차이는 거의 나타나지 않는 결과를 도출하였다. 또한 김건우 등¹⁹⁾은 창문일체형 Air-Screen 방식 하이브리드 환기시스템을 실험실에 설치하여 환기성능 및 공기정화 성능, 열성능 및 전력사용량을 측정하였으며, 측정결과 약 0.49 회/h의 환기량을 유지하며, 특히 실내로 유입되는 오염된 분진농도가 80%이상 저감되고 기존 전열교환기시스템과 비교하여 0.3℃ 높은 쾌적 환결과 전력사용량이 약 2배가량 감소하는 결과를 도출하였다. 김옥 등²⁰⁾은 자연급기+보조팬 방식을 이용한 창문일체형 하이브리드 환기시스템을 Mock-Up 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 환기시스템 미작동시와 작동시의 재실자 수의 변화에 따라 실험하였으며, 미작동시 재실인원 1인일 경우 약 3시간 경과 후 CO₂ 가스 기준농도인 1,000 ppm을 초과하고, 재실인원 2인 일 경우 약 1시간 후, 재실인원 3인 일 경우 약 30분 경과 후 기준치를 초과하였으나 하이브리드 환기시스템 가동시에는 모두 기준치 이하로 나타났다. 또한, 밀폐된 실내에서 오염물질 발생시 자연급기와 보조팬 방식의 하이브리드 방식으로 0.7 회/h 이상의 환기량을 지속적으로 유지할 수 있었으며 오염농도가 모두 기준치 이하가 됨을 확인하였다.

이상과 같은 국내 하이브리드 환기시스템의 환기성능 예측 및 Mock-Up 실험 결과를 분석해보면 하이브리드 환기시스템이 환기성능 및 실내공기질 개선효과, 에너지소비량의 측면에서 적용가능성이 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 이를 직접 공동주택에 적용하여 현장시공을 통한 환기성능을 검토하고, 실제 적용가능성에 대하여 판단할 수 있는 기반 연구가 필요할 것으로 판단된다.

18) 김상진 외, '하계 공동주택 하이브리드 환기시스템 적용에 따른 실내공기 및 열 환경 평가', 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, 2006, pp.387~392.

19) 김건우 외, '공동주택의 창문일체형 하이브리드 환기시스템의 성능실험에 관한 연구', 대한설비공학회 2006 동계학술발표대회 논문집, 2006, pp.104~108.

20) 김옥 외, '초고층 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 성능평가에 관한 연구', 대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, 2007, pp.113~118.

외국의 경우는 1970년대 초반에 실내공기질의 중요성이 대두되기 시작하면서 실내공기환경에 대한 현황조사 및 측정, 측정 및 평가 방법, 기준치 설정 등에 관한 연구 및 기술개발이 활발히 이루어져왔다. 1980년대는 실내 오염 수준 측정 및 오염원 추정, 인체에 미치는 영향 등에 대한 연구가 활발하였으며, 1990년대에는 실내오염물질의 위해성 평가를 기반으로 한 오염물질 방출량 기준 설정 및 저감기술 개발에 대한 연구가 진행되었다. 이후 실내공기 환경 문제를 개선하기 위한 환기관련 연구들이 활발히 진행되기 시작하였다.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)에서는 1991년 ASHRAE Standard 'Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality'에서 환기효율 지표 및 공기연령의 개념과 공기연령 산출법에 대하여 제시하였으며, 1992년 환기효율에 대한 국제 심포지엄²¹⁾을 개최하여 건물의 환기효율 평가를 위한 실험 및 시뮬레이션, 환기효율 제어방법 등에 대한 연구결과들이 발표되었다.

주택의 하이브리드 환기시스템에 대하여 2002년 IEA(International Energy Agency) 산하 ECBCS (Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme)의 Annex 35 프로젝트²²⁾에서는 쾌적한 실내공기질을 유지하면서 에너지소비를 저감할 수 있도록 자연환기와 기계환기의 두개의 모드로 조절이 가능한 환기시스템을 하이브리드 환기시스템으로 정의하였다. Annex 35는 신축 및 개보수 사무실과 교육목적의 건물들에 대하여 하이브리드 환기시스템의 제어방법 및 하이브리드 환기시스템의 환기성능 예측방법 개발, 하이브리드 환기시스템의 경제성과 에너지 절약 증대방법 도출, 하이브리드 적용건물의 적정 환기성능 측정방법 제시가 주목적으로 수행되었다.

Katerina Niachou 등²³⁾은 자연, 기계, 하이브리드 환기시스템의 성능 실험을 세 개의 특성이 다른 아파트를 대상으로 2002년 수행하였다. 도시환경이 자연환기와 하이브리드 환기시스템의 환기효율에 미치는 영향을 제시하는 것

21) ASHRAE, '1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness', 1992

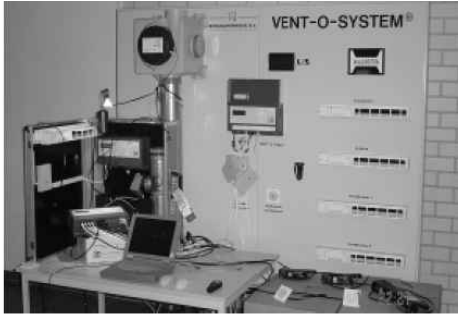
22) Per Heilselberg(Denmark), 'Principles of Hybrid Ventilation', IEA ECBCS Annex 35, 2002.8, p.10

23) Katerina Niachou, 'Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment', Building and Environment volume 43 issue8, 2008.8

이 연구의 목적으로 평균공기연령을 기반으로 하는 환기효율을 측정하기 위한 방법이 적용되었다. 협곡효과(canyon effect)에 의해 풍속이 저하되더라도 2~3개의 창문을 통한 맞통풍이 있을 경우 자연환기로도 적절한 환기율이 유지되는 것으로 나타났으며, 단면(single-sided) 환기나 정온한 조건의 환기에서는 하이브리드 환기가 자연환기보다 환기율 및 환기효율에서 효율적인 것으로 나타났다.

EC(European Commission) RESHYVENT의 EU CLUSTER 프로젝트²⁴⁾는 유럽23개국이 참여하여 2002년 1월부터 2004년 12월까지 공동연구로 진행한 하이브리드 환기시스템에 관한 연구사업이다. 'Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings' 프로젝트는 유럽을 4개 기후 지역(severe cold, cold, moderate, warm climate)으로 분류하여 이에 적합한 주거용 건물의 하이브리드 환기시스템을 개발하고 4종류의 prototype 모델(The Swedish Concept, The Dutch Concept, The French/Belgium Concept, The Norwegian Concept)을 결과물로 제시하였다. (그림 1.2)는 체코슬로바키아의 브르노에 Dutch Concept의 하이브리드 환기시스템이 시공된 주택사례이다. 각 모델에 적용된 시스템은 동작감지센서, 이산화탄소 농도감지 센서, 온도 및 상대습도 센서 등이 설치되어 거주자의 재실상황 및 실내외 조건에 따라 필요환기량을 판단하고 수요제어(demand control)이 될 수 있게 하였다. CO₂ 농도 감지센서를 이용한 제어기술은 동작감지센서의 경우 재실자의 정지상태 및 재실자의 수를 파악하지 못하는 것에 비하여 효과적으로 제어가 가능하고, 습도센서는 주방이나 욕실에서 수증기가 많이 발생될 때 집중적으로 환기를 시킴으로서 쾌적한 환경을 유지할 수 있다. 이와 같은 하이브리드 환기시스템은 상시환기 개념에서 벗어나 실제 실내공기환경을 감지하여 필요한 장소에 필요한 만큼의 환기량을 도입하는 최적 제어개념의 환기시스템으로서 보다 쾌적한 실내환경 조성과 에너지 절약효과를 동시에 고려할 수 있는 시스템으로 제시하고 있다.

24) Peter Op't Veld et al., 'Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings', EC RESHYVENT, 2004.12



(a) Demo board of the Dutch System



(b) Air Inlets



(c) Exhaust Chimney



(d) Demonstration House Brno Czech Republic

(그림 1.2) EC RESHYVENT의 하이브리드 환기시스템 개발사례(Dutch Concept)

James Reardon 등²⁵⁾은 NRC(National Research Council Canada)에서 2004년부터 2008년까지 수행하고 있는 ‘Energy-Efficient Hybrid Ventilation Systems for Residential Buildings’ 프로젝트에서 하이브리드 환기시스템을 적용한 주택의 에너지 효율을 개선하기 위한 방법을 연구하였는데, 이 연구는 거주공간의 하이브리드 환기시스템을 에너지 효율적인 운영과 자동제어를 위한 지침을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

25) James Reardon et al., ‘Energy-Efficient Hybrid Ventilation Systems for Residential Buildings’, NRC, Canada, 2008

이상의 국내 및 국외 실내공기환경 및 환기와 관련된 연구동향을 살펴 본 결과 국내의 하이브리드 환기시스템에 대한 연구는 시뮬레이션 및 Mock-Up 실험 중심의 성능 예측과 평가 중심의 연구가 대부분이지만, 국외의 경우 그 나라의 환경에 적합한 하이브리드 환기시스템에 대하여 연구하고 성능향상을 위한 기술개발을 하고 있는 것을 알 수 있다.

이에 본 연구의 하이브리드 환기시스템을 현장 시공하여 환기성능을 측정하고 환기효율을 증대시킬 수 있는 성능 개선방안에 대한 도출 결과는 공동주택의 하이브리드 환기시스템 적용 가능성 검토 및 환기 관련 설계자료로 사용하는데 기초자료로서 효과적으로 활용되리라 판단된다.

제 2 장 하이브리드 환기시스템 특성 고찰

2.1 하이브리드 환기시스템의 정의

자연 및 기계환기 설비를 적절히 조화시켜 환기성능과 실내공기환경을 효과적으로 유지하면서 건물 에너지소비량을 최소화할 수 있는 혼합형 환기방식(하이브리드 환기: hybrid ventilation system)이 최근 다양하게 개발 및 보급되고 있다.

하이브리드 환기방식은 일반적으로 환기와 냉난방이 동시에 요구되는 건물에 대한 에너지절약적인 접근방법의 하나로 주로 사무소용 건물에 활용되어 오던 환기방법이다. 이는 비교적 오랜 기간에 걸쳐서 도출된 환기개념으로 최근 주거용 건물에 적용하기 시작되면서 재실자들에게 쾌적한 실내공기환경을 제공해주는 것뿐만 아니라, 에너지절약적인 측면에서도 적극적으로 검토되고 있는 환기방식이라고 할 수 있다. 이러한 하이브리드 환기방식의 정의는 운용적인 측면에서 자연환기와 기계환기 방식이 독립적으로 운용(change over)되느냐 또는 동시운용(concurrent)되느냐에 따라 구분되기도 하는데, 적용원리와 방법에 따라 크게 다음과 같이 3가지로 대별할 수 있다²⁶⁾.

‘공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서’²⁷⁾는 IEA의 하이브리드 환기시스템의 정의를 인용하여 다음과 같이 정의하였다.

(1) 자연환기 + 기계환기방식(Natural and Mechanical Ventilation)

이 방식은 자연 및 기계환기의 적절한 전환에 초점이 맞추어진 것으로 중간기에는 자연환기 설비를 적용하고, 하계와 동계에는 기계환기설비를 활용할 수 있도록 계획된 환기방식이다. 또한, 재실자의 수가 증가하였을 때에는 기계환기설비를, 하계의 야간 냉각(night cooling)을 위해서는 자연환기를 선택적으로 사용할 수 있도록 되어 있다.

26) Per Heiselberg, 'Principles of Hybrid Ventilation', IEA ECBSC Annex35, p.10, 2002.8

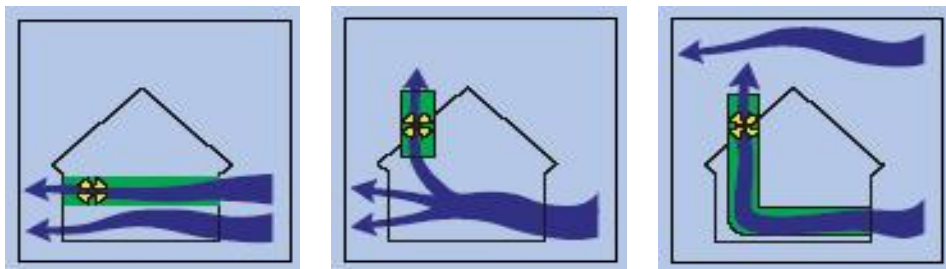
27) 건설교통부, ‘공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서’(건설교통부령 제497호), 2006.6

(2) 자연환기 + 보조팬 환기방식(Fan Assisted Natural Ventilation)

배기 및 급기를 위한 보조팬을 자연환기와 결합한 것으로, 저압의 보조팬을 이용하여 자연환기의 구동력이 약하거나 환기량을 늘려야 할 기간에 환기량을 적절히 증대할 수 있으며, 최근 가장 많이 적용되고 있는 방식이다.

(3) 연돌효과 + 기계환기방식(Stack and Wind Assisted Mechanical Ventilation)

자연환기의 구동력을 최대한 유효하게 활용하는 기계환기설비에 근거를 두고 있으며, 연돌효과에 의한 자연환기의 구동력이 필요환기량의 일부를 담당할 수 있도록 조절이 가능한 방식이다.



(a) 자연환기 + 기계환기

(b) 자연환기 + 보조팬

(c) 연돌효과 + 기계환기

(그림 2.1) 하이브리드 환기방식의 유형별 개념

김옥 등²⁸⁾은 하이브리드(Hybrid)란 성질이 다른 두가지 사물을 혼성한다는 뜻으로 하이브리드 환기시스템은 자연환기(Passive Ventilation)와 강제환기(Active Ventilation)를 병용하여 각 시스템의 장점을 선택적으로 이용하는 것을 목적으로 하는 것으로 정의하고 있다. 또한 하이브리드 환기시스템의 특징으로는 실내 열쾌적과 실내공기질을 적절하게 유지하면서 에너지소비를 최소화 할 수 있는 특징이 있으며 시스템이 간단하여 유지관리가 용이하고 시설비도 비교적 저렴하다는 것을 들 수 있다. 그러나 하이브리드 환기시스템

28) 김옥 외, '초고층 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 성능평가에 관한 연구', 대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, pp.113~118

의 적용 시 고려사항으로는 일정한 급기량을 확보해야하며, 외기를 전량 도입시 적절한 풍량 및 풍속을 유지해야 한다는 점을 들 수 있다. 하이브리드 환기시스템의 제어모드는 크게 분리모드와 동시모드로 구분하고 있다.

(1) 분리모드

자연환기와 기계환기가 동시에 운영되지 않는 모드로서 작업역과 주변역을 존으로 구분하여 제어하는 방식이다. 즉, 환기요구량이 많은 작업역은 기계환기를 통하여 상시 신선외기를 공급하고, 환기요구량이 적은 주변역은 자연환기로 제어하는 방식이다.

(2) 동시모드

자연환기와 기계환기가 동시에 운영되도록 하는 모드로서 자연환기로 적정 환기가 이루어지지 않을 경우 기계환기팬을 보조적으로 설치하여 제어하는 방식이다. 특히, 동시제어모드는 연돌효과와 연계하여 사용 할 수 있다.

이중훈²⁹⁾은 하이브리드 환기의 정의를 내외온도차 및 풍력 등의 자연력을 기본 구동력으로 하여 환기를 실시하되 계절별 내외조건에 따른 환기부족 및 환기과다에 대해서는 보조적으로 기계력을 이용하는 개념의 환기로 정의하였다. 결론적으로 패시브 환기방식을 기본으로 하여 보조적으로 강제 환기방식을 채용한 새로운 개념의 환기방식이라고 할 수 있다. 현재 국내에서 소개되고 있는 대부분의 하이브리드 환기시스템은 부분적인 강제 환기방식에 자연 급배기를 합쳐놓은 개념의 환기방식으로 엄밀하게 말해서 강제 환기방식의 한 종류이지 하이브리드 환기방식은 아니며, 기존에 이미 사용하고 있는 시스템에 대해서 자연급기 및 자연배기되는 부분이 특별히 강조된다고 해서 하이브리드라는 정의를 내릴 수는 없다고 하였다.

하이브리드를 말하는 경우에 자연환기가 자주 사용되는데, 자연환기란 본래 무계획환기를 지칭하는 표현으로 계획환기에 상반되는 의미를 갖는다. 의도되지 않은 공기유동통로(건물 외주부의 틈새)를 통한 침기 및 누기를 의미하

29) 이중훈, '초고층 특성을 고려한 하이브리드 환기의 개발 및 적용', 삼성건설기술 통권 제59호, 2008, pp.52~55

며, 의도적으로 설치된 자연급기구 및 자연배기구 등은 계획환기에 속하며 포괄적 개념으로 패시브 환기방식에 속한다고 할 수 있다. 현재 일반적으로 사용되는 자연환기는 기계력을 사용하지 않고 급배기를 실시하는 경우를 의미하여 사용되고 있다. 자연환기와 보조팬 방식의 하이브리드 환기에서 사용되는 자연환기의 개념은 기계력을 활용하지 않는 계획된 자연환기를 의미하며, 상기에서 기술 한 바와 같이 3종 기계환기시스템에서 의미하는 무계획된 단순 자연환기와는 차별된다고 할 수 있다.

본 연구에서 제시하고 있는 하이브리드 환기시스템은 자연환기와 기계환기시스템의 동시 운영시스템 및 보조팬을 활용한 자연환기시스템을 의미하며, 여기서 자연환기는 창틀의 환기장치를 활용한 적극적인 계획환기를 의미하며, 단순 침기 및 누기에 의한 무계획적 자연환기와는 구별된다.

2.2 하이브리드 환기시스템의 국내외 설치사례

하이브리드 환기시스템은 외국의 경우 그 나라의 특성을 반영한 기술개발이 활발히 이루어지면서 다양한 제품들이 보급되고 있는 반면, 국내의 경우는 아직 초기단계라 할 수 있으며 일부에서 개발하여 적용하고 있는 실정이다.³⁰⁾

따라서, 하이브리드 환기시스템의 국내외 설치사례를 통하여 하이브리드 환기시스템의 유형 및 특징 등에 대하여 조사하였다.

2.2.1 국내 사례

(1) 성남판교 D 저층주택

D 저층주택은 판교 신도시 사업 중 국제 공모 현상설계를 통해 건설하고 있는 사업으로서, B5-2BL에 위치하고 있다. 1세대가 3~4개 층으로 구성되어 있고 2층에는 옥외환경과 연계되며 외벽을 전면 유리로 마감하는 등 기존 공동주택과는 다른 구조로 설계되어 있어, 건물 특성에 적합한 환기시스템에 대한 검토를 통하여 하이브리드 환기시스템이 적용되었다.

30) 이윤규 등, '국내환기 기준의 개요 및 환기설비 기술개발 현황', 대한설비공학회 2007 하계학술 발표대회 논문집. pp.488~493



(그림 2.2) 성남 판교 D주택 전경

<표 2.1> 성남판교 D주택 하이브리드 환기시스템 설치 상세도

슬림형 급기구	실간 급기구	환기용 배기팬

D 주택에서는 기존에 적용하였던 자연환기와 렌지후드를 이용한 하이브리드 환기시스템과 더불어 1개 세대가 3개 층으로 구성되어 있는 이 주택의 특성을 고려하여 아래 <표 2.2>와 같이 시스템 선정 고려사항을 검토하여 슬림형 급기구와 욕실팬을 활용한 하이브리드 환기시스템을 설치하였다.

<표 2.2> 성남판교 D주택 B5-2BL 환기시스템 선정 고려사항

시스템 선정 고려사항	
외부 인테리어 배려	1세대가 3~4개 층으로 구성되고 외벽마감이 전면 유리로 되어 있는 건물구조에 적합하고 설계자의 계획 의도를 살릴 수 있도록 외부 인테리어 배려
렌지후드로 배기할 수 없는 층의 배기	1층 식당을 제외한 실은 렌지후드를 이용하여 배기할 수 없으므로 이에 대한 대안 마련
결로 및 쿨드드래프트 대비	발코니 등 완충공간이 없이 외벽이 전면 유리로 노출되어 동절기 외기유입시 열교현상에 의한 결로 및 쿨드드래프트에 대한 대비 필요
실내소음 발생 억제	3종 환기 적용에 따른 배기팬 작동소음 저감 및 배기 성능 확보

(2) 화성동탄 B 주택

화성동탄 B 주택의 하이브리드 환기시스템은 창틀의 자연환기구를 통한 각 실 급기와 기존의 화장실 팬과 주방의 후드를 활용하여 배기하는 방법을 적용하여 시간당 0.7회의 환기기준을 맞추고 있으며, 각 실의 방문에는 언더컷 형태의 슬릿 개구부를 두어 각 실 간의 공기유동을 유도하였다. 적용된 하이브리드 환기시스템의 구성요소는 <표 2.3>과 같으며, 개념도는 다음 (그림 2.3)과 같다.

<표 2.3> 화성동탄 B주택 하이브리드 환기시스템의 구성요소

하이브리드 환기시스템	구 성 요 소
창 문 형	 시공 사례  창문용  시스템창호용
문 짝 용	 시공 사례  문짝용
주 방 용	 시공 사례  주방용 
화 장 실 용	 시공 사례  화장실용

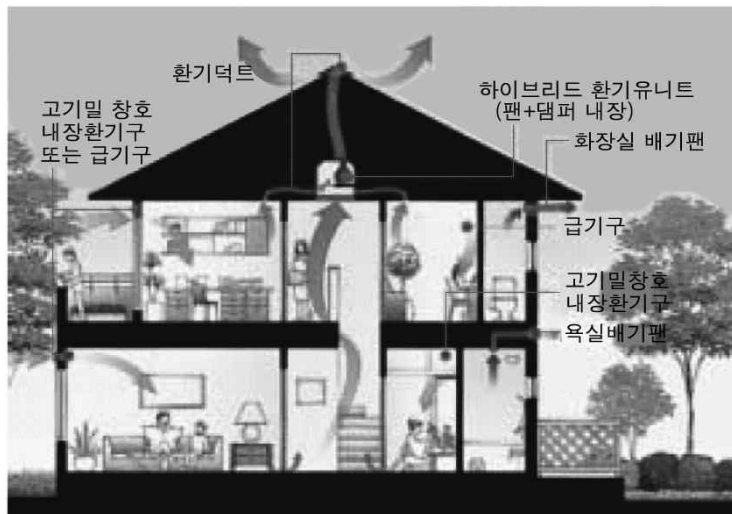


(그림 2.3) 화성동탄 B주택 하이브리드 환기시스템 개념도

2.2.2 국외 사례

(1) 일본 SEKISUI HOUSE³¹⁾

SEKISUI 社에서 개발한 주거용 건물 환기시스템은 건물 전체의 환기를 계획적으로 하고 일상생활에서 발생하는 공기오염과 습기를 자동적으로 감소시키고 항상 쾌적한 공기환경을 제공하는 시스템이다. 환기시스템의 성능에 있어서 환기량을 일정하게 안정적으로 유지하는 것은 중요한 요구사항중 하나이다. 이런 면에서 SEKISUI HOUSE는 댐퍼와 팬을 이용하여 안정적인 환기량 확보를 계획하였으며 또한 공동주택에 공통적으로 설치하는 욕실환기 시스템 및 주방 렌지후드 환기설비를 유효하게 이용함으로써 비용면에서도 유용하여 기능성, 편리성, 시공성을 모두 고려한 설계가 될 수 있도록 계획하였다. 이 시스템은 일본의 환기기준인 시간당 0.5회의 상시 환기횟수를 만족시킬 수 있는 기계환기시스템의 설치규정으로 인하여 설비적 부담을 줄이는데 초점을 맞춘 것으로서, 일반환기장치를 상시 가동하는 경우와 비교하여 연간 약 90%의 에너지절약효과를 가져올 수 있다고 제시하고 있다.



(그림 2.4) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템

31) <http://www.sekisuihouse.co.jp/>

시스템 구성요소는 자연환기의 구동력을 확대하기 위한 수직덕트, 보조팬과 댐퍼, 고성능 차압센서를 이용해 환기시스템을 통과하는 배기풍량의 변화를 감지하고 건물의 규모에 맞추어 미리 설정한 배기풍량(0.5회/h)를 유지하도록 보조팬과 댐퍼를 조절하는 자동제어시스템이 설치되어 있다. 자연환기의 구동력만으로 설정풍량이 만족되지 못하는 조건에서는 부족한 만큼의 풍량을 보충하여주기 위해 팬을 작동시킴으로써 상시 가동하는 일반 환기시스템과 비교하여 상대적으로 팬의 가동시간을 줄일 수 있다. 또한, 난방에너지의 절약을 위해 외부온도센서에 의해 감지된 겨울철 외기온도에 의해 자동적으로 설정풍량을 20% 하향조정하도록 되어있으며, 외부풍속의 영향 등으로 자연환기의 구동력이 극단적으로 확대되어 팬이 정지된 상태에서도 풍량을 감지하여 댐퍼의 각도를 조절하여 일정풍량을 유지하게 된다. 그러나 실내에 일정한 양의 환기량을 공급할 수는 있지만 실내에서 발생하는 재실자의 수와 활동량, 취사활동 등의 다양한 조건에 따른 실내오염물질 농도 변화에 대응하여 환기량을 변화시키며 실내공기 오염문제를 해결하는 데는 한계가 있다고 볼 수 있다.

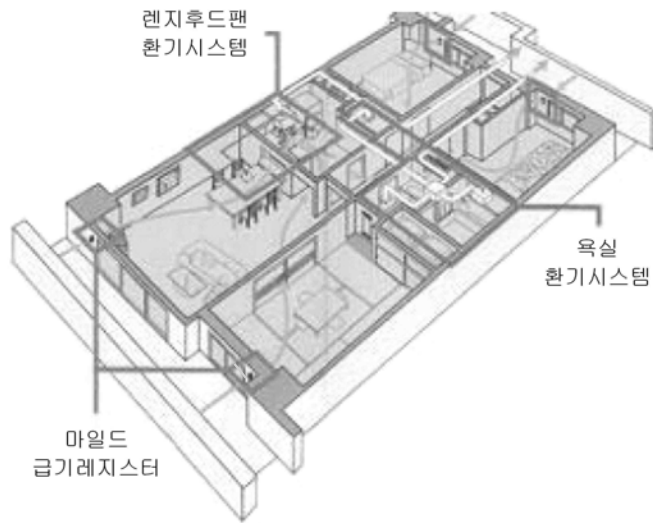


(a) 자연환기
자연환기의 구동력이 강할 경우에는 7단계의 댐퍼제어로 과다한 환기량을 억제하여 설정풍량에 맞게 조정

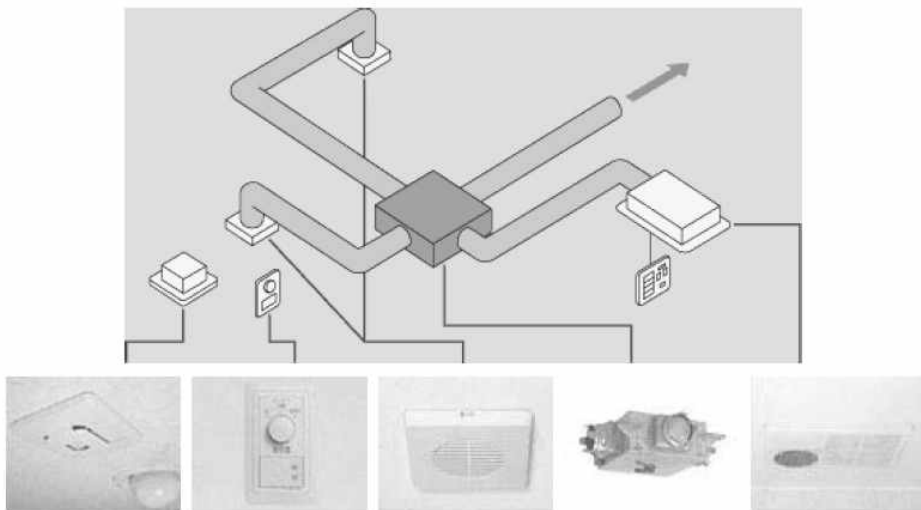
(b) 자연환기+기계환기
자연환기로 일정량의 환기량을 얻을 수 있는 경우에는 팬의 회전수를 최소한으로 줄여가면서 설정풍량을 유지

(c) 기계환기
자연환기의 구동력이 부족한 경우에는 팬의 회전수를 높여 설정풍량을 확보

(그림 2.5) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 개념도



(그림 2.6) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 특징



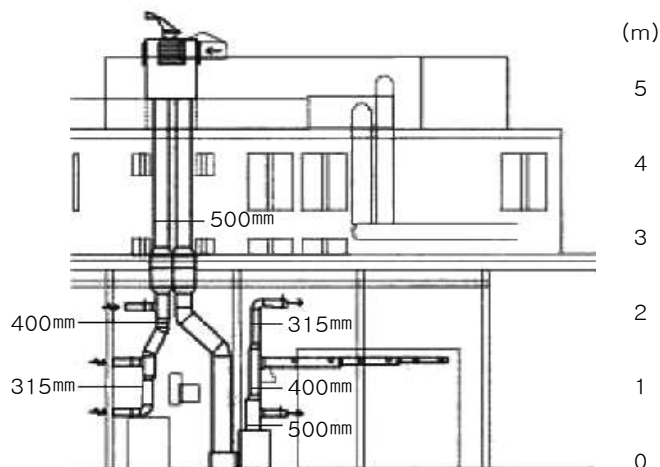
(그림 2.7) SEKISUI HOUSE의 하이브리드 환기시스템 센서

(2) European NatVent 프로젝트의 하이브리드 환기시스템

NatVent 프로젝트는 1996년에서 1998년 까지 영국의 BRE(Building Research Establishment)에서 조정역할을 하여 벨기에, 덴마크, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 영국 등 7개국 9개 사업체의 컨소시엄에 의해 운영되었다. NatVent 프로젝트는 쾌적한 실내환경을 유지하기 위하여 겨울에는 난방이 필요한 출거나 온화한 기후의 나라와 여름에는 차양 및 환기와 냉방이 필요한 나라를 대상으로 개발되었다.

NatVent 프로젝트는 세가지 과업분야로 구성되었으며 내용은 1) 자연환기 적용시 장애요인 도출, 2) 자연환기가 적용된 건물 조사·측정, 3) 새로운 자연환기시스템 제안으로 이루어 졌다.

NatVent 프로젝트에서 개발한 하이브리드 환기시스템은 자연환기(온도차에 의한 부력 및 풍력)를 활용하도록 설계되었으며 시스템 전반에 걸쳐 환기장치로 인한 압력저하가 최소가 되도록 설계되었고 고효율 급기용 보조팬, 정전기식 공기필터, 열교환기를 갖추고 있다. 시스템 설계도는 다음 (그림 2.8)과 같다.



(그림 2.8) European NatVent 프로젝트 환기시스템 설계도

이 파일럿 시스템은 실용적 규모로 3~4층 건물의 주택과 사무소 건물에 적합한 환기시스템의 일부를 설치한 것이다. 환기시스템 주요 구성요소는 다음과 같다.

- 루프유닛 : 열교환기, 필터, 보조 배기팬, 풍압증폭 배기유닛, 풍압증폭 흡인유닛
- 플로어 유닛 : 정전기 필터, 열교환기, 보조 급기팬
- 덕트 시스템 : 3계층의 배기구 부착 배기 덕트
- 3계층의 급기구 부착 급기덕트 : 급기 시스템의 일부로써 단열성의 수직 덕트본관이 루프유닛의 외기흡입구와 플로어 유닛을 연결

(3) 일본 가지마 건설의 24시간 하이브리드 환기시스템

현대의 고기밀화가 되고 있는 공동주택의 경우, 실내에서 발생한 유해물질이 외부로 배출되지 못하고 실내에 축적되는 상황이 되고 있다. 가지마 건설의 24시간 하이브리드 환기시스템은 유해화학물질의 지속적인 농도저감을 목적으로 소량의 환기를 장시간 실시하는 것이 기본개념으로 이를 위한 다양한 적용방법이 있다. 유형별로 유틸리티 팬에 의한 강제배기형태, 거실의 급기팬 설치형태, 실내덕트 중간에 급기팬 설치형태, 뉴플랫코어에 의한 강제 급배기형태 등으로 구분된다. 주방용의 배기팬, 급기팬, 위생배기팬을 내장한 환기유니트를 발코니 천정에 설치하여 주고 주방렌지 후드와 거실에의 급기경로 전환을 실시하는 모터댐퍼를 이용하여 배기는 위생배기팬에 의해 실시하면서 거실 전체의 상시 소풍량 환기를 실시하는 계통을 가지고 있다. 가지마 건설의 24시간 환기시스템의 유형별 성능은 다음과 같다.

- 유틸리티 팬에 의한 강제배기 타입 :

화장실, 욕실 등의 위생배기 계통의 중간 덕트팬을 약운전 모드로 운전하여 배기하고 급기는 외벽에 설치한 자연급기구로 자연스럽게 급기하는 시스템

- 거실에 급기팬 설치 타입 :

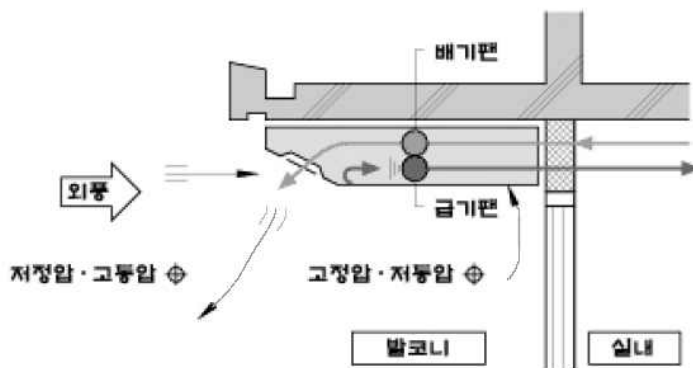
거실 외벽에 급기팬을 설치하여 강제적으로 급기하고, 배기는 위생용 덕트계통에 있는 배기팬을 약운전 모드로 운전하여 배기하는 시스템

- 실내덕트 중간에 급기팬 설치 타입 :

복도천장에 있는 덕트중간에 설치한 팬을 이용하여 거실에 덕트로 급기한다. 배기는 위생용 덕트계통 중간에 있는 배기팬을 약운전 모드로 운전하여 배기하는 시스템

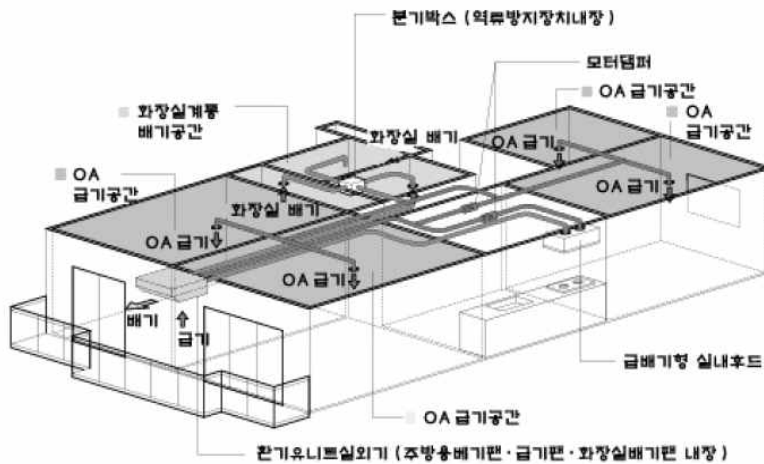
- 뉴플랫코어 강제 급배기 타입 :

공동주택 전체의 상시 소풍량 환기 시(강제급기, 강제배기) 적용되는 시스템으로 주방용 배기팬, 급기팬, 위생배기팬을 내장한 환기유닛을 발코니 천장에 설치하여 거실 전체를 상시 소풍량 환기하는 방식이다. 렌지후드와 거실의 급기경로 전환은 모터댐퍼를 이용하고 배기는 위생용 배기팬을 이용한다. 실외기유닛이 위치한 발코니 전면부는 인근의 외벽보다 3배 정도의 동압이 걸려 정압이 감소하는 특성을 활용하여 급기구에는 정압이 작용하는 위치에 배기구는 동압이 작용하는 위치에 배치함으로써 적은 팬동력으로라도 배기되도록 하였다.



(그림 2.9) 가지마건설의 24시간 환기 뉴플랫코어방식의 실외기

뉴플랫코어시스템은 거실 및 각 방에 한하여 급기를 하는 반면에 배기는 렌지후드 및 위생계통의 국소형 배기팬에 의하여 이루어지도록 되어있다. 실내외 차압을 30 Pa 이하로 유지하여 새시에서 발생하는 소음을 억제함과 아울러 실외 발코니 천장의 덕트계통에 소음기를 설치함으로써 팬 소음이 실내로 전파되지 않도록 하였다(그림 2.9).



(그림 2.10) 가지마건설의 24시간 하이브리드 환기시스템

(4) 일본 미쓰비시社의 24시간 환기시스템

미쓰비시社에서는 일본 건축기준법 개정에 따라 주택에서 상시환기를 도입하도록 함에 따라 주택전체를 대상으로 계획적 환기가 필요함을 인식하고 환기시스템에 다음과 같은 계획환기기법 지침을 도입하였다.

- 24시간 상시환기 : 주택 전체를 24시간 환기하는 것으로 오염물질이 체류하지 않고 항상 깨끗한 상태를 유지한다.
- 소풍량 환기 : 냉난방에 영향을 주지 않기 위하여 소풍량으로 환기한다.
- 환기경로의 명확화 : 오염공기나 냄새 등이 긴 시간 체류하지 않도록 주택내 환기경로를 명확히 한다.

주택 내에 소량의 공기흐름을 지속적으로 유지하도록 하는 상기와 같은 계획환기 개념을 적용하여 지역(한랭지/준한랭지), 주택(단독/공동), 주택의 기밀성 등의 3가지 적용기준을 복합적으로 고려한 환기시스템을 채택하고자 하였으며 기본적으로 다음과 같은 개념을 정립하였다. 첫째, 주택의 기밀성이 낮은 경우, 제2종, 제3종 환기방식으로는 환기경로가 확보되기 어렵기 때문에 제1종 환기방식을 채택한다. 둘째, 제2종 환기방식은 자연배기구가 외풍의 영향을 받기 쉽고, 배기경로가 확보되기 어렵기 때문에 추천이 불가하므로 배기용 환기계통과 조합하여 제1종 환기방식으로 전환하여 계획한다. 셋째, 한랭지에서는 겨울철 콜드드래프트(cold draft)를 막기 위해 열교환방식을 채택한다. 상기의 개념에서 자사의 환기시스템을 지역별로 어떤 시스템이 가장 적합한지를 다음 <표 2.4>와 같이 제시하고 있다.

<표 2.4> 일본 미쓰비시社의 환기시스템 선정 방법

지역	주거	기밀	제1종환기 (열교환)				제1종환기 (비열교환)				제2종환기		제3종환기				제1종++	
			급배기 덕트	트 중앙집중식 환기	개별환기	개별분산 환기	배기덕트 중앙집중식 환기	-	개별환기	배기덕트 중앙집중식 환기	급배기 덕트 중앙집중식 환기+개별환기							
온난 · 준한 랭지	단독	aA <2	O	C	O	D	O	B	O	A	X	/	O	-	O	-	O	C
		aA >2	O	C	O	D	O	B	O	A	X	/	X	/	X	/	O	C
	공동	aA <2	O	F	O	D	O	-	O	-	X	/	O	E	O	E	O	F
한 랭 지	단독	aA <2	O	C	O	D	△	B	O	A	X	/	△	-	△	-	O	C
		aA >2	O	C	O	D	△	B	O	A	X	/	X	/	X	/	O	C
	공동	aA <2	O	F	O	D	△	-	O	-	X	/	△	E	△	E	O	F

※ aA : 상당극간면적

O : 추천 환기시스템

△ : 다음의 대책을 설치해서 채택

(겨울철 냉풍감 대책으로서 난방기를 병설, 급기유닛은 결로방지 패널을 병용)

X : 추천 불가능

(5) 일본 도호쿠대(東北大)의 하이브리드 환기시스템

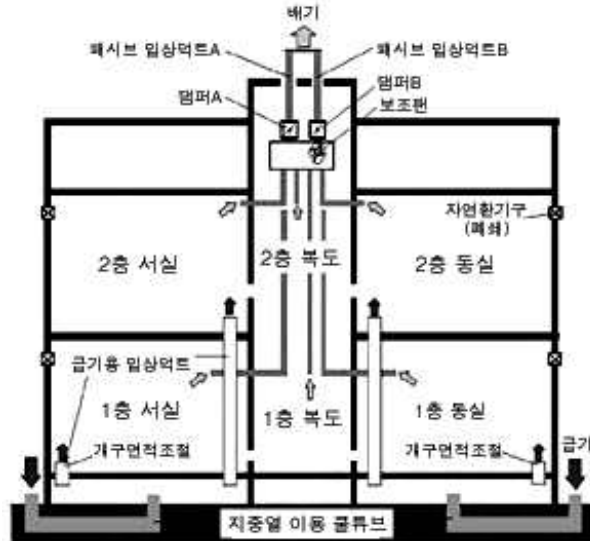
일본의 도호쿠 대학에는 하이브리드 환기시스템에 대한 환기실험동이 설치

되어 있다(그림 2.11). 하이브리드 환기시스템과 관련한 설비로는 외기도입을 위하여 각실 외벽에 자연환기구를 설치하였으며 실내외 온도차를 이용한 실내공기 배기용 패시브덕트 설비, 패시브덕트설비 중 입상덕트 주관에 포함된 환기량 조절을 위한 댐퍼 및 보조팬이 기본으로 구성되어 있다. 이외에 지중열을 통한 열교환을 이용한 쿨링튜브 및 바닥챔버로부터 각 실로 직접급기를 위한 입상덕트가 설치되어 있다(그림 2.12). 자연환기구 및 바닥챔버로부터 각 실로 급기된 외기는 각실과 패시브 배기용 입상덕트 주관을 직접 연결하는 각실 배기용 덕트 또는 실간 도어의 통기구 및 복도부분 개구부를 경유한 후 최종적으로 패시브배기용 입상덕트 주관을 통하여 외기로 배출된다.

본 시스템은 실내외 온도차를 적극적으로 이용한 패시브 환기를 기본적으로 실시하고 있으며 환기량이 부족한 중간기에는 보조팬을 가동하고, 필요이상의 환기가 발생하는 겨울철 및 혹한기에는 댐퍼조절을 실시하여 적정 범위의 환기량을 조절하고 있다. 환기량 조절을 위한 보조팬 운전 및 댐퍼의 조정은 실내외 온도차 및 패시브배기용 입상덕트 주관에 설치된 풍량센서(풍속센서)의 측정에 근거하여 자동으로 실시된다. 이러한 자동제어를 효율적으로 실시하기 위해서는 건물의 기밀성능 및 각종 온도차 조건에 따른 침기 및 누기특성을 미리 조사하여 고려할 필요가 있다.



(그림 2.11) 일본 도호쿠대의 하이브리드 환기시스템(환기실험동)



(그림 2.12) 일본 도호쿠대의 하이브리드 환기시스템 개념

(6) 일본 후지타 기술센터의 하이브리드 환기³²⁾

후지타 기술센터는 자연통풍과 기계공조를 전환해서 운전하는 하이브리드 환기시스템을 운영하고 있다. 운영을 시작한 첫해에는 자연환기 운전모드의 연간시간비율을 대폭 줄였으나 운영결과와 실측, 실험 성과를 토대로 제어법을 개선한 결과 다음해부터는 자연통풍 운전시간 비율을 증가시켜 대폭적인 에너지 절감을 달성하였다. (그림 2.13)은 건물단면 및 자연통풍 루트의 개념을 나타내며, (그림 2.14)는 기준층 평면도를 나타낸다.

연구동 2, 3층 사무실에 하이브리드 환기를 적용하였으며 실내외 조건이 양호할 경우 기계공조가 정지하고 자연통풍 모드로 전환된다. 사무실 서측의 환기용 개구부로부터 유입된 외기는 연구동의 사무실을 통과해 인접한 오픈형 아트리움을 경유해서 배기된다. 사무실은 아트리움에 직접 개방되어 있으며 칸막이는 설치되어 있지 않다. (그림 2.13)과 같이 풍압력과 아트리움의 상하 온도차에 의해 발생하는 부력이 환기의 구동력으로 이용된다. 또한 아

32) 최선호 외, ‘일본의 하이브리드 환기사례’, 설비저널 제32권 제5호, 2003.5

지연병원계구(1층전경도)

18m

사무실 아트리움

계구면단면도

돌창

방충망

2100 550

N

– 35 –

후지타 기술센터의 하이브리드 환기시스템의 제어방법은 다음과 같다.

① BEAMS에 의한 제어 :

하이브리드 환기의 운전모드(자연통풍, 나이트퍼지, 외기냉방, 공조)는 BEAMS(Building Energy Management System)에 의해 자동제어 되며 외부 센서와 실내센서로부터 수집된 데이터를 기초로 하여 규정된 제어주기마다 최적의 모드가 선택되어진다. 따라서 하루 중 몇 번이라도 자연통풍과 기계 공조가 서로 전환되며 자연통풍 모드 시에는 해당구역의 공조기 팬과 배기팬이 정지된다.

② 거주자의 참여 :

후지타 기술센터는 개방형 사무공간으로 다수의 거주자가 있으며 개개인의 온냉감을 예측하기 곤란한 문제점이 있다. 자연통풍이 적용 가능한 실내 온열환경을 임의로 선정하는 것은 하이브리드 환기의 장점을 감소시켜 에너지 절약의 기회가 줄어들 수 있다. 그러므로 자연통풍 모드의 시간대를 가능한 확대하여 에너지절약 효과를 높이기 위해서는 거주자의 동의를 얻는 것이 중요하다. 거주자들에게 실내환경 제어에 참여할 기회를 제공하고 거주자와 합의하에 제어를 하는 것이 필요하다. 그러나 이러한 합의는 개인실의 경우는 쉽지만 개방형 사무공간에서는 매우 곤란하다. 따라서 BEMS가 OA단말기에 연결되어 있는 것을 이용하여 거주자에게 다음과 같은 정보서비스를 제공하여 거주자가 공조 운전제어에 관여 할 수 있도록 했다.

- 앙케이트 제어와 결과 표시 :

자연통풍의 기동, 정지나 현재의 온·습도에 대한 거주자의 요망사항을 각자의 PC와 인트라넷을 통하여 신고함으로써 집계되며, 이결과에 따라 설정 온·습도가 변경된다. 거주자의 판단을 돕기 위해 블록별 앙케이트 결과와 새로운 설정온도의 산출결과 및 불만족자율, 설정 온·습도와 현재실의 온·습도에 대한 사항을 제공하고 있다. 또한, 자연통풍의 기동과 정지의 요망 정도가 설정치의 비율을 초과하는 경우는 BEAMS의 판단에 우선하도록 계획하였다.

- 운전모드표시 :

외기조건(온습도, 일사량, 엔탈피, 강우량, 풍향, 풍속), 실내환경, 현재의 하이브리드 환기의 운전모드, 시스템 내의 댐퍼나 인버터의 제어상태를 그래픽으로 표시한다.

- 에너지 절약효과의 표시 :

자연통풍을 이용한 에너지 절약효과의 적산값 및 현재값을 표시한다.

③ 자연통풍 모드의 적용조건

다음 <표 2.5>는 자연통풍 모드의 운전조건을 나타내고 있다. 2000년부터 하이브리드 환기의 운전을 시작했으며, 처음에는 좌측에 표시된 설계 시의 설정조건으로 운전하였으나, 자연통풍이 되는 시간이 설계 시 조건보다 매우 적었기 때문에 자연통풍 시의 실측조사 결과를 토대로 운전조건을 개선하였다.

<표 2.5> 후지타 기술센터 자연통풍모드 운전조건

구 분	2000년(설계시 조건)	2001년(변경후)
외기온도	17℃~26℃	23℃~28℃
엔 탈 피	실내> 외기	폐지
평균외기풍속	5 m/s 이하	풍향별 고려
순간외기풍속	10 m/s 이하	폐지
강 우 량	1 mm/s 이하	80%(RH) 이하
실내온도	30℃ 이하	30℃ 이하

2.2.3 국내외 사례 분석

본 장에서는 앞서 조사된 국내 및 최근 유럽과 일본 등에서 적용되고 있는 하이브리드 환기시스템의 유형과 특징에 대하여 요약하였다<표 2.6>. 실내공기환경을 개선하기 위한 노력의 일환으로 하이브리드 환기시스템은 일반적인 환기시스템과 비교하여 에너지절약적인 측면 뿐 아니라 관리 운용 측면에서 매우 유용할 것으로 판단된다.

유럽의 경우, 7개국이 연합하여 공동연구개발을 통하여 나라 별 기후특성에 적합한 하이브리드 환기시스템에 대한 연구 및 적용이 많이 이루어지고 있으며, 일본의 경우도 하이브리드 환기시스템에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는 반면, 국내의 경우는 아직 적용 뿐 만 아니라 성능검증에 대한 검토도 미비한 초기단계에 있다. 또한, 외국의 선진사례에서는 하이브리드 환기시스템 적용에 따른 에너지 절약 효과에 대한 조사자료 분석을 통하여 운전방법 및 개선대책까지 고려되고 있는 것을 볼 수 있다. 우리나라는 공동주택의 새집증후군 문제 및 실내공기질 문제가 세계 어느 나라보다도 심각한 사회적 문제가 되어 신규 공동주택의 실내공기질 관리를 법적 제도로서 관리하고 있어 외국과 비교하여 실내공기질 개선을 위한 정책적 의지가 무엇보다 강력한 나라이다. 그러나 실내공기질을 개선하기 위한 적극적 방법중 하나인 환기시스템 분야에서는 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 있음에도 불구하고 대부분 기계환기시스템을 적용하고 있는 실정이다. 따라서, 좀 더 에너지 효율적이며 거주자의 사용 및 관리가 용이한 하이브리드 환기시스템에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 아직까지 자연환기와 기계환기시스템을 효과적으로 통합운영 할 수 있는 제어기법과 관련 요소기술 개발이 종합적으로 제시되지 못하고 있으므로 우리나라 지역적인 특성에 적합한 시스템과 제어방법에 대한 연구개발이 시급히 이루어져야 할 것이다.

<표 2.6> 국내외 하이브리드 환기시스템 설치사례 특징

설 치 사 례		하이브리드 환기시스템 구성 특징
국내	성남판교 D주택	- 슬림형급기구 + 욕실팬활용
	화성동탄 B주택	- 창틀환기구 + 방문슬릿개구부 + 주방, 화장실팬 활용
국외	European NatVent	- 외기흡입구 연결 급배기덕트 + 급배기 보조팬 + 열교환기
	일본 SEKISUI HOUSE	- 자연환기 수직덕트 + 보조팬과 댐퍼, 센서에 의한 렌지후드/욕실 자동환기
	일본 가시마건설의 24시 하이브리드환기시스템	- 외벽 자연급기 + 위생 (화장실, 욕실 등) 배기 덕트팬
	일본 미쓰비시社의 24시간 환기시스템	- 소풍량 24시간 환기 + 지역, 주택유형, 기밀성을 고려한 환기시스템 선택
	일본 도호쿠대의 하이브리드 환기시스템	- 각실 자연환기구 + 패시브 입상덕트 배기 (댐퍼, 보조팬), 지중열이용 쿨링튜브, 바닥챔버 이용 각실 급기
	일본 후지타 기술센터의 하이브리드 환기	- 자연통풍 + 기계공조 (BEAMS, 거주자 참여에 의한 제어모드 전환)

제 3 장 환기기준 및 환기성능 평가지표에 대한 이론적 고찰

3.1 국내외 환기기준

3.1.1 국내 환기기준

2004년 5월 환경부에서 개정된 신축 공동주택의 실내공기질 관리를 규정하고 있는 '다중이용시설 등의 실내공기질관리법'은 단순히 신축 공동주택의 시공자는 입주전 실내공기질을 측정·공고하도록 되어있다. 이에 신축 공동주택 실내공기질 측정결과에 대하여 객관적인 판단을 할 수 있는 근거가 될 수 있는 신축 공동주택의 실내공기질 관련 지침이나 기준이 제정되지 못해 입주자 뿐만 아니라 설계 및 시공자들에게도 혼란을 주고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 환경부에서는 전국에 걸쳐 800세대의 입주 전 신축 공동주택을 대상으로 현장 실내공기질 실태조사와 입주자 설문조사를 실시하여 국내 실내공기질 현황을 파악하고 그 결과를 바탕으로 인체 위해성 평가를 실시하여 적정 실내공기질 참고치를 설정하였고, 국내의 기술적, 사회적, 경제적, 정책적 실정을 종합적으로 검토, 반영하여 2005년 12월 개정된 '다중이용시설 등의 실내공기질 관리법'에서는 신축 공동주택의 실내공기질 권고기준을 제정하였다.

환기에 대한 기준을 설정하기 위해서는 대상오염물질의 선정 및 오염물질의 최대 허용농도 결정이 선행되어야 한다. 기존에는 국제적으로 실내공기오염지표로서 이산화탄소를 사용하여 왔으나 최근에는 포름알데히드, 휘발성유기화합물, 부유분진, 라돈, 악취, 오존, 부유 미생물 등으로 변화되어 가는 추세에 있다. 이는 실내에서 발생하는 주 오염원과 오염물질이 인체에서 건축자재 및 내장가구로 등에서 발생하는 포름알데히드와 휘발성유기화합물로 변화되고 있기 때문이다. 다음과 같은 실내공기 오염물질에 의한 오염 정도를 표시하는 지표적 오염물질의 필요조건을 상대적으로 충실하게 만족하고 있는 포름알데히드가 주요 선진국에서도 향후의 실내공기환경을 적절히 평가할 수 있는 대표적인 오염물질의 하나로 고려되고 있다.

