

第 101 回 碩士學位論文

指導教授 李 彦 求

既存 共同住宅의 空氣環境 改善을 爲限
換氣시스템 適用 計劃에 關한 研究

A Study on the Ventilation System for the
Improvement of IAQ in Existing Apartment Houses

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

李 晋 炅

2004年 6月

既存 共同住宅의 空氣環境 改善을 爲限
換氣시스템 適用 計劃에 關한 研究

A Study on the Ventilation System for the
Improvement of IAQ in Existing Apartment Houses

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함.

2004年 6月

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 및 環境專攻

李 晋 炅

李晋炅의 碩士學位 論文으로 認定함.

審査委員長 _____ 印

審 查 委 員 _____ 印

審 查 委 員 _____ 印

中央大學校 大學院

建築學科 建築計劃 吳 環境專攻

李 晋 炅

2004年 6月

목 차

제 1장 서 론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 내용 및 방법	2
제 2 장 이론 고찰	5
2.1. 실내공기오염물질 및 실내공기환경 관련 기준	5
2.1.1. 공동주택의 실내공기 오염물질 및 인체에 미치는 영향	5
2.1.2. 국내외 실내공기환경 기준	15
2.2. 환기 및 환기 관련 기준	18
2.2.1. 환기효율	18
2.2.2. 국내외 환기관련 기준	22
2.3 실내 기류의 해석	
2.3.1. 실내공기유동 형태	24
2.3.2. 유동장의 지배 방정식	26
2.3.3. 난류유동	29
2.4. 국내외 공동주택의 환기시스템 도입 현황 및 문제점	31
2.4.1. 국내 공동주택의 환기시스템 현황	31
2.4.2. 국외 공동주택의 환기시스템 현황	33
2.4.3. 공동주택에 적용된 환기시스템의 특징 및 문제점	38

제 3 장 CFD 해석 개요	39
3.1. 시뮬레이션 도구	39
3.2. 시뮬레이션 대상 모델 및 경계조건	40
3.2.1. 대상 모델	40
3.2.2. 경계조건	45
3.3. 대상 환기시스템의 개념	46
3.4. 시뮬레이션 변수	47
 제 4 장 CFD 해석 결과	 50
4.1. case 1 (급·배기구의 형상 : round diffuser)	50
4.2. case 2 (급기구의 형상=slot형 diffuser, 배기구의 형상=round diffuser) ...	94
 제 5 장 결론	 114
 참고문헌	 116
 국문초록	 119
 ABSTRACT	 122

표 목 차

<표 2.1> WHO와 EU에서 정한 실내공기오염의 주요 오염물질과 발생원	6
<표 2.2> 건축자재에서 발생하는 주요 실내오염물질	6
<표 2.3> 일산화탄소(CO)의 인체영향	7
<표 2.4> 이산화탄소(CO ₂)의 허용농도와 유해농도	8
<표 2.5> 질소산화물(NO _x)이 인체에 미치는 영향	8
<표 2.6> 먼지가 인체에 미치는 영향	9
<표 2.7> 아황산가스(SO ₂)의 인체영향	10
<표 2.8> 건축재료로부터의 라돈 방사율	11
<표 2.9> 포름알데히드(HCHO)의 인체 위해성	12
<표 2.10> 바닥, 벽체 재료 등으로부터의 포름알데히드 방사율	12
<표 2.11> 국외의 포름알데히드 기준	12
<표 2.12> 건축재료 및 제품에서 방출되는 VOCs	13
<표 2.13> 건축재료로부터의 VOCs 방사율	14
<표 2.14> 국내의 실내공기환경(IAQ) 기준	16
<표 2.15> 주요 국가별 실내공기환경(IAQ) 기준	17
<표 2.16> 환기방식에 따른 호흡역의 환기효율 예	22
<표 2.17> 실내 오염물질 제거를 위한 최소 환기량(AIVC)	23
<표 2.18> 주요국가의 주거용 건물에 대한 최소 환기량 기준	24
<표 2.19> CO 가스의 물성치표	28
<표 2.22> CFD 해석 기본지배방정식 및 난류모델	30
<표 2.23> 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템	35
<표 2.24> 미쓰비시사의 지역별 추천환기시스템 체계	36
<표 2.25> 천장 덕트형 환기시스템 적용시 문제점	38
<표 3.1> 30평형대 공동주택의 평면유형별 구성공간의 크기	41
<표 3.2> 국외의 포름알데히드 및 VOCs 기준	43
<표 3.3> 작업정도별 CO ₂ 발생량	44
<표 3.4> AIRPAK 2.1 계산을 위한 주요입력 변수 값	45
<표 3.5> 해석 변수	47
<표 3.6> 급배기구의 형상 크기 및 100CMH 일 때 토출풍속	48

<표 4.1> 급기구의 위치가 supply-1일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	54
<표 4.2> 급기구의 위치가 supply-1일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	55
<표 4.3> 급기구의 위치가 supply-2일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	59
<표 4.4> 급기구의 위치가 supply-2일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	61
<표 4.5> 급기구의 위치가 supply 3일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	65
<표 4.6> 급기구의 위치가 supply 3일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	67
<표 4.7> 급기구의 위치가 supply-4일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	71
<표 4.8> 급기구의 위치가 supply-4일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	73
<표 4.9> 급기구의 위치가 supply-5일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	78
<표 4.10> 급기구의 위치가 supply 5일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	80
<표 4.11> 급기구의 위치가 supply-6일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	85
<표 4.12> 급기구의 위치가 supply 6일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	87
<표 4.13> 급기구의 위치가 supply-7일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	90
<표 4.14> 급기구의 위치가 supply 7일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	91
<표 4.15> 급기구의 위치가 supply-1일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	98
<표 4.16> 급기구의 위치가 supply-1일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	99
<표 4.17> 급기구의 위치가 supply-2일 때	

배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	101
<표 4.18> 급기구의 위치가 supply-2일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	103
<표 4.19> 급기구의 위치가 supply-3일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	106
<표 4.20> 급기구의 위치가 supply-3일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	108
<표 4.21> 급기구의 위치가 supply-4일 때	
배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율	111
<표 4.22> 급기구의 위치가 supply-4일 때	
배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	113

그 림 목 차

(그림 1.1) 연구의 흐름도	4
(그림 2.1) 공기 연령 및 잔여체류시간의 개념	19
(그림 2.2) 실내유동형태의 분류	25
(그림 2.3) 국내 공동주택 환기시스템의 기본계통	32
(그림 2.4) 일본 가자마 건설의 24시간 환기시스템 기본 계통	34
(그림 3.1) Airpak의 Basic Program Structure	39
(그림 3.2) 30평형대 2-bay 공동주택의 평면유형	40
(그림 3.3) 30평형대 3-bay 공동주택의 평면유형	41
(그림 3.4) 해석공간의 크기, 오염원 및 공기연령 산정 위치	42
(그림 3.5) 환기시스템의 구성도 및 개략적인 형태	46
(그림 3.7) case1의 경우 급·배기구 배치개요도	48
(그림 3.8) case 2의 경우 급기구의 배치개요도	49
(그림 4.1) 급기구의 위치가 supply 1일 때 급·배기구 배치도	51
(그림 4.2) 급기구의 위치가 supply-1일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	52
(그림 4.3) 급기구의 위치가 supply-1일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	53
(그림 4.4) supply-1 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	54
(그림 4.5) supply-1 / return-6일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	55
(그림 4.6) 급기구의 위치가 supply 2일 때 급·배기구 배치도	56
(그림 4.7) 급기구의 위치가 supply-2일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	57
(그림 4.8) 급기구의 위치가 supply-2 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	58
(그림 4.9) supply-2 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	60
(그림 4.10) supply-2 / return-5일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	61
(그림 4.11) 급기구의 위치가 supply-3일 때 급·배기구 배치도	62
(그림 4.12) 급기구의 위치가 supply-3일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	63

(그림 4.13) 급기구의 위치가 supply-3 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	64
(그림 4.14) supply-3 / return-2일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	66
(그림 4.15) supply-3 / return-6일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	67
(그림 4.16) 급기구의 위치가 supply-4일 때 급·배기구 배치도	68
(그림 4.17) 급기구의 위치가 supply-4일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	69
(그림 4.18) 급기구의 위치가 supply-4 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	70
(그림 4.19) supply-4 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	72
(그림 4.20) supply-4 / return-3일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	73
(그림 4.21) supply-4 / return-6일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	74
(그림 4.22) 급기구의 위치가 supply-5일 때 급·배기구 배치도	75
(그림 4.23) 급기구의 위치가 supply-5일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	76
(그림 4.24) 급기구의 위치가 supply-5 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	77
(그림 4.25) supply-5 / return-2일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	79
(그림 4.26) supply-5 / return-4일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	80
(그림 4.27) supply-5 / return-6일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	81
(그림 4.28) 급기구의 위치가 supply-5일 때 급·배기구 배치도	82
(그림 4.29) 급기구의 위치가 supply-6일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	83
(그림 4.30) 급기구의 위치가 supply-6 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	84
(그림 4.31) supply-6 / return-3일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	86
(그림 4.32) 급기구의 위치가 supply-7일 때 급·배기구 배치도	87
(그림 4.33) 급기구의 위치가 supply-7일 때, 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	88
(그림 4.34) 급기구의 위치가 supply-7 일 때, 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	89
(그림 4.35) supply-7 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	90
(그림 4.36) supply-7 / return-3일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	91

(그림 4.37) supply-7 / return-6일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	92
(그림 4.38) 급기구의 위치가 supply-1일 때 급·배기구 배치도	94
(그림 4.39) 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	95
(그림 4.40) 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	96
(그림 4.41) supply-1 / return-3일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	97
(그림 4.42) 급기구의 위치가 supply-2일 때 급·배기구 배치도	98
(그림 4.43) 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	99
(그림 4.44) 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	100
(그림 4.45) supply-2 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	101
(그림 4.46) supply-2 / return-5일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	102
(그림 4.47) 급기구의 위치가 supply-3일 때 급·배기구 배치도	103
(그림 4.48) 급기구의 위치가 supply-3일 때 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	104
(그림 4.49) 급기구의 위치가 supply-3일 때 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	105
(그림 4.50) supply-3/return-2일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	106
(그림 4.51) supply-3/return-5일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	107
(그림 4.52) 급기구의 위치가 supply-4일 때 급·배기구 배치도	108
(그림 4.53) 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율	109
(그림 4.54) 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구의 위치별 국소 CO ₂ 농도 및 실평균 CO ₂ 농도	110
(그림 4.55) supply-4 / return-1일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	111
(그림 4.56) supply-4 / return-3일 때 높이별 CO ₂ 농도분포 및 실내 기류	112

제 1장 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

실내 활동이 증가함에 따라 현대인은 하루평균 80%이상의 시간을 실내에서 보내고 있다. 최근 에너지 절약과 시공성능의 향상으로 건축물이 고기밀화·고단열화 됨에 따라 자연환기가 어려워지게 되었다. 자연히 신선외기 도입량이 감소되어 재실자 및 건축자재, 조시기 발생하는 오염물질이 적절하게 배출되지 못하여 실내공기질(IAQ : Indoor Air Quality)이 저하되는 경향을 보이고 있다. 산업혁명이후 화공산업의 발달로 세제, 건축재료, 가구 등에 화학물질이 다량 사용됨에 따라 거주자는 예기치 않았던 화학물질에 노출되고 있는 상황이다. 화학물질의 사용으로 거주환경이 개선되는 만큼 더 많은 화학물질에 노출된다고 해도 과언이 아닐 것이다. 반면에 삶의 질이 향상됨에 따라 거주자의 실내 거주환경에 대한 관심이 증가하게 되었고 보다 쾌적하고 안전한 양질의 거주 환경을 요구하게 되었다. 최근 시공되고 있는 일부 초고층 공동주택을 중심으로 환기시스템이 적용되고 있으나, 기존 공동주택에는 욕실의 배기팬, 주방의 후드만이 설치된 상태로 실내공기환경을 고려한 적절한 환기계획이 거의 이루어지지 않고 있는 상황이다.

기존 공동주택의 경우 재실자의 창호 개방을 통한 자연환기에 의존해왔으나, 자연환기를 실시함에 있어 다음과 같은 문제점들이 나타나고 있다.

겨울철에는 급격한 실내외 온도차로 인하여 창문을 개방하여 자연환기를 실시할 경우 난방에너지의 손실과 재실자의 불쾌도가 증가하게 되어 겨울철에 자연환기를 도입하는데 있어 많은 문제점들이 지적되어 왔다. 여름철에 냉방기기를 가동할 때, 실내의 쾌적 온도를 유지하기 위하여 자연환기를 실시하는 경우가 드물고, 자연환기를 실시하게 되면 난방에너지의 손실이 발생하게 되어 실내공기환경과 에너지는 서로 양면성을 띄고 있다. 봄·가을철 자연환기가 가능하지만 봄철에는 중국대륙으로부터 불어오는 황사로 인하여 환기를 실시하기 어렵고, 대도시의 경우 심각한 대기오염과 소음 등으로 인하여 적절한 자연환기가 이루어지기 힘든 실정이다.

근래에 보급되는 일부 고급형 공동주택에서는 거주자에게 쾌적한 실내 환경을 제공하기 위하여 천장형 환기시스템 방식을 적용하고 있다. 그러나 이러한 방식은 덕트를 설치할 수 있는 200mm이상의 천장 내부 공간을 필요로 하기 때문에 2600mm 내외를 기준으로 하고 있는 기존의 공동주택에는 적용하기 어려운 단점이 있다¹⁾.

현재 일부 업체에서는 천장형 환기시스템의 시공성과 천장고 확보 등의 어려움을 극복하기위해서 벽면 설치형 환기시스템을 개발하여 시판하고 있는 상태이다. 하지만 국내 대부분의 공동주택은 벽식 구조로 시공되고 있어 벽면 설치형 환기 시스템을 도입함에 있어서 많은 어려움이 있다. 또한, 발코니 공간을 유리창으로 밀폐시킴에 따라 외기 도입측면에서 문제점을 지니고 있다.

그러나 기존 공동주택의 경우 상하층간 연계로 인하여 천장형 환기시스템 도입이 현실적으로 불가능하므로 벽면 설치형 환기시스템을 응용하여 적용하는 것이 보다 현실적이라 할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 기존 공동주택에 실질적으로 적용이 가능한 벽면 설치형 환기시스템을 대상으로 기존 공동주택의 공기환경 개선을 위한 효율적인 환기시스템 적용방안을 제시하고자 한다.

1.1. 연구의 내용 및 방법

30층 내외의 기존 중·고층 공동주택에도 양호한 실내공기환경을 제공하기 위하여 실제적인 기계 환기시스템 적용에 대한 고려가 이루어져야할 것으로 보여 지는바, 본 연구에서는 효율적인 환기시스템 적용방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 CFD를 이용하여 환기시스템의 환기효율 및 환기시스템

1) 홍천화 외, 공동주택의 환기최적화 방안에 관한 연구, 대림기술정보, 2003 봄호, 대림산업주식회사, pp.62-75.

적용시 CO₂농도, 실내기류분포특성을 분석하도록 한다.

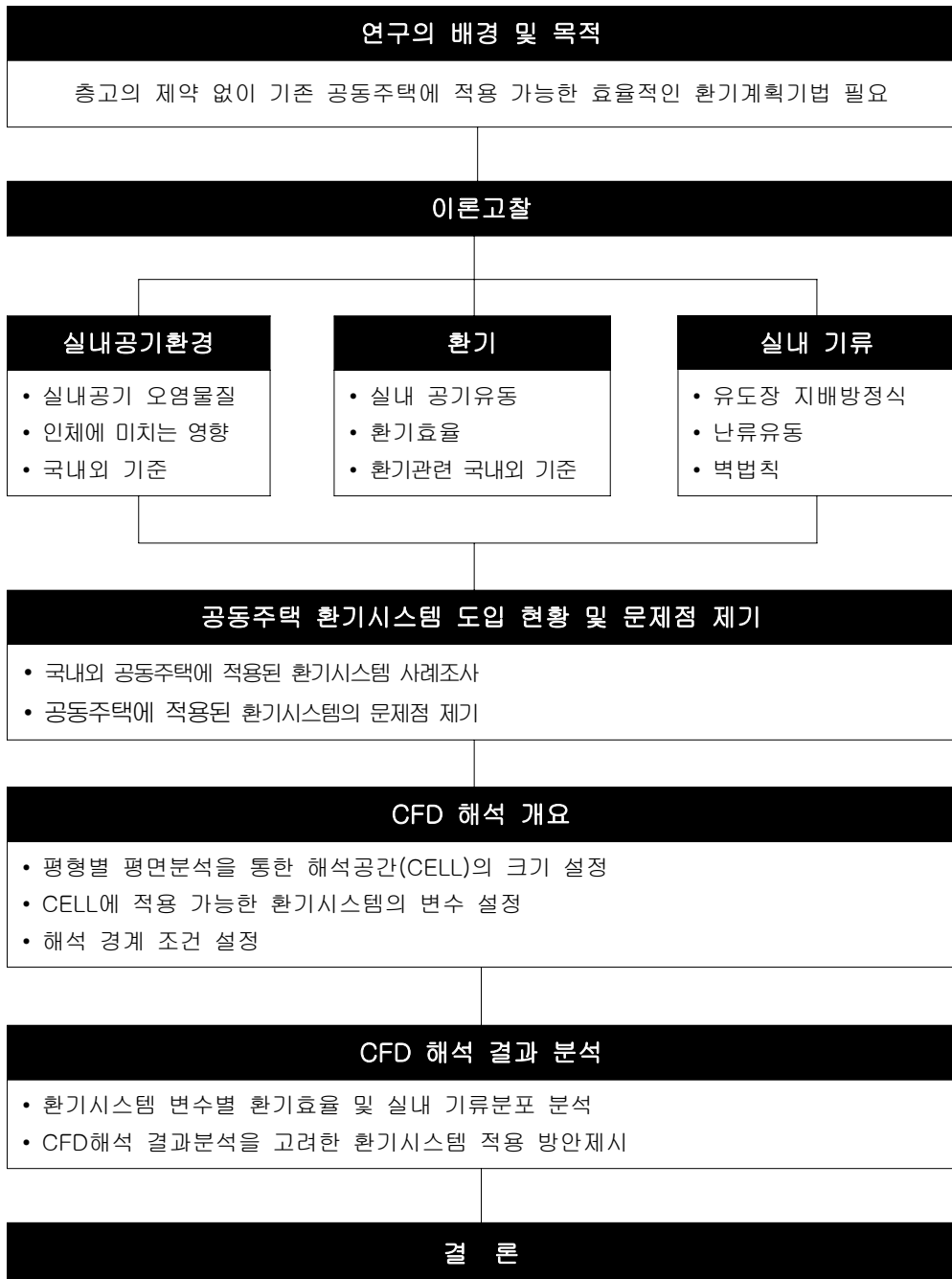
본 연구의 내용 및 방법은 다음과 같다.

- 1) 환기시스템의 현황 및 문제점 제기
- 2) 실내 공기환경 및 환기, 실내기류에 관한 이론고찰
- 3) CFD를 이용한 공동주택 환기시스템의 환기효율 및 실내 기류분포해석
- 4) 기존 공동주택의 실내공기환경 개선을 위한 효율적인 환기시스템 적용방안 제시

일반적으로 공동주택의 경우 4~5인의 거주 인원이 한시적으로 거실에 재실하게 된다. 이 경우 인체의 호흡으로 인한 실내공기질의 악화가 예상되어지므로 거실에서의 인체 호흡에 대한 상시 환기 장치가 적용 되어야할 것으로 판단되어진다.

따라서 본 연구에서는 4인의 가족을 대상으로 거실 체류시 환기시스템의 적용에 따른 실내 기류분포와 환기효율을 산정하여 적정 환기시스템 적용방안을 제시하고자한다. 인체의 호흡에 의한 오염물질 제거를 기본 목적으로 하므로 주방에서 발생하는 오염물질은 주방의 배기후드에서 제거함을 전제로 하고 건축물의 구조재와 마감재로부터 발생하는 라돈, 포름알데히드, 휘발성유기화합물 등은 시간의 경과에 따라 그 발생량이 감소하게 되므로 상시 환기시스템의 적용 방안 고찰을 목적으로 하는 본 연구에서는 다루지 않기로 한다.

대상 공간의 형상도 순수거실 부위만을 그 대상으로 하게 되므로 정방형의 형태를 띠게 된다. 대상실의 크기는 35평형 공동주택의 평면을 조사 및 분석을 통하여 평균크기를 책정하였다. 35평형의 경우는 4.5m×4.0m로 전면성을 가지는 면의 길이가 약간 긴 장방형의 평면을 취하고 있다. 층고는 일반적인 공동주택의 층고인 2.4m로 책정하였다. 환기장치는 거실의 발코니부에 장착함을 전제할 때 기존의 공동주택의 경우 발코니 새시의 상부를 중심으로 환기장치의 설치가 가능할 것으로 판단된다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

제 2 장 이론 고찰

2.1. 실내공기오염물질 및 실내공기환경 관련 기준

2.1.1. 공동주택의 실내공기 오염물질 및 인체에 미치는 영향

실내공기오염이란 다양한 실내공간에서 공기가 오염된 상태를 말한다. 그 원인은 내부와 외부로부터의 매우 복합적인 오염원에 의해 야기되며, 그 영향은 실내 거주자들의 건강에 영향을 미치고 있는 것으로 나타나고 있다. 현대인들은 하루 중 90% 이상을 실내에서 생활하고 있으므로, 실내에서 발생하는 오염물질은 인체에 많은 영향을 미친다고 할 수 있다.

실내오염의 발생원으로는 연소과정, 실내에서의 흡연, 오염된 외부공기의 실내 유입 등이 있으며, 신축공동주택의 경우는 건축물의 기밀화와 고단열화를 위해 사용되는 내장재와 바닥의 소음 저감을 위해 사용하는 카펫 등의 건축자재로부터 수많은 유해화학물질이 발생되고 있다. 또한, 건축물의 유지와 관리 등 일련의 과정에 사용되는 방향제, 목재 보존제, 왁스 등도 실내오염의 중요한 발생원이다.

WHO에서는 WHO와 유럽연합(EU)이 공동으로 작성한 “공기질의 가이드라인”을 기초로 1997년 Expert Task Force회의에서 공기질의 가이드라인(Guideline For Air Quality)을 작성하였다. 이중에서 실내공기질에서는 주요한 오염물질과 발생원을 정하였으며, 오염물질의 발생원을 실외, 실내·실외, 실내의 3가지로 구분하였다. WHO와 EU가 정한 주요 오염물질은 <표2.1>과 같고, 건축자재에서 발생하는 주요 실내오염물질은 <표2.2>와 같다.

<표 2.1> WHO와 EU에서 정한 실내공기오염의 주요 오염물질과 발생원

구분	주요 오염물질	발생원
실 외	SO ₂ , SPM/RSP	연료의 연소, 용광로
	O ₃	광화학반응
	화분(꽃가루)	나무, 풀, 잡초, 식물
	Pb, Mn	자동차
	Pb, Cd	공업배출
	VOCs, PAH	석유화학제품, 불완전연소의 연료에서의 증발작용
실내 · 실외	NO _x , CO	연료의 연소
	CO ₂	연료의 연소, 대사작용
	수증기	생물적 활동, 연소, 증발
	VOCs	취발작용, 연료의 연소, 도료, 대사작용, 살충제, 방향제
	포자	균류
실 내	라돈	나무, 건축재료, 물
	포름알데히드	절연재료, 가구, 담배연기
	석면	난연성 물질, 절연재료
	NH ₃	대사작용
	PAH, As	담배연기
	VOCs	접착제, 용제, 요리, 화장품
	먼지	방향제, 도료, 수은 함유제품에서 방출
	알레르기	애완용 동물의 털, 진드기
	미생물	전염병

<표 2.2> 건축자재에서 발생하는 주요 실내오염물질

건축자재		방출오염물질
목재	파티클보드	요소(尿素)페놀 포름알데히드
	중량 파이어보드	요소 포름알데히드
	플라이우드	요소(尿素)페놀 포름알데히드
	칩보드	요소(尿素)페놀 포름알데히드
단열재	솜	미립자, 송진, 포름알데히드
	단단한 판자 채움 단열재	송진, 폴리스틸렌, 탄화수소, 폴리우레탄 VOCs, 요소 포름알데히드, 석면, 벤젠, 벤젠알데히드, 아세트 알데히드, 크레졸, 메틸나프탈렌, 아크롤레인, 암모니아
페인트	유성	납, 방향성 탄화수소, 지방성 탄화수소, VOCs
	수성	스틸렌, 부틸렌, 아크릴, 비닐
카펫		포름알데히드, VOCs, 합성섬유, 나일론, 라텍스, 폴리프로필렌, 폴리스터, 카펫 크리너, 카펫 올 속의 미생물, 냄새, 미립자
콘크리트		미립자, 라돈
집성보드		미립자, 라돈
벽돌		라돈
코킹 및 실리콘		합성 중합체, 펜탄, 헥산, 옥탄, 벤젠

(1) 일산화탄소(Carbon Monoxide, CO)

일산화탄소는 무색, 무미, 무취의 기체로 무연탄과 각종 유류 등 연료의 불완전한 연소로 발생되며, 특히 산소의 공급이 부족할 때 그 발생량이 급증된다. 따라서 실내 일산화탄소는 취사 또는 난방을 위한 연료의 연소과정이나 각종 차량, 엔진의 배출가스, 흡연 등 우리 생활주변에서 발생하고 있다.

일산화탄소의 급성 중독은 뇌조직과 신경계통에 가장 많은 피해를 가져오며 증상은 시야감소, 정신적 영향(불쾌, 피로촉진), 생리적 영향, 중독 피해, 심폐환자의 병세악화 등의 증세를 보인다. 또한, 만성적인 영향으로는 성장장애, 만성 호흡기질환 발생(폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종), 직업병 악화 등의 영향을 미치게 된다. 일산화탄소의 농도별 인체에 미치는 영향은 <표 2.3>과 같다.

<표 2.3> 일산화탄소(CO)의 인체영향

농도(ppm)	폭로시간	인체의 피해
5	20분	신경계 반사작용 변화
100	3 시간	체내 혈액 10% 기능상실
200	5 시간	격렬한 두통
300	8 시간	시각, 정신기능의 장애
500	4 시간	시력장애, 허탈감, 탈력감
2000	2 시간	사망
3000~4000	30분	사망가능

(2) 이산화탄소(Carbon Dioxide, CO₂)

이산화탄소는 무색, 무미, 무취의 기체로 일반적으로 대기 중에 0.04% 정도 포함되어 있다. 이산화탄소는 주로 실내공기질 또는 환기상태의 척도로 사용되며 일산화탄소와 함께 중요한 실내오염물질 중의 하나로 취급되고 있다. 이산화탄소는 인체의 호흡에 의해 주로 배출되고 연료의 연소시 발생하는 물질로 우리나라와 일본에서는 1000ppm을 기준으로 하고 있다.

호흡중의 이산화탄소가 3%가 되면 호흡이 커지며 4%가 되면 폐포내의 이산화탄소가 증가하기 시작하고 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다. 단시간이면 5%까지 인내가 가능하나 그 이상이면 호흡곤란이 초래된다²⁾. 다음 <표 2.4>는 실내 이산화탄소 허용농도와 유해농도를 나타내고 있다.

2) 서울 시립대학교 도시과학연구원, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구에 관한 최종보고서, 환경부, 2002, pp.4~25.

<표 2.4> 이산화탄소(CO₂)의 허용농도와 유해농도

농도 (%)	의 의
0.07	다수가 계속 재실하는 경우의 허용농도
0.10	일반적인 경우의 허용농도, 환기계산에 사용되는 허용농도
0.2~0.5	상당히 불량한 상태
0.5 이상	가장 불량한 상태
4~5	호흡중추를 자극하여 호흡의 깊이, 회수를 증가시키며, 호흡시간이 길면 위험하고 O ₂ 의 결핍을 수반하면 장애가 두드러지게 되는 상태
8 전후	10분간 호흡하면 강한 호흡곤란, 안면홍조, 두통을 일으킨다. O ₂ 의 결핍을 수반하면 장애가 빨리 도달하는 상태
18 이상	치명적인 상태

(3) 질소산화물(Nitrogen Oxide, NO_x)

실내에서의 이산화질소 발생원은 취사용 프로판가스 기구의 사용, 흡연, 난방 연료(나무, 석탄, 기름 등)의 연소, 실내 건축자재 등이다. 질소산화물은 일산화탄소보다 독성이 4배나 강한 것으로 알려져 있으며, 500ppm 이상일 경우 한번의 흡입으로도 사망에 이르게 된다. 이산화질소의 농도가 높을 때에는 단기간 접촉을 해도 호흡이 빨라지는데 이는 폐에 이상이 생겨 다량의 공기를 흡입할 수 없기 때문이다. 낮은 농도에서도 장기간 접촉하면 만성 폐질환을 일으키며 기관지염, 폐기능 저하 등의 호흡기 질환의 발생에 영향을 주는 것으로 나타났다.

실내공기중 이산화질소의 농도를 저감시키기 위해서는 환기시설을 강화하고 환기시설의 운영을 점검하여야 한다. 특히 일반 가정에서는 가능한 한 불필요한 연소를 억제하고 부엌에 설치되어 있는 환풍기를 취사동안만이라도 가동시켜 실내의 이산화질소나 다른 오염물질과 냄새를 제거하는 것이 좋다. <표 2.5>는 질소산화물의 농도·폭로시간별 인체에 미치는 영향을 나타내고 있다.

<표 2.5> 질소산화물(NO_x)이 인체에 미치는 영향

농도(ppm)	폭로시간	인체위해
0.08~0.1	7~8년	아동의 급성 호흡기 질환 발생률 증가
0.01	1시간	기도과민성 증가(기관지 천식 환자)
0.5~1	매일부정기간	하기도 감염률 증가
1	"	폐 기능 검사상 폐 환기 기능장애
1.6~2	15분	기도저항 증가(정상인 및 만성기관지염 환자)
5	10분	기도저항 증가
100~150	40분	사망

(4) 분진(Particulate, PM10)

분진은 인간의 활동에 의하여 생길 수 있는 오염 물질로서, 강하분진과 부유분진으로 분류할 수 있다. 강하분진은 입자가 크고 무거워서 침강하기 쉽고 부유분진은 입자가 미세하고 가벼워서 좀처럼 침강하기 어려운 분진을 말한다. 분진의 호흡기관내 침투여부는 분진입자의 크기에 의하여 결정된다. 직경이 $10\mu\text{m}$ 미만인 부유분진(PM-10)은 침강속도가 느리고, 대기 중에 장시간 체류하며 사람이 호흡할 때 폐의 기관지 또는 폐포 부위에 침착되기 쉬운 경향이 있어 호흡기에 영향을 미친다. 분진이 유발하는 질환으로는 천식이 대표적이며 천식은 만성 호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 흉부 압박감 등의 증상을 초래한다. 실내분진으로 인한 피해의 저감 대책은 적절한 환기시설의 설치와 청소시 분진의 방지를 위하여 물청소를 한다든지, 진공청소기를 적절히 사용해야한다. <표 2.6>은 분진의 농도·폭로시간별 인체에 미치는 영향을 나타내고 있다.

<표 2.6> 먼지가 인체에 미치는 영향

농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	폭로시간	건강위해
100	1년	만성기관지염 유발을 증가
150	24시간	병약자 노인의 사망 증가
300 이상	-	기관지염환자의 급성악화

(5) 아황산가스(Sulfur Dioxide, SO_2)

가스상 오염물질 중에서 매우 중요한 것으로 알려진 아황산가스(SO_2)는 물에 대단히 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 가스로서 황산화물(SO_x)중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 인체에 대한 영향으로는 아황산가스와 SO_3 를 같이 호흡하면 기도에 염증을 일으켜 기관지염, 천식, 폐기종, 폐쇄성 질환 등을 일으키며 단독 흡입보다 먼지나 액적 등과 동시에 흡입되면, 황산미스트가 되어 아황산가스보다 독성이 약 10배나 강하며 오염이 심한 곳에 반복 노출되거나 장기간 폭로되면 상기도, 소화기 장애와 압박감, 자극감을 느낀다. 또한, 아황산가스에 의한 급성피해로는 불쾌한 자극성 냄새, 시정감소, 생리적 장애, 압박감, 기도저항 증가 현상이 나타나고, 만성피해로는 폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종, 폐쇄성 질환 등이 나타난다. <표 2.7>은 아황산가스의 농도·폭로시간별 인체에 미치는 영향을 나타내고 있다.

<표 2.7> 아황산가스(SO₂)의 인체영향

농도(ppm)	폭로시간	인체영향
1		냄새 못 느낌
2		10명 중 한, 두 명이 다른 물질임을 느낌
3~5		냄새로서 발생원의 확인이 가능
5	10 분	흡입한 자는 불쾌감을 느낌(ACGIH의 서한도)
6.3~11.5	10~15분	사람마다 코와 기도의 자극증상을 일으킴
10~15	1 시간	목구멍에서 점액을 배출함
20		현저한 자극감, 눈자극과 기침을 일으킴
50~100		단시간에 견딜 수 없을 정도임
100	8 시간	기관지 및 폐조직의 장애
140~200	30 분	흡입시 재채기와 눈물나옴
300	3 일	흡입 불가능
400		호흡곤란
400~500		단시간에도 생명이 위험

(6) 라돈(Radon, Rn)

라돈은 무색, 무취의 비활성 기체로서 액화되어도 색을 띠지 않는 물질로서, 화학적으로 거의 반응을 하지 않고 흙 속에서 방사선 붕괴를 일으키는 물질로 사람이 가장 흡입하기 쉬운 가스성 물질이다.

라돈은 일반적으로 흙, 시멘트, 콘크리트, 대리석, 모래, 진흙, 벽돌 등의 건축자재 및 지하수, 동굴, 천연가스 등에서 방출된다. 라돈이 토양에서 대기 중으로 이동하는 경우 토양의 투과성, 기공성, 수분함유량, 온도 및 토양과 건축물 사이의 압력차와 같은 인자에 영향을 받으며, 콘크리트판이나, 블록의 기공, 갈라진 틈새 및 하수관, 배수구를 통해 실내로 침투할 수 있다. 건축자재로부터 발생되는 라돈은 구조물에 사용된 자재량과 자재의 라돈 발생률에 따라 달라진다. 다음 <표 2.8>³⁾은 건축재료로부터 라돈 방사율을 측정한 결과를 나타내고 있다.

라돈의 알파(α)-붕괴에 의하여 라듐의 낭핵종이 생성되는데 이낭핵종은 기체가 아닌 미세한 입자로 흡입시 폐에 흡입되어 폐포나 기관지에 부착되어 알파선을 방출하기 때문에 폐암이 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 반감기가 3.8일로 짧아 대기 개방상태에서는 전혀 문제가 되지 않고 단지 밀폐된 실내공간일 경우 인체에 해가 되고 있다. 미국 EPA의 조사에 따르면 미국내 가정의 평균

3) 박진철, 건축재료에서 발생되는 실내공기 오염물질의 실험실 측정에 관한 연구, 21세기 실내공기환경의 질-대한 건축학회 세미나, 1998, p.66.

라돈농도는 1pCi/ℓ로 추정되며, 약 8%(800만 가구)가 EPA의 기준치(주택 등 건물의 경우 4pCi)를 초과하는 것으로 나타났다. 한편, 구미각국의 역학조사 및 동물실험 결과에서는 라돈농도가 5pCi/ℓ 상태에서 1년간 생활할 경우 1백만명 중 4백명 정도가 폐암발생을 나타낸다고 추산하고 있다⁴⁾

<표 2.8> 건축재료로부터의 라돈 방사율

재 료	평균 방사율 측정치(pCi/m ² h)
콘크리트	515
운 모	410
석고보드	2180.1
진 흙 벽	3105.2

(7) 포름알데히드 (HCHO)

포름알데히드는 실내공기오염의 주요 원인물질로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 우레아수지폼 단열재(Urea Formaldehyde Foam Insulation :UFFI)나 섬유옷감, 실내가구의 칠, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등에 의해 발생된다. 따라서 실내에서의 포름알데히드 농도는 신축 건물에서 높게 나타나며 조리, 벽난로, 기타 난로(heater) 등에서도 방출된다. 건축자재에서 발생된 포름알데히드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도에 따라 그 방출량이 영향을 받으며 일반적으로 방출되는 기간은 4.4년으로 추정되고 있다.

1981년 Schenke 등의 보고서에 따르면 우레아폼을 단열재로 사용한 주택에 살고 있는 주민을 조사한 결과, 오랫동안 포름알데히드에 폭로되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 유발하고 동물실험에서는 폐수종, 비염의 증상이 있는 것으로 나타났다. 포름알데히드에 반복하여 노출될 경우 눈, 코 및 호흡기도에 만성 자극을 일으키며 눈꺼풀에 염증을 유발시키는 것으로 알려져 있다.

포름알데히드의 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고, 이중에서 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 포름알데히드는 그 농도가 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극 증상을 보이며, 동물 실험에서는 발암성(비암)이 있는 것으로 나타났다. 또한 포름알데히드와 관련된 화학공장에서 일하는 여성 근로자중에는 월경 불순,

4) Leslie G. B. & Lunau F. W., Indoor Air Pollution, Cambridge, 1992, pp.99~116.

빈혈, 생리통, 불임현상이 나타난 것으로 보고 되고있다. <표 2.9>는 포름알데히드가 인체에 미치는 영향을 보여주고 있으며, <표 2.10>는 건축재료로부터의 포름알데히드 방사율을 나타내고 <표 2.11>는 국외의 포름알데히드 기준을 나타내었다.

실내의 포름알데히드 농도는 실내온도, 실내 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우되기 때문에 실내 포름알데히드가 방출된 건물 또는 주택에서는 알맞은 환기시설을 하고 오염물질의 발생원을 찾아내어 제거하거나 대체함으로써 실내중 포름알데히드가 인체에 미치는 영향을 줄여야 한다.

<표 2.9> 포름알데히드(HCHO)의 인체 위해성

농도(ppm)	인 체 영 향
0.1~5	눈의 자극, 최루성, 상부기도의 자극
1 또는 그 이하	눈, 코, 목의 자극
0.25~5	기관지천식이 있는 사람에게서 심한 천식발작
10~20	기침, 폐의 압박, 머리가 무거움, 심장박동이 빨라짐
50~100	폐 체액의 집적, 폐의 염증, 사망 입으로 마실 경우, 구강, 목, 복부의 맹렬한 고통, 구토, 설사, 현기증, 경련, 의식불명

<표 2.10> 바닥, 벽체 재료 등으로부터의 포름알데히드 방사율

재 료	방사율 (mg/m ² h)
칩 보 드	0.46 ~ 1.69
합 판	0.17 ~ 0.51
플라스터보드	0 ~ 0.13
벽 지	0 ~ 0.28

<표 2.11> 국외의 포름알데히드 기준

오염물질	실내환경(IAQ)	대기환경	작업환경(Workplace)
포름알데히드 (HCHO)	0.1ppm(ASHRAE) 0.4ppm(미국 HUD) 0.081(WHO Europe) 0.01ppm(스웨덴:신축주거)	-	1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 2ppm(ACGIH, STEL) 2ppm(일본산업위생학회)

(8) 휘발성 유기화합물 (VOCs)

미국의 EPA에 의하면 VOCs는 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산, 금속성 탄산염 및 탄산암모늄을 제외한 탄소화합물로서, 대기 중에서 태양광선에 의해 질소산화물(NOx)과 광화학적 산화반응을 일으켜 지표면의 오존농도를 증가시켜 스모그현상을 일으키는 유기화합물질로, 벤젠, 톨루엔, 프로판, 부탄, 헥산 등 광화학 반응성이 에탄보다 큰 318종의 물질과 이들 물질이 포함된 진증기압(True Vapor Pressure : TVP)이 1.5psia 이상인 석유화학제품 및 유기용제 등을 말한다.