- 실내에 주요 발생원이 있으며, 발현빈도가 높은 것
- 실내에서의 오염물질 발생량 및 거동 특성에 대한 정량적 파악이 가능한 것
- 실의 사용방법이나, 그곳에서의 거주자 활동과의 관련성이 강한것
- 인체에 미치는 위해성이 높은 것
- 실용적으로 충분히 높은 수준의 정밀 측정이 가능할 것

포름알데히드에 대한 신축 공동주택의 일반 실내에 있어서의 설계기준농도는 세계보건기구(WHO)와 일본 후생성 등에서 가이드라인으로 설정하고 있는 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용하고 있다.

환기는 에너지 소모가 수반되므로 허용 가능한 실내공기질을 확보할 수 있는 최소환기율인 필요환기량의 개념에서 제시되고 있다. 이러한 점을 반영하여 제시하고 있는 일반적인 환기기준의 설정절차는 다음과 같다³³⁾.

- 특정 실내에서 예상되는 주요한 오염물질이 규명되어야 한다.
- 규명된 대상 오염물질들의 최대허용농도를 결정하여야 한다.
- 관련 전문가들의 논의를 통하여 최대 허용농도를 달성하기 위한 필요 환기량을 결정한다.
- 필요환기량을 제공하기 위한 환기장치에 대한 기준을 제시한다.

앞서 실내공기질 권고기준을 설정하기 위한 실태조사 결과 및 권고기준을 근거로 환기기준을 설정하기 위한 대표 실내오염물질로 포름알데히드를 규정하여 필요환기량을 결정하였고, 관련 전문가 논의 및 공청회 등을 통하여 2006년 2월 건설교통부령497호로 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 일부개정령안'에서 다음 <표 3.1>과 같이 신축 공동주택 등의 환기기준을 제시하였다. 같은해 6월 건설교통부에서 '공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서'를 내어 법규에서 제시하고 있는 공동주택 및 다중이용시설의 환기기준에 대하여 해설하고 공동주택의 경우 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하도록 되어 있는 항목에 대하여 논란의 여지가 되었던 자연환기설비에 대하여 정의 및 자

33) 이윤규, '공동주택의 실내공기질 및 환기기준 설정', 한국대기환경학회 2006춘계학술대회 논문집, pp.245~248

연환기설비의 유형을 제시하고 자연환기설비의 여부의 판정 및 성능확인 방법에 대하여 제시하였다. 또한 지방건축심의위원회의 심의를 위한 지침자료로 활용토록 하였다.

<표 3.1> 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 개정령(건설교통부령497호)

제 11조 (공동주택 및 다중이용시설의 환기설비기준 등)

① 영 제87조 제2항의 규정에 따라 신축 또는 리모델링하는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 주택 또는 건축물(이하 "신축공동주택등"이라 한다)은 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치하여야 한다.

1. 100세대 이상의 공동주택(기숙사를 제외한다)

2. 주택을 주택 외의 시설과 동일 건축물로 건축하는 경우로서 주택이 100세대 이상인 건축물

② 신축공동주택등에 자연환기 설비를 설치하는 경우에는 자연환기설비가 제1항의 규정에 의한 환기횟수를 충족하는지에 대하여 「건축법」 제4조의 규정에 의한 지방건축위원회의 심의를 받아야 한다.

③ 신축공동주택등에 기계환기설비를 설치하는 경우에는 별표 1의2의 기준에 적합하여야 한다.

3.1.2 국외 환기기준

(1) 미국의 환기기준

미국의 환기기준은 ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)의 SSPC(Standing Standard Project Committee) 62에서 실내공기질(IAQ)에 대한 관리를 위하여 1973년에 ASHRAE Standard 62(Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality)를 처음 제정³⁴⁾한 이래 여러 번의 개정 작업을 진행하여 왔다. 이 규정은 1973년에는 기계 환기와 자연 환기(Standard for mechanical and Natural Ventilation)를 위하여 처음으로 제정된 것이며, 1981년에는 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality란 제목으로 개정되었으며 1989년에 다시 Standard 62-1989으로 개정되었다. 1992년에는 이 규정을 의무조항으로 바꾸기 위한 새로운 위원회가 구성되었고 건축법(Building code)에 강제사항으로 적용할 수 있도록 작업을 추진하였다. Standard 62-1989는 필요 환기량과 권장 환기량으로 규정되어 있어 이를 법규화 시켜 적용하기에는 어려움이 나타났고, 또한 연구나 현장에서 나타나는 새로운 정보나 자료를 추가하여 새롭게 개정 작업이 가능하도록 전문 위원회를 설치한 것이다. 위원회가 운영되면서 초기 수년 동안에 규정의 개정과 새로운 규격을 작업하기 위한 목표를 설정하고 여러 가지 새로운 분야를 추가하여 초안을 준비하였고, 1996년 8월에 개정을 위한 초안이 완성되었다. 공청회로부터 제시된 수많은 의견과 ANSI(American National Standard Institute)의 의견을 정리하여 1997년 6월에 Standard 62-1989년에 대한 개정작업이 추진되었고 1997년 발간된 규정에 대한 초안을 근거로 Code화 작업이 계속 되었다. 위원회가 시작된 지 10년 만에 Standard 62-1999와 Standard 62-2001이 완성되었다. 2004년에는 저층 주택에 대한 기준이 별도로 제정되어 ANSI/ASHRAE Standard 62.2(Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings)로 분류되었고 기존의 기준은 ANSI/ASHRAE Standard 62.1로 분류되었다. ASHRAE Standard 62-2001에서 제시한 환기기준은 다음

34) 배귀남, '미국의 환기기준 동향', 대한설비공학회 2005동계 학술발표대회 논문집, pp.116~120

<표 3.2>와 같다.

<표 3.2> ASHRAE 62-2001 주거용 건물 환기기준

구 분	환기기준	비 고
거실 등	0.35 회/h, 15 cfm(7.5 l/s·인) 이상	거실 및 모든 공간 포함 (실 전체 환기량)
주 방	간헐환기: 200 cfm(50 l/s), 연속환기 또는 창문개구시: 25 cfm (12/s)	기계배기용량
욕실, 화장실	간헐환기: 50 cfm(25 l/s), 연속환기 또는 창문개구시: 20 cfm(10 l/s)	기계배기용량
차고(거주역과 분리)	100 cfm(50 l/s·car)	일반적으로 침기 또는 자연환기에 의해 기준 달성됨
기타 유닛	1.5 cfm/ft ² (7.5 l/s·m ²)	-

(2) AIVC의 환기기준

AIVC(Air Infiltration and Ventilation Centre)는 1989년의 보고서에서 담배 연기, 분진, 취기, 습도, 방사성물질(라돈), 연소물질, 휘발성유기화합물 등 오염물질 제거를 위한 필요 최소 환기량을 다음과 같이 정리하였다. ASHRAE에서 실별 환기량 기준을 제시한데 반하여 AIVC는 특정 오염물질의 제거를 위해 요구되는 환기량에 대한 기준을 제시하고 있다. AIVC에서 제시하고 있는 기준은 다음 <표 3.3>과 같다.

<표 3.3> 실내 오염물질 조절방법 및 제거를 위한 최소 환기량

오염물질	영 향	실내 농도제한	통제수단	최소 환기량	대처방안
담배연기	불쾌감 자극 건강상 위해	건강한 사람 의 경우 1~2 ppm의 CO 으로 불쾌감, 자극	금연정책 및 흡연구획설 치	담배 1개피당 50~120 m ³ 또는 1인당 8~20l/s (대형실 및 넓은 사무실 에서 보통 흡연상태)	가능한 한 흡연공 간의 분리 또는 제 한, 허용되었을 경 우 적당한 환기필요
분진	불쾌감 자극 건강상 위해	75μg/m ³	금연정책 및 흡연구획설 치	1인당 17.5 l/s	흡연이주원인이므 로 상기와 동일
체취 취기	불쾌감	0.10% CO ₂ (0.15% CO ₂)	—	1인당 8.0 l/s (1인당 3~4l/s)	재실자수가 예측가 능할 때, 재실자수 에 따른 가변 환기
습도	건물구조 피해	70% 이하의 상대습도유지 (충분조건은 아님)	주방과 욕실 의 환기	약 0.5~1.0 회/h	최소환기량 범위내 에서 발생장소의 국부환기
방사성 물질 (라돈)	건강상 위해	ALARA의 규 정 또는 200~400Bq/m ³	실내부압(-) 의 방지, 지층구조 밀 폐	적정환기량 설정안됨	토양으로부터의 라 돈 유입방지, 실내 부압(-)방지. 적절 한 기계환기
연소시 발생물질	불쾌감 자극 건강상 위해	WHO 지침	연소기구에 배기장치 국부환기장 치	적정환기량 설정안됨	연소장치의 제거, 국소환기, 적당한 외기유입
휘발성 유기화합물	불쾌감 자극 건강상 위해	일부물질에 대한 제한치 설정	발암물질의 제한 및 방 출물 제한	확실한 환기량 없음	방출량 제한/금지: 건축자재 또는 비 품에 대한 조절

(3) 유럽의 환기기준

유럽 표준화위원회인 CEN(European Committee for Standardization)의 TC156(환기분과위원회)에서는 실내공기환경의 쾌적성 유지 실내공기질과 환기량 기준을 설정하기 위하여 건물의 수준을 아래와 같이 3등급으로 구분하여 환기기준을 설정하였으며 건물특성에 따라 다음 <표 3.4>와 같이 환기기

준을 제시하고 있다.

A등급(Category A): 높은 수준을 요구하는 건물

B등급(Category B): 중간 정도의 수준을 요구하는 건물

C등급(Category C): 보통정도의 수준을 요구하는 건물

<표 3.4> 건물특성 및 등급에 따른 환기량(유럽 CEN/TC156)

등 급 구 분	재실자에 대한 환기량	건물특성에 대한 환기량	
		저오염 건물	오염건물
A등급(Category A)	10 ℓ/s.인	1.0 ℓ/s·m ²	2.0 ℓ/s·m ²
B등급(Category B)	7 ℓ/s.인	0.7 ℓ/s·m ²	1.4 ℓ/s·m ²
C등급(Category C)	4 ℓ/s.인	0.4 ℓ/s·m ²	0.8 ℓ/s·m ²

주거용 건물의 환기기준은 실에 따라 침실과 거실은 외기도입량으로 산출하며 주방, 욕실, 화장실은 침실, 거실로부터 유도된 환기량으로 설정되는데, 실정에 따라 재실자 또는 바닥면적에 의한 환기량 산출을 제시하였다.

<표 3.5> 주거용 건물의 환기기준(유럽 CEN/TC156)

등급구분	환기횟수 (천장고 2.52m)		거실/침실 (주로 외기도입)		배기풍량 (침실, 거실에서 유도)		
	ℓ/s·m ²	횟수	ℓ/s.인	ℓ/s·m ²	주방	욕실	화장실
A 등급	0.49	0.7	10	1.4	28	20	14
B 등급	0.42	0.6	7	1.0	20	15	10
C 등급	0.35	0.5	4	0.6	14	10	7

※ 재실자 수는 침실의 수로부터 산출

(4) 일본의 환기기준

2003년 7월 개정된 일본 건축기준법은 건축재료와 환기기준을 동시에 규제를 하고 있으며, 건축재료의 포름알데히드 방출량을 목표농도 이하로 유지하기위하여 건축재료의 선택과 환기기준의 조화를 다음과 같이 규제하고 있다³⁵⁾.

1) 내부 건축마감재료의 사용제한

① 건축재료의 등급

건축재료를 포름알데히드 방출량 기준으로 다음 <표 3.6>과 같이 등급화하고 있다.

<표 3.6> 건축재료 등급기준

포름알데히드 농도 (28℃, RH50% 기준)	건축재료 등급기준		건축재료의 사용 제한
	이름	JIS, JAS의 등급	
0.005 mg/㎡·h 이하	등급외 포름알데히드 방출재료	F☆☆☆☆	제한없음
0.005 ~ 0.02 mg/㎡·h	3등급 포름알데히드 방출 재료	E ₀ , F _{CO} F☆☆☆	기계환기용량에 따라 제한
0.02 ~ 0.12 mg/㎡·h	2등급 포름알데히드 방출 재료	E ₁ , F _{C1} F☆☆	
0.12 mg/㎡·h 이상	1등급 포름알데히드 방출 재료	F☆	사용금지

② 2등급과 3등급 포름알데히드 방출량 건축재료들 사용시의 표면적 제한

$$N_2 \times S_2 + N_3 \times S_3 \leq A$$

35) Takao Sawachi, 'Trends in the Japanese Building Ventilation Market and Drivers for Change', Present and Future of Building Ventilation-International Seminar 2008, 2008.10.20, pp.11~38

S₂, S₃ : 2등급, 3등급의 포름알데히드 방출 건축재료들이 사용된 표면적

N₂, N₃ : <표 3.7>의 환기횟수에 의해 결정

A : 거실 바닥면적(m²)

<표 3.7> 거실의 종류에 따른 환기횟수

거실의 종류	환기횟수	N ₂	N ₃
주택의 거실	0.7 ac/hr 이상	1.2	0.2
	0.5 ~ 0.7 ac/hr	2.8	0.5
주택의 기타 거실	0.7 ac/hr 이상	0.88	0.15
	0.5 ~ 0.7 ac/hr	1.4	0.25
	0.3 ~ 0.5 ac/hr	3.0	0.50

2) 기계환기시스템의 설치기준

① 다음 설비 중 하나를 설치해야한다.

- 거주공간에서의 기계환기시스템 : 최소 환기는 0.5회/h 이며, 압력손실을 계산하여 환기횟수를 고려해야 한다.
- 공기청정기능의 기계환기시스템 : 공기정화에 의한 포름알데히드 흡수 효과는 환기율에 부가된 동량의 신선한 급기로 계산될 수 있다

② 강제기계환기시스템의 예외

- 15 cm²/m² 이상의 누기가 있는 전통주거건물은 설치하지 않는다.
- N₂, N₃는 천장높이가 2.3m의 경우에 적용되며, 그 이상일 경우는 N₂, N₃가 완화된다.

(5) 호주의 환기기준

호주의 환기기준 Australian Standard AS 1668.1.2 ~ 2002 에서는 외기

(OA) 도입량, 즉 실내로 공급하는 최소 환기량은 실내 재실자의 활동량에 따른 환기량(<표 3.8>)과 건축자재 등의 오염원에 대한 환기량(<표 3.9>) 중에서 큰 수치를 선택하여 선정하여야 한다고 제시하고 있다.

- 실내 전체 재실자에 의한 환기량

$$\Sigma(\text{인원수} \times \text{1인당 환기량})$$

- 건축자재 및 재실자 이외의 오염원에 대한 환기량

$$\Sigma(\text{건축면적} \times \text{1 m}^2\text{당 환기량})$$

<표 3.8> 재실인원당 필요환기량

용 도	신진대사량 (W/인)	필요환기량(ℓ/s.인)			
		실내온도 27℃ 이하		실내온도 27℃ 이상	
		단실	다수실	단실	다수실
활동량 소	~ 160까지	5	5	6	9
활동량 중	161 ~ 200	5	7.5	7	10.5
활동량 대	201 ~ 340	10	15	12	18
활동량 최대	340 ~ 이상	15	22.5	17	25
교실 (16세이하)	-	상기 수치 x 1.25			
금연 건물	-	10	15	10	15

<표 3.9> 건축자재 및 재실자 이외의 오염원에 대한 환기량

용 도	필요환기량($\ell/s \cdot m^3$)
일반용도의 건물 (사무소, 주택, 상가 및 상점, 복도, 술집, 극장, 컴퓨터실, 방재실, 로커룸, 창고 등)	0.35
주의가 요하는 작업공간 (공항 관제탑 등)	5이상(필요에 따라 별도 규정)
수술실이나 냄새유발 물품저장고	5
동물사육실, 애완동물점, 동물병원 등	5
수영장, 풀장 보조실	3.5
해부학교실, 시체처리실	20($\ell/s \cdot \text{인}$), 별도 규정
작업공간, 물품운반실	20($\ell/s \cdot \text{인}$), 별도 규정
냄새나 유해물질 취급창고, 합판 생산공장	필요시 별도 규정

(6) 외국 환기기준 비교

세계 주요국가의 환기기준은 대개 주거용 건물과 공공건물 중에서도 사무소나 학교와 같은 건물유형에 대한 최소 환기량 기준을 제시하고 있다. 그러나, 건물의 실용도별 환기량에 대한 각국의 기준은 실의 체적이나 재실자의 수가 나라마다 다르기 때문에 단순히 비교하기는 어려운 점이 있으나, 각국 환기기준의 동향과약을 위한 자료로서 검토해보면 다음 <표 3.10>과 같다.

환기량 설정에서는 흡연여부에 따라 기준치를 다르게 제시하고 있는데, 흡연구역의 필요 환기량은 금연구역보다 약 30~60% 정도의 높은 수준으로 규정하고 있으며, 금연구역의 최소 환기량은 나라에 따라 4~10 $\ell/s \cdot \text{인}$ 의 범위에서 규정되어 있음을 알 수 있다.

<표 3.10> 주요 국가의 환기 규정(Standards, Codes & Regulations)

국 가 명	주거용 건물	사무소 및 학교 건물
미 국	ASHRAE 62-2003 Ventilation for acceptable indoor air quality.	
일 본	Japanese Building Standard Law(국토교통성 건축기준법). SHASE S102-2003 환기규준·동해설(공기조화·위생공학회 규격)	
유럽연합	prENV 1752 : Ventilation for Buildings-Design Criteria for the Indoor Environment(1996) prENV 15251 : Criteria for the indoor environment(2005)	
벨 기 에	NBN D50-001: Ventilation system for housing. 1991	NBN B 62-003 Heat loss calculation
캐 나 다	CSA Preliminary Standard F326.1 -M1989, ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable indoor air quality	NRCC No. 22432. Measurement for energy conservation in new buildings. 1983 / ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable indoor air quality
덴 마 크	DS 418 Calculations of heat loss from building 1977	Danish Building Regulations 1982
핀 란 드	D2-Indoor climate and ventilation in buildings, Regulation and Guideline National building code of Finland	Indoor climate and ventilation in buildings, regulation and guideline, 1985 / D2-National building code of Finland. 1987
프 랑 스	French regulation for ventilation of dwellings	Cahiers du CSTB No2286-Oct. 1988
독 일	DIN 1946 Part 2(1995) VDI 20881 Ventilation of Dwellings, 1976	DIN 1946 Part 2(1995) VDI Ventilation rules, 1983
이탈리아	Ministerial Decree 05.07.75 Ventilation requirements for residential buildings	Ministerial Decree 04.02.76 Ventilation requirements for schools
네덜란드	NEN 1087-Ventilation in dwellings NNI 1991	NPR 1019 - Ventilation in school buildings
노르웨이	Norwegian Building code Chapter 47, Ventilation and installation, 1987	NS3031 Energy and power demands for heating of buildings Calculation rules
스 웨 덴	BFS 1988:18 Chapter 4:1 Air Exchange. National Board of Housing building and Planning.	Standards BFS 4:1 Air Exchange. National Board of Housing building and Planning.
스 위 스	SIA 384/2 Heating load calculation 1980/ SIA 382/1 Ventilation and AC plants 1992	SIA 382/1 Ventilation and AC plants 1992
영 국	Building Regulations Part F : Ventilation(1995) British Standard BS 5820:1979 Code of Practice for mechanical ventilation and air conditioning in building. British Standard BS 5925:1991 Code of Practice for Ventilation Principles and air Designing for Natural Ventilation. CIBSE-Guide A:Sec 2(1993)	

<표 3.11> 외국 주거용 건물의 실별 환기 기준

국가 및 기준명	총 환기량	거실	침실	주방	욕실겸용 화장실	화장실
벨기에 (NBNB62-003)	0.7~1.0 회/h, 20~30 m³/h인	-	0.1 m³/s m²	50~75 m³/h	1.4 m³/s	0.7 m³/s
캐나다 CSAF3261-M1989	0.3 회/h이상, 3 l/s인	-	-	50 l/s, 간헐배기 3 l/s, 연속배기	25 l/s, 간헐배기 15 l/s, 연속배기	-
덴마크 DS418	-	0.4 ~0.6 회/h	-	0.7 회/h	0.7 회/h	-
핀란드 NBC-D2	-	0.5 l/s m²	4.0 l/s인 0.7 l/s m²	배기 20 l/s	배기 15 l/s	-
프랑스 Arrete 24.03.82	-	-	-	20~135 m³/h	15~30 m³/h	15~30 m³/h
독 일 DIN18017 DIN1946 Pt.2	-	최소 60 m³/h 최대 180 m³/h	-	최소 40 m³/h 최대 60 m³/h	최소 40 m³/h 최대 60 m³/h	최소 20 m³/h 최대 30 m³/h
이탈리아 MD 0507.75	0.35~0.5 회/h,	15 m³/h인	-	1.0 회/h	1.0~2.0 회/h	-
네덜란드 NEN1087	-	0.1 m³/s m²	0.1 m³/s m²	2.1 m³/s	1.4 m³/s	0.7 m³/s
뉴질랜드 ASHRAE62-1989	바닥면적당 5%의 개폐 가능한 유리 창 설치	-	-	-	25 l/s실(간헐환기) 10 l/s실(연속환기)	-
노르웨이 NBC ch 47-1987	-	급기: 외벽에 100 cm² 이상의 개폐가 능한 개구부나 급 기구 설치	급기: 외벽에 100 cm² 이상의 개구부 설치	기계배기: 60 m³/h 자연배기: 지붕위에 단면적 150cm² 이 상의 덕트 설치	기계배기: 60 m³/h 자연배기: 지붕위에 단면적 150cm² 이 상의 덕트 설치	기계배기: 40 m³/h 자연배기: 지붕위에 단면적 100cm² 이 상의 덕트 설치
스웨덴 BFS 1988 ch4	최소(급기) 0.35 l/s m²	급기 0.35 l/s m²	급기 4.0 l/s m²	10 l/s실(배기)	10~30 l/s (배기)	10 l/s(배기)
스위스 SIS384/2 SIS382/1	-	-	80~120 m³/h	-	-	-
영 국 BS5720-1979 BS5925-1991 Build. Regs. Pt. F CIBSE Guides A,B	권장 12~18 l/s인 최소 8~12 l/s인	바닥면적의 1/20 이상인 환기구 및 최소 4000mm²이 상의 환기구면적 확 보	바닥면적의 1/20 이상인 환기구 및 최소 4000mm²이 상의 환기구면적 확 보	기계급기 60 l/s 또 는 배기후드 설치 및 최소 4000mm²이 상의 자연환기구 설치 또는 환기횟 수 1.0 회/h 확보	1.5 l/s (간헐환기)	바닥면적의 1/20 이상인 환기구 및 최소 4000mm²이 상의 환기구면적 확 보
미 국 ASHRAE62-1989	환기횟수 0.35회 /h이상(7.5 l/s인) 이상의 환기량 확 보	-	-	간헐환기 50 l/s 또 는 연속환기 12 l/s 또는 개폐가능창	간헐환기 25 l/s실 또는 연속환기 10 l /s실 또는 개폐가 능창	-
일 본 HASS102-1997	30 m³/h인 흡연사: 130 m³/당배기(개폐)	-	-	-	-	-

3.2 환기성능 평가지표

3.2.1 환기효율의 정의

(1) 환기효율의 정의

1937년 Yaglou와 Witheridge는 환기효율이란 용어를 처음 사용하였으며, Yaglou는 인체에서 발생하는 실내 이산화탄소의 농도와 배기구에서의 이산화탄소의 농도비를 이용하여 환기효율을 정의하였다. 실내의 평균농도에 비하여 배기구의 농도가 높은 것이 실내의 오염물질을 효과적으로 배출시키는 것이라는 가정에 근거한 것이다.

이후 Danckwerts, Spakling 등은 반응로 내에서의 혼합특성을 연구하기 위하여 연령, 체류시간 등의 수학적 개념들을 제안하였고, 화학 반응로 내에서의 가스의 혼합과 실내에서의 공기혼합과의 유사성을 언급하였으나 환기 연구에까지 확대하여 적용하지는 않았다.

이러한 개념들을 환기에 본격적으로 적용한 것은 Sandberg에 의해서였다. Sandberg는 상대효율, 절대효율, 정상상태효율, 비정상상태효율 등의 여러 가지 형태의 환기효율을 체계적으로 정리하였으며 공기연령의 개념을 이용한 환기효율을 제안하였다. 실내에 공급된 신선외기가 실내공간으로 공급될 때까지 소요되는 시간이 짧을수록 환기효율이 높다고 정의하였다. ASHRAE와 AIVC 등은 물론 현재 사용되고 있는 대부분의 환기효율의 개념은 Sandberg의 이러한 연구결과에 근거하고 있다.³⁶⁾

일본의 Murakami는 평균공기연령의 개념에 근거한 환기효율을 포함하여 오염물의 시간적, 공간적 실내 확산 정도에 근거한 환기효율 등 6가지 환기 효율 척도를 제안하였다.

이외에 오염농도의 감소율을 이용한 환기효율의 정의가 시도되었다. 완전혼합의 경우를 기준으로 하여 농도가 감소되는 정도에 따라 환기효율을 표시하였으나, 농도감소율이 측정시간에 따라 일정하지 않으며 위치에 따른 감소율의 변화를 표시하기에는 근본적인 한계가 있는 등 여러 가지 문제점이 발견

36) 한화택, '환기효율의 정의에 관하여', 공기조화·냉동공학 제28권 제1호, 1999.2 pp.39~45

되어 농도의 감소율을 이용한 방법은 환기효율의 측정보다는 환기량이나 환기율의 측정에 주로 이용되고 있다. <표 3.12>는 지금까지 설명한 농도비, 농도감소율, 공기연령에 근거한 환기효율의 정의 및 특징을 보여주고 있다.

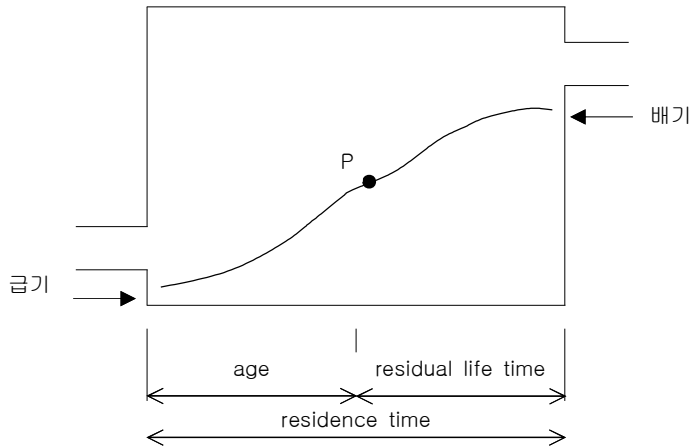
<표 3.12> 환기효율의 정의방법에 따른 특징³⁷⁾

정의 방법	정의 및 특징
농도비에 의한 정의 (농도)	배기구에서의 오염농도에 대한 실내의 오염농도의 비율로서 환기효율을 정의 함 - 실내의 기류상태 뿐만 아니라 오염원의 위치에 따라서 값이 변함 - 환기효율보다는 실내오염정도를 표시하는데 적합
농도감소율에 의한 정의 (농도곡선의 기울기)	완전혼합시의 농도감소율에 대한 실제 오염농도 감소율의 비율로서 환기효율을 정의함 - 농도감소 초기에는 감소율이 시간에 따라서 변화 - 일정시간 경과 후에는 농도감소율이 위치에 관계없이 일정 - 비정상상태의 농도측정이 필요 - 환기효율보다는 환기율을 표시하는데 적합
공기의 연령에 의한 정의 (농도곡선의 아래 면적)	명목시간상수에 대한 공기연령의 비율로서 환기효율을 정의 함 - 오염원의 위치에 무관하게 실내의 기류상태에 의하여 결정됨 - 오염물질 배출능력이 아닌 급기의 실내 분배능력을 나타냄 - 비정상상태의 농도측정이 필요하며 정의 및 계산절차가 복잡

(2) 급기효율과 배기효율의 개념

(그림 3.1)은 공기연령과 잔여체류시간의 개념을 나타내고 있다. 급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내 임의의 점 P에 도달할 때까지 실내로 유입된 공기가 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간을 연령(Age)이라고 한다. 공기입자는 여러 가지 경로를 통하여 그 지점에 도달할 수 있기 때문에 그 지점에 도달하는 공기입자 연령의 평균값을 국소평균연령(Local Mean Age)이라고 한다.

37) 한화택, ‘환기효율의 정의에 관하여’, 공기조화·냉동공학 제28권 제1호, 1999.2 pp.39~45



(그림 3.1) 공기연령과 잔여체류시간의 개념

실내 임의의 점 P로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요되는 시간은 잔여체류시간이라고 하며, 이것도 여러 가지 경로를 통한 입자들의 평균값으로써 국소평균 잔여체류시간(Local Mean Residual Life Time)이라고 한다. 또한 국소평균연령과 국소평균 잔여체류시간의 합은 그 지점을 통과하는 공기입자의 실내체류시간(residence time)이 된다. 급기구를 통하여 태어난 공기입자가 현재의 위치까지 도달하는데 걸리는 시간이 나이이며, 현재의 위치로부터 배기구로 배출될 때까지 남은 시간이 여생이다. 또한 나이와 여생의 합은 공기입자의 수명으로 이해하면 된다.

국소평균연령 (LMA)이란, 신선외기가 임의의 점 P까지 도달하는 시간을 의미하므로 급기의 실내분배 성능을 정량화하는데 사용될 수 있으며, 국소평균 잔여체류시간 (LMR)이란, 그 지점으로부터 배기되는데 소요되는 시간을 의미하므로 오염물이 배기되는 성능을 정량화하는데 이용될 수 있다.

또한 국소평균연령을 전체 실내공간에 대하여 평균값을 구하면 실평균연령 (Room Mean Age)이 된다. 마찬가지로 전체 실내공간에 대한 평균 국소 잔여체류시간은 실평균 잔여체류시간 (Room Mean Residual Life Time)이 된다. 실평균연령은 실전체의 급기효율을 나타내고 실평균 잔여체류시간은 실전체의 배기효율을 나타낸다고 볼 수 있다.

3.2.2 환기효율의 지표 및 산출법

(1) 공기연령 산출법

① 국부평균 공기연령

공기의 국부평균 공기연령은 공기가 취출구로부터 실내의 임의의 점 P (그림 3.1)로 이동하는데 걸리는 시간의 평균값으로 정의한다. 이 시간이 짧으면 짧을수록 그 지점에서의 공기는 더 신선하며 환기가 효과적으로 이루어지고 있다고 할 수 있다.

공기는 작은 유체 입자들로 구성되어 있다고 가정하면, 취출구에서 동시에 출발하였다 하더라도 유체 입자들은 서로 다른 경로를 거쳐 실내의 임의의 점 P에 도달하기 때문에 점 P에서의 공기는 서로 다른 연령을 가진 공기 입자들의 혼합으로 이루어지게 된다. 이 연령에 따른 공기 입자들의 분포는 가우스(Gauss) 분포를 보인다.

실내의 각 위치에서 공기의 특성은 연령빈도분포와 통계누적 연령분포에 의하여 정해진다. 여기서, 연령빈도분포함수 $\phi(t)$ 는 취출구를 통해 실내로 유입된 공기입자 중 실내 임의의 점 P에서의 연령이 t 인 공기의 빈도를 나타내는 함수이며, 통계누적 연령분포함수 $\Phi(t)$ 는 그 지점에서 공기의 연령이 t 보다 작거나 같은 공기입자의 총합을 의미한다.

즉, 연령빈도분포함수는 연령이 t 인 공기입자의 개수를 나타내며, 통계누적 연령분포함수는 시간 0에서 t 까지의 연령을 가진 공기입자의 총 개수를 나타낸다. 이 두 함수의 관계를 수학적으로 나타내면, 통계누적 연령분포함수 $\Phi(t)$ 를 시간에 대해 미분을 하면 연령빈도분포함수 $\phi(t)$ 를 얻게 된다.

$$\frac{\partial \Phi(t)}{\partial t} = \phi(t) \text{ 또는 } \int_0^t \phi(t) dt = \Phi(t) \quad \text{식(1)}$$

또한, 국부평균 공기연령은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\tau_p = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot \phi(t) dt}{\int_0^{\infty} \phi(t) dt} \quad \text{식(2)}$$

여기서 분모는 실내 임의의 점 P에 도달하는 공기입자의 총 개수를 의미하며, 분자는 공기입자의 빈도를 그 연령으로 가중한 것을 의미한다. 그리고, 연령빈도함수를 공기입자의 총 개수에 대해서 무차원화하면, 분모는 1이 되므로 결과적으로 국부평균 공기연령은 다음의 식으로 표현된다.

$$\tau_p = \int_0^{\infty} t \cdot \phi(t) dt \quad \text{식(3)}$$

따라서, 국부평균 공기연령은 측정지점에 따른 연령분포의 시간에 대한 일차모멘트이다.

② 실내평균 공기연령

실내 공기의 평균적인 체류 시간을 실내평균 공기연령이라 한다. 이것은 국부평균 공기연령에 대하여 각 지점의 평균치로 나타낼 수 있다.

실내평균 공기연령은 국부평균 공기연령의 산출식 중 임의의 측정점의 농도 대신 실 전체의 평균농도 $\langle C(t) \rangle$ 를 대입함으로써 구할 수 있다. 따라서 측정점을 매우 조밀하게 하여 실내 평균농도를 구하여야 하는데 많은 시간이 소요되므로 배기덕트내의 추적가스농도를 측정해서 대입한다.

(2) 추적가스의 주입방법에 의한 공기연령 산출법

평균환기효율은 외부공기가 건물 전체, 존 또는 공간으로 전달되는 효율로 정의되며, 국지 환기효율은 외부공기가 공간내 특정지점으로 전달되는 효율로서 정의된다. 이러한 공기의 나이를 측정함으로써 유리한점은 실내의 특정지점에 대한 환기특성을 파악할 수 있다는 것이다.

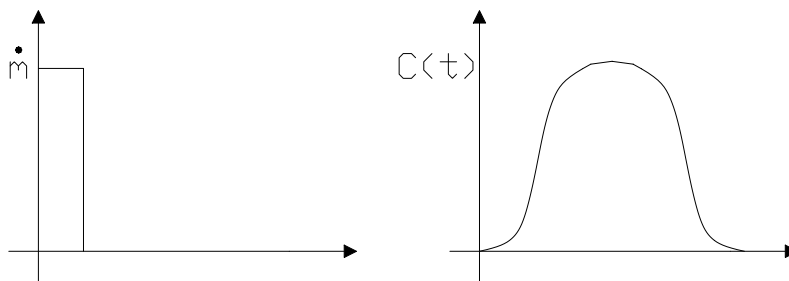
공기연령의 측정방법으로는 추적가스를 사용하여 실내 임의의 지점에서 시간에 따른 농도변화를 측정하여 그 지점에서의 공기연령을 추정하는 방법이 사용되고 있다. 추적가스는 실내에 들어오기 전에 급기덕트 내에서 공기와 완전히 혼합되어야 하며 실내는 환기가 되고 있어야 한다.

측정방법은 추적가스의 주입방법에 따라 다음의 세 가지로 분류되며 공기나이를 결정하는 방법으로 사용되고 있다.

① 펄스법(Pulse Method)

이 방법은 우선 추적가스를 급기덕트를 통해서 한꺼번에 방출하는 방법으로, 추적가스가 방출된 후에 실 전체로 확산될 때까지의 농도변화에 의해서 구하는 방법이다.

방출된 가스가 흡입구까지 도달하는 데 걸리는 시간은 실 크기, 유량 등에 의해서 정해진다. 따라서, 추적가스가 방출된 시점을 평균 공기연령을 계산하는데 시작점으로 간주한다.



(그림 3.2) 추적가스주입방법(펄스법)에 따른 농도변화

추적가스를 충분히 짧은 시간동안만 주입하면, 시간 0에서 실내로 유입하는 공기와만 혼합되게 된다. 평균 공기연령을 계산하는 식은 다음과 같다.

- 국부평균 공기연령

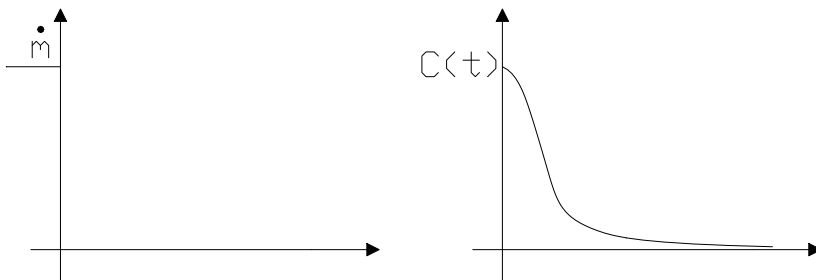
$$\tau_p = \frac{\int_0^{\infty} t C_p(t) dt}{\int_0^{\infty} C_p(t) dt} \quad \text{식(4)}$$

- 실내평균 공기연령

$$\tau_r = \frac{\int_0^{\infty} t^2 C_{ea}(t) dt}{2 \int_0^{\infty} t C_{ea}(t) dt} = \frac{\int_0^{\infty} t^2 C_{ra}(t) dt}{2 \int_0^{\infty} t C_{ra}(t) dt} \quad \text{식(5)}$$

② 농도감쇠법(Step-Down Method)

농도감쇠법이란 추적가스를 일정농도로 유지하면서 방출시키다가 방출을 멈춘 뒤 일정하게 농도가 감소하면서 소형의 혼합 팬 등을 통해서 실내공기와 혼합될 때까지의 농도변화를 이용하는 방법으로, 공기연령을 측정하는 방법 중에 가장 흔히 사용되는 방법이다. 혼합 팬은 추적가스를 방출하기 전에 가동하기 시작해서 방출을 멈추기 몇 분전에 정지시킨다. 팬을 정지시킨 시점에서부터 평균 공기연령을 계산하는 시작점으로 간주한다.



(그림 3.3) 추적가스주입방법(농도감쇠법)에 따른 농도변화

실내는 시각 $t=0$ 에서 농도 $C_p(0)$ 로 공기와 추적가스가 균일하게 혼합되어 있다. 시각 $t=0$ 에서 실내로 유인된 공기입자에 의한 시각 t 의 측정지점에서 존재하는 공기입자의 통계누적 연령분포함수를 이용하여 $C_p(0)$ 를 나타내면 다음의 식과 같다.

$$C_p(t) = C_p(0) \cdot (1 - \Phi(t)) \quad \text{식(6)}$$

식(6)을 무차원화된 통계누적 연령분포함수 $\Phi(t)$ 에 대해서 나타내면 다음과 같다.

$$\Phi(t) = \int_0^t \phi(t) dt = 1 - \frac{C_p(t)}{C_p(0)} \quad \text{식(7)}$$

따라서, 측정지점 평균 공기연령을 구하는 식은 다음과 같다.

- 국부평균 공기연령 (τ_p)

$$\tau_p = \frac{\int_0^\infty C_p(t) dt}{C_p(0)} \quad \text{식(8)}$$

- 실내평균 공기연령 (τ_e)

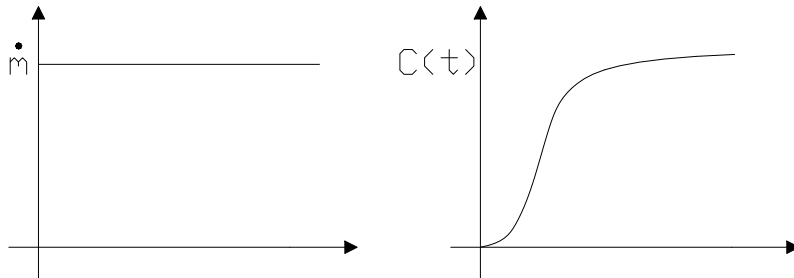
$$\tau_e = \frac{\int_0^\infty t C_{ea}(t) dt}{\int_0^\infty C_{ea}(t) dt} = \frac{\int_0^\infty t C_{ra}(t) dt}{\int_0^\infty C_{ra}(t) dt} \quad \text{식(9)}$$

따라서, 국부평균 공기연령은 초기농도 $C_p(0)$ 로 무차원화된 농도곡선의 아래면적에 해당한다.

③ 일정농도 상승법(Step-Up Method)

일정농도 상승법은 농도감쇠법과는 반대로 추적가스를 일정한 비율로 방출 시키면서 추적가스가 실 전체로 확산될 때까지의 농도변화에 의한 방법이다. 추적가스가 방출된 시점을 평균 공기연령을 계산하는 시작점으로 간주한다.

경우에 따라서는 두 가지 방법을 동시에 실시하기도 한다. 두 가지 방법에 의해서 측정된 값은 약간의 차이를 보이는데 일반적으로 천장취출형 공조시스템보다 바닥취출형 공조시스템이 차이가 작게 나타난다.



(그림 3.4) 추적가스주입방법(일정농도상승법)에 따른 농도변화

농도감쇠법과 마찬가지로 시각 $t=0$ 에서 실내로 유인된 공기입자에 의한 시각 t 의 측정지점에서 존재하는 공기입자의 통계누적 연령분포함수를 이용하여 $C_p(0)$ 를 나타내면 다음의 식과 같다.

$$C_p(t) = \int_0^t C_p(t) dt = \int_0^t C_p(0) \phi(t) dt \quad \text{식(10)}$$

따라서, 측정지점 평균공기연령은 다음의 식에 의해서 계산된다.

- 국부평균 공기연령(τ_p)

$$\tau_p = \int_0^{\infty} 1 - \frac{C_p(t)}{C_p(0)} dt \quad \text{식(11)}$$

- 실내평균 공기연령(τ_e)

$$\tau_e = \frac{\int_0^{\infty} t(1 - C_{ea}(t))dt}{\int_0^{\infty} 1 - C_{ea}(t)dt} = \frac{\int_0^{\infty} t(1 - C_{ra}(t))dt}{\int_0^{\infty} 1 - C_{ra}(t)dt} \quad \text{식(12)}$$

단, 환기덕트내 농도와 배기덕트내 농도가 같은 경우이다.

(3) 환기효율의 지표

① 명목 공기교환회수 (Nominal Air Exchange Rate, n)

명목 공기교환회수란 실내 체적에 대한 공급된 공기의 량을 의미한다. 즉, 다음의 식과 같이 공급된 공기의 량을 실제적으로 나누어서 구할 수 있으며, 공기교환효율과 밀접한 관련이 있다.

$$n = \frac{q_v}{V} \quad \text{식(13)}$$

② 명목 시간상수 (Nominal Time Constant, τ_n)

명목 공기교환회수의 역수로서 실내의 체적만큼 공기를 공급하는데 걸리는 시간을 의미한다. 공기의 평균 연령은 공기가 공급된 실의 명목 시간상수와 항상 일치하며, 다음의 식으로 정의된다.

$$\tau_n = \frac{V}{q_v} \quad \text{식(14)}$$

③ 공기교환시간 (Air Change Time, τ_r)

실내에 존재하는 공기를 신선한 외기로 대체하는 데 걸리는 평균 시간으로 정의되며, 실내평균 공기연령의 2배의 값이다.

$$\tau_r = 2\tau_e \quad \text{식(15)}$$

④ 공기교환효율 (Air Exchange Efficiency, ε_a)

실의 명목시간 상수와 공기교환 시간의 비로써 정의되며, 실내공기가 얼마나 빨리 교체되는 가를 나타내는 지표이다.

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{\tau_r} \cdot 100 = \frac{\tau_n}{2\tau_e} \cdot 100[\%] \quad \text{식(16)}$$

⑤ 국부환기지수 (Local Ventilation Index, ε_p)

명목시간상수와 국부평균연령의 비로써 정의되며, 실내 각 위치별 특성을 표현하는 지표이다. 따라서 측정위치에 따라 차이가 많이 나타날 수 있다.

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{\tau_p} \cdot 100[\%] \quad \text{식(17)}$$

⑥ 평균환기효율 (Average Ventilation Effectiveness, $\langle \varepsilon \rangle$)

명목시간상수와 실내평균 공기연령의 비로써 정의되며 정의에 의해 공기교환효율의 2배이다. 즉, $\langle \varepsilon \rangle = 2 \cdot \varepsilon_a$ 이다.

ASHRAE에서는 이 지표를 'Ventilation Effectiveness'로 정의하고 있다.

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\tau_n}{\tau_e} \cdot 100[\%] \quad \text{식(18)}$$

본 연구에서 환기시스템의 환기량 측정결과와 더불어 환기시스템별 환기 성능 평가는 ASHRAE의 명목시간상수와 평균공기연령의 개념에 근거한 환기 효율(Ventilation Effectiveness) 지표를 이용하였다.

제 4 장 하이브리드 환기시스템의 현장 실험

본 연구에서는 하이브리드 환기시스템을 소형 공동주택에 직접 시공한 후, 환기성능을 측정하여 효율적인 환기시스템을 평가하였다. 소형 공동주택은 대부분이 소형으로 건설되는 국민임대규모의 공동주택을 의미하며, 가장 많이 건설되고 있는 전용면적 51㎡의 공동주택을 대상으로 하였다³⁸⁾.

하이브리드 환기시스템의 환기성능 평가를 위해 강원도 삼척지역에 위치한 소형 공동주택에 하이브리드 환기시스템을 시공하고 현장측정을 실시하였다.

4.1 환기시스템 현장 실험

4.1.1 실험 개요

실험은 동절기에 춥고 다습한 지역인 삼척의 전용 51㎡ 세대의 소형 공동주택에 적용 가능한 하이브리드 환기시스템을 설치하고 환기형태에 따른 성능실험을 실시하였다.

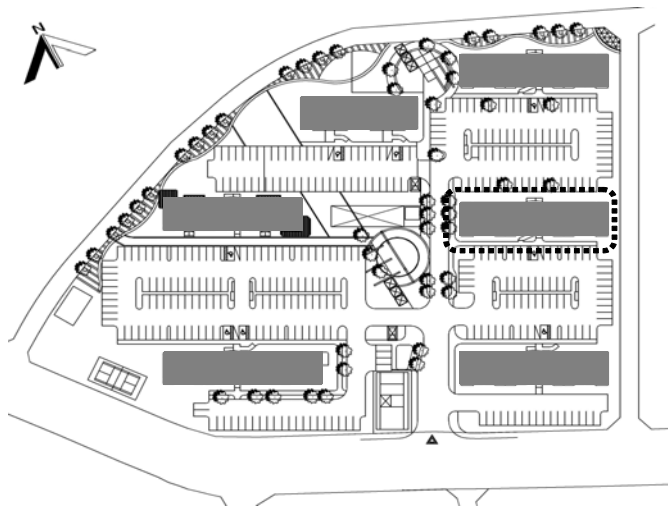
(그림 4.1)은 하이브리드 환기시스템이 설치된 삼척지역 실험세대의 모습이며, (그림 4.2)와 (그림 4.3)은 실험단지 배치도와 기준층 평면도이다. 실험세대의 내부면적은 51㎡이고, 천정 높이는 2.3m로 내부 체적은 117.3㎡이다. 자연 침기량이 없는 기밀상태라 가정하면, 83㎡/h의 외부 공기를 공급하여야 환기기준인 환기횟수 0.7 회/h를 만족할 수 있다. 본 실험 공동주택은 복도식 공동주택으로 최고층이 20층이며, 이 중 연돌효과의 영향을 최소화하기 위해 중간층인 9층을 실험세대로 선정하여 실험하였다. 한개 층은 6세대로 조합되어 있으며, 실험은 동일층 내의 측벽세대를 제외한 중간 세대를 이용하였다.

실험기간은 2007년 11월 ~ 2008년 1월의 동절기였으며, 현장실험 개요는 <표 4.1>과 같고, 현장에 시공된 환기시스템의 개요는 <표 4.2>와 같다. 환기시스템으로는 창틀설치형 자연환기장치와 욕실배기를 이용한 하이브리드 환기시스템과 창틀설치형 자연환기장치와 덕트배기를 이용한 하이브리드 환기시스템을 설치하였다.

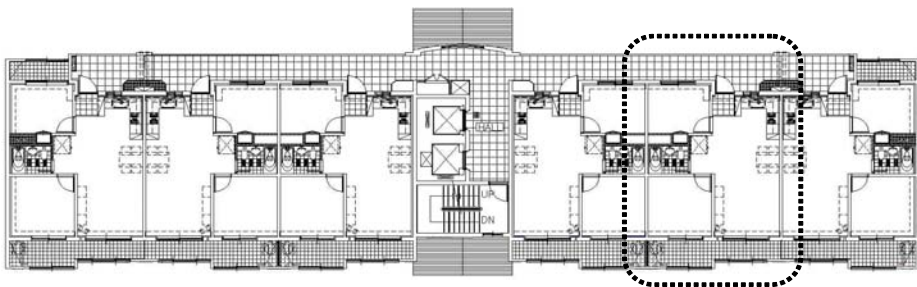
38) <http://kookmin.jugong.co.kr/>



(그림 4.1) 하이브리드 환기시스템 실험세대 모습



(그림 4.2) 실험 단지 배치도



(그림 4.3) 기준층 전체 평면도

<표 4.1> 현장실험 개요

항 목	실 험 개 요
실험기간	2007년 11월 ~ 2008년 1월
실험현장	강원도 삼척시 건지동 173번지
실험단지	6개동 구성 단지 (복도식, 층수-20층, 1개층 6세대 구성)
실험세대	세대규모-전용 51㎡ type (9층)
실험항목	실내외 온·습도, 기류속도, 침기량, 환기량, 난방가스소비량
실험기자재	온·습도 연속측정기, 데이터로거, 열전대, 3차원 초음파풍속계, 열선풍속계, 바람개비형 풍속계, 멀티가스모니터, CO ₂ 가스

<표 4.2> 환기시스템 설치 현황

환기형태	환기시스템	풍량(㎡/h)
하이브리드 환기시스템	창틀자연급기+욕실·거실배기(고정압팬)	83(55+28)
	창틀자연급기+덕트배기(실별)	90(30*3)
비교세대	환기시스템 미설치	-



(그림 4.4) 창틀설치형 자연환기장치 내부와 외부에서의 설치 모습

(그림 4.4)는 각 실 창틀설치형 자연환기장치의 내부와 외부의 설치 모습으로 본 연구에서의 하이브리드 환기시스템 구성은 급기시스템은 동일하게 창틀설치형 자연환기장치를 설치하고, 배기시스템은 욕실배기팬 연동형과 덕트배기시스템에 대하여 환기성능을 실험하였다. <표 4.3>은 실험 대상세대에 설치된 하이브리드 환기시스템의 재원에 대한 설명이다.

자연환기장치는 레버작동으로 개폐가 가능하고, 환기구 내부 중앙 부분에 프리필터를 설치하여 큰 먼지의 유입에 대해서 필터링을 할 수 있도록 하여 외기먼지에 의해 자연환기장치가 막히거나 저항이 많이 걸리지 않게 하였으며, 설치위치는 거실의 창틀 상부에 설치하였다.

자연환기의 구동력은 외부 풍속, 기압차, 온도차 등에 의해 발생한다. 그러나 본 실험에 적용된 하이브리드 환기시스템은 실내에 설치된 배기장치를 통해 일정량의 배기가 이루어지기 때문에 실내에 유입되는 급기량은 배기량과 같게 된다. 다만, 각 실의 자연환기 장치의 전후 면에 걸리는 압력차에 의해 각각의 자연환기장치마다 유입되는 급기량은 다를 것으로 판단된다. 또한 외부 발코니부분 새시 설치는 세대의 선택사항으로 자율적으로 설치하므로 발코니부분은 외부 새시 창을 개방시켜 실험 대상영역에서 배제하였다.

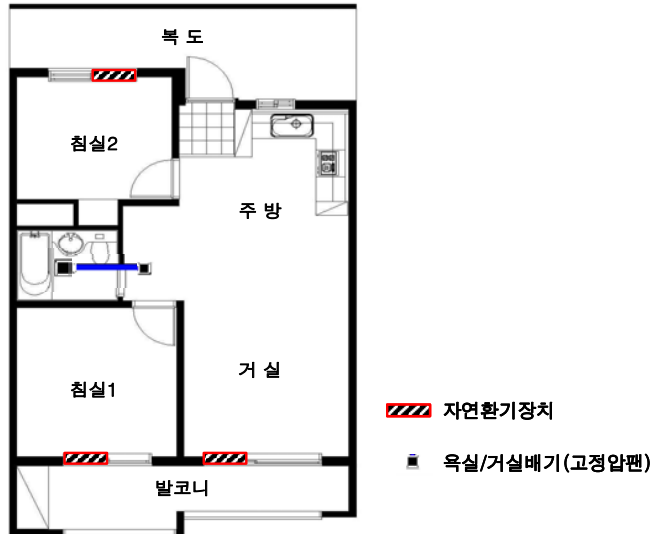
<표 4.3> 하이브리드 환기시스템 재원

	자연환기시스템	욕실·거실배기	실별 덕트배기
구성	 실별(거실, 침실1, 침실2) 창틀 상부에 설치	 욕실 천장 고정압팬, 욕실 앞 디퓨저 설치	 배기장치 발코니 설치, 실별(거실, 침실1, 침실2) 디퓨저 설치
규격 (mm)	. H : 110 . T : 25 . L : 940(거실), 750(침실1) 730(침실2)	. 고정압팬 : 263*263 . 그 린 : 150*150 . 덕 트 : Ø70	. 배기장치 : 300*700 . 그 린 : 150*150 . 덕 트 : Ø50
성능	. 공기유입량 : 50m³/h/단위길이 (2pa에서의 기류) . 개방면적 : 15000mm²/단위길이 . 소음차단 : 26~43dB . 필터 : 향균필터	. 정격풍량 : 83m³/h (욕실 55m³/h, 거실 28m³/h) . 소 음 : 36dB 이하 . 필터 : 프리필터	. 정격풍량 : 90m³/h (실별 30m³/h) . 소 음 : 35dB 이하 . 필터 : 프리필터

(그림 4.5)는 실험 대상세대에 설치된 하이브리드 환기시스템으로 급기구로는 각 실 창틀설치형 자연환기장치와 배기구로는 욕실 배기팬과 연동한 욕실·거실배기로 이루어진 환기시스템 설치 도면이다. 욕실·거실배기는 욕실 배기팬으로부터 덕트를 연장하여 거실로 디퓨저를 만들어 욕실과 거실 두 곳에서 배기가 이루어지도록 하였다. (그림 4.6)은 욕실·거실배기 설치 사진이다.

욕실 배기 시 건물 공동구에서 발생하는 압력차로 인해 기류가 역류하거나 충분한 배기가 되지 않을 수 있기 때문에 욕실팬으로 고정압팬을 사용하여 압력의 변화에도 일정한 배기가 가능하도록 하였다. 욕실배기로 인한 배기량은 55 m³/h이며, 거실배기로 인한 배기량은 28 m³/h으로 총 83 m³/h가 배

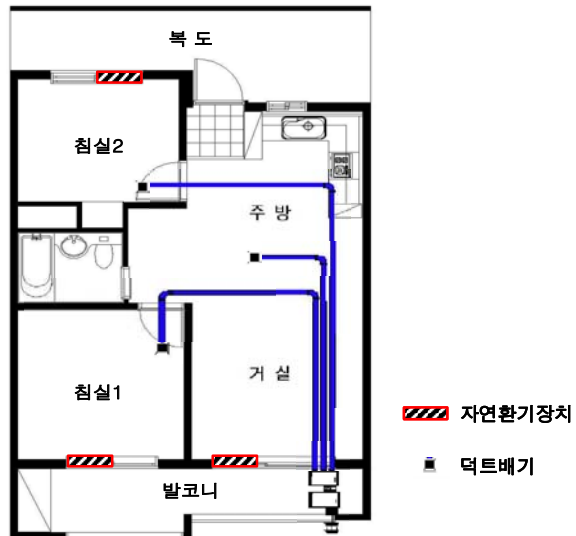
기가 되도록 하였다. 또한 욕실과 거실 사이의 덕트 분기 부분에 댐퍼를 설치하여 팬이 미작동 시 기류가 역류되는 현상을 방지하였으며, 작동방법은 욕실만 사용하는 방법과 욕실과 거실을 동시에 사용하는 두가지 모드로 설치하여 욕실 배기기능과 세대 환기기능을 동시에 가능하도록 설치하였다.



(그림 4.5) 창틀자연급기 + 욕실·거실배기 환기시스템 설치 도면



(그림 4.6) 창틀자연급기+욕실·거실배기 환기시스템 설치 사진



(그림 4.7) 창틀자연급기+덕트배기 환기시스템 설치 도면



(그림 4.8) 창틀자연급기+덕트배기 환기시스템 설치 사진

실험 대상세대에 설치된 또 다른 하이브리드 환기시스템은 급기구로는 앞서의 환기시스템과 동일한 각 실 창틀설치형 자연환기장치이며, 배기구로는 각 실 덕트배기로 이루어진 환기시스템으로 (그림 4.7)은 환기시스템 설치 도면이며, (그림 4.8)은 환기시스템 설치 사진이다.

일반적으로 덕트시스템은 천장 내에 매립되어 설치되지만 실험세대는 이미 공사가 완료된 세대로서 천장 내 매립이 불가하므로 지지대를 이용하여 천장 부근(1.92 m)에 설치하였다. 덕트배기를 위한 분배기와 배기팬이 포함된 배기 장치는 거실 발코니에 설치하고 덕트를 통하여 거실 중앙부분과 각 실의 방문 입구부분에 배기구를 설치하였다.

배기량은 각 실의 배기구를 통해 30 m³/h씩 동일한 양으로 거실, 침실1, 침실2의 총 90 m³/h가 배기되도록 설정하였다.

또한, 실험 대상세대와 동일 층에 환기시스템이 설치되지 않은 비교세대를 두어, 환기시스템 설치로 인한 기밀시공 여부의 판단 및 자연침기량 비교 평가 기준이 되는 세대로 활용하였다.

4.1.2 실험 방법

실험 방법은 환기시스템별 환기성능 측정에 앞서 실험세대의 환기시스템 시공 후의 자연 침기량을 측정하여 환기시스템 설치로 인한 세대의 기밀상태 유지 여부를 확인하였다. 자연 침기량을 통해 실험 대상세대의 기밀상태를 점검한 뒤 각 환기시스템별 가동상태에서 환기량을 측정하였다.

기계 환기시스템의 경우 급·배기 모두 기계적인 힘에 의해 환기가 되므로 외부 기상조건에 대해 크게 영향을 받지 않지만, 자연환기장치가 설치된 하이브리드 환기시스템의 경우는 자연환기장치를 통하여 급기되는 기류는 외부의 주풍향, 풍속, 온·습도에 따라 수시로 영향을 받게 된다. 따라서 하이브리드 환기시스템 특성상 외부환경에 의해 환기량 측정 결과가 영향을 받는 점을 고려하여 모든 환기시스템의 자연 침기량과 환기량 측정은 반복실험을 통해 실험 결과에 대한 재현성 실험을 실시하였다.

또한 환기시스템 시공으로 인한 세대내 기밀도 유지 상태를 점검하기 위해 환기시스템이 설치되지 않은 동일 층의 일반세대에서도 자연 침기량을 측정하고 그 결과를 통하여 환기시스템 설치 전 후의 기밀상태를 비교하였다.

실험세대의 침기량 및 환기량 측정은 KS규격(KS F 2603)인 ‘옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법)’의 농도감쇠법에 의거하여 측정하였다.³⁹⁾

건물 내에서 환기량을 측정하는 방법으로는 추적가스법, 블로어도어법, 배기시스템의 덕트내 풍속을 측정하여 산정하는 방법이 있다. 또한 추적가스법에는 가스 주입방법과 샘플방법에 따라 농도감쇠법, 정량주입법, 일정농도법이 있다. 본 연구에서는 추적가스법의 농도감쇠법을 이용하였다.

농도감쇠법은 추적가스를 일정농도로 유지하면서 방출시키다가 방출을 멈춘 뒤 시간경과에 따른 추적가스의 농도 변화를 측정하여 시간당 환기율을 계산하는 방법이다. 추적가스는 이산화탄소(CO₂)를 사용하였으며, 추적가스 측정은 멀티가스모니터(Innova社)를 사용하였다. 추적가스 방출시 각 실마다 팬을 이용하여 실내 공기를 희석시켜 실 전체 농도분포가 균일하게 하였으며, 감쇠되는 시점의 최초 농도가 실별로 동일해져 농도분포가 균일한 것을 확인한 후 가스방출을 멈추었다. 환기량의 계산방법(Seidel)은 다음과 같다.

39) KS F 2603, ‘옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법)’, 한국산업규격, 1991.

$$Q(\text{m}^3/\text{h}) = 2.303 \frac{V}{t} \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C_t - C_0} \quad (식 4.1)$$

여기서,

Q : 급기량(m^3/h)

V : 그 실내 기체의 부피(m^3)

t : 1회 때부터 측정까지 경과 시간(h)

C_1 : 측정 시간($t=0$)의 CO_2 농도(m^3/m^3)

C_t : t 시간 후 CO_2 농도(m^3/m^3)

C_0 : 급기 중의 이산화탄소 농도(m^3/m^3)

앞서 서술한 바와 같이, 자연환기장치가 설치된 하이브리드 환기시스템의 경우 자연환기장치를 통하여 급기되는 기류가 외부의 기상환경의 영향을 많이 받고, 그 요인들 중 실내외의 온습도차는 환기량 측정 결과에 중요한 영향을 미치는 점을 고려하여 환기시스템별 환기량 측정시 각 실 중앙과 실외에 온·습도 연속 측정기를 설치하여 환기량 측정당시 대상 세대 내외부의 온·습도 변화를 살펴보았다. 또한 실험시 열전대와 데이터로거를 이용하여 실내외 온도 및 환기시스템과 벽, 바닥 등 세대 전체 여러 지점을 실시간으로 측정을 하였으며, 이는 추후 CFD 시뮬레이션의 경계조건으로 사용되었다.

동절기의 난방 가스사용량 조사를 위해 가스 유량계를 사용하였으며, 환기시스템별 풍량 점검과 외부 기류상태 확인, 세대 틈새의 누기를 찾는 용도로 3차원 초음파풍속계와 열선풍속계 및 바람개비형 풍속계를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 실험기자재는 (그림 4.9), <표 4.4>와 같다.

40) KS F 2603, '옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법)', 한국산업규격, 1991.



(a) 멀티가스모니터



(b) CO₂ 가스



(c) 온·습도 연속측정기



(d) 열전대



(e) 데이터로거



(f) 3차원 초음파풍속계



(g) 열선유속계



(h) 바람개비형 풍속계

(그림 4.9) 실험기자재

<표 4.4> 실험기자재

실험기자재	모델명	제조회사	측정항목	측정범위	정밀도
온·습도 연속측정기	EC650	FOURIER (일본)	온도 습도	-30~50℃ 0~100%	±0.6℃ ±3%
데이터로거	NetDAQ 2640	Fluke(미국)	데이터기록	-100~1372 ℃	±0.4℃
열전대	T-type thermocouple (C_C sensor)	-	온도	-200~350 ℃	±0.5℃
3차원 초음파풍속계	WA-590	KAIJO(일본)	풍향, 풍속	0~10m/s	±2%
열선풍속계	9555-A	TSI(미국)	풍속	0~50m/s	±3%
바람개비형 풍속계	Rotating Vane 8321	TSI(미국)	풍속	0.25~30 m/s	±1%
멀티가스 모니터	Sampler 1303 Gas-Monitor 1412	INNOVA (덴마크)	이산화탄소	5~5000 ppm	±1%

4.2 환기시스템 성능 측정

4.2.1 실내외 온·습도 측정

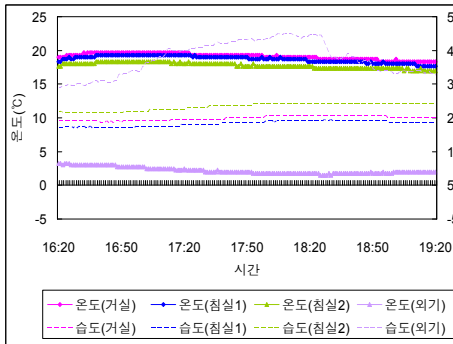
(그림 4.10)은 환기량 실험과 병행하여 측정한 실험 대상세대 내외부의 온·습도 그래프이며, <표 4.5>는 실내외 평균 온·습도 측정결과이다.

실내외 온·습도는 환기량 측정 결과 분석시 고려되어야할 사항으로 측정 대상세대는 동절기 실내온도인 20℃로 일정하게 유지시키기 위해 측정하기 3~4일 전부터 설정온도를 20℃로 맞추어 난방을 하였으며, 환기량 측정 당시 안정적 기류 상태를 유지시키기 위해 측정 하루 전부터 밀폐된 상태에서 환기시스템을 가동시켰다.

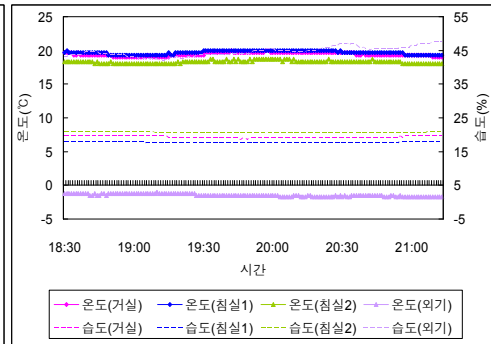
실내외 온·습도 측정은 직달 일사에 노출이 되지 않는 곳의 측정지점에 위치하였으며, 측정시간 동안의 실내 온도는 거실과 침실1은 평균 19℃를 유지하였고, 침실2는 평균 18℃를 유지하였다. 이는 거실과 침실1은 창틀 자연 환기장치가 위치한 창호 앞에 전실 역할을 하는 발코니가 위치해 있으나 침실2의 경우는 창호를 면하고 있는 외부 쪽에는 복도와 난간이 위치해 있고, 난간에는 복도 새시가 설치되어 있지 않기 때문에 외기가 창틀 자연환기장치를 통해 바로 실내로 유입되게 된다. 따라서 거실과 침실1에 비해 1℃ 정도 낮게 나타난 것으로 판단된다. 외기 온도의 경우, 환기시스템별 1차 측정시 평균 2.7℃, 2차 측정시 -2℃로 나타났다.

실내외 습도는 측정일별로 조금씩 차이를 보이고 있다. 실내습도는 전체적으로 20~30% 정도의 결과를 보였으며, 실외습도는 창틀자연급기+욕실·거실배기 1, 2차 측정시에는 약 40%의 결과를, 창틀자연급기+덕트배기 1, 2차 측정시에는 약 25%의 결과를 보였다.

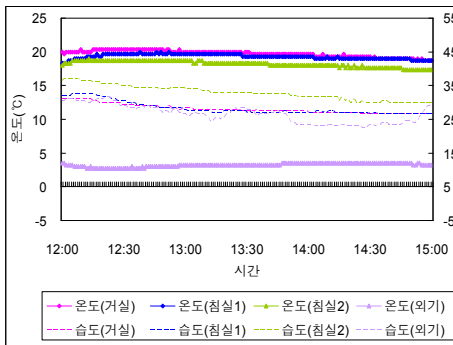
실외에 비해 실내의 습도가 낮은 경향을 보이는데 이는 측정시 환기가 이루어지고 있긴 하지만, 개구부가 모두 밀폐된 상태이며, 실내에 채실자가 없고 가사활동이 일어나지 않았기 때문에 습도가 평균적으로 낮게 유지되었다. 또한 온도의 결과와 마찬가지로 거실과 침실1에 비해 침실2의 습도결과는 외기 습도의 영향을 받아 약 3~5% 높은 것으로 나타났다.



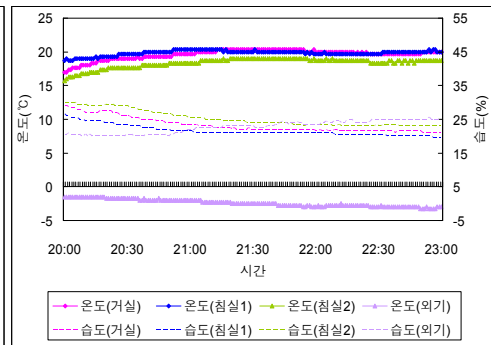
(a) 창틀자연급기+욕실·거실배기(1차)



(b) 창틀자연급기+욕실·거실배기(2차)



(c) 창틀자연급기+덕트배기(1차)



(d) 창틀자연급기+덕트배기(2차)

(그림 4.10) 실내외 온·습도 측정결과

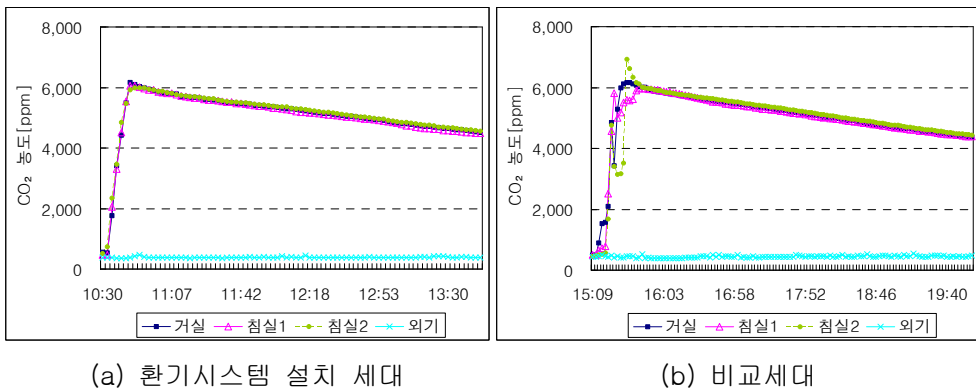
<표 4.5> 실내외 평균 온·습도 측정결과

창틀자연급기+ 욕실·거실배기		평균온도 (°C)	평균습도 (%)	창틀자연급기+ 덕트배기		평균온도 (°C)	평균습도 (%)
1차	거실	19.1	24.8	1차	거실	19.7	28.0
	침실1	18.7	23.2		침실1	19.3	28.2
	침실2	17.8	28.2		침실2	18.2	32.9
	외기	2.2	42.5		외기	3.2	26.5
2차	거실	19.4	19.2	2차	거실	19.6	23.2
	침실1	19.7	17.7		침실1	19.8	21.6
	침실2	18.2	20.7		침실2	18.3	25.2
	외기	-1.5	44.6		외기	-2.4	22.7

4.2.2 자연 침기량 측정

자연 침기량 측정을 통해 실험 대상세대의 기밀도를 판단하고 대상세대의 환기시스템 설치의 정밀성 정도를 파악하여 실험 적합 여부를 판단하고자 기밀 테스트를 실시하였다.

자연 침기량은 농도감쇠법으로 측정하였으며, 이 측정법은 밀폐시킨 세대에서 추적가스를 일정농도로 유지하면서 방출시키다가 방출을 멈춘 뒤 시간경과에 따른 추적가스의 농도 변화를 측정하여 시간당 환기율을 계산하는 방법으로서 추적가스는 이산화탄소(CO_2)를 사용하였으며, 추적가스 측정은 멀티가스모니터(Innova사)를 사용하였다. 추적가스 방출시 각 실마다 팬을 이용하여 실내 공기를 희석시켜 실 전체 농도분포가 균일하게 하였으며, 감쇠되는 시점의 최초 농도가 실별로 동일해져 농도분포가 균일한 것을 확인한 후 방출을 멈추었다. 측정 위치는 거실 중앙과 각 침실의 중앙지점, 높이 1.4m에서 수행하였다. 측정결과는 (그림 4.11)과 <표 4.6>과 같으며, 환기시스템이 설치되지 않은 비교세대의 환기횟수 결과가 0.08 회/h로 실험 대상 단지의 세대 내 기밀도가 매우 높은 것으로 나타났으며, 환기시스템을 설치한 실험 세대의 환기횟수 결과는 0.1 회/h로 나타났다. 비교세대와 설치세대 결과를 비교하면 자연침기량이 0.02 회/h 차이로 환기시스템 설치가 기밀하게 이루어져, 실험 대상세대에서 환기성능 실험을 실시하여도 장치시공의 따른 누기의 문제는 없는 것으로 나타났다.



(그림 4.11) 자연 침기량 측정결과

<표 4.6> 자연 침기량 측정결과

환기시스템	측정위치	환기량 (m^3/h)	환기횟수 (회/h)	환기횟수 평균(회/h)
하이브리드 환기시스템 설치 세대	거실	10.76	0.10	0.10
	침실1	11.67	0.11	
	침실2	10.92	0.10	
비교세대 (환기시스템 미설치)	거실	8.88	0.08	0.08
	침실1	9.01	0.08	
	침실2	8.63	0.08	

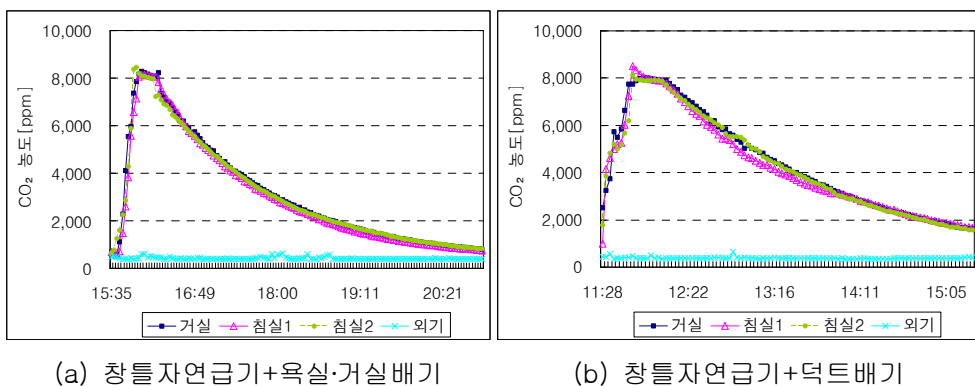
4.2.3 환기성능 측정

본 연구에서 환기성능 측정은 하이브리드 환기시스템 환기성능 향상 방안을 위한 인자들 중 환기효율에 해당하는 부분을 의미한다. 시스템별 환기량 측정은 각 하이브리드 환기시스템 배기장치의 설정 풍량이 다르기 때문에 이에 따른 환기량 결과 또한 절대값으로 환기시스템간 환기성능을 비교하기 어려운 관계로, 본 연구에서 환기시스템별 환기성능 평가 비교는 명목시간상수와 평균공기연령을 고려하여 산출한 환기효율 지표를 이용하여 평가하였다.

실내공기에는 실내로 바로 들어와 오염이 적은 공기와 장시간 실내에 잔존하여 오염이 진행된 공기가 있다. 동일한 실체적과 동일한 풍량의 환기시스템 사이에서, 즉 명목시간 상수가 동일한테 환기효율이 다르게 나타나는 것은 이와 같이 공기가 실내 머무는 평균시간이 차이가 나기 때문이다. 환기효율은 명목시간상수와 실내평균 공기연령의 비로써 정의되며, 환기시스템의 성능 및 환기구의 개수 및 위치에 따라 실내 각 지점에서의 공기 교환에 차이가 발생되어 공기의 신선도 분포가 달라지므로 환기효율 지표로서 환기시스템의 환기성능을 평가할 수 있다. 환기효율의 산출방법은 3.2.2에서 상술하였으며 본 연구에서는 ASHRAE Standard 1991에서 정의한 명목시간상수와 실내평균 공기연령의 비로 정의한 환기효율(Ventilation Effectiveness) 개념을 적용하여 측정하였다.

측정방법은 자연 침기량 측정법과 마찬가지로 농도감쇠법으로 측정하였으

며, 이 측정법은 밀폐시킨 세대에서 추적가스를 일정농도로 유지하면서 방출 시키다가 방출을 멈춘 뒤 시간경과에 따른 추적가스의 농도 변화를 측정하여 시간당 환기율을 계산하는 방법이다. 추적가스는 이산화탄소(CO₂)를 사용하였으며, 추적가스 측정은 멀티가스모니터(Innova사)를 사용하였다. 추적가스 방출시 각 실마다 팬을 이용하여 실내 공기를 희석시켜 실 전체 농도분포가 균일하게 하였으며, 감쇠되는 시점의 최초 농도가 실별로 동일해져 농도분포가 균일한 것을 확인한 후 추적가스 방출을 멈추었다. 측정 위치는 거실과 각 침실의 중앙지점으로 바닥에서 1.4m 높이의 지점에서 수행하였다.



(그림 4.12) 환기량 측정결과

<표 4.7> 환기시스템별 환기효율 측정결과

하이브리드 환기시스템	측정위치	국부평균 공기연령(h)	평균 공기연령(h)	환기효율 (%)	환기효율 평균(%)
창틀자연급기 + 육실·거실배기	거실	1.43	1.42	93	94
	방1	1.39		96	
	방2	1.45		93	
창틀자연급기 + 덕트배기	거실	1.54	1.52	80	81
	방1	1.47		84	
	방2	1.55		80	

환기량 측정결과 도표는 (그림 4.12), 환기시스템별 환기효율 결과는 <표 4.7>과 같다.

측정된 환기량을 바탕으로 국부평균 공기연령을 산출하고, 각 환기시스템별 배기장치의 설정 풍량을 적용해 환기효율을 계산해본 결과, 창틀자연급기 + 욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템은 평균 공기연령이 1.39 ~ 1.45h로 측정되어 실평균 1.42h로 나타났으며, 환기효율은 93 ~ 96%로 측정되어 실평균 94%로 나타났다.

창틀자연급기 + 덕트배기 하이브리드 환기시스템은 평균 공기연령이 1.47 ~ 1.55h로 측정되어 실평균 1.52 h로 나타났으며 환기효율은 80 ~ 84%로 측정되어 실평균 81%로 나타났다.

환기시스템별 환기효율 결과를 비교해보면, 창틀자연급기 + 덕트배기 하이브리드 환기시스템보다 창틀자연급기 + 욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템의 평균 공기연령이 더 짧고, 환기효율 또한 양호한 것으로 나타났다.

창틀자연급기 + 욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템의 경우, 욕실 배기구에서 55 m³/h, 욕실 입구에 위치한 거실 배기구에서 28 m³/h로, 두개의 배기구에서 총 83 m³/h를 배기하므로 세대 중형변의 길이가 비교적 짧은 실험 대상세대와 같은 소형 공동주택 구조에서는 실중앙 부분에서 상대적으로 많은 용량의 집중배기가 되므로 자연환기장치로부터 실중앙의 배기구까지 기류유동이 활발히 형성됨으로써 세대내 기류가 정체되는 부분이 적어 실전체의 환기가 잘 이루어져 공기연령이 짧아지고 환기효율 또한 높아지는 것으로 판단된다.

창틀자연급기 + 덕트배기 하이브리드 환기시스템의 경우 각 실 자연환기장치를 통해 급기되고 각 실 입구의 배기구를 통해 배기되므로, 실별 급배기가 이루어지고 있으나 급기구와 배기구의 거리가 가까이 설치된 경우 외기가 유입되면서 일부가 바로 배출구로 빠져나가는 유동(short cut)이 발생하여 창틀자연급기 + 욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템보다 환기효율이 좋지 않게 나타난 것으로 판단된다. 환기경로가 너무 짧은 경우는 급기구에서 배기구까지의 기류 경로 부분의 국부공기연령은 짧지만 급기구와 배기구에서 거리가 먼 곳은 급기된 공기가 공급되기 어려워 환기가 되지 않는 영역이 나타나 국

부공기연령의 차가 많이 발생된다. 이로 인해 침실이나 거실 전체의 평균적 측면에서의 평균공기연령은 길어지는 경향으로 나타나 전체적으로 환기효율은 나빠지는 문제점이 발생한다. 이와 같은 부분은 동절기의 경우 외부에서 유입된 차가운 외부공기가 실내 공기와 잘 섞이지 않아 급기구에서 배기구까지 온도구배가 크게 생길 수 있다. 또한 급기구 근처에 심한 콜드 드래프트(cold draft) 현상이 생겨 재실자들이 열적 만족감을 느낄 수 없을 가능성이 있다. 그리고 두 개의 침실에 비해 비교적 면적이 넓은 거실의 경우 한 개의 배기구를 통해 거실 전체 및 주방까지 환기가 이루어져야 하므로 급기구가 설치되지 않은 주방의 경우 공기의 정체가 생길 가능성이 높다.

4.3 소결

본 장에서는 소형 공동주택의 특성에 적합한 하이브리드 환기시스템의 환기성능을 검토하기 위하여 삼척 지역에 전용면적 51m² 규모의 소형공동주택에 하이브리드 환기시스템을 설치하고 환기형태에 따른 성능 실험을 실시하였다. 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

실내외 온·습도 측정 결과는 실내온도는 설정온도를 20℃로 맞추어 난방을 하여 거실과 침실1은 평균 19℃를 유지하였고 침실2는 평균 18℃를 유지하였다. 실외온도는 환기시스템별 1차 측정시 평균 2.7℃, 2차 측정시 -2℃로 나타났다. 실내외 습도는 측정일별로 조금씩 차이를 보였으며, 실내습도는 전체적으로 20 ~ 30% 정도의 결과를 보였으며, 실외습도는 창틀자연급기 + 욕실·거실배기 1, 2차 측정시에는 약 40%의 결과를, 창틀자연급기 + 덕트배기 1, 2차 측정시에는 약 25%의 결과를 보였다.

실험 대상세대의 기밀도를 판단하고 대상세대의 환기시스템 설치의 정밀성 정도를 파악하기 위하여 자연 침기량 측정을 실시한 결과 환기시스템이 설치되지 않은 비교세대의 환기횟수 결과가 0.08회/h로 실험 대상 단지의 세대 내 기밀도가 매우 높은 것으로 나타났으며, 환기시스템을 설치한 실험 세대의 환기횟수 결과는 0.1회/h로 나타나 환기시스템 설치가 기밀하게 이루어진 것

으로 보이며, 실험 대상세대에서 환기성능실험을 실시하는 것에 문제가 없는 것으로 나타났다.

창틀자연급기 + 욕실 · 거실배기 하이브리드 환기시스템은 평균 공기연령이 1.39 ~ 1.45 h으로 측정되어 실험평균 1.42h으로 나타났으며, 환기효율은 93 ~ 96%로 측정되어 실험평균 94%로 나타났다. 창틀자연급기 + 덕트배기 하이브리드 환기시스템은 평균 공기연령이 1.47 ~ 1.55h으로 측정되어 실험평균 1.52 h으로 나타났으며 환기효율은 80 ~ 84%로 측정되어 실험평균 81%로 나타났다. 창틀자연급기+욕실 · 거실배기 하이브리드 환기시스템이 창틀자연급기+덕트배기 하이브리드 환기시스템보다 평균 공기연령이 더 짧고, 환기효율도 우수한 것으로 나타났다.

제 5 장 하이브리드 환기시스템의 환기효율 CFD 시뮬레이션 검증

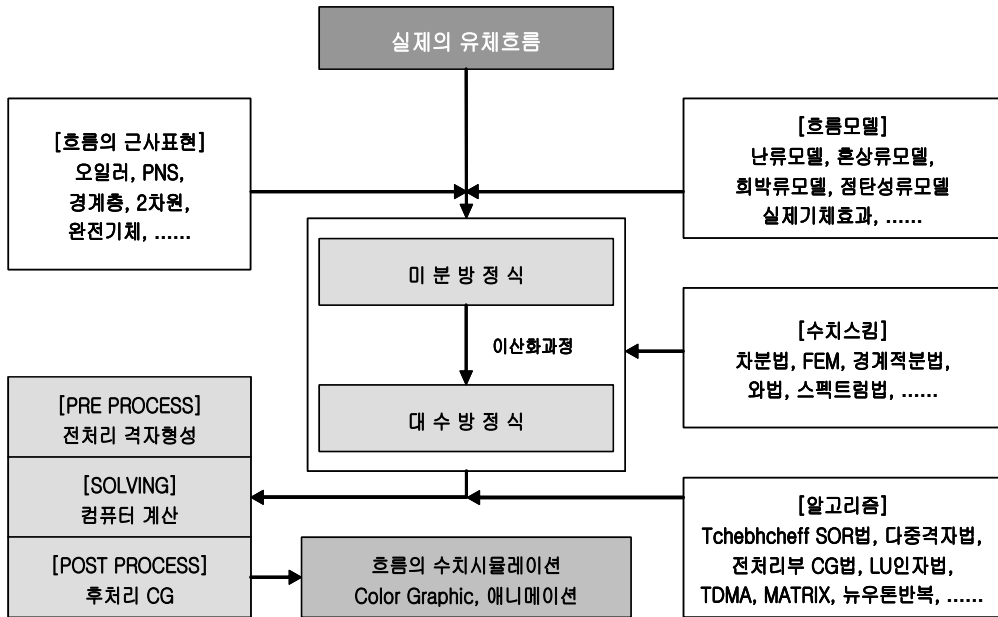
5.1 CFD 시뮬레이션 개요

5.1.1 CFD 시뮬레이션 개념

CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학) 시뮬레이션은 유체의 유동과 열전달 과정에 관한 지배방정식인 연립 편미분 방정식을 이산화(離散化)하여 컴퓨터를 통해 해석하는 방법에 대한 공학적인 용어이며, 건축 설비 및 환경 분야에서 시설물 내부의 기류분포, 온도분포, 압력분포, 각종 오염물질들의 거동 및 외부 시설물 환경 등을 해석하는 기술을 말한다.

CFD 시뮬레이션의 해석에 기본적 아이디어는 편미분방정식으로 표현되는 물리적 현상의 지배를 받는 전체 계산영역을 유한한 미소요소로 잘게 자르면, 가정과 근사계산을 통해 그 물리적 현상을 지배하는 편미분방정식이 선형대수방정식으로 표현되는 것에서 출발한다. 유한한 미소요소를 시스템으로 규정하고 지배방정식(편미분방정식)을 시스템에 대해 적분하면 지배방정식의 해를 얻을 수 있는데, 유한한 미소요소에서 편미분은 차분으로 근사계산될 수 있고, 유한한 미소요소에 대한 체적적분은 가우스(Gauss) 이론에 의해 표면적분으로 바뀔 수 있어, 편미분 방정식이 선형대수방정식의 형태로 근사계산될 수 있다. 이를 유한체적법(Finite Volume Method) 이라하며, 이러한 과정으로 얻어진 선형대수방정식을 이산화방정식이라 한다. 이렇게 미소요소마다 형성된 이산화방정식은 이웃한 미소요소와 사슬처럼 연결되어, 행렬과 벡터열의 곱으로 선형연립방정식으로 표현이 $[A]\{\phi\}=\{C\}$ 가능하여, 그 풀이가 가능하지만 행렬 $[A]$ 는 거대한 희소행렬(Sparse Matrix)의 형태를 띠게 되어, 풀이 과정이 복잡하고 반복적 과정이 필요하다. 이 선형연립방정식의 풀이가 전체 계산시간의 거의 대부분을 차지하기 때문에 효율적인 해법 개발과 컴퓨터 성능 향상은 커다란 과제가 되고 있다. 근래 컴퓨터 하드웨어 개발속도와 대중화는 개인이 64비트 CPU를 사용할 수 있을 정도로 빠르게 향상되고 있으며, 이에 따라 CFD 시뮬레이션을 통한 이·공학적 문제해결 요구가 증가하고 그 범위 또한 빠르게 확대되고 있다. 일반적인 계산 알고리즘은 (그림

5.1)에 나타난 바와 같다. 그림에서 보듯이, 유한체적법 해석에서는 반복법(iteration)을 통해 적절한 결과에 이를 때까지 반복적인 작업을 수행한다.⁴¹⁾



(그림 5.1) 수치 시뮬레이션의 흐름

5.1.2 CFD 시뮬레이션 이론

(1) 유체유동의 기본 지배방정식

유체역학의 기본 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식으로 구분되며, 각 지배방정식은 유체역학의 3가지 물리적 원리를 수학적 표현으로 나타내고, 유동 Model에 3가지 원리를 적용시켜 도출되었다.

41) STREAM V7 User's Guide, CRADLE, 2007

① 연속방정식 (Continuity Equation)

연속방정식의 물리적 기본원리는 질량보존의 법칙이며, 유한제어체적을 통과하는 유체는 제어체적을 통과하기 전과 후의 질량에 변함이 없다는 점을 이용하고 있다. 즉, 유동장 내에서 유한제어체적은 임의로 추출될 수 있기 때문에 모든 제어 체적 내부에서 질량변화의 적분치는 0이 된다는 내용을 방정식화한 것이 연속방정식이다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (\text{식 5.1})$$

② 운동량방정식 (Momentum Equation)

운동량방정식의 물리적 기본원리는 뉴턴의 제2법칙이며, 유체요소에 작용하는 벡터 가운데 X방향을 고려한다면 $F_x = ma_x$ 로 나타나고, 이 때 요소에 작용하는 힘은 Body Force와 Surface Force 두 가지로 분류된다. Body Force는 유체요소의 체적에 따른 질량에 작용하는 힘으로, 일정정도의 거리를 가지며 중력, 전기력, 자기력 등이 그 예이다. Surface Force는 유체요소의 표면에 작용하는 힘으로 이 힘은 유체요소 주위의 노출된 표면에 작용하는 외부 유체의 압력분포와 마찰에 의해 노출된 표면에 작용하는 전단응력 및 법선응력에 의해 발생한다. 17세기 말엽 뉴턴이 “유체의 전단응력은 변형의 빠르기에 비례한다”는 설을 발표함에 따라 이러한 성질을 지니는 유체를 뉴턴유체라 부르게 되었으며, 오늘날 대부분의 공기역학적인 문제에서 유체는 뉴턴유체로 가정하는 것이 일반화되어 있다.

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (\text{식 5.2})$$

$$\tau_{ij} = (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (\text{식 5.3})$$

③ 에너지방정식 (Energy Equation)

에너지방정식의 물리적 기본원리는 열역학 제 1법칙인 에너지보존의 법칙으로, 에너지 방정식은 전도항(conduction term)과 대류항(convection term), 발열항(heat resource term)으로 구성되어 있으며, 운동량 방정식에서 속도성분이 계산되면 이에 따른 온도성분들을 계산한다.

$$\frac{\partial \rho C_p T}{\partial t} + \frac{\partial u_i \rho C_p T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} K \frac{\partial T}{\partial x_j} + q \quad (\text{식 5.4})$$

④ 난류모델 (Turbulence Model)

유동하는 유체에서는 일정한 형상이 없으므로 변형하는 형상 자체보다는 형상이 변화는 정도가 중요한 의미를 가지게 된다. 따라서 유체에서는 변위의 시간에 따른 변화율, 즉 유동의 속도가 가장 중요한 의미를 가지게 되어, 이에 관한 물리적 현상을 질량보존과 운동량 보존에 근거한 Navier-Stokes 방정식으로 기술한다. 이 식은 층류에 대한 지배방정식으로 난류를 기술하기 위하여 속도와 압력을 시간평균값과 변동성분으로 분해하여, 이 식에 대입하면 단순히 확산항에 Reynolds 응력항 $\overline{u'_i \mu'_j}$ 이 추가된 형태로 변형된다. 이항은 텐서의 대칭성을 고려하더라도 6개의 미지수를 포함하기 때문에, 해를 구하기 위해서는 미지수의 개수를 방정식의 수에 맞추어 줄이는 작업이 필요하다. 이것이 난류모델이 필요한 이유이며, 여기서는 가장 널리 사용되고 있는 표준 $k-\epsilon$ 난류모델을 적용한다.

- 난류 운동에너지 방정식 (Turbulent kinetic energy equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} + G - \rho \epsilon \quad (\text{식 5.5})$$

- 난류 운동에너지 소산율 방정식 (Dissipation rate equation of turbulent kinetic energy)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \epsilon) \quad (\text{식 5.6})$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon}$$

$$G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right)$$

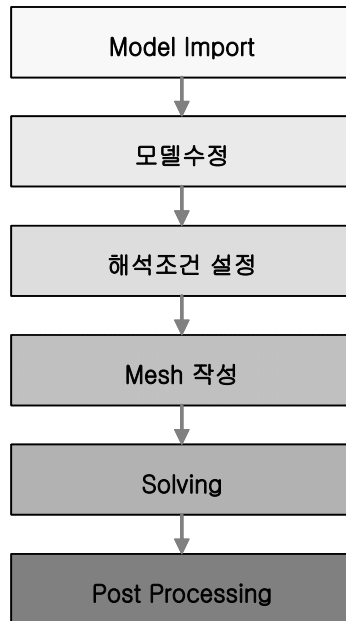
$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.22$$

(2) 시뮬레이션 도구

본 연구의 CFD 시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 STREAM(v7)으로 일본에서 1984년부터 개발되어 현재 일본 및 유럽, 한국의 기계 및 건축 환경 분야에서의 열·유동 해석에서 널리 사용되는 범용 CFD 시뮬레이션 소프트웨어이다. Cartesian mesh를 사용하여 빠른 계산시간에 안정적인 해석결과를 얻을 수 있다.

① CFD 프로그램의 시뮬레이션 구조

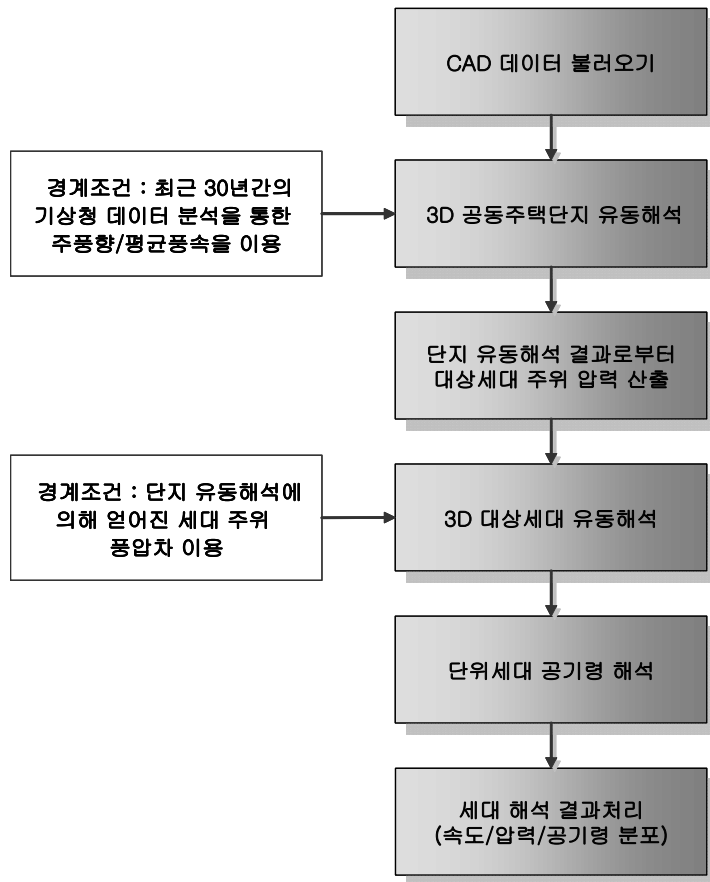
STREAM은 pre-processor를 담당하는 STpre와 solving을 담당하는 STsolver 그리고 post-processor를 담당하는 STpost 프로그램으로 구성되어 있으며, 각각 필요한 모든 제반 조건 및 격자 등을 설정하여 실제 계산을 위한 실행 파일을 만드는 모듈로 구분되며 다음 (그림 5.2)4와 같다.



(그림 5.2) 시뮬레이션 프로그램 구조

② 환기 CFD 시뮬레이션 프로세스

공동주택 단지는 다양한 구조의 단위 세대가 주동의 배치에 따라 서로 다른 방향으로 배치되어 있어 특히 단위 세대의 외피에 작용하는 풍압조건 등 자연환기에 따른 환기량을 해석하기 위한 경계조건이 각각 상이하며, 또한 단위세대 내부의 기류 유동에 있어서도 유닛타입에 따라 다른 양상을 나타내게 된다. 환기 시뮬레이션 프로세스는 다음 (그림 5.3)과 같다.



(그림 5.3) 시뮬레이션 프로세스

5.2 현장실험과 비교한 CFD 시뮬레이션의 신뢰도 검증

CFD 시뮬레이션은 공동주택의 환기시스템에 의한 환기성능을 가상의 컴퓨터 공간에서 실증적 실험에 가까운 전산모사를 통하여 정성적, 정량적으로 환기량 예측이 가능하다. 본 연구에서 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상을 위한 방안 모색은 CFD 시뮬레이션을 통해 환기효율 평가를 실시하여 제시하고자 하며, 이에 앞서 현장실험과 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 CFD 시뮬레이션의 신뢰도 검증작업을 수행하였다.

CFD 시뮬레이션시 기계환기시스템은 기상조건의 영향을 받지 않으며, 일정량의 정해진 급배기량 및 급배기구의 위치, 특성에 의해 환기성능이 결정되어 자연환기 및 하이브리드 환기시스템과 비교하여 시뮬레이션의 용이함이 있다. 그러나 자연환기시스템을 포함한 하이브리드 환기시스템은 기상조건(온·습도, 풍속, 풍향 등) 및 단지내 주동의 위치, 주동내 단위세대의 위치 등의 다양한 변수에 따라 세대의 내외부에 걸리는 압력차가 발생되어 이에 의해 세대내 유입 외기량이 달라질 수 있으므로 기계환기시스템과 비교하여 CFD 시뮬레이션의 어려움이 있다. 즉 CFD 시뮬레이션에서 기계환기시스템은 세대가 위치한 지역의 장소성에 영향을 받지 않으나 자연환기를 포함한 하이브리드 환기시스템은 장소성에 영향을 받는다. 따라서 현장실험에 대한 CFD 검증작업은 대상 공동주택 단지에 대한 시뮬레이션을 먼저 시행하여 하이브리드 환기시스템을 중심으로 현장실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과를 비교·검증 하였다.

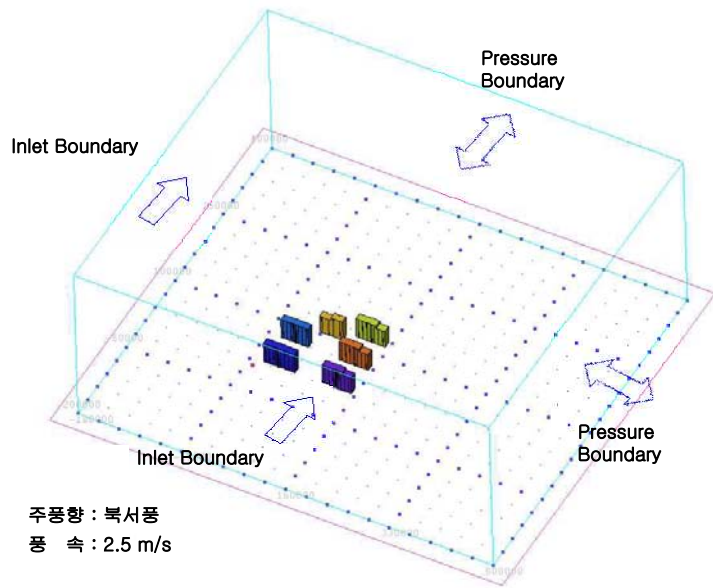
현장실험 세대의 하이브리드 환기시스템 가동시의 환기효율을 CFD 시뮬레이션을 통하여 평가하기 위해 실험 당시의 현장조건과 실험조건을 시뮬레이션 경계조건으로 사용하였으며, 자연환기장치를 통해 실내로 유입되는 외기의 조건을 파악하기 위하여 실험현장의 공동주택 단지 시뮬레이션을 수행하였다. 공동주택 단지는 다양한 구조의 단위 세대가 주동의 배치에 따라 서로 다른 방향으로 배치되어 있으므로 특히 단위세대의 외피에 작용하는 풍압조건 등 자연환기에 따른 환기량을 시뮬레이션하기 위한 경계조건이 각각 상이하며, 또한 단위세대 내부의 기류 유동에 있어서도 세대 구조에 따라 다른 양상을 나타나게 된다. 단지 전체의 풍환경 삼차원 CFD 시뮬레이션을 통하

여 주풍향에 대한 세대 전후면의 풍압조건을 검토하여 대상 세대의 경계조건을 도출하였다.

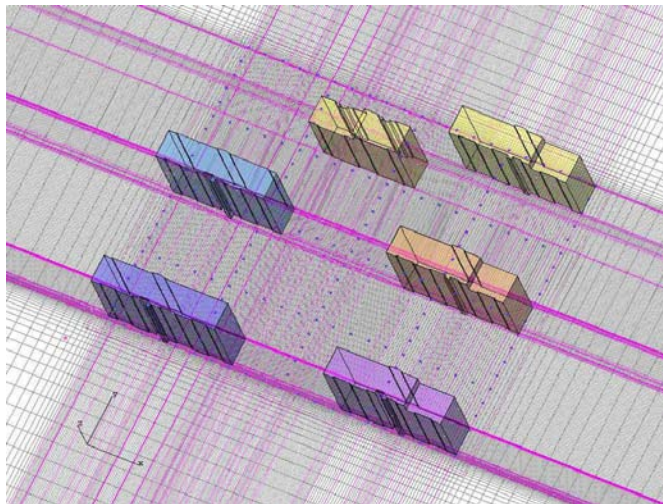
5.2.1 CFD 시뮬레이션 개요 및 경계조건

자연환기에 가장 큰 영향을 미치는 외기 풍속조건으로는 실험기간 중 실험 세대가 위치한 삼척지역의 기상 데이터를 기준으로 주풍향은 북서풍, 평균 풍속 2.5 m/s가 적용되었다. 보통 단지를 포함한 계산영역이 거대하고 그 길이가 0.7~1.5 km에 달하기 때문에 그 경계는 주풍향과 평균풍속이 그대로 유지된다고 가정할 수 있을 만큼의 거리를 확보해주어야 하며, 이를 원방영역(Far-field) 경계조건이라 하고, 자유외부유동 문제의 원방영역 경계에서 발생할 수 있는 경계를 따라 유입과 유출이 동시에 있을 수 있는 가능성이 있을 때 사용되는 경계조건으로 본 연구의 단지 조건 시뮬레이션에서는 원방영역 경계조건을 사용하였다.

공동주택 단지의 유형과 대상 세대가 속해 있는 해당 동의 위치에 따라 실제 대상 세대의 전후면의 압력차가 변하게 된다. 실측과의 검증을 위한 세대 환기 시뮬레이션에 앞서 단지 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모델의 크기는 680m × 600m × 300m이며, 격자는 사면체 셀 타입의 총 6,651,624 개로 구성되었다. 대상 단지 시뮬레이션 모델은 (그림 5.4)와 같으며, 대상세대 동 모델 상세 모습은 (그림 5.5)와 같다.



(그림 5.4) 대상 단지 시뮬레이션 모델



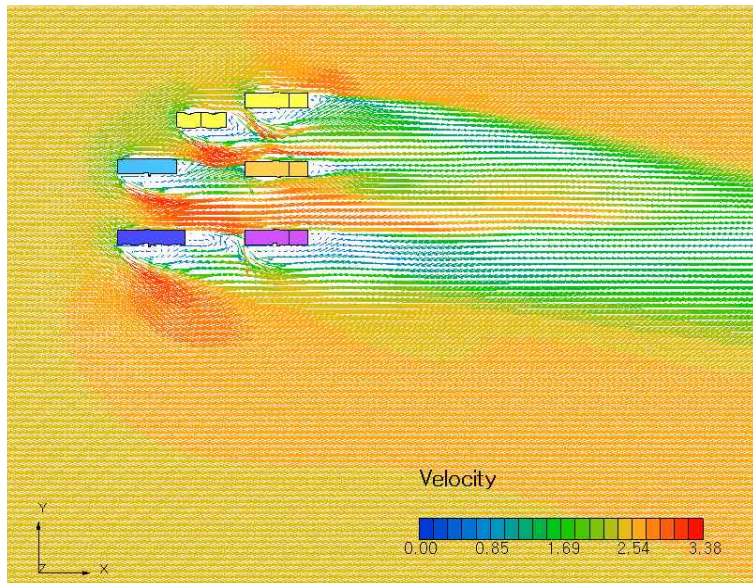
(그림 5.5) 대상 세대동 모델 상세모습

세대 전후면의 풍압조건을 검토하기 위하여 단지 시뮬레이션을 실시한 뒤 단위세대 내 환기 시뮬레이션을 실시하였다. CFD 시뮬레이션 조건은 <표 5.1>과 같다.

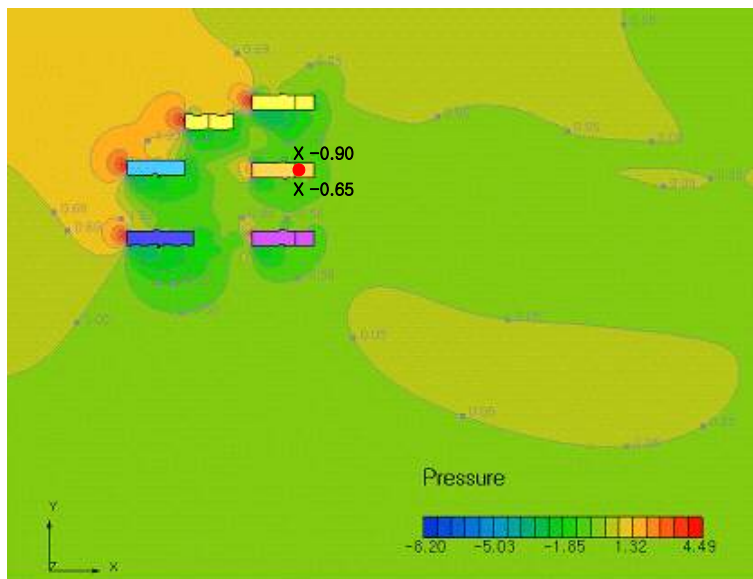
<표 5.1> CFD 시뮬레이션 조건

항 목	내 용
Code	STREAM V7
Mesh	cartesian
Cell number	1,500,000 ~ 6,300,000
Turbulence model	standard k- ϵ model
Solution procedure	SIMPLE
Wall condition	wall function
Differencing scheme	Upwind differencing scheme
Convergence criteria	Residual of 10^{-6}
CPU time	5hours(4CPU / 500 cycle)

실험기간 중 실험세대가 위치한 삼척지역의 기상 데이터를 기준으로 주풍향은 북서풍, 평균 풍속 2.5 m/s가 적용된 단지 시뮬레이션 결과는 (그림 5.6) ~ (그림 5.7)과 같다. 실험 대상 세대 전후면 압력결과는 전면은 -0.65 pa, 후면은 -0.80 pa로 나타났다. 이는 다음 단위세대 시뮬레이션의 세대 전후면 압력조건으로 활용되었다.