실내에서의 VOCs 발생원으로는 건축자재와 마감재료, 건물의 유지관리용품(청소용, 각종 세척제 등), 소모성 재료(복사기의 토너), 연소과정의 물질, 재실자의 활동, 살충제, 약품제조, 외부공기 등이 있다. <표 2.12>에 실내에서 발생하는 휘발성유기화합물질과 발생원을 나타내었다.

<표 2.12> 건축재료 및 제품에서 방출되는 VOCs

재료/제품	방출되는 주요 유기용제
라텍스 코킹제	메틸에틸케톤, 부탄올, 벤젠, 톨루엔
바닥접착제	데칸, 언데칸, 디메틸벤젠
칩보드	포름알데히드, 아세톤, 벤잘네히드, 벤젠
Moth crystals	p-디클로 벤젠
Floor wax	데칸, 언데칸, 디메틸옥탄, 에틸메탈벤젠
목재 착색제	데칸, 메틸옥탄, 디메틸노난, 트리메탈벤젠
라텍스 페인트	부탄올, 에틸벤젠, 프로필벤젠, 톨루엔
가구 광택제	디메틸헥산, 트리메틸헥산, 트리메틸헵탈, 에틸벤젠
폴리우레탄 바닥마감	데칸, 언데칸, 부탄올, 에틸벤젠, 디메틸벤젠
공기청정제	데칸, 언데칸, 에틸헵탄, 치환된 방향족

실내에서 VOCs 의 농도가 증가하는 주요 원인을 건축자재와 시공의 측면에서 보았을 때 복합 화학물질을 이용한 새로운 건축자재의 보급과 시공과정에서 노무비의 절감과 숙련공의 부족으로 인한 공법의 변화로 많은 양의 접착제 사용을 들 수 있다. 대부분의 건축자재에서는 시공 후 초기단계에 다량의 오염물질을 방출하게 되며, 시간의 경과에 따라 방출량이 점차로 감소된다. 건축 재료로부터의 VOCs 방사율을 <표 2.13>에 나타내었다.

<표 2.13> 건축재료로부터의 VOCs 방사율

재료		방사율 (mg/m ² h)
벽지	비닐과 종이	0.04
	비닐과 유리섬유	0.3
	인쇄된 종이	0.03
벽 마감재	PVC	0.1
	직물	1.6
바닥 마감재	리놀륨	0.22
	합성섬유	0.12
	고무	1.4
	연성 플라스틱	0.59
	균질 PVC	2.3
도료	아크릴 라텍스	0.43
	바니시(순수 에폭시 수지)	1.3
	바니시(폴리우레탄, 2-component)	4.7
	바니시(내산성)	0.83

인체로부터 방출되는 VOCs 물질은 알코올 성분, 알데히드, 케톤, 톨루엔, 페놀 등 12종류 이상이 포함되어 있으며, 그 중에서 메탄(74mg/인·일)과 아세톤(51mg/인·일)이 가장 많이 방출되고 있다. 또한, 화장품, 향수 등의 사용도 실내 VOCs의 발생원으로 작용하고 있다.

VOCs의 인체영향으로 벤젠은 호흡을 통해 약 50%가 인체에 흡수되며, 아주 작은 양이지만 피부를 통해 침투되기도 한다. 체내에 흡수된 벤젠은 주로 지방조직에 분포하게 되며, 급성중독일 경우 마취증상이 강하게 나타나며 호흡곤란, 불규칙한 맥박, 졸림 등을 초래하여 혼수상태에 빠진다. 만성중독일 경우 혈액장애, 간장 장애, 재생 불량성 빈혈, 백혈병을 일으키기도 한다. 톨루엔 또한 호흡에 의해 주로 흡입되고 피부, 눈, 목안 등을 자극하며 피부와 접촉하면 탈지작용을 일으키기도 한다. 또한 두통, 현기증, 피로 등을 일으키며 고농도에 노출될 경우 마비상태에 빠지고 의식을 상실하며 때로는 사망에 이르기도 한다. 자일렌에 의해서는 성장장애, 태아독성영향, 임신독성 등의 영향을 받는다.

VOC는 유지류를 녹이고 스며드는 성질이 있으므로 피부에 흡수되기 쉽고, 체내에 흡수된 뒤에도 중추신경 같은 주요기관을 침투할 수 있다. 이렇게 휘발성이 크고 공기중에 가스로서 존재하여 피부에 직접 닿지 않더라도 호흡기에 흡입되면 중독을 일으키게 된다.

2.1.2. 국내외 실내공기환경 기준

(1) 국내 실내공기환경 기준

국내에서는 공기조화를 실시하는 건물의 실내공기 허용기준을 보건복지부와 건축법 시행규칙에서 규정하고 있고, 작업장 환경은 노동부에서 기준을 정하여 관리하고 있으며, 대기환경기준은 1978년 정해진 환경보전법에서 규정하고 있다. 국내의 실내공기환경 기준이 보건복지부에서 정한 공중위생법과 건축법 시행 규칙에 정해져 있으나, 단지 CO 10ppm, CO₂ 1,000ppm, 부유분진 0.15mg/m³ 등의 기준치만 설정되어 있으며, 지하 환경에 대한 가이드라인이 참고로 있을 뿐이다. 그러므로 일반 시내에서는 의학적인 면에서 제정된 노동환경의 허용치를 사용하지 않고, 개략적으로 단순히 노동환경의 1/10~1/100 정도를 취하는 것이 보통이었다.

건축법 시행령 제51조에 의하면 “환기를 위하여 거실에 설치하는 창문 등의 면적은 그 거실바닥면적의 1/20 이상이어야 한다. 다만, 건설부령이 정하는 바에 의하여 위생에 지장이 없는 환기장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다”라고 규정되어 있다. 그러나 이 규정은 여러 가지 제약조건이 충족되었을 때 효과가 있으므로 개정의 여지가 있다고 한다.

국내의 경우에도 국내자료를 바탕으로 에너지 측면에서의 최대 환기 제한과 건강을 유지하기 위한 최소 환기가 적절하게 유지될 수 있는 기준이 제시되어야 할 것이다. 국내의 실내공기환경 기준은 <표 2.14>와 같다.

(2) 해외 실내공기환경 기준

선진국의 실내공기환경 기준은 미국을 비롯해 유럽 국가들을 중심으로 잘 정비되어 있으나 아직 국제적으로 단일화된 기준은 없다. 각 나라별로 기준에 있어서 다소 차이는 있지만 오염물질별로 큰 차이는 없다. 해외의 주요 국가별 실내 공기환경기준은 <표 2.15>와 같다.

<표 2.14> 국내의 실내공기환경(IAQ) 기준

항 목		실내환경기준 (건축법시행규칙 /공중위생법)	지하생활공간 공기질관리법 (환경부,1996)	대기(환경부 환경정책기본법, 1993)	작업환경(노동부 산업안전보건법, 1997)**
온도(DBT)		17~28℃	-	-	-
습도(RH)		40~70%	-	-	-
기류속도		0.5m/s	-	-	-
부유분진 (TSP)		150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ * (일평균)	TSP 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균) 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균) PM10 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균) 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)	오염물질의 종류별로 기준치 설정
일산화탄소 (CO)		10ppm	25ppm (8시간 평균)	9ppm(8시간 평균) 25ppm(1시간 평균)	50ppm(TWA)
이산화탄소 (CO ₂)		1000ppm	1000ppm (1시간 평균)	-	5000ppm(TWA)
이산화질소 (NO ₂)		-	0.15ppm (1시간 평균)	0.06ppm(연평균) 0.08ppm(일평균) 0.15ppm(1시간 평균)	3ppm(TWA)
이산화황 (SO ₂)		-	0.15ppm (1시간 평균)	0.03ppm(연평균) 0.14ppm(일평균) 0.25ppm(1시간 평균)	2ppm(TWA)
오존 (O ₃)		-	-	0.06ppm(8시간 평균) 0.1ppm(1시간 평균)	0.1ppm(TWA)
포름알데히드 (HCHO)		-	1ppm (일평균)	-	1ppm(TWA)
석면 (Asbestos)		-	-	-	0.2개/cc(청석면:TWA) 0.5개/cc(갈석면:TWA) 2.0개/cc(백석면:TWA)
라돈 (Radon)		-	4pCi/l	-	-
중금속	Pb	-	3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)	1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (일평균)	0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cu				1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Hg				0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cd				0.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	Cr				0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
	AS				0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TWA)
취발성 유기 화합물	톨루엔	-	-	-	100ppm(TWA)
	크실렌				100ppm(TWA)
	아세톤				750ppm(TWA)
	벤젠				10ppm(TWA)

* 미세먼지(PM10)에 대해서는 99년 12월31일까지는 24시간 평균치 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 적용하고,
2000년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지는 24시간 평균치 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 적용

** 산업안전보건법 제42조 및 동법 시행규칙 제93조 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준
(노동부 고시 제1997-65호)

<표 2.15> 주요 국가별 실내공기환경(IAQ) 기준

오염물질	실내환경	대기환경	작업환경	
일산화탄소 (CO)	10ppm(일본건축기준법 및 빌딩위생관리법) 20ppm(일본학교위생기준) 8.6ppm(WHO Europe 8시간평균) 25ppm(WHO Europe 1시간평균) 51ppm(WHO Europe 30분평균) 86ppm(WHO Europe 15분평균)	9ppm (EPA 8시간 평균) 35ppm(EPA 1시간 평균)	50ppm(OSHA-TWA) 50ppm(일본산업위생학회) 10ppm(일본사무소위생기준, 노동안전위생법)	
포름알데히드 (HCHO)	0.1ppm(ASHRAE) 0.4ppm(미국 HUD) 0.081ppm(WHO Europe) 0.1ppm(스웨덴 신축주거)	-	1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 2ppm(ACGIH, STEL) 2ppm(일본 산업위생학회)	
이산화질소 (NO ₂)	0.21ppm(WHO Europe 1시간평균) 0.075ppm(WHO Europe 24시간평균)	0.065ppm(EPA 1시간평균)	3ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 5ppm(일본 산업위생학회)	
오존 (O ₃)	0.05ppm(ACGIH 8시간평균) 0.03ppm(뉴질랜드 8시간평균) 0.08ppm(WHO Europe 8시간평균) 0.1ppm(WHO Europe 1시간평균)	0.12ppm(EPA 1시간 평균) 0.06ppm(일본대기환경기준 1시간 평균)	0.1ppm(ACGIH, TLV-TWA) 0.3ppm(ACGIH, STEL) 0.1ppm(일본 산업위생학회)	
라돈 (Radon)	4pCi/l(EPA 주택) 2.7pCi/l(WHO Europe) 2.9pCi/l(스웨덴 주택)	=	=	
이산화황 (SO ₂)	0.12ppm(WHO STEL 1시간) 0.18ppm(WHO STEL 15분)	0.03ppm(EPA 연평균) 0.14ppm(EPA 24시간평균) 0.5ppm(EPA 3시간평균) 0.04ppm(일본대기환경기준 1시간평균)	2ppm(ACGIH, TLV-TWA) 5ppm(ACGIH, STEL) 5ppm(일본 산업위생학회)	
부유분진 (TSP)	0.15mg/㎥(일본건축기준법 및 빌딩위생관리법) 0.1~0.12mg/㎥ (WHO 8시간평균)	0.075mg/㎥ (EPA 평균) 0.26mg/㎥ (EPA 24시간)	0.15mg/㎥ (일본 사무소위생기준)	
이산화탄소 (CO ₂)	1000ppm(일본건축기준법) 920ppm(WHO Europe) 1000ppm(ASHRAE)	-	1000ppm(일본사무소위생기준) 5000ppm(OSHA-TWA) 5000ppm(일본산업위생학회)	
석면 (Asbestos)	-	0.01개/cc(일본 대기환경)	0.1개/cc(OSHA-PEL) 2개/cc(일본 산업위생학회)	
휘발성 유기화합물 (VOCs)	0.2~0.6mg/㎥ (핀란드 FISIAQ)	-	벤젠	10ppm(OSHA-TWA) 0ppm(NIOSH-TWA) 10ppm(ACGIH_TLV) 0.63ppm(EPA)
			톨루엔	200ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH_TLV) 21ppm(WHO)
			크실렌	100ppm(OSHA-TWA) 100ppm(NIOSH-TWA) 100ppm(ACGIH_TLV)

2.2. 환기효율 및 환기관련 기준

2.2.1. 환기효율

(1) 환기효율의 정의

환기는 재실자에게 신선한 외기를 공급하고 실내에서 발생한 오염물질을 배출하기 위해 반드시 필요하다. 앞에서 살펴본 실내유동형태에 따른 환기의 성능을 나타내기 위해 환기효율을 정의하였다.

환기효율은 1937년 Yaglou와 Witheridge⁵⁾가 처음으로 환기효율이란 용어를 사용하였고 인체에서 발생하는 이산화탄소 농도와 배기구에서의 농도비를 이용하여 환기효율을 정의하였다. 이후 1981년 Sandberg⁶⁾가 공기연령의 개념을 이용한 환기효율을 제시하고, 실내에 공급된 신선외기가 실내공간으로 공급 될 때까지 소요되는 시간이 짧을수록 환기효율이 높다고 정의하였다. 현재 ASHRAE와 AIVC(Air Infiltration and Ventilation Center)에서 사용하고 있는 대부분의 환기효율의 개념은 이를 근거로 하고 있다.

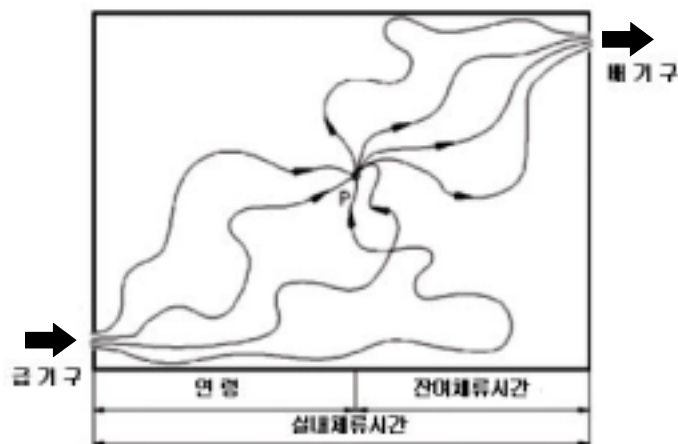
환기효율에 대한 정의를 살펴보면 다음과 같다. 첫째 농도비에 의한 정의로서 배기구에서의 오염농도에 대한 실내 오염농도의 비율로서 환기효율을 정의하고 실내의 기류상태뿐만 아니라 오염원의 위치에 따라서 값이 변화한다. 따라서 농도비에 의한 정의는 환기효율의 정의 보다는 실내오염정도를 표시하는데 적합하다. 둘째로 농도감소율에 따른 정의가 있는데 완전혼합시의 농도감소율에 대한 실내 오염농도 감소율에 따른 정의가 있는데 완전혼합시의 농도감소율에 대한 실내 오염농도 감소율의 비로서 환기효율을 정의하고 있다. 농도감소 초기에는 감소율이 시간에 따라서 변화하고, 일정시간 경과 후에는 농도감소율이 위치에 관계없이 일정해지므로 비정상상태에서의 농도측정이 필요하고 환기효율보다는 환기회수를 표시하는데 적합하다. 마지막으로 공기연령에 의한 정의가 있는데 명목시간 상수에 대한 공기연령의 비율로서 환기효율을 정의하는 방법이 있다. 이 방법은 비정상상태의 농도측정이 필요하며 정의 및 계산절차가 매우 복잡하

5) Yaglou. C. P and Witheridge. W. N. , Ventilation Requirements, ASHRAE Trans., Vol.42, 1937, pp.423~436

6) Sandberg. M., What is Ventilation Efficiency, Building and Environment, Vol.16, No.2, 1981, pp.123~135

지만 오염원의 위치에 무관하게 실내의 기류상태에 의하여 환기효율이 결정된다. 따라서 현재 ASHRAE와 AIVC 등 국내외에 걸쳐 사용되고 있다. 그러나 연령의 개념을 이용한 환기효율의 정의는 단지 실내로 급기 되는 신선외기의 실내 분배능력을 나타낼 뿐 실내에서 발생하는 오염물질을 제거하는 능력을 표현하기에는 적합하지 못하다. 따라서 환기효율은 크게 실내로 급기 되는 신선외기의 실내 분배능력을 나타내는 급기효율과 실내에서 발생하는 오염물질을 제거하는 능력을 나타내는 배기효율로서 정의되어야 한다.

(그림 2.1)에 연령과 잔여체류시간의 개념을 나타내었다. 급기구를 통하여 실내로 유입된 공기가 실내 임의의 점에 도달할 때까지 소요된 시간을 연령(age)이라고 한다. 공기입자는 여러 가지 경로를 통하여 그 지점에 도달할 수 있으므로 그 지점에 도달하는 공기입자 연령의 평균값을 국소평균연령(Local Mean Age, LMA)이라 한다. 또한, 실내 임의의 점으로부터 배기구까지 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 잔여체류시간이라고 하는데 이것도 여러 가지 경로를 통한 입자들의 평균값으로서 국소평균잔여체류시간(Local Mean Residual Life Time, LMR)이라고 한다. 또한 국소평균연령과 국소평균잔여체류시간의 합은 그 지점을 통과하는 공기입자의 실내체류시간(Residence Time)이 된다.



(그림 2.1) 공기 연령 및 잔여체류시간의 개념

국소평균연령(LMA)은 신선외기가 임의의 점까지 도달하는 시간을 의미하므로 급기의 실내분배성능을 정량화하는데 사용될 수 있으며, 국소평균잔여체류시간(LMR)은 그 지점으로부터 배기되는 데 소요되는 시간을 의미하므로 오염물이

배기되는 성능을 정량화하는 데 이용될 수 있을 것이다. 또한 국소평균연령을 전체 실내공간에 대하여 평균값을 구하면 실 평균연령(room mean age)이 된다. 마찬가지로 전체 실내공간에 대한 평균 국소잔여체류시간은 실 평균 잔여체류시간(room mean residual life time)이 된다. 실평균 연령은 실 전체의 급기효율을 나타내고 실 평균 잔여체류시간은 실 전체의 배기효율을 나타낸다.⁷⁾

본 논문에서는 오염원의 위치에 관계없이 실내 기류분포에 의한 환기상태를 정량화할 수 있고, ASHRAE와 AIVC 등은 물론 현재 일반적으로 사용되고 있는 공기연령의 개념에 근거하여 환기효율을 정의하였다.

(2) 환기효율의 산정방법

일반적으로 환기효율을 나타내기 위해서는 실내의 공기가 완전 혼합되어 위치에 관계없이 일정한 농도분포를 보이는 상태를 기준상태로 가정한다. 완전혼합의 환기상태에서 실내체적에 대한 시간당 환기량을 환기회수라고 한다. 환기회수의 역수를 시간의 차원을 가지며 명목시간상수(Nominal Time Constant, τ)라고 한다. <식2.1>

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad \text{<식 2.1>}$$

여기서, τ : 명목시간 상수
 V : 대상 실의 체적
 Q : 시간당 환기량

따라서 국소급기효율과 국소배기효율은 식<2.2>, 식<2.3>과 같이 명목시간상수에 대한 국소평균연령이나 국소평균잔여체류시간의 비율로서 정의한다. 국소급기효율 및 국소배기효율은 그 값이 100%이상 무한대로도 될 수 있기 때문에 효율이라는 용어보다는 국소급기지수 또는 국소배기지수라는 용어를 사용할 수도 있다. ⁸⁾

$$\alpha_p = \frac{\tau}{LMA_p} \quad \text{<식 2.2>}$$

7) 한화택, 환기효율의 정의에 관하여, 공기조화 냉동공학회지, 제28권 제1호, 1999, pp.41~45.

8) 장경진, 추적가스를 이용한 급기 및 배기효율의 측정기술에 관한 연구, 국민대학교 박사학위연구, 2000, pp.10~15.

여기서, α_p : 실내 임의의 점 p에서의 국소급기효율
 LMA_p : 실내 임의의 점 p에서의 국소평균연령
 τ : 대상 공간의 명목시간상수

$$\epsilon_p = \frac{\tau}{LMRp} \quad \text{<식 2.3>}$$

여기서, ϵ_p : 실내 임의의 점 p에서의 국소배기효율
 $LMRp$: 실내 임의의 점 p에서의 국소평균잔여체류시간
 τ : 대상 공간의 명목시간상수

실평균 급기효율이란 국소급기효율을 전 실내공간에 대하여 적분하여 구한 평균값으로 정의된다. 실평균 급기효율과 실평균 배기효율은 증명을 통하여 동일한 값을 지니는 것으로 판명되었으며, 따라서 실평균 값에 대한 급기효율과 배기효율을 구별하여 표시하는 것은 불필요하여 이 두개의 용어를 합쳐 실평균 환기효율(Room Mean Ventilation Efficiency)이라 정의할 수 있다. 또한, 전술하였듯이 완전혼합의 상태를 기준으로 하면 실평균 급기효율이나 배기효율이 100%를 넘는 경우가 발생할 수 있기 때문에 치환환기를 기준으로 하여 2로 나누어 정의하기도 하며 <식2.4>와 같다.

$$\langle \alpha \rangle = \langle \epsilon \rangle = \frac{\tau}{2 \langle LMA \rangle} = \frac{\tau}{2 \langle LMR \rangle} \quad \text{<식2.4>}$$

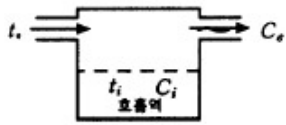
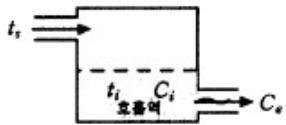
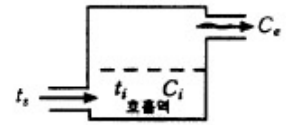
여기서, $\langle \alpha \rangle$: 실 평균 급기효율
 $\langle \epsilon \rangle$: 실 평균 배기효율
 $\langle LMA \rangle$: 실내 공간에 대한 연령
 $\langle LMR \rangle$: 실내 공간에 대한 잔여체류시간
 τ : 대상 공간의 명목시간상수

환기효율을 구하기 위해서 우선적으로 국소평균연령 및 국소평균잔여체류시간을 산정하기 위해서는 추적가스를 이용하여 농도변화를 측정하는 과정이 필요하지만, 본 연구에서는 CFD프로그램 내에서 제공하는 국소평균연령을 이용하여 환기효율을 산정하도록 한다.

(3) 환기방식에 따른 환기효율의 예

유럽과 일본에서는 필요 환기량 산정시 <표2.16>과 같이 환기방식에 따른 환기효율을 고려하여 필요 환기량을 산정하고 있다⁹⁾.

<표 2.16> 환기방식에 따른 호흡역의 환기효율 예

혼합환기				치환환기	
					
공급공기와 호흡역 공기의 온도차 ($=t_s-t_i$)[℃]	환기효율	공급공기와 호흡역 공기의 온도차 ($=t_s-t_i$)[℃]	환기효율	공급공기와 호흡역 공기의 온도차 ($=t_s-t_i$)[℃]	환기효율
< 0	0.9~1.0	< -5	0.9	< 0	1.2~1.4
0~2	0.9	-5~0	0.9~1.0	0~2	0.7~0.9
2~5	0.8	> 0	1.0	> 2	0.2~0.7
>5	0.4~0.7				

2.2.2. 국내외 환기관련 기준

(1) 국내 환기관련 기준

국내의 경우, 건축물의 실내공기환경과 관련해서는 건축법 시행령 제51조에 의하면 “환기를 위하여 거실에 설치하는 창문 등의 면적은 그 거실 바닥면적의 1/20이상이어야 한다. 다만 건설부령이 정하는 바에 의하여 위생에 지장이 없는 환기장치를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다”라고 규정되어있다. 이러한 규정은 최근에 건축되는 모든 건물에 적용하기에는 무리가 있으므로 개정이 필요하며, 에너지 소비측면을 고려하고 채실자의 건강을 유지할 수 있는 적정환기량에 대한 기준이 제시되어야 할 것이다.

(2) 해외 환기관련 기준

세계 주요국가의 환기기준은 대개 주거용 건물과 사무소나 학교와 같은 공공 건물의 유형에 따라 최소 환기량 기준치를 구분·제시하고 있다. 미국의 경우

9) 이정재, 환기효율을 고려한 필요환기량 산정방법, 공기조화냉동공학회 건설환경부문 강연회, 1999, pp.31~40.

ASHRAE에서는 흡연구역 및 흡연여부의 판단, 실내오염증가 문제 등 여러 요소에 관한 추가검토 요구에 따라 몇 번의 개정작업을 거쳐 에너지소비와 실내오염 문제의 적절한 균형을 유지하기 위한 ASHRAE Standard 62 1989를 제시하였다. ASHRAE Standard 62 1989에서는 주거용 건물에 대해 환기횟수 0.35ACH(Air Change per Hour), $27\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人}$ 의 환기량을 확보하도록 규정하고 있다.

ASHRAE에서는 일정실의 환기량 기준을 제시한데 반하여 AIVC(Air Infiltration & Ventilation Centre)에서는 오염원에 따른 환기량을 기준으로 제시하고 있다. AIVC에서 제시한 주요 실내공기오염물질 제거를 위한 최소환기량은 <표 2.17>과 같다¹⁰⁾.

<표 2.17> 실내 오염물질 제거를 위한 최소 환기량(AIVC)

실내공기오염물	최소 환기량	실내공기오염물	최소 환기량
담배연기	담배1개피당 $50\sim120\text{m}^3$ 또는 1인당 $8\sim20\text{m}^3/\text{s}$	습도	약 0.5~1.0 ACH
분진	1인당 $17.5\text{m}^3/\text{s}$	체취 / 취기	1인당 $8.0\text{m}^3/\text{s}$ (1인당 $3\sim4\text{m}^3/\text{s}$)

주요 국가별 주거용 건물에 대한 최소 환기량 기준은 <표 2.18>과 같다.

10) AIVC, International Energy Agency Annex IX, AIVC Technical note AIVC26, Minimum Ventilation Rates and Measures for Controlling Indoor Air Quality, 1989, October. p.40.

<표 2.18> 주요국가의 주거용 건물에 대한 최소 환기량 기준

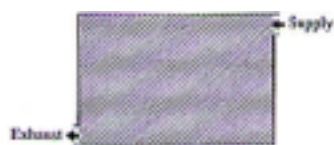
국가 및 기준명	총 환기량	거실	침실	주방	욕실 겸용 화장실	화장실
덴마크 DS418	-	0.4~0.6회/h	-	0.7회/h	0.7회/h	-
독일 DIN18017 DIN1946Pt.2 VDI2088)	-	최소 60~120m³/h 최대 60~180m³/h	-	최소 40m³/h 최대 60m³/h	최소 40m³/h 최대 60m³/h	최소 20m³/h 최대 30m³/h
노르웨이 NBC ch47-1987	-	급기 외벽에 100cm이상의 개폐가능한 개구부나 급 기구 설치	급기 외벽에 100cm이상의 개구부설치	기계배기 60m³/h 자연배기 지 붕위에 단면 적 150cm 이 상의 덕트설 치	기계배기 :60m³/h 자연배기 지붕 위에 단면적 150cm 이상의 덕트설치	기계배기 :40m³/h 자연배기 지붕 위에 단면적 100cm 이상의 덕트설치
스웨덴 BFS 1988 ch 4	최소(급기) 0.35mℓ/s·km	급기 0.35mℓ/s·km	급기 4.0mℓ/s·人	10mℓ/s·室 (배기)	10~30mℓ/s (배기)	10mℓ/s(배기)
영국 BS5720-1979 BS5925-1991 Build.Regs.Pt.F CIBSEGuidesA,B	권장 12~18mℓ/s·人 최소 8~12mℓ/s·人	바닥면적의 1/200이상인 환기구 및 최 소4000 이상 의 환기구면 적 확보	바닥면적의 1/200이상인 환기구 및 최 소4000 이상 의 환기구면 적 확보	기계급기 60mℓ/s or 배기후드 설 치 및 최소 4000 이상의 자연 환기구 설치 or 환기 회수1.0회/h 확보	15mℓ/s (간헐환기)	바닥면적의 1/200이상 환기 구 설치 or 간 헐적으로 3.0 회/h이상의 환 기회수 확보
미국 ASHRAE62-1989	환기회수 0.35회/h이 상(7.5mℓ/s· 人) 의 환기 량 확보)	-	-	50mℓ/s(간헐) 12mℓ/s(연속) 개폐창	25mℓ/s·室(간헐) 10mℓ/s·室(연속) 개폐창	-
일본 HASS102-1997	30m³/h·人 (흡연시 130 m³/ 담배 1개 피)	-	-	-	-	-

2.3. 실내 기류의 해석

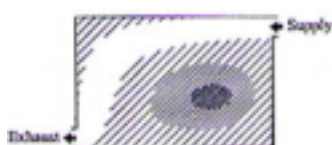
2.3.1. 실내공기유동 형태

동일한 공기교환율을 갖는 경우에도 실내 공간내의 공기유동형태에 따라 실내 공기가 혼합되는 정도와 오염물질이 확산되는 과정이 다르기 때문에 환기에 의한 효과는 달라진다. 실내기류분포를 정확하게 측정하거나 예측하는 것은 매우 복잡한 해석과정이나 상세한 실험이 필요하나 대략적으로 다음과 같이 공기혼합

의 형태를 나누어 생각할 수 있다. 실내유동형태에 대한 그림은 (그림 2.2)에 나타나있다.



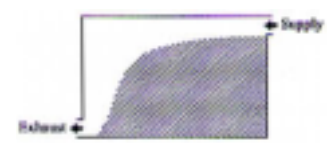
(a) 완전혼합(complete mixing)



(b) 불완전혼합(incomplete mixing)



(c) 치환환기(displacement ventilation)



(d) 단락(short-circulating)

비혼합(non-mixing)

(그림 2.2) 실내유동형태의 분류

(1) 완전혼합(complete mixing)

실내의 공기유동이 비교적 활발하여 실내에서 발생하는 오염물질이 실내의 전 공간으로 균일하게 확산되는 경우이다. 외부로부터 공급되는 신선외기도 실내공기와 완전하게 혼합이 이루어지며 배기구에서의 농도는 실내의 농도와 동일하다. 이러한 환기를 희석환기라고 한다. 이 경우 실내에서의 농도는 어디에서나 동일하므로 실내체적에 대한 급기량, 즉 공기교환율에만 의존하며, 오염원의 위치나 급기구, 배기구의 위치 등에 전혀 무관하므로 환기효율을 고려할 필요가 없다.

(2) 비혼합(non-mixing)

비혼합은 오염물질과 실내공기의 혼합이 전혀 이루어지지 않는 것으로 크게 단락(short-circulating)과 치환환기(displacement ventilation)로 구분된다.

단락(short-circulating)은 실내에 급기된 대부분의 신선공기가 오염원과 무관하게 배기구로 빠져나가는 것으로, 오염원을 제거하는 데 있어 가장 효율이 좋지 않은 환기상태이다. 치환환기(displacement ventilation)는 마치 피스톤의 움직임처럼 실내에 급기된 공기가 실내의 오염물질을 밀어내 배기시키는 것으로 이 경우 희석환기에 비해 이론적으로 두 배의 환기성능을 보인다. 가장 이상적인 상태로 실내의 오염원을 제거하는데 가장 효율적인 환기상태이다. 그림(2.2)의

그림 중에서 (c)는 치환환기, (d)는 단락되는 경우에 대한 비혼합 기류형태를 보여주고 있다.

(3) 불완전혼합(incomplete mixing)

불완전혼합은 완전혼합과 비혼합의 중간형태로 실제의 실내 유동상태와 가장 근접하다. 실제로 급기구의 위치 및 장애물의 존재, 실내의 형상 등에 의하여 실내의 기류형태가 결정되며 이에 따라 혼합의 정도가 결정된다. 불완전혼합에서는 실내기류형태와 오염원의 위치에 따라 부분적으로 농도의 불균일이 발생하며 위치에 따라 국소적으로 다른 환기상태를 보인다.

2.3.2. 유동장의 지배 방정식

유체역학의 기본 지배 방정식은 연속방정식, 운동 방정식, 에너지방정식으로 구분되며, 각 지배방정식은 유체역학의 3가지 물리적 원리를 수학적 표현으로 나타내고, 유동Model에 3가지 원리를 적용시켜 도출되었다. CFD에 적용되는 3가지의 물리적 원리는 다음과 같다.

(1) Mass is Conserved.

(2) $F = m \cdot a$ (Newton's Second Law)

(3) Energy is Conserved.

(1) 연속 방정식 [The 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 방정식화 한 것이 연속 방정식으로 (식 2.5)와 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad \text{<식 2.5>}$$

(2) 운동 방정식 [The Momentum Equation]

물리적 기본원리는 뉴턴의 제2법칙이며, 유체요소에 작용하는 벡터 가운데 X 방향으로 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, 일정 정도의 거리를 가지며 중력, 전기력, 자기력 등이 그 예이다. Surface Force는 유체요소의 표면에 작용하는 힘으로 이 힘은 첫째, 유체요소 주위의 노출된 표면에 작용하는 외부유체의 압력분포와, 둘째, 마찰에 의해 노출된 표면에 작용하는 전단응력 및 법선응력에 의해 발생한다.

17세기 말엽 뉴튼이 “유체의 전단응력은 변형의 빠르기에 비례한다”는 설을 발표함에 따라 이러한 성질을 지니는 유체를 뉴튼유체라 부르게 되었으며, 오늘날 대부분의 공기역학적인 문제에서 유체는 뉴튼유체로 가정하는 것이 일반화되어 있다. 뉴튼유체로 가정된 유체의 운동 방정식[Navier-Stokes 방정식]은 (식 2.6)~(식 2.8)과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \quad <\text{식 2.6}>$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v V) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \quad <\text{식 2.7}>$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w V) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \quad <\text{식 2.8}>$$

(3) 에너지 방정식 [The Energy Equation]

물리적 기본원리는 열역학 제 1법칙인 에너지보존의 법칙이며, 유동유체에서의 단위질량당 전체 에너지는 움직이는 유체의 내부에너지(e)와 운동에너지($\frac{V^2}{2}$)의 합 즉, $e + \frac{V^2}{2}$ 으로 나타난다. 물질미분에 의해 단위질량당 에너지 변화율(A)은

$$A = \rho \frac{D}{Dt} \left(e + \frac{V^2}{2} \right) dx dy dz \quad <\text{식 2.9}>$$

(식 4.5)와 같이 나타나며, 전체 에너지 방정식은 (식 2.10)과 같이 정리될 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \nabla \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) V \right]$$

$$\begin{aligned}
= & \rho q + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{\partial (up)}{\partial x} - \frac{\partial (vp)}{\partial y} \\
& - \frac{\partial (\delta)}{\partial z} + \frac{\partial (u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} \\
& + \frac{\partial (u\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\tau_{zz})}{\partial z} + \rho f \cdot V \quad <\text{식 2.10}>
\end{aligned}$$

(4) 물질전달 방정식

공간 내에 오염물질과 같은 물질전달이 발생하는 경우 오염물질의 거동특성을 규명하기 위해서는 물질전달 방정식이 필요하게 된다. 물질전달 방정식의 기본형태는 (식 2.11)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho m_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i m_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} J_i + R_i + S_i \quad <\text{식 2.11}>$$

여기서, R_i 는 화학반응에 의한 생성 또는 소멸항이고, S_i 는 상변화에 의한 생성항이다. 또한 J_i 는 확산 flux로 (식 2.12)와 같다.

$$J_i = - \left(\rho D_{im} + \frac{\mu_i}{Sc_t} \right) \frac{\partial m_i}{\partial x_i} \quad <\text{식 2.12}>$$

$$\text{여기서, } Sc_t = \text{난류 Schmidt No} \left(\frac{\mu_t}{\rho D_t} \right)$$

일반적으로 실내공기 오염물질의 해석에서 대표적인 오염물질로 가정하는 CO₂의 물성치는 <표 2.19>¹¹⁾ 와 같다.

<표 2.19> CO₂ 가스의 물성치표

기호	물성치	단위	설명
C_p	870.9	J/kgK	정압비열
k	0.0166	W/mK	열전도율
a	1.06e-0.5	m ² /s	물질확산율
ν	0.832e-0.5	kg/ms	점성

11) 고재운 외, 아파트 주택에 있어서 실내공기청정기에 의한 환기의 수치해석, 대한설비공학회 논문집, 제 13권 제3호, 2001, pp.217~225

2.3.3. 난류유동

난류 유동은 속도장의 변동에 의해 특성화 된다. 이러한 변동은 운동량, 에너지, 특정물질의 농도와 같은 수송량을 혼합시키게 되고, 따라서 수송량 또한 변동시키게 된다. 이와 같은 변동은 작은 폭의 높은 주파수로 나타나므로 계산량이 상당히 방대해져 실제 공학계산으로는 불가능 해진다. 반면, 순간적인 지배 방정식은 이와 같은 변동의 작은 폭을 제거하기 위하여 시간평균, 조화평균, 기타 다른 형태로 가공될 수 있으며, 결과적으로 수정방정식의 형태로 나타나게 된다. 그러나, 수정 방정식은 미지의 변수를 포함하고 있으므로 이미 알고 있는 양의 관점에서 이러한 미지변수를 결정하기 위해서는 난류모델이 필요하게 된다.

Standard k- ϵ 모델은 난류의 운동에너지(k)와 그 소산율(ϵ)에 대한 모델 수송방정식을 근거로 한 반실험적 모델이다. 모델 수송방정식에서 k는 정확한 방정식으로부터 도출되었으나, ϵ 는 물리적 추론으로부터 얻어졌으며, 수학적으로 정확히 대응하는 값은 없다. 난류 운동 에너지 k와 그 소산율 ϵ 는 다음 수송방정식(식 2.13)으로부터 유도되었다.

G_k 는 평균 속도 구배에 의한 난류 운동에너지의 생성항을, G_b 는 부력효과에 의한 난류 운동 에너지의 생성항을 나타내며, Y_M 은 전체 난류 소산율 대비 압축성 난류에 있어서의 변동 범위의 기여도를 나타낸 것이다. $C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}$ 는 상수이고, $\sigma_k, \sigma_\epsilon$ 는 k와 ϵ 에 있어서 각각의 난류 Prandtl 수이다. Eddy 혹은 난류 점성 μ_t 은(식 2.14)와 같이 k와 ϵ 의 조합에 의해 계산된다. 단 C_μ 는 상수이다.

$$\begin{aligned} \rho \frac{D_k}{D_t} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M \\ \rho \frac{D_\epsilon}{D_t} &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad <\text{식 2.13}> \end{aligned}$$

G_k 는 평균 속도 구배에 의한 난류 운동에너지의 생성항을, G_b 는 부력효과에 의한 난류 운동 에너지의 생성항을 나타내며, Y_M 은 전체 난류 소산율 대비 압축

성 난류에 있어서의 변동 범위의 기여도를 나타낸 것이다. $C_{1\epsilon}, C_{2\epsilon}, C_{3\epsilon}$ 는 상수이고, $\sigma_k, \sigma_\epsilon$ 는 k 와 ϵ 에 있어서 각각의 난류 Prandtl 수이다. Eddy 혹은 난류 점성 μ_t 은(식 2.14)과 같이 k 와 ϵ 의 조합에 의해 계산된다. 단 C_μ 는 상수이다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad \text{<식 2.14>}$$

이상의 기본값은 균일 응력 유동장을 포함한 기초적인 난류 응력 유동장에서의 실험으로부터 도출되었으며, 경계벽체 및 자유 응력 유동장에 있어서 광범위하게 적용이 가능하다. 또한, 난류 모델은 유동장 전체에 펼쳐진 물리력, 특정문제에서 사용되는 관례, 요구되는 결과의 정확도, 해석에 사용가능한 컴퓨터 용량 및 해석에 사용가능한 시간 등에 중점을 두고 선정하여야 하며, 해석 수행시 가장 적절한 난류모델을 선정하기 위해서는 다양한 조건에서의 난류 모델별 수행능력과 한계를 이해하여야 한다.

<표 2.22> CFD 해석 기본지배방정식 및 난류모델

지배방정식	연속방정식	$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$
	운동방정식	$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial p}{\partial x}$ $= \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g_x \rho$
	에너지방정식	$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ $= \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q$
	물질전달 방정식	$\frac{\partial}{\partial t} (\rho m_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i m_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} J_i + R_i + S_i$
난류모델 k- ϵ	$\rho \frac{D_k}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M$ $\rho \frac{D_\epsilon}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$ $C_{1\epsilon}=1.44, C_{2\epsilon}=1.92, C_{3\epsilon}=0.09, \sigma_k=1.0, \sigma_\epsilon=1.3$	

2.4. 국내외 공동주택의 환기시스템 도입 현황 및 문제점

2.4.1. 국내 공동주택의 환기시스템 현황

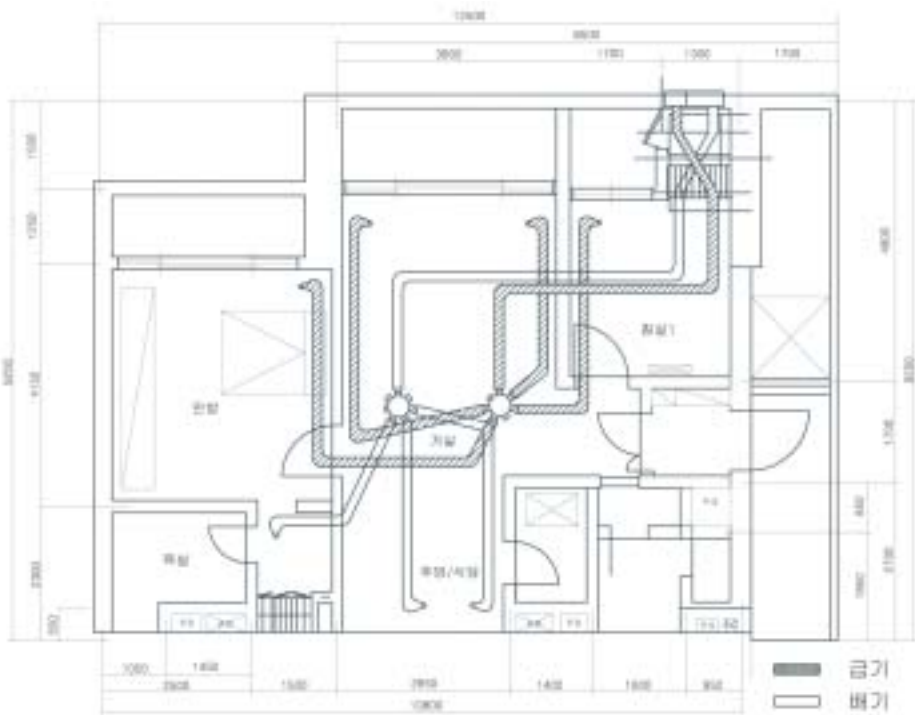
최근 국내에서도 일부 고급형 공동주택을 중심으로 공동주택내의 환기성능을 향상시키기 위하여 기계환기시스템을 채택하고 있다. 환기시스템은 환기로 인한 에너지소비를 최소화하고자 대부분 열교환 소자를 가지고 있는 열회수식 환기시스템의 형태를 띠고 있다. 본 절에서는 현재 국내 공동주택에 적용된 환기시스템의 종류와 특징을 살펴봄으로써 환기시스템의 기본계통을 파악하고 이후 효율적인 환기시스템 적용 계획을 제안하는데 있어서 기초자료로 활용하고자 하였다.

기밀성이 높은 초고층 주택에 적용되고 있는 환기시스템은 환기시스템 본체와 덕트를 이용한 천장급배기방식이 대표적이며, 덕트 방식을 사용하는 경우 시스템을 적용하기 위한 층고가 필요하다는 문제점이 있으나, 하나의 시스템을 이용하여 각 실에 균일한 외기를 도입할 수 있는 장점이 있다.

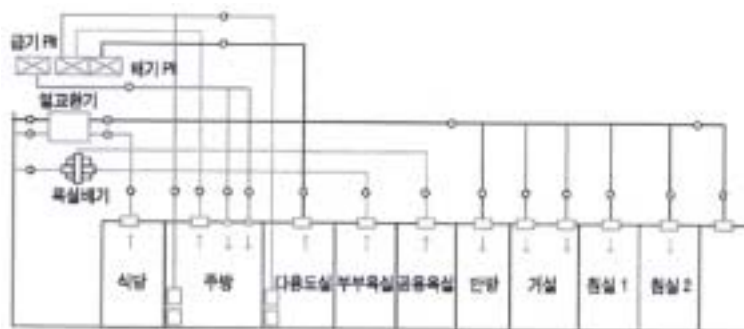
일반적인 천장급배기방식의 기본계통은 (그림 2.3)¹²⁾¹³⁾과 같다. 그림(2.3)에서 확인할 수 있듯이 공동주택의 일정부분에 환기시스템의 본체를 설치하고, 본체로부터 각 실로 덕트를 이용하여 급기 또는 배기를 하는 형태이다. 또한, 거실의 경우 급배기가 동시에 이루어지지만 침실의 경우 급기만 이루어지는 형태임을 알 수 있다. 그러나, 이와 같이 침실에서 급기만이 이루어지는 경우 출입문의 틈새를 이용하여 배기가 이루어짐에 따라 급배기기류가 원활히 유동하지 못해 실의 압력분포가 일정해지지 않을 우려가 있으며, 세대 내에서의 소음전파경로가 되어 실간 차음의 측면에서도 문제점이 발생할 우려가 있다. 따라서, 이와 같은 문제점을 개선하기 위해서는 침실에서도 급기구와 배기구를 함께 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

12) http://www.towerpalace.co.kr/htm/fr_y.htm

13) http://www.metooeng.co.kr/business_2_4.htm



(a) 계통도면



(b) 계통단면

(그림 2.3) 국내 공동주택 환기시스템의 기본계통

한편, 최근 환기시스템 관련업체에서는 덕트형 환기시스템의 시공성과 천장고등의 확보가 어려운 현실을 고려하여 각 실만을 대상으로 한 벽면 설치형 환기시스템을 개발하여 시판하고 있다. 벽면 설치형 환기시스템의 경우 천장을 통한 덕트 공간이 필요 없고 유지관리가 편리하다는 장점이 있음에 따라 현실적인 적용성 측면에서 유리한 점을 가지지만 국내 공동주택의 발코니 시공에 따른 외기도입 측면에서 문제점이 있으므로 현실적인 적용측면에서의 보완연구가 필요할 것으로 판단된다.

이상 살펴본 내용으로부터 최근 국내에서도 고급 공동주택을 중심으로 천장형 환기시스템을 채택하고 있음을 알 수 있었으며, 현행 공동주택 환기시스템의 기본계통과 특징 그리고 문제점을 파악할 수 있었다.

2.4.2. 국외 공동주택의 환기시스템 현황

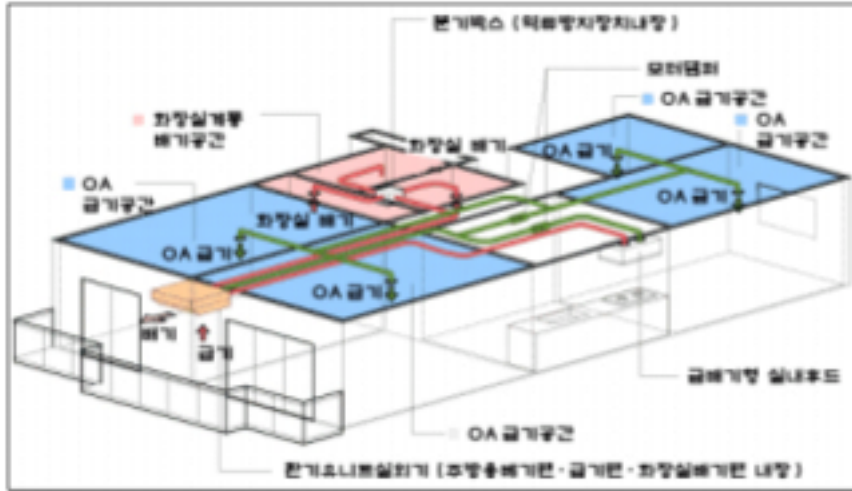
주요 선진국의 경우 자연환기와 기계 환기시스템을 적절히 조화시켜 실내 공기 환경을 효과적으로 유지하고 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 주거용 건물의 복합 환기시스템 개발이 최근의 연구주제로 심화되고 있다. 특히 주요 선진국 중 최근 5년간 실내 공기환경 문제에 대한 연구가 가장 활발히 진행되고 있는 일본의 경우, 국가의 환경 기준을 만족하면서 실내에서의 최소 환기량을 확보하기 위하여 주거용 건물에 대한 기계 환기설비의 설치, 중앙 집중 방식을 이용한 기계 환기설비의 상시운전, 계획적인 급배기, 환기 설비에의 열 회수장치 설치 등 효과적인 24시간 환기 설비의 설치와 적용을 위한 다양한 연구를 진행하고 있다. 최근 개발되어 일본과 유럽의 신축공동주택에 적용되고 있는 24시간 환기 시스템을 기능별로 비교분석하면 다음과 같다.¹⁴⁾

(1) 일본 가자마 건설의 24시간 환기 시스템

일본 가자마 건설의 24시간 환기 시스템은 미량 유해화학물질의 지속적인 농도 저감을 목적으로 하는 환기 시스템이다. 유형별로 유틸리티 팬에 의한 강제 배기형태, 거실의 급기팬 설치 형태, 실내 덕트 중간에 급기팬 설치 형태, 뉴플랫 코어에 의한 강제 급배기형태 등으로 구분된다.

24시간 환기 시스템은 공동주택 전체의 상시 소풍량 환기 운전시에 적용하며, 주방용의 배기팬, 급기팬, 위생 배기팬을 내장한 환기 유니트를 발코니 천정에 설치하고 주방 레인지 후드와 거실에의 급기경로 전환을 실시하는 모터댐퍼를 이용하여 배기는 위생 배기팬에 의해 실시하면서 거실 전체의 상시 소풍량 환기를 실시하는 계통을 가지고 있다. 가자마 건설의 24시간 환기 시스템의 기본계통은 (그림 2.4)와 같다.

14) 한국건설 기술 연구원, 주요 건축물의 실내공기 오염 저감을 위한 설계지원 프로그램 개발 연구, 2003, pp.169~188.



(그림 2.4) 일본 가자마 건설의 24시간 환기시스템 기본 계통

(2) 일본 미쓰비시 24시간 환기 시스템

일본 미쓰비시에서는 건축 기준법의 개정 시행에 따라 주택 전체를 고려한 계획적 환기가 필요함을 인식하고 자사의 환기 시스템에 계획 환기기법을 도입하면서 주요한 3개 요소로 다음을 채택하였다.

- 24시간 상시환기
 - ：주택전체를 24시간 환기하여 오염물질 체류 없이 청결상태를 유지한다.
- 소풍량 환기
 - ：냉난방에 영향을 주지 않도록 소풍량으로 환기한다.
- 환기경로의 명확화
 - ：오염물질이 장시간 체류하지 않도록 주택내 환기 경로를 명확히 한다.

이를 바탕으로 세대 내에 소량의 공기 흐름을 지속적으로 유지하도록 하는 계획 환기 개념을 적용하였으며, <표 2.23>과 같은 주거용 건물의 24시간 환기시스템을 개발, 보급하고 있다.

<표 2.23> 일본 미쓰비시사의 24시간 환기시스템

종류	환기특징	상품종류
제1종 환기	• 급·배기구 모두 기계환기로 강제적으로 행하는 방법 • 기계환기 중에 가장 확실한 급배기가 가능 • 공기 흐름을 제어하기 쉽고, 단독주택, 공동주택 모두에 적합	• 로스나이 센트럴 환기시스템 • 벽배기 에어플로우 환기시스템
제2종 환기	• 급기는 기계 환기로 행하고, 배기는 배기구로부터 자연적으로 행하는 환기 방법 • 주택의 기밀도에 따라서 실내 습도가 벽내에 침입 할 위험	• 센트럴 급기시스템 (배기용 환기장치와의 조합으로 제1종 환기 방식으로 제안)
제3종 환기	• 배기는 기계환기로 강제적으로 행하고, 급기는 급기구 등으로부터 자연적으로 행하는 환기 방식 • 배기가 기계 환기이기 때문에 습기가 벽 내에 침투하기 어려움 • 고기밀 주택에서는 저비용으로 계획 환기가 가능	• 천정배기 에어플로우 환기시스템 • 배기덕트 센트럴시스템 • 24시간 환기기능 첨가 덕트용 환기팬

미쓰비시사에서는 지역(한랭지/준한랭지 이남), 주택(단독/공동), 주택의 기밀성 등의 3항목을 고려해 적절한 환기 시스템을 채택하고자 하였으며, 기본적으로 다음과 같은 개념을 정립하였다.

먼저, 주택의 기밀성이 낮은 경우(상당극간면적 aA 가 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 보다 큰 경우)는 제 2종 및 제 3종 환기방식으로는 환기 경로가 확보되기 힘들기 때문에 제 1종 환기방식을 채택하며, 만일 주택의 상당극간면적이 불명한 경우는 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ 보다 크다고 가정하여 제1종 환기방식을 채택한다. 둘째로, 제 2종 환기방식은 자연배기구가 외풍의 영향을 받기 쉽고 배기 경로가 확보되기 어렵기 때문에 추천 불가능하므로 배기용 환기장치와 조합하여 제 1종 환기방식으로 전환하여 채택한다. 세 번째로 한랭지에서는 겨울 냉풍감을 막기 위해 열교환 방식을 채택한다.

이러한 개념을 바탕으로 자사의 환기 시스템을 지역별로 어떤 시스템이 가장 적합한지를 <표 2.24>와 같이 표시하고 있다.

<표 2.24> 미쓰비시사의 지역별 추천환기시스템 체계

지역	주거	기밀	제 1종(열교환)		제 1종(비열교환)		제 2종	제 3종		제 1종++
			급배기덕트 센트럴환기	개별 환기	개별분산 환기	배기덕트 센트럴환기	-	개별 환기	배기덕트 센트럴환 기	급배기덕트 + 센트럴방식 + 개별환기
온난 준한랭지	단독	aA<2	○	○	○	○	×	○	○	○
		aA>2	○	○	○	○	×	×	×	○
	공동	aA<2	○	○	○	○	×	○	○	○
한랭지	단독	aA<2	○	○	△	△	×	△	△	○
		aA>2	○	○	△	△	×	×	×	○
	공동	aA<2	○	○	△	△	×	△	△	○

○ : 추천환기시스템, △ : 난방기 병설 및 급기유닛에 결로 방지 패널 병용, × : 추천 불가능

(3) European NatVent 프로젝트에서 개발한 열회수식 자연환기 시스템

본 시스템은 European NatVent 프로젝트의 일환으로 개발된 것으로 벨기에, 덴마크, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 스위스, 영국 등 7개국 9개 사업체의 컨소시엄에 의해 운영되고 영국의 BRE(Building Research Establishment)가 조정역할을 맡았다.

환기 시스템은 자연환기 구동력으로 온도차에 의한 부력 및 풍력을 이용하도록 설계되었다. 각 기기는 압력 저하가 작게 되도록 설계되었고, 고효율의 보조팬, 정전기 공기필터, 열교환기를 갖추고 있다.

(4) 스웨덴 바코의 24시간 환기 시스템

세계에서 가장 환기관련 기술이 발달한 나라이고, 1970년대부터 주택용 중앙환기시스템을 보급시킨 스웨덴은 1992년 신환기 기준을 채택하였다. 그것은 약 25년 이상의 보급기간에서 열회수 환기 시스템에 의한 공급공기가 건강에 좋지 않은 영향을 미칠 수도 있다는 경험을 근거로 한 것이다. 따라서 스웨덴의 열회수 환기 시스템의 열교환기는 오염공기(배기)의 성분에 신선한 외기(급기)측에 옮겨가기 어려운 현열형 열교환기를 사용하도록 되었으며, 이에 부가하여 2년에 1회 정도 덕트 내부 청소를 의무화하는 법률(OVK)이 1992년에 제정되었다.

이상 살펴본 바와 같이 국외 선진국의 경우, 공동주택 세대 내에 건강한 실내 공기환경을 제공하기 위하여 기계 환기 시스템을 적극 도입하고 있으며, 효율적인 유지관리 및 제어에 관한 연구가 현재까지도 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다. 국내의 경우에도 공동주택의 실내 공기 환경에 관한 문제제기가 지속적으로 이루어지고 있으며, 이에 대한 대안마련이 시급하다는 현실을 감안할 때 추후 기계 환기시스템의 도입이 일반화될 것이므로 기계 환기시스템 도입시 보다 효율적이 환기를 위한 설계지침과 관리 방안에 관한 연구가 현 단계에서 반드시 필요함을 유추 할 수 있다.

2.4.3. 공동주택에 적용된 환기시스템의 특징 및 문제점

공동주택에 적용된 기존의 환기시스템은 특별한 경우를 제외하고 천장형 환기 시스템을 도입하고 있다. 그러나 이러한 방식은 덕트를 설치할 수 있는 200mm 이상의 천장 내부공간을 필요로 하기 때문에 2600mm 내외를 기준층고로 하는 일반 공동주택에 적용하기 어려운 단점이 있다. 천장 덕트형 환기시스템을 기존 공동주택에 적용하고자 할 때 발생할 수 있는 문제점은 <표 2.25>와 같다¹⁵⁾.

<표 2.25> 천장 덕트형 환기시스템 적용시 문제점

구분	내용
층고의 제한	*천장내부 공간 협소 -덕트 등의 공기이송 통로의 규격에 제약 발생 -장비용량, 규격 및 경로구성의 제약 발생
구조적 제한	* 벽식 RC조로 실별 구성이 이루어짐 -실간 환기경로 구성 및 환기방식 구성의 제약발생
실내마감의 제한	* 급배기용 디퓨저 설치를 위한 강도와 가공성을 가지는 마감재료 필요 * 급배기 디퓨저의 규격 및 형식에 대한 규정 필요
소음진동의 문제	*실외기의 소음진동 전달 방지를 위한 대책이 필요, 실외기의 설치 공간 등에 대한 고려 필요 *과도한 유속으로 인한 기류소음 발생 방지 필요
공간적 제한	*실외기 설치를 위한 공간의 부족 -계획단계에서의 설치공간에 대한 고려가 필요 -외부로 노출되는 급·배기구에 대한 계획이 필요
기타	*에너지 사용량에 대한 고려필요 -사용자의 인식의 전환 필요 -에너지소비량에 대한 기준설정 필요

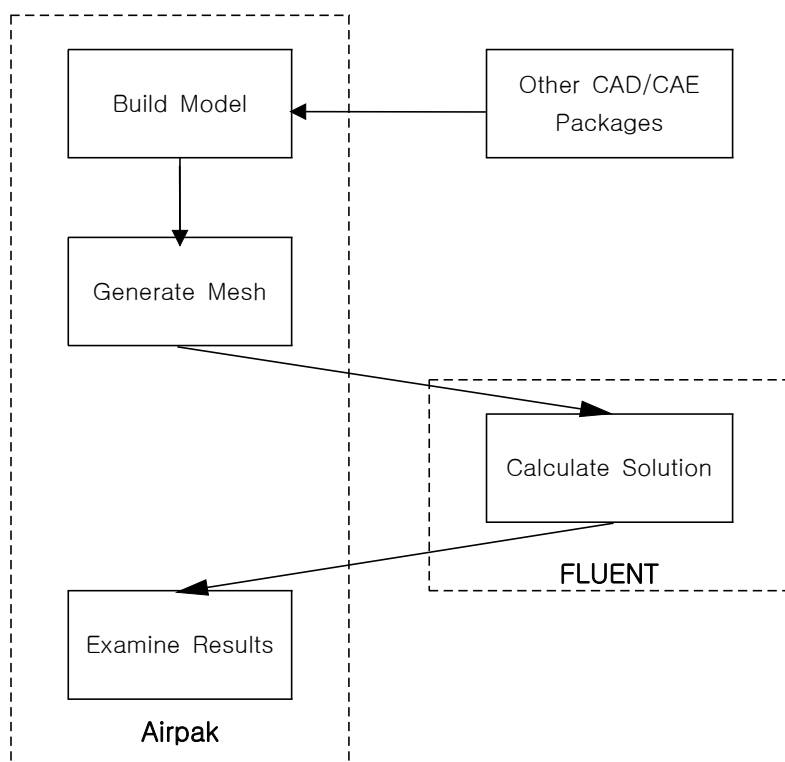
15) 홍천화 외, 공동주택의 환기최적화 방안에 관한 연구, 대림기술정보, 2003 봄호, 대림산업주식회사, pp.62-75.

제 3 장 CFD 해석 개요

3.1. 시뮬레이션 도구

본 연구에서는 국내에서 상용되고 있는 AIRPAK 2.1을 해석의 도구로 사용하였다. AIRPAK은 modeling, meshing, postprocessing 기능의 AIRPAK과 solver 기능의 FLUENT로 구성되어있다.

AIRPAK에서는 다양한 요소로 모델의 기하학적 형태를 형성할 수 있으며, 각 요소별 격자의 형성이 가능하다. 또한 격자계는 자동격자를 생성할 수도 있고, 임의의 사각형 격자, 다각형 격자 등을 사용하여 정렬, 비정렬, 혼합 격자계를 생성할 수 있다. 계산영역인 FLUENT는 이산화방법으로 유한체적법(FVM : Finite Volume Method)을 사용하고 있으며, 비압축성기류, 경미한 압축성 기류, 복잡한 물리학을 포함하는 기류에 가장 적합한 Solver로 알려져 있다. AIRPAK의 Basic Program Structure는 다음 (그림 3.1)과 같다.



(그림 3.1) Airpak의 Basic Program Structure

3.2. 시뮬레이션 대상 모델 및 경계조건

3.2.1. 시뮬레이션 대상 모델

공동주택의 경우 평형대별로 유사한 평면형태를 취하고 있고 크기 또한 비슷하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 4인가족을 기준으로 공동주택의 보급형 평형대인 30평형대를 대상으로 평면을 조사하여 거실, 거실 및 복도공간, 주방 및 거실의 평균적인 크기를 산정하였다. 30평형대 공동주택의 평면유형은 (그림 3.2), (그림 3.3)과 같다.

(1) 30평형대 공동주택의 평면유형 분석

공동주택의 단위평면은 침실, 거실, 주방, 식당, 위생설비 공간 등으로 구성되어 있다. 일반적으로 단위세대의 규모에 따라서 세대내 침실, 화장실의 개수와 배치 그리고 외기와 접하는 면의 개수, bay (거실이 배치된 쪽 기준) 등이 달라지게 되므로 이상을 분류 기준으로 삼았다.

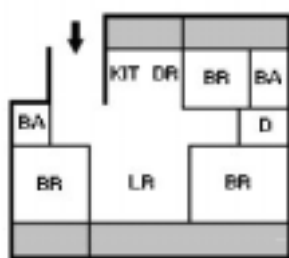
① 2-bay



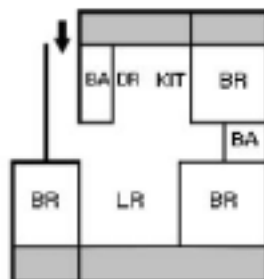
(그림 3.2) 30평형대 2-bay 공동주택의 평면유형

2bay는 다소 세장한 형태를 띄고 있는데, (a)유형은 복도형 공동주택에서 일반적으로 볼 수 있는 형태로 거실과 주침실에만 발코니가 설치되어 외기에 접하고 있는 형태이다. (b)유형은 집중형 공동주택에서 보여지는 형태로 거실 및 주침실면 뿐만이 아니라 주방 및 작은 침실에도 발코니가 설치되어있는 형태이다.

② 3-bay



(a) 3-2bay



(b) 3-3bay

(그림 3.3) 30평형대 3-bay 공동주택의 평면유형

3bay는 장방형의 형태를 띄고 있다. (a)유형은 남측면 중앙에 거실이 있고 그 좌우로 침실이 배치되어 있고 북측면에 주방, 식당, 침실이 기본적으로 배치되어 있다. 안방에 드레스룸과 부속 화장실이 연계되어 있다. (b)유형은 남측면에 두 개의 침실과 거실이 있고 그 상부에 주방, 식당, 화장실, 침실이 위치한 형태로 가장 일반적인 평면 구성을 보이고 있다.

(2) 시뮬레이션 영역의 크기

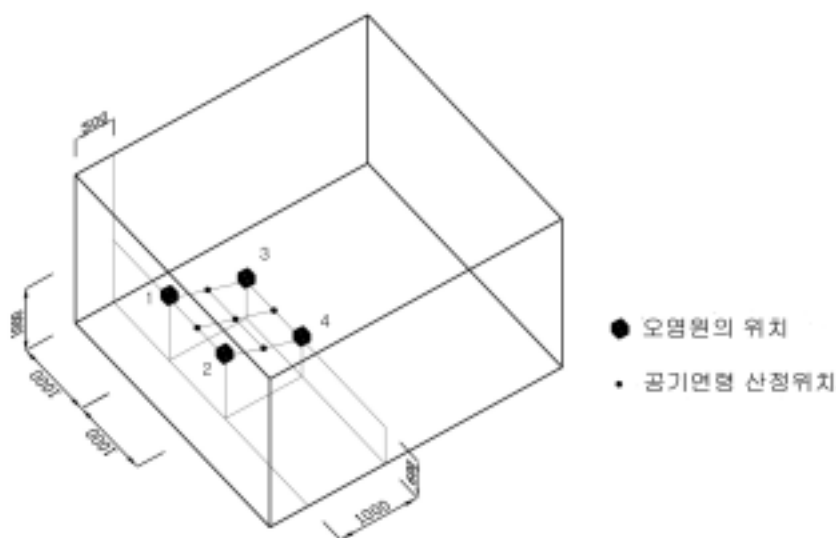
30평형대 공동주택의 평면유형별 구성공간의 크기를 분석하였다. 그 결과는 <표 3.1>과 같다. 본 연구에서는 거실부의 환기성능을 평가하고자 하므로 해석 영역의 크기는 순수거실의 평균크기를 기준으로 산정하였다. 따라서 해석 영역의 크기는 4.5m×4m로 발코니에 접하는 면의 길이가 다소 긴 장방형의 형태를 띄고 있다. 높이는 공동주택의 평균 기준층고인 2.4m로 설정하였다. 해석영역의 개략적인 형태 및 크기는 (그림 3.4)와 같다.

<표 3.1> 30평형대 공동주택의 평면유형별 구성공간의 크기

		순수 거실의 크기	거실 및 복도의 크기	주방 및 거실의 크기
30평형대	2-2 bay	4.5m×4m	—	4.5m×7m
	2-3 bay	4.5m×4m	4.5m×5.6m	4.5m×9.1m
	3-2 bay	4.5m×3.5m	4.5m×5.2m	4.5m×7.9m
	3-3 bay	4.5m×3.8m	4.5m×5.6m	4.5m×9.1m
	평균크기	4.5m×3.8m	4.5m×5.5m	4.5m×8.3m

(3) 오염원의 위치

일반적으로 공동주택의 거실부에 소파를 설치하는 경우가 대부분이므로 오염원의 위치 산정시 소파설치를 고려하였다. 오염원의 위치는 (그림 3.4)와 같다. 4인 가족을 대상으로 2명은 바닥에 착석, 2명은 소파에 착석하는 것으로 설정하였다. 가구 산업디자인 규격에 의거 소파의 평균 크기는 $2\text{m} \times 0.95\text{m} \times 0.5\text{m}$ 인 것으로 조사되었다. 소파에 착석하는 경우의 호흡선은 바닥면으로부터 1.0m 높이, 바닥면에 착석하는 경우의 호흡선은 바닥면으로부터 0.6m높이로 설정하였다. 소파는 발코니로부터 0.5m 이격하고, 거실벽면에 부착하여 설치하는 것으로 간주하였다. 오염원1의 위치는 소파 착석을 고려하여 발코니로부터 1.0m, 벽면으로부터 0.5m 이격하여 착석한 것으로 간주하였고, 이를 기준으로 내측으로 1m이격하여 오염원2를 배치하였다. 오염원3·4는 오염원 1·2로부터 1m 이격하여 배치하였다.



(그림 3.4) 해석공간의 크기, 오염원 및 공기연령 산정 위치

(4) 국소평균연령 산정 위치

앞서 언급한바와 같이 본 연구에서의 환기는 인체의 호흡으로 인하여 생성되는 오염물질 제거를 목적으로 하므로 급기효율로서 환기효율을 산정하고자한다. 공기연령은 AIRPAK 2.1에서 기본적으로 제공하는 값을 사용하였다. 국소평균연령은 4개의 오염원이 1m의 거리를 두고 이격하고 있으므로 오염원간 중점 4곳

과 오염원의 중심위치의 값을 평균하여 산정하였다. 국소평균연령 산정위치는 (그림 3.4)와 같다.

(5) 오염물질 발생량 및 환기량 산정 근거

공동주택의 주요 실내오염인자는 크게 인체의 활동과 건축자재로 구분될 수 있다. 공동주택에서 사용되는 각종 마감재, 단열제, 접착제, 목재 등의 건축자재에서는 주로 포름알데히드와 휘발성유기화합물이 방출되는 것으로 알려져있다. 신축 및 기존공동주택을 대상으로 동절기 난방조건(실내평균온도 27.5℃, 상대습도 27%)에서 실내공기환경에 대한 현장실측을 수행한 결과 신축공동주택 거실에서의 평균 포름알데히드(HCHO) 농도는 약 1200ppb, 휘발성유기화합물질(VOCs) 농도분포는 TVOC로 나타낼 경우 460~8000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 평균농도는 약 5600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 분석되었다. 반면에 7년 경과된 기존 공동주택 거실에서의 평균 포름알데히드(HCHO) 농도는 약 21.5ppb, 휘발성유기화합물질(VOCs) 농도분포는 TVOC로 나타낼 경우 11~42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 평균농도는 약 21.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 분석되었다¹⁶⁾. 포름알데히드와 휘발성유기화합물질에 대한 국외의 실내 환경기준은 <표 3.2>와 같다.

<표 3.2> 국외의 포름알데히드 및 VOCs 기준

	포름알데히드(HCHO)	휘발성유기화합물(VOC's)
실내 환경 기준	100 ppb(ASHRAE) 80 ppb(WHO Europe)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NHMRC*1993) 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NHD**1990)

신축공동주택 거실에서의 포름알데히드 및 휘발성유기화합물의 농도는 기준치를 상회하는 것으로 나타났으나, 신축한지 7년이 경과된 공동주택의 경우 상당량 감소하여 채실자의 건강상 위해를 주지 않는 것으로 판단되어진다. 즉, 실내의 마감재로부터 발생하는 오염물질은 발생량이 일정하고 일정 시간의 경과 및 환기에 의해 제거가 가능할 것으로 판단되어진다.

실내 인테리어 시공이 이루어지지 않는 조건하에서 기존 공동주택의 실내공기 환경에 영향을 주는 인자는 조리 및 인체의 활동과정에서 지속적으로 발생되는 오염물질이라고 볼 수 있다. 조리시 발생하는 오염물질은 그 발생량이 매우 큰

16) 이언구, 박진철 외, 건물(아파트, 오피스텔)에서의 실내공기오염물질 방출 저감방안에 관한 연구, 중앙대학교 미래신기술연구소 보고서, 2003.

특성을 보이거나 일반적으로 조리기구 상단에 배기후드가 장착되어있어 조리시 발생하는 오염물질을 제거하도록 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 실내에서 발생하는 오염물질의 발생원 및 발생량으로 인체의 호흡에 의해서 발생하는 CO₂ 가스의 제거를 환기계획의 주목표로 삼고자한다.

공동주택에 있어서 인체에서 발생하는 CO₂가스량¹⁷⁾은 인체의 활동상태, 거주자의 인원 등에 따라 달라진다. 일반적으로 주택의 거실에서는 안정을 취하거나 극경작업만을 수행하는 경우가 대부분이므로 본 연구에서는 1인당 인체에서의 CO₂가스 발생량으로 안정시의 발생량 0.0132m³/인h와 극경작업시의 평균발생량 0.0187m³/인h의 평균발생량인 0.01595m³/인h를 적용하였으며, 이를 4인 가족으로 환산하였다.

<표 3.3> 작업정도별 CO₂ 발생량

작업정도	CO ₂ 발생량(m ³ /인h)
안정시	0.0132
극경작업	0.0132~0.0242
경작업	0.0242~0.0352
보통작업	0.0352~0.0572
중작업	0.0572~0.902

공동주택 거실부에서의 인체 호흡에 의한 CO₂가스 발생량

$$: 0.01595\text{m}^3/\text{인h} \times 4\text{인} = 0.0638\text{m}^3/\text{h}$$

필요 환기량 산정식은 <식 3.1>과 같다.

$$Q \geq \frac{M}{C_p - C_o} \quad \text{<식 3.1>}$$

여기서, Q : 필요 환기량

M : 오염물질 발생량

C_p : 유지하고자하는 실내 농도

C_o : 도입외기 중의 오염물질 농도

17) 신치웅, 공기조화설비, 기문당, 2002, p.476.

인체의 호흡에 따른 CO₂ 가스발생량과 법규에서 제한하고 있는 CO₂ 가스 실내 기준치1000ppm, 외기 CO₂ 농도 400ppm을 토대로 각 실별 필요환기량을 산정하였다. 그 산정과정은 아래의 <식 3.2>와 같다.

$$\text{대상 공간의 필요환기량} = \frac{0.0638}{0.001 - 0.0004} = 106.3\text{m}^3/\text{h} \quad \text{<식 3.2>}$$

따라서 본 연구에서는 필요환기량을 100CMH로 설정하였다.

3.2.2. 시뮬레이션 경계조건

시뮬레이션 도구로는 앞에서 언급한 상용프로그램인 AIRPAK2.1을 사용하였으며 이때, 입력경계조건은 다음과 같다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 환기급배기구의 이격거리 및 형상의 변화에 따른 환기성능 및 실내의 기류분포를 알아보고자 하였으며, 온도에 대한 고려는 배제하였다. AIRPAK 2.1 해석을 위한 주요입력 변수값은 <표 3.4>와 같다.

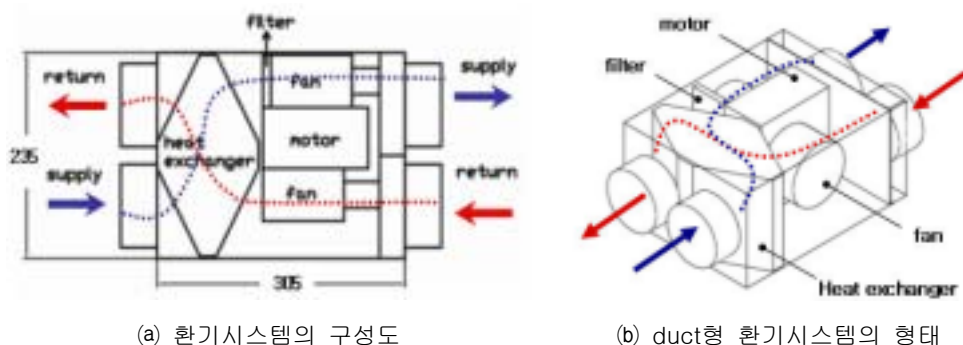
<표 3.4> AIRPAK 2.1 계산을 위한 주요입력 변수 값

변수	설명	입력된 변수 값
Time variation		정상상태
Domain	모델규모	4×4.5×2.4
number of nodes		13548
number of element		11710
Solution Variables	계산 변수	속도, 압력
Relaxation Control	Relaxation 값	속도=0.1 압력=0.1
Convergence Criterion	계산시 실험 오차율	0.1% (단, 에너지=1e ⁻⁶)
Total number of Iterations	계산 반복 횟수	3000회
Flow regime	난류해석모델	RNG K-ε model
Ambient Fluid	유체 종류	21℃ 공기
Species	오염물질	CO ₂
Inlet flow rate	유입 기류 풍량	100CMH
Inlet fluid temperature	유입 유체 온도	12℃
Inlet flow direction	유입 기류 풍향	x축의 +방향 유입각도=0°

3.3. 시뮬레이션 대상 환기시스템의 개념

실내공기환경개선을 위해서 기존 공동주택의 구조변경 및 형태변경을 최소화하는 범위 내에서 적용 가능한 환기시스템을 제안하고자한다. 따라서 본 연구에서는 상용되어지고 있는 컴팩트한 환기시스템을 모델로 삼았다. 환기시스템의 구조는 (그림 3.5)의 (a)와 같이 다이아몬드형 열교환기, 필터, 팬, 모터, 급·배기 덕트 등으로 구성되어있다. 환기시스템의 크기는 $0.3\text{m} \times 0.155\text{m} \times 0.235\text{m}$ 의 컴팩트한 형태를 띄고 있다.

제안된 환기시스템은 엄밀히 말하면 벽면 설치형 환기시스템의 일종으로 환기시스템 본체는 발코니 상부 또는 에어컨 실외기가 설치되어있는 곳에 함께 배치하는 것으로 계획하였다. 환기시스템은 실내로부터 급·배기구까지 덕트가 사용되는 duct형으로 가정하였고 개략적인 형태는 (그림 3.5)의 (b)와 같다.