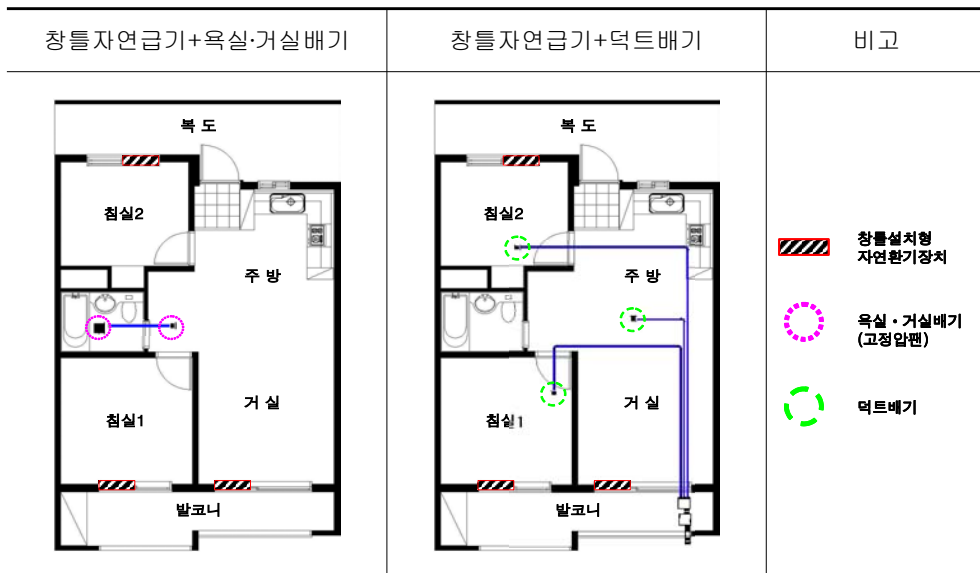
(그림 5.6) 대상 단지 주변의 기류분포



(그림 5.7) 대상 단지 주변의 압력분포

CFD 시뮬레이션 검증 대상인 단위 세대 평면 및 환기장치 설치 위치는 <표 5.2>와 같으며, 현장 실험과 동일한 조건의 CFD 시뮬레이션을 위하여 현장 실험 당시의 실측 조건을 단지 시뮬레이션 하여 그 결과를 CFD 시뮬레이션 경계조건으로 사용하였다. 단위세대 CFD 시뮬레이션 경계조건은 <표 5.3>과 같다.

<표 5.2> CFD 시뮬레이션 검증 단위세대 평면 및 환기장치 설치 위치



<표 5.3> CFD 시뮬레이션 경계조건

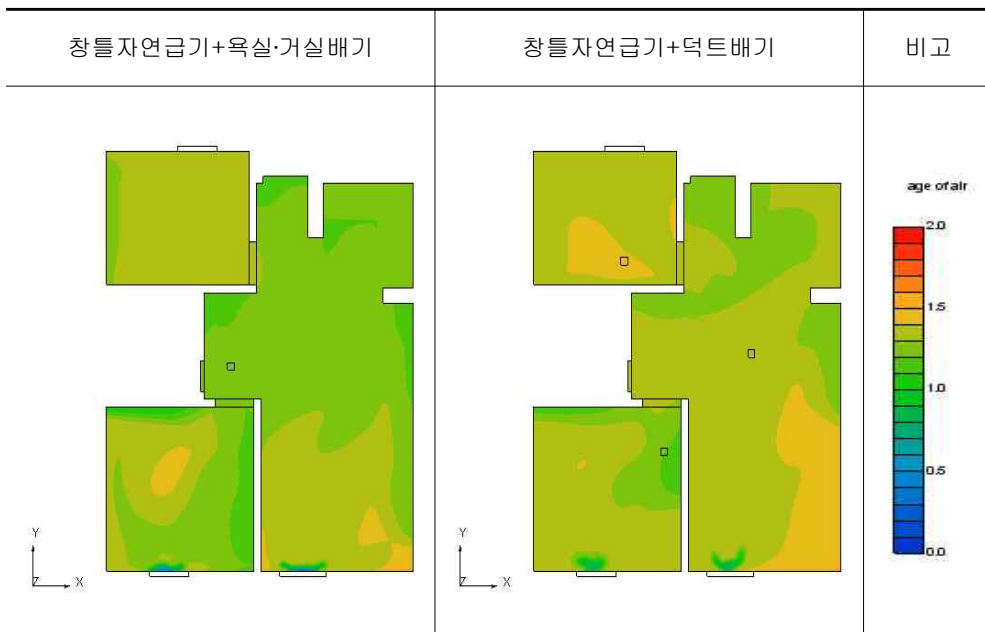
구 분	창틀자연급기+욕실·거실배기		창틀자연급기+덕트배기		비 고
배 기 구 (풍 량)	욕실 : 55㎥/h	총 83㎥/h	거실 및 각 침실:	총 90㎥/h	
	거실 : 28㎥/h		30㎥/h		
자연급기구 (압력손실)	개구율 : 30%				
실내 온도	20℃(바닥온도:25℃)				
실외 온도	0℃				
세대 전후면 압력조건	. 전 면 : -0.65E+00 . 후 면 : -0.90E+00		. 압력차 : 2.5E-01		단지 시뮬레이션 결과 (기상데이터 기준)

5.2.2 CFD 시뮬레이션을 이용한 현장 환기시스템 성능 평가

CFD 시뮬레이션을 통하여 현장 실험에서 이루어진 하이브리드 환기시스템을 적용한 세대내 환기 시뮬레이션을 실시하였으며, 검증 단위세대 CFD 시뮬레이션 결과는 <표 5.4>와 같으며, 하이브리드 환기시스템의 현장 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과는 <표 5.5>와 같다.

하이브리드 환기시스템이 설치된 실험 현장에서 시스템 가동 시, 추적가스는 이산화탄소, 측정장비는 멀티가스모니터를 이용하여 추적 가스법으로 KS 규격(KS F 2603)의 ‘옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법)’의 농도감쇠법에 의거하여 실내 환기량을 측정하였으며 시간경과에 따른 이산화탄소의 농도차를 통해 각 실별 중앙 지점에서의 국부평균 공기연령을 산출하였다. 현장 실험과 동일한 조건의 CFD 시뮬레이션을 통하여 실내평균 공기연령을 구하였으며, 각 실별 실내에서의 공기연령의 분포 정도를 알아보기 위해, 환기량 현장 실험 시 샘플링 높이인 1.5m 동일 지점에서의 공기연령 결과를 검토하였다.

<표 5.4> 검증 단위세대 CFD 시뮬레이션 결과 (공기연령: 1.5 m)



<표 5.5> 현장 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과

	창틀자연급기+욕실·거실배기			창틀자연급기+덕트배기		
	측정위치	국부평균 공기연령 (h)	환기효율 (%)	측정위치	국부평균 공기연령 (h)	환기효율 (%)
현 장 실 험	거실	1.43	94	거실	1.54	80
	침실1	1.39	96	침실1	1.47	84
	침실2	1.45	92	침실2	1.55	80
	평균	1.42	94	평균	1.52	81
CFD 시뮬레이션	측정위치	실내평균 공기연령 (h)	환기효율 (%)	측정위치	실내평균 공기연령 (h)	환기효율 (%)
	실평균	1.26	106	실평균	1.37	90

5.2.3 시뮬레이션 결과 및 현장실험 결과 비교 검증

현장 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 보면 환기량 실험에서의 국부 평균 공기연령값과 CFD 시뮬레이션의 실내 평균 공기연령값이 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 CFD 시뮬레이션의 경우는 수차례 반복 계산을 통해 해석 결과가 안정단계에 도달했을 때 계산이 종료되게 된다. 이를 정상상태(Steady State) 해석이라 하고, CFD 시뮬레이션의 결과는 정상상태를 가정으로 해석한 결과이다. 창틀자연급기+욕실·거실배기의 하이브리드 환기시스템과 창틀자연급기+덕트배기의 하이브리드 환기시스템의 평균 공기연령 차이는 실험결과는 0.1 h로 CFD 시뮬레이션 결과는 0.11 h로 유사하게 나타났으며, 실험과 CFD 시뮬레이션 결과 모두 창틀자연급기+욕실·거실배기의 환기효율이 높은 것으로 나타났다.

또한 실험에서의 각 실별 공기연령은 창틀자연급기+욕실·거실배기과 창틀

자연급기+덕트배기 모두, 침실1, 거실, 침실2의 순으로 낮게 나타났는데, <표 5.4>의 CFD 시뮬레이션 결과의 각 실 공기연령 분포와 <표 5.5>의 환기량 실험의 각 실 측정 결과와 비교하면, CFD 시뮬레이션의 1.5m 높이의 공기연령 분포 또한 실험과 동일한 순서로 공기연령이 낮게 나타남을 확인할 수 있다.

환기량 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하면 <표 5.6>과 같다. 실험 결과와 시뮬레이션 결과는 -11~+13%의 차이를 보였다. 하이브리드 환기시스템의 환기량 현장 실험시 실험현장의 경우는 외부의 온도, 풍속, 풍향, 기류 상태 등 수시로 변화하는 외부 기상환경과 실험 세대의 환기시스템 시공 오차에 의해 세대 내 환기상태가 미세하게 계속 변화하여 환기효율을 저하시키는 요소가 존재한다. 그러나 CFD 시뮬레이션에서는 시뮬레이션의 특성상 정상상태의 해석 결과이므로 현장실험에서 실제 발생되어 측정결과로 반영되는 상술한 환기성능에 영향을 미치는 변수들이 고려되지 못한다. 따라서 실측결과는 현장의 여러 변수 및 여건상 측정결과간 오차가 발생할 수 있다.

‘공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서’(2006.6)에 의하면 환기성능 평가시 실물 현장실험 및 축소모형 실험에서 허용오차 범위를 $\pm 10\%$ 로 정하고 있으며, ASHRAE Guideline 14 (Measurement of Energy and Demand Saving)⁴²⁾에서는 측정치의 허용오차를 20% 이내로 제시하고 있다. 본 연구의 시뮬레이션 결과와 현장측정 결과와의 오차범위는 10% 내외이므로, 앞서 상술한 현장실험의 허용오차 범위안에 들어가므로 시뮬레이션 결과가 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

또한, 현장실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 보면, 각 환기시스템간의 공기연령 및 환기효율의 해석치와 실측치의 오차율이 유사하며, 각 실의 공기연령 결과의 순서가 실험 결과와 시뮬레이션 결과가 모두 동일하게 나타났다. 그러므로 CFD 시뮬레이션 결과가 실제 현장실험 결과와 유의성이 있다는 것을 판단할 수 있다.

42) Yiqun Pan 외, ‘Calibrated Building Energy Simulation and its Application in a High-Rise Commercial Building in Shanghai’, Energy and Buildings 39, 2007

<표 5.6> 환기량 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과 비교

구 분		CFD 시뮬레이션	현장 실측	오차(%)
창틀자연급기+욕실·거실배기	공기연령(h)	1.26	1.42	+13
	환기효율(%)	106	94	-11
창틀자연급기+덕트배기	공기연령(h)	1.37	1.52	+11
	환기효율(%)	90	81	-10

5.3 소결

본 장에서는 CFD 시뮬레이션 기법을 이용하여 하이브리드 환기시스템의 환기성능을 증대시킬 수 있는 계획방안을 제시하기 위하여 먼저, 현장실험과 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 CFD 신뢰도 검증작업을 실시하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

현장 실험 결과와 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 보면, 환기량 실험에서의 국부 평균 공기연령값과 CFD 시뮬레이션의 실내 평균 공기연령값이 약간의 차이를 보이고 있으나 이는 CFD 시뮬레이션의 경우 정상상태를 가정으로 해석한 결과이므로 실험 결과와의 차이는 실측결과 오차범위 내로 판단되며, 창틀자연급기+욕실·거실배기의 하이브리드 환기시스템과 창틀자연급기+덕트배기의 하이브리드 환기시스템의 평균 공기연령 차이는 실험결과는 0.1 h, CFD 시뮬레이션 결과는 0.11h 로 유사하게 나타났으며 실험과 CFD 시뮬레이션 결과 모두 창틀자연급기+욕실·거실배기의 환기효율이 높은 것으로 나타났다.

실험에서의 각 실별 공기연령은 창틀자연급기+욕실·거실배기와 창틀자연급기+덕트배기 하이브리드 환기시스템 모두, 침실1, 거실, 침실2의 순으로 낮게 나타났는데, CFD 시뮬레이션의 동일 높이의 공기연령 분포 결과 또한 실험과 동일한 순서로 공기연령이 낮게 나타남을 확인할 수 있었다.

현장실험 결과와 시뮬레이션 결과는 $-11\sim+13\%$ 의 오차율을 보였다. 현장 실험의 경우는 외부의 온도, 풍속, 풍향, 기류상태 등 수시로 변하는 외부 기상환경과 실험 세대의 환기시스템 시공 오차에 따라 세대 내 환기상태가 미세하게 지속적으로 변함으로써, 공기연령을 증가시키고 환기효율을 저하시킬 수 있는 요소가 실제적으로 존재한다. 그러나, CFD 시뮬레이션은 시뮬레이션의 특성상 정상상태의 해석 결과이므로, 현장실험에서 실제 발생되고 있는 환기성능을 저하시킬 수 있는 변수들이 고려되지 못한다. 따라서 실측결과와 비교할 때 CFD 시뮬레이션에 의한 효율이 좀 더 양호하게 나타날 수 있다. 또한, 현장실측의 오차범위에 대한 문헌고찰에 의하여 본 연구의 CFD 시뮬레이션의 결과는 실제 현장실험과 유의성이 있는 것으로 판단 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 하이브리드 환기시스템 성능향상 방안을 위한 분석방법으로서 CFD 시뮬레이션을 활용하였다.

제 6 장 CFD 시뮬레이션을 이용한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상방안

6.1 CFD 시뮬레이션 개요

본 장에서는 하이브리드 환기시스템의 환기효율 향상을 위하여 두 종류의 하이브리드 환기시스템을 급배기구의 위치 및 개수를 변화시켜 CFD시뮬레이션을 통해 환기해석을 실시하였으며, 시스템별 최적의 환기계획안을 모색하였다.

환기성능을 나타내는 지표는 명목공기교환회수, 명목시간상수, 공기교환효율, 공기교환시간, 유효외기율, 국부환기지수, 평균환기효율 등 여러 가지 지표로서 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 명목시간상수와 실내평균 공기연령의 비로써 정의되는 평균 환기효율을 활용하여 환기성능을 제안하였다.

본 연구에서의 하이브리드 환기시스템의 급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치와 배기는 기계 배기장치(옥실팬 연동 옥실·거실배기장치, 덕트배기장치)로 이루어졌다. 자연환기장치에 의한 환기는 건물 주변에 형성되는 풍압분포에 따라 영향이 크게 나타나므로 단지와 건물의 형상과 풍향, 풍속에 대한 영향이 크다. 따라서 하이브리드 환기시스템의 대안별 환기효율 평가는 세대 환기 시뮬레이션 실시하기 전에 공동주택 단지 및 건물과 지역적 조건에 따른 기상조건에 대한 일정한 가정을 전제한 후 단지 시뮬레이션을 선행하였다. 시뮬레이션 결과로서 대상 세대의 전후면의 기류 및 압력 상태를 파악한 뒤 그 결과를 세대 전후면의 경계 조건값으로 적용하여 각 세대의 환기효율을 평가한다.

6.1.1 시뮬레이션 경계조건

1) 경계조건 설정

(1) 온도조건

일반적으로 내부와 외부의 온도차이가 클수록 자연환기량은 증가하게 되며 이러한 온도 차이에 의한 환기량 계산은 수식과 해석을 통해 가능하지만 수

치해석을 수행할 경우 내부 발열원에 대한 고찰이 필요하고 재실인원, 가전 제품 및 냉난방의 유무 등이 고려되어야 한다. 내외부의 온도차이는 자연환기 성능에 도움을 주는 인자이기 때문에, 본 시뮬레이션에서는 내부 발열원에 대한 온도의 긍정적 영향을 배제하고 시뮬레이션을 수행하였다.

(2) 벽 경계조건

벽 조건은 유체와 고체의 경계를 구분해주며, 일반적인 고체 벽은 대부분의 유체 유동문제를 발생시킨다. 유체와 벽 사이의 전단력과 열전달은 국부 유동영역에서의 유동값들에 기초된다. 본 해석에서는 환기성능 평가를 위한 기류 유동 해석으로 외부로부터 열의 유입이 없고 내부에 등은 유지를 가정하여 wall condition을 단순화하여 wall function을 적용하였다.

(3) 입구 경계조건

자연환기에 가장 큰 영향을 미치는 외기 풍속조건은 소형 공동주택(51m² 이하)이 수도권 지역에서 가장 많이 건설⁴³⁾되고 있으므로, 국내 중부지역 중 서울의 최근 30년간(1970~2000) 기상 데이터를 분석하여 기준으로 설정하였으며 분석결과 주풍향은 서풍이며, 평균 풍속은 약 2.4 m/s가 적용되었다.

<표 6.1> 입구 경계조건⁴⁴⁾

	산출근거	비고
Velocity (U_{avg})	$U(h) = \left\{ \begin{array}{ll} U_{met} \left(\frac{d_{met}}{H_{met}} \right)^{a_{met}} \left(\frac{h}{d} \right)^a & h < d \\ U_{met} \left(\frac{d_{met}}{H_{met}} \right)^{a_{met}} & h \geq d \end{array} \right.$	U_{met} = 2.4m/s (서풍)
Turbulence kinetic energy(k)	$k = \frac{(U^*)^2}{\sqrt{C_u}}$	$C_u = 0.09$
Turbulence dissipation rate(ϵ)	$\epsilon = \frac{(U^*)^3}{kh}$	$k = 0.42$

43) <http://kookmin.jugong.co.kr>

44) STREAM V7 User's Guide, CRADLE, 2007

(4) 출구 경계조건

단지를 포함한 계산영역이 거대하고 그 길이가 0.7~1.5 km에 달하기 때문에 그 경계는 주풍향과 평균풍속이 그대로 유지된다고 가정할 수 있을 만큼의 거리를 확보해주어야 하며, 이를 원방영역(Far-field) 경계조건이라 한다. 자유외부유동 문제의 원방영역 경계에서 발생할 수 있는 경계를 따라 유입과 유출이 동시에 있을 수 있는 가능성이 있을 때 사용되는 경계조건으로 본 연구의 단지 조건 시뮬레이션에서는 원방영역 경계조건을 사용하였다.

2) 풍향 및 풍속 데이터 분석

자연환경에 가장 큰 영향을 미치는 외기 풍속조건으로는 국내 중부지역 중 서울의 최근 30년간(1970~2000) 기상 데이터를 기준으로 주풍향은 서풍, 평균 풍속은 약 2.4 m/s가 적용되었다.

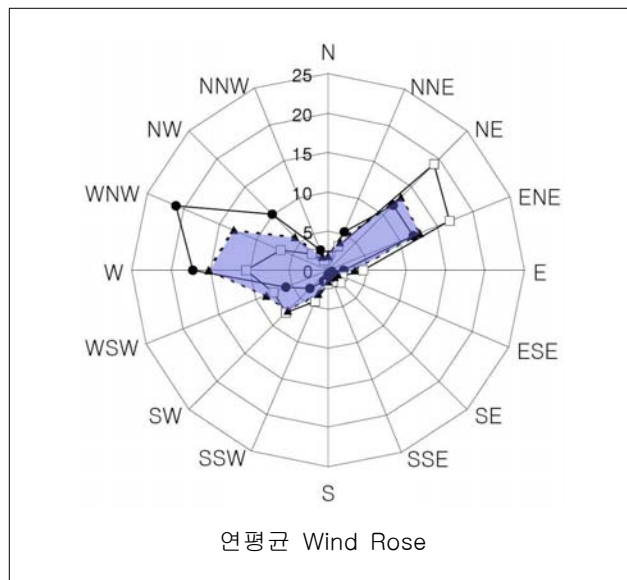
서울중부 지역의 주풍향을 알기 위해 기상청의 기상측정 데이터를 활용하여 풍향별 관측횟수의 백분율을 아래 <표 6.2>와 같이 파악하였다. 이를 근거로 작성된 서울지역 풍배도는 다음 (그림 6.1)과 같다. 기상측정 데이터와 풍배도를 조사해 본 결과, 서울지역의 풍향은 서풍이 15.2%로 가장 많이 관측 되는 것으로 조사되었으며, 풍배도에 의하면 서북서 방향의 바람이 12월~2월에 걸쳐 가장 많이 관측되나 전년의 평균 풍향으로 분석하여 보면 서풍이 평균적으로 많이 불어오는 것을 알 수 있다. 서울 중부지역의 풍속은 <표 6.3>과 같으며, 전년 평균 2.4 m/s로 나타났다.⁴⁵⁾

따라서 서울 중부지역의 주풍향인 서풍과 평균풍속인 2.4 m/s를 공동주택 단지 시뮬레이션 경계조건으로 하였다.

45) <http://www.kma.go.kr>

<표 6.2> 풍향별 관측횟수의 백분율 (%)

월 요소		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
		JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNUAL
정온	CALM	4.2	3.5	3.4	3.6	5.0	6.1	6.0	6.3	6.6	7.3	5.4	5.0	5.2
북북동	NNE	5.3	3.7	3.6	2.9	2.6	2.4	2.6	3.3	4.5	5.3	5.5	5.2	3.9
북동	NE	11.7	10.1	9.2	9.0	9.4	11.0	13.7	19.1	19.2	15.2	15.9	14.7	13.2
동북동	ENE	11.7	10.2	10.9	10.7	10.4	11.5	12.6	16.7	18.1	13.5	14.1	10.9	12.6
동	E	2.0	2.7	3.5	4.1	3.1	3.8	3.8	4.5	3.9	3.5	2.7	2.4	3.4
동남동	ESE	0.5	0.7	1.1	1.5	1.4	1.9	2.0	2.0	1.5	1.4	0.7	0.5	1.3
남동	SE	0.4	0.5	0.8	1.4	1.5	1.8	2.3	2.2	1.4	0.9	0.6	0.4	1.2
남남동	SSE	0.4	0.3	0.7	1.0	1.2	1.6	2.0	1.6	1.1	0.8	0.5	0.4	1.0
남	S	0.6	0.7	1.3	1.9	2.0	2.1	2.6	1.7	1.0	1.2	1.0	0.8	1.4
남남서	SSW	1.5	2.0	3.0	3.7	4.7	3.9	7.0	4.3	2.2	2.1	2.3	1.8	3.2
남서	SW	3.2	4.8	7.8	11.0	12.4	10.4	12.6	7.6	4.5	4.0	4.3	3.3	7.2
서남서	WSW	5.8	8.4	10.3	12.6	13.3	12.6	10.2	7.5	5.3	5.8	4.9	5.2	8.5
서	W	17.2	18.9	18.3	17.3	17.6	16.7	11.3	10.4	11.0	14.0	14.2	15.6	15.2
서북서	WNW	21.0	20.6	16.5	11.5	9.2	8.1	6.0	6.5	9.0	13.0	16.4	19.5	13.1
북서	NW	10.1	9.0	6.3	4.7	3.8	3.8	3.0	3.0	5.4	6.8	7.3	9.3	6.0
북북서	NNW	2.7	2.3	2.0	1.5	1.1	1.2	0.9	1.3	2.5	2.5	2.1	2.5	1.9
북	N	1.9	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.7	2.9	2.8	2.1	2.4	1.8



(그림 6.1) 서울지역 풍배도 (30년간:1970~2000)

<표 6.3> 풍향별 평균 풍속 (m/s)

월 요소		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	전년
		JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNUAL
북북동	NNE	1.3	1.3	1.4	1.4	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2
북동	NE	1.6	1.8	1.9	2.0	1.7	1.7	1.9	1.9	1.7	1.4	1.6	1.5	1.7
동북동	ENE	2.2	2.4	2.5	2.4	2.3	2.1	2.2	2.1	2.0	1.8	2.1	1.8	2.1
동	E	1.9	2.0	2.2	2.2	1.7	1.6	1.7	1.7	1.7	1.5	1.6	1.7	1.8
동남동	ESE	1.4	1.8	1.7	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.6
남동	SE	1.2	1.5	1.7	1.7	1.5	1.6	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.6
남남동	SSE	1.4	1.4	1.7	1.9	1.7	1.7	1.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.6	1.7
남	S	1.6	1.7	1.9	2.5	2.1	2.0	2.1	2.1	1.7	1.8	1.7	1.8	2.0
남남서	SSW	2.4	2.9	3.1	3.4	3.3	2.8	3.3	3.1	2.8	2.7	2.5	2.8	3.0
남서	SW	2.6	2.9	3.6	3.8	3.4	3.0	3.2	3.2	2.8	2.8	2.7	2.6	3.2
서남서	WSW	2.9	3.2	3.4	3.5	3.2	3.0	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	3.1
서	W	3.3	3.5	3.5	3.6	3.4	3.0	2.8	2.8	2.9	3.0	3.2	3.2	3.2
서북서	WNW	3.3	3.5	3.6	3.5	3.0	2.6	2.4	2.6	2.6	3.0	3.3	3.4	3.2
북서	NW	2.8	2.9	2.9	2.9	2.5	2.0	1.9	2.0	2.1	2.4	2.6	2.7	2.6
북북서	NNW	2.4	2.3	2.3	2.0	2.0	1.6	1.9	1.6	1.6	1.9	2.1	2.2	2.0
북	N	1.2	1.4	1.3	1.3	1.4	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.3	1.3	1.2
평균	avg.	2.5	2.7	2.9	2.9	2.6	2.3	2.3	2.1	1.9	2.0	2.3	2.3	2.4

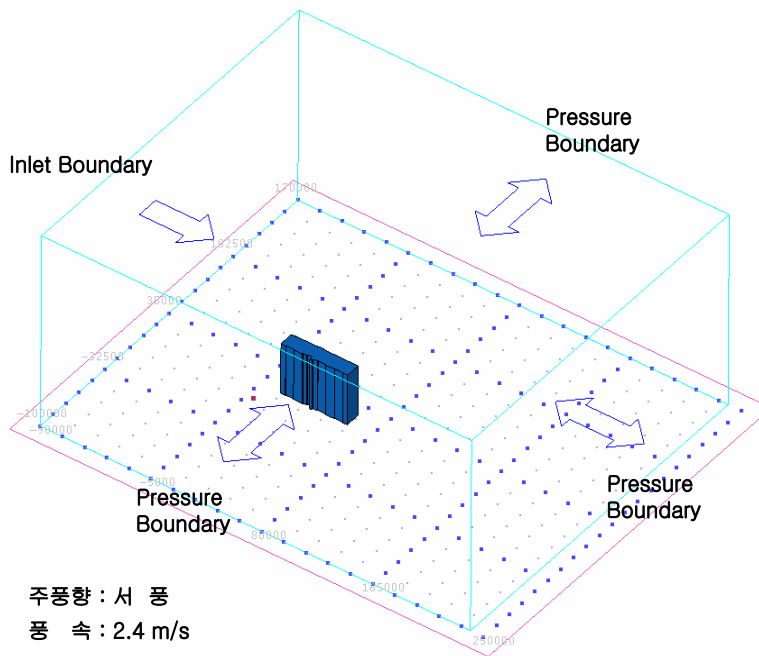
3) 대상 세대동 주변의 압력분포 시뮬레이션

(1) 시뮬레이션 모델링

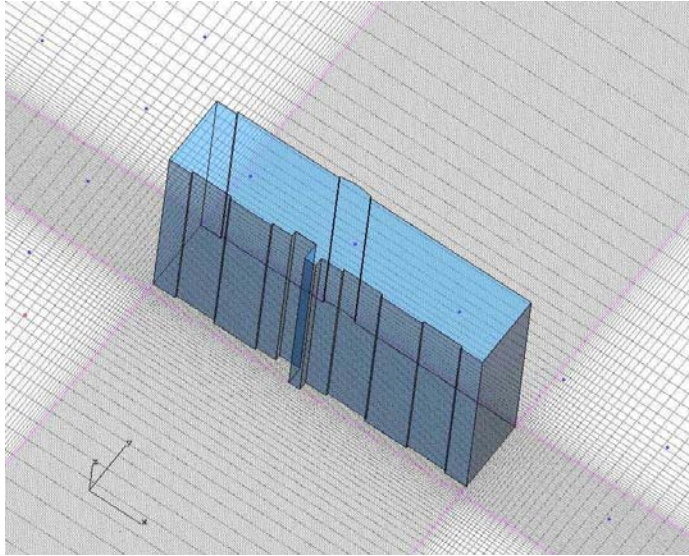
공동주택은 단지의 유형과 대상 세대가 속해 있는 해당 동의 위치에 따라 실제 대상 세대의 전후면의 압력차가 변하게 된다. 따라서 본 장에서의 하이브리드 환기시스템의 환기효율 향상을 위한 CFD 시뮬레이션에 앞서 단지 시뮬레이션 대상이 되는 건물은 소형 공동주택의 대표적인 구조인 복도식으로 설정하였으며, 동일 층에 6개의 세대가 위치해 있는 총 15층의 복도식 1개의 동을 대상으로 모델링하였다. 시뮬레이션 모델의 크기는 330m × 270m × 150m이며, 격자는 사면체 셀 타입의 총 3,134,274 개로 구성되었다.

<표 6.4> 시뮬레이션 대상 조건

항 목	내 용
단위세대 면적	51 m ²
단위세대 유형	복도식 (한개층 6세대)
단위세대 층수 및 위치	8층 중간세대 (전체 15층)
대상 세대동 주향	정남향
외기 풍속 조건	서풍, 2.4 m/s (중부지방)



(그림 6.2) 대상 세대동 시뮬레이션 모델

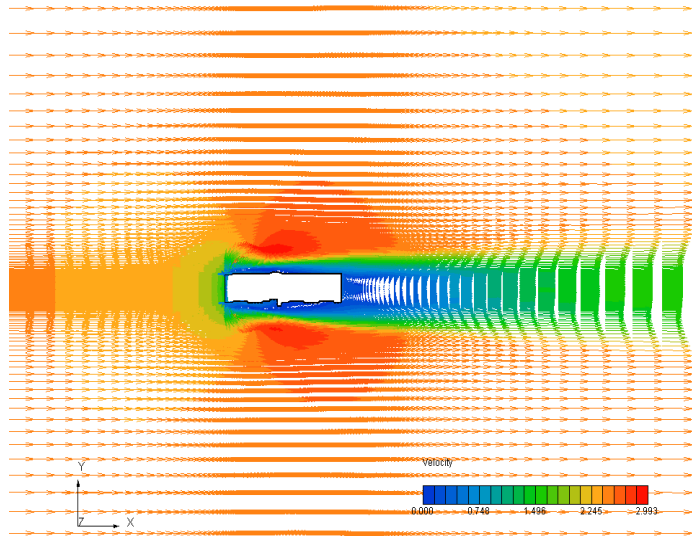


(그림 6.3) 대상 세대동 모델 상세 모습

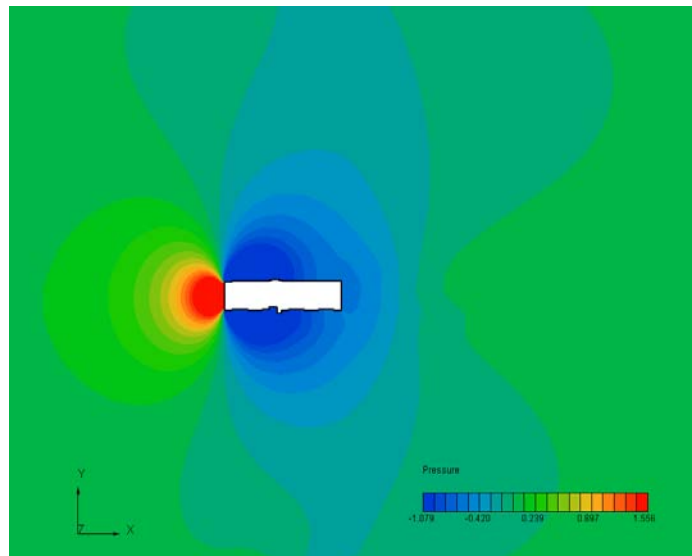
(2) 대상 세대동의 풍환경 분포

중간기와 같이 외기와 실내의 온도차가 없거나 적은 경우 자연환기 성능은 외부의 바람에 의한 풍압(wind effect)에 따라 좌우된다. 본 해석에서는 건물이 위치하게 되는 서울지역의 30년간 기상 데이터를 분석하여 연평균풍속인 2.4 m/s를 기준 풍속으로 적용하였으며, 주풍향인 서풍에 대하여 대상 건물의 풍압에 의한 환기성능을 분석하였다.

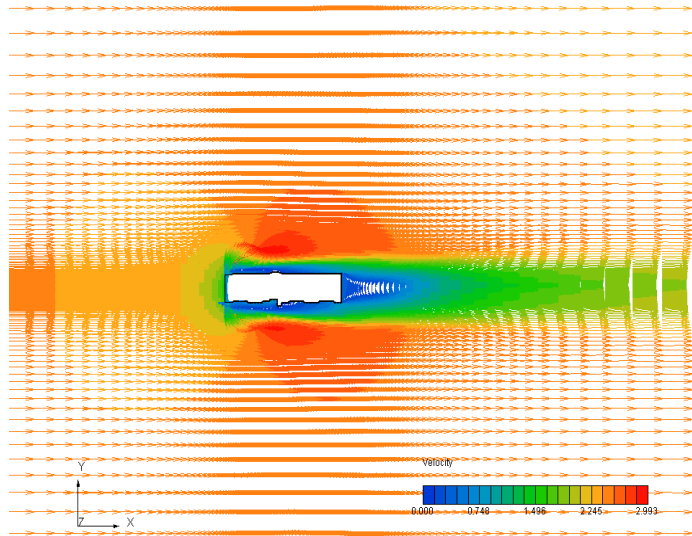
대상 세대동의 외부풍속은 2.4 m/s로 상대적으로 풍속이 낮은 내륙 지역에 속하며, 주풍향이 서풍으로 대상 세대동의 전·후면이 아닌 측면방향으로서 대상 세대에서의 환기 동력 형성에 다소 불리하다. 실제 국내 공동주택의 세대 배치가 발코니의 전면을 남향으로 하는 정남향을 선호하는 것을 고려하면, 본 연구와 같은 대상 세대의 배치에서는 자연환기만으로는 환기가 이루어지기 어려운 조건이다. 대상 세대동의 기류 및 압력 분포는 수직 높이별로 다음 (그림 6.4) ~ (그림 6.9)와 같다.



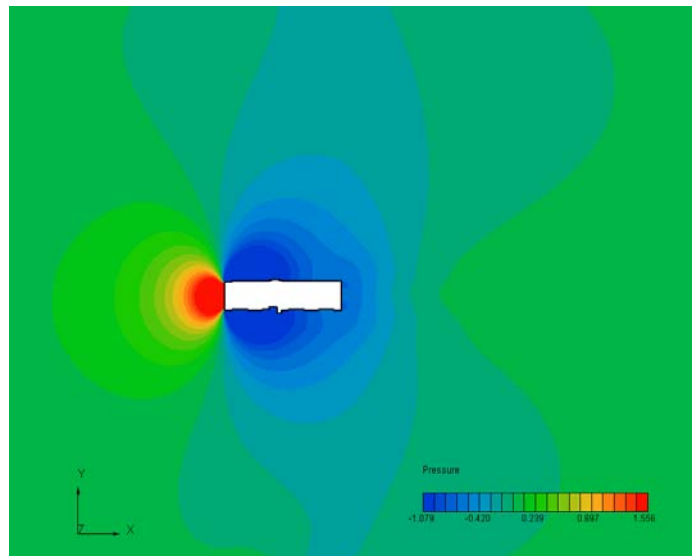
(그림 6.4) 대상 세대동 주변의 기류분포 (10m)



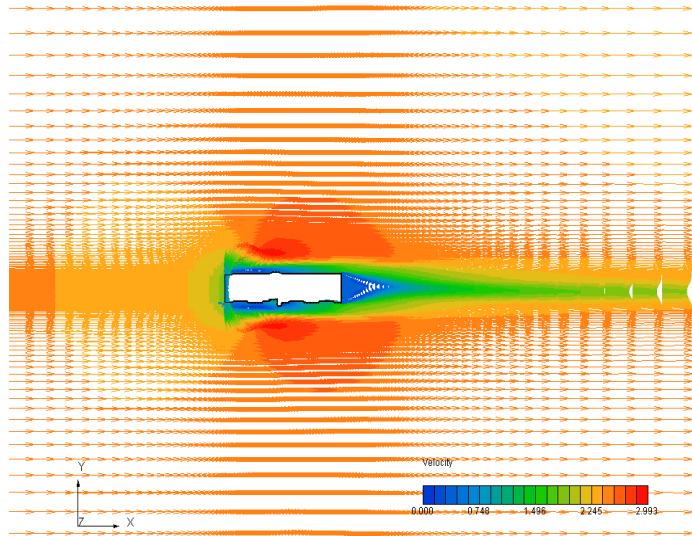
(그림 6.5) 대상 세대동 주변의 압력분포 (10m)



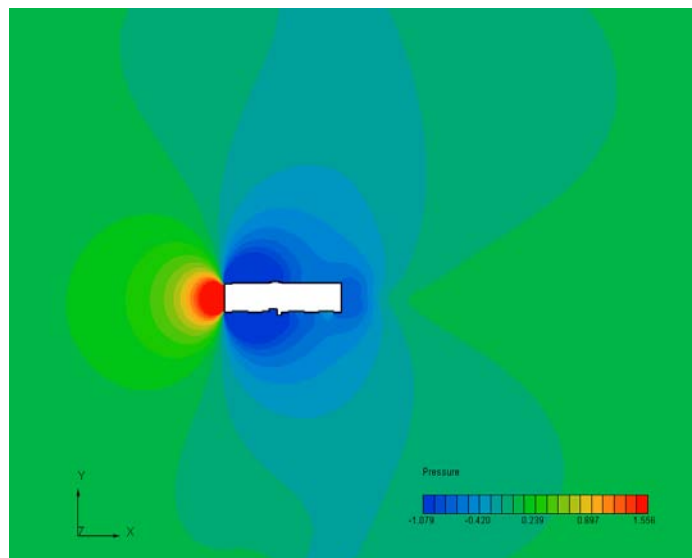
(그림 6.6) 대상 세대동 주변의 기류분포 (20m)



(그림 6.7) 대상 세대동 주변의 압력분포 (20m)



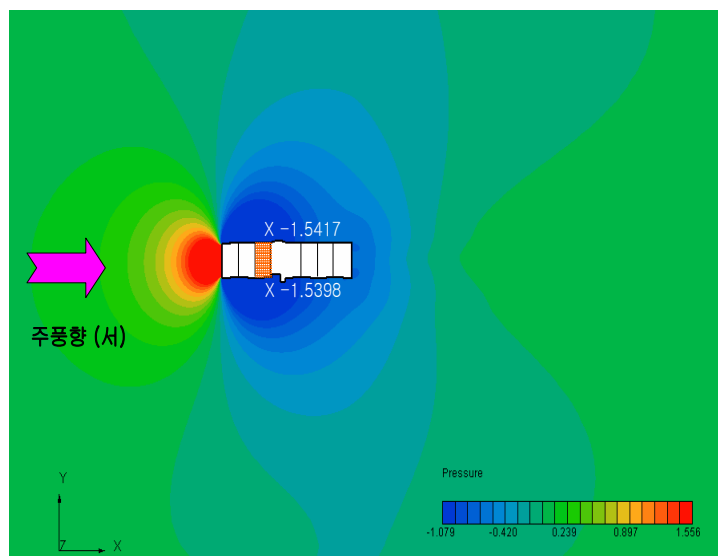
(그림 6.8) 대상 세대동 주변의 기류분포 (30m)



(그림 6.9) 대상 세대동 주변의 기류분포 (30m)

(3) 대상 세대동 주변의 압력분포 결과

대상 세대동 주변의 압력분포 결과, 풍향 방향에 직접 맞닿는 주동의 왼쪽 측면의 모서리 부분에서 박리가 형성되어 서측에서 동측으로 바람길이 형성되고 있어 세대 전 후면의 압력차가 크지 않은 것으로 나타났다. 시뮬레이션 대상 단위 세대는 전체 15층 중 중간층인 8층이며, 대상 세대 압력분포는 (그림 6.10)과 같으며, 압력분포 및 압력차 결과는 <표 6.4>와 같다.



(그림 6.10) 시뮬레이션 대상세대 압력분포

<표 6.5> 대상세대 압력분포 결과

구 분	압력(pa)
전 면	-1.54E+00
측 면	3.462E+00
후 면	-1.542E+00
압력차	1.9E-03

6.1.2 환기성능 향상을 위한 CFD 시뮬레이션

하이브리드 환기시스템의 환기효율을 향상시키기 위하여 제5장에서 검증한 CFD 시뮬레이션 기법을 활용하여 하이브리드 환기시스템의 급기구 및 배기구의 위치변화와 개수 조절을 통하여 효율적인 환기시스템 최적 조건을 제시하였다.

1) 경계조건 설정

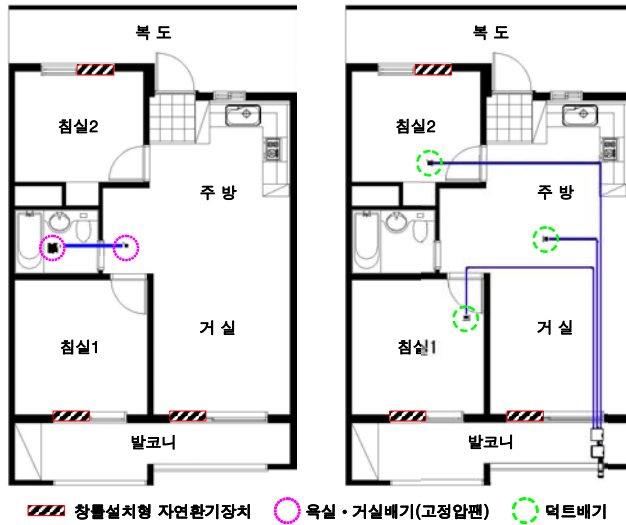
(1) 시뮬레이션 대상 공간

본 연구의 시뮬레이션 대상 공간은 현재 소형 공동주택으로서 가장 많이 건설되고 있는 국민임대 규모의 복도식, 전용면적 51㎡의 공동주택을 대상공간으로 하였다.

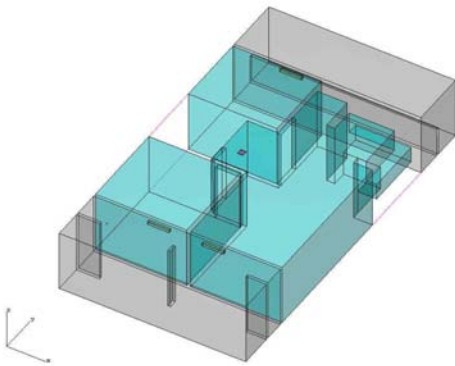
(2) 시뮬레이션 조건

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치와 배기는 기계 배기장치(욕실팬 연동 욕실·거실배기장치, 덕트배기장치)로 이루어진 하이브리드 환기시스템이 설치된 세대의 환기효율을 CFD 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

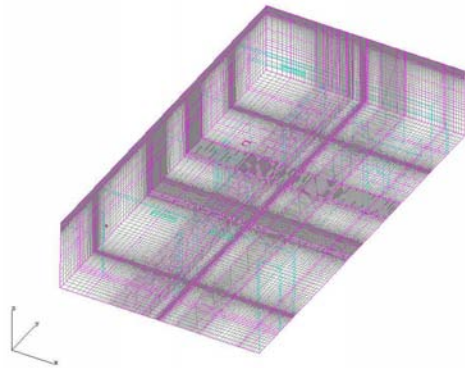
시뮬레이션 대상 세대의 하이브리드 환기시스템 설치 모습은 (그림 6.11)과 같으며, 대상 단위세대 시뮬레이션 모델은 (그림 6.12)와 같다. 대상 단위세대 모델 상세 모습은 (그림 6.13), CFD 시뮬레이션 조건 및 시뮬레이션 경계조건은 <표 6.6> ~ <표 6.7>과 같다.



(그림 6.11) 하이브리드 환기시스템 설치 모습



(그림 6.12) 대상 단위세대
시뮬레이션 모델



(그림 6.13) 모델 상세 모습(mesh)

<표 6.6> CFD 시뮬레이션 조건

항 목	내 용
Code	STREAM V7
Mesh	cartesian
Cell number	1,500,000 ~ 2,500,000
Turbulence model	standard k-ε model
Solution procedure	SIMPLE
Wall condition	wall function
Differencing scheme	Upwind differencing scheme
Convergence criteria	Residual of 10^{-6}
CPU time	5hours(4CPU / 500 cycle)

<표 6.7> CFD 시뮬레이션 경계조건

구 분	창틀자연급기+욕실·거실배기			창틀자연급기+ 덕트배기			비 고
배기구 (풍 량)	1	욕실 : 55㎡/h	총 83㎡/h	1	각 실별 : 27.7㎡/h	총 83㎡/h	환기횟수 0.7회/h 기준 (51㎡*2.3m*0.7회/h ≒83㎡/h)
		거실 : 28㎡/h					
	2	욕실배기 가동 X : 거실 83㎡/h		2	두개실만 가동시 : 각 실별 41.5㎡/h		
자연급기구 (압력손실)	개구율 : 30%						자연환기장치 사양기준
세대 전후면 압력조건	전 면 : -1.540E+00 후 면 : -1.542E+00 압력차 : 1.9E-03						기상데이터 기준 단지 시뮬레이션 결과

2) 시뮬레이션 Case

소형 공동주택에 적합한 환기 효율적이고 경제적인 환기시스템의 최적 조건을 제시하는 것을 목적으로 CFD 시뮬레이션을 통해 하이브리드 환기시스템이 설치 가능한 범위 내에서 급배기구의 위치변화 및 개수를 조절하여 환기시뮬레이션을 실시하였다.

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템과 급기는 동일한 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 각실 덕트배기로 구성된 하이브리드 환기시스템을 기준으로 각실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화, 배기구의 위치 및 개수를 변화시킨 적용방법을 각 유형 별로 정리하였다. CFD 시뮬레이션 유형은 <표 6.8>과 같다.

<표 6.8> CFD 시뮬레이션 유형

하이브리드 환기시스템	적용 방법		유 형
	급기	배기	
창틀자연급기 +욕실·거실배기 (HB)	창틀자연급기 (세대중심쪽)	욕실·욕실입구배기	HB_CA
		욕실·거실 주방사이배기	HB_CB
		욕실·거실 중앙배기	HB_CC
		욕실·주방 중앙배기	HB_CD
		욕실(가동 x)·욕실입구배기	HB_CE
		욕실(가동 x)·거실 주방사이배기	HB_CF
		욕실(가동 x)·거실 중앙배기	HB_CG
		욕실(가동 x)·주방 중앙배기	HB_CH
	창틀자연급기 (세대경계쪽)	욕실·욕실입구배기	HB_BA
		욕실·거실 주방사이배기	HB_BB
		욕실·거실 중앙배기	HB_BC
		욕실·주방 중앙배기	HB_BD
		욕실(가동 x)·욕실입구배기	HB_BE
		욕실(가동 x)·거실 주방사이배기	HB_BF
		욕실(가동 x)·거실 중앙배기	HB_BG
		욕실(가동 x)·주방 중앙배기	HB_BH
창틀자연급기 +덕트배기 (HD)	창틀자연급기 (세대중심쪽)	실별입구·거실 주방사이배기	HD_CA
		실별모서리·거실 주방사이배기	HD_CB
		실별 중앙·거실 주방사이배기	HD_CC
		침실1입구·주방 중앙배기	HD_CD
		침실1모서리·주방 중앙배기	HD_CE
		침실1모서리·거실 주방사이배기	HD_CF
	창틀자연급기 (세대경계쪽)	실별입구·거실 주방사이배기	HD_BA
		실별모서리·거실 주방사이배기	HD_BB
		실별 중앙·거실 주방사이배기	HD_BC
		침실1입구·주방 중앙배기	HD_BD
		침실1모서리·주방 중앙배기	HD_BE
		침실1모서리·거실 주방사이배기	HD_BF

※ HB (Hybrid Bathroom ventilation : 하이브리드 욕실 배기)

HD (Hybrid Duct ventilation : 하이브리드 덕트 배기)

C (Center : 세대중심쪽)

B (Border : 세대경계쪽)

6.2 하이브리드 환기시스템 (HB : 창틀자연급기+욕실·거실배기)

6.2.1 시뮬레이션 개요

본 절에서는 급기는 각 실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HB)의 각실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화와 배기구의 위치 및 개수를 변화시킨 각 Case별 환기효율을 평가하였다.

각 실 창틀설치형 자연환기장치의 경우 설치위치를 세대중심쪽과 세대경계 쪽으로 나누어 적용하였으며, 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치의 경우 욕실 배기는 고정된 상태로 유지하고 욕실팬 연동 거실배기장치를 설치 가능한 범위까지 적용하여 욕실입구, 거실과 주방 사이, 거실중앙, 주방중앙으로 구분하여 배치하였을 경우 환기성능을 시뮬레이션하였다.

또한 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치이므로, 욕실배기와 거실배기의 풍량 조절이 가능한 것을 고려하여 욕실배기는 가동하지 않고, 욕실입구에 설치된 거실배기기로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 경우의 환기성능도 시뮬레이션하였다. 거실배기구 위치 또한 욕실입구, 거실과 주방 사이, 거실중앙, 주방중앙으로 나누어 시뮬레이션하였다. CFD 시뮬레이션 유형은 <표 6.9> ~ <표 6.10>과 같다.

<표 6.9> 하이브리드 환기시스템 (HB : 창틀자연급기 + 욕실·거실배기)

CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대중심쪽)

급기	배기	적용모습	배기	적용모습
창틀자연급기 (세대중심쪽)	욕실· 욕실입구 (HB_CA)		욕실(가동×)· 욕실입구 (HB_CE)	
	욕실· 거실주방사이 (HB_CB)		욕실(가동×)· 거실주방사이 (HB_CF)	
	욕실· 거실중앙 (HB_CC)		욕실(가동×)· 거실중앙 (HB_CG)	
	욕실· 주방중앙 (HB_CD)		욕실(가동×)· 주방중앙 (HB_CH)	

<표 6.10> 하이브리드 환기시스템 (HB : 창틀자연급기 + 욕실·거실배기)

CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대경계쪽)

급기	배기	적용모습	배기	적용모습
창틀자연급기 (세대경계쪽)	욕실· 욕실입구 (HB_BA)		욕실(가동×)· 욕실입구 (HB_BE)	
	욕실· 거실주방사이 (HB_BB)		욕실(가동×)· 거실주방사이 (HB_BF)	
	욕실· 거실중앙 (HB_BC)		욕실(가동×)· 거실중앙 (HB_BG)	
	욕실· 주방중앙 (HB_BD)		욕실(가동×)· 주방중앙 (HB_BH)	

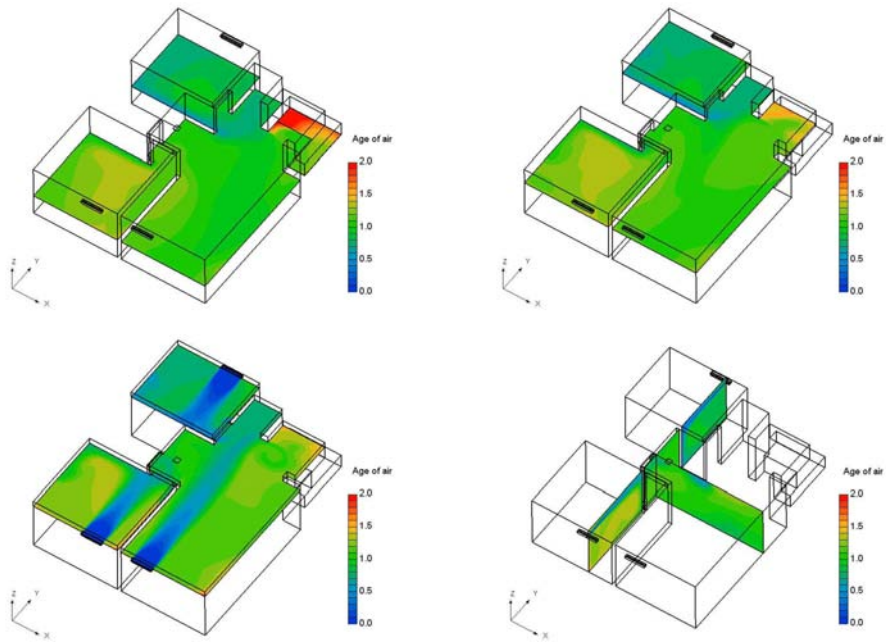
6.2.2 시뮬레이션 결과

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HB)의 각실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화, 배기구의 위치 변화 및 개수 변화에 따른 각 유형의 시뮬레이션 결과를 작성시 호흡선 높이에 해당하는 0.9m 지점과 서 있는 경우에 해당하는 1.6m 지점, 급기구 높이에 해당하는 2.05m 지점 및 급기구와 배기구의 수직면 높이 지점에서의 공기연령 분포를 통해 분석하였다.

(1) HB_CA (급기: 세대중심쪽, 배기: 욕실입구)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 욕실 입구에 설치된 HB_CA의 환기성능을 분석하였다.

HB_CA의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2259 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.08 h, 1.6m 높이에서는 1.07 h, 2.05m 높이에서는 0.93 h로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 주방 끝부분에서는 기류가 도달하지 못하고, 정체되는 부분이 발생하는 것으로 나타났다. HB_CA의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.14)와 같다.