(그림 3.5) 환기시스템의 구성도 및 개략적인 형태

환기시스템의 설치 위치를 살펴보면 환기시스템 본체는 발코니 상부 또는 에어컨 실외기가 설치되어있는 곳에 함께 배치하는 것을 기본으로 한다. 공동주택에 적용되는 환기시스템 설치개요는 (그림 3.6)과 같다.



(1) 발코니 상부 설치시



(2) 실외기 부근 설치시

(그림 3.6) 공동주택에 적용되는 환기시스템의 설치 개요

3.4. 해석변수

해석 대상 모델에 있어서 실내 오염물질 및 기류분포에 영향을 미치는 변수는 실내오염물질 발생원, 환기시스템의 급배기위치, 급배기구의 형상 등으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션 해석 변수로 duct형의 경우 급배기구의 이격거리 및 설치위치, 급배기구의 형상에 대해서, unit형의 경우 급·배기구 사이의 각도 및 환기장치의 설치위치에 대해서 설정하였다. 본 연구에서 분류한 환기시스템의 형태별 해석변수는 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 해석 변수

	인자		변수	비고
duct형	급·배기구 형상	급기구	round diffuser	case 1
		배기구	round diffuser	
		급기구	slot형 diffuser	case 2
		배기구	round diffuser	
	급배기구의 이격거리		[그림 3.6] 참고	

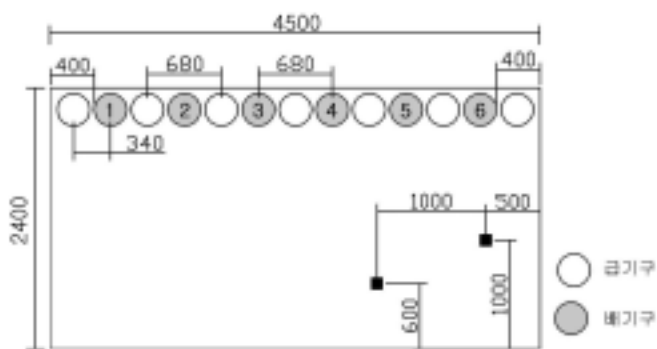
급·배기 디퓨저의 형상은 일반적으로 도용되고 있는 round diffuser와 미관을 고려하여 실내로의 설치형상 노출을 최소화할 수 있는 slot형 diffuser를 선정하였다. 급·배기 디퓨저의 형상별 크기는 한국 산업규격 KSB6386에 의거하여 크기를 설정하였다. slot형 diffuser의 크기는 1m×0.05m, 원형 디퓨저의 반지름은 0.15m로 설정하였다. 본 연구에서 적용한 급·배기구의 형상 및 크기, 그에 따

른 토출풍속은 <표3.6>과 같다.

<표 3.6> 급배기구의 형상 크기 및 100CMH 일 때 토출풍속

종류	크기	100CMH일 때의 토출 풍속	형상
slot형 diffuser	1×0.05m	0.56 m/s	
round diffuser	r=0.15m	0.39 m/s	

본 연구에서는 급·배기구의 형상이 모두 round diffuser인 case 1의 경우 배기구의 위치를 고정시키고 배기구 사이에 급기구를 배치하는 형식을 취하여 배기구와 급기구의 상대적 위치 및 오염원으로부터의 거리 등을 복합적으로 고려하여 환기성능을 분석하고자 하였다. 급·배기구의 형상이 모두 round diffuser인 case 1의 경우 급·배기구의 배치개요는 (그림 3.7)과 같다.

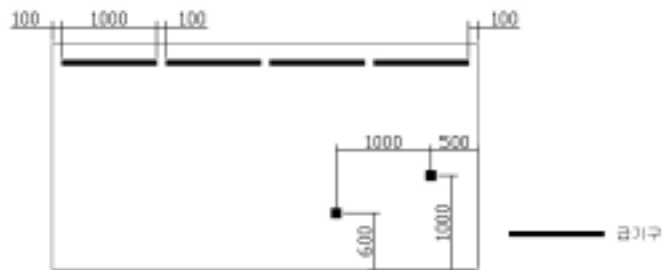


(그림 3.7) case1의 경우 급·배기구 배치개요도

대상실의 폭(4.5m)과 급배기구의 직경(0.3m), 급배기구의 인접 시공성 등을 고려하여 급·배기구 설치 위치를 격자로 설정하고 격자 중심에 round diffuser를 배치하였다. 격자크기는 0.34m로 급배기구의 인접 시공시 급·배기구 사이에

0.08m의 순수이격거리를 확보할 수 있도록 하였다.

급기구의 형상은 slot diffuser, 배기구의 형상은 round diffuser인 case 2의 경우 급기구의 배치개요는 (그림 3.8)과 같다. 배기구는 급기구의 단부로부터 round diffuser의 중심까지의 이격거리를 1m간격으로 이격하여 설치하였다.



(그림 3.8) case 2의 경우 급기구의 배치개요도

제 4 장 CFD 해석결과

30평형대 공동주택의 거실을 대상으로 인체의 호흡으로 인해 생성된 오염물질의 효율적인 제거를 위하여 앞에서 언급한 것과 같이 거실발코니접합부에 환기시스템 설치를 전제하여 시뮬레이션을 실시한 결과는 다음과 같다. 환기효율과 CO₂ 농도는 오염원근처 5곳의 평균값인 국소 값과 실전체 평균값을 비교하였다. LMA는 국소평균연령을 의미하고, <LMA>는 실전체 평균연령을 의미한다.

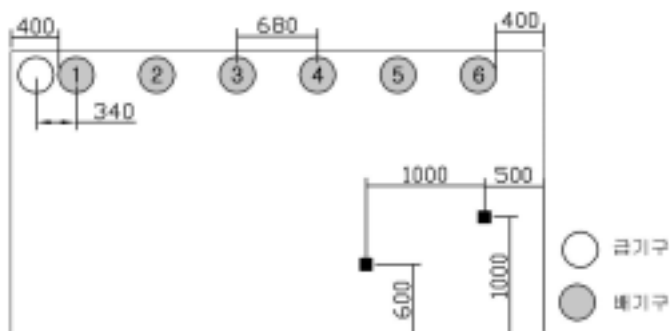
본 장에서는 환기시스템의 급·배기구 설치 위치에 따른 환기효율과 실내 CO₂ 농도 분포 및 실내기류의 특성을 분석하였다.

4.1. case 1 (급·배기구의 형상 : round diffuser)

급·배기구에 일반적으로 도용되고 있는 round diffuser를 사용했을 때, 급기구의 설치위치별 배기구의 이격거리에 따른 환기효율을 분석하였다. 배기구의 위치를 고정시키고 배기구 사이에 급기구를 설치하여 전체적인 급·배기구 설치에 따른 CO₂ 농도 분포·환기효율 분석 및 실내기류분포 특성 확인이 가능하도록 계획하였다.

(1) 급기구의 위치가 supply-1 일 때

급기구 supply-1을 벽면으로부터 0.21m이격하여 설치하였을 때 배기구의 배치도는 (그림 4.1)과 같다. 이때 급·배기구의 수직적 설치 위치는 바닥면으로부터 2.2m 높이에 설치하였다. 급기구 중심으로부터 0.34m 이격하여 배기구 return-1을 설치하고 배기구 return-2~return-6는 return-1을 기준으로 0.68m의 이격거리를 갖는다.



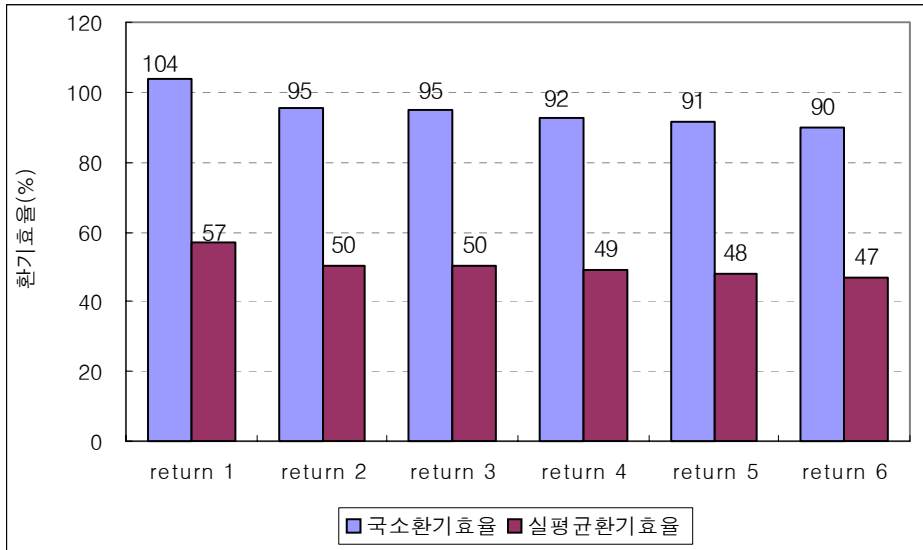
(그림 4.1) 급기구의 위치가 supply 1일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구의 위치별 국소 및 실평균 공기연령과 환기효율은 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA (분)	26.05	27.31	27.56	27.85	28.07	28.66
국소 급기효율 (%)	99	94	94	93	92	90
<LMA> (분)	22.86	25.99	26.06	26.44	26.78	27.45
실평균 환기효율 (%)	57	50	50	49	48	47

이 경우 배기구의 위치별로 국소평균연령(LMA)은 26분에서 약29분의 분포를 나타내고 있고, 국소급기효율은 90~99%의 분포를 보이고 있다. 실평균연령(<LMA>)은 배기구의 위치별로 23분에서 28분의 분포를 나타내고 있고, 실평균 환기효율은 47~57%의 분포를 보이고 있다. 환기효율은 전반적으로 국소환기효율이 좋은 경우에 실 평균 환기효율도 우수한 것으로 나타났다.



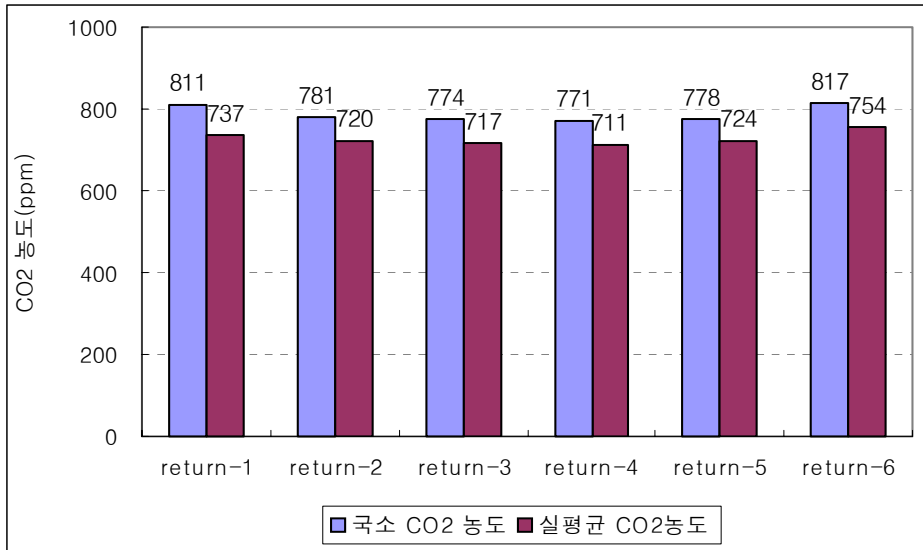
(그림 4.2) 급기구의 위치가 supply-1일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

환기효율적인 측면을 살펴보면 배기구가 급기구와 인접하여 설치된 return-1의 환기효율이 가장 높고, 급기구로부터 멀리 떨어질수록 환기효율이 저하되는 것으로 나타났다.

<표 4.2> 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	811	781	774	771	778	817
실평균 CO ₂ 농도	737	720	717	711	724	754

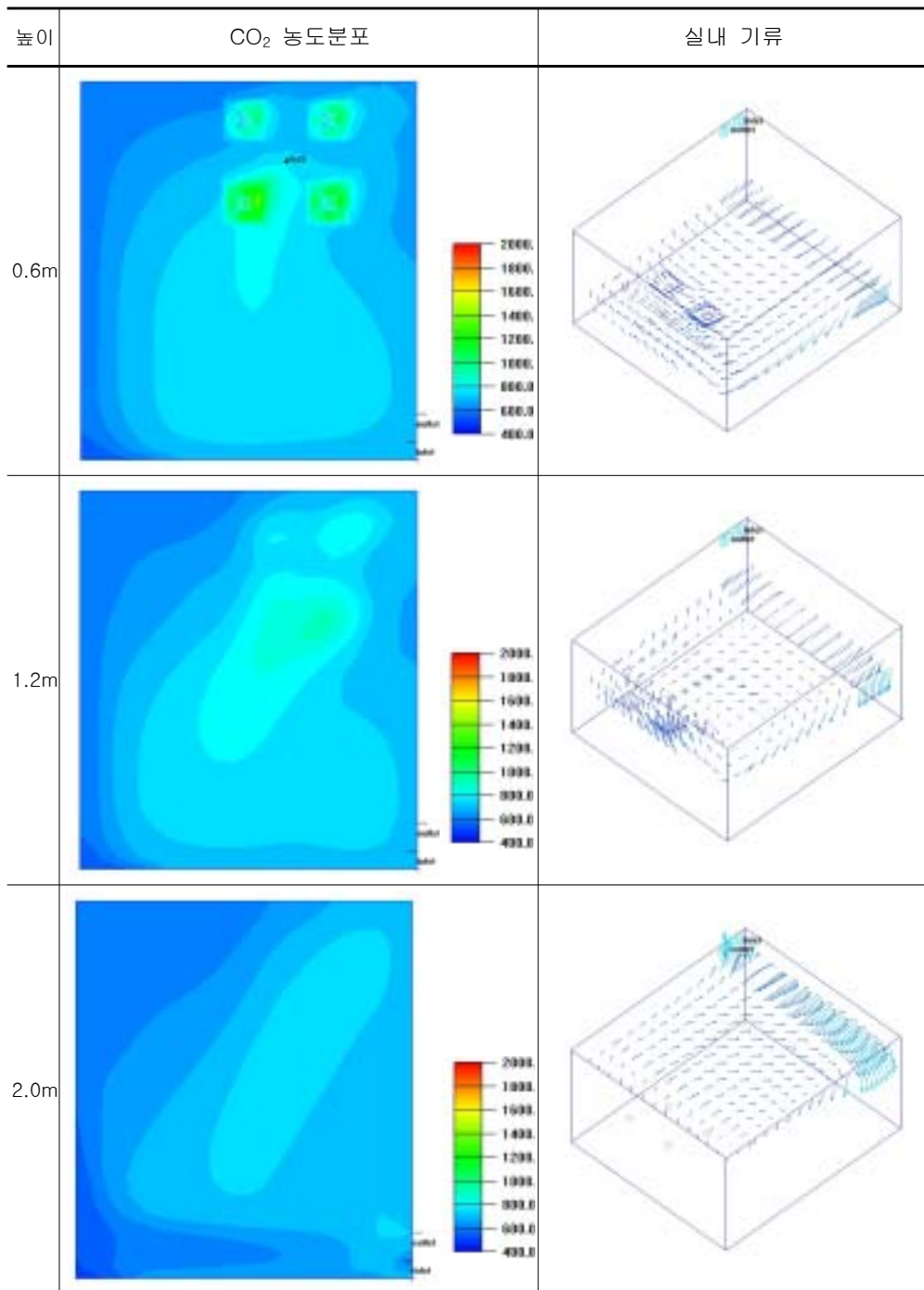
앞에서 분석된 환기효율에 의하면 배기구의 위치가 return-1일 때, 국소 및 실평균 CO₂농도가 가장 낮을 것으로 예상되었으나, 시뮬레이션 결과 급기구로부터 2.38m 이격된 return-4에서의 CO₂농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 배기구가 오염원가까이에 설치되어 오염물질이 효과적으로 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.



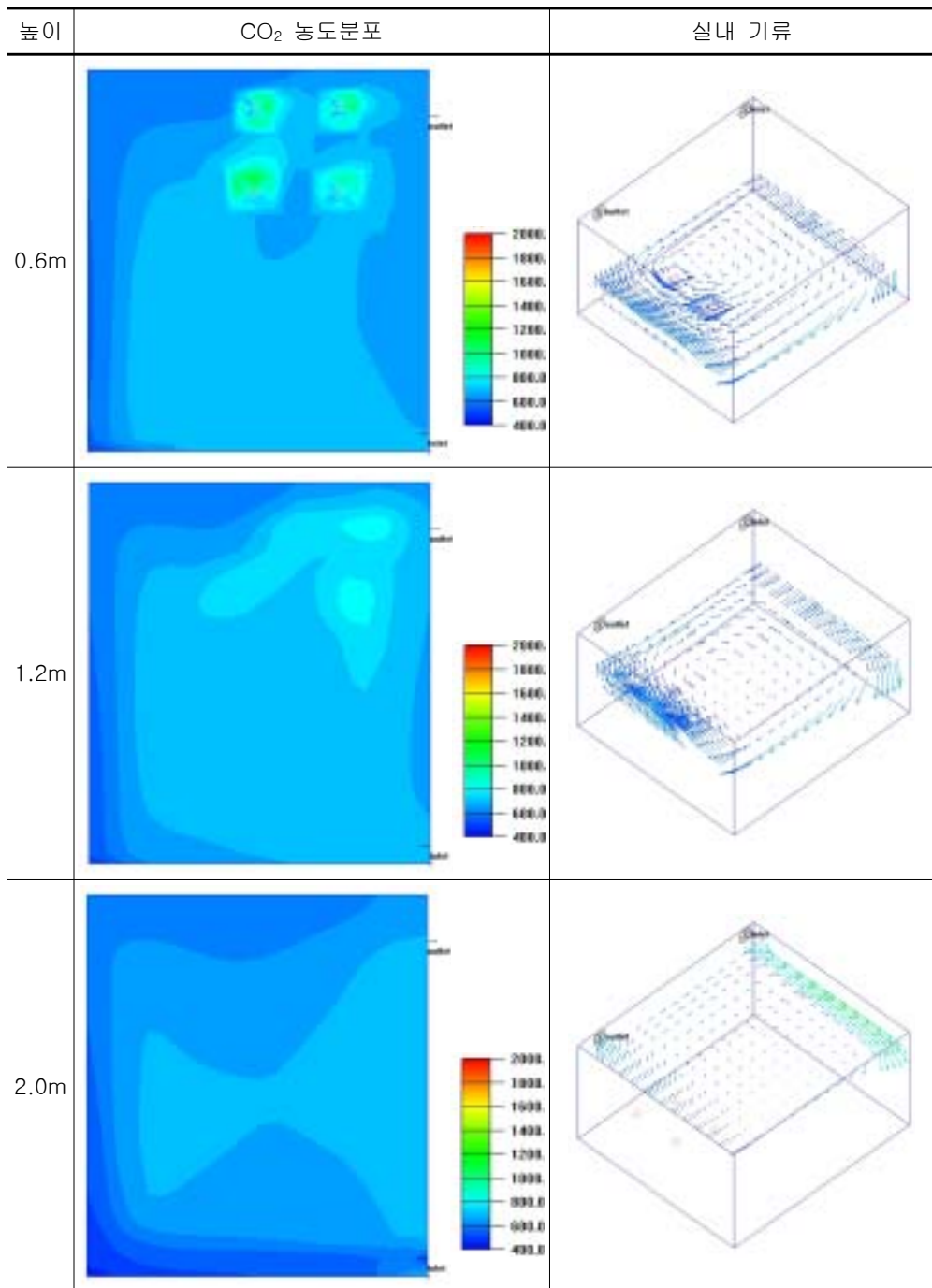
(그림 4.3) 급기구의 위치가 supply-1일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

그러나 급기구의 위치가 supply-1인 경우 시뮬레이션 결과를 살펴보면 급기구의 설치위치가 벽면에 인접하여 설치되었기 때문에 급기되는 공기가 벽체를 타고 흘러 들어가 급기류의 성능을 발현하지 못했고 해석상의 한계로 인하여 배기구의 위치가 오염원으로부터 멀리 떨어져 위치하는 경우의 환기효율이 좋은 것으로 나타난 것으로 판단된다.

즉, 급기구를 벽체에 너무 가까이 설치하게 되면 환기장치의 성능발현이 어려워 지게 되므로 벽체로부터 적절히 이격하여 설치해야 될 것으로 판단된다. 또한 실측을 통한 확인작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다.



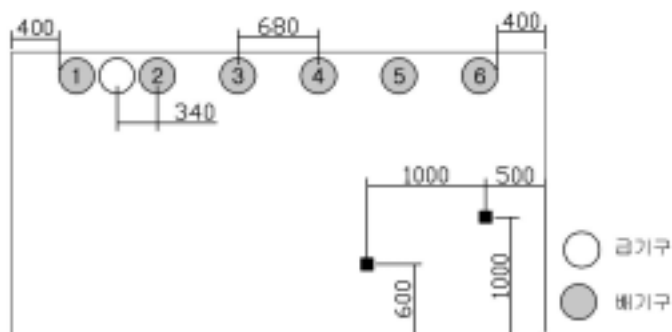
(그림 4.4) supply-1 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.5) supply-1 / return-6일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(2) 급기구의 위치가 supply-2 일 때

급기구 supply-2는 벽면으로부터 0.89m이격하여 설치되었고 착석 오염원으로부터 약 2m이격되었다. 급배기구의 배치도는 (그림 4.6)과 같다.



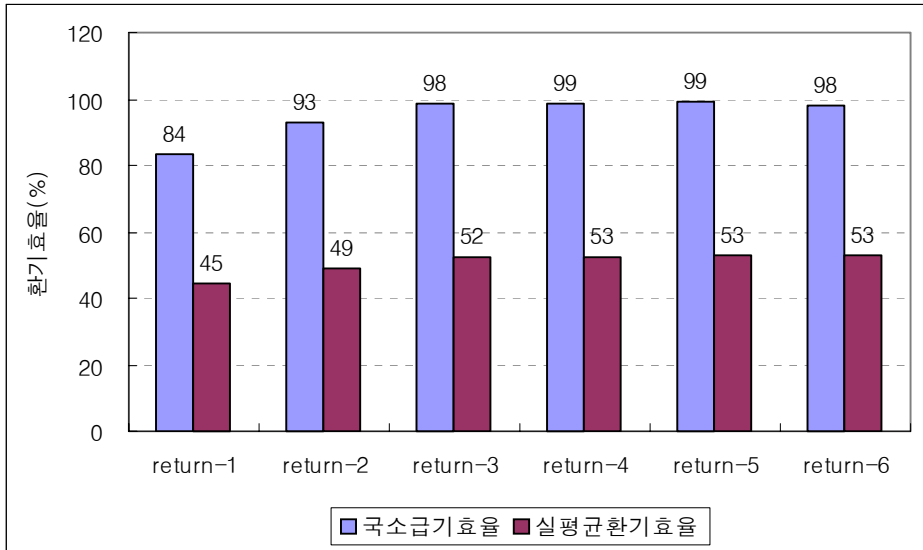
(그림 4.6) 급기구의 위치가 supply 2일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-2일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 평균연령과 환기효율은 <표4.3>과 같다.

<표 4.3> 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	31.00	27.81	26.36	26.28	26.12	26.49
국소 급기효율 (%)	84	93	98	99	99	98
<LMA>(분)	29.10	26.51	24.69	24.67	24.43	24.57
실평균 환기효율 (%)	45	49	52	53	53	53

국소평균연령은 26분~35분 정도이고, 국소 급기효율은 배기구의 위치에 따라서 84%~99%의 분포를 보이고 있다. 실평균 연령은 25분~약 30분 정도이고, 실평균 환기효율은 배기구의 위치별로 45%~53%의 분포를 보이고 있다.



(그림 4.7) 급기구의 위치가 supply-2일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균환기효율

급기구와 인접해서 설치된 return-1과 return-2에서의 환기효율은 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 급·배기구의 인접설치로 인한 단락과 배기구의 위치가 오염원으로부터 멀리 이격되어 환기효율이 저조한 것으로 판단된다.

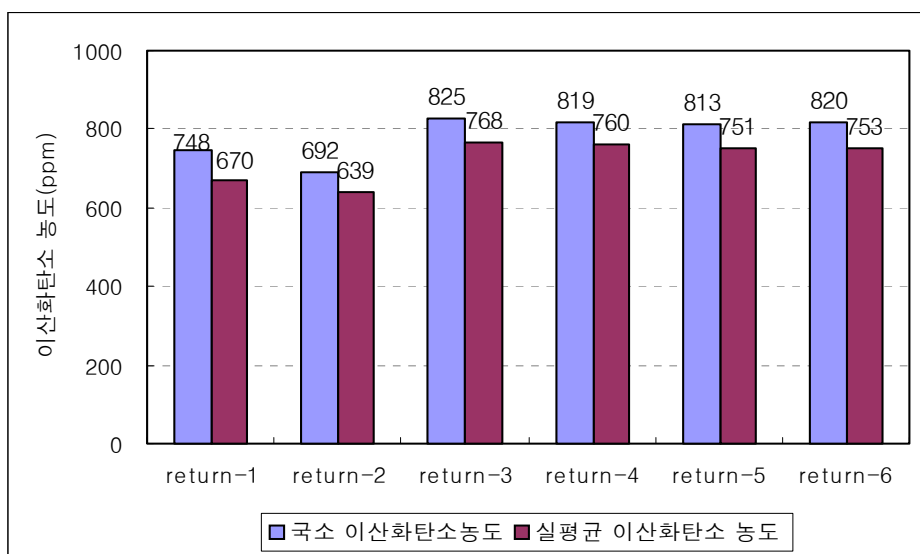
배기구 return-3은 급기구로부터 1.02m이격되어있고, 오염원으로부터 0.94m이격되어있다. 환기효율이 개선되는 위치로 국소 급기효율은 98%, 실평균 환기효율은 52%로 나타났다. 급기구와 오염원으로부터 각각 1m 정도 이격되어 양호한 환기효율을 나타낸 것으로 판단된다.

배기구 return-5는 급기구로부터 2.38m 이격되어있고, 바닥착석 오염원과 소파착석 오염원 중간에 설치되었다. 이때 국소 급기효율 및 실평균 환기효율이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 배기구가 오염원 중간에 위치하여 오염물질을 단시간내에 배출시켜 환기효율이 우수한 것으로 판단된다.

급기구의 위치가 supply-2일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도는 <표 4.4>와 같다. 대체적으로 양호한 환기효율을 보이고 있어 국소 CO₂농도는 약690~825ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂ 농도는 약 640~770ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.4> 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	748	692	825	819	813	820
실평균 CO ₂ 농도	670	639	768	760	751	753



(그림 4.8) 급기구의 위치가 supply-2 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

급기구와 인접해서 설치된 return-1과 return-2의 경우 앞에서 살펴본 바와 같이 환기효율은 가장 나쁘지만 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 단락이 일어난 경우 CO₂ 농도 분석은 해석의 한계로 인하여 명확하지 않은 것으로 판단된다.

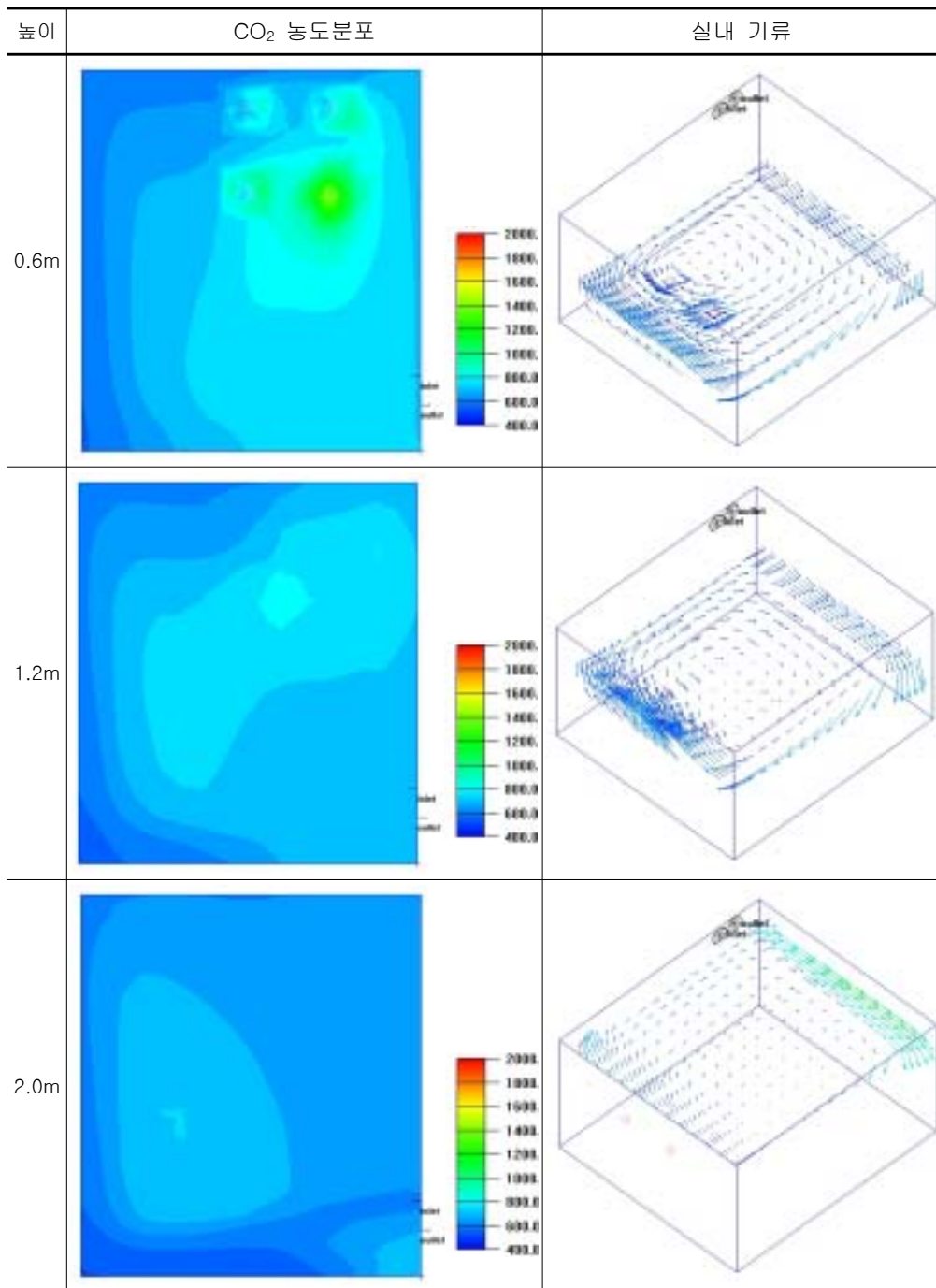
환기효율이 가장 우수한 배기구 return-5에서 CO₂ 농도 역시 가장 낮게 나타났다. 이때의 국소 CO₂ 농도는 813ppm, 실평균 CO₂ 농도는 751ppm인 것으로 나타났다.

배기구의 위치가 return-1일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.9)와 같다. 오염원과 2.5m이상 이격되고 급기구가 오염원측으로 설치된 return-1의 경우, 단락과 함께 급기류의 형성이 이루어지는 반면에 배기류는 벽면을 타고 약하게 형성되어 환기효율이 저조한 것으로 판단된다. (그림 4.9)에 나타난 것과 같이 급기에 의해 실 전체의 공기가 단순히 회전하는 형태를 띄고 있다.

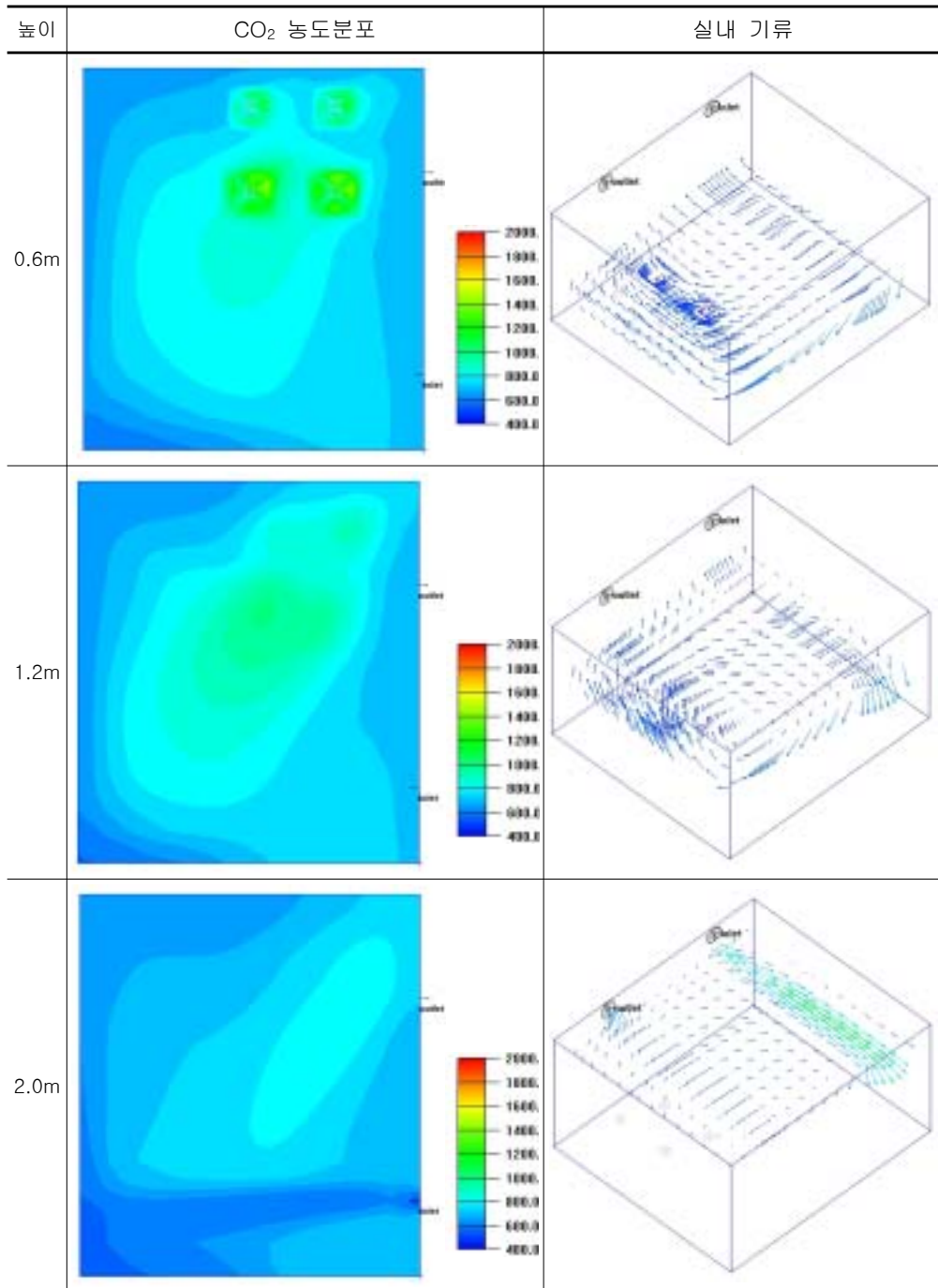
배기구의 위치가 return-5일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.10)과 같다. 오염원 중간에 위치한 return-5의 경우, 12℃의 차가운 공기가 상부에서 수평방향으로 급기되어 일정거리에 이르러 기류의 방향이 하부로 전환되고, 배기구에 의해 오염원측으로 당겨지는 기류가 생성되어 다른 위치보다 환기효율이 우수한 것으로 판단된다.

배기구 return-3~return-6의 경우 환기효율에 있어서 그 차이가 오차범위 내에 있다고 볼 수 있으므로 실제로 급기구를 supply-2에 설치할 때는 환기시스템으로부터 급·배기구까지의 덕트 길이를 최소화 할 수 있는 return-3에 배기구를 설치하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단된다.

즉, 급배기구의 이격거리는 약 1m로 유지하고 , 배기구는 오염원으로부터 약 2.0m 이격하여 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



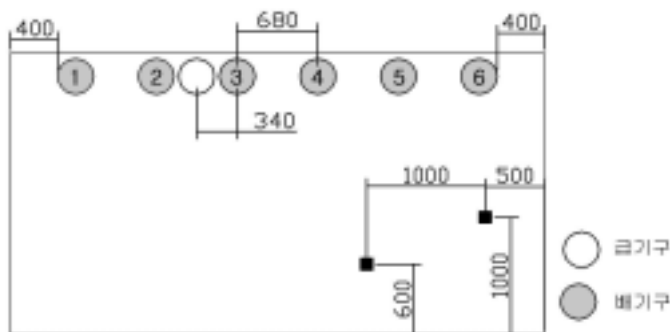
(그림 4.9) supply-2 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.10) supply-2 / return-5일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(3) 급기구의 위치가 supply-3 일 때

급기구 supply-3은 벽면으로부터 1.57m 이격되어 있고 바닥착석 오염원으로부터는 1.43m 이격되어 있다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.11)과 같다.



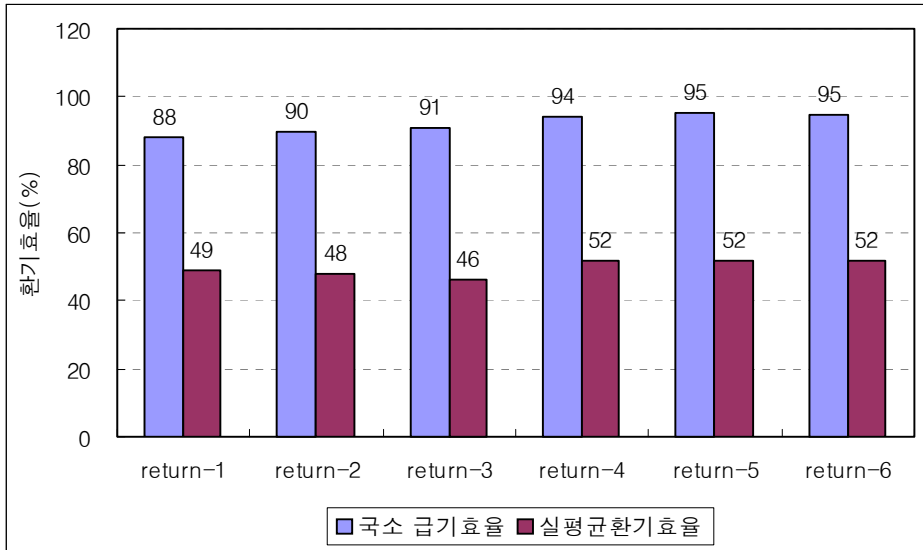
(그림 4.11) 급기구의 위치가 supply-3일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-3일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 평균연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.5>와 같다.

<표 4.5> 급기구의 위치가 supply 3일 때 배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	29.47	28.83	28.60	27.54	27.15	27.37
국소 급기효율 (%)	88	90	91	94	95	95
<LMA>(분)	26.71	26.92	28.54	25.24	25.03	25.08
실평균 환기효율 (%)	49	48	46	52	52	52

급기구의 위치가 supply-3일 때 국소평균연령(LMA)은 28분~30분 정도이고, 국소 급기효율은 88%~95%의 환기효율을 보여 배기구의 위치별로 10% 이내의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 25분~29분 정도 이고, 실평균 환기효율은 46~52%의 분포를 보여 배기구의 위치별로 약 5% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.12) 급기구의 위치가 supply-3일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균환기효율

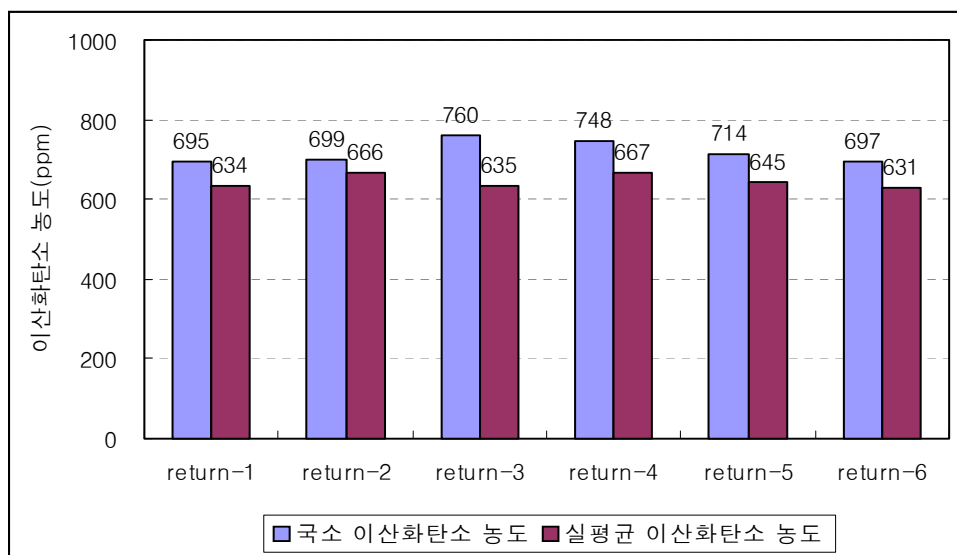
급기구 supply-3은 오염원으로부터 1.43m 이격되었고, 실 중앙부에 설치되었다. 이때 오염원으로부터 2.43m 이격된 return 1의 경우 국소 급기효율이 가장 낮은 것으로 나타났고 실평균 환기효율은 49%로 return-2와 return-3보다는 양호한 것으로 나타났다. 국소 급기효율은 배기구의 위치가 오염원으로부터 가장 멀리 이격되어 있어 신선외기가 공급되는데 있어 시간이 지체되었기 때문에 가장 낮게 나타난 것으로 판단된다.

급기구 바로 옆에 배치된 return-2와 return-3의 경우 급·배기구가 인접해있어 단락이 일어나 오염물질을 효과적으로 제거하지 못하여 가장 낮은 환기효율을 보인 것으로 판단된다. 오염원과의 이격거리가 0.5m이내인 return 4~6의 경우 94~98%의 국소 급기효율을 보이고 있고, 실평균 환기효율은 52%를 보이고 있는데 이중에서 가장 양호한 환기효율을 보이고 있는 것은 return-5이다. 배기구 return-5는 급기구로부터 1.7m 이격되었고 오염원 상부에 설치되었다. 이때 국소 급기효율은 95%, 실평균 환기효율은 52%로 환기효율이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 급·배기구사이에 적정 이격거리를 유지하여 기류가 원활하게 형성되었고, 배기구가 오염원 상부에 설치되어 오염물질이 효과적으로 배출되어 환기효율이 우수한 것으로 판단된다.

급기구의 위치가 supply-3일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도는 <표 4.6>과 같다. 국소 CO₂농도는 약 690~760ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂ 농도는 약 630~670ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.6> 급기구의 위치가 supply 3일 때 배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	695	699	760	748	714	697
실평균 CO ₂ 농도	634	666	635	667	645	631



(그림 4.13) 급기구의 위치가 supply-3 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

급기구와 인접해서 설치된 return-3의 경우 앞에서 살펴본 바와 같이 환기효율은 가장 나쁜 것으로 나타났으나 CO₂ 농도는 낮게 나타났다. 이는 단락이 일어난 경우로서 해석상의 한계로 인하여 CO₂ 분석이 명확하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

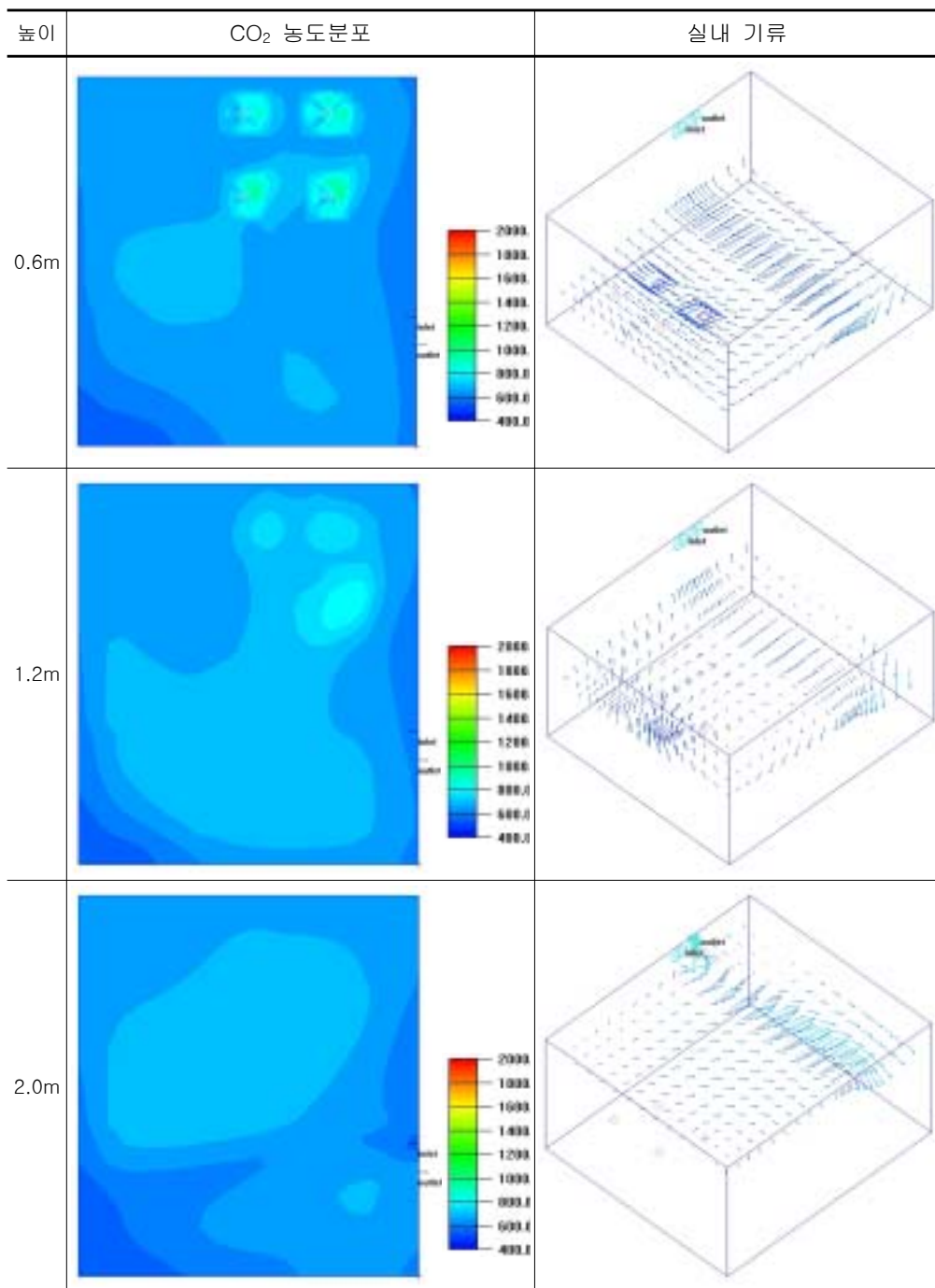
환기효율이 가장 우수한 것으로 나타난 return-5보다 return-6에서 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 더 낮게 나타났다. 이는 배기구가 오염원 상부 코너부분에 설치되어 급기 된 공기에 의해 벽쪽으로 밀린 오염물질이 보다 효과적으로 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

배기구의 위치가 return-3일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.14)와 같다. 그림에서 보여지는 바와 같이 신선외기가 하강기류를 형성하면서 실 깊숙이 공급되고 거주역에서 오염원을 거쳐 온도가 상승하여 상승기류를 형성하면서 배기구로 유인이 되어지나 상대적으로 배기구까지 도달하는 시간이 길어지는 만큼 오염물질이 실내에 광범위하게 정체되어 원활하게 제거되지 못하고 있는 것으로 판단된다.

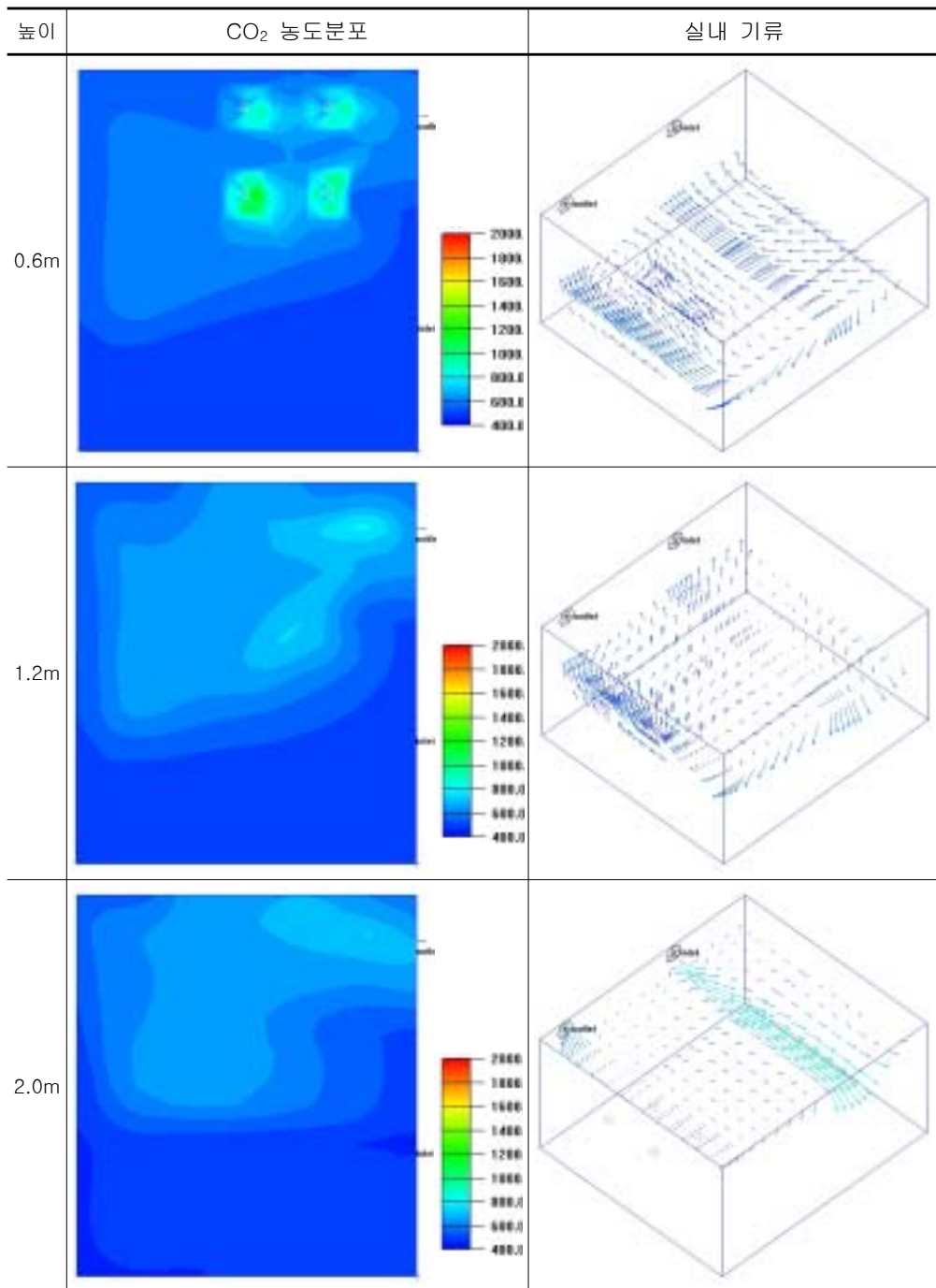
배기구의 위치가 return-6일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.15)와 같다. 그림에서 보여지는 것과 같이 급·배기구가 적정이격거리를 유지하면서 신선한 공기를 실내로 급기하고 오염원 근처에 설치된 배기구로 자연스럽게 오염된 공기가 배출되어 우수한 환기효율을 보이는 것으로 판단된다

급기구를 supply-3의 위치에 설치할 경우 return-4~return-6에서의 환기효율 및 CO₂ 농도 분포는 오차범위 내에 있다고 볼 수 있으므로 급기구를 supply-3에 설치할 때는 환기시스템으로부터의 덕트 길이를 최소화하면서 우수한 환기효율을 확보할 수 있는 return-4에 설치하는 것이 가장 효과적이다. 이때, return-4의 위치는 오염원과의 이격거리가 0.5m이내이고 급기구로부터 1.02m 이격되어있다.

즉, 급기구를 supply-3에 설치할 경우 급배기구의 이격거리는 1.02m로 유지하고, 배기구는 오염원으로부터 0.5m이하 이격하여 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



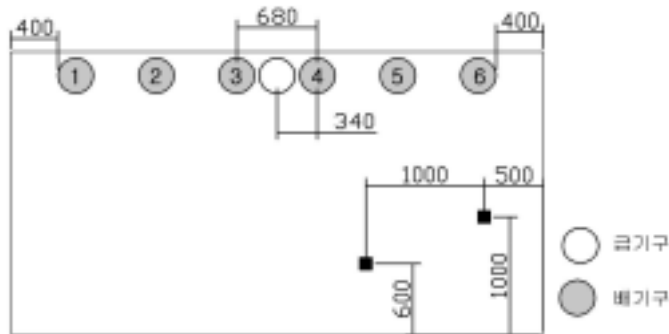
(그림 4.14) supply-3 / return-2일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.15) supply-3 / return-6일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(4) 급기구의 위치가 supply-4 일 때

급기구 supply-4는 벽면으로부터 2.25m 이격되어 있고 바닥착석 오염원으로 부터 0.75m 이격된 상태로 실 중앙에 설치되었다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.16)과 같다.



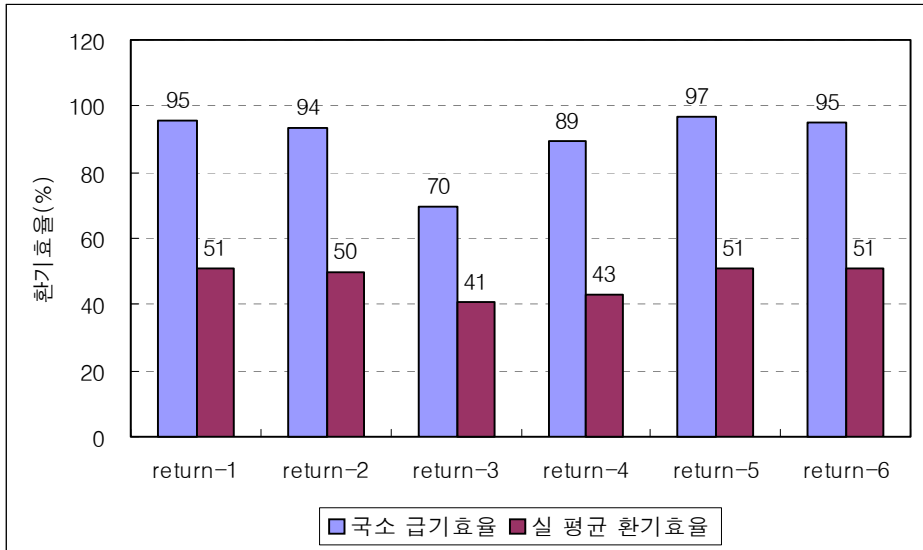
(그림 4.16) 급기구의 위치가 supply-4일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-4일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 평균연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.7>과 같다.

<표 4.7> 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	27.16	27.71	37.23	29.07	26.72	27.22
국소 급기효율 (%)	95	94	70	89	97	95
<LMA>(분)	25.61	25.93	31.60	30.04	25.45	25.49
실평균 환기효율 (%)	51	50	41	43	51	51

급기구의 위치가 supply-4일 때 국소평균연령(LMA)은 27분~38분 정도이고, 국소 급기효율은 70%~97%의 환기효율을 보여 배기구의 위치별로 약 30% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 26분~32분 정도이고, 실평균 환기효율은 41%~51%의 분포를 보여 배기구의 위치별로 약 10% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.17) 급기구의 위치가 supply-4일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

오염원 반대편에 설치된 return-1, return-2를 살펴보면, 급기구와 1.7m의 이격거리를 갖고 오염원으로부터 2.45m 이격된 return-1은 오염원과 멀리 떨어져 있음에도 불구하고 95%의 국소 급기효율과 51%의 실평균 환기효율을 보이고 있다. 급기구와 1.02m의 이격거리를 갖고 오염원으로부터 1.77m 이격된 return-2에서도 94%의 국소 급기효율과 50%의 양호한 실평균 환기효율을 보이고 있다.

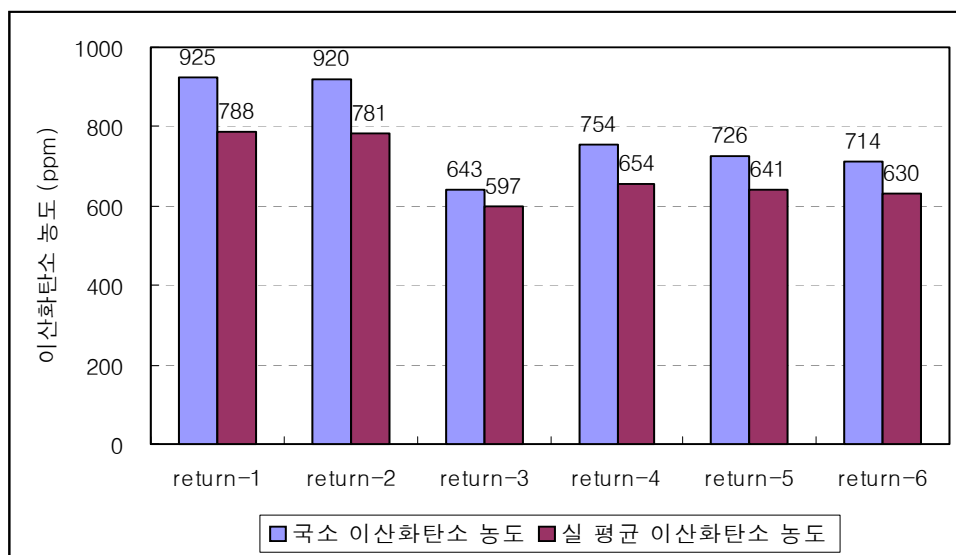
급기구 바로 옆에 설치된 return-3과 return-4의 경우 각각 70%와 89%의 국소 급기효율을 나타내고 있고, 실평균 환기효율은 각각 41%, 43%인 것으로 나타났다. 이는 급배기구가 너무 가까이에 설치되어있어 단락이 일어나 원활한 환기가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 그러나 배기구가 오염원 가까이에 설치된 return-4의 환기효율이 더 우수한 것으로 나타났다. 그 결과 급·배기구를 인접하여 시공하고자 할 때에는 배기구는 오염원쪽으로 설치하는 것이 환기효율이 더 우수할 것으로 판단된다.

배기구가 오염원 근처에 설치된 return 5~6의 경우 95%이상의 국소급기효율을 나타내고 있고, 실평균 환기효율 또한 51%의 환기성능을 나타내고 있다. 급기구로부터 1.02m 이격된 return-5에서의 환기성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

급기구의 위치가 supply-4일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도는 <표 4.8>과 같다. 국소 CO₂농도는 약 640~930ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂ 농도는 약 600~790ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.8> 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	925	920	643	754	726	714
실평균 CO ₂ 농도	788	781	597	654	641	630



(그림 4.18) 급기구의 위치가 supply-4 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

급기구 바로 옆에 설치된 return-3과 return-4에서 CO₂ 농도가 낮은 것으로 나타났으나, 이것은 단락이 일어난 경우로서 해석상의 한계로 인하여 CO₂ 분석이 명확하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다.

오염원 반대편에 설치된 return-1, return-2의 경우 환기효율은 우수한 것으로 나타났으나, 오염원으로부터 멀리 이격되어 오염물질을 효과적으로 배출하지 못하여 국소 CO₂ 농도의 경우 기준치인 1000ppm에 가까운 값을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

배기구가 오염원 근처에 설치된 return 5~6의 경우 환기효율이 우수한 만큼 CO₂ 농도 역시 낮은 것으로 나타났다. 환기효율이 가장 우수한 것으로 나타난

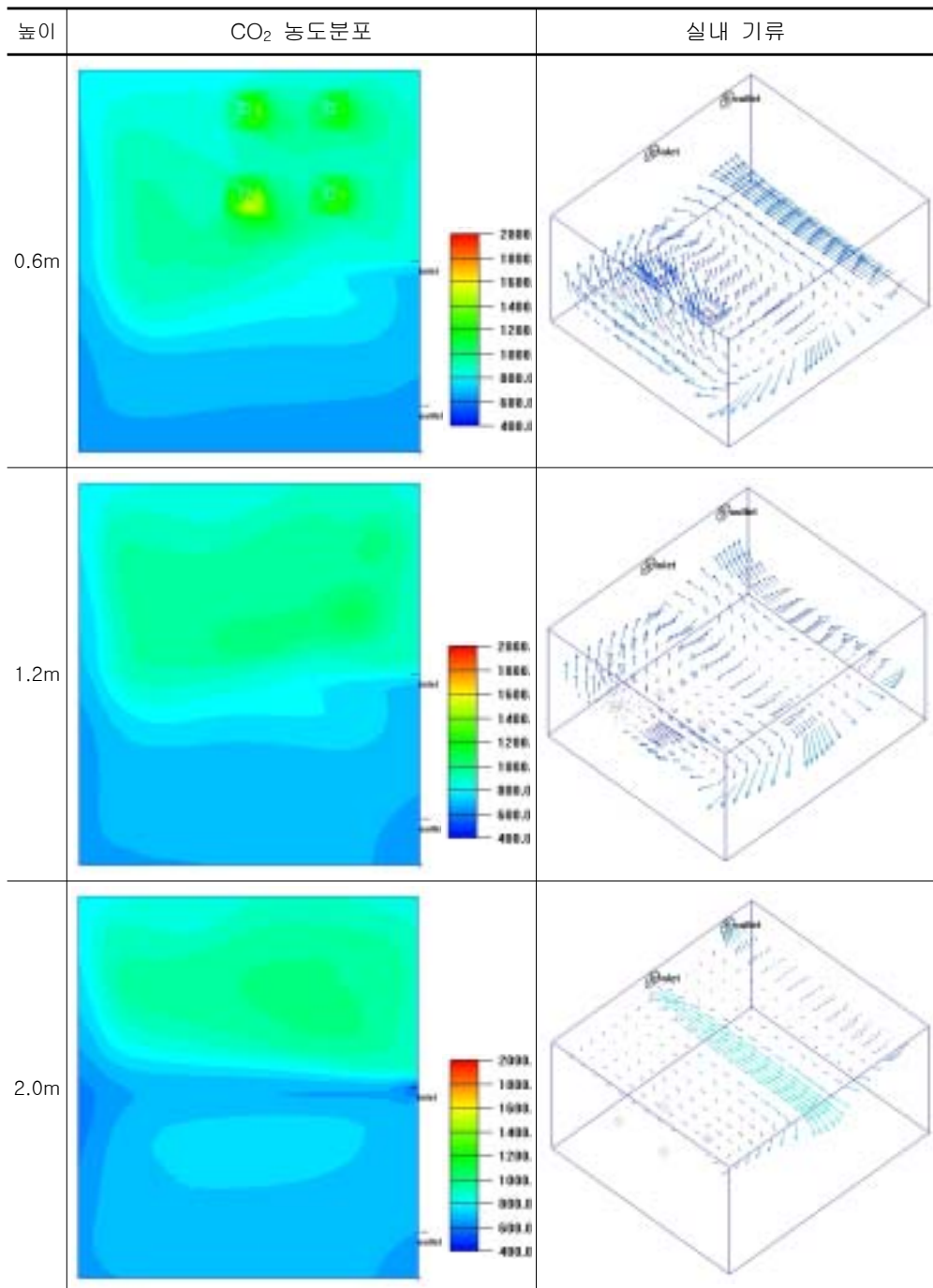
return-5보다 return-6에서 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 더 낮게 나타났는데, 이는 배기구 return-6이 오염원 상부 코너부분에 설치되어 급기된 공기에 의해 벽 쪽으로 밀린 오염물질이 보다 효과적으로 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

배기구의 위치가 return-1일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.19)와 같다. 환기효율은 양호하게 나타났으나, 실 중앙에서 급기되는 공기가 실의 양 단부로 양분됨에 따라 오염물질을 단시간 내에 제거하지 못하여 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

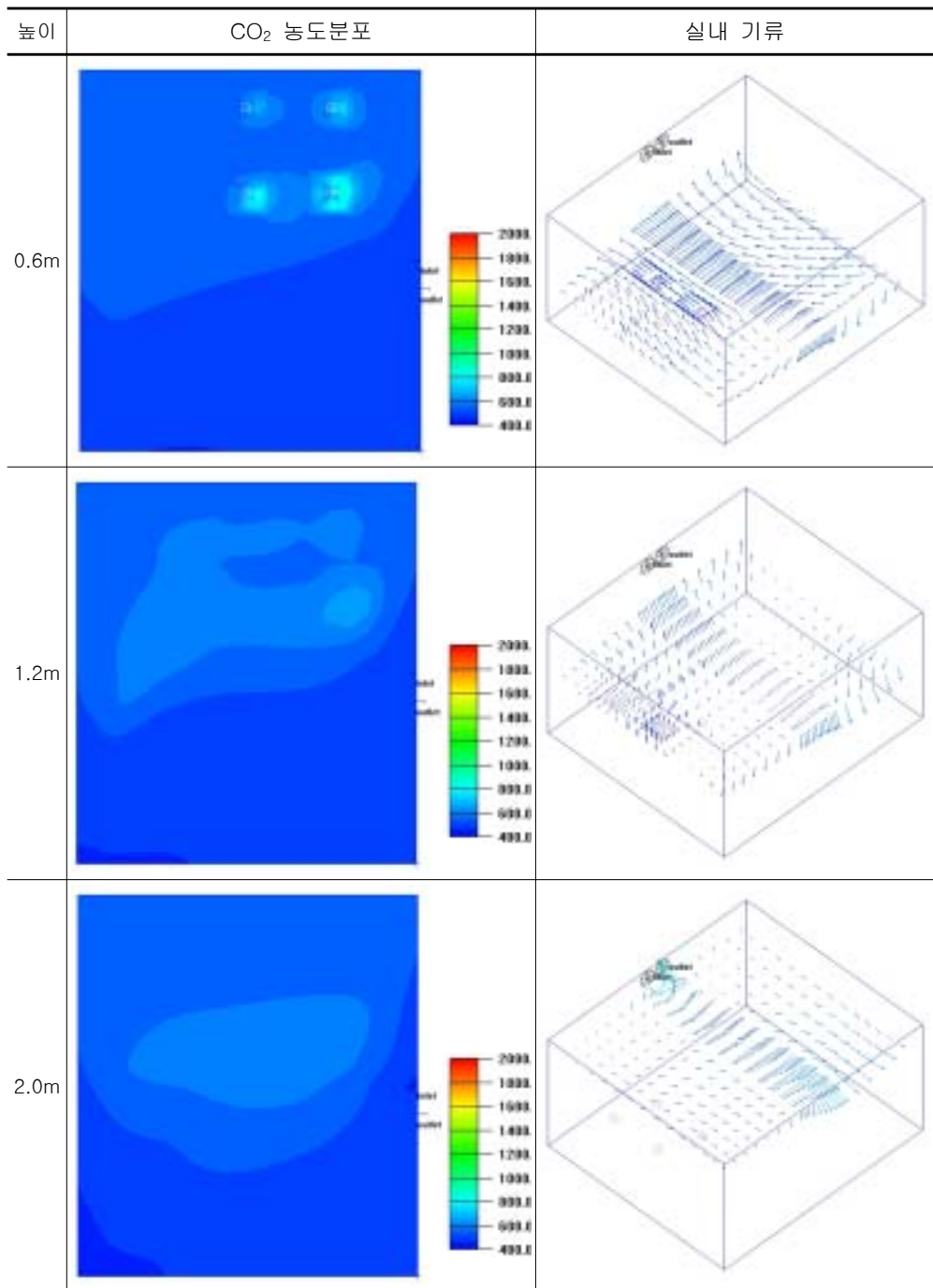
배기구의 위치가 return-3일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.20)과 같다. 급배기구의 인접설치로 인하여 단락이 일어나 환기효율 및 CO₂ 농도 모두 가장 열악한 상태이다.

배기구의 위치가 return-6일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.21)과 같다. 그림에서 확인할 수 있듯이 오염원으로부터 발생한 오염물질이 급기류에 의해 실의 한쪽으로 모이고 오염원 근처에 설치된 배기구로 단시간 내에 배출되어 낮은 CO₂ 농도분포를 나타내고 있고 환기효율 또한 우수한 것으로 판단된다.

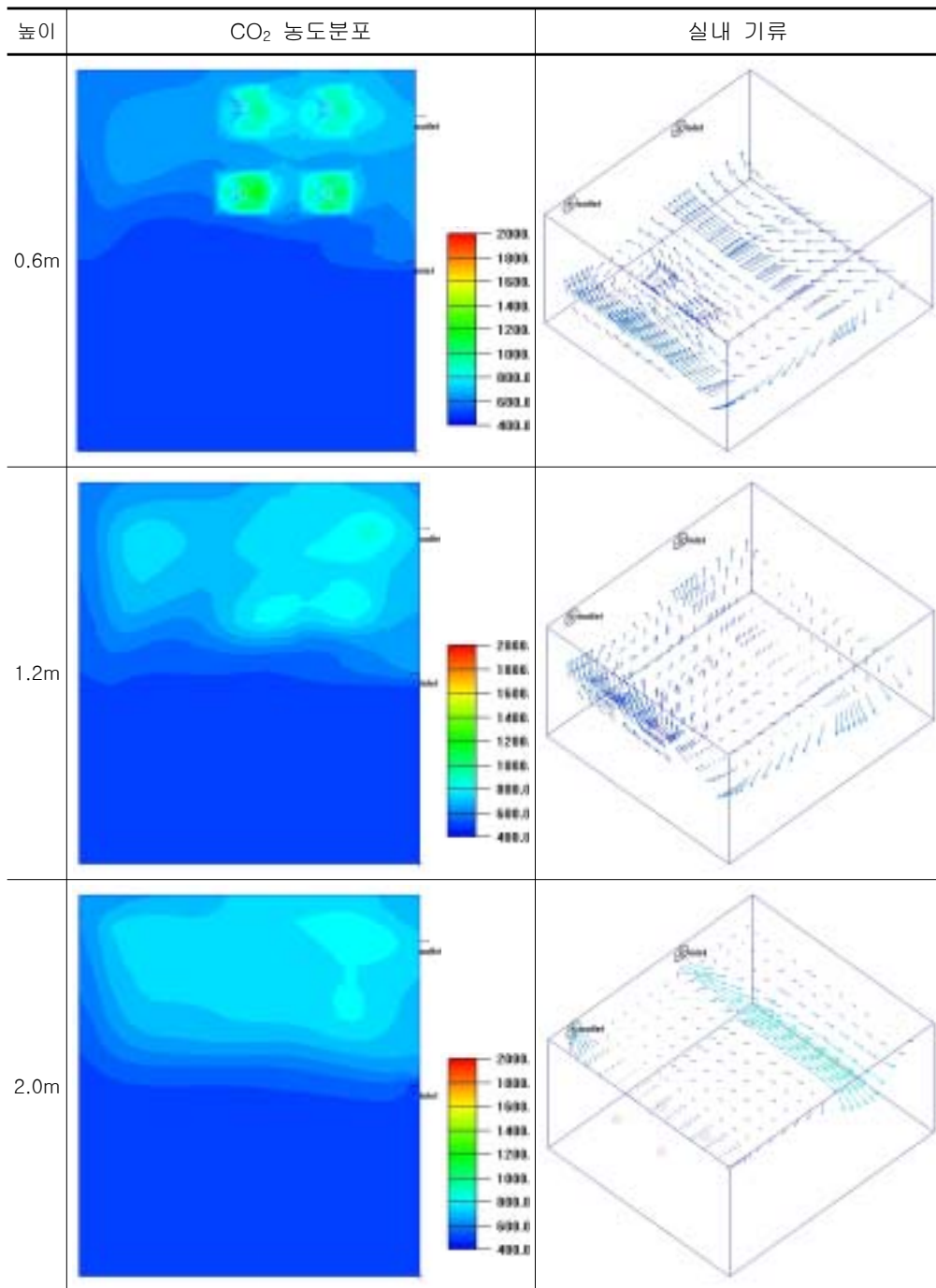
급기구를 supply-4(실 중앙부)의 위치에 설치할 경우 CO₂ 농도를 기준으로 배기구는 1.7m 이격된 return-6에 설치하는 것이 가장 좋을 것으로 기대되나 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화하기 위해서는 급기구와 1.02m 떨어진 return-5에 설치하는 것이 가장 효율적이다. 이때, 배기구는 오염원 근처에 배치하도록 한다.



(그림 4.19) supply-4 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



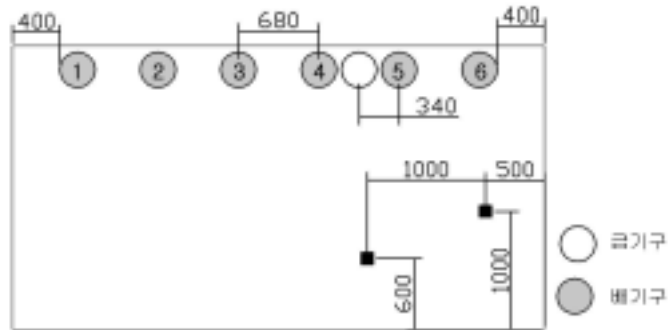
(그림 4.20) supply-4 / return-3일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.21) supply-4 / return-6일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(5) 급기구의 위치가 supply-5 일 때

급기구 supply-5는 벽면으로부터 2.93m 이격되었고 바닥착석 오염원 상부에 설치되었다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.22)와 같다.



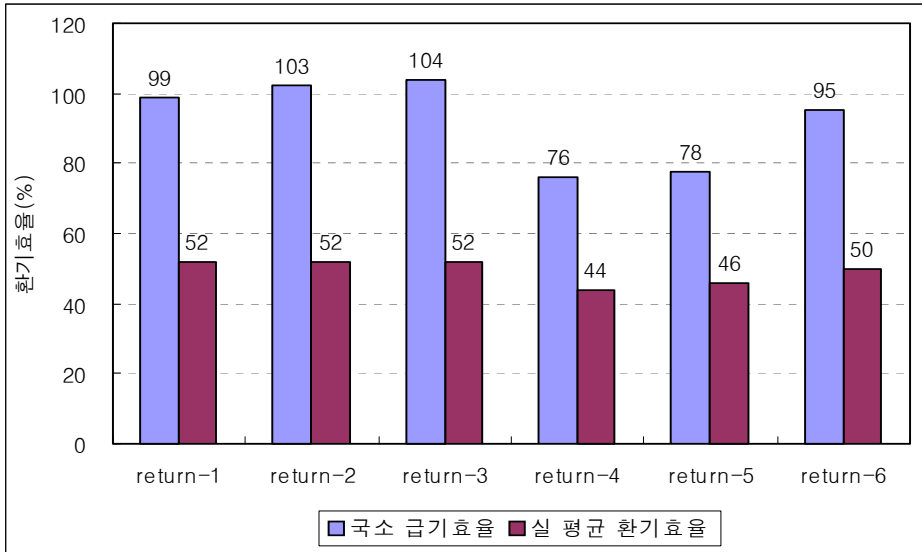
(그림 4.22) 급기구의 위치가 supply-5일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-5일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 평균연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.9>와 같다.

<표 4.9> 급기구의 위치가 supply-5일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	26.29	25.28	24.92	34.03	33.40	27.14
국소 급기효율 (%)	99	103	104	76	78	95
<LMA>(분)	25.13	24.94	24.90	29.57	28.16	26.07
실평균 환기효율 (%)	52	52	52	44	46	50

급기구의 위치가 supply-5일 때 국소평균연령(LMA)은 약 25분~35분 정도이고, 국소 급기효율은 76%~104%의 환기효율을 보여 배기구의 위치별로 약 30% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 25분~30분 정도이고, 실평균 환기효율은 44%~52%의 분포를 보여 배기구의 위치별로 약 15% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.23) 급기구의 위치가 supply-5일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균환기효율

급기구 바로 양옆에 위치한 배기구 return-4와 return-5의 경우 국소 급기효율은 각각 76%와 78%, 실평균 환기효율은 각각 44%와 46%로 가장 비효율적인 것으로 나타났다. 이는 급배기구의 인접설치로 인하여 단락이 일어나 환기효율이 나쁘게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 급·배기구는 적정 이격거리를 갖는 것이 바람직할 것으로 기대된다.

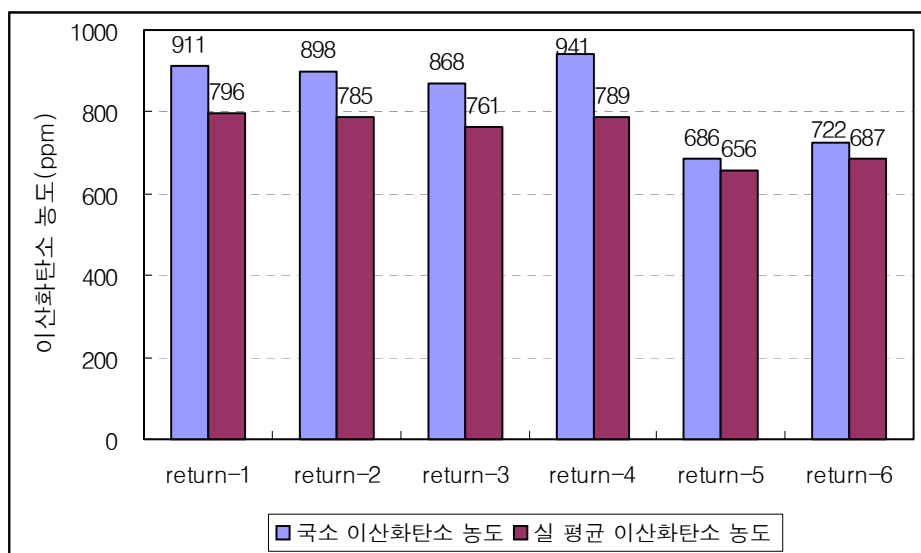
급기구와 오염원으로부터 약 1.7m떨어진 return-2와 급기구와 1m 떨어진 return-3에서 국소 급기효율은 103~104%, 실평균 환기효율은 52%로 나타났다. 이는 급기구가 오염원상부에 위치하여 오염물질을 희석시키고 희석된 오염물질이 원활하게 배출되어 환기효율이 좋은 것으로 판단된다.