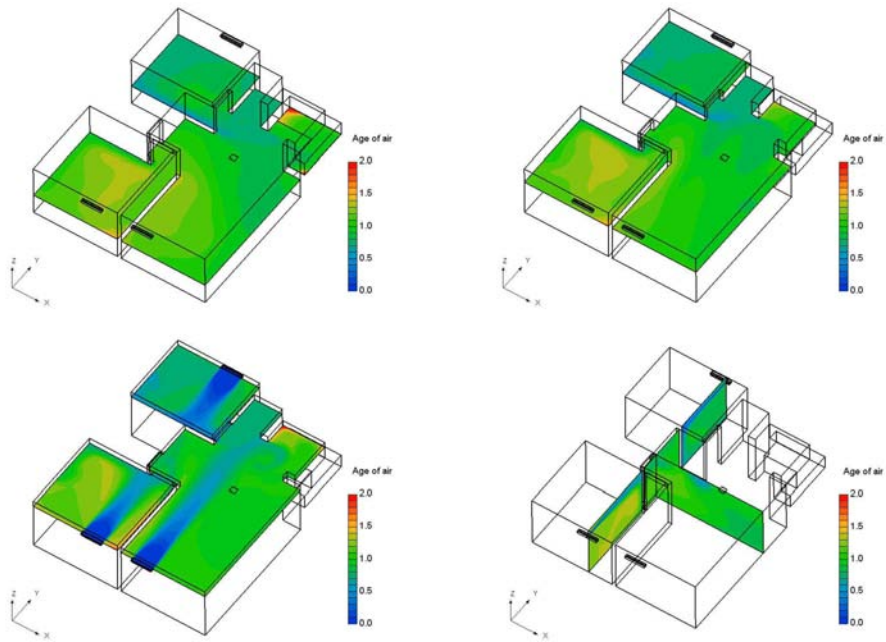
(그림 6.14) HB_CA CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(2) HB_CB (급기: 세대중심쪽, 배기: 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실과 주방 사이에 설치된 HB_CB의 환기성능을 분석하였다.

HB_CB의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2001 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.01 h, 1.6m 높이에서는 0.99 h, 2.05m 높이에서는 0.85 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 욕실 앞에 설치된 HB_CA와 비교하여 HB_CB의

경우 주방 끝까지 기류가 도달하여 기류정체 현상 없이 다른 지점들과 균일하게 환기가 되는 것으로 나타났다. HB_CB의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.15)와 같다.



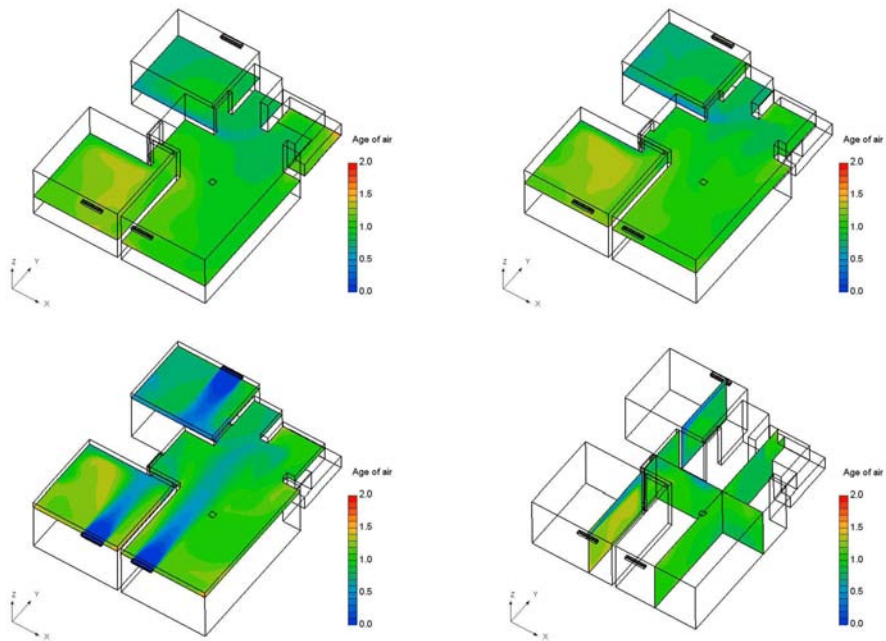
(그림 6.15) HB_CB CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(3) HB_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 거실중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실중앙에 설치된 HB_CC의 환기성능을 분석하였다.

HB_CC의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2370 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.01 h, 1.6 m 높이에서는 1.01 h, 2.05 m 높이에서는 0.88 h으로 나타나 급기구

와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, HB_CB와 마찬가지로, 주방 끝까지 기류가 도달하여 기류정체 현상 없이 다른 지점들과 균일하게 환기가 되는 것으로 나타났다. HB_CC의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.16)과 같다.



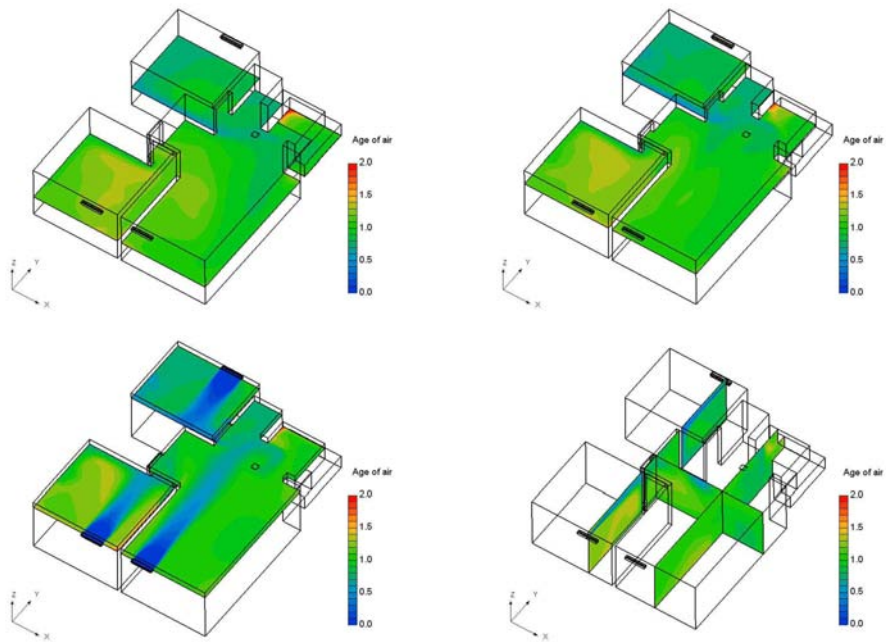
(그림 6.16) HB_CC CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(4) HB_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 주방중앙에 설치된 HB_CD의 환기성능을 분석하였다.

HB_CD의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2426 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환

기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.02 h, 1.6 m 높이에서는 1.01 h, 2.05 m 높이에서는 0.86 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, HB_CB, HB_CC와 마찬가지로, 주방 끝까지 기류가 도달하여 기류정체 현상 없이 다른 지점들과 균일하게 환기가 되는 것으로 나타났다. HB_CD의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.17)과 같다.



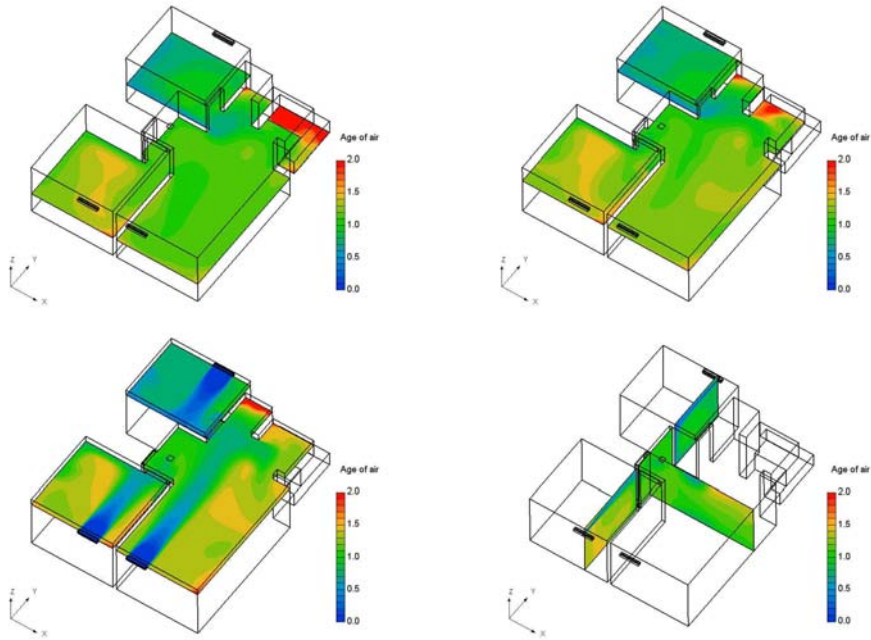
(그림 6.17) HB_CD CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(5) HB_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 욕실입구에 설치되어 설치 상태는 HB_CA와 동일하나 욕실배기는 가동하

지 않고, 욕실입구에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_CE의 환기성능을 분석하였다.

HB_CE의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.6603 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 욕실입구에 설치된 거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.16 h, 1.6 m 높이에서는 1.15 h, 2.05 m 높이에서는 1.01 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 앞선 HB_CA~CD와 비교하여 침실1과 거실의 창틀자연급기구를 통해 급기되는 기류의 유동경로인 실의 중앙 부분을 제외한 각 실의 모서리부분과 측면의 경우는 기류가 미치지 못하여 공기연령이 균일하지 못한 현상을 보이고 있다. 창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽에 위치해있고, 거실배기구 또한 욕실 입구로, 실의 정중앙에 위치해 있기 때문에 급배기구 사이의 거리가 짧고 기류의 유동경로가 짧아지는 현상이 나타난다. 따라서 세대내 기류 분포가 세대중심쪽에서만 활발하게 이루어지고 있고, 실제 거주역인 각 실의 중앙부분과 실의 세대경계쪽 부분에서는 기류정체 현상을 보이고 있다. HB_CE의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.18)과 같다.



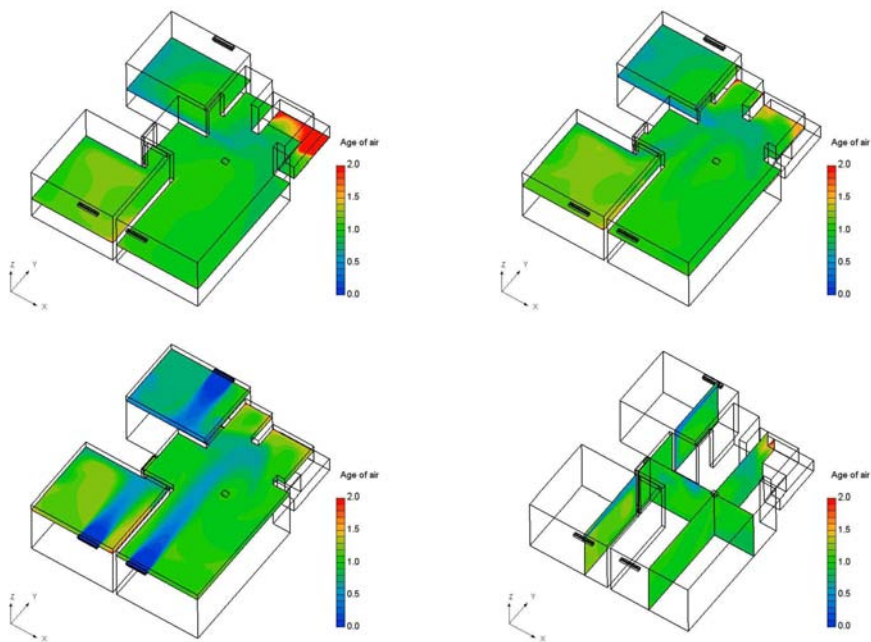
(그림 6.18) HB_CE CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(6) HB_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실과 주방사이에 설치되어 설치상태는 HB_CB와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실주방사이에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정하여 HB_CF의 환기성능을 분석하였다.

HB_CF의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.5833 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 거실주방 사이에 설치된 거실배기구에서 0.6 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면까지 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.04 h, 1.6 m 높이에서는 0.99 h, 2.05 m 높이에서는 0.87 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공

기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 욕실입구에서 거실과 주방사이로 이동한 결과 앞선 HB_CE와 비교하여 침실1과 거실에서의 기류정체 현상이 완화되는 것으로 나타났다. HB_CF의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.19)와 같다.



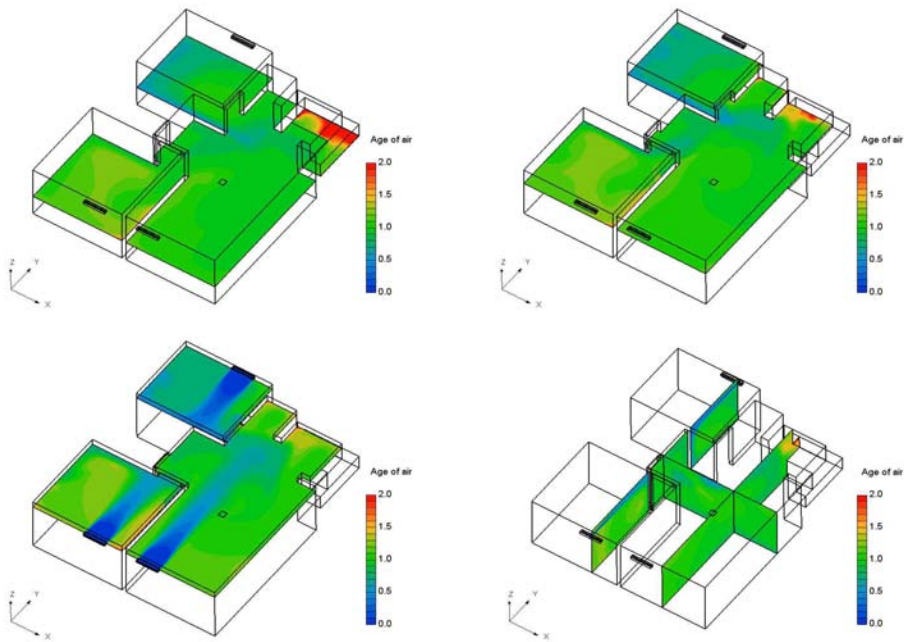
(그림 6.19) HB_CF CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(7) HB_CG (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실중앙에 설치되어 설치 상태는 HB_CC와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실중앙에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_CG의 환기성능을 분석하였다.

HB_CG의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.7072 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 거실중앙에 설치된

거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.03 h, 1.6 m 높이에서는 1.00 h, 2.05 m 높이에서는 0.88 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 거실과 주방사이에서 거실 중앙으로 이동한 결과 앞선 HB_CF와 기류분포 상태, 공기연령 결과가 비슷한 것으로 나타났다. HB_CG의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.20)과 같다.

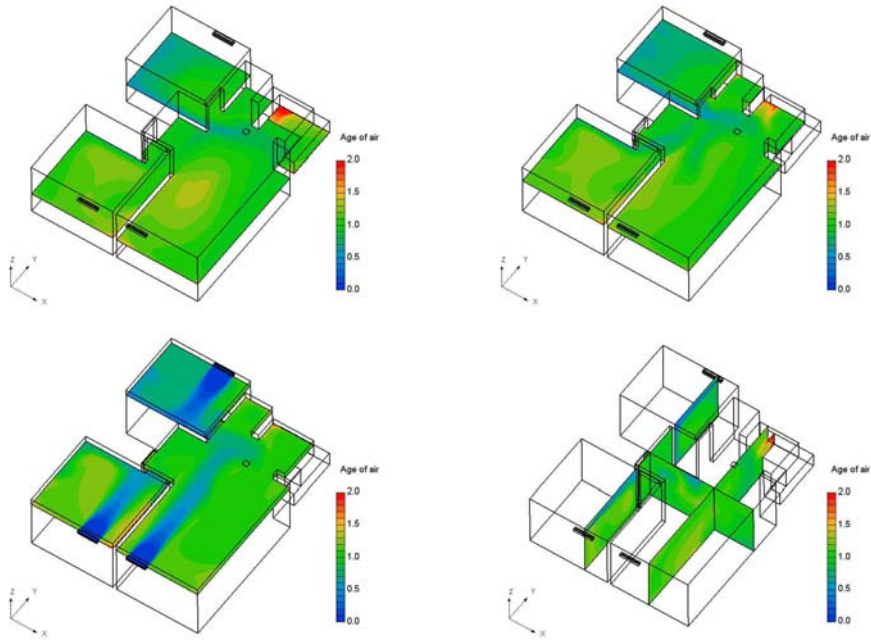


(그림 6.20) HB_CG CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(8) HB_CH (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 주방중앙에 설치되어 설치 상태는 HB_CD와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 주방중앙에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_CH의 환기성능을 분석하였다.

HB_CH의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.6992 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 주방중앙에 설치된 거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.05 h, 1.6 m 높이에서는 1.02 h, 2.05 m 높이에서는 0.88 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구가 주방중앙에 위치하여 앞선 HB_CF(거실과 주방사이 배기), HB_CG(거실중앙)와 비교하여 공기연령 평균값이 0.3 h 높아졌지만 세대내 기류정체 현상 없이 기류분포 상태와 공기연령 분포 결과는 비슷한 것으로 나타났다. HB_CH의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.21)과 같다.



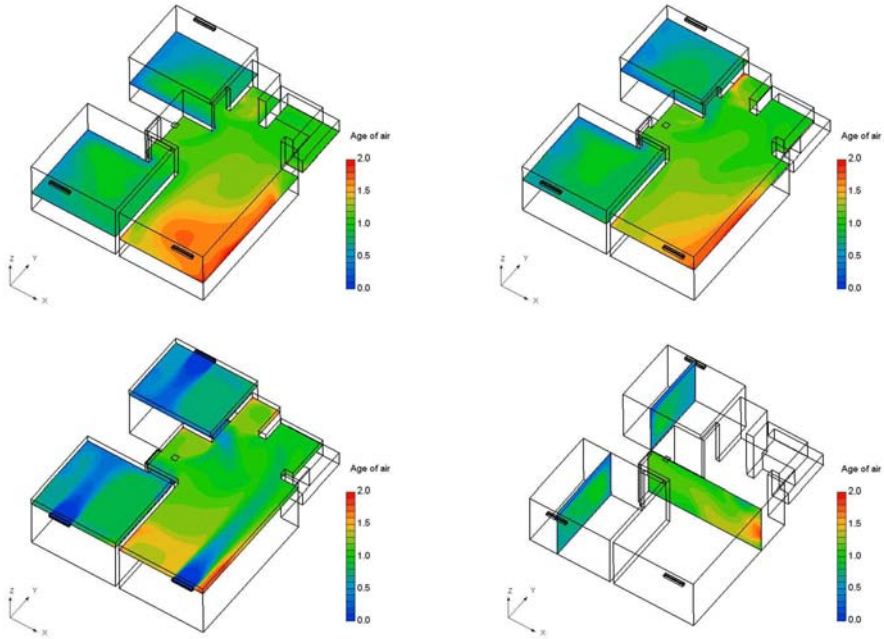
(그림 6.21) HB_CH CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(9) HB_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실입구)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 욕실 입구에 설치된 HB_BA의 환기성능을 분석하였다.

HB_BA의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2231 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.09 h, 1.6m 높이에서는 1.03 h, 2.05m 높이에서는 0.86 h으로 나타났다. 침실 1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방까지 도달하여 바로 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀 자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙인 거주역 부분은

높이별로 기류정체 현상이 나타났다. HB_BA의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.22)와 같다.



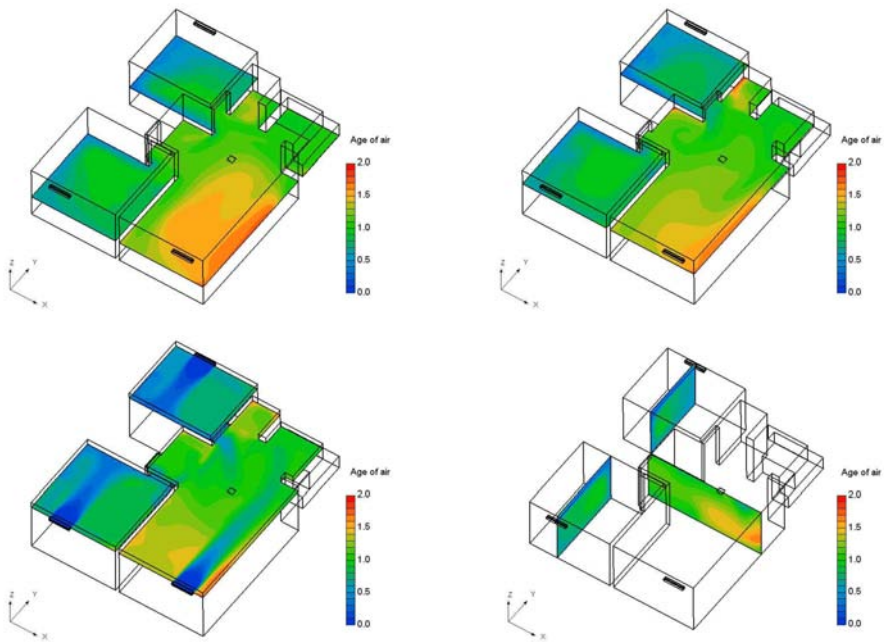
(그림 6.22) HB_BA CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(10) HB_BB (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실과 주방 사이에 설치된 HB_BB의 환기성능을 분석하였다.

HB_BB의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2064 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.09 h, 1.6 m 높이에서는 1.02 h, 2.05 m 높이에서는 0.86 h으로 나타났다.

침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 바로 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙인 거주역 부분은 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구가 욕실입구에 위치한 HB_BA와 비슷하게 거실의 거주역에서 기류정체 현상이 보이고 있으나, HB_BA와 비교하여 거주역부분의 평균 공기연령이 0.02h 차이로 기류정체 현상이 조금 완화된 것으로 나타났다. HB_BB의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.23)과 같다.

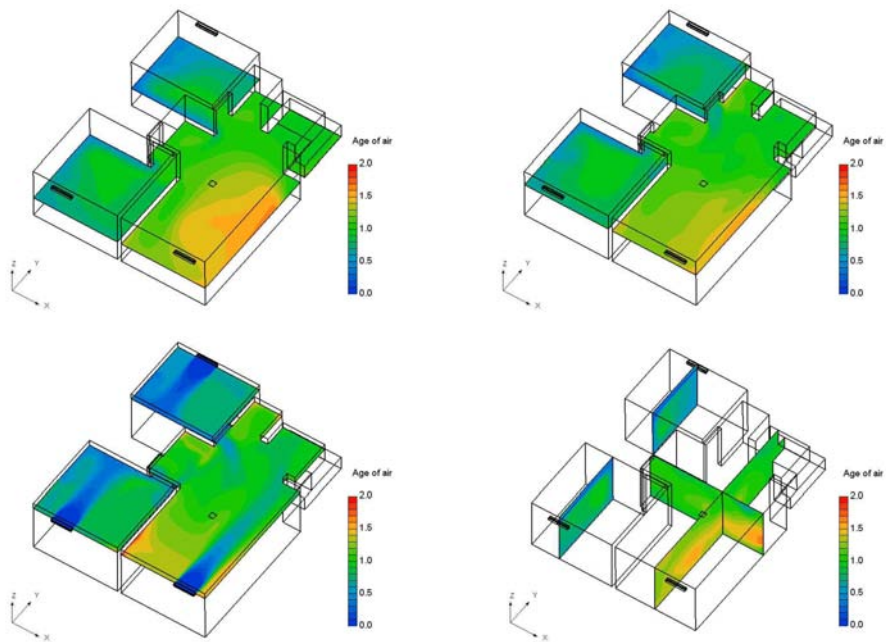


(그림 6.23) HB_BB CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(11) HB_BC (급기: 세대경계쪽, 배기: 거실중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실중앙에 설치된 HB_BC의 환기성능을 분석하였다.

HB_BC의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2233 m/s로 자연환기 장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.04 h, 1.6 m 높이에서는 0.98 h, 2.05 m 높이에서는 0.82 h으로 나타났다. 침실 1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙인 거주역 부분은 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구가 욕실입구에 위치한 HB_BA, 거실과 주방사이에 위치한 HB_BB와 비슷하게 거실의 거주역에서 기류정체 현상이 보이고 있으나, HB_BB와 비교하여 거주역인 1.6 m 높이에서의 평균 공기연령은 0.04 h, 0.9 m 높이에서의 평균 공기연령은 0.05 h 차이로, 세대 평균공기연령이 0.04 h 감소하여 기류정체 현상이 개선되는 것으로 나타났다. HB_BC의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.24)와 같다.



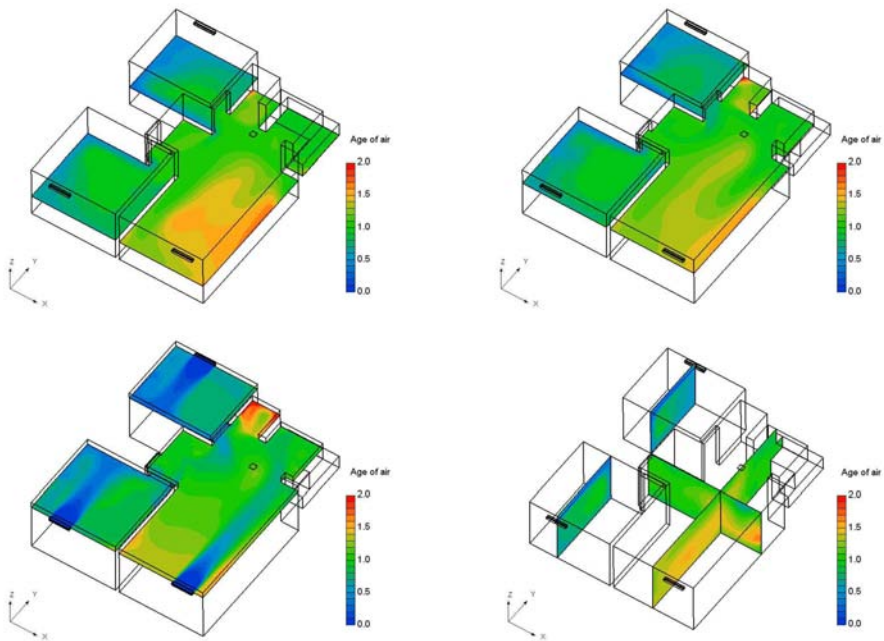
(그림 6.24) HB_BC CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(12) HB_BD (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 주방중앙에 설치된 HB_BD의 환기성능을 분석하였다.

HB_BD의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2201 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.05 h, 1.6m 높이에서는 0.10 h, 2.05m 높이에서는 0.84 h으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙인 거주역 부분은 높이별로

기류정체 현상이 나타났다. 욕실팬 연동 거실배기구가 거실중앙에 위치한 HB_BC와 비슷하게 거실의 거주역에서 기류정체 현상이 보이고 있으나, HB_BC와 비교하여 거주역인 1.6 m 높이에서의 평균 공기연령은 0.02 h, 0.9 m 높이에서의 평균 공기연령은 0.01 h 더 높게 나타나 거실배기구가 거실중앙에 위치한 것보다 기류정체 현상이 큰 것으로 나타났다. HB_BD의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.25)와 같다.



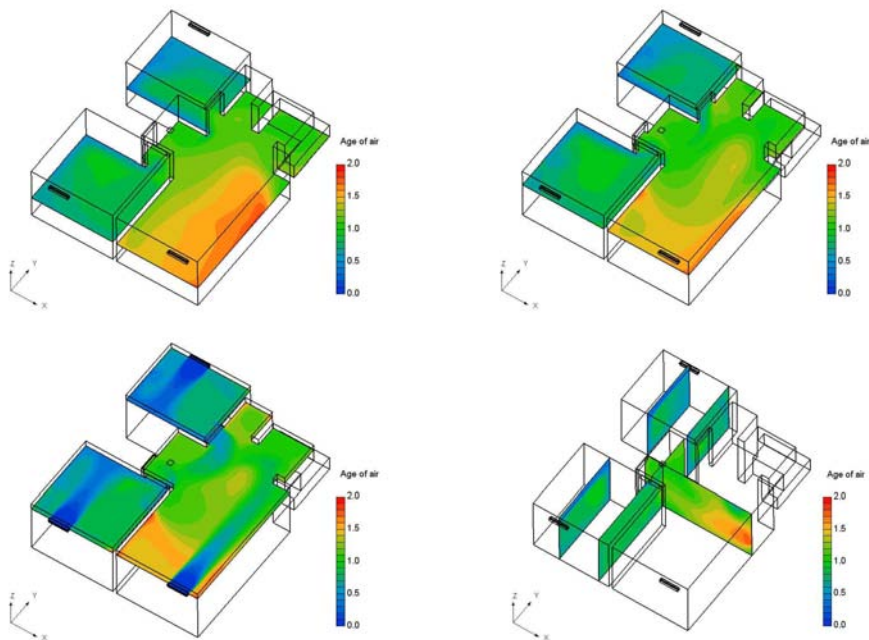
(그림 6.25) HB_BD CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(13) HB_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 욕실입구에 설치되어 설치 상태는 HB_BA와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 욕실입구에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_BE의 환기성능을 분석하였다.

HB_BE의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.6555 m/s로 자연환기

장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 욕실입구에 설치된 거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.10 h, 1.6 m 높이에서는 1.04 h, 2.05 m 높이에서는 0.88 h으로 나타나 창틀자연급기구와 거실배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙인 거주역 부분은 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. HB_BE의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.26)과 같다.

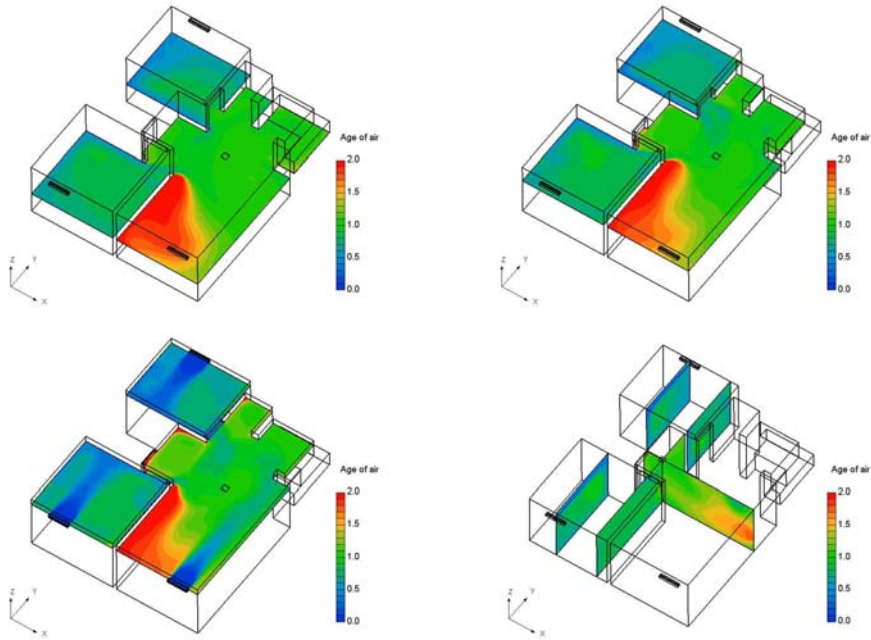


(그림 6.26) HB_BE CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(14) HB_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실과 주방사이에 설치되어 설치 상태는 HB_BB와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실주방사이에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_BF의 환기성능을 분석하였다.

HB_BF의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.5962 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 거실주방 사이에 설치된 거실배기구에서 0.6 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.03 h, 1.6 m 높이에서는 1.01 h, 2.05 m 높이에서는 0.89 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변과 거실의 중앙부분이 높이별로 공기연령이 2h 이상으로, 환기가 전혀 되지 않고 기류정체 현상이 나타났다. HB_BF의 세대 평균 공기연령이 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 욕실입구인 HB_BE의 공기연령보다 0.05h 낮은 것으로 나타났지만, 거실 거주역 부분에서의 기류정체 현상은 HB_BE보다 더 큰 것으로 나타났다. HB_BF의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.27)과 같다.



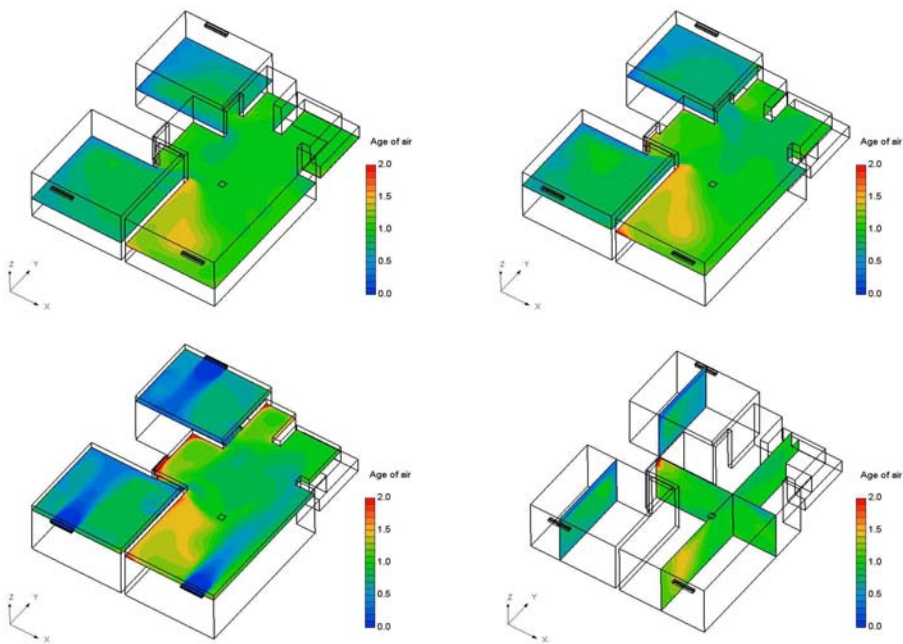
(그림 6.27) HB_BF CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(15) HB_BG (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 거실중앙에 설치되어 설치 상태는 HB_BC와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실중앙에 설치된 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_BG의 환기성능을 분석하였다.

HB_BG의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.6566 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 거실중앙에 설치된 거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 0.92 h, 1.6 m 높이에서는 0.92 h, 2.05 m 높이에서는 0.82 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧

은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 거실의 경우 자연 환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 입구부분에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 거실의 거주역 부분에서 기류정체 현상이 나타나지만, 세대 평균 공기연령은 0.90 h으로 하이브리드 환기시스템(HB) 유형 중 환기효율이 가장 뛰어난 것으로 나타났다. HB_BG의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.28)과 같다.

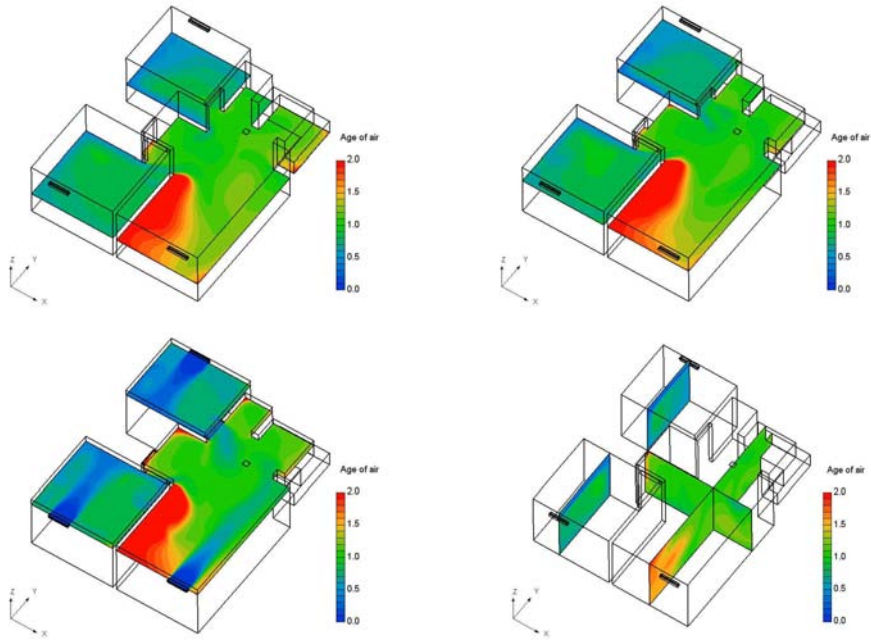


(그림 6.28) HB_BG CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(16) HB_BH (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동X) · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 욕실팬 연동 거실배기구는 주방중앙에 설치되어 설치 상태는 HB_BD와 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 주방중앙에 설치된 거실배기기로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 HB_BH의 환기성능을 분석하였다.

HB_BH의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.6531 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 거실중앙에 설치된 거실배기구에서 0.7 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.04 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.07 h, 1.6 m 높이에서는 1.05 h, 2.05 m 높이에서는 0.92 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변과 거실의 중앙부분이 높이별로 공기연령이 2h 이상으로, 환기가 전혀 되지 않고 기류정체 현상이 나타났다. HB_BF의 세대 평균 공기연령은 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 욕실입구인 HB_BE의 공기연령보다 0.02 h 낮은 것으로 나타났지만, 거실 거주역 부분에서의 기류정체 현상은 HB_BE보다 더 크고 두드러지게 나타났다. HB_BH의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.29)와 같다.



(그림 6.29) HB_BH CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

6.2.3 결과 분석

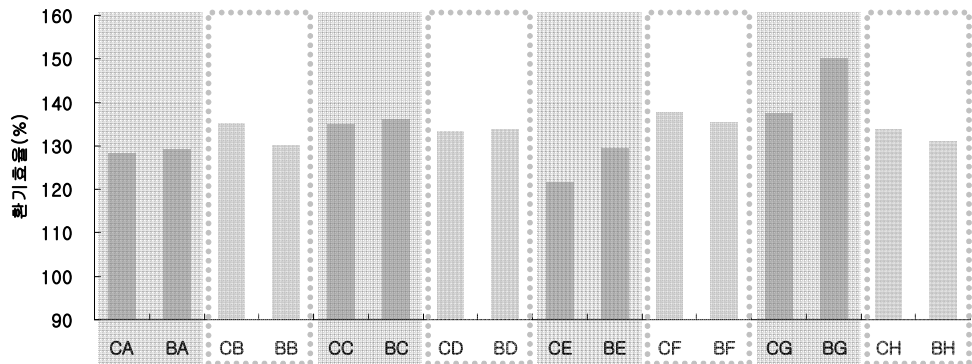
본 절에서는 CFD 시뮬레이션 환기 시뮬레이션을 통하여 급기는 각실 창틀 설치형 자연환기장치, 배기는 욕실배기와 연동한 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HB)을 각실 급기구의 세대중심쪽 및 세대경계쪽으로의 위치 변화와 배기구의 위치 및 개수를 변화시킨 각 유형 별 환기효율을 평가하였다. CFD 시뮬레이션을 통해 세대 평균 공기연령 결과를 도출하였으며, 시뮬레이션 조건에 입력한 설정 풍량을 환기효율 식에 대입하여 각 유형별 환기효율을 산출하였다. 하이브리드 환기시스템(HB)의 환기효율 결과는 <표 6.11>와 같으며, 급배기구 변화에 따른 각 유형 간의 결과 비교를 위하여 급기구의 위치 변화, 배기구의 위치 변화, 배기구 개수에 따른 결과로 나누어 분석하였다.

<표 6.11> 하이브리드 환기시스템 (HB : 창틀자연급기+욕실·거실배기)
환기효율 결과

적용 방법		유 형	환기효율(%)
급 기	배 기		
창틀자연급기 (세대중심쪽)	욕실·욕실입구배기	HB_CA	128.4
	욕실·거실주방사이배기	HB_CB	135.1
	욕실·거실중앙배기	HB_CC	134.9
	욕실·주방중앙배기	HB_CD	133.4
	욕실(가동X)·욕실입구배기	HB_CE	121.5
	욕실(가동X)·거실주방사이배기	HB_CF	137.6
	욕실(가동X)·거실중앙배기	HB_CG	137.5
	욕실(가동X)·주방중앙배기	HB_CH	133.7
창틀자연급기 (세대경계쪽)	욕실·욕실입구배기	HB_BA	129.3
	욕실·거실주방사이배기	HB_BB	130.1
	욕실·거실중앙배기	HB_BC	136.0
	욕실·주방중앙배기	HB_BD	133.8
	욕실(가동X)·욕실입구배기	HB_BE	129.4
	욕실(가동X)·거실주방사이배기	HB_BF	135.5
	욕실(가동X)·거실중앙배기	HB_BG	150.1
	욕실(가동X)·주방중앙배기	HB_BH	131.2

(1) 급기구 위치에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템(HB)의 각 유형별 환기효율 결과를 급기구 위치에 따라 분류하여 비교하였다. 급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치로 설치 위치를 세대의 세대중심쪽과 세대경계쪽으로 분류하였으며, 그에 따른 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 욕실·욕실입구(A), 욕실·거실주방사이(B), 욕실·거실중앙(C), 욕실·주방중앙(D) 등 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식과 상기 나열한 설치 방식과는 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식으로 분류하였다. 급기구 위치에 따른 각 유형별 환기효율 결과는 (그림 6.30)과 같다.



(그림 6.30) 급기구 위치에 따른 환기효율

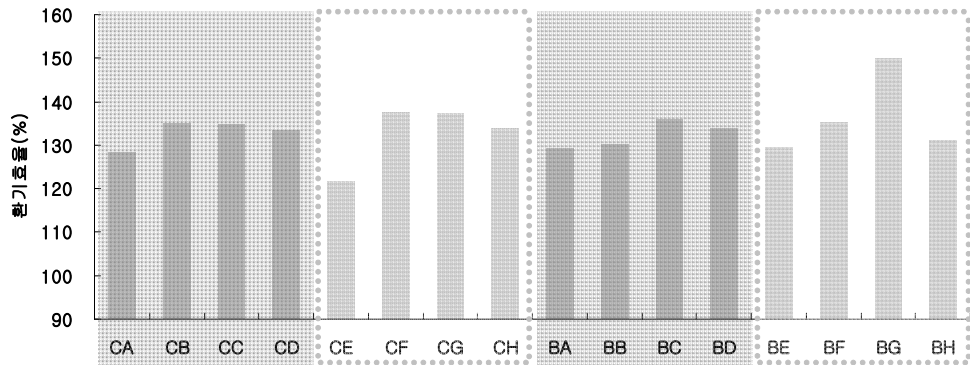
욕실·거실주방사이에서 배기되는 B 유형 (CB, BB)과 욕실(가동×)·거실주방사이에서 배기되는 F 유형 (CF, BF), 욕실(가동×)·주방중앙에서 배기되는 H 유형 (CH, BH)는 창틀자연급기구가 세대경계쪽 (B)에 위치하는 것보다 세대중심쪽 (C)에 위치하였을 때 환기효율이 더욱 높게 나타났다. 반면 나머지 유형 (A, C, D, E, G)의 경우 창틀자연급기구가 세대경계쪽 (B)에 위치하였을 때 환기효율이 더 높은 것으로 나타났다.

전체적으로 창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽 (C)보다는 세대경계쪽 (B)에 위치하였을 때 환기효율이 높게 나타났으나 세대경계쪽 (B)에 위치한 급기구의 경우 모든 경우에서 거실 거주역 부분의 기류정체 현상이 나타나 세대 전체 공기연령 분포는 고르지 못한 것으로 나타났다. 반면, 창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽 (C)에 위치하였을 때는 세대경계쪽 (B)에 위치하였을 때보다 전체적으로 환기효율 결과는 낮게 나타났으나 세대 내 기류정체 현상 없이 공기연령 분포가 고르게 나타났다.

(2) 배기구 위치에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템 (HB)의 각 유형별 환기효율 결과를 배기구 위치에 따라 분류하여 비교하였다. 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 욕실·욕실입구 (A), 욕실·거실주방사이 (B), 욕실·거실중앙 (C), 욕실·주방중앙

(D) 등 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식과 상기 나열한 설치 방식과는 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식으로 분류하였으며, 배기구 위치에 따른 각 유형별 환기효율 결과는 (그림 6.31)과 같다.



(그림 6.31) 배기구 위치에 따른 환기효율

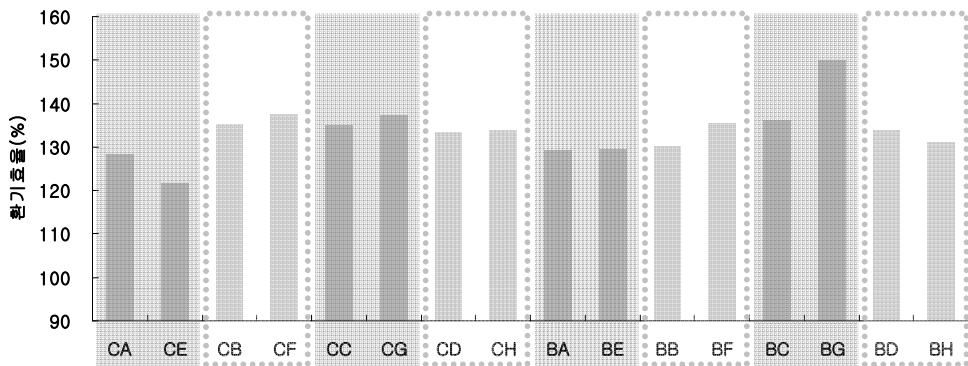
창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽(C)에 위치하였을 때 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 경우 욕실·거실주방사이배기(CB), 욕실·거실중앙배기(CC) 시 환기효율이 높은 것으로 나타났으며, 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 경우 거실주방사이배기(CF), 거실중앙배기(CG)에서 환기효율이 높은 것으로 나타났다.

창틀자연급기구의 위치가 세대경계쪽(B)에 위치하였을 때 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 경우 욕실·거실중앙배기(BC)의 환기효율이 높은 것으로 나타났으며, 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 경우 거실중앙배기(BG) 시 환기효율이 150%로 나타나 시뮬레이션 유형 중 가장 높은 환기효율 결과를 나타냈다.

창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽나 세대경계쪽이거나 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 경우 모두 배기구의 위치가 거실주방사이나 거실중앙에 위치하였을 때 환기효율이 높게 나타났다.

(3) 배기구 개수에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템 (HB)의 각 유형 별 환기효율 결과를 배기구 개수에 따라 분류하여 비교하였다. 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기장치로 욕실·욕실입구 (A), 욕실·거실주방사이 (B), 욕실·거실중앙 (C), 욕실·주방중앙 (D) 등 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식과 상기 나열한 설치 방식과는 동일하나 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식으로 분류하였으며, 배기구 개수에 따른 각 유형 별 환기효율 결과는 (그림 6.32)와 같다.



(그림 6.32) 배기구 개수에 따른 환기효율

욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식과 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식의 환기효율 결과는 수치적으로 미세한 차이를 보이며, 창틀자연급기 세대중심쪽+욕실·욕실입구배기 (CA)와 창틀자연급기 세대경계쪽+욕실·주방중앙배기 (BD)를 제외하고, 전체적으로 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식이 환기효율이 좀 더 높은 것으로 나타났다. 또한 욕실배기는 가동하지 않고 거실중앙에서 배기(BG)하는 경우 다른 유형과 비교하여 환기효율이 월등히 높은 것으로 나타났다.

욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식보다 욕실배기는 가동하지 않

고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식은 환기효율 결과는 더 높게 나타났지만, 높이별 공기연령 분포를 살펴보면 거실의 거주역 부분에서 기류 정체 현상이 크게 나타났다. 따라서 욕실·거실배기를 거주자가 원하는 환기 조건에 맞게 풍량조절이 가능한 거주자용 제어판을 설치하여 적절한 환기방식을 거주자가 선택할 수 있다면 효율적인 환기계획이 될 것이라 판단된다.

6.3 하이브리드 환기시스템 (HD: 창틀자연급기 + 덕트배기)

6.3.1 시뮬레이션 개요

본 절에서는 급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 각실 덕트배기 장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HD)의 각실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화, 배기구의 위치 및 개수를 변화시킨 각 유형별 환기효율을 평가하였다.

각실 창틀설치형 자연환기장치의 경우 설치 위치를 세대중심쪽과 세대경계 쪽으로 나누어 적용하였으며, 각실 덕트배기구의 경우 각실의 실입구, 실모서리, 실중앙으로 구분하여 배치하였을 경우 환기성능을 시뮬레이션하였다. 또한 기준 환기시스템은 각실에 배기구를 설치하는 것으로 침실1, 침실2, 거실, 총 3개의 덕트배기구가 설치되는데, 덕트배기구의 수를 줄여서 침실1의 실입구, 실모서리, 실중앙, 거실의 주방중앙, 거실주방사이로 구분하여 배치하였을 경우 환기성능을 시뮬레이션하였다. CFD 시뮬레이션 유형은 <표 6.12> ~ <표 6.13>과 같다.

<표 6.12> 하이브리드 환기시스템 (HD : 창틀자연급기 + 덕트배기)

CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대중심쪽)

급기	배기	적용모습	배기	적용모습
창틀자연급기 (세대중심쪽)	실별입구· 거실주방사이 (HD_CA)		침실1입구· 주방중앙 (HD_CD)	
	실별모서리· 거실주방사이 (HD_CB)		침실1모서리· 주방중앙 (HD_CE)	
	실별중앙· 거실주방사이 (HD_CC)		침실1모서리· 거실주방사이 (HD_CF)	

<표 6.13> 하이브리드 환기시스템 (HD : 창틀자연급기 + 덕트배기)

CFD 시뮬레이션 유형 (창틀자연급기 : 세대경계쪽)

급기	배기	적용모습	배기	적용모습
창틀자연급기 (세대경계쪽)	실별입구· 거실주방사이 (HD_BA)		침실1입구· 주방중앙 (HD_BD)	
	실별모서리· 거실주방사이 (HD_BB)		침실1모서리· 주방중앙 (HD_BE)	
	실별중앙· 거실주방사이 (HD_BC)		침실1모서리· 거실주방사이 (HD_BF)	

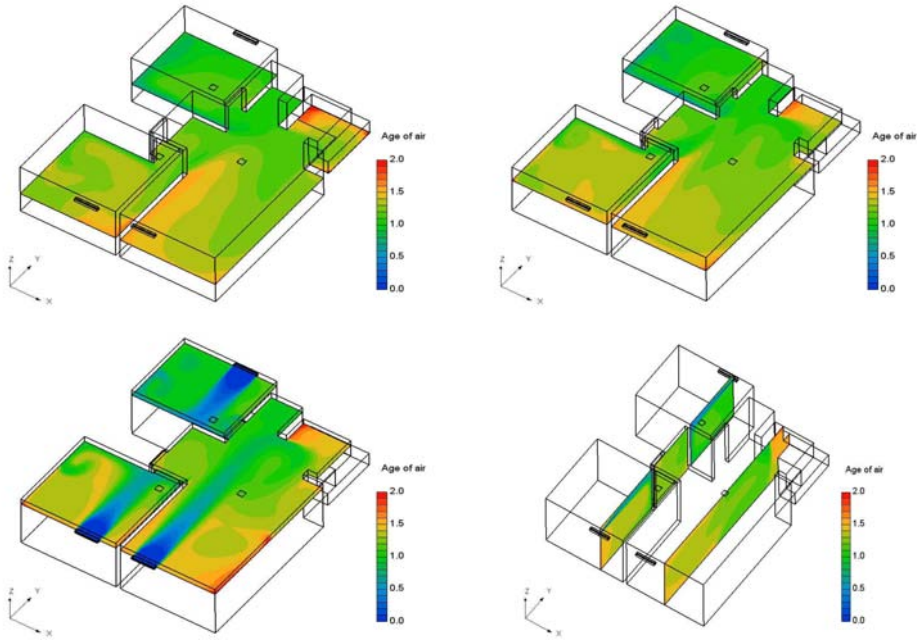
6.3.2 시뮬레이션 결과

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 각실 덕트배기 장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HB)의 각실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화, 배기구의 위치 변화 및 개수 변화에 따른 각 유형의 시뮬레이션 결과를 작성시 호흡선 높이에 해당하는 0.9m 지점, 서있는 경우에 해당하는 1.6 m 지점, 급기구 높이에 해당하는 2.05 m 지점 및 급기구와 배기구의 높이 지점에서의 공기연령 분포를 통해 분석하였다.

(1) HD_CA (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별입구 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_CA의 환기성능을 분석하였다.

HD_CA의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2361 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.25 h, 1.6 m 높이에서는 1.22 h, 2.05 m 높이에서는 1.07 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 침실2를 제외한 침실1과 거실은 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 벽면에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 기류의 유동경로가 아닌 부분은 유동경로 부분과 비교하여 높은 공기연령 분포를 나타내어, 세대 전체의 평균 공기연령이 1.21 h로 다른 유형과 비교하여 비교적 높게 나타났다. HD_CA의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.33)과 같다.