급기구로부터 1.02m 이격된 return-6의 경우 국소 급기효율은 95%, 실평균 환기효율은 50%인 것으로 나타났다. 배기구가 오염원 코너부위에 설치되었기 때문에 오염물질을 단시간 내에 효과적으로 제거하여 환기효율이 우수한 것으로 판단된다.

급기구의 위치가 supply-5일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도는 <표 4.10>과 같다. 국소 CO₂농도는 약 690~940ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂ 농도는 약 650~800ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.10> 급기구의 위치가 supply 5일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	911	898	868	941	686	722
실평균 CO ₂ 농도	796	785	761	789	656	687



(그림 4.24) 급기구의 위치가 supply-5 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

급기구 바로 옆에 위치한 배기구 return-4의 경우 단락이 일어나 CO₂ 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 배기구 return-5에서도 단락으로 인한 해석상의 한계로 인하여 명확한 CO₂ 분석이 이루어질 수 없는 것으로 판단된다.

오염원 반대편에 설치된 배기구 중에서는 급기구와 1m 떨어진 return-3에서 국소 CO₂ 농도와 실평균 CO₂ 농도가 낮게 나타났다.

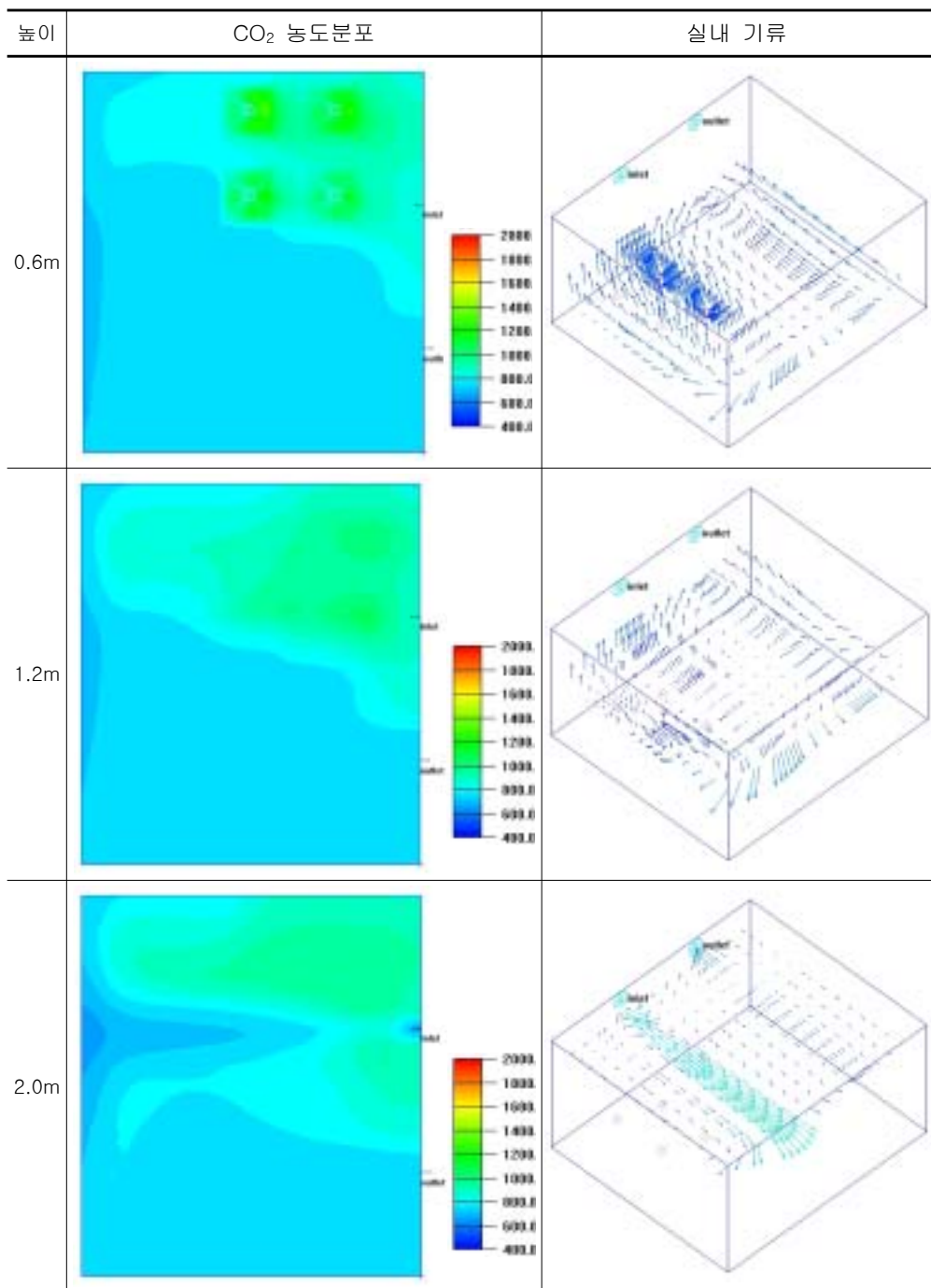
오염원 상부에 설치된 return-6에서의 국소 CO₂ 농도는 722ppm, 실평균 CO₂ 농도는 687ppm으로 오염물질이 단시간 내에 효과적으로 제거되어 CO₂ 농도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

배기구의 위치가 return-3일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.25)와 같다. 환기효율은 가장 우수한 것으로 나타났으나, 실 중앙에서 급기되는 공기가 실의 양 단부로 양분됨에 따라 오염물질을 단시간 내에 제거하지 못하여 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

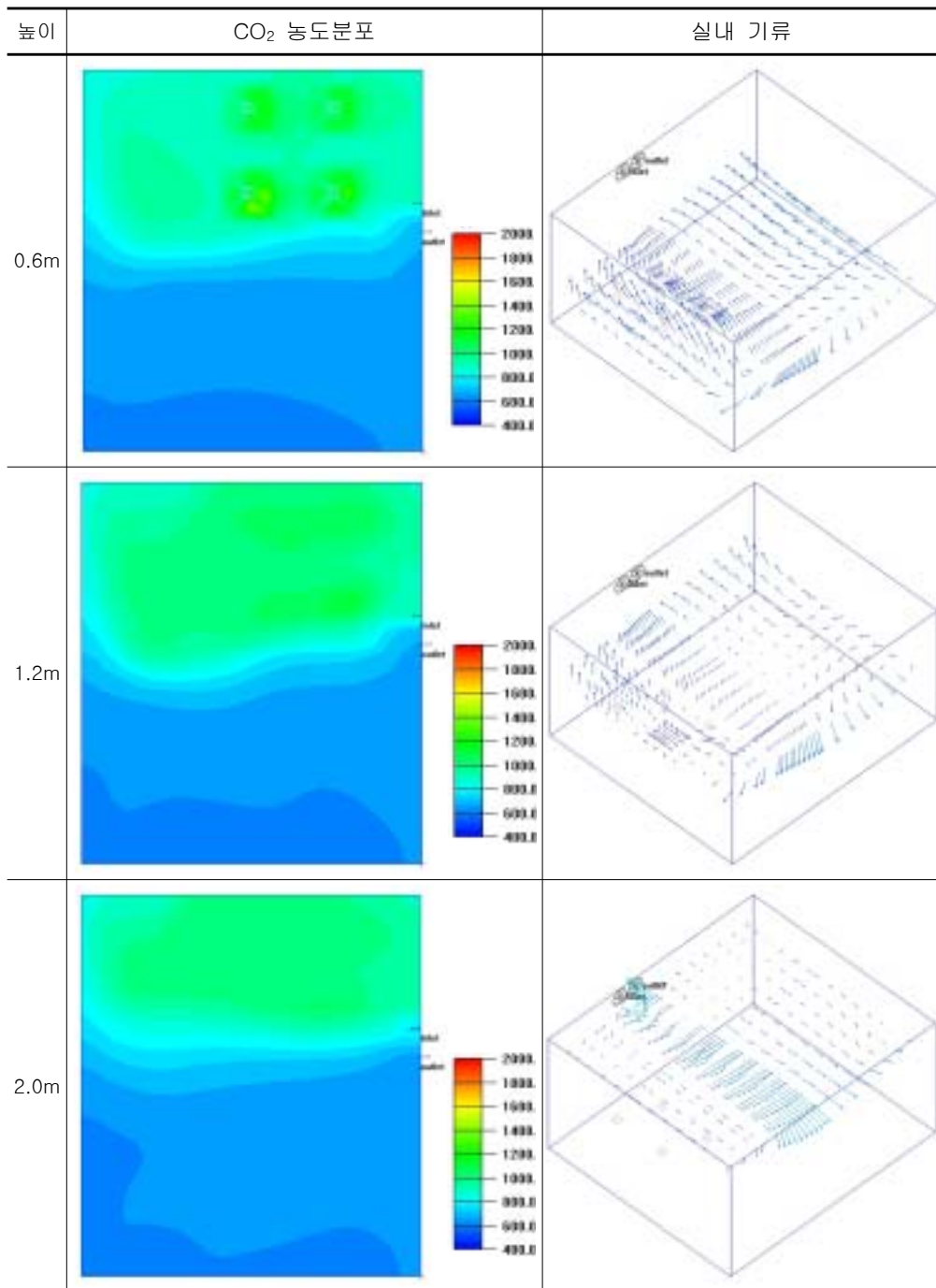
배기구의 위치가 return-4일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.26)과 같다. 이 경우 급기구가 오염원측에 위치하게 되어 오염원으로부터 발생된 오염물질이 배기구 반대편 벽면으로 밀려 (그림 4.26)과 같이 오염물질이 재실자가 있는 곳에서 정체되어 환기효율이 나쁘게 나타난 것으로 판단된다.

배기구의 위치가 return-6일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.27)과 같다. 그림에서 확인할 수 있듯이 오염원으로부터 발생한 오염물질이 급기류에 의해 실의 한쪽으로 모이고 오염원 근처에 설치된 배기구로 단시간 내에 배출되어 낮은 CO₂ 농도분포를 나타내는 것으로 판단된다.

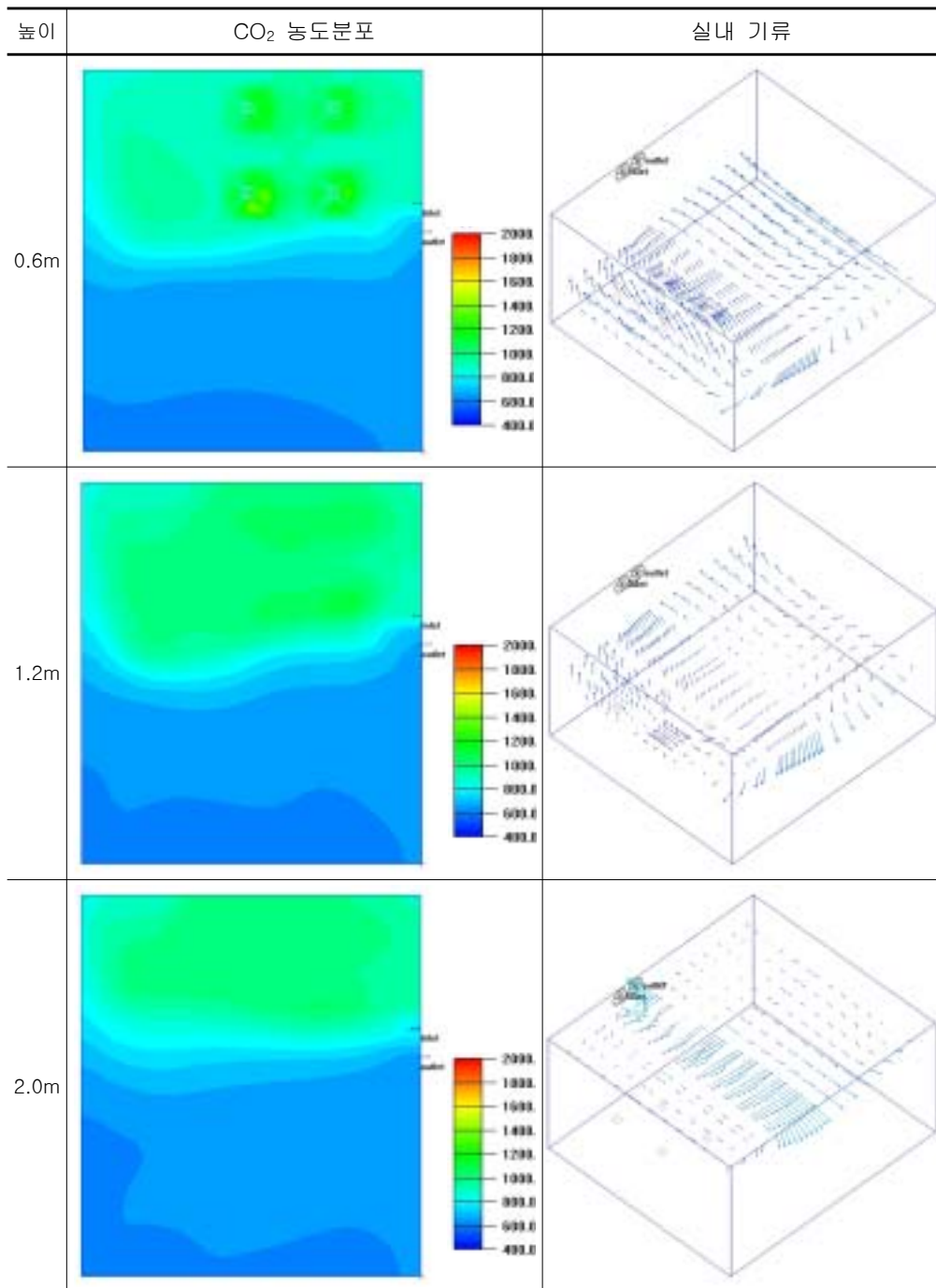
급기구를 supply-5의 위치에 설치할 경우 배기구는 급기구로부터 1m이격된 return-3과 return-6에 설치하는 것이 가장 좋을 것으로 기대된다.



(그림 4.25) supply-5 / return-2일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



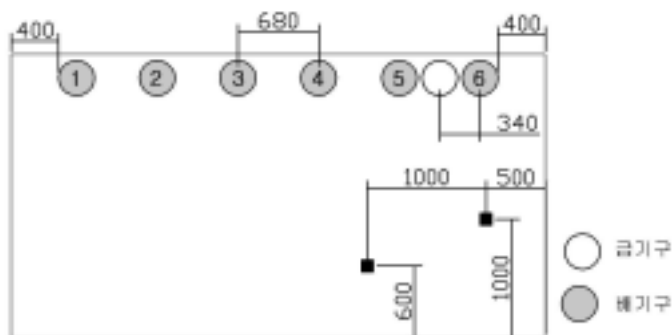
(그림 4.26) supply-5 / return-4일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.27) supply-5 / return-6일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(6) 급기구의 위치가 supply-6 일 때

급기구 supply-6은 벽면으로부터 3.61m 이격되었고 오염원 중심부에 설치되었다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.28)과 같다.



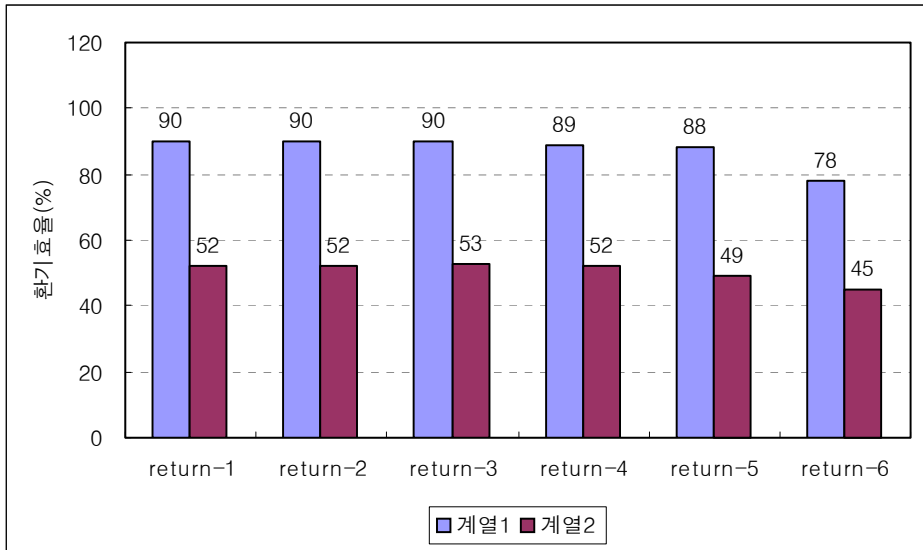
(그림 4.28) 급기구의 위치가 supply-5일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-6일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 평균연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.11>과 같다.

<표 4.11> 급기구의 위치가 supply-6일 때 배기구의 위치별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	28.87	28.86	28.84	29.27	29.47	33.34
국소 급기효율 (%)	90	90	90	89	88	78
<LMA>(분)	25.15	24.92	24.72	24.83	26.32	28.91
실평균 환기효율 (%)	52	52	53	52	49	45

급기구의 위치가 supply-6일 때 국소평균연령(LMA)은 약 29분~34분 정도이고, 국소 급기효율은 78%~90%의 환기효율을 보여 배기구의 위치별로 약 10% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 25분~29분 정도이고, 실평균 환기효율은 45%~53%의 분포를 보여 배기구의 위치별로 약 10% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.29) 급기구의 위치가 supply-6일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균환기효율

배기구가 소파착석 오염원 상부인 return-6에 위치할 때, 앞의 결과에서 급기구의 위치와는 상관없이 90%이상의 높은 환기효율을 보였으나, 이 경우에는 급배기구가 바로 인접해 있어 단락이 일어나 국소 급기효율은 78%, 실평균 환기효율이 45%로 급격히 저하된 것으로 판단된다.

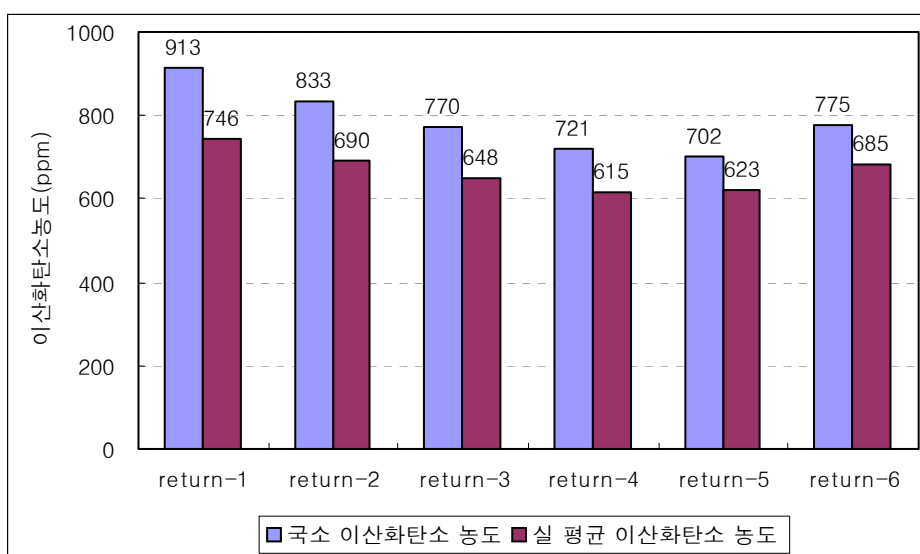
배기구의 위치가 return-5인 경우도 마찬가지로 오염원 근처에 배치되었으나 급기구와 인접해있어 단락이 일어나 환기효율이 낮게 나타났다. 그러나 이 두 결과로부터 부득이하게 급·배기구를 인접해서 시공하고자 할 경우 급기구를 기준으로 배기구는 코너부분보다 개방된 쪽에 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

급배기구의 이격거리가 1.7m인 return-3에서 가장 높은 환기효율을 나타내고 있다. 배기구가 return 1~4의 위치에 설치될 경우 국소 급기효율은 90%이상, 실평균 환기효율은 52%이상의 양호한 환기효율을 보이고 있어 급배기구의 이격 거리에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단되므로 급기구를 supply-6의 위치에 설치할 경우 배기구는 약 1m의 이격거리를 갖는 return 4에 설치하는 것이 덕트 길이를 최소화하면서 양호한 환기효율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

급기구의 위치가 supply-6일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도는 <표 4.12>와 같다. 국소 CO₂농도는 약 700~915ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂농도는 약 615~750ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.12> 급기구의 위치가 supply 6일 때 배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	913	833	770	721	702	775
실평균 CO ₂ 농도	746	690	648	615	623	685



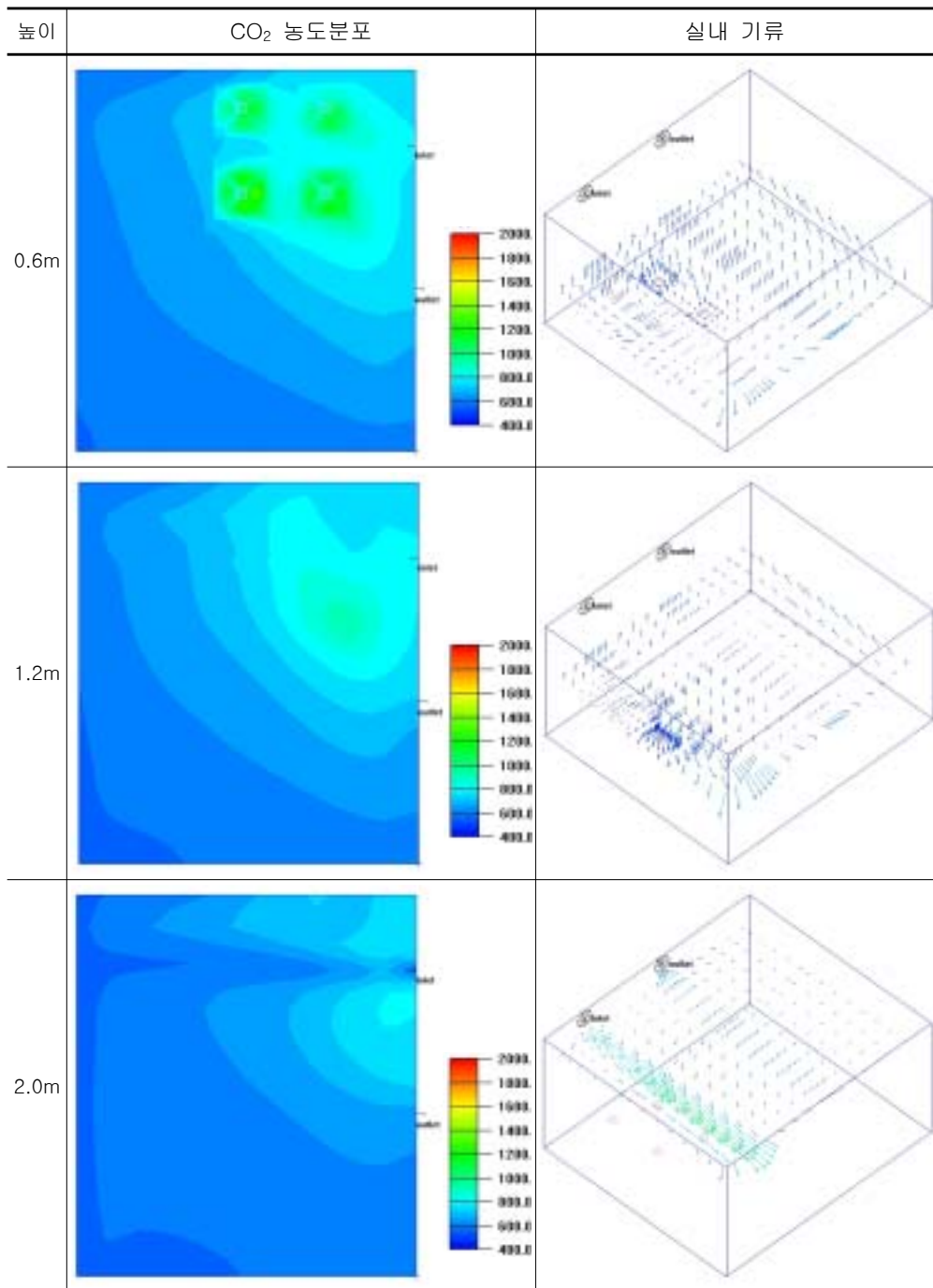
(그림 4.30) 급기구의 위치가 supply-6 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

급기구 바로 옆에 위치한 배기구 return-5와 return-6의 경우 환기효율은 저조한 반면에 낮은 CO₂ 농도를 나타내고 있다. 이는 단락으로 인한 해석상의 한계로 인하여 명확한 CO₂ 분석이 이루어질 수 없는 것으로 판단된다.

가장 높은 환기효율을 보인 return-3에서 국소 CO₂ 농도는 770ppm, 실평균 CO₂ 농도는 648ppm으로 나타났다. 환기효율이 좋은 만큼 CO₂ 농도 역시 가장 낮게 나타나, 환기효율이 좋은 경우 오염물질의 효과적인 제거로 인하여 실내 CO₂ 농도 역시 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

배기구의 위치가 return-3일 때 높이별 CO₂ 농도 분포 및 실내기류분포는 (그림 4.31)과 같다. 오염원 가까이에서 급기가 이루어져 오염물질이 희석되고, 희석된 오염물질이 실 중앙부에 설치된 배기구로 원활하게 배출되어 환기효율 및 CO₂ 농도가 가장 양호한 것으로 판단된다.

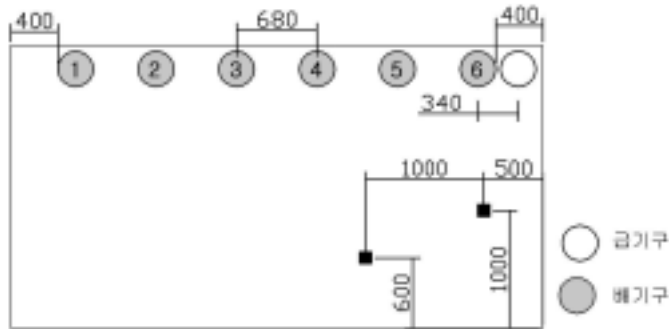
급기구를 supply-6의 위치에 설치할 경우 배기구는 급기구로부터 1m이격된 return-3과 return-6에 설치하는 것이 가장 좋을 것으로 기대된다.



(그림 4.31) supply-6 / return-3일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(7) 급기구의 위치가 supply-7 일 때

급기구 supply-7은 가까운 벽면으로부터 0.21m 이격되었고 오염원 근처 모서리부분에 설치되었다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.32)와 같다.



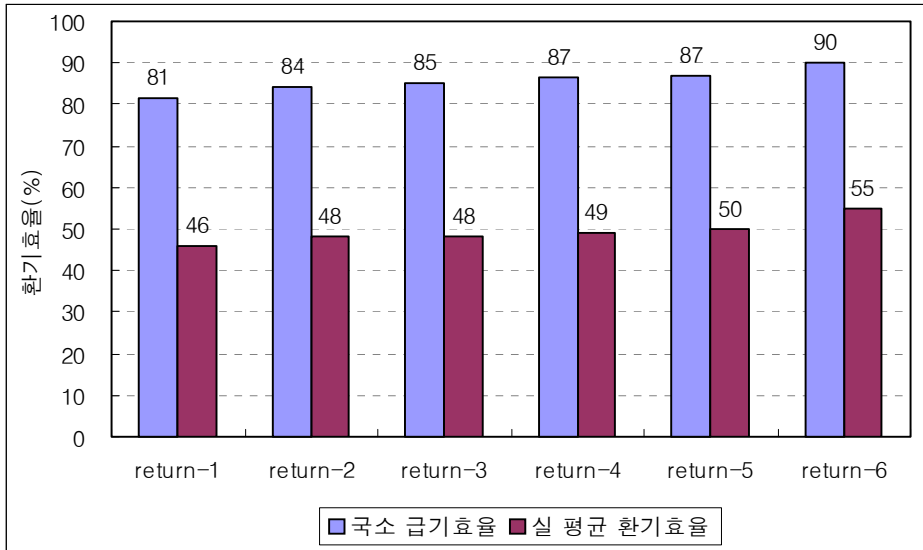
(그림 4.32) 급기구의 위치가 supply-7일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-7일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.13>과 같다.

<표 4.13> 급기구의 위치가 supply-7일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
LMA(분)	31.81	30.80	30.50	29.92	29.77	28.81
국소 급기효율 (%)	81	84	85	87	87	90
<LMA>(분)	27.83	27.09	26.92	26.47	26.14	23.70
실평균 환기효율 (%)	46	48	48	49	50	55

급기구의 위치가 supply-6일 때 국소평균연령(LMA)은 약 29분~32분 정도이고, 국소 급기효율은 81%~90%의 환기효율을 보여 배기구의 위치별로 약 10% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 24분~27분 정도이고, 실평균 환기효율은 46%~55%의 분포를 보여 배기구의 위치별로 약 10% 정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



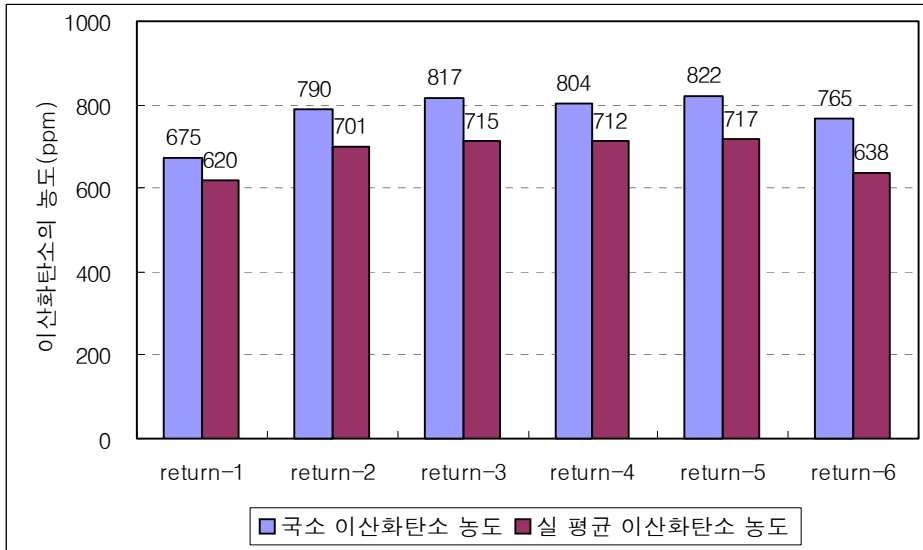
(그림 4.33) 급기구의 위치가 supply-7일 때,
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균환기효율

국소 급기효율은 전반적으로 80~90%의 양호한 환기효율을 보이고 있고, 실평균 환기효율은 46%~55%의 우수한 환기효율을 보이고 있다. 급배기구의 이격거리가 가까울수록 환기효율이 개선되는 양상을 보이고 있는데, 배기구가 오염원 가까이 설치되어 오염물질이 원활하게 배출되기 때문인 것으로 판단된다.

<표 4.14> 급기구의 위치가 supply 7일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-3	return-4	return-5	return-6
국소 CO ₂ 농도	675	790	817	804	822	765
실평균 CO ₂ 농도	620	701	715	712	717	638

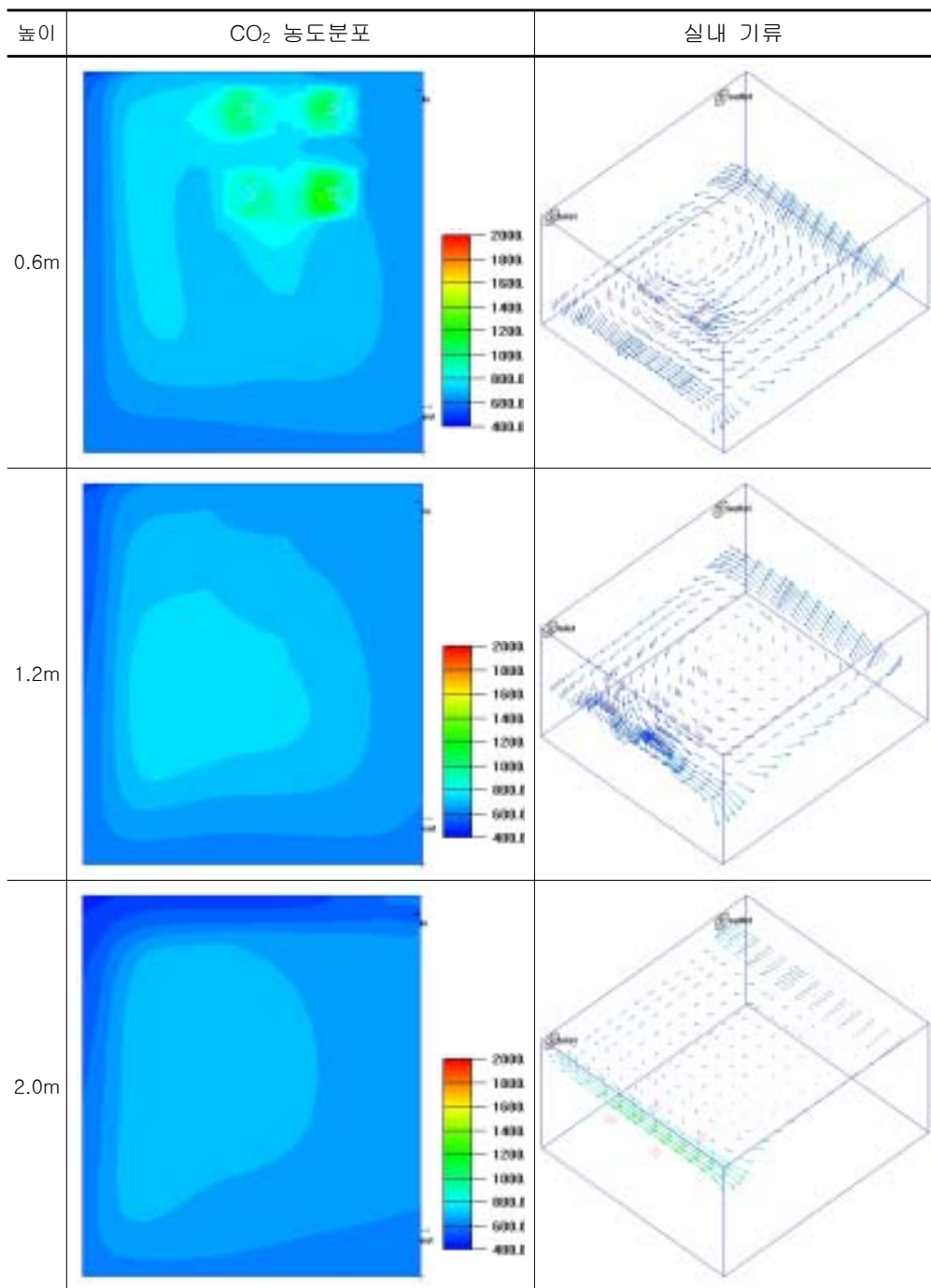
앞에서 분석된 환기효율에 의하면 배기구의 위치가 return-6일 때, 국소 및 실평균 CO₂ 농도가 가장 낮고 return-1으로 갈수록 높아질 것으로 예상되었으나, 시뮬레이션 결과 실 단부에 설치된 return-1과 return-6에서의 CO₂ 농도가 가장 낮고 실 중앙부로 갈수록 CO₂ 농도가 높은 것으로 나타났다.



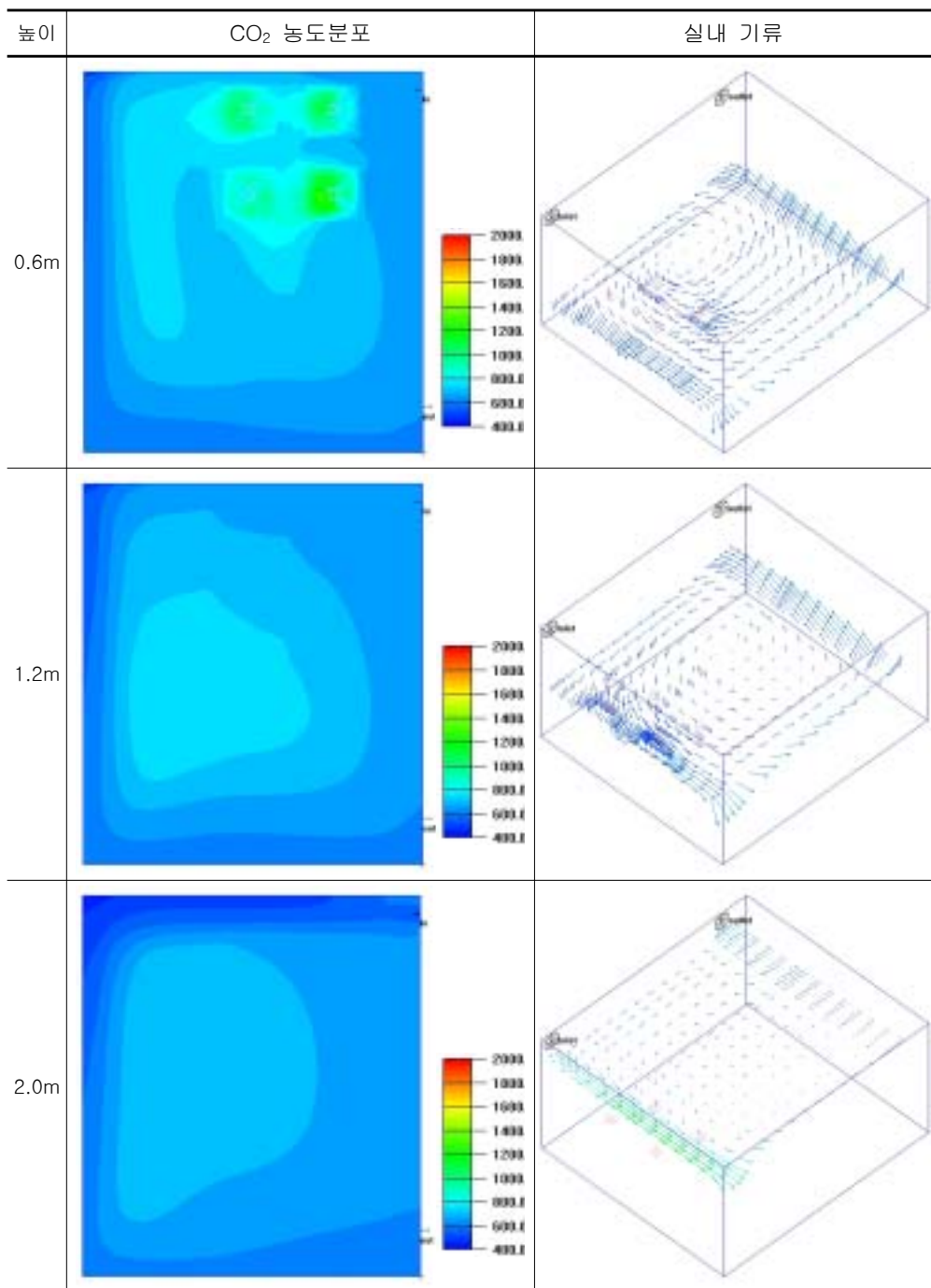
(그림 4.34) 급기구의 위치가 supply-7 일 때,
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

이는 급기구의 위치가 supply-1인 경우와 마찬가지로 시뮬레이션 결과 급기구의 설치위치가 벽면에 인접하여 설치되었기 때문에 해석상에 한계로 인하여 환기효율과 CO₂농도분포가 상이한 결과를 초해한 것으로 판단된다.

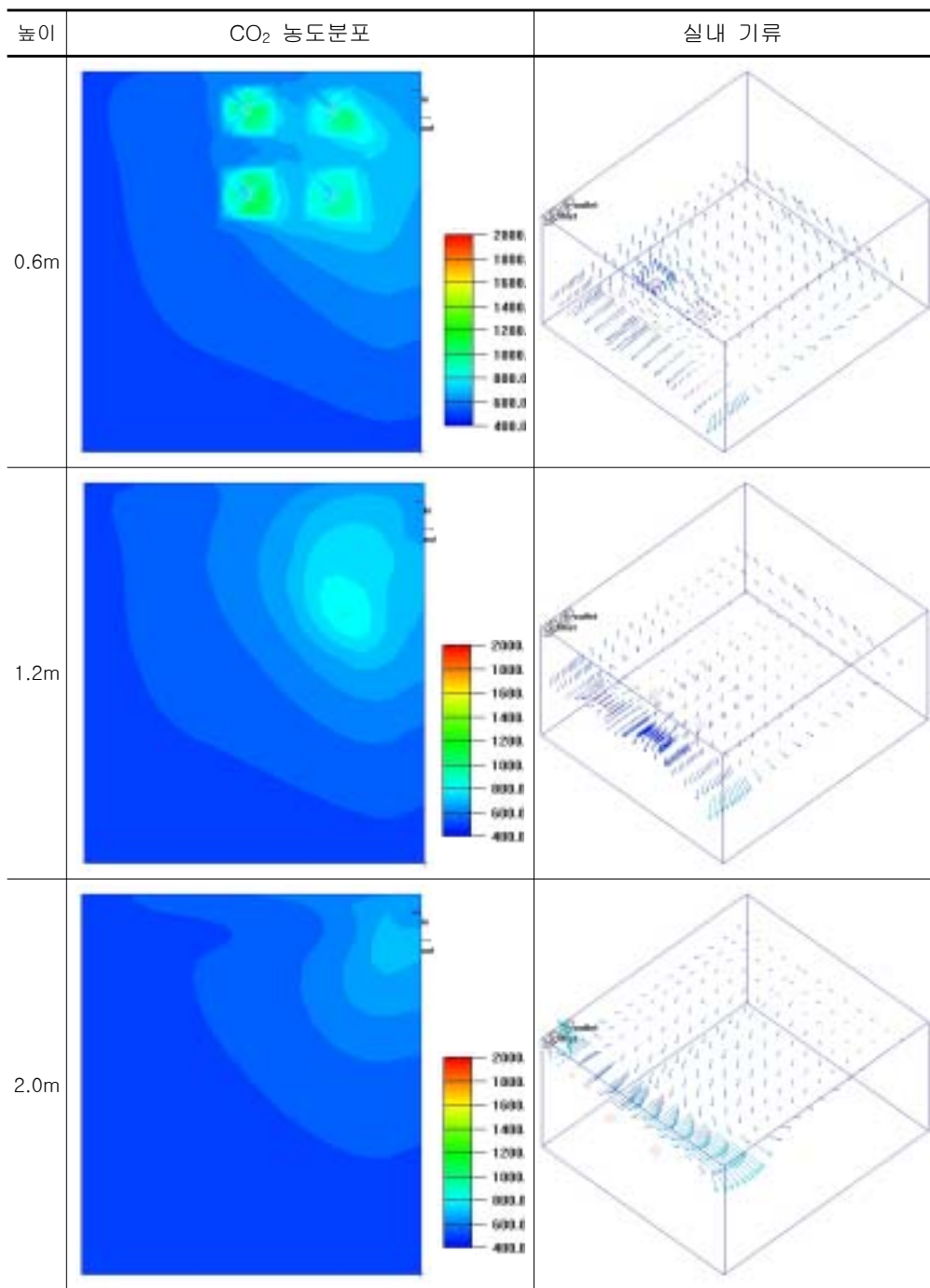
즉, 급기구를 벽체에 너무 가까이 설치하게 되면 환기장치의 성능발현이 어려워지므로 벽체로부터 적절히 이격하여 설치해야 할 것으로 판단된다.



(그림 4.35) supply-7 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.36) supply-7 / return-3일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.37) supply-7 / return-6일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

case 1 소 결

급배기구의 형상이 round diffuser인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 배기구를 오염원 중심부에 설치할 때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 이때 급배기구의 이격거리는 2.38m이다. 그러나 급배기구의 이격거리가 1.02m이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은 최고 30%까지 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 약 10%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리는 1.02m이상 유지할 경우 환기효율에 있어서 크게 차이가 없는 것으로 나타나 최고 1.0m이상 이격하는 것이 바람직 할 것으로 예상된다. 또한 배기구를 오염원측에 배치할 경우 환기효율에 이 다소 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구는 급기구로부터 1.0m 정도 이격하여 설치하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.7m일때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 급배기구 사이의 이격거리가 1.0m이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 이 경우에서도 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

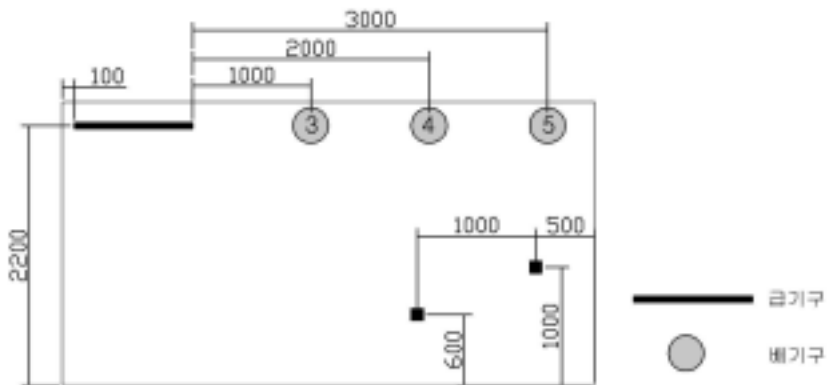
그러나 급기구를 벽면과 인접하여 설치할 경우 급기되는 공기가 벽면을 타고 흘러들어가 실내기류 형성에 영향을 미치지 않아 급기구로서의 역할을 수행하지 못하는 것으로 판단되어지는바 급·배기구는 벽면으로부터 최소 0.5m이상 이격하여 설치하는 것이 바람직 할 것으로 기대된다.

4.2. case 2 (급기구의 형상=slot형 diffuser, 배기구의 형상=round diffuser)

주거공간의 경우 거주자의 내부 인테리어 효과 등으로 인하여 급배기구의 형상이 실내로 노출되는 것을 최소화하려는 경향이 있다. 일부 고급형 공동주택에 적용된 천장형 환기시스템에서도 급기구의 경우 대부분 슬롯형 디퓨저의 형태를 띄고 있다. 따라서 본 절에서는 슬롯형 디퓨저를 급기구로 설치했을 때의 CO₂ 농도분포와 환기성능 및 실내 기류분포를 살펴보고자하였다.

(1) 급기구의 위치가 supply-1 일 때

급기구 supply-1은 벽면으로부터 0.1m 이격되어 설치되었다. 급기구 중심으로부터 바닥착석 오염원까지의 거리는 2.4m이다. 급기구의 단부로부터 배기구의 중심까지의 거리를 이격거리로 정의하고 이격거리는 1m단위로 설정하였다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.38)과 같다.



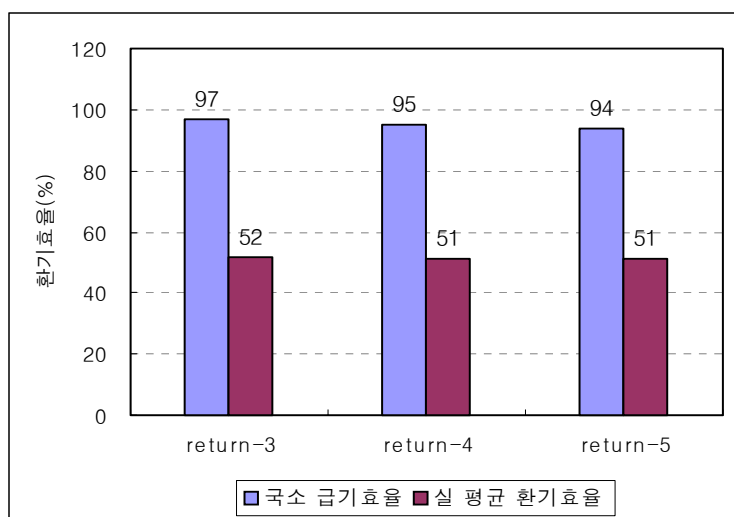
(그림 4.38) 급기구의 위치가 supply-1일 때 급·배기구 배치도

급기구로부터 1m이격된 배기구가 return-3, 2m 이격된 배기구가 return-4, 3m이격된 배기구가 return-5이다. return-4와 return-5는 오염원 측상부에 위치하고, return-3은 바닥착석 오염원으로부터 0.9m이격된 위치이다.

급기구의 위치가 supply-1일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.15>와 같다.

<표 4.15> 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-3	return-4	return-5
LMA(분)	26.71	27.22	27.67
국소 급기효율 (%)	97	95	94
<LMA>(분)	25.01	25.55	25.73
실평균 환기효율 (%)	52	51	51



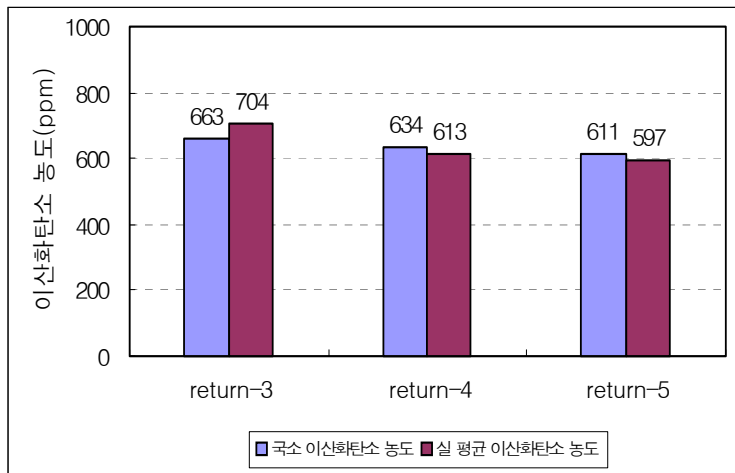
(그림 4.39) 급기구의 위치가 supply-1일 때
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

국소평균연령(LMA)은 약 27분 정도이고, 국소 급기효율은 94%~97%의 높은 환기효율을 보이고 있다. 실 평균연령(<LMA>)은 약 25분 정도이고, 실평균 환기효율은 50% 대의 높은 분포를 보여 배기구의 위치별로 환기효율에 있어 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 급기구의 형상이 세장하여 급기범위가 광범위하다고 상대적으로 배기구가 모두 오염원 가까이에 배치되어 전반적으로 우수한 환기효율을 나타내는 것으로 판단된다. 국소급기효율 및 실평균 환기효율을 살펴보면, return-3의 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

슬롯형 디퓨저를 오염원 반대편에 설치할 경우 배기구는 급기구와 1m이상 이격된 어느 곳에 설치해도 우수한 환기효율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 4.16> 급기구의 위치가 supply-1일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

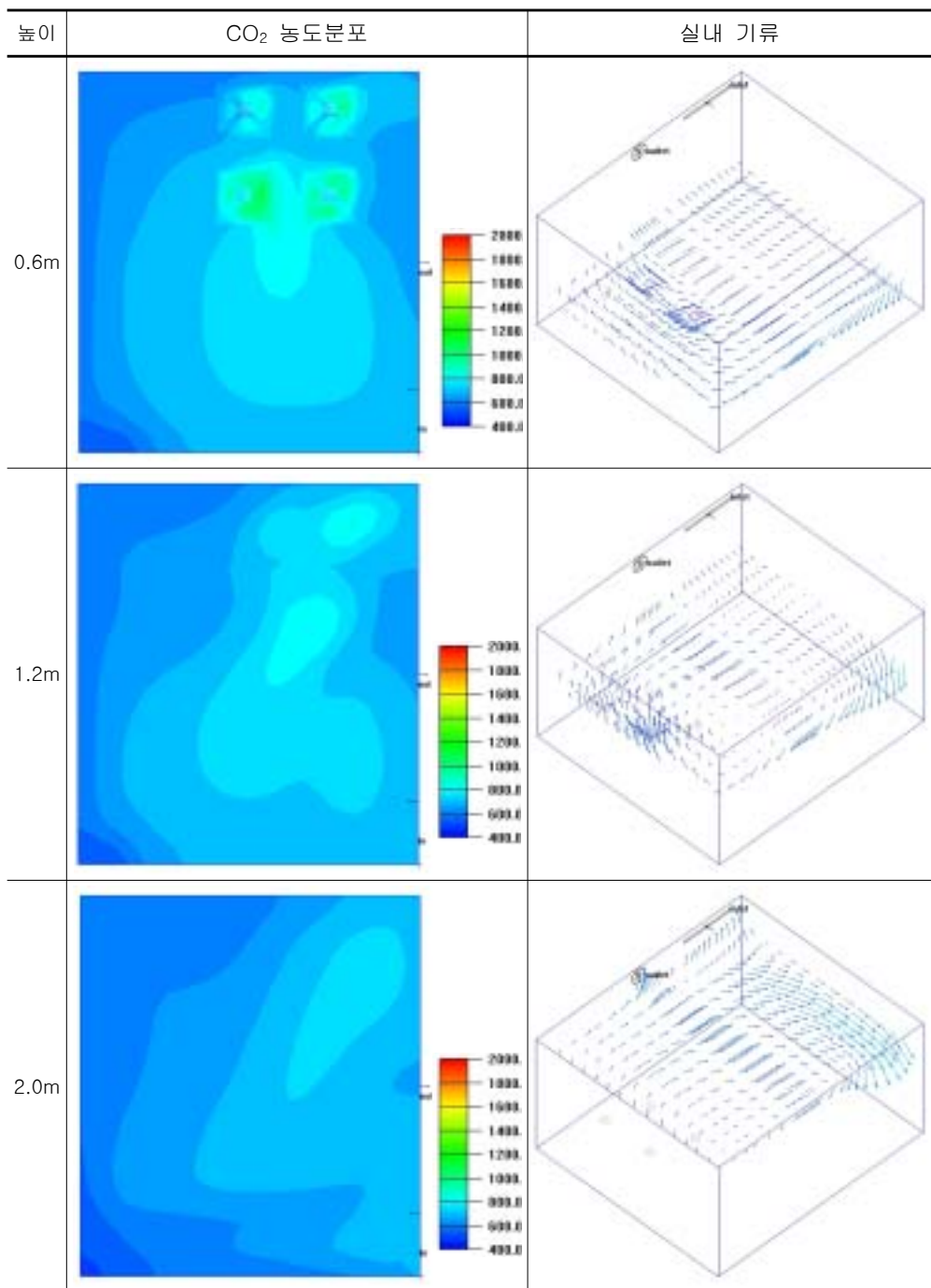
	return-3	return-4	return-5
국소 CO ₂ 농도	663	634	611
실평균 CO ₂ 농도	704	613	597



(그림 4.40) 급기구의 위치가 supply-1일 때
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

앞에서 환기효율을 살펴본 결과 급배기구의 이격거리가 증가할수록 환기효율이 저하되는 것으로 나타났으나 CO₂ 농도는 더 감소하는 것으로 나타났다. 이는 배기구가 오염원 가까이에 설치된 경우 오염물질이 보다 효과적으로 제거되어 CO₂ 농도가 더 낮게 나타난 것으로 판단된다.

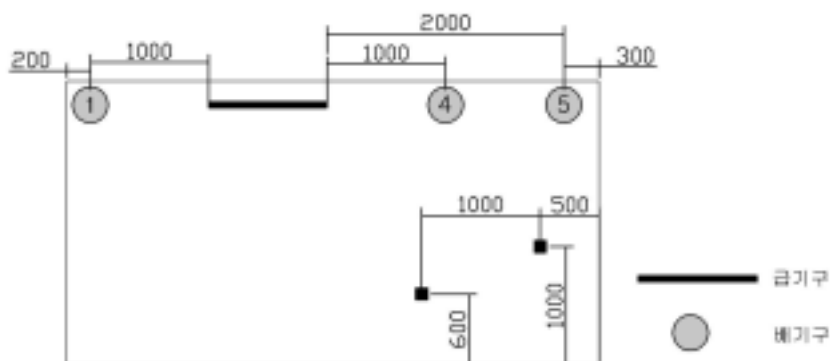
환기효율 및 CO₂ 농도는 그 값이 오차범위 내에 있다고 할 수 있으므로 급기구를 supply-1에 설치할 경우 배기구는 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화하기위해서 급기구와 1m 이격된 return-3에 설치하는 것이 가장 효율적이다.



(그림 4.41) supply-1 / return-3일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(2) 급기구의 위치가 supply-2 일 때

급기구 supply-2는 벽면으로부터 1.2m 이격되어 설치되었다. 급기구 중심으로부터 바닥착석 오염원까지의 거리는 0.8m이다. 급기구의 단부로부터 배기구의 중심까지의 거리를 이격거리로 정의하고 이격거리는 1m단위로 설정하였다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.42)와 같다.



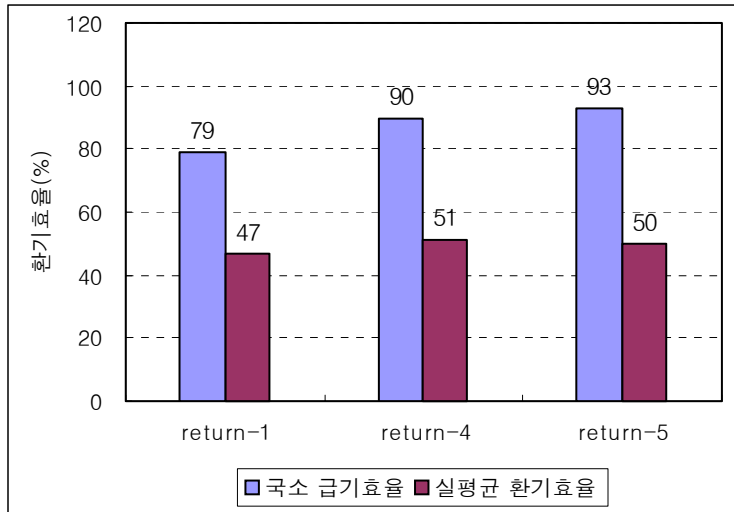
(그림 4.42) 급기구의 위치가 supply-2일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-2일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 연령과 국소 급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.17>과 같다.

<표 4.17> 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-4	return-5
LMA(분)	32.89	28.94	28.00
국소 급기효율 (%)	79	90	93
<LMA>(분)	27.83	25.50	26.04
실평균 환기효율 (%)	47	51	50

slot형 급기구의 위치가 supply-2일 때, 국소평균연령(LMA)은 약 28분~33분의 분포를 나타냈고 국소급기효율은 79%~93%의 분포를 보여 배기구의 위치에 따라 약 15%정도의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실평균연령(<LMA>)은 26분~28분으로 나타났으며 실평균 환기효율은 47%~51%의 분포를 보여 배기구의 위치에 따라 약 5%가량 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.43) 급기구의 위치가 supply-2일 때
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

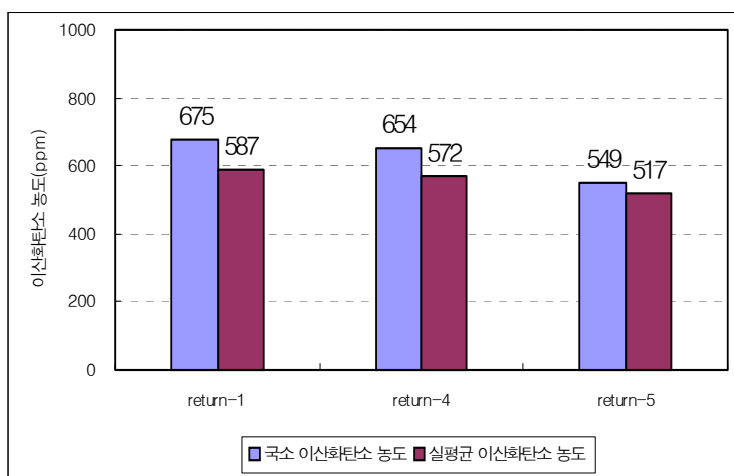
급기구로부터 오염원 반대편으로 1m 이격된 return-1의 국소급기효율은 79%, 실평균 환기효율은 47%로 가장 저조한 것으로 나타났다. 이는 실 중앙부 이자 오염원 근처인 supply-2의 위치에서 급기된 공기가 광범위하게 오염원에 작용하는 것에 반해서 배기구는 오염원으로부터 멀리 이격되어 있어 환기효율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

급기구로부터 오염원 측으로 1m 이격된 return-4에서의 국소 급기효율은 90%, 실평균 환기효율은 51%로 나타났고, 급기구 단부로부터 2m 이격된 return-5에서의 국소급기효율은 93%, 실평균 환기효율은 50%로 나타났다. 이는 급기구는 오염원으로부터 0.8m 이격되어있고, 배기구는 각각 바닥 착석 오염원과 소파착석오염원 상부에 위치해있어 급기류에 의해 한쪽으로 모여진 오염물질이 오염원 근처에 설치된 배기구로 효과적으로 배출되어 양호한 환기효율을 나타내는 것으로 판단된다.

slot형 급기구의 위치가 supply-2일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도 분포는 <표 4.18>과 같다. 국소 CO₂ 농도는 약 550ppm~675ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂ 농도는 약 520ppm~590ppm 의 분포를 보이고 있다.

<표 4.18> 급기구의 위치가 supply-2일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

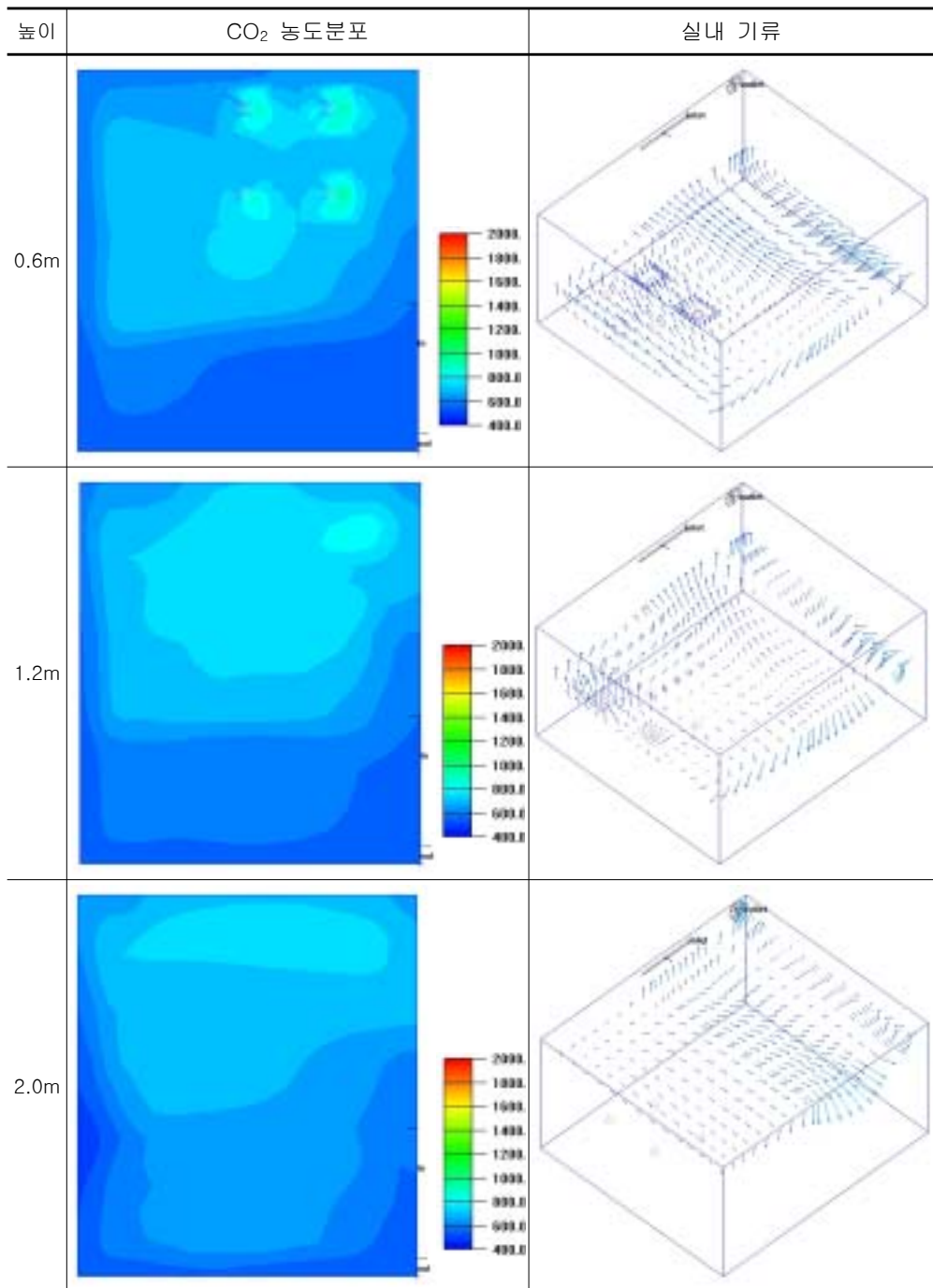
	return-1	return-4	return-5
국소 CO ₂ 농도 (ppm)	675	654	549
실평균 CO ₂ 농도(ppm)	587	572	517



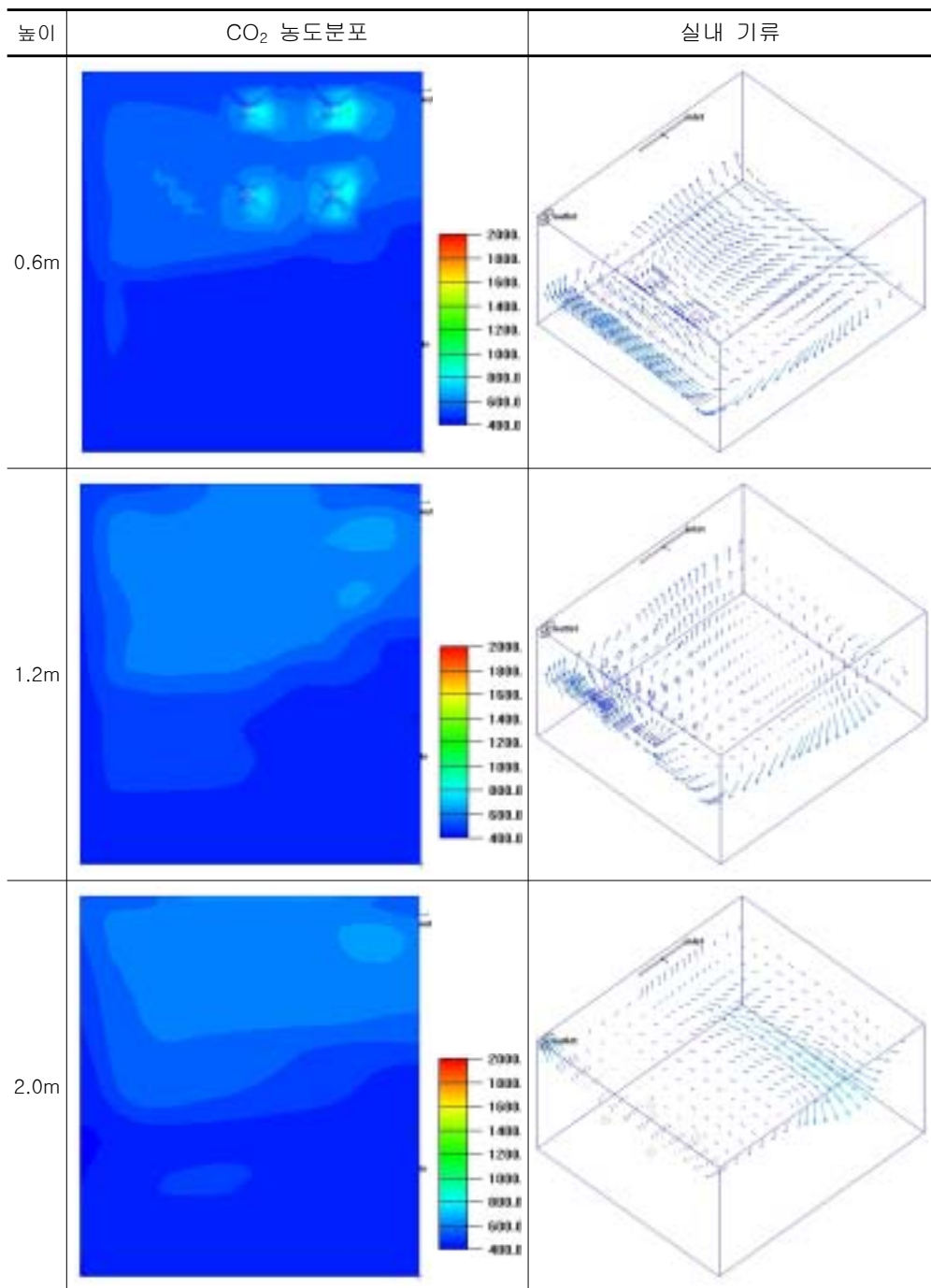
(그림 4.44) 급기구의 위치가 supply-2일 때
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

배기구 return-1에서의 국소 CO₂농도는 675ppm, 실평균 CO₂농도는 587ppm으로 나타났다. 이는 배기구가 오염원으로부터 멀리 이격되어 있어 오염원으로부터 발생된 오염물질이 효과적으로 배출되지 못하고 실내에 정체되어 있는 시간이 길어 환기효율은 낮게 CO₂ 농도는 높게 나타난 것으로 판단된다.

배기구 return-4에서의 국소 CO₂농도는 654ppm, 실평균 CO₂농도는 572ppm으로 나타났다. 이는 배기구가 바닥착석 오염원 측상부에 위치하여 오염물질이 단시간내에 배출되어 return-1에 비하여 환기효율 및 CO₂ 농도가 개선된 것으로 판단된다. 배기구 return-5에서의 국소 CO₂ 농도는 549ppm, 실평균 CO₂ 농도는 517ppm으로 나타났다. 이는 급기류에 의해 한쪽구석으로 모여진 오염물질이 효과적으로 배출되어 환기효율 및 CO₂ 농도가 가장 양호한 것으로 판단된다.



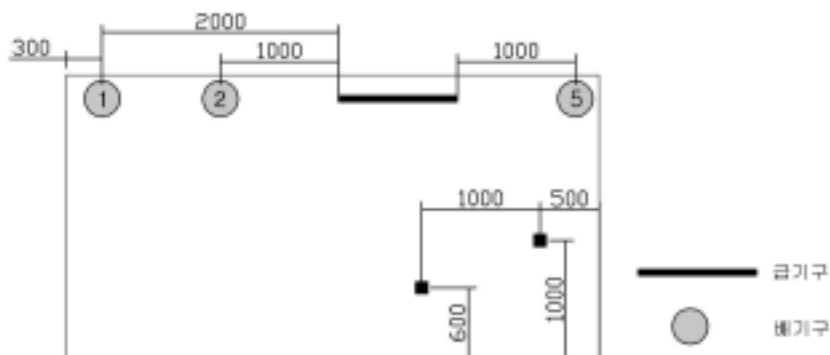
(그림 4.45) supply-2 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.46) supply-2 / return-5일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(3) 급기구의 위치가 supply-3 일 때

급기구 supply-3은 벽면으로부터 2.3m 이격되어 바닥착석 오염원의 측상부에 설치되었다. 급기구의 단부로부터 배기구의 중심까지의 거리를 이격거리로 정의하고 이격거리는 1m단위로 설정하였다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.47)과 같다.



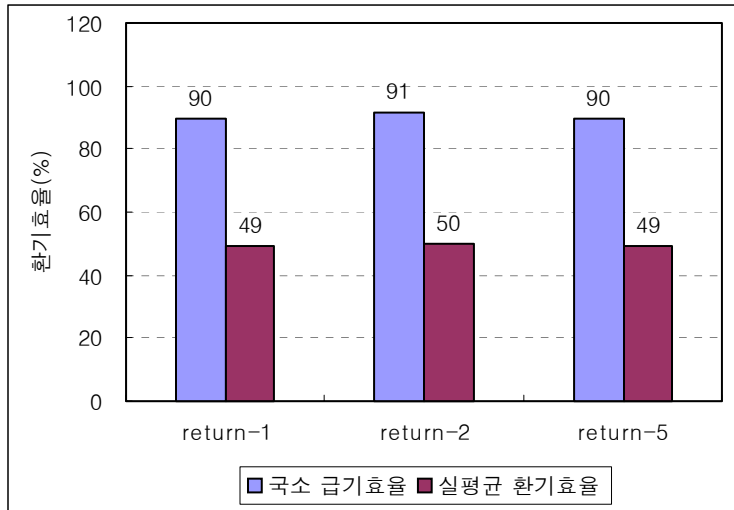
(그림 4.47) 급기구의 위치가 supply-3일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-3일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 연령과 국소급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.19>와 같다.

<표 4.19> 급기구의 위치가 supply-3일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-5
LMA(분)	28.91	28.40	28.96
국소 급기효율	90	91	90
<LMA>	26.46	26.09	26.59
실 평균 환기효율	49	50	49

slot형 급기구의 위치가 supply-3일 때, 국소평균연령(LMA)은 약 29분대로 나타났고, 국소 급기효율은 90%정도의 분포를 보여 배기구의 위치에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 실평균 연령(<LMA>)은 27분대로 나타났고, 실평균 환기효율은 약 50%의 분포를 보여 이 역시 배기구의 위치에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.



(그림 4.48) 급기구의 위치가 supply-3일 때
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

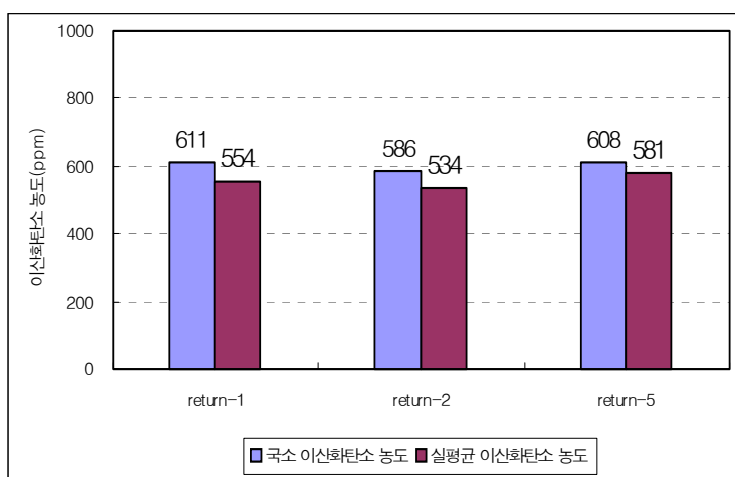
급기구로부터 2m 이격된 return-1에서의 국소 급기효율은 90%, 실평균 환기효율은 49%로 나타났고, 급기구로부터 1m 이격되고 오염원으로부터 1.7m 이격된 return-2에서의 국소급기효율은 91%, 실평균 환기효율은 50%로 근소의 차이이지만 환기효율적인 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 오염원측으로 1m 이격된 return-5에서의 국소 급기효율은 90%, 실평균 환기효율은 49%로 나타났다.

이상에서 살펴본 바와 같이 국소 및 실평균 환기효율에 있어서 배기구의 위치에 따라 크게 차이가 없는 것으로 보여지나 배기구의 위치가 return-2일 때 가장 효율이 우수한 것으로 나타났다. 이는 실 중앙에서 급기된 공기가 오염원측 벽면에 부딪혀 실중앙쪽으로 기류가 변화되었고, 오염물질이 형성된 기류를 타고 배기구 return-2로 원활하게 배출되어 환기효율이 가장 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 반면에 오염원측 코너부분에 위치한 return-5의 경우 실내 기류분포가 원활하게 이루어지지 않아 희석된 오염물질이 실내에 체류하는 시간이 상대적으로 길어져 실평균환기효율이 다소 떨어지는 것으로 판단된다.

slot형 급기구의 위치가 supply-3일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도 분포는 <표 4.20>과 같다. 국소 CO₂농도는 약 590ppm~610ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂농도는 약 530ppm~580ppm의 분포를 보이고 있다.