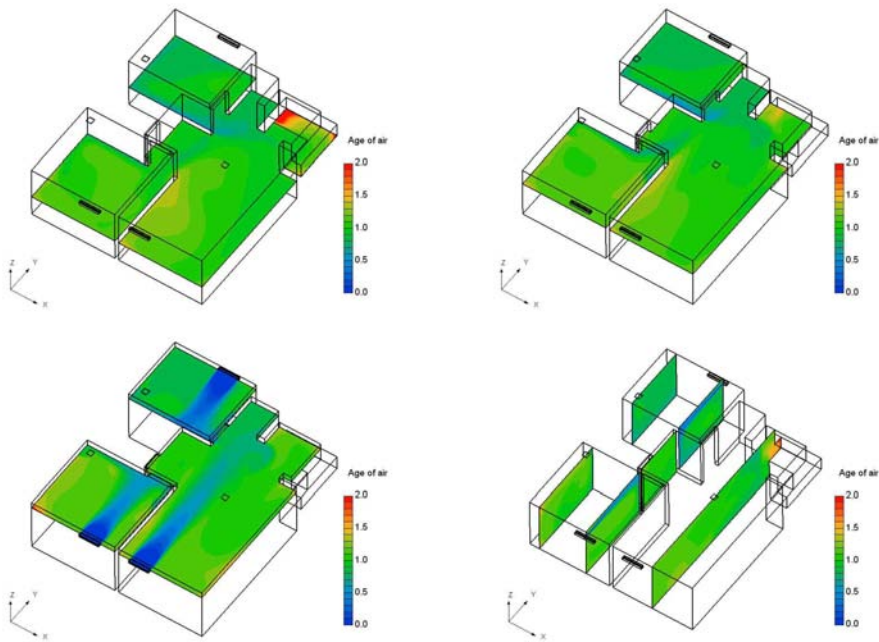
(그림 6.33) HD_CA CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(2) HD_CB (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별모서리 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별모서리 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_CB의 환기성능을 분석하였다.

HD_CB의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 $0 \sim 0.2273 \text{ m/s}$ 로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s 의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.04 h , 1.6 m 높이에서는 1.02 h , 2.05 m 높이에서는 0.91 h 으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 침실2를 제외한 침실1과 거실은 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 벽면

에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 기류의 유동경로가 아닌 부분은 유동경로 부분과 비교하여 높은 공기연령 분포를 보였으며, 높이별 공기연령 분포는 HD_CA와 비교하여 각 높이별 평균 공기연령의 차가 0.9 m 높이에서는 0.21 h, 1.6 m 높이에서는 0.2 h, 2.05 m 높이에서는 0.16 h로 나타나 HD_CB의 세대 전체의 평균 공기연령이 0.21 h만큼 더 낮게 나타나 배기구가 실별입구에 위치한 유형보다 실별모서리에 위치한 유형의 환기효율이 더 높은 것으로 나타났다. HD_CB의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.34)와 같다.



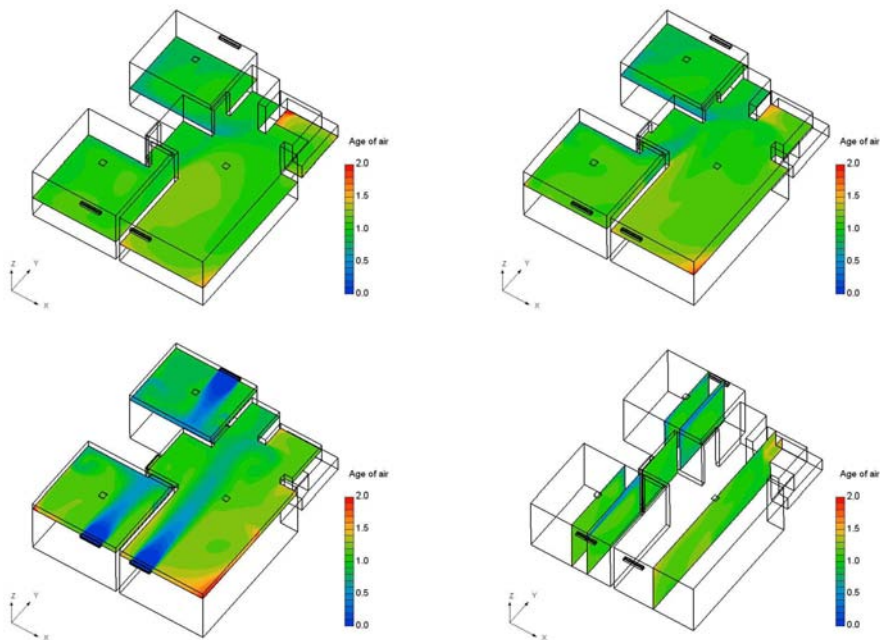
(그림 6.34) HD_CB CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(3) HD_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별중앙 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_CC의 환기성능을 분석하였다.

HD_CC의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2363 m/s로 자연환기 장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입

구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.06 h , 1.6 m 높이에서는 1.06 h , 2.05 m 높이에서는 0.96 h 으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실은 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 벽면에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 기류의 유동경로가 아닌 부분은 유동경로 부분과 비교하여 높은 공기연령 분포를 보였으며, 높이별 공기연령 분포는 HD_CB와 유사하며 세대 전체 평균 공기연령은 0.03 h 차이로 HD_CB와 비교하여 HD_CC가 공기연령이 더 높은 것으로 나타났다. HD_CC의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.35)와 같다.

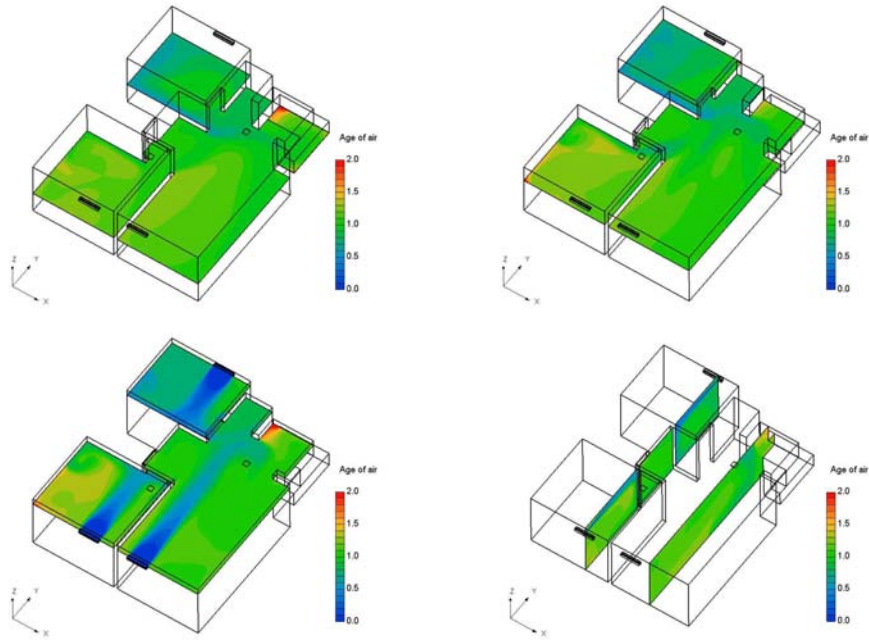


(그림 6.35) HD_CC CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(4) HD_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1입구 · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 입구와 주방중앙에 2개의 배기구가 설치된 HD_CD의 환기성능을 분석하였다.

HD_CD의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3326 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 입구와 주방중앙에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.05 h, 1.6 m 높이에서는 1.02 h, 2.05 m 높이에서는 0.89 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 침실2를 제외한 침실1과 거실은 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 벽면에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 기류의 유동경로가 아닌 부분은 유동경로 부분과 비교하여 높은 공기연령 분포를 보였으며, 배기구가 침실1 입구와 주방중앙에 위치함으로써, 다른 실과 비교하여 침실1의 거주역에서의 공기연령이 높게 나타났다. HD_CD의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.36)과 같다.



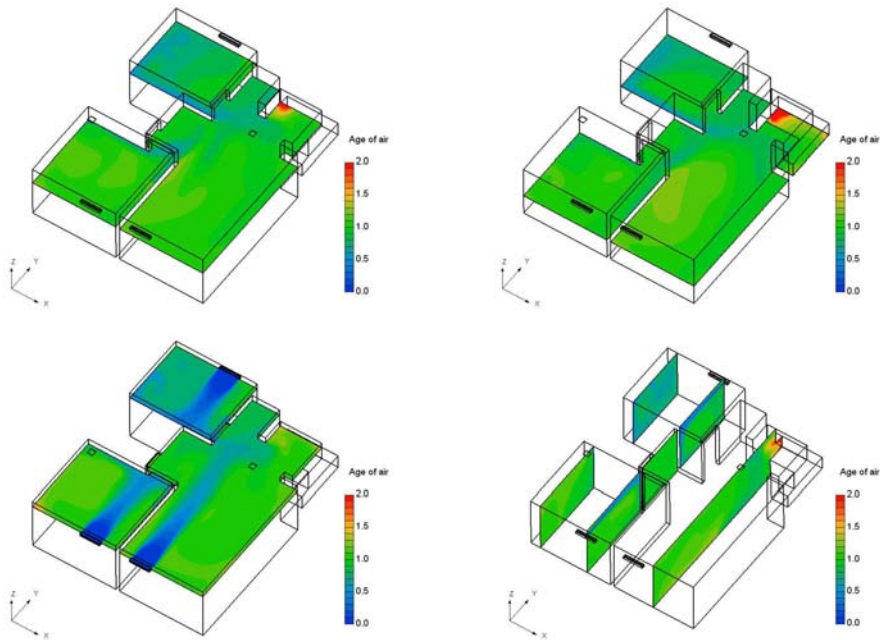
(그림 6.36) HD_CD CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(5) HD_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 모서리와 주방중앙에 2개의 배기구가 설치된 HD_CE의 환기성능을 분석하였다.

HD_CE의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3311 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 모서리와 주방중앙에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 0.99 h, 1.6 m 높이에서는 0.97 h, 2.05 m 높이에서는 0.85 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 앞선 HD_CD와

비교하여 침실1의 배기구 위치가 실 입구에서 실모서리로 이동한 결과, 침실 1의 기류 유동거리가 길어짐에 따라 침실1에서의 기류정체 현상은 완화되었다. 이에 따라 세대 전체 평균 공기연령이 HD_CD와 비교하여 0.06 h 단축되었다. HD_CE의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.37)과 같다.



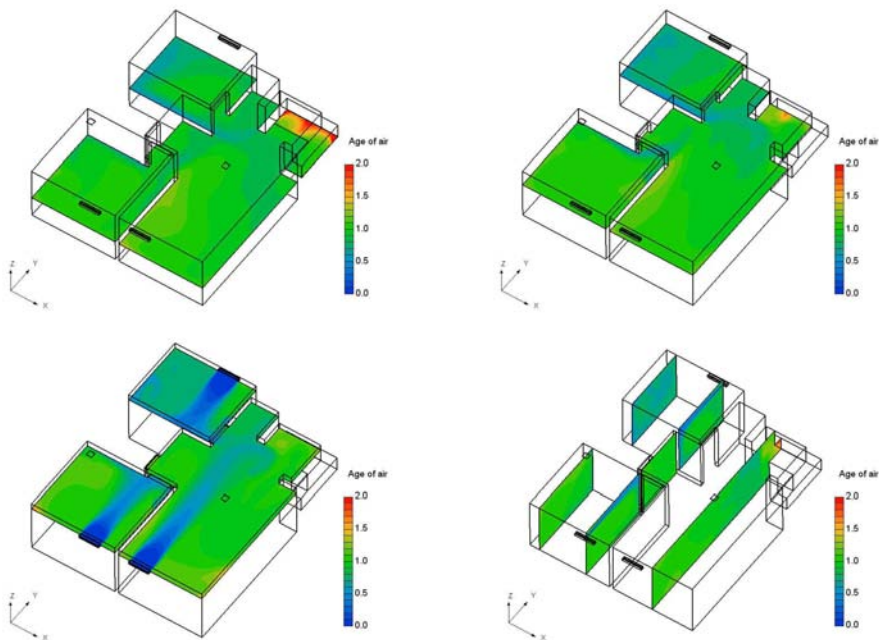
(그림 6.37) HD_CE CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(6) HD_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대중심쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 모서리와 거실과 주방 사이에 2개의 배기구가 설치된 HD_CF의 환기성능을 분석하였다.

HD_CF의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3103 m/s로 자연환기 장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 모서리와 거실과 주방 사이에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실

의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 0.97 h, 1.6 m 높이에서는 0.95 h, 2.05 m 높이에서는 0.84 h로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 다른 실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났다. 앞선 HD_CE와 비교하여 거실의 배기구 위치가 주방중앙에서 거실과 주방사이로 이동한 결과, 거실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 벽면에 도달하여 배기되는 경로가 거실 쪽으로 이동하게 됨으로써 기류 유동 경로 길이가 좀 더 길어짐에 따라 거실의 공기연령이 단축되었다. 따라서 HD_CE와 비교하여 세대 전체 평균 공기연령이 0.02 h 단축되어, 0.94 h로 하이브리드 환기시스템 (HD) 유형 중 환기효율이 가장 뛰어난 것으로 나타났다. HD_CF의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.38)과 같다.

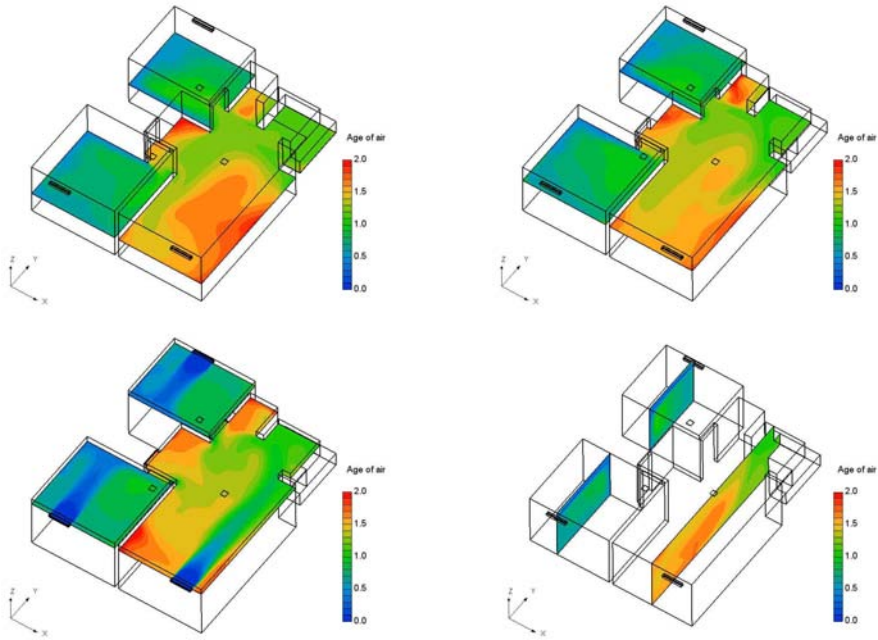


(그림 6.38) HD_CF CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(7) HD_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별입구 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_BA의 환기성능을 분석하였다.

HD_BA의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2263 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.17 h, 1.6 m 높이에서는 1.14 h, 2.05 m 높이에서는 1.0 h으로 나타났으며, 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. HD_BA의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.39)와 같다.



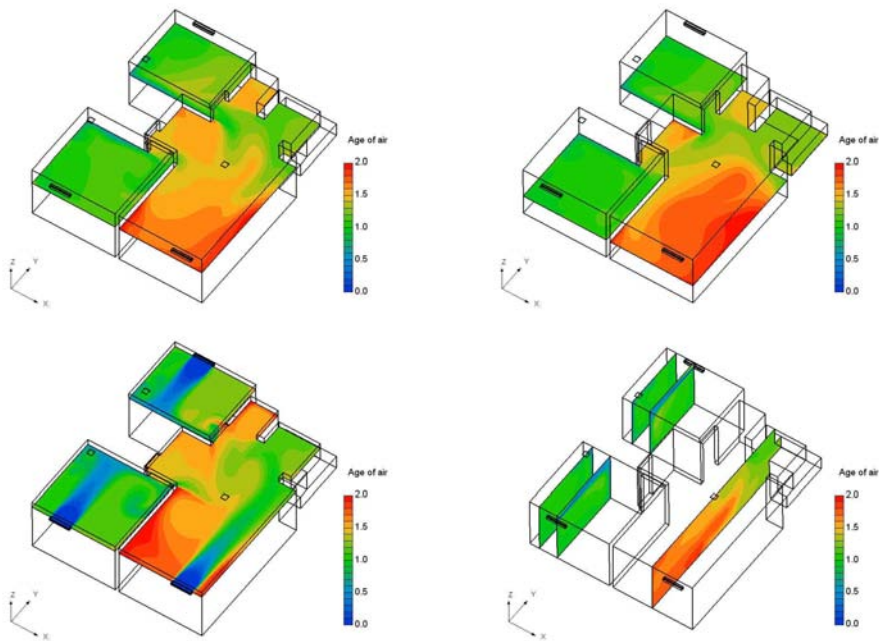
(그림 6.39) HD_BA CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(8) HD_BB (급기: 세대경계쪽, 배기: 실별모서리 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별모서리 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_BB의 환기성능을 분석하였다.

HD_BB의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2286 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.35 h, 1.6m 높이에서는 1.33 h, 2.05m 높이에서는 1.17 h으로 나타났으며, 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방 끝까지 도달하여 바로 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까

지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 앞선 HD_BA의 경우 침실1, 침실2의 배기구가 실입구에 위치해 거실과 주방의 일부 기류는 각 침실 입구의 배기구를 통해 배기가 되었으나 각 침실의 배기구의 위치가 실 안쪽 모서리로 이동한 결과, 거실과 주방 입구의 기류정체 현상이 크게 나타났다. 세대 전체 평균 공기연령 또한 HD_BA와 비교하여 0.2h만큼 더 길어졌다. HD_BB의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.40)과 같다.



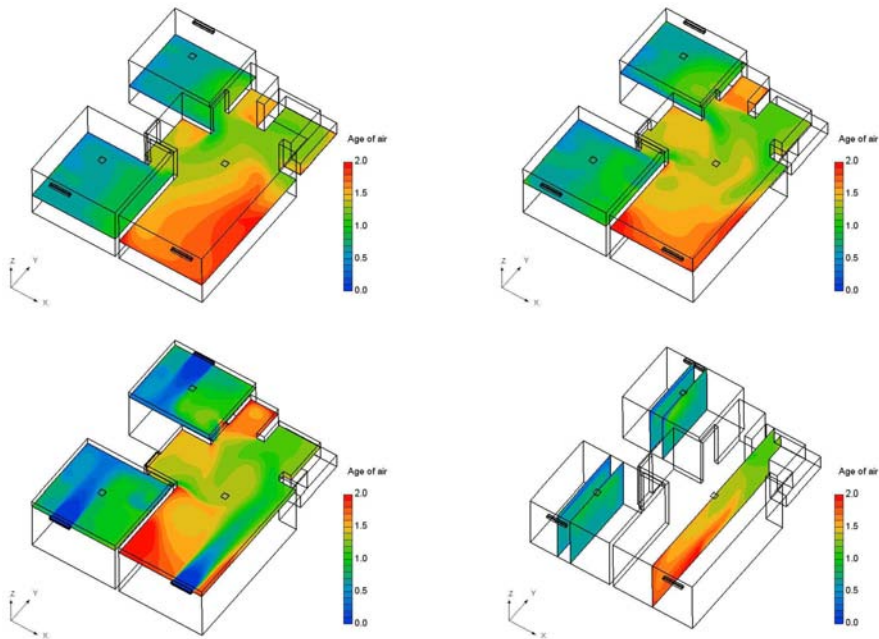
(그림 6.40) HD_BB CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(9) HD_BC (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 실별중앙 및 거실과 주방 사이에 설치된 HD_BC의 환기성능을 분석하였다.

HD_BC의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.2314 m/s로 자연환기 장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 창틀자연급기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의

자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9m 높이에서는 1.19 h, 1.6 m 높이에서는 1.17 h, 2.05 m 높이에서는 1.06 h으로 나타났으며, 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방 끝까지 도달하여 바로 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 앞선 HD_BB의 경우 침실1, 침실2의 배기구가 실모서리에 위치해 거실과 주방의 일부 기류가 침실의 배기구까지 도달하지 못하고 거실과 주방 입구의 기류정체 현상이 크게 나타났다. 그에 반해 HD_BC의 경우 각 실 중앙에 배기구가 위치함에 따라 거실과 주방 입구의 기류정체 현상이 조금 완화되었다. 하지만 침실 입구에 배기구가 설치된 HD_BA과 비교하여 세대 전체 평균 공기연령이 0.05 h 더 길게 나타났다. HD_BC의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.41)과 같다.

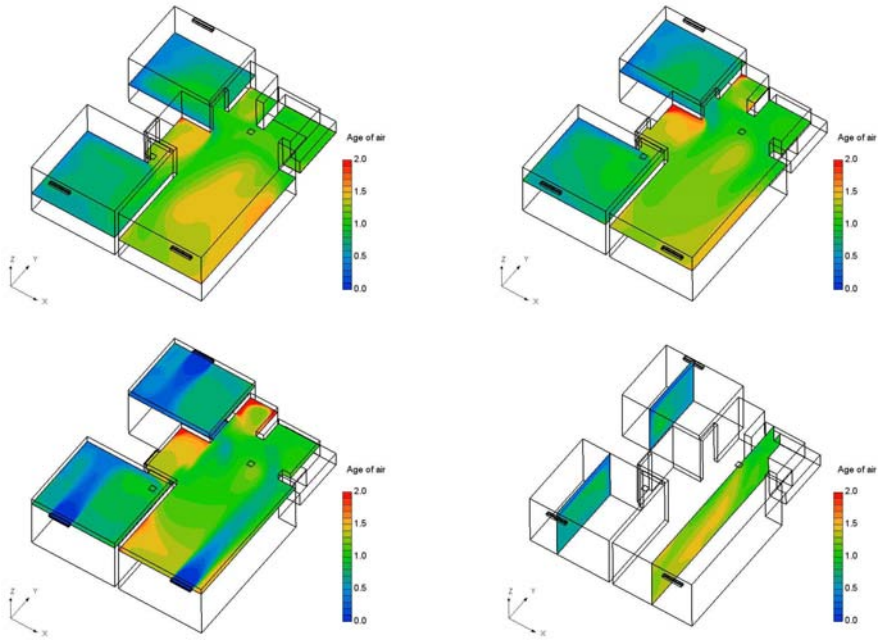


(그림 6.41) HD_BC CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(10) HD_BD (급기: 세대경계쪽, 배기: 침실1입구 · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 입구와 주방중앙에 2개의 배기구가 설치된 HD_BD의 환기성능을 분석하였다.

HD_BD의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3321 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 입구와 주방중앙에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.05 h, 1.6 m 높이에서는 1.01 h, 2.05 m 높이에서는 0.88 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방까지 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. HD_BD의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.42)와 같다.



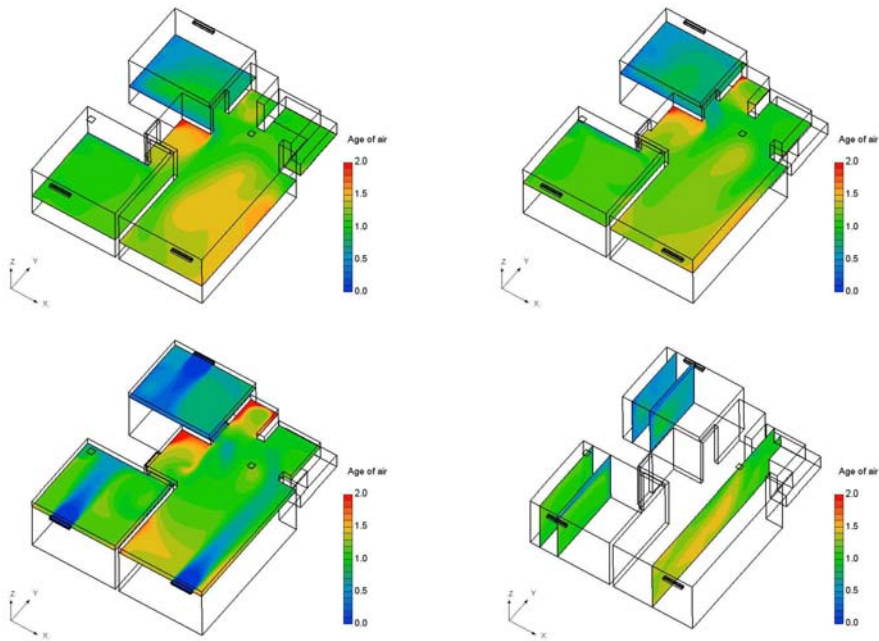
(그림 6.42) HD_BD CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(11) HD_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 모서리와 주방중앙에 2개의 배기구가 설치된 HD_BE의 환기성능을 분석하였다.

HD_BE의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3305 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 모서리와 주방중앙에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 다시 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.12 h, 1.6 m 높이에서는 1.09 h, 2.05 m 높이에서는 0.94 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거

실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 앞선 HD_BD와 비교하여 침실1의 배기구 위치가 실입구에서 실모서리로 이동한 결과, 침실1의 기류 유동거리가 길어짐에 따라 침실1에서의 기류정체 현상은 완화되었다. 반면 거실 창틀자연급기구가 세대경계쪽으로 이동함에 따라 거실 중앙의 거주역에서의 기류정체 현상으로 인하여 전체 평균 공기연령이 HD_BD와 비교하여 0.08h 길어졌다. HD_BE의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.43)과 같다.



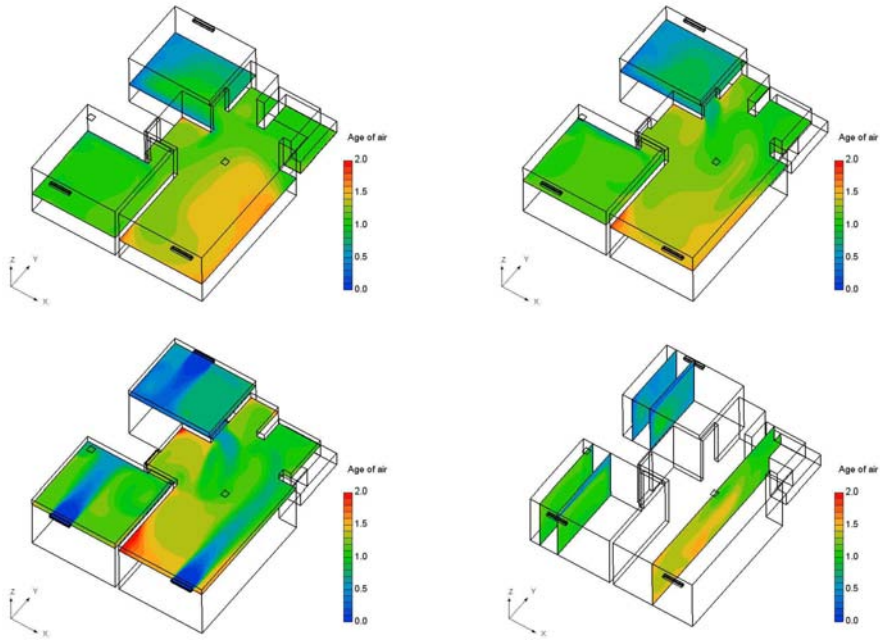
(그림 6.43) HD_BE CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

(12) HD_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)

창틀자연급기구는 각 실의 세대경계쪽에 위치하고, 덕트배기구는 침실1 모서리와 거실과 주방 사이에 2개의 배기구가 설치된 HD_BF의 환기성능을 분

석하였다.

HD_BF의 시뮬레이션 결과, 세대내 기류속도는 0~0.3017 m/s로 자연환기장치를 통해 급기되는 기류가 0.2 m/s의 속도로 나타났고, 침실1 모서리와 거실과 주방 사이에 설치된 배기구에서 0.3 m/s의 속도로 나타났으며, 급배기구 입구를 제외한 세대 전체의 기류는 0.03 m/s 이하의 속도로 나타났다. 각 실의 자연환기장치를 통해 급기된 기류형태는 각 실의 반대 벽면에 도달한 뒤 각 실로 퍼지는 형태를 보였다. 평균 공기연령 분포 결과는 0.9 m 높이에서는 1.14 h, 1.6 m 높이에서는 1.11 h, 2.05 m 높이에서는 0.96 h으로 나타나 급기구와 배기구의 위치가 천정 가까이 설치되어 있기 때문에 2.05 m 높이에서 공기연령이 가장 짧은 것으로 나타났다. 침실1과 침실2의 자연환기장치를 통해 급기된 기류는 거실과 비교하여 좀 더 활발히 유동하는 것으로 나타났고, 거실의 경우 자연환기장치를 통해 급기된 기류가 반대편 주방에 도달하여 배기되는 유동형태가 형성되어 창틀자연급기구 주변, 창틀자연급기구 아래 부분과 거실 중앙 및 주방 입구까지 높이별로 기류정체 현상이 나타났다. 앞선 HD_BE와 비교하여 거실 배기구의 위치가 주방중앙에서 거실과 주방 사이로 이동한 결과, HD_BE의 기류 분포 형태는 거의 비슷하게 나타났다. 하지만 거실 거주역 부분에서 공기연령 분포가 높게 나타났으며, 전체 평균 공기연령이 HD_BE와 비교하여 0.02 h 길어졌다. HD_BF의 시뮬레이션 결과는 (그림 6.44)와 같다.



(그림 6.44) HD_BF CFD 시뮬레이션 결과 (Age of air)

6.3.3 결과 분석

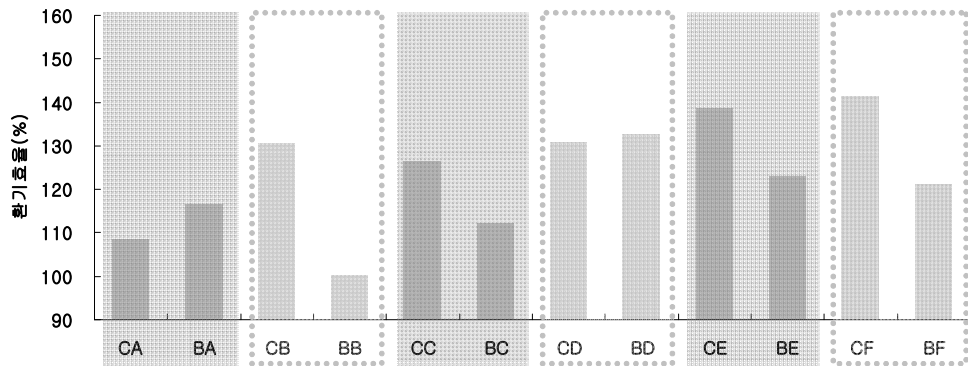
본 절에서는 환기 CFD 시뮬레이션을 통하여 급기는 각실 창틀설치형 자연 환기장치, 배기는 각실 덕트배기로 구성된 하이브리드 환기시스템 (HD)의 각 실 급기구의 세대중심쪽, 세대경계쪽 위치 변화, 배기구의 위치 및 개수를 변화시킨 각 유형별 환기효율을 평가하였다. CFD 시뮬레이션을 통해 세대 평균 공기연령 결과를 도출하였으며, 시뮬레이션 조건에 입력한 설정 풍량을 환기효율 식에 대입하여 각 유형별 환기효율을 산출하였다. 하이브리드 환기 시스템 (HD)의 환기효율 결과는 <표 6.14>와 같으며, 급배기구 변화에 따른 각 유형간의 결과 비교를 위하여 급기구 위치에 따른 결과, 배기구 위치에 따른 결과, 배기구 개수에 따른 결과로 나누어 분석하였다.

<표 6.14> 하이브리드 환기시스템 (HD : 창틀자연급기 + 덕트배기) 환기효율 결과

적 용 방 법		Case	환기효율(%)
급 기	배 기		
창틀자연급기 (세대중심쪽)	실별입구·거실주방사이 배기	HD_CA	108.5
	실별모서리·거실주방사이 배기	HD_CB	130.7
	실별중앙·거실주방사이 배기	HD_CC	126.5
	침실1입구·주방중앙 배기	HD_CD	130.8
	침실1모서리·주방중앙 배기	HD_CE	138.6
	침실1모서리·거실주방사이 배기	HD_CF	141.4
창틀자연급기 (세대경계쪽)	실별입구·거실주방사이 배기	HD_BA	116.7
	실별모서리·거실주방사이 배기	HD_BB	100.1
	실별중앙·거실주방사이 배기	HD_BC	112.2
	침실1입구·주방중앙 배기	HD_BD	132.8
	침실1모서리·주방중앙 배기	HD_BE	123.0
	침실1모서리·거실주방사이 배기	HD_BF	121.1

(1) 급기구 위치에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템 (HD)의 각 유형별 환기효율 결과를 급기구 위치에 따라 분류하여 비교하였다. 급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치로 설치 위치를 세대중심쪽과 세대경계쪽으로 분류하였으며, 그에 따른 배기는 덕트배기장치로 각 실별 3곳에 배기구가 설치되는 각실 입구·거실주방사이, 실별 모서리·거실주방사이, 실별중앙·거실주방사이와 침실1과 거실 각각 1곳에 배기구가 설치되는 침실1입구·주방중앙, 침실1모서리·주방중앙, 침실1모서리·거실주방사이로 분류하였다. 창틀자연급기구 위치에 따른 각 유형별 환기효율 결과는 (그림 6.45)와 같다.



(그림 6.45) 급기구 위치에 따른 환기효율

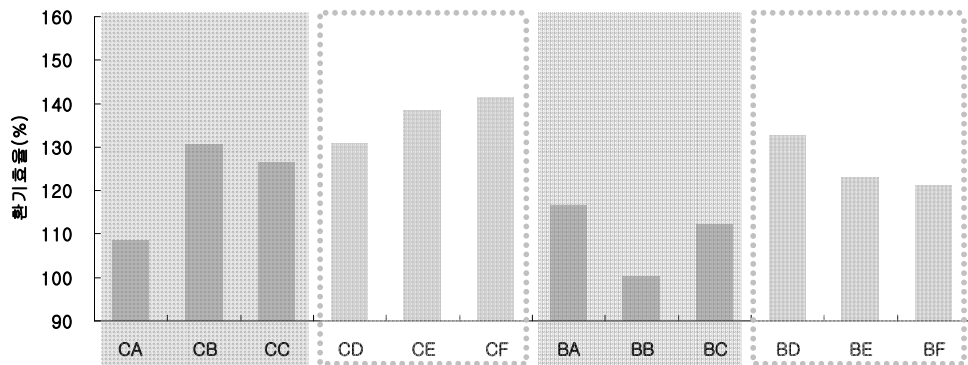
실별입구·거실주방사이 배기되는 A 유형 (CA, BA)과 침실1입구·주방중앙 배기되는 D 유형 (CD, BD)의 경우 창틀자연급기구가 세대중심쪽 (C)에 위치하는 것보다는 세대경계쪽 (B)에 위치하는 것이 환기효율이 더 높게 나타났다. 반면 A와 D 유형을 제외한 나머지 유형 (B, C, E, F)의 경우 창틀자연급기구가 세대경계쪽(B)에 위치하는 것보다 세대중심쪽(C)에 위치하는 것이 환기효율이 월등히 높은 것으로 나타났다.

전체적으로 창틀자연급기구의 위치가 세대경계쪽 (B)보다는 세대중심쪽 (C)에 위치하는 것이 환기효율이 높게 나타났으며, 실별 거주역 부분에서 기류 정체 현상도 낮게 나타났다. 이는 실별 급기구와 배기구의 이격거리가 먼 경우였는데, 창틀자연급기구를 통해 들어온 기류는 창틀자연급기구 반대쪽 벽까지 도달한 후 배기구로 향하기 때문에 창틀자연급기구가 세대중심쪽 (C)에 위치하였을 때 급기구와 배기구의 위치가 가까운 실 입구보다는 실 중앙 또는 실의 모서리 쪽에 위치하였을 때 전체적으로 기류가 활발해지고, 환기효율 측면에서 유리하게 나타났다.

(2) 배기구 위치에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템 (HD)의 각 유형별 환기효율 결과를 배기구 위치에 따라 분류하여 비교하였다. 배기는 덕트배기장치로 각 실별 3곳에 배기구가

설치되는 입구·거실주방사이, 실별모서리·거실주방사이, 실별중앙·거실주방사이와 침실1과 거실 각각 1곳에 배기구가 설치되는 침실1입구·주방중앙, 침실1모서리·주방중앙, 침실1모서리·거실주방사이로 분류하였으며, 배기구 위치에 따른 각 유형별 환기효율 결과는 (그림 6.46)과 같다.



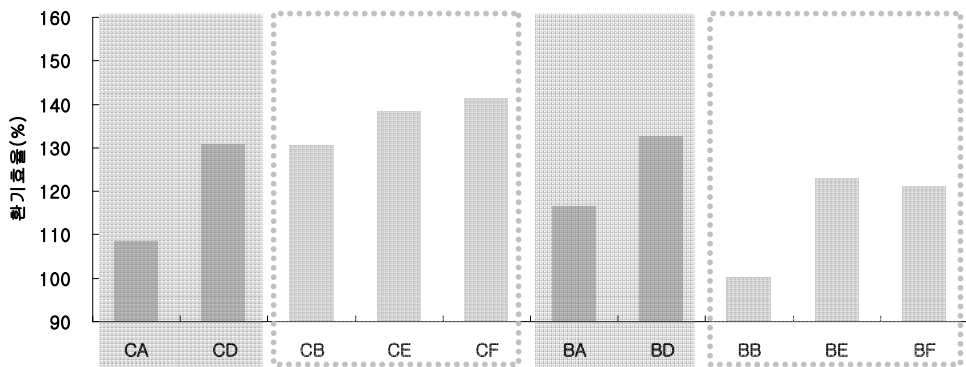
(그림 6.46) 배기구 위치에 따른 환기효율

각 실별 3곳에 배기구가 설치되는 경우 창틀자연급기구가 세대중심쪽(C)에 위치하였을 때 실별모서리·거실주방사이배기(CB) 시 환기효율이 가장 높게 나타났으며, 창틀자연급기구가 세대경계쪽(B)에 위치하였을 때 실별입구·거실주방사이배기(BA) 시 환기효율이 가장 높게 나타났다. 하지만 창틀자연급기구가 세대경계쪽(B)에 위치하고 각 실별 3곳에 배기구가 설치되는 BA~BC 유형은 다른 유형과 비교하여 대체적으로 환기효율이 낮게 나타났으며, 거실의 거주역 부분에서 기류정체 현상이 나타났다.

침실1과 거실 각각 1곳에 배기구가 설치되는 경우 창틀자연급기구가 세대중심쪽(C)에 위치하였을 때 침실1모서리·거실주방사이배기(CF) 시, 세대경계쪽(B)에 위치하였을 때 침실1입구·주방중앙배기(BD) 시 환기효율이 높은 것으로 나타났다. 창틀자연급기구의 세대중심쪽과 세대경계쪽의 위치에 따라 CD~CF, BD~BF의 환기효율의 순서가 반대인 것으로 나타나 급기구와 배기구의 거리가 멀수록 환기효율이 높은 것으로 나타났다.

(3) 배기구 개수에 따른 환기효율

하이브리드 환기시스템 (HD)의 각 유형별 환기효율 결과를 배기구 개수에 따라 분류하여 비교하였다. 배기는 덕트배기장치로 각 실별 3곳에 배기구가 설치되는 입구·거실주방사이, 실별모서리·거실주방사이, 실별중앙·거실주방사이와 침실1과 거실 각각 1곳에 배기구가 설치되는 침실1입구·주방중앙, 침실1모서리·주방중앙, 침실1모서리·거실주방사이로 분류하였으며, 배기구 개수에 따른 각 유형별 환기효율 결과는 (그림 6.47)과 같다.



(그림 6.47) 배기구 개수에 따른 환기효율

배기 설정 총풍량은 동일한 상태에서 각 실 3곳에 배기구를 설치한 경우 (각 27.7 m³/h)와 침실과 거실 2곳에 배기구를 설치한 경우(각 41.5 m³/h) 중 2곳에 배기구를 설치한 경우의 유형이 모두 환기효율이 월등히 높게 나타났다. 이는 소형 공동주택의 경우 실의 면적이 작기 때문에 배기구의 수를 많이 늘리는 것 보다는 적은 수의 배기구를 좀 더 많은 풍량으로 적절한 위치에 배치하여 배기함으로써, 기류가 활발히 유동할 수 있는 경로를 확보해주는 것이 환기성능을 높이는 환기계획임을 판단 할 수 있다.

6.4 소결

본 장에서는 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상을 위하여 두가지 종류의 하이브리드 환기시스템의 급배기구의 위치 및 개수를 변화시켜 환기효율에 대한 CFD 시뮬레이션을 실시하여 시스템별 최적의 환기계획안을 도출하였다. 시뮬레이션 결과에서 도출된 소형 공동주택에 적합한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상을 위한 환기계획 방안은 다음과 같다.

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HB)의 각 유형별 시뮬레이션 결과, 창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽보다는 세대경계쪽에 위치하였을 때 환기효율이 높게 나타났으나 거실 거주역 부분에서 기류정체 현상이 나타나 세대 전체 공기연령 분포는 고르지 못하였으며, 세대중심쪽에 위치하였을 때 전체적으로 공기연령 분포가 고르게 나타났다. 또한 창틀자연급기구의 위치가 세대중심쪽이나 세대경계쪽이거나, 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기나 욕실배기는 가동하지 않고 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기가 되도록 설정한 경우, 모든 경우에서 배기구의 위치가 거실과 주방 사이 또는 거실중앙에 위치하였을 때 환기효율이 높게 나타났다.

하이브리드 환기시스템(HB) 중 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식보다는 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 설정된 총풍량이 배기되는 방식이 상대적으로 환기효율은 높게 나타났다. 하지만 욕실팬 연동 욕실·거실 동시 배기되는 방식과 비교하여 높이별 공기연령 분포 결과는 거실의 거주역 부분에서 기류정체 현상이 크게 나타났다. 따라서 욕실·거실배기를 거주자가 원하는 환기조건에 맞게 풍량조절이 가능한 거주자용 제어판을 설치하여 적절한 환기방식을 거주자가 선택할 수 있다면 매우 효율적인 환기계획이 될 것이라 판단된다.

급기는 각실 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 각실 덕트배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템(HD)의 각 유형별 시뮬레이션 결과, 창틀자연급기구

의 위치가 세대경계쪽보다는 세대중심쪽에 위치하는 것이 환기효율이 높게 나타났으며, 실별 거주역 부분에서 기류정체 현상도 낮게 나타났다. 급기구와 배기구의 거리가 멀수록 환기효율 측면에서 유리하게 나타났다. 따라서 창틀 자연급기구가 세대중심쪽에 위치하였을 때 급기구와 배기구의 거리가 가까운 실 입구보다는 실 중앙 또는 실의 모서리 쪽에 위치하였을 때 환기효율이 뛰어난 것으로 나타났다.

하이브리드 환기시스템 (HD) 중 배기의 설정 총풍량은 동일한 상태에서 각 실 3곳에 배기구를 설치한 경우보다 침실과 거실 2곳에 배기구를 설치한 경우의 환기효율이 월등히 높게 나타났다. 이는 소형 공동주택의 경우 실의 면적이 작기 때문에 배기구의 수를 많이 늘리는 것 보다는 적은 수의 배기구를 좀 더 많은 풍량으로, 적절한 위치에 배치하여 배기함으로써 기류가 활발히 유동할 수 있는 경로를 확보해주는 것이 환기효율이 높은 환기계획이 될 수 있음을 나타낸다.

제 7 장 결론

2004년 초부터 공동주택의 새집증후군이 사회적 문제가 되면서 실내공기질 관리법 개정, 실내공기질 권고기준 제정, 환기시스템 설치의 의무화 기준 제정 등의 규제가 빠르게 제도화되었다. 이와 같은 실내공기환경을 개선하기 위한 제도의 제·개정을 통한 의무화는 다른 선진외국에서도 유례를 찾기 어려운 것으로, 국내의 공동주택 실내공기질 개선을 위한 사회적 관심 및 정부 차원의 해결의 의지가 고무적인 것을 알 수 있다. 이에 따라 중대형 공동주택 및 주상복합 등에 적용되고 있는 기계환기시스템과 관련한 환기성능 및 시스템 효율화 방안에 관한 연구는 다수 진행되었으나, 하이브리드 환기시스템의 환기성능에 대한 검증 연구가 아직 미흡하고 공동주택에 적용하기 위한 환기설계방법에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 하이브리드 환기시스템 적용성을 검토하고 하이브리드 환기시스템의 성능을 향상하기 위한 설계방안을 제시하고자 하였다. 성능 검토 방법으로서 현장시공을 통한 현장평가와 CFD 시뮬레이션 평가를 동시에 실시하여 CFD 시뮬레이션의 신뢰성을 확보한 후, 하이브리드 환기시스템 설계를 위한 방법론으로서 CFD 시뮬레이션 활용 방안을 제시하였다. 현장시공 및 CFD 시뮬레이션 대상 공동주택은 하이브리드 환기시스템의 성능을 적극적으로 활용 할 수 있는 소형규모의 전용면적 51m²공동주택을 선정하여 평가를 실시하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 하이브리드 환기시스템의 현장 실험

전용면적 51m² 규모의 소형공동주택에 급기는 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동형 욕실·거실환기장치와 각실 덕트배기 장치의 이중의 하이브리드 환기시스템에 대하여 법규에서 기준으로 제시하고 있는 0.7회/h의 환기량을 만족하는 시스템을 실제 시공하고 환기유형에 따른 환기성능 실험을 실시하였다.

실험결과, 욕실팬 연동형 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템의 실 평균 공기연령은 1.42h, 실 평균 환기효율은 94%, 각실 덕트배기장

치로 구성된 하이브리드 환기시스템의 실 평균 공기연령은 1.52h, 실 평균 환기효율은 81%로 나타나, 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치가 평균 공기연령이 짧으며, 명목시간상수와 평균공기연령의 비로 정의되는 환기효율도 우수한 것으로 나타났다.

(2) 하이브리드 환기시스템의 환기성능 CFD 검증을 통한 신뢰도 확보

CFD 시뮬레이션 기법을 이용하여 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안을 제시하기 위하여 현장실험과 CFD 시뮬레이션 결과 비교를 통하여 CFD 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하였다. 먼저, 단지에 대한 CFD 해석을 선행하여 대상세대 전후면의 기류 및 압력 상태를 파악한 뒤 그 결과를 세대 전후면의 경계 조건값으로 적용하여 세대 시뮬레이션을 실시하였다.

현장측정과 비교 결과 각 환기시스템간의 실측치의 오차범위 안에서 시뮬레이션 결과치가 도출되었으며, 각 실의 공기연령 순서가 실험결과와 해석결과가 모두 동일한 것으로 나타났다. 이로서 CFD 시뮬레이션이 실제결과를 반영하는 것으로 판단되므로, 하이브리드 환기시스템의 환기성능 평가 및 개선방안 도출을 위한 방법으로 본 논문에서는 CFD 시뮬레이션 예측기법을 제시하였다.

(3) CFD 시뮬레이션을 이용한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안

하이브리드 환기시스템의 환기효율을 증대시킬 수 있는 환기계획 방안을 제시하기 위하여 각 시스템별 급배기구의 위치 및 설치개수를 변수로 하여 CFD 시뮬레이션을 통해 시스템별 최적의 환기계획안을 모색하였다.

창틀자연급기+욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템의 경우, 자연급기구의 위치가 세대중심쪽보다는 세대경계쪽에 위치했을 때, 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 거실중앙이나 거실과 주방사이에 위치했을 때 환기효율이 높게 나타났다. 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 총풍량이 배기가 되도록 계획한 경우, 평균 환기효율은 높지만 세대내 기류정체 현상이 발생하였다.

창틀자연급기+덕트배기 하이브리드 환기시스템의 경우, 자연급기구의 위치가 세대경계쪽보다는 세대중심쪽에 위치했을 때, 급기구와 배기구의 거리가

떨어질수록 환기효율이 높게 나타났다. 또한, 덕트배기구를 각 실 모두에 배치하였을 때보다 동일한 풍량으로 두 개의 배기구로 나누어 배기하였을 때 환기효율이 높게 나타났다.

(4) 소형 공동주택의 하이브리드 환기시스템 환기계획

창틀자연급기+욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템 설치시, 욕실과, 거실 중앙 부분에 배기구를 설치하고, 창틀자연급기구는 세대경계쪽에 설치하는 것이 기류정체현상을 없애고 환기효율이 우수하다.

거실 중앙에 배기구 한 곳만을 설치하고 창틀자연급기구를 세대경계쪽에 설치하는 경우 환기효율은 가장 우수하다. 그러나, 실내의 공기연령 편차가 심하여 각 실 거주역 부분과 경계벽측 부근에서 기류 정체 현상이 나타나므로 공기연령 및 기류의 균일한 분포를 위해서는 창틀자연급기구를 세대중심 쪽에 설치한다.

이상의 결과를 통하여 공동주택의 하이브리드 환기시스템 적용시 환기성능 향상을 위한 환기계획 방안에 대하여 제시하였으며, 하이브리드 환기시스템의 최적화 계획을 위한 환기성능 평가 방법으로서 현장실험을 통해 신뢰성이 확보된 CFD 시뮬레이션의 활용방법에 대하여 제시하였다.

본 연구결과는 소규모 단일 평면유형을 대상으로 도출된 결과로서, 앞서의 연구범위에서 밝힌 바와 같이 여러 가지 다양한 공동주택 유형에 적용하기에는 어려움이 있으므로, 본 연구결과를 확대적용하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려해야 할 것으로 판단된다.

발코니새시가 설치된 유형의 경우는 거실창이 외기에 바로 면하지 않으므로 하이브리드 환기의 창틀자연환기구를 통한 외기도입이 어려워 환기성능이 떨어지게 된다. 이와 같은 유형에는 발코니 새시 부분에도 창틀자연환기구를 설치하여 세대내로 급기가 유도될 수 있도록 계획하여야 한다.

거실 확장형의 경우는 거주역이 발코니 부분까지 확장되어진 반면, 하이브

리드 환기의 창틀자연환기구가 직접적으로 외기에 면하게 되므로 공기유동이 효과적으로 이루어지지 않을 경우에는 겨울철 차가운 외기에 의해 콜드드래프트 현상이 창문주변의 거주역에서 발생할 수 있으므로 하이브리드 환기시스템의 자연급기구에서 기계배기구까지의 공기유동이 효율적으로 이루어지도록 환기설계가 고려되어야 한다.

계단실형의 경우는 평면의 전·후면이 외기에 노출됨으로서 창틀개구부를 통한 자연급기가 유리하므로 급기구를 통해 도입된 외기가 공기유동 경로에서 제외된 공기체류 공간이 발생하지 않도록, 또한 통과기류(short cut)가 발생하지 않도록 하이브리드 환기시스템의 급배기구를 설계한다.

중대형 공동주택의 경우는 소형 공동주택에서 환기성능이 우수한 것으로 도출된 창틀자연급기+욕실·거실배기의 하이브리드 환기시스템이 소형과 비교해서는 환기성능이 비교적 낮을 것으로 판단된다. 소형 공동주택은 장단변이 비교적 짧고 공간이 작아서, 중심부분의 집중배기만으로도 각 창틀급기구를 통해 도입된 외기의 공기유동을 충분히 유도할 수 있었다. 그러나 중대형 공동주택의 경우는 공간구성이 복잡하고 규모가 비교적 커서, 세대 중심의 욕실·거실 배기만으로는 창틀자연급기구에서 급기된 공기의 유동을 충분히 유도시키기 어려울 수 있으므로 중대형 공동주택의 경우는 창틀개구부 급기+각실 배기시스템이 효과적일 것으로 판단된다.

탑상형의 고층 공동주택의 경우는 가장 큰 문제가 부력으로 인한 연돌효과(Stack Effect)로 과도한 압력차가 발생하여 저층부에서는 실내측에 부압으로 침기가 발생되고, 고층부에서는 정압으로 작용하여 누기가 발생하는 원인이 된다. 이는 각 세대의 기밀성에 영향을 주며, 하이브리드 환기의 공기유동에 영향을 주어 적절한 환기가 이루어지지 못하는 문제점이 발생할 수 있다. 그러나 이중외피구조 및 건물내 에코샤프트와 같은 수직샤프트 등의 공간을 설치하여 연돌효과에 의해 발생하는 환기구동력을 활용하여 하이브리드 환기에 접목시키는 적극적인 방법을 고려해 볼 수 있을 것이다.

이상과 같이 추후에는 공동주택의 다양한 변수가 고려된 종합적이며 광범위한 연구가 필요하며, 환기성능을 기반으로 경제성, 시공성, 편의성, 유지 및

관리의 용이성, 소음발생 및 전달 정도 등 환기시스템의 다양한 성능 조사를 통하여 공동주택의 최적 환기방안 및 환기설계방안을 제시할 수 있는 실용화 연구가 연계되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구는 향후 이와 같은 하이브리드 환기시스템 적용을 위한 성능검증 및 개선 연구의 기초자료로서 유효하게 활용될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[국내 논문]

- 고현준 외, 공동주택용 환기시스템의 실내공기질 개선효과, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 권용일 외, 혼합환기방식에서 환기효율에 영향을 미치는 인자에 관한 연구, 공기조화냉동공학회 1998 동계학술발표대회 논문집, 1998
- 김건우 외, 공동주택의 창문일체형 하이브리드 환기시스템의 성능실험에 관한 연구, 대한설비공학회 2006 동계학술발표대회 논문집, 2006
- 김기훈 외, 공동주택 환기시스템의 환기효율에 관한 연구, 대한설비공학회 2003 동계학술발표대회 논문집, 2003
- 김동석 외, 공동주택 환기시스템의 환기성능 향상을 위한 최적 급·배기구 위치에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집 제25권 제1호, 2005
- 김상진 외, 하계 공동주택 하이브리드 환기시스템 적용에 따른 실내공기 및 열 환경 평가, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, 2006
- 김성호 외, 초고층 주상복합건물에서의 개구부 형태에 따른 자연환기효율 및 실내기류 특성에 관한 연구, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 김옥 외, 초고층 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 성능평가에 관한 연구, 대한설비공학회 2007 동계학술발표대회 논문집, 2007
- 김은수 외, 공동주택 환기시스템의 취출구 위치에 따른 환기효율 해석, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회, 2005
- 남중우 외, 공동주택의 창문일체형 하이브리드 환기시스템의 성능실험에 관한 연구, 대한설비공학회 2006 동계학술발표대회 논문집, 2006
- 류영희 외, 공동주택 실내공기질 측정을 통한 현황 및 환기량과 자재종류에 따른 실내공기질 예측, 대한건축학회 2004 춘계학술발표대회 논문집(계획계), 2004
- 박우진 외, 초고층 공동주택 환기시스템의 환기성능 실험에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회(창립60주년 기념) 논문집 제25권 제1호, 2005

- 박진철, 초고층 공동주택의 환기효율 개선에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 제26권 제2호, 2006
- 박진철 외, 공동주택에서의 실외 급·배기구 위치에 따른 환기효율 향상 연구, 한국태양에너지학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 배귀남, 미국의 환기기준 동향, 대한설비공학회 2005동계 학술발표대회 논문집, 2005
- 송의 외, 공동주택의 발코니 공간을 이용한 하이브리드 환기방식 제안, 대한설비공학회 2005 하계학술발표대회 논문집, 2005
- 원종서 외, 공동주택 발코니 공간을 이용한 하이브리드 환기시스템의 성능 평가, 대한건축학회 논문집 제23권 제5호, 2007
- 이성환, 공동주택용 하이브리드 환기설비에 관한 연구, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, 2006
- 이용준 외, 실내공기질을 고려한 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 성능평가, 대한건축학회 논문집 계획계 제21권 제9호, 2005
- 이윤규, 공동주택의 실내공기질 및 환기기준 설정, 한국대기환경학회 2006 춘계학술대회 논문집, 2006
- 이윤규 외, 국내환기 기준의 개요 및 환기설비 기술개발 현황, 대한설비공학회 2007 하계학술발표대회 논문집, 2007
- 조동우, 공조취출방식에 따른 공기의 나이 및 환기효율 비교, 공기조화냉동공학회 논문집 제11권 제1호, 1999
- 조민철 외, 추적가스를 이용한 환기방식별 실내환기효율 평가에 관한 연구, 공기조화냉동공학회 1999 동계학술발표대회, 1999
- 최정민 외, 건축 마감재와 가구재의 VOCS, HCHO 유해물질에 따른 공동주택 적정 환기량 산정에 관한 연구, 한국주거학회 논문집 제16권 제4호, 2005
- 최진호 외, 공동주택의 최적 환기효율을 위한 급배기 위치 평가, 대한설비공학회 2007 하계학술발표대회 논문집, 2007
- 한화택 외, 추적가스를 이용한 바닥취출 공조공간내의 환기효율 측정 실험, 공기조화냉동공학회 논문집 제10권 제5호, 1998
- 한화택, 환기효율의 정의에 관하여, 공기조화·냉동공학 제28권 제1호, 1999
- 황지현 외, 제3종 하이브리드 환기시스템을 적용한 공동주택의 환기성능 예측, 대한설비공학회 논문집 제18권 제7호, 2006

- 한국건설기술연구원, Present and Future of Building Ventilation(-Trends of Ventilation Standard & System for Healthy IAQ and Energy Issue), International Seminar 2008, 2008

[국내 보고서]

- 건설교통부, 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서'(건설교통부령 제497호), 2006
- 국립환경과학원, 전국 신축공동주택 실내공기질 실태조사, 2004
- 대한주택공사, 공동주택 관리실무, 2006
- 한국공기청정협회, 다중이용시설의 환기설비 설치기준 설정 연구, 환경부, 2005
- 환경부, 다중이용시설등의 환기설비 설치기준 설정 연구, 2005
- KS F 2603, 옥내 환기량 측정방법(이산화탄소법), 한국산업규격, 1991

[기 타]

- 대한설비공학회, 2008년도 환기방재부문 학술강연회, 2008
- 신지웅 외, CFD와 네트워크 모델 시뮬레이션을 이용한 공동주택 연간 자연환기량 평가, 쌍용 건설기술, 2007
- 윤성훈, 주택용 하이브리드환기시스템에 관한 기술동향 및 전망, SK건축기술정보 제5호, 2006
- 이정재, 환기효율을 고려한 필요환기량 산정방법, 공기조화냉동공학회 건설환경부문강연회, 1999
- 이중훈, 초고층 특성을 고려한 하이브리드 환기의 개발 및 적용, 삼성건설기술통권 제59호, 2008
- 최선호 외, 일본의 하이브리드 환기사례, 설비저널 제32권 제5호, 2003

[국외 논문 및 보고서]

- ASHRAE, 1992 International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, 1992

- ASHRAE, ASHRAE Guideline 14, Measurement of Energy and Demand Savings, 2002
- ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1989
- ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1999, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1989
- ASHRAE, ASHRAE Standard 62-2001, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2001
- ASHRAE, ASHRAE Standard 62.1-2004, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2001
- James Reardon et al., Energy-Efficient Hybrid Ventilation Systems for Residential Buildings, NRC, Canada, 2008
- Katerina Niachou, Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment, Building and Environment volume 43 issue8, 2008
- Per Heilselberg, Principles of Hybrid Ventilation, IEA ECBCS Annex 35, 2002
- Peter Op't Veld et al., Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings, EC RESHYVENT, Netherlands, 2004
- STREAM V7 User's Guide, CRADLE, 2007
- Takao Sawachi, Trends in the Japanese Building Ventilation Market and Drivers for Change, Present and Future of Building Ventilation-International Seminar 2008, 2008
- Yiqun Pan et al., Calibrated Building Energy Simulation and its Application in a High-Rise Commercial Building in Shanghai, Energy and Buildings 39, 2007

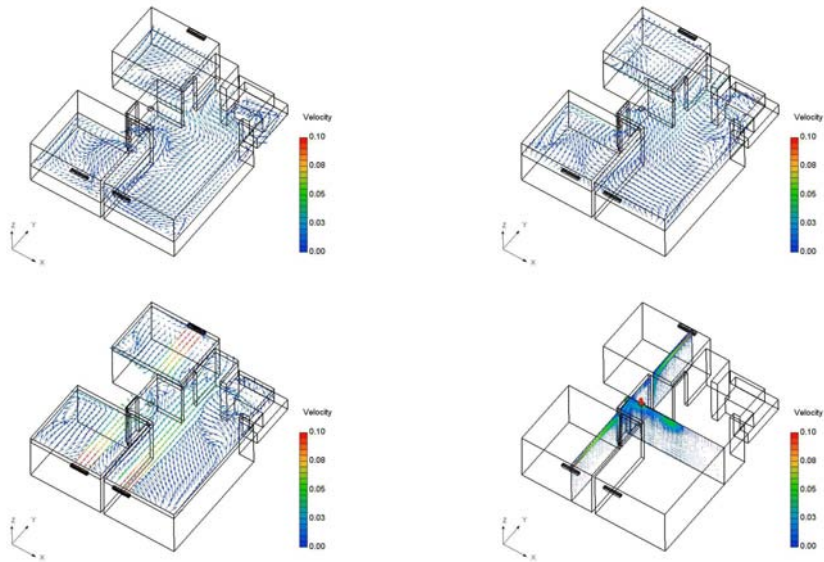
[Web Site]

- <http://iaenv.kict.re.kr/>
- <http://kookmin.jugong.co.kr/>
- <http://www.cen.eu/>
- <http://www.ecbcs.org/>
- <http://www.kajima.co.jp/>
- <http://www.kma.go.kr/>
- <http://www.natvent.com/>
- <http://www.reshyvent.com/>
- <http://www.sekisuihouse.co.jp/>

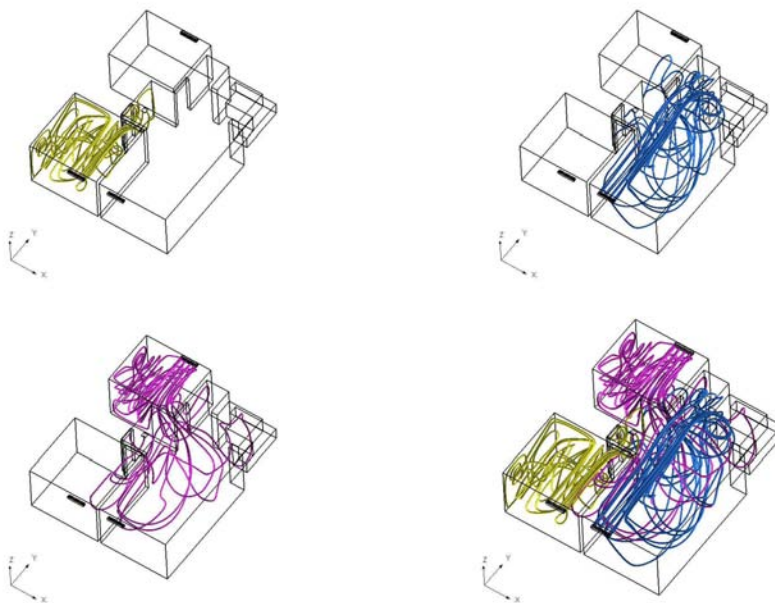
[부 록] CFD 시뮬레이션 결과 (기류속도, 기류형태)

1) HB_CA (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실입구)	186
2) HB_CB (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 거실주방사이)	187
3) HB_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 거실중앙)	188
4) HB_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 주방중앙)	189
5) HB_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)	190
6) HB_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)	191
7) HB_CG (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)	192
8) HB_CH (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 주방중앙)	193
9) HB_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실입구)	194
10) HB_BB (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 거실주방사이)	195
11) HB_BC (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 거실중앙)	196
12) HB_BD (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 주방중앙)	197
13) HB_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)	198
14) HB_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)	199
15) HB_BG (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)	200
16) HB_BH (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 주방중앙)	201
17) HD_CA (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)	202
18) HD_CB (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별모서리 · 거실주방사이)	203
19) HD_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)	204
20) HD_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1입구 · 주방중앙)	205
21) HD_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)	206
22) HD_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)	207
23) HD_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)	208
24) HD_BB (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별모서리 · 거실주방사이)	209
25) HD_BC (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)	210
26) HD_BD (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1입구 · 주방중앙)	211
27) HD_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)	212
28) HD_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)	213
29) CFD 시뮬레이션 결과 요약	214

1) HB_CA (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실입구)

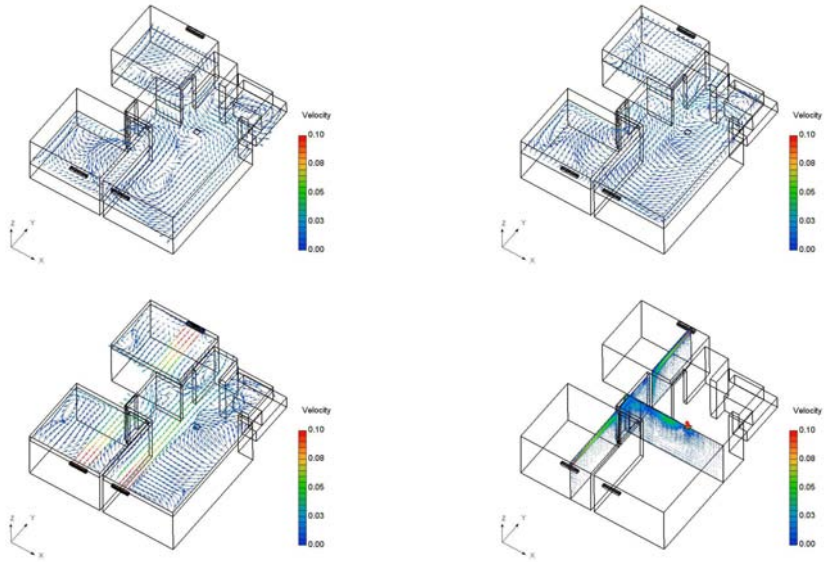


HB_CA : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

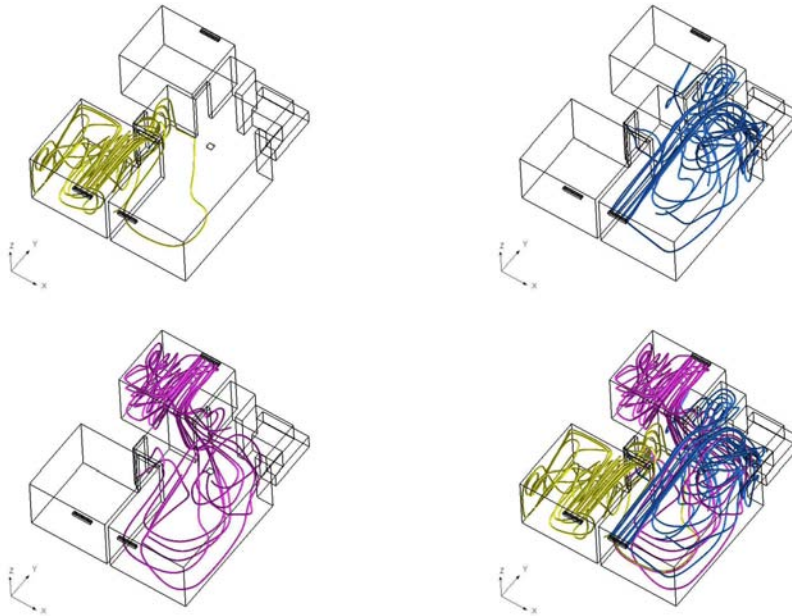


HB_CA : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

2) HB_CB (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 거실주방사이)

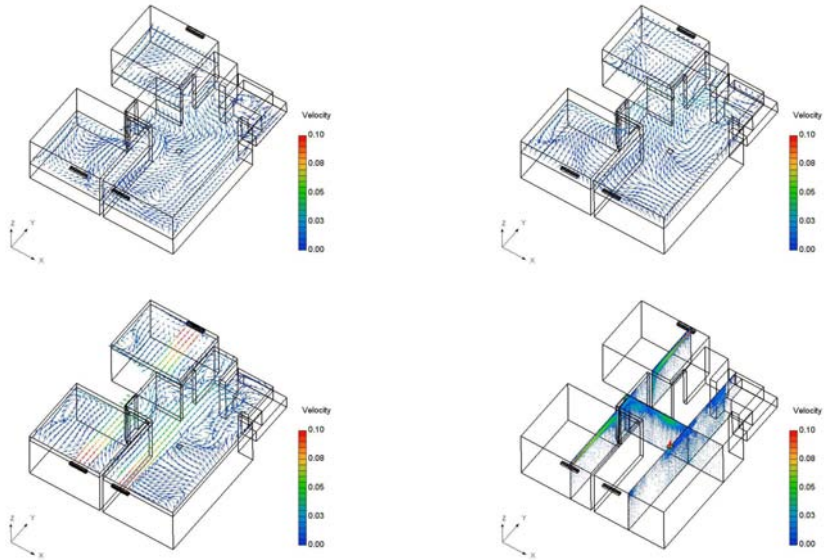


HB_CB : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

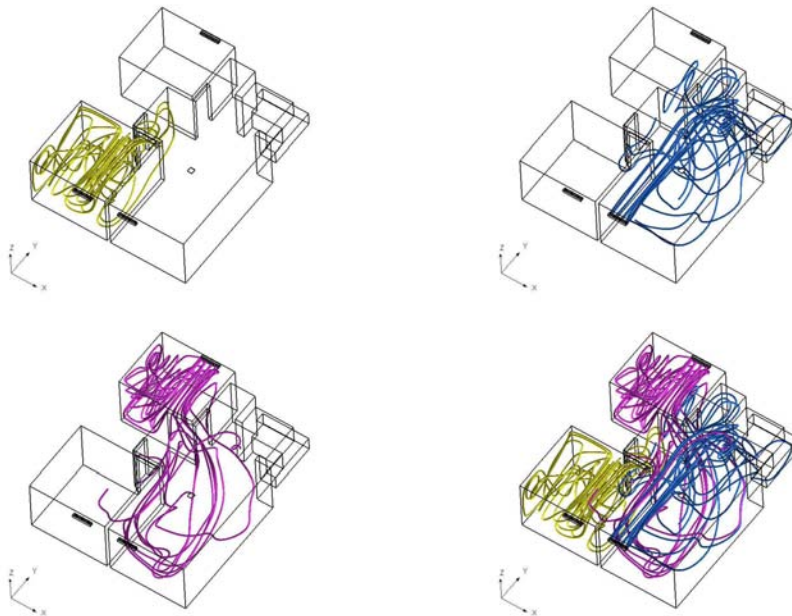


HB_CB : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

3) HB_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 거실중앙)

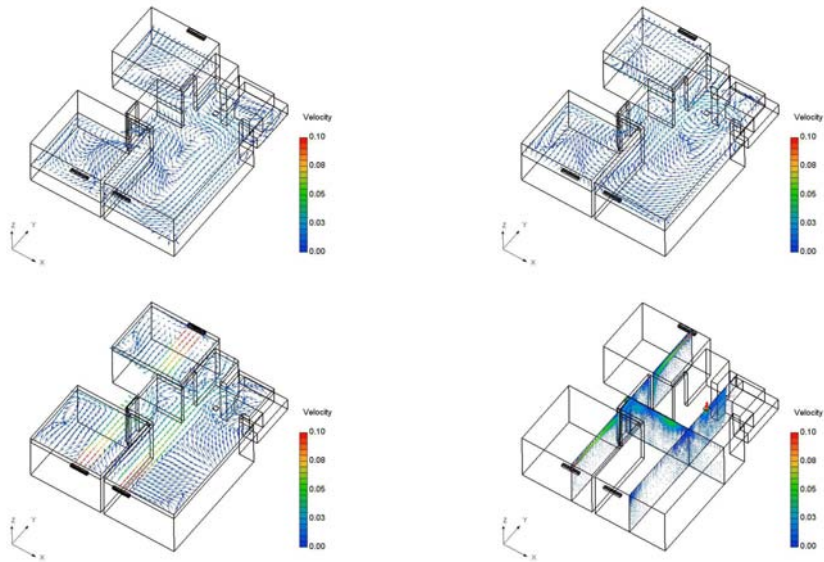


HB_CC : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

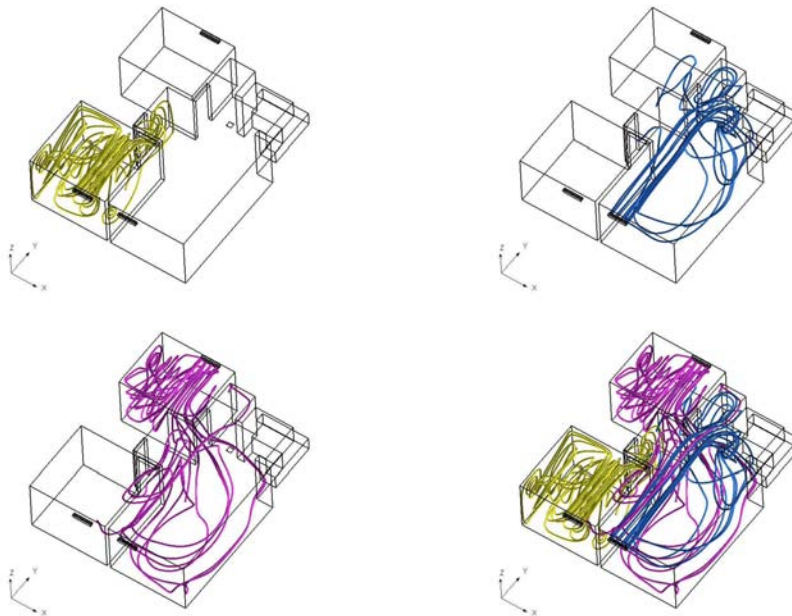


HB_CC : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

4) HB_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 주방중앙)

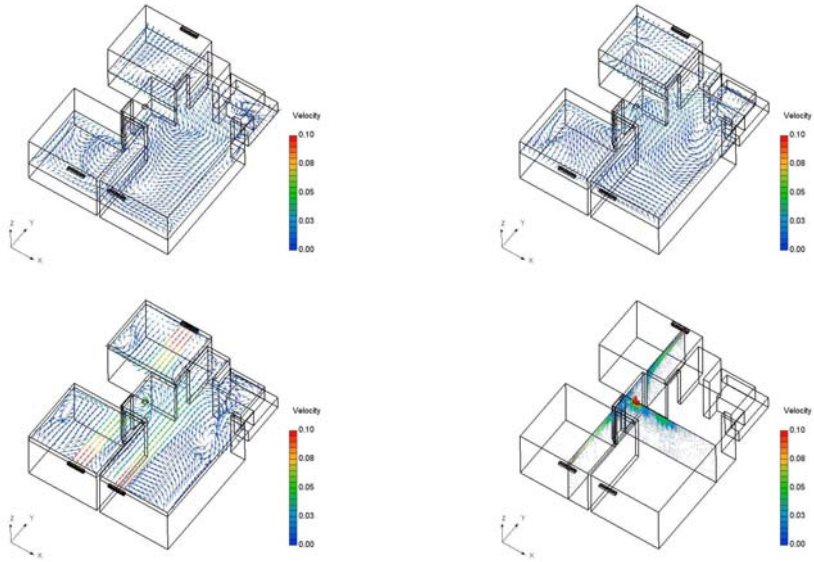


HB_CD : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

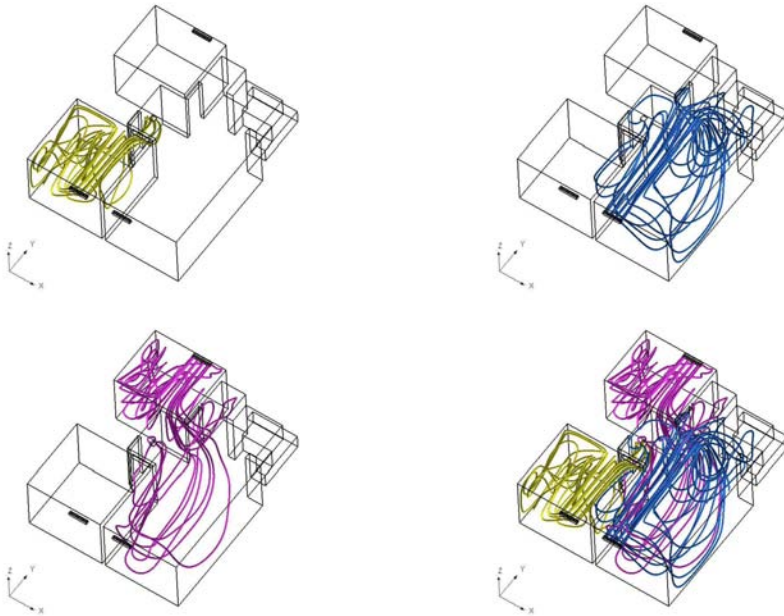


HB_CD : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

5) HB_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)

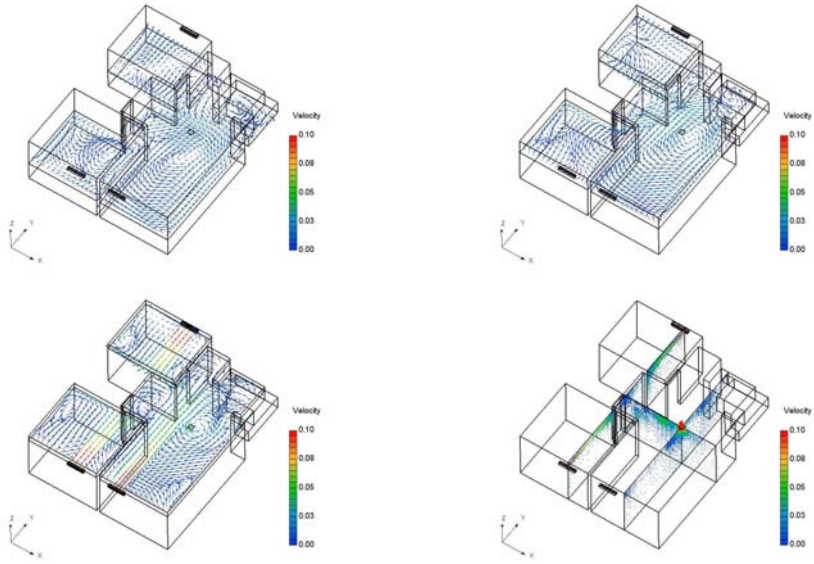


HB_CE : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

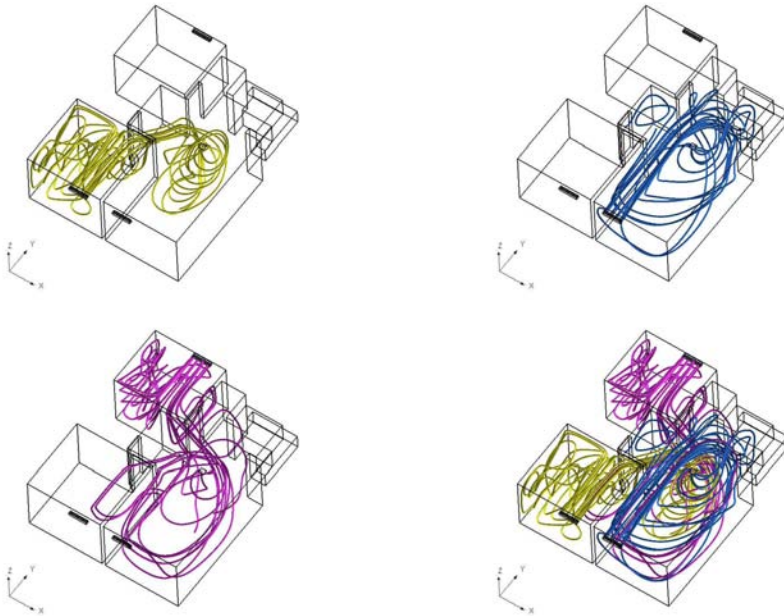


HB_CE : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

6) HB_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)

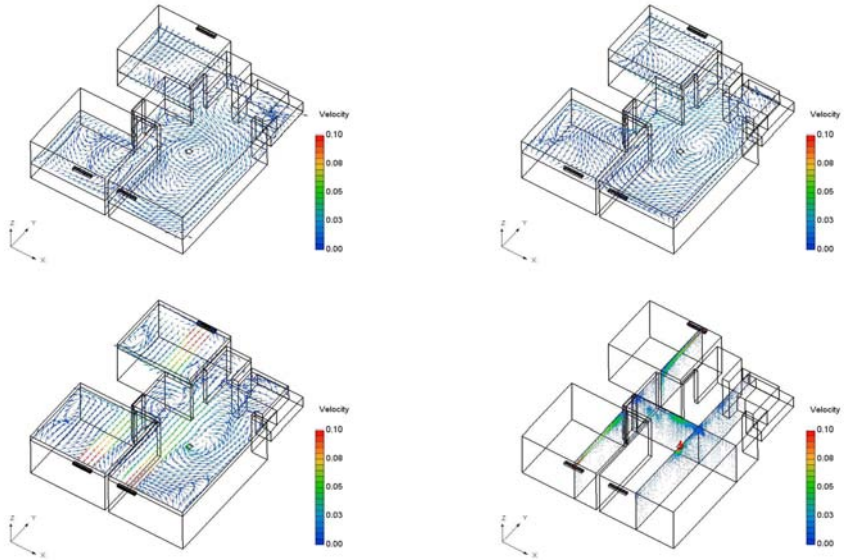


HB_CF : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

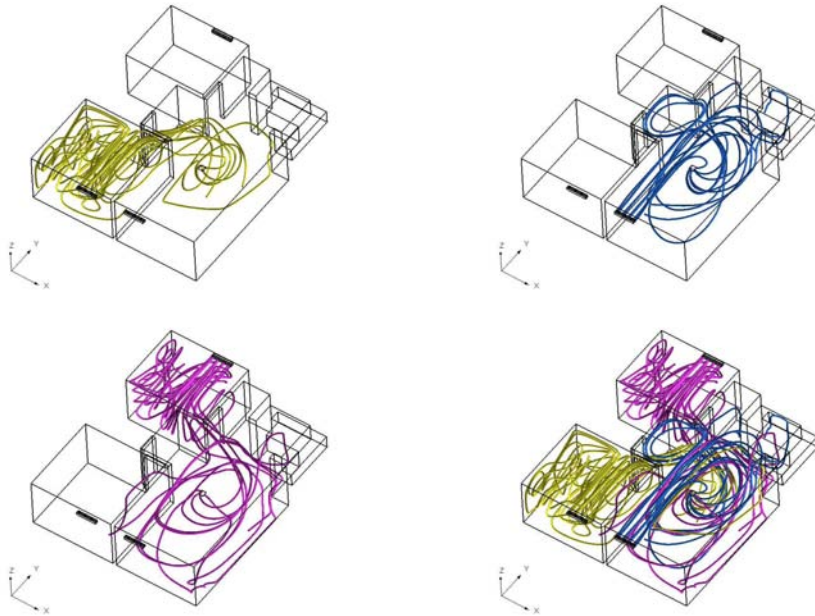


HB_CF : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

7) HB_CG (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)

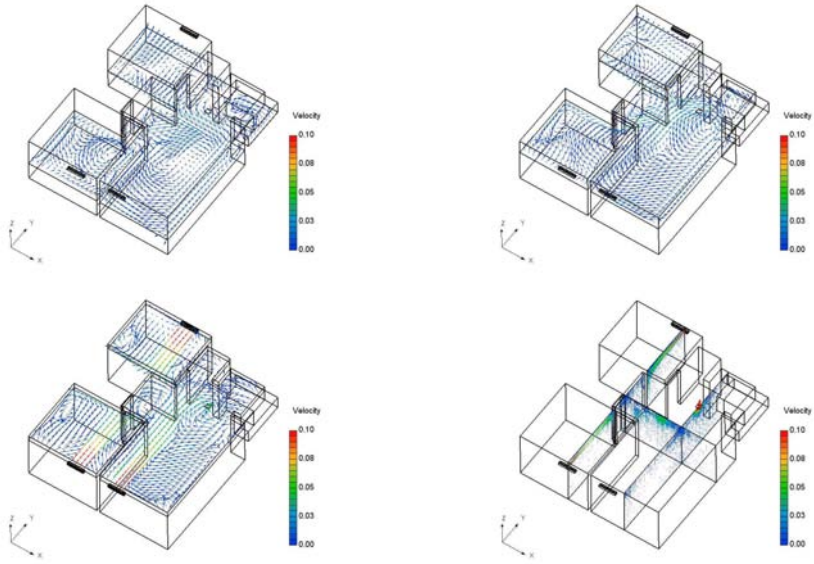


HB_CG : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

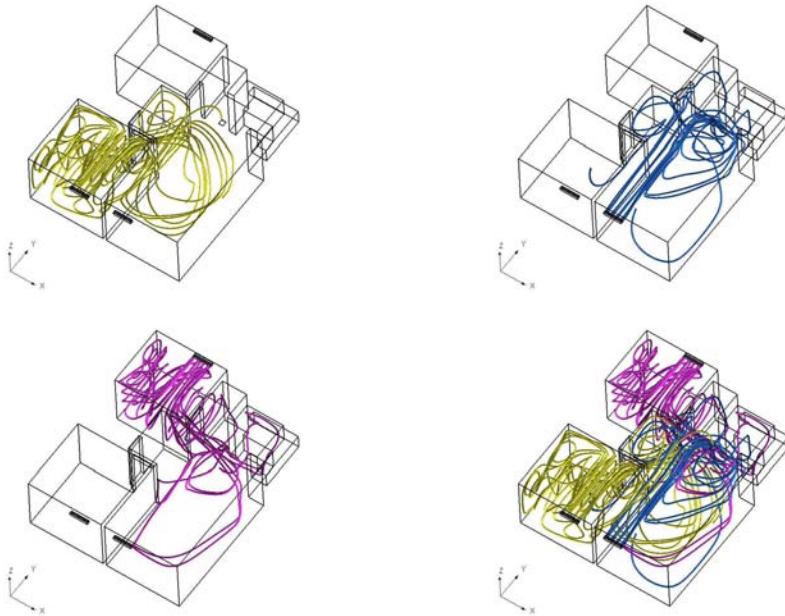


HB_CG : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

8) HB_CH (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 주방중앙)

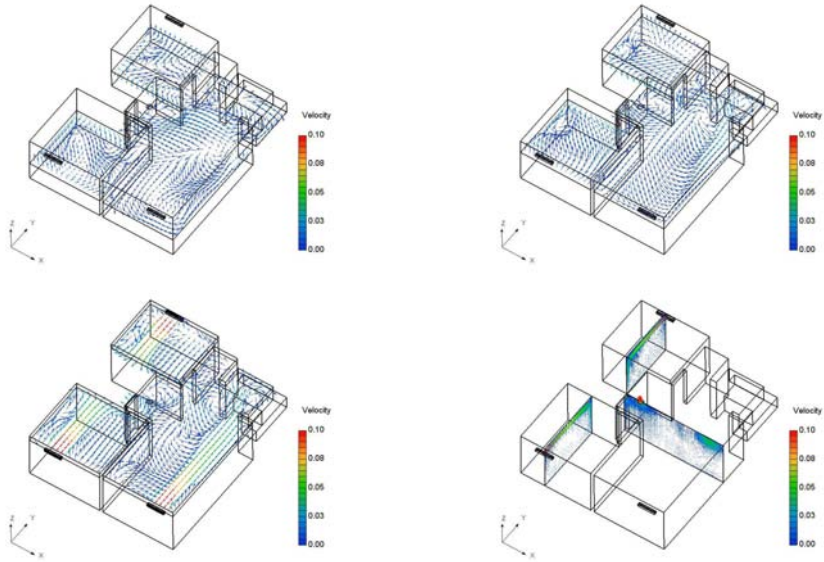


HB_CH : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

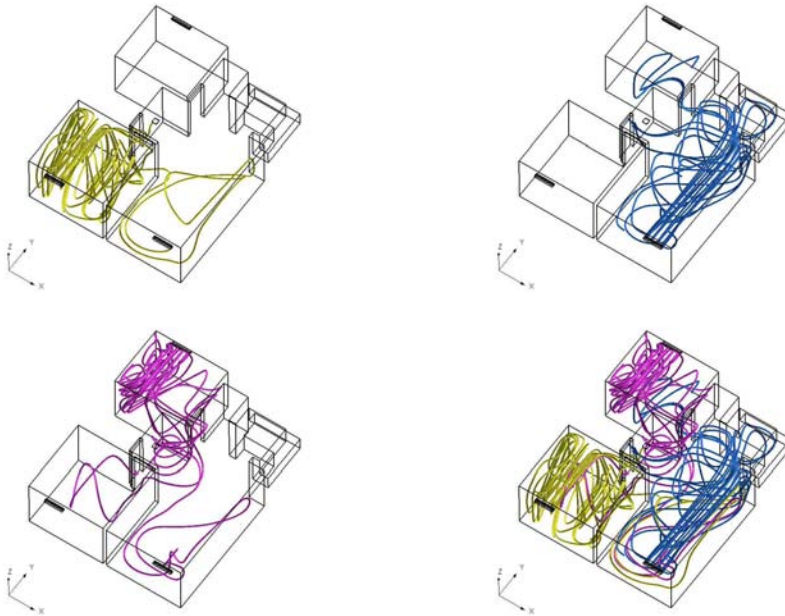


HB_CH : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

9) HB_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실입구)

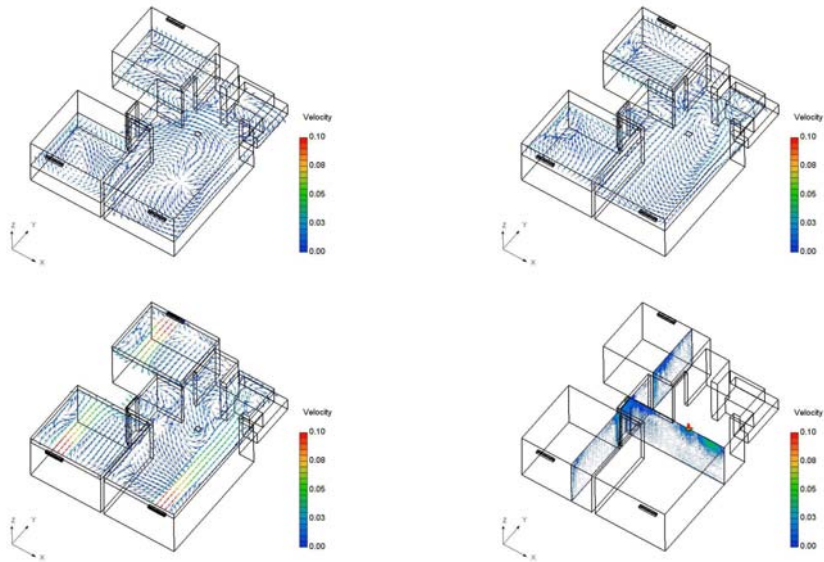


HB_BA : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

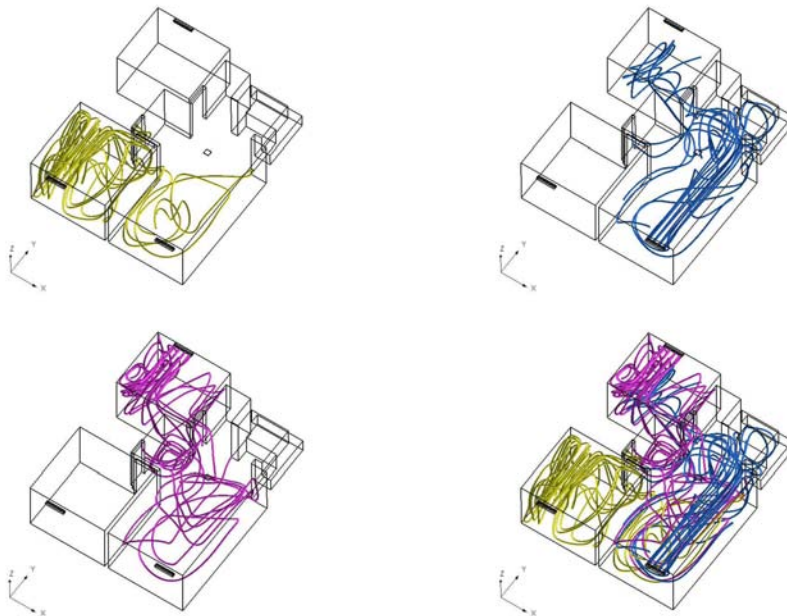


HB_BA : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

10) HB_BB (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 거실주방사이)

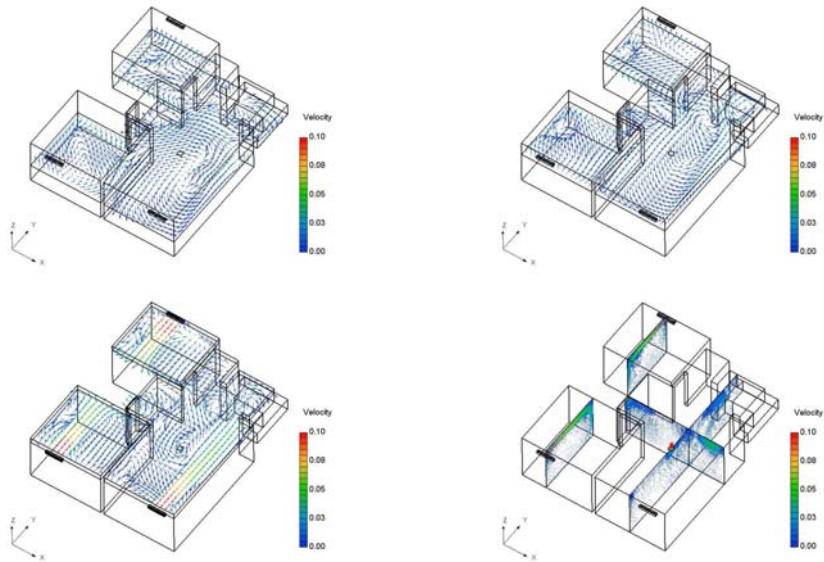


HB_BB : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

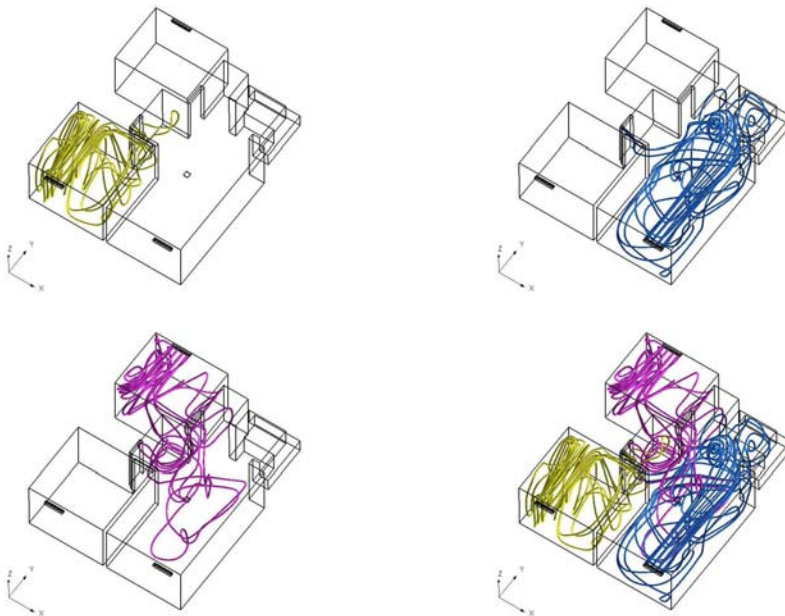


HB_BB : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

11) HB_BC (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 거실중앙)

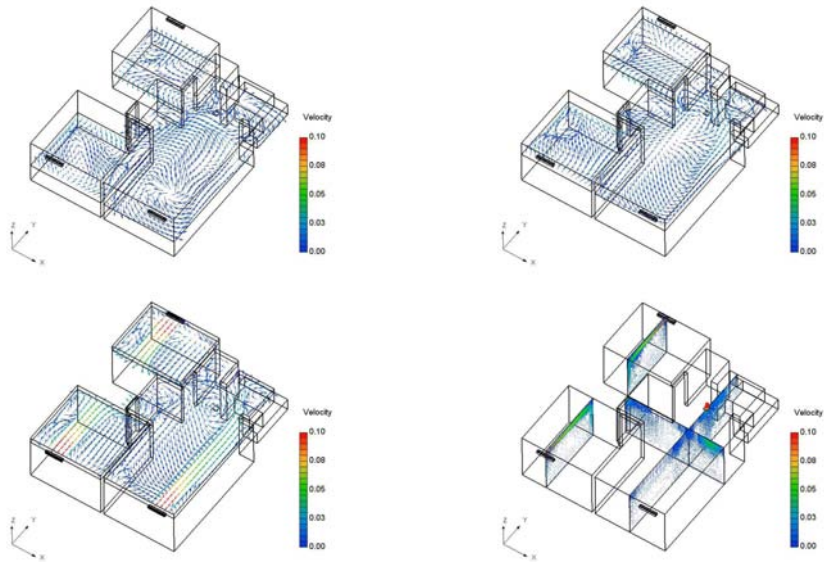


HB_BC : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

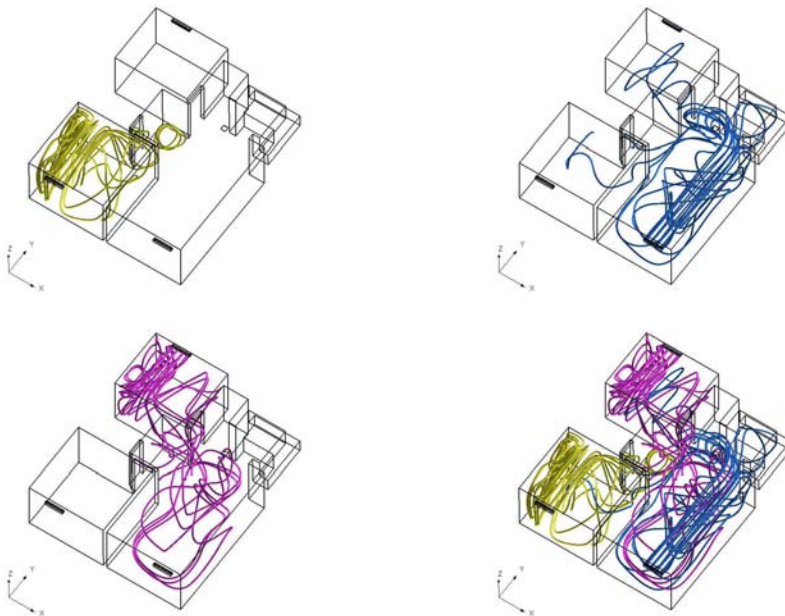


HB_BC : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

12) HB_BD (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 주방중앙)

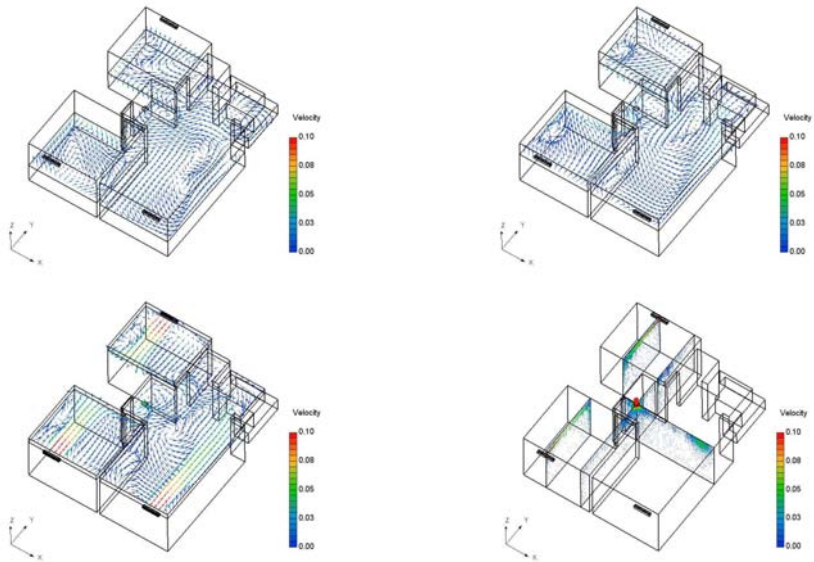


HB_BD : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

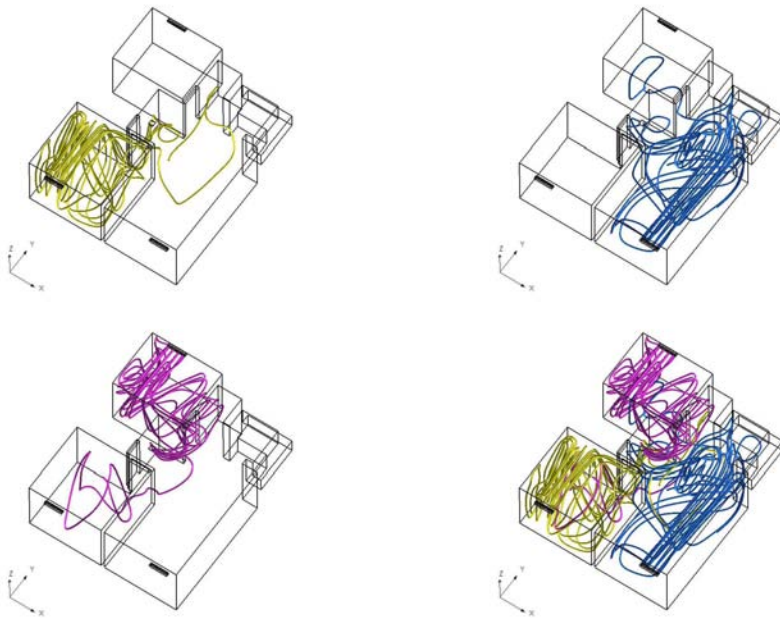


HB_BD : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

13) HB_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 욕실입구)

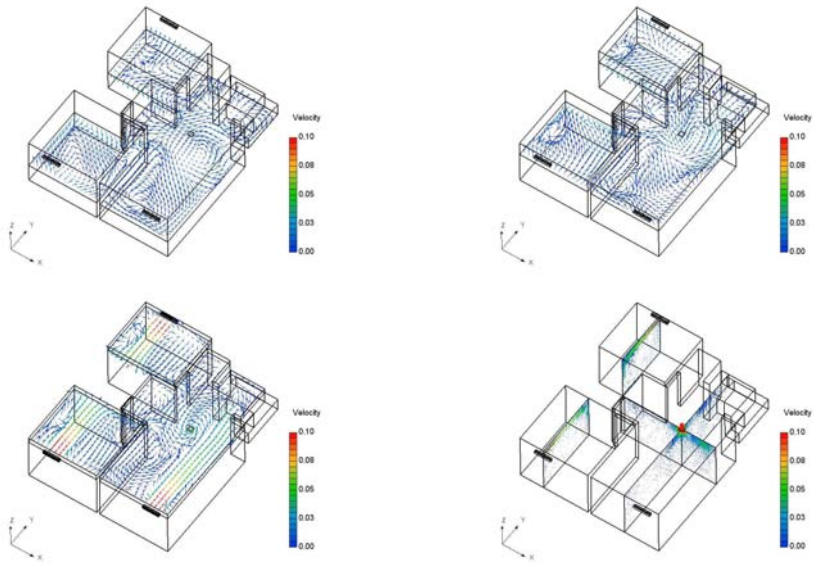


HB_BE : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

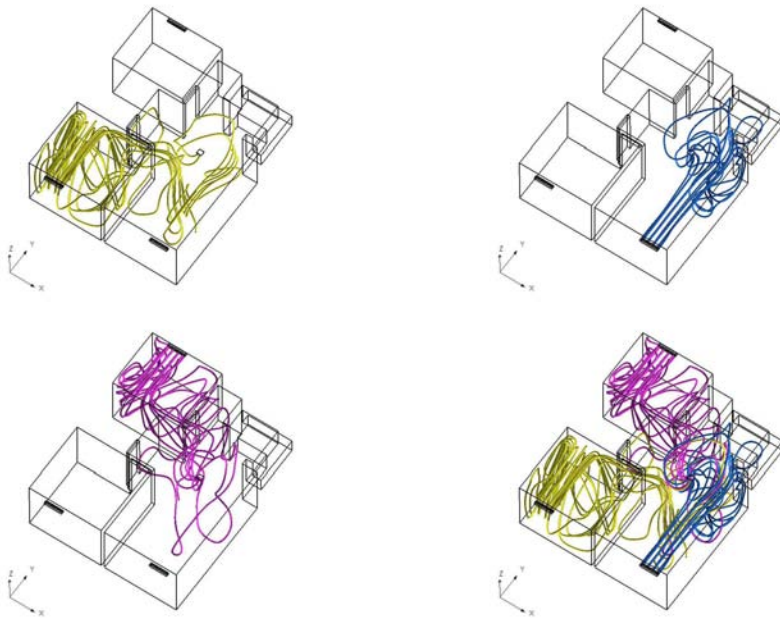


HB_BE : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

14) HB_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실주방사이)

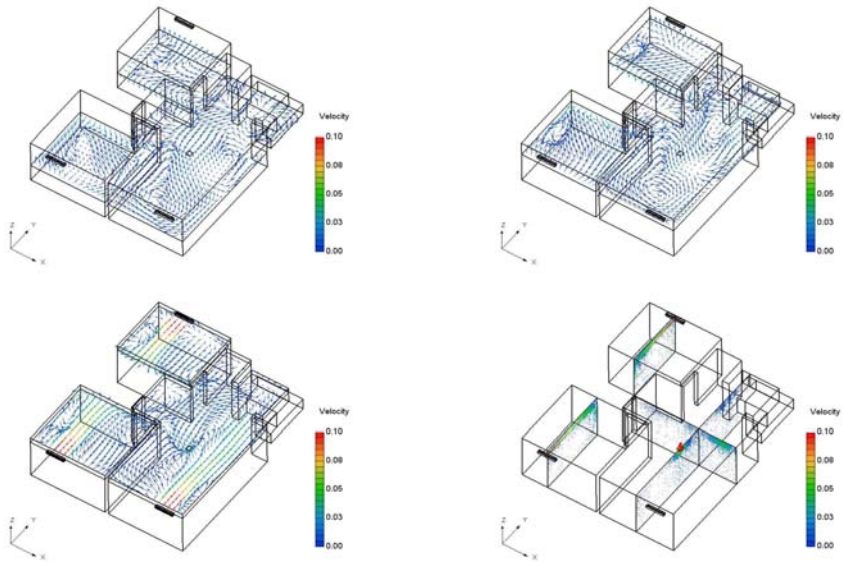


HB_BF : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

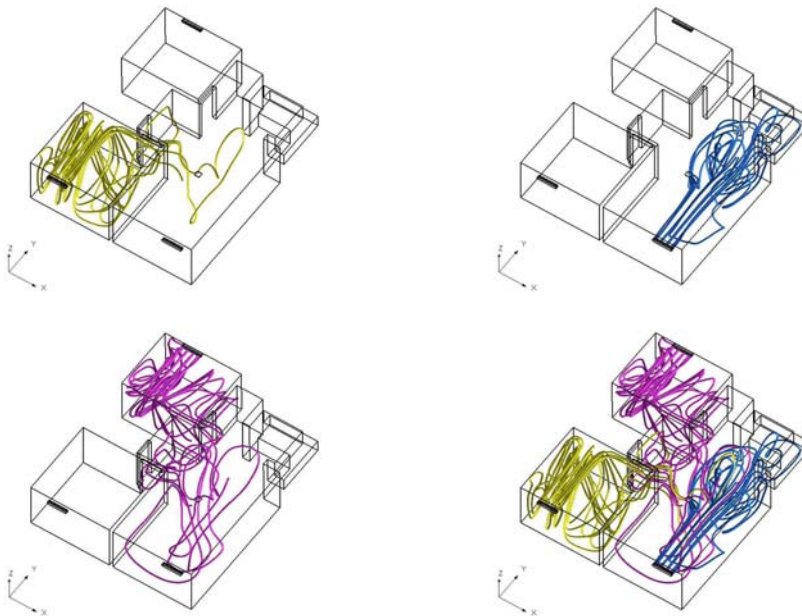


HB_BF : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

15) HB_BG (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 거실중앙)

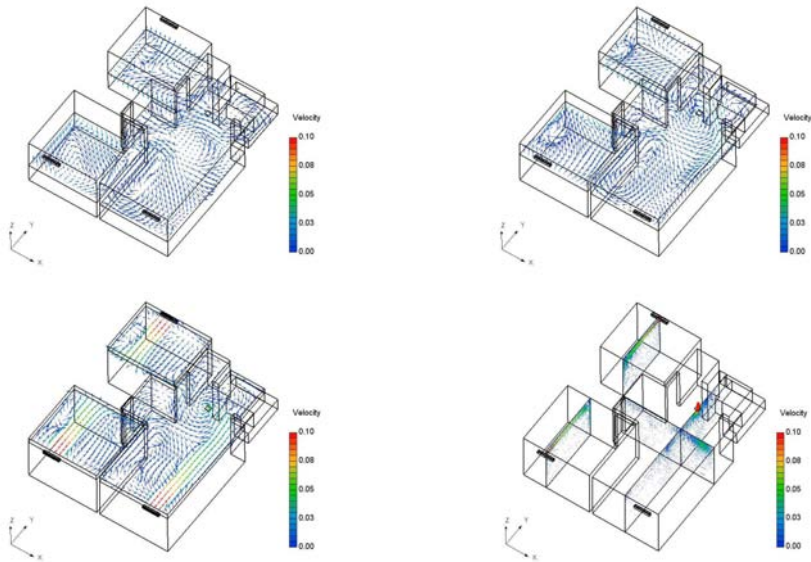


HB_BG : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

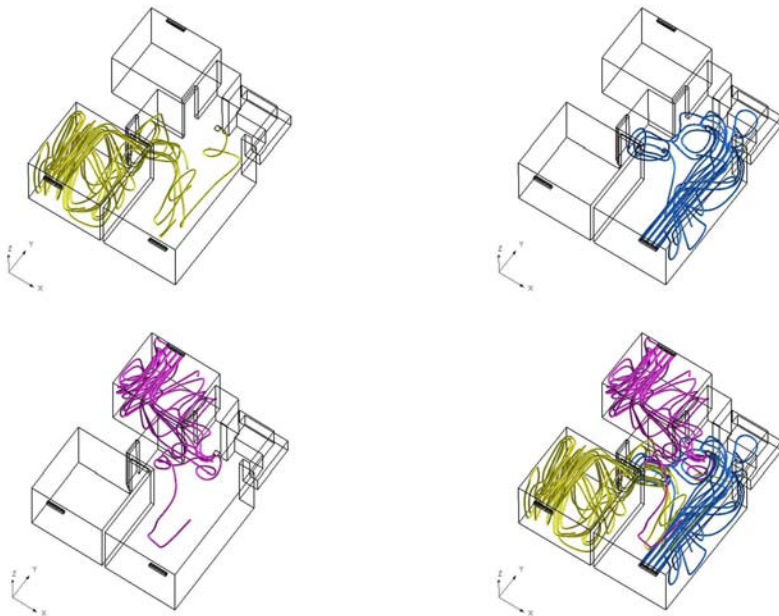


HB_BG : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

16) HB_BH (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 욕실(가동×) · 주방중앙)

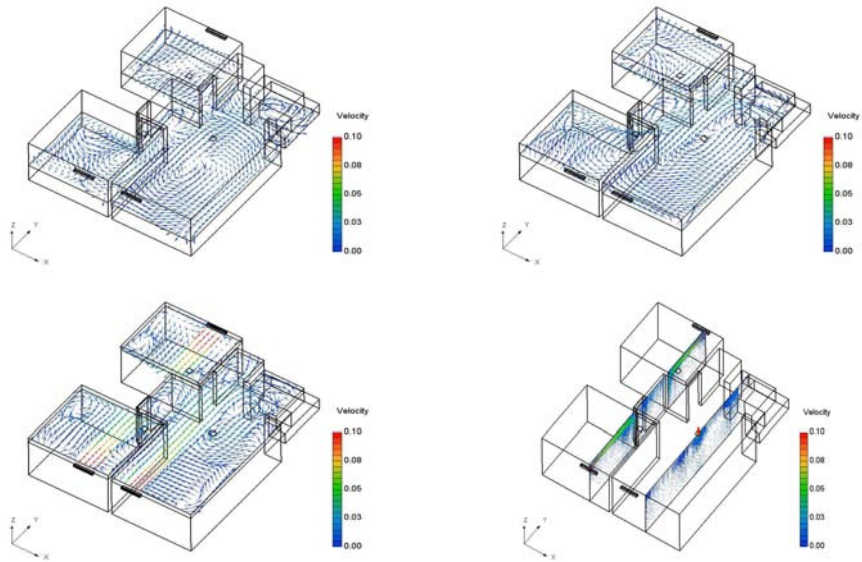


HB_BH : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

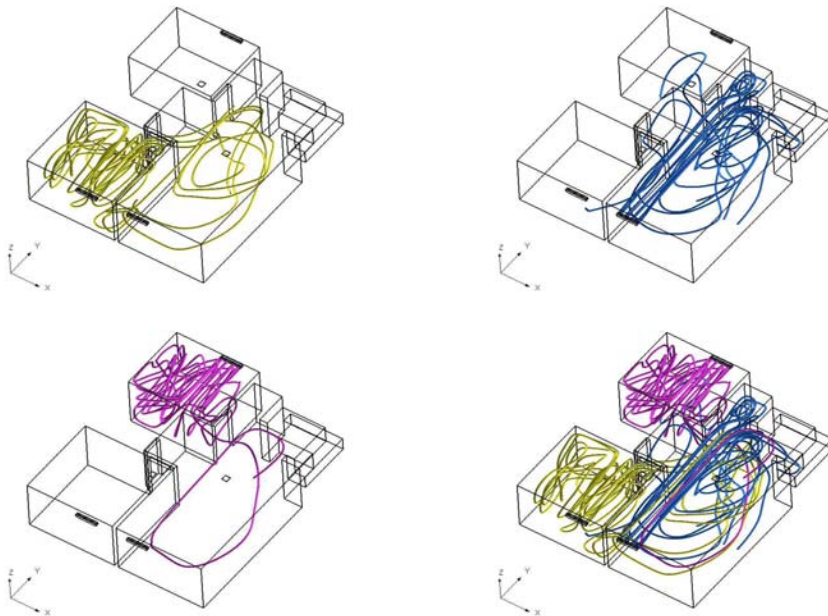


HB_BH : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

17) HD_CA (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)

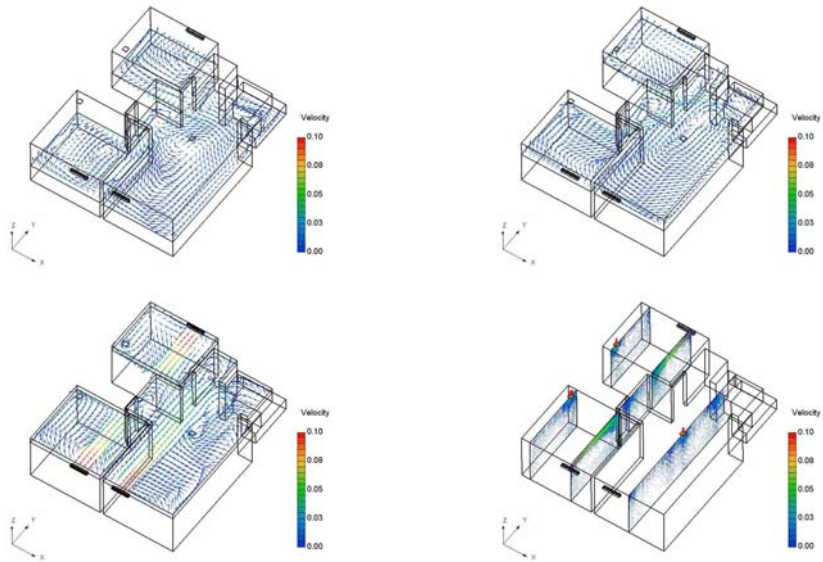


HD_CA : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

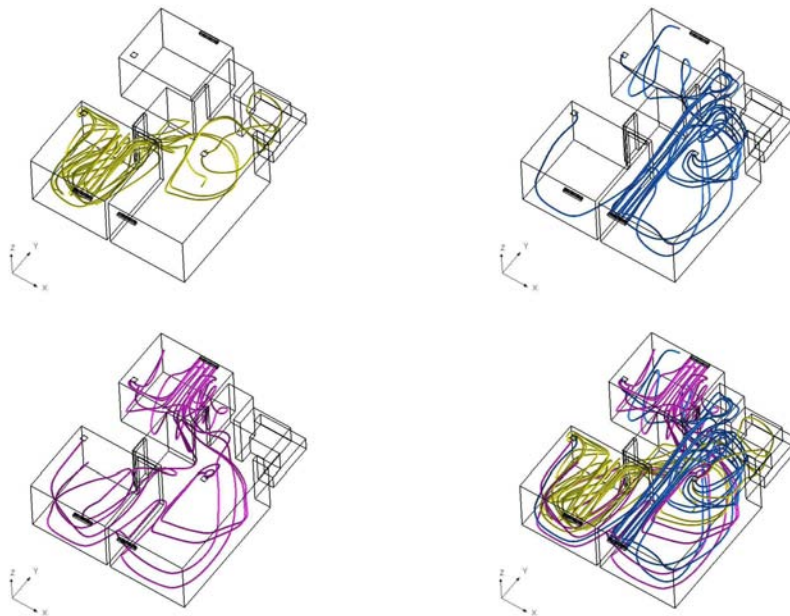


HD_CA : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

18) HD_CB (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별모서리 · 거실주방사이)

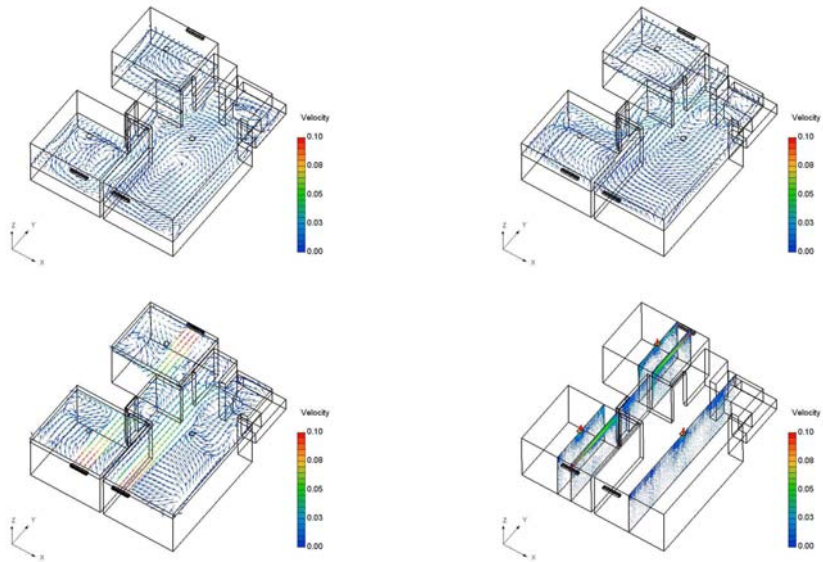


HD_CB : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

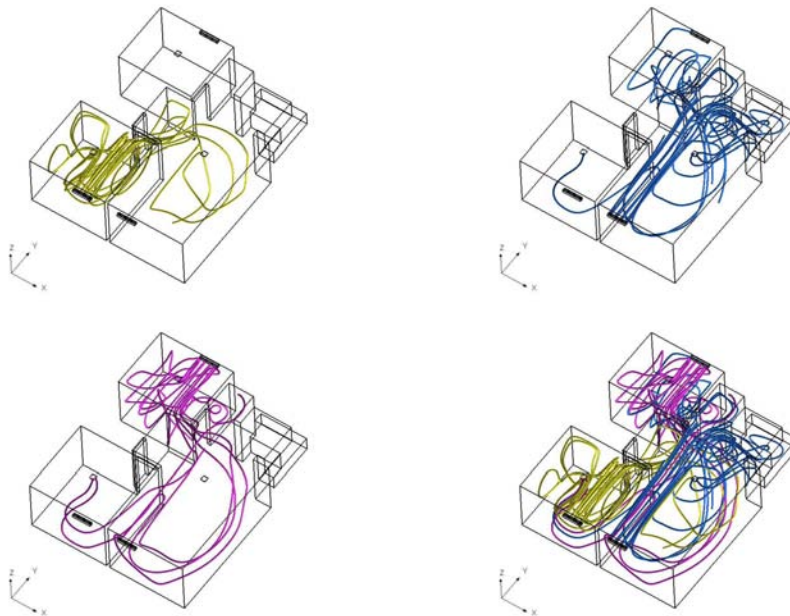


HD_CB : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

19) HD_CC (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)

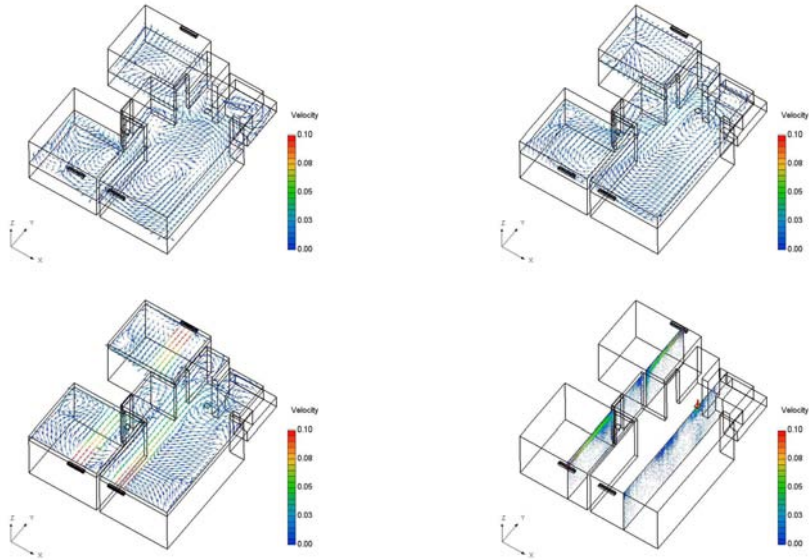


HD_CC : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

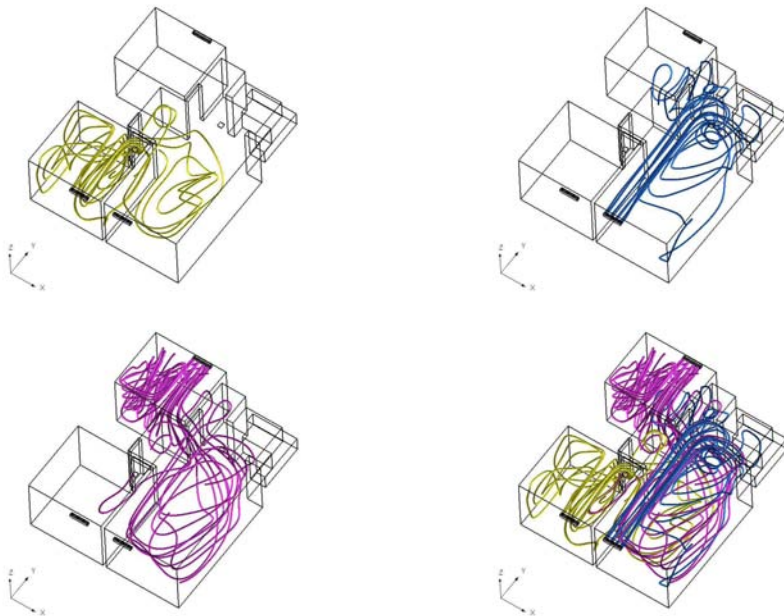


HD_CC : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

20) HD_CD (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1입구 · 주방중앙)

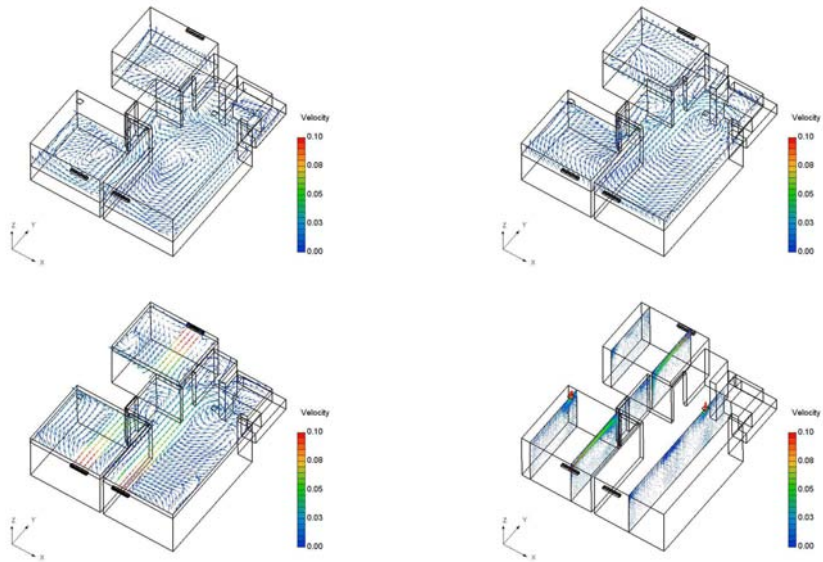


HD_CD : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

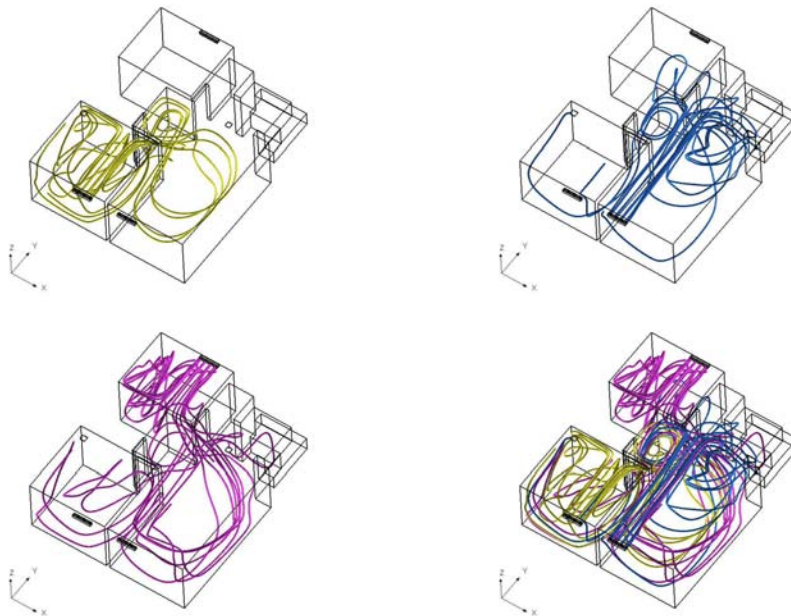


HD_CD : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

21) HD_CE (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)

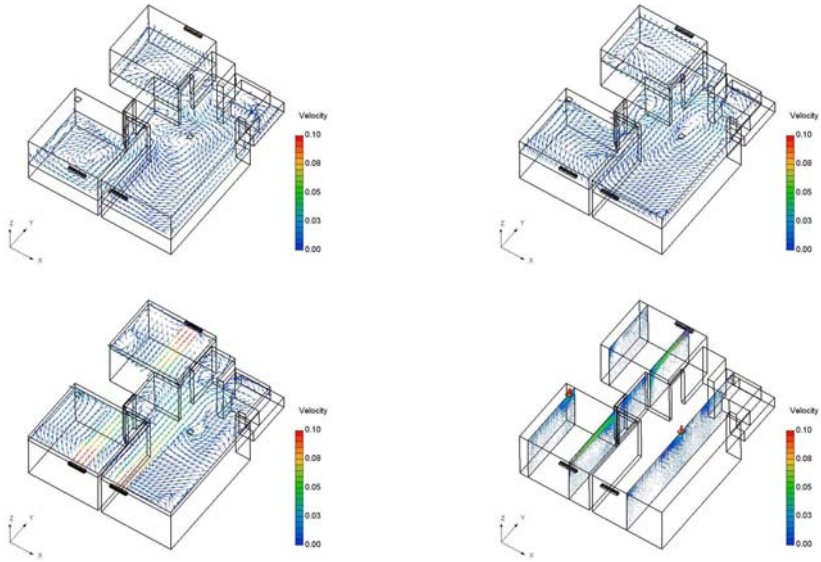


HD_CE : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

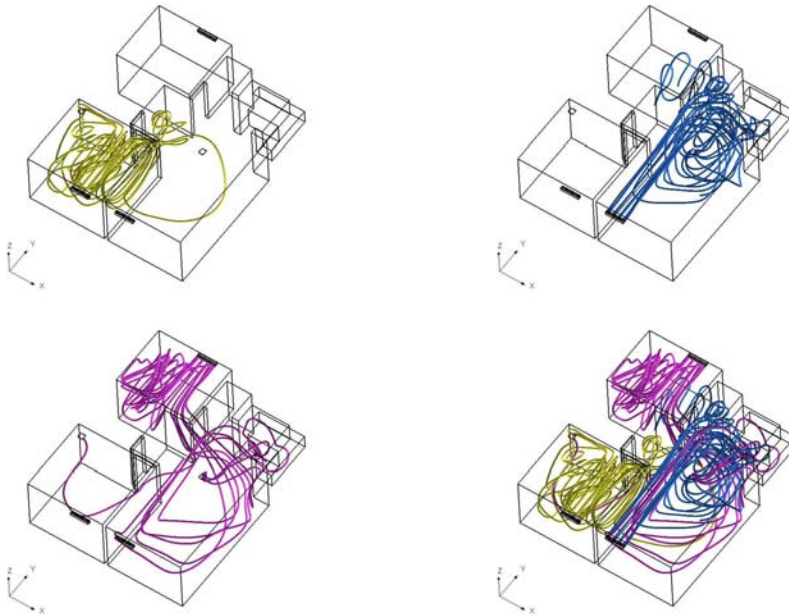


HD_CE : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

22) HD_CF (급기 : 세대중심쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)

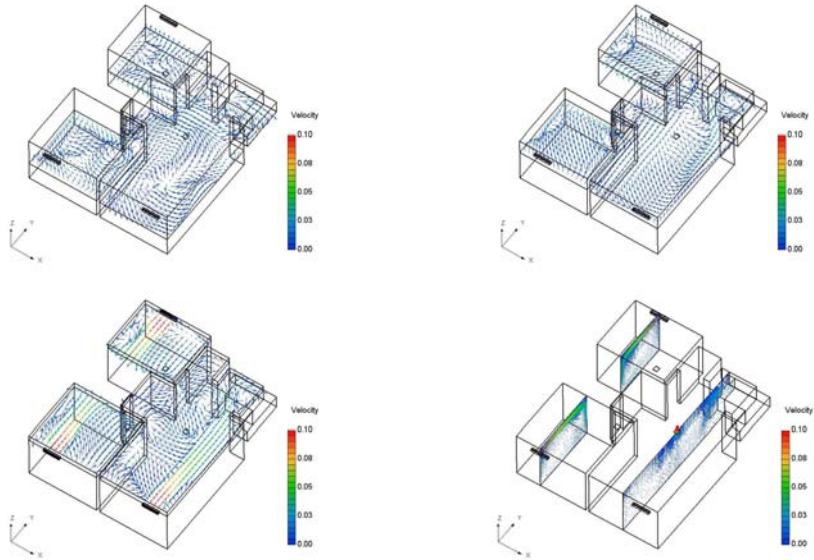


HD_CF : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

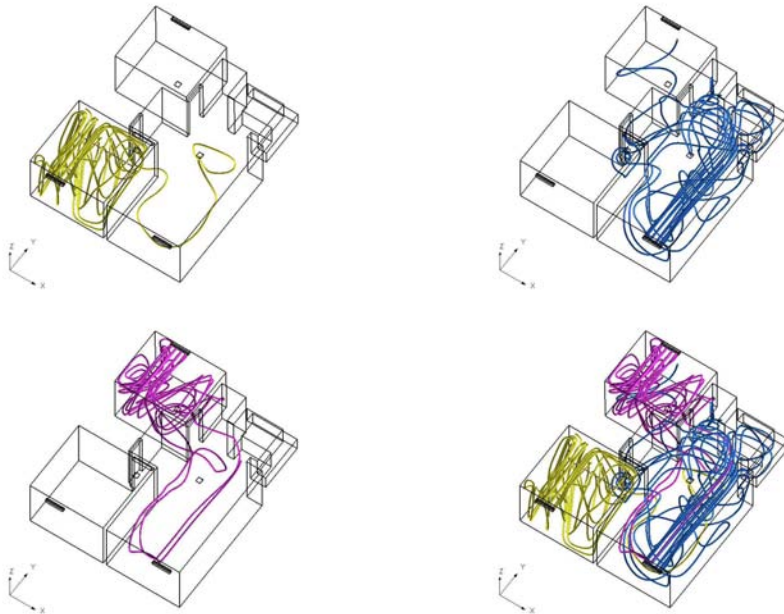


HD_CF : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

23) HD_BA (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별입구 · 거실주방사이)

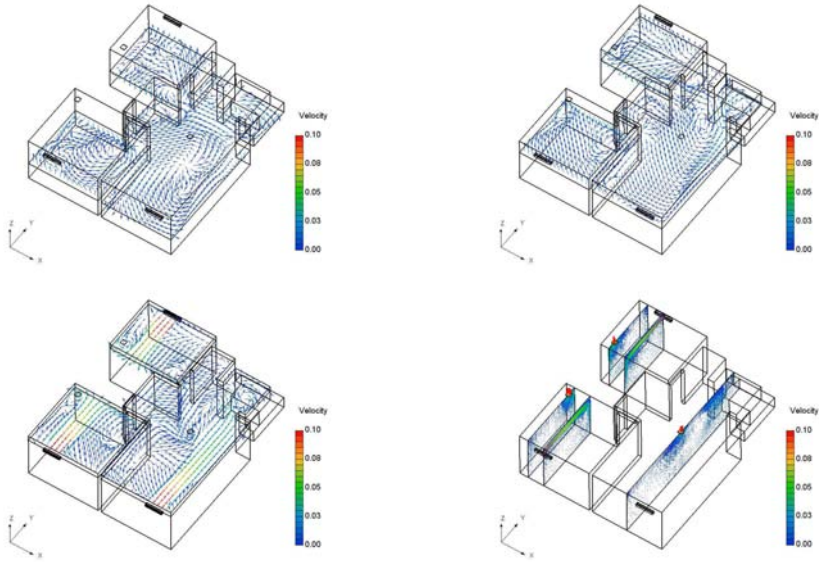


HD_BA : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

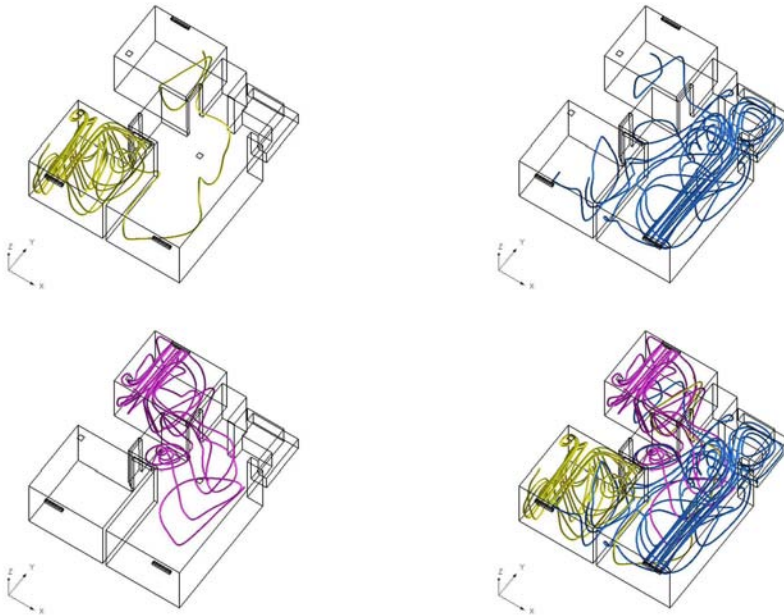


HD_BA : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

24) HD_BB (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별모서리 · 거실주방사이)

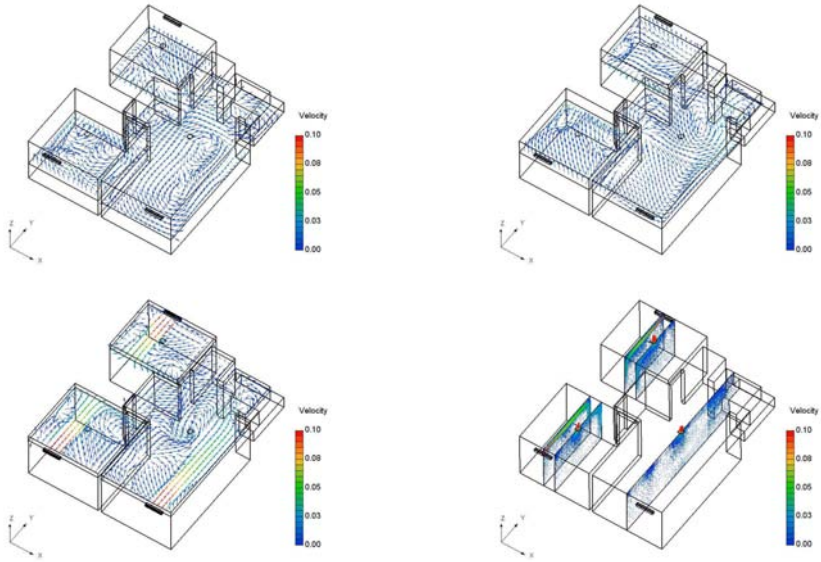


HD_BB : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

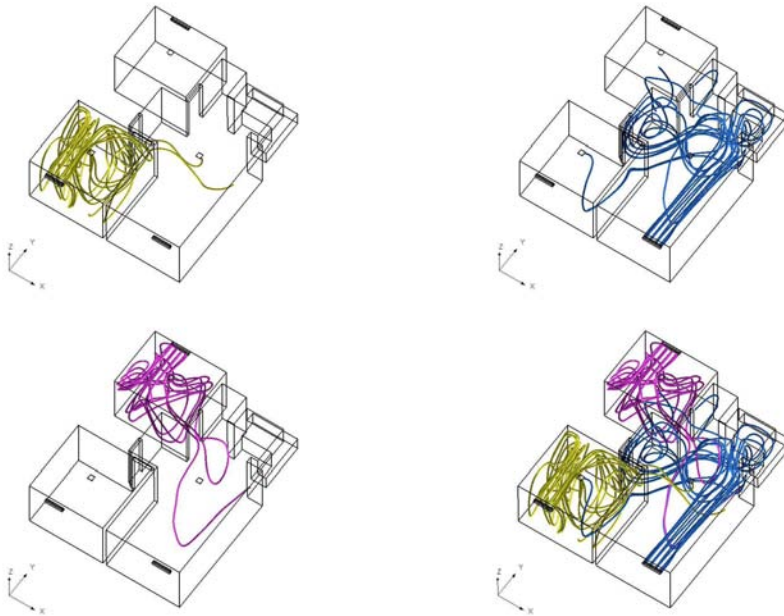


HD_BB : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

25) HD_BC (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 실별중앙 · 거실주방사이)

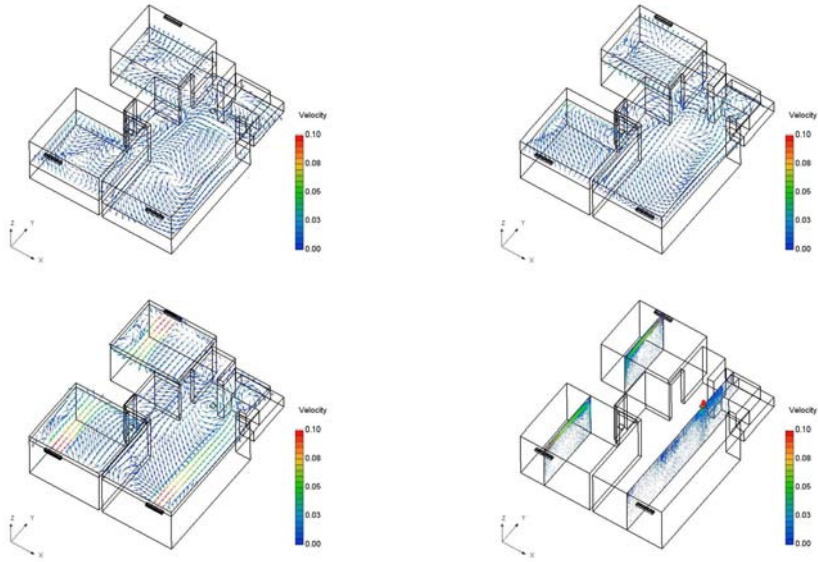


HD_BC : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

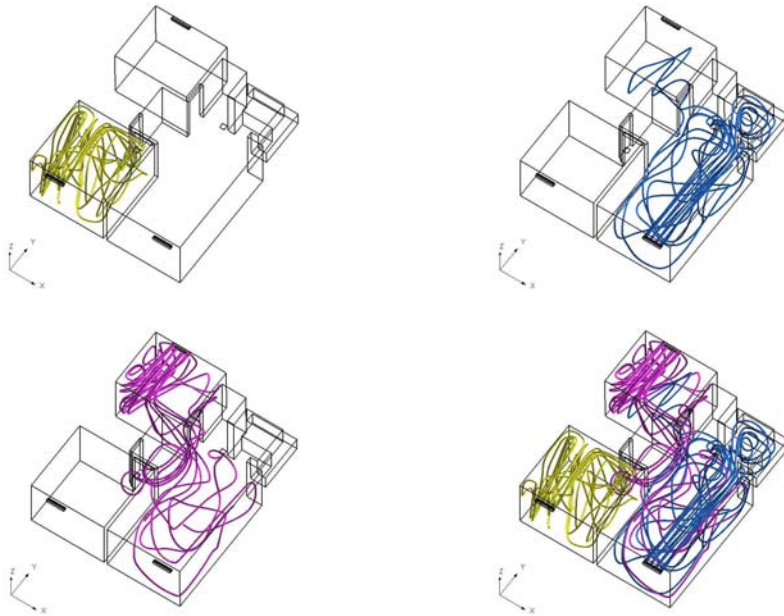


HD_BC : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

26) HD_BD (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1입구 · 주방중앙)

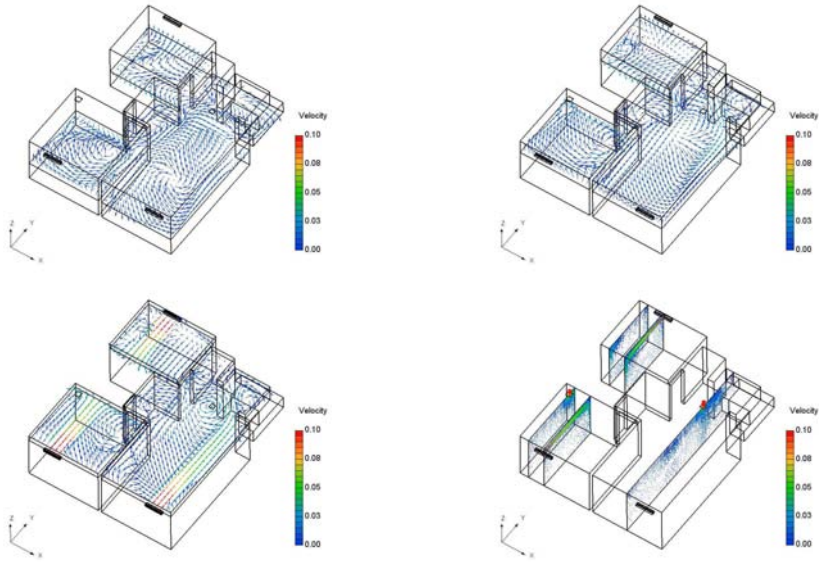


HD_BD : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

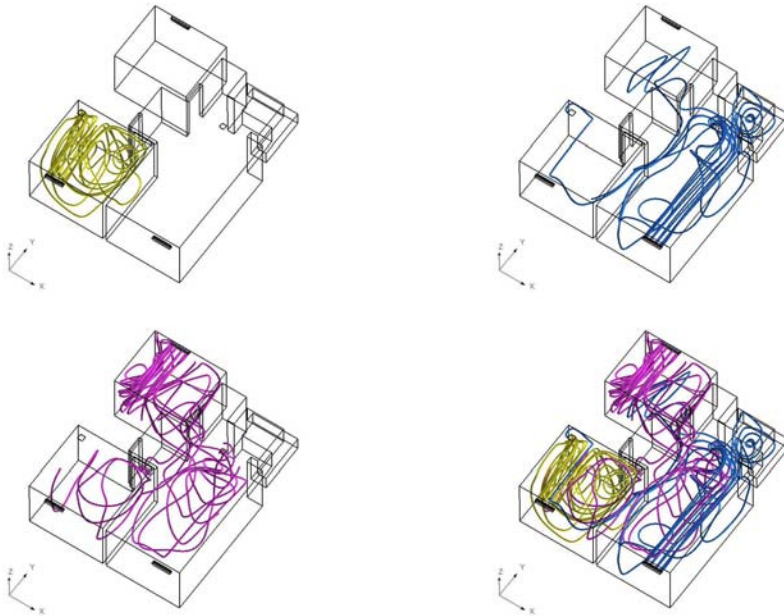


HD_BD : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

27) HD_BE (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 주방중앙)

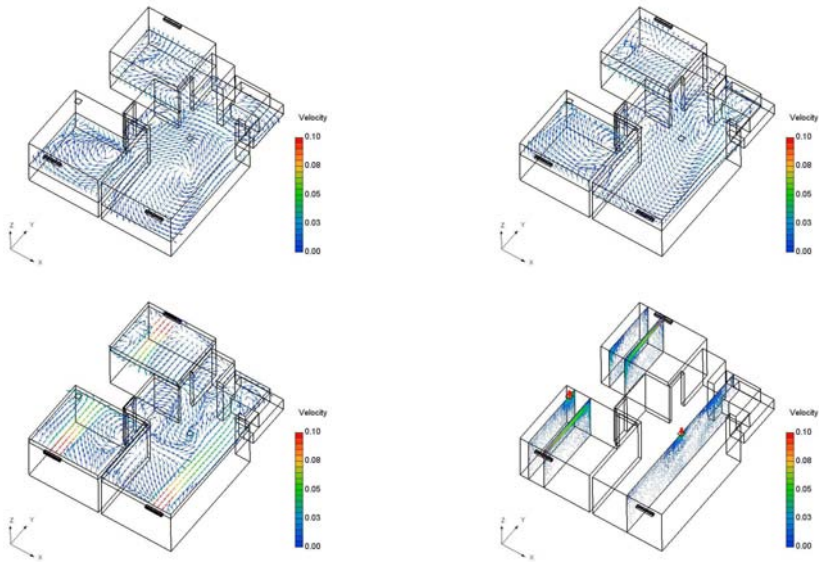


HD_BE : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)

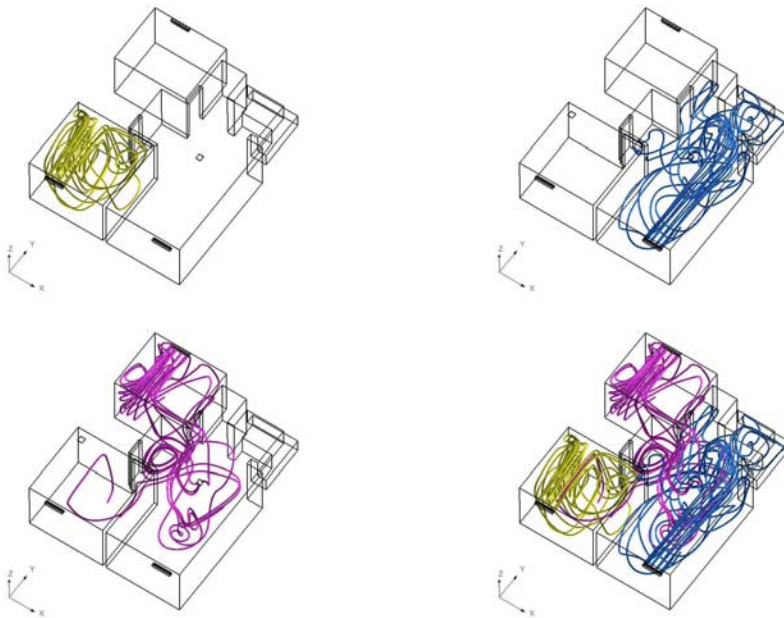


HD_BE : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

28) HD_BF (급기 : 세대경계쪽, 배기 : 침실1모서리 · 거실주방사이)



HD_BF : CFD 시뮬레이션 결과 (Velocity distribution)



HD_BF : CFD 시뮬레이션 결과 (Stream line)

국 문 초 록

하이브리드 환기시스템을 적용한 공동주택의 환기성능 향상방안에 관한 연구

전 주 영

건축학과 건축계획 및 환경진공

중앙대학교 대학원

지도교수 이 언 구

2004년 초부터 공동주택의 새집증후군이 사회적 문제가 되면서 실내공기질 관리법 개정, 실내공기질 권고기준 제정, 환기시스템 설치의 의무화 기준 제정 등의 규제가 빠르게 제도화되었다. 이와 같은 실내공기환경을 개선하기 위한 제도의 제·개정을 통한 의무화는 다른 선진외국에서도 유례를 찾기 어려운 것으로, 국내의 공동주택 실내공기질 개선을 위한 사회적 관심 및 정부 차원의 해결의 의지가 고무적인 것을 알 수 있다. 이에 따라, 중대형 공동주택 및 주상복합 등에 적용되고 있는 기계환기시스템의 환기성능 및 시스템 효율화 방안에 관한 연구는 다수 진행되었으나, 하이브리드 환기시스템의 환기성능에 대한 검증 연구는 아직 미흡한 실정이며, 공동주택에 적용하기 위한 환기설계방법에 대한 연구 또한 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 공동주택에서 하이브리드 환기시스템의 적용성을 검토하고 하이브리드 환기시스템의 성능을 향상하기 위한 설계방안을 제시하고자 하였다. 또한, 하이브리드 환기시스템 설계를 위한 방법론으로서 CFD 시뮬레이션 활용 방안을 제시하였다.

본 연구의 방법은 환기성능 검토를 위하여 현장실험 및 CFD 시뮬레이션 결과를 비교·평가하여 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보한 후, CFD 시뮬레이션을 통하여 환기성능 향상방안을 검토하였다.

현장실험 및 CFD 시뮬레이션 대상 공동주택은 하이브리드 환기시스템의 성능을 적극적으로 활용 할 수 있는 전용면적 51m²의 소형 공동주택을 선정

하여 평가를 실시하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 하이브리드 환기시스템의 현장 실험

전용면적 51m² 규모의 소형공동주택에 급기는 창틀설치형 자연환기장치, 배기는 욕실팬 연동형 욕실·거실환기장치와 각실 덕트배기 장치의 이중의 하이브리드 환기시스템에 대하여 법규에서 기준으로 제시하고 있는 0.7회/h의 환기량을 만족하는 시스템을 실제 시공하고 환기유형에 따른 환기성능 실험을 실시하였다.

실험결과, 욕실팬 연동형 욕실·거실배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템의 실 평균 공기연령은 1.42h, 실 평균 환기효율은 94%, 각실 덕트배기장치로 구성된 하이브리드 환기시스템의 실 평균 공기연령은 1.52h, 실 평균 환기효율은 81%로 나타나, 욕실팬 연동 욕실·거실배기장치가 평균 공기연령이 짧으며, 명목시간상수와 평균공기연령의 비로 정의되는 환기효율도 우수한 것으로 나타났다.

(2) 하이브리드 환기시스템의 환기성능 CFD 검증을 통한 신뢰도 확보

CFD 시뮬레이션 기법을 이용하여 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안을 제시하기 위하여 현장실험결과와 CFD 시뮬레이션 결과의 비교를 통하여 CFD 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하였다.

각 환기시스템에 대한 시뮬레이션 결과가 현장 실측치의 오차범위 안에서 도출되었으며, 각 실의 공기연령 순서가 시뮬레이션 결과와 실험결과가 모두 동일한 것으로 나타났다. 이로서 CFD 시뮬레이션 결과의 신뢰도가 확보되어, 하이브리드 환기시스템의 환기성능 평가 및 개선방안 도출을 위한 방법으로, 본 논문에서는 CFD 시뮬레이션 예측기법을 제시하였다.

(3) CFD 시뮬레이션을 이용한 하이브리드 환기시스템의 환기성능 향상 방안

하이브리드 환기시스템의 환기효율을 증대시킬 수 있는 환기계획 방안을 제시하기 위하여, 각 시스템별 급배기구의 위치 및 설치개수를 변수로하여

CFD 시뮬레이션을 통해 시스템별 최적의 환기계획안을 모색하였다.

창틀자연급기+욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템의 경우, 자연급기구의 위치가 세대중심쪽보다는 세대경계쪽에 위치했을 때, 욕실팬 연동 거실배기구의 위치가 거실중앙이나 거실과 주방사이에 위치했을 때 환기효율이 높게 나타났다. 욕실배기는 가동하지 않고, 거실배기구로 총풍량이 배기가 되도록 계획한 경우, 평균 환기효율은 높지만 세대내 기류정체 현상이 발생하였다.

창틀자연급기+덕트배기 하이브리드 환기시스템의 경우, 자연급기구의 위치가 세대경계쪽보다는 세대중심쪽에 위치했을 때, 급기구와 배기구의 거리가 멀어질수록 환기효율이 높게 나타났다. 또한, 덕트배기구를 각 실 모두에 배치하였을 때보다 동일한 풍량으로 두 개의 배기구로 나누어 배기하였을 때 환기효율이 높게 나타났다.

(4) 소형 공동주택의 하이브리드 환기시스템의 최적안

창틀자연급기+욕실·거실배기 하이브리드 환기시스템 설치시, 욕실과, 거실 중앙 부분에 배기구를 설치하고, 창틀자연급기구는 세대경계쪽에 설치하는 것이 기류정체현상 없이 환기효율이 우수한 것으로 나타났다.

거실 중앙에 배기구 한 곳만을 설치하고 창틀자연급기구를 세대경계쪽에 설치하는 경우 환기효율은 가장 우수하였다. 그러나, 실내의 공기연령 편차가 심하여 각 실 거주역 부분과 경계벽측 부근에서 기류 정체 현상이 나타나므로 공기연령 및 기류의 균일한 분포를 위해서는 창틀자연급기구를 세대중심쪽에 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 공동주택에서 하이브리드 환기시스템(창틀자연급기구+욕실팬 연동형 배기시스템) 적용시 환기성능 향상을 위한 환기계획 방안에 대하여 제시하였으며, 하이브리드 환기시스템의 최적화 계획을 위한 환기성능 평가방법으로서 현장실험을 통해 신뢰성이 확보된 CFD 시뮬레이션의 활용방법을 제시하였다.

본 연구결과는 소규모의 단일 평면유형을 대상으로 도출된 결과로서, 여러

가지 다양한 공동주택 유형에 적용하기에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구결과를 포괄적으로 확대적용하기 위해서는 다양한 변수가 고려된 실용화 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구는 향후 이와 같은 하이브리드 환기시스템 적용을 위한 성능 검증 및 개선 연구의 기초자료로서 유효하게 활용될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Improvement of Ventilation Performance in Apartment Housing by Hybrid Ventilation System

Chu Young Chun

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D.

As the Sick House Syndrome has become a major social issue since early 2004, the regulations such as the amendment of indoor air quality (IAQ) management law, the establishment of recommendation standard for IAQ, and the establishment of the requirement standard of installation of ventilation system quickly have been become institutionalized. The enactments and amendments for the improvement of indoor air environment are hard to find even in other developed countries, and it is encouraging that the public interest and the will to resolve the issue from government level for improving the IAQ of apartment housings are high. Although many studies have been conducted to improve the ventilation performance of mechanical ventilation systems that are applied to mid- to large-sized apartment housings and mixed-use apartments, the verification studies on ventilation performance of hybrid ventilation system are insufficient, and the studies on ventilation design method for applying to apartment housing are also needed.

Therefore, the purpose of this study is to evaluate the applicability of hybrid ventilation system in apartment housings, and present a design method to improve the performance of hybrid ventilation system. In addition, this study is to present a plan to use CFD simulation as a

design methodology for hybrid ventilation system.

As a research method, after confirming the reliability of the simulation result through the comparison and evaluation of the field experiment on the CFD simulation result, the improvement plan of ventilation performance was examined through CFD simulation. As the object of field experiment and CFD simulation, a small apartment house with area of 51m² that can actively utilize the performance of hybrid ventilation system was selected and evaluated. The major results of the study are as follow;

(1) Field Experiment of Hybrid Ventilation System

In a small apartment house with area of 51 m² in Samchuck region, a system that meets the requirement of ventilation of 0.7 cycle/h of the regulation for a different kind of hybrid ventilation system was actually constructed that included window mount type natural ventilation systems for supply air, bathroom fan interlock type bathroom and livingroom ventilation systems for exhausting air, and duct exhaust systems for each room. The experiment of ventilation performance was conducted according to the ventilation types.

The results of the experiment revealed that the average age of air for the hybrid ventilation system that consists of bathroom fan interlock type bathroom and livingroom exhaust systems was 1.42 hour with the average efficiency of room ventilation per room of 94%, while the average age of air for the hybrid ventilation system that consists of duct exhaust system was 1.52 hour with the average efficiency of room ventilation per room of 81%. The average age of air for the hybrid ventilation system that consists of bathroom fan interlock type bathroom and livingroom exhaust systems was short and the ventilation efficiency that is defined by the ratio of a nominal time constant and an average age of air was higher.

(2) Assurance of Reliability through CFD Verification for the Ventilation Performance of Hybrid Ventilation System

To present a plan for improving the ventilation performance of hybrid ventilation system using CFD simulation method, the reliability of the CFD simulation was confirmed through the comparison of the results of the field experiment and the results of CFD simulation.

The simulation results for the ventilation system in each room were satisfied with the error range of field survey value, and the simulation results and experiment results were revealed to be identical to the order of the age of air for each room. Based on the assured reliability of the CFD simulation results, this study presented the predictive method used CFD simulation as a method to evaluate the performance of hybrid ventilation system and to deduce an improvement plan.

(3) An Improvement Plan for Hybrid Ventilation System Utilizing CFD Simulation

To present a ventilation plan to increase the ventilation efficiency of hybrid ventilation system, an optimal ventilation plan for each system was deliberated through CFD simulation by considering the locations and the quantities of diffuser installed for each system as the variables.

In the case of window frame natural air supply & bathroom and livingroom exhaust hybrid ventilation system, the ventilation efficiency was high when the location of natural air supply was located on the boarder or the household rather than at the center of household, and when the location of the livingroom exhaust of bathroom ventilation fan interlock was located at the center of the livingroom or at in between the livingroom and the kitchen. In a design plan that allows the total amount of flow to exhaust through livingroom exhaust system without operating

the bathroom exhaust, the mean ventilation efficiency was high but the effect of stagnation of air current in household occurred.

In the case of window frame & duct exhaust hybrid ventilation system, the ventilation efficiency was high as the distance between air supply system and exhaust system became more distant when the location of natural air supply system was located at the center of the household rather than on the boarder of the household. In addition, the ventilation efficiency was high when the air was exhausted through two exhausts in similar amounts of flow rather than when the duct exhaust system was installed on every room.

(4) An Optimization Plan for Hybrid Ventilation System of Small Apartment House

In the installation of window frame natural air supply & bathroom and livingroom hybrid ventilation system, installing exhausts at the center of the bathroom and livingroom and installing window frame natural air supply on the boarder of household revealed to have excellent ventilation efficiencies without any effect of stagnation of air current.

In the case of installing only one exhaust at the center of the livingroom and installing window frame natural air supply on the boarder of the household revealed to have the most excellent ventilation efficiency. However, it was revealed that installing window frame natural air supply at the center of the household was the most ideal for the age of air and its current to have the same distribution, as the effect of stagnation of air current appeared around the dwelling space area of each room and the boarder wall areas since the deviation of the age of air inside was severe.

Through these results, a ventilation plan to improve the ventilation performance when applying hybrid ventilation system (window frame

natural air supply & bathroom fan interlock exhaust system) in apartment housings was presented, and a method of utilizing CFD simulation with its reliability confirmed through field experiment was presented as a method of evaluating the optimization plan for hybrid ventilation system.

There is a difficulty in applying to the results of this study to various types of apartment housings because of application to a small single plane type as the object of study. Therefore, to expansively apply the results of this study, a practical study that considers various variable should be conducted. It is expected that this study will be effectively used as basic information for the performance verification and improvement study for applying these hybrid ventilation systems in the future.