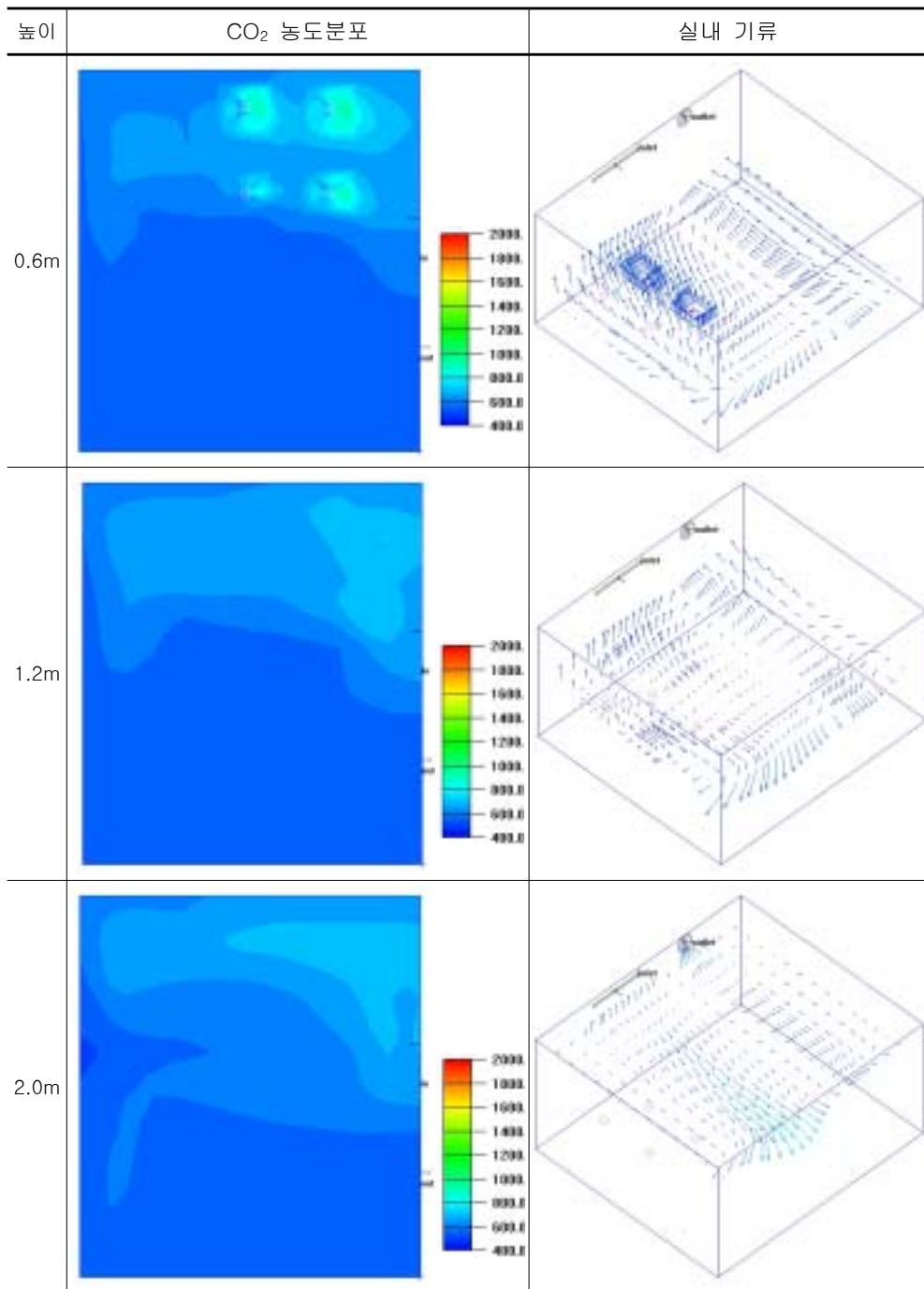
<표 4.20> 급기구의 위치가 supply-3일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

	return-1	return-2	return-5
국소 CO ₂ 농도	611	586	608
실평균 CO ₂ 농도	554	534	581

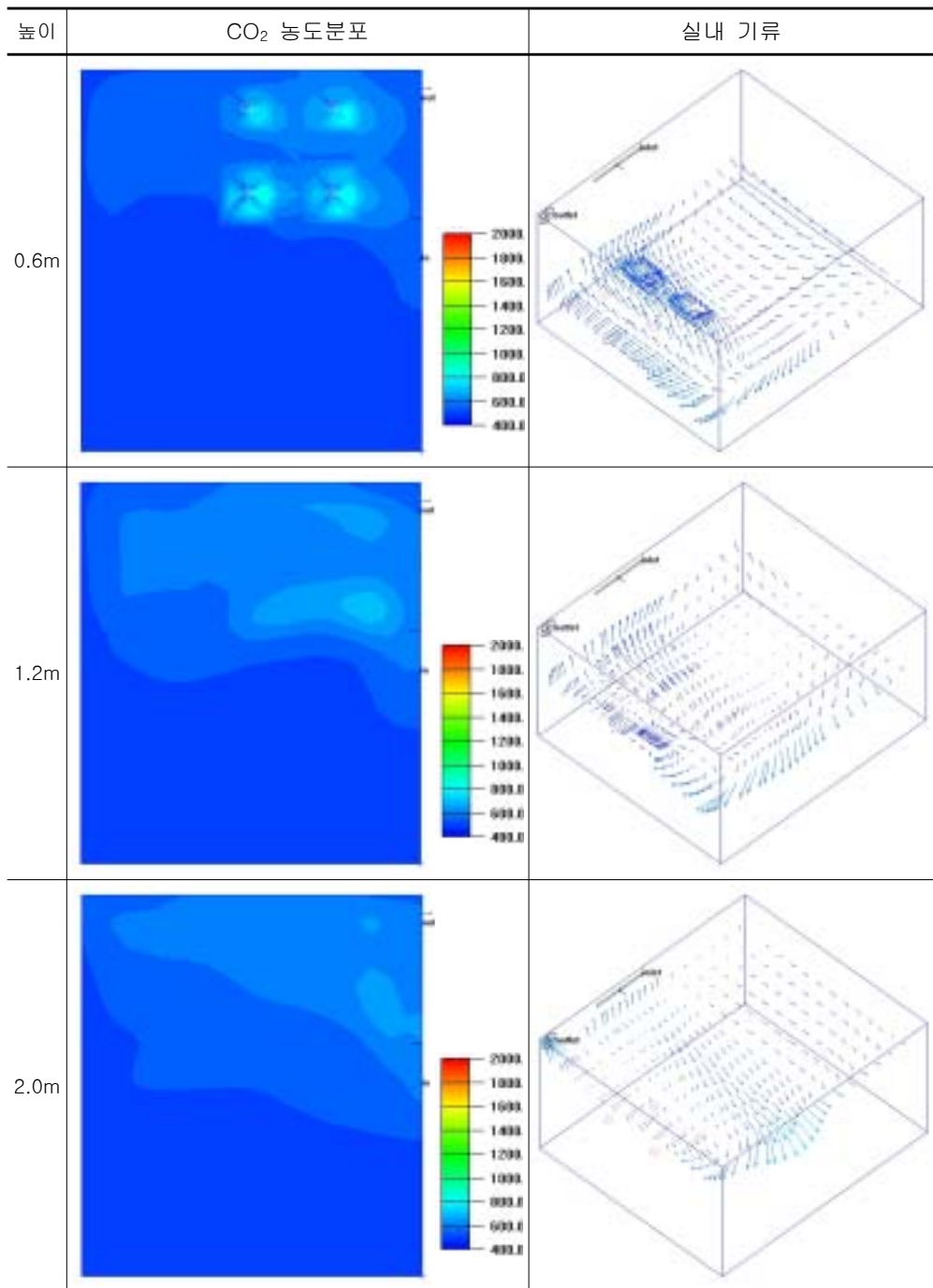


(그림 4.49) 급기구의 위치가 supply-3일 때
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

극소의 차이이지만 환기효율이 가장 우수한 것으로 나타났던 배기구 return-2에서의 국소 CO₂ 농도는 586ppm, 실평균 CO₂농도는 534ppm으로 가장 낮은 농도분포를 보이고 있다. 반면에 배기구 return-5에서의 국소 CO₂ 농도는 608ppm, 실평균 CO₂ 농도는 581ppm으로 나타났다. 환기효율에 있어 약 1~2% 낮은 성능을 보인 것에 비해 국소 CO₂ 농도 약 20ppm정도 높게 실평균 CO₂ 농도는 약 50ppm 정도 높은 것으로 나타났다. 이는 배기구가 오염원이 있는 코너부분에 설치되어 실내 기류분포가 원활하게 이루어지지 않아 회석된 오염물질이 실내에 체류하는 시간이 상대적으로 길어져 CO₂ 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다.



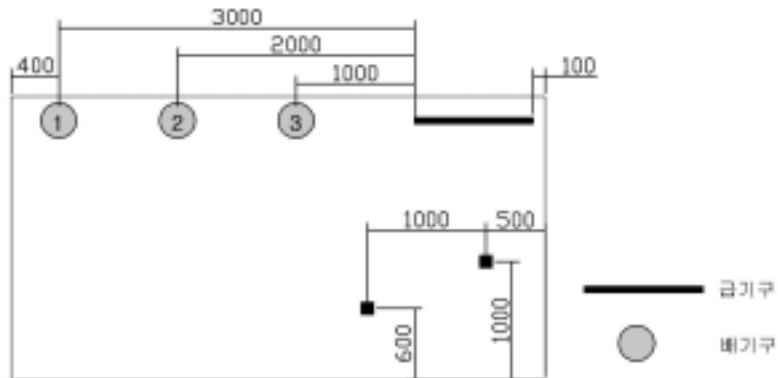
(그림 4.50) supply-3 / return-2일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.51) supply-3 / return-5일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

(4) 급기구의 위치가 supply-4 일 때

급기구 supply-4는 벽면으로부터 3.4m 이격된 상태로 소파착석 오염원의 측 상부에 설치되었다. 급기구의 단부로부터 배기구의 중심까지의 거리를 이격거리로 정의하고 이격거리는 1m단위로 설정하였다. 급·배기구의 배치는 (그림 4.52)와 같다.



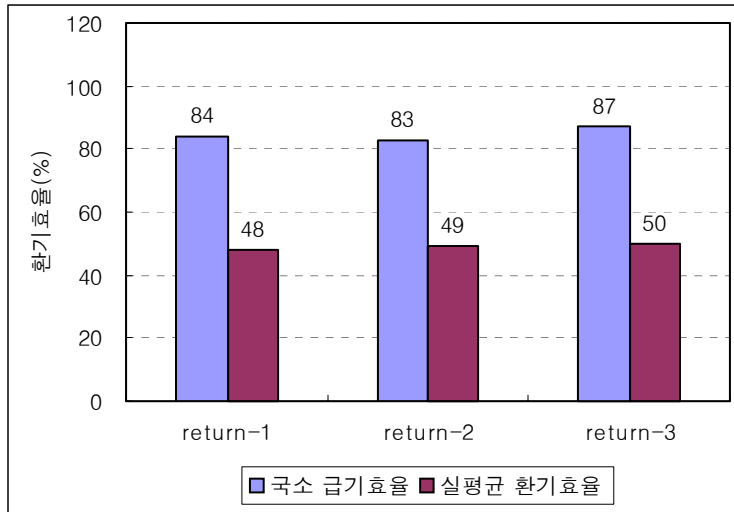
(그림 4.52) 급기구의 위치가 supply-4일 때 급·배기구 배치도

급기구의 위치가 supply-4일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실전체 연령과 국소급기효율, 실평균 환기효율은 <표 4.21>과 같다.

<표 4.21> 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구별 공기연령 및 환기효율

	return-1	return-2	return-3
LMA(분)	30.95	31.23	29.80
국소 급기효율	84	83	87
<LMA>	27.05	26.82	26.01
실 평균 환기효율	48	49	50

slot형 급기구의 위치가 supply-4일 때, 국소평균연령(LMA)은 약 30분대로 나타났고, 국소 급기효율은 83%~87%의 분포를 보여 배기구의 위치에 따라 약 5%이내의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 실평균 연령(<LMA>)은 27분대로 나타났고, 실평균 환기효율은 48%~50%의 분포를 보여 이 역시 배기구의 위치에 따라 약 5%이내의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.



(그림 4.53) 급기구의 위치가 supply-4일 때
배기구의 위치별 국소급기효율 및 실평균 환기효율

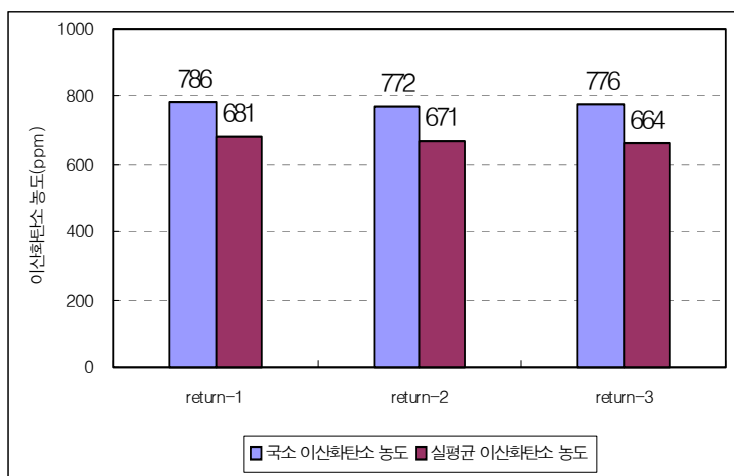
slot형 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구 return-1에서의 국소 급기효율은 84%, 실평균 환기효율은 48%로 나타났다. 배기구 return-1은 급기구 단부로부터 3m 이격된 위치로 오염원으로부터 약 2.5m 이격되어 있어 급기류에 의해 희석된 오염물질이 배기구로 배출되는 오염물질의 이동경로가 상대적으로 길어 환기효율이 가장 나쁘게 나타난 것으로 판단된다.

반면에 배기구 return-3에서의 국소 급기효율은 87%, 실평균 환기효율은 50%로 나타났다. 배기구 return-3는 급기구 단부로부터 1m 이격된 위치로 오염원으로부터 약 0.5m 이격되어 있어 오염원부에서 급기가 이루어지고 오염원 가까이에서 배기가 이루어져 효율이 가장 우수하게 나타난 것으로 판단된다.

slot형 급기구의 위치가 supply-4일 때, 배기구의 위치별 국소 및 실평균 CO₂ 농도 분포는 <표 4.22>와 같다. 국소 CO₂농도는 약 775ppm~790ppm의 분포를 보이고 있고, 실평균 CO₂농도는 약 665ppm~680ppm의 분포를 보이고 있다.

<표 4.22> 급기구의 위치가 supply-4일 때 배기구별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

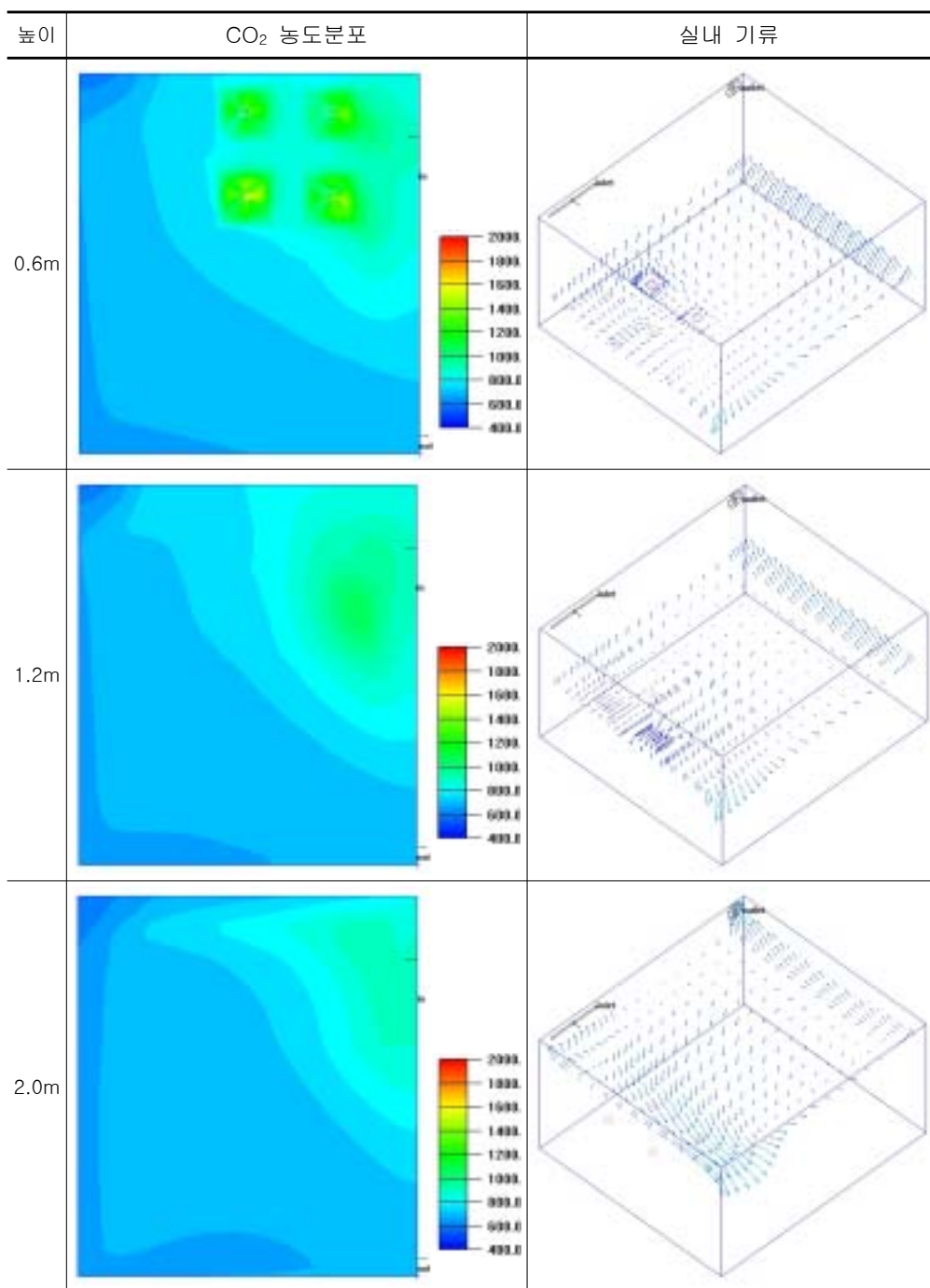
	return-1	return-2	return-3
국소 CO ₂ 농도	786	772	776
실평균 CO ₂ 농도	681	671	664



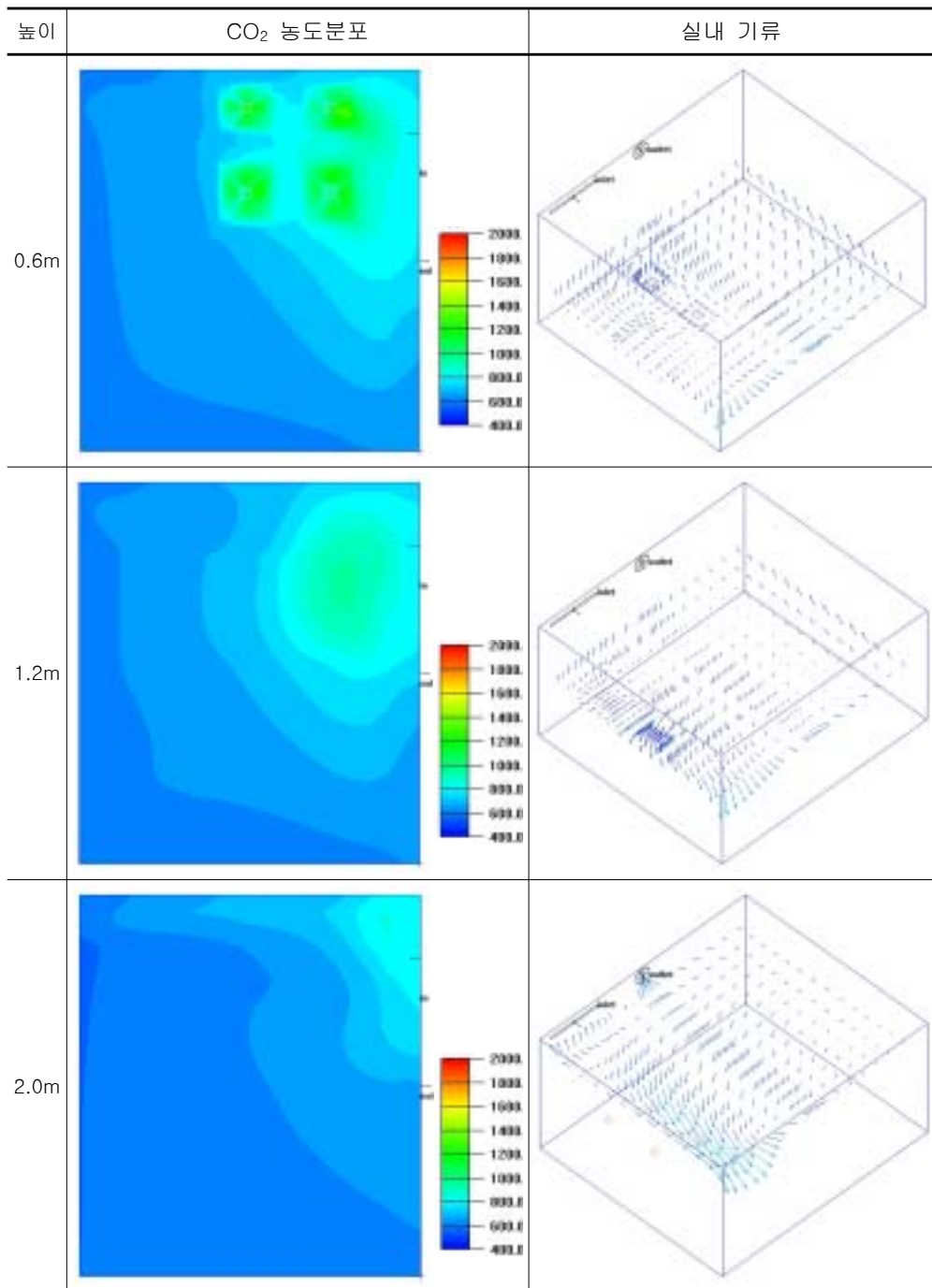
(그림 4.54) 급기구의 위치가 supply-4일 때
배기구의 위치별 국소 CO₂ 농도 및 실평균 CO₂ 농도

환기효율이 가장 나쁘게 나타난 배기구 return-1에서의 국소 CO₂ 농도는 786ppm, 실평균 CO₂ 농도는 681ppm으로 나타났다. 이는 배기구의 위치가 오염원으로부터 가장 멀리 이격되어 있어 급기류에 의해 희석된 오염물질이 배기구로 빠져나가는데 다소 시간이 길어져 오염물질이 실내에 정체하는 시간 및 구역이 넓게 분포하여 CO₂ 농도 역시 높게 나타난 것으로 판단된다.

반면에 환기효율이 가장 우수하게 나타난 배기구 return-3에서의 국소 CO₂ 농도는 776ppm, 실평균 CO₂ 농도는 664ppm으로 나타났다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 배기구 return-3은 오염원으로부터 약 0.5m 이격되어 오염원과 가장 가까이에 배치되어 있어 오염물질이 효과적으로 배출되어 실내 CO₂ 농도가 가장 낮게 나타난 것으로 판단된다.



(그림 4.55) supply-4 / return-1일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류



(그림 4.56) supply-4 / return-3일 때 높이별 CO₂ 농도분포 및 실내 기류

case 2 소 결

급기구의 형상 : slot형 diffuser, 배기구의 형상 : round diffuser인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율 및 국소 CO_2 농도에 있어서는 거의 차이가 없는 것으로 나타나, 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은 약 15%정도의 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 5%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리가 1.0m 일 때 환기효율 및 CO_2 농도가 가장 양호한 것으로 나타났다. 이때 배기구의 위치는 오염원 가까이에 설치하도록 한다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 5%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.0m일때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

제 5 장 결론

본 연구에서는 기존공동주택에도 양호한 실내공기환경을 제공하기 위하여 환기시스템의 적용이 이루어져야 할 것으로 판단, 기존 공동주택에 적용 가능한 환기시스템의 기본 모델을 제시하였다. 환기시스템의 급·배기구 형상, 급·배기구 이격거리를 변수로 설정하고 환기시스템 적용시 환기효율, 실내 CO₂농도 분포 및 실내기류분포를 분석하였다.

환기시스템의 환기성능에 대한 시뮬레이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) case 1 : 급배기구의 형상 = round diffuser 인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 배기구를 오염원 중심부에 설치할 때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 급배기구의 이격거리가 1.0m 이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은 최고 30%까지 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 약 10%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리는 1.0m이상 유지할 경우 환기효율에 있어서 크게 차이가 없는 것으로 나타나 1.0m 이격하는 것이 바람직할 것으로 예상된다. 또한 배기구를 오염원측에 배치할 경우 환기효율에이 다소 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구는 급기구로부터 1.0m 정도 이격하여 설치하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.7m일 때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리가 1.0m이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 이 경우에서도 환기시스

템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

그러나 급기구를 벽면과 인접하여 설치할 경우 급기되는 공기가 벽면을 타고 흘러들어가 실내기류 형성에 영향을 미치지 않아 급기구로서의 역할을 수행하지 못하는 것으로 판단되어지는바 급·배기구는 벽면으로부터 최소 0.5m이상 이격하여 설치하는 것이 바람직 할 것으로 기대된다.

(2) case 2 : 급기구의 형상=slot형 diffuser, 배기구의 형상=round diffuser인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율 및 국소 CO₂ 농도에 있어서는 거의 차이가 없는 것으로 나타나, 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은 약 15%정도의 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 5%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리가 1.0m 일 때 환기효율이 가장 양호한 것으로 나타났다. 이때 배기구의 위치는 오염원 가까이에 설치하도록 한다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 5%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.0m일때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

본 연구의 한계 및 추후 연구과제는 다음과 같다.

본 연구에서는 정방형의 거실을 대상으로 기존 공동주택에 적용 가능한 환기시스템의 개념을 도입하여 CFD에 의한 분석을 통하여 급배기구의 형상, 설치위치 및 이격거리에 따른 환기효율을 분석하였다. 하지만 대부분의 공동주택의 경우 거실과 주방이 트여있는 형태를 나타내므로 환기효율은 절대적인 수치보다는 상대적인 우열을 판별하는 기준으로 삼아야할 것이다. 또한 평형대별 주방 및 거실부의 평면유형별로 환기효율을 분석하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 고재운 외, 아파트주택에 있어서 실내공기청정기에 의한 환기의 수치해석, 대한설비공학회 논문집, 제 13권 제3호, 2001.
- 2) 김광영, 백창언, 실내공기질 향상을 위한 환기시스템 기술, 설비저널, 제 31권 제 12호, 2002.
- 3) 김광우, 정광섭 공저, 건축공기조화설비, 기문당, 1993.
- 4) 김기훈 외 3, 급기구 위치에 따른 동시 급배기 주방환기시스템의 성능평가, 공기조화 냉동공학회하계학술 발표대회 논문집, 2000.
- 5) 김수암, 집합주택단위평면 유형의 고정화현상에 관한 연구(1), 대한건축학회논문집, 제 8권 제4호, 1992.
- 6) 김수암, 집합주택단위평면 유형의 고정화현상에 관한 연구(2), 대한건축학회논문집, 제 8권 제6호, 1992.
- 7) 김수암, 집합주택단위평면 유형의 고정화현상에 관한 연구(3), 대한건축학회논문집, 제 8권 제7호, 1992.
- 8) 김민정 외 3, 급기구 위치에 따른 동시 급배기 주방환기시스템의 성능평가, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표대회 논문집, 2000.
- 9) 김영호, 건축설비, 보문당, 1994.
- 10) 김완기 외, 환기량에 따른 실내공기오염농도의 감소효과에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 제 19권 제1호, 1999.
- 11) 김용경 외, 환기효율의 정량적 평가를 통한 필요환기량 산정방법에 관한 연구-각종 환기방식에 따른 실내기류 및 온도분포의 수치예측, 대한건축학회발표논문집, 제19권 제1호, 1999.
- 12) 김태연, 오염물질 발생원의 실내공기질에 관한 기여율 해석, 대한설비공학회 2003 하계학술발표대회 논문집, 2003.
- 13) 이연구, 박진철 외, 건물(아파트, 오피스텔)에서의 실내공기오염물질 방출 저감방안에 관한 연구, 중앙대학교 미래신기술연구소 보고서, 2003.
- 14) 이윤규, 실내공기질 향상을 위한 환기시스템 및 실내공기오염 간이평가기법, 설비저널, 제 31권 제 12호, 2002.
- 15) 이윤규, 최근 실내 공기환경 기준의 국제적 연구동향, 대한건축학회, 1998.9
- 16) 장경진, 추적가스를 이용한 급기 및 배기효율의 측정기술에 관한 연구, 국민대학교 박사학위 연구, 2000.

- 17) 전주영, 공동주택에 있어서 주방의 공기환경 개선에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 1994.
- 18) 조균형, 장용준, 초고층 아파트의 단위세대 주호 환기에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 17권 제 12호, 2001.
- 19) 최경석 외 3, 초고층 아파트의 환기방식에 따른 실내공기환경 성능평가, 대한건축학회 논문집, 제 20권 제 2호, 2000.
- 20) 최선호, 배기효율의 정의 및 측정기법에 관한 연구, 국민대학교 석사학위논문, 2000.
- 21) 한화택, 최선호, 장경진, 실내 기류패턴에 따른 급기효율과 배기효율의 분포, 대한설비공학회 논문집, 제 13권 제9호, 2001.
- 22) 한화택, 환기효율의 정의에 관하여, 공기조화 냉동공학회지, 제 28권 제 1호, 1999.
- 23) 홍천화 외, 공동주택의 환기최적화 방안에 관한 연구, 대림기술정보, 2003 봄호, 대림산업주식회사.
- 24) AIVC, A Guide to a Air Change Efficiency, Technical Note AIVC 28, Air Infiltration and Ventilation Center, 1990.
- 25) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1997.
- 26) ASHRAE, ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation For Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1989.
- 27) ASHRAE, International Symposium on Room Air Convection and Ventilation Effectiveness, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992.
- 28) Awbi H. B., Ventilation of Building, First Edition, London : E&FN SPON, 1991.
- 29) Edling C., Kling H. & Ayelson O., Radon in Homes : A possible cause of lung cancer, Scand J. Work Environment Health, 10, 1984.
- 30) F. Haghighat, P. Fazio, J. Rao, A Procedure for Measurement of Ventilation Effectiveness in residential buildings, Building and Environment, Vol.25, Issue 2, 1990.
- 31) F. J. Offermann, D. Int-Hout, Ventilation Effectiveness Measurements of

- three supply/return air configurations, Environment International, Vol.15, Issues 1-6, 1989.
- 32) Hays S. M. et al., Indoor Air Quality : Solutions and Strategies, McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.
- 33) .K. Papakonstantinou et al., Air Quality in an Underground Garage : Computational and Experimental Investigation of Ventilation Effectiveness, Energy and Buildings, Vol.35, 2003.
- 34) Per Heiselberg, Shuzo Murakami, Claude-Alain Roulet, Ventilation of large spaces in buildings, IEA Aneex 26 : Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures, 1998.
- 35) Sandberg, Ventilation Efficiency as a Guide to Design, ASHRAE Transactions, Vol.89, Pt.2B, 1983.
- 36) Sandberg, What is Ventilation Efficiency, Building and Environment, Vol.16, No.2, 1981.
- 37) U. S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Carcinogen Assessment Group, Office of Health and Environmental Assessment, 1986.
- 38) <http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns/res/rps.html>-Health in the Built Environment : Indoor Air Quality
- 39) <http://contents.digitalrank.com/Shopping11/sh10.htm>
- 40) <http://www.hyundai-ipark.com/id03.html>
- 41) <http://www.me.go.kr/>
- 42) http://www.metooeng.co.kr/business_2_4.htm

국 문 초 록

既存 共同住宅의 空氣環境 改善을 爲限 換氣시스템 適用 計劃에 관한 研究

중앙대학교 대학원
건축학과
건축계획 및 환경 전공
이진경
지도 교수 이언구

최근 에너지 절약과 시공성능의 향상으로 인하여 건축물이 고기밀화·고단열화 됨에 따라 자연환기가 어려워져 신선외기 도입량의 감소로 인해 실내 공기질 (IAQ : Indoor Air Quality)이 저하되는 경향을 보이고 있다. 그러나 최근 양호한 주거환경의 중요성이 부각됨에 따라 기존의 공동주택에도 실제적인 기계 환기에 대한 설계기법이나 환기시스템의 도입 등에 대한 고려가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 기존 공동주택에 적용 가능한 환기시스템 형태로 벽면 설치형 환기시스템을 제안하고 적용된 환기시스템의 환기효율을 3차원 비정상해석을 통하여 산정하고자 한다. CFD 기법을 이용하여 실내기류분포 특성과 환기 효율 및 실내 CO₂ 농도를 분석하여 최적의 급·배기구 설치 위치, 이격거리 및 상시 환기시스템의 기초 설계 자료를 제시하는데 목적이 있다.

CFD 해석 범위는 공동주택의 거실로 한정하고 오염원은 인체의 호흡에 의해 발생하는 이산화탄소로 가정한다. 해석변수는 급·배기구 형상, 급·배기구 이격거리로 설정하였다.

환기시스템의 환기성능에 대한 시뮬레이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) case 1 : 급배기구의 형상 = round diffuser 인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율

에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 배기구를 오염원 중심부에 설치할 때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 급배기구의 이격거리가 1.0m 이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은 최고 30%까지 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 약 10%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리는 1.0m이상 유지할 경우 환기효율에 있어서 크게 차이가 없는 것으로 나타나 1.0m 이격하는 것이 바람직할 것으로 예상된다. 또한 배기구를 오염원측에 배치할 경우 환기효율에이 다소 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구는 급기구로부터 1.0m 정도 이격하여 설치하는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 10%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.7m일 때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리가 1.0m이상인 경우 환기효율에 있어 크게 차이가 없는 것으로 보여지므로 이 경우에서도 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 약 1.0m 인 것으로 판단된다.

그러나 급기구를 벽면과 인접하여 설치할 경우 급기되는 공기가 벽면을 타고 흘러들어가 실내기류 형성에 영향을 미치지 않아 급기구로서의 역할을 수행하지 못하는 것으로 판단되어지는바 급·배기구는 벽면으로부터 최소 0.5m이상 이격하여 설치하는 것이 바람직 할 것으로 기대된다.

(2) case 2 : 급기구의 형상=slot형 diffuser, 배기구의 형상=round diffuser인 경우

급기구를 오염원 반대쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율 및 국소 CO₂ 농도에 있어서는 거의 차이가 없는 것으로 나타나, 환기시스템의 시공성과 덕트 길이를 최소화할 수 있는 이격거리는 1.0m 인 것으로 판단된다.

급기구를 실의 중앙부에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 국소 급기효율은

약 15%정도의 차이가 발생하였고, 실평균 환기효율은 5%정도 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 급·배기구 사이의 이격거리가 1.0m 일 때 환기효율이 가장 양호한 것으로 나타났다. 이때 배기구의 위치는 오염원 가까이에 설치하도록 한다.

급기구를 오염원쪽 구석에 설치할 경우 배기구의 위치에 따라 환기효율에 있어 약 5%정도의 차이를 보이는데 급배기구의 이격거리가 1.0m일때 환기효율이 가장 좋은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

A Study on the Ventilation System for the Improvement of IAQ in Existing Apartment Houses

Lee, Jin Kyeong

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

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

In recent years, apartment houses have been insulated and air-tight due to the energy-saving design strategies and the improvement of construction methods. Therefor natural ventilation performance is getting weaker, the fresh air is getting decreased and it is a tendency that IAQ is getting worse. But recently the importances of good dwelling environment/circumstances are embossed, so it is decided that some regards to real mechanical ventilation strategies or application of mechanical ventilation system are accomplished in existing apartment houses

In this study, wall-type ventilation system is suggested that it is an applicable ventilation system type in existing apartment houses. And its ventilation effectiveness is analyzed through 3-dimensional unsteady numerical analysis. Indoor air current's distribution, ventilation effectiveness and concentration of carbon dioxide are analyzed to present the optimum distance between supply and return diffusers of the system and fundamental design data of ordinary ventilation system using CFD(Computational Fluid Dynamics) analysis.

The boundary of CFD analysis is in living room and pollutant resource is suggested that carbon dioxide is made by human breath. Simulation variables are the shape of supply and return diffusers and the distance between supply and return diffusers.

The simulation results of ventilation performance of mechanical ventilation system can be summarized as follows.

(1) case 1 : the shape of supply and return diffusers = round diffuser

If the supply diffuser is located in opposite corner of pollutant resource, the difference of ventilation effectiveness is about 10% according to the position of return diffuser. In this case, when the return diffuser is located at the center, the ventilation effectiveness is best. The optimum distance between supply and return diffusers is about 1.0m

If the supply diffuser is located at the center, the difference of local ventilation effectiveness is up to 30% , and the difference of room mean ventilation effectiveness is about 10% according to the position of return diffuser. In this case, the return diffuser should be located close to the pollutant resource. The optimum distance between supply and return diffusers is about 1.0m

If the supply diffuser is located in the corner of pollutant resource, the difference of ventilation effectiveness is about 10% according to the position of return diffuser. In this case, when the distance between supply and return diffusers is 1.7m, the ventilation effectiveness is best. But when the distance is longer than 1.0m, the ventilation effectiveness is exactly same.

But if the supply diffuser is located right to the side wall, the supply air is not enough to build up air current's flow. So the supply and return diffusers should be located 0.5m apart from side wall.

(2) case 2 : the shape of supply diffusers = slot diffuser
the shape of return diffusers = round diffuser

If the supply diffuser is located in opposite corner of pollutant resource, the ventilation effectiveness and local concentration of carbon dioxide is exactly same. If consider the construction performance of the ventilation system and minimize the duct length, the optimum distance between supply and return diffusers is about 1.0m

If the supply diffuser is located at the center, the difference of local ventilation effectiveness is about 15%, and the difference of room mean ventilation effectiveness is about 5% according to the position of return diffuser. In this case, the return diffuser should be located close to the pollutant resource. The optimum distance between supply and return diffusers is about 1.0m

If the supply diffuser is located in the corner of pollutant resource, the difference of ventilation effectiveness is about 5% according to the position of return diffuser. In this case, the ventilation effectiveness is best when the distance between supply and return diffusers is 1.0m.

감사의 글

대학원에 입학한 게 바로 어제 같은데....우여곡절 끝에 논문을 마치고 연구실을 떠나려 하니 참 많은 생각들이 교차합니다. 많이 부족한 저를 이 자리까지 이끌어주시고 격려를 아끼지 않았던 많은 분들께 말로 표현하기에는 부족하지만 깊은 감사의 마음을 전합니다.

너무도 부족한 저를 사랑으로 감싸주셨던 우리 이언구 교수님. 모든 이들에게 학문적인 측면뿐만 아니라 인생에 있어 더 큰 가르침을 주신 교수님께 부족하지만 정말 마음으로부터 깊은 감사와 존경을 전합니다. 부족한 논문을 격려와 관심으로 지켜봐주셨던 김남규 교수님, 박진철 교수님께 감사드립니다. 제자들에게 진정한 건축인으로서의 삶과 긍지를 몸소 보여주시고, 사랑으로 이끌어주신 이명호 교수님, 이현호 교수님, 정현수 교수님, 최윤경 교수님, 박찬식 교수님, 이정형 교수님께도 감사의 마음을 전합니다. 또한 학부시절부터 많은 관심과 격려를 주신 이은택 교수님, 강재훈 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

연구실 선배님으로서 뿐만 아니라 진정한 학자로서의 모범을 보여주시고 깊은 관심을 가져주신 송국섭 교수님, 황정하 교수님, 안태경 교수님, 언제나 따뜻한 미소로 감싸주셨던 권영철 교수님, 이관호 교수님, 논문쓰시느라 바쁘신 와중에도 부족한 제 논문에 신경 많이 써주셨던 이동주 교수님, 바쁘신 와중에도 부족한 저를 위해 멀리서, 가까이서 정말 많은 관심과 격려를 아끼지 않으셨던 나수연 교수님께 이 글을 통해 다시 한번 정말 깊이 감사드립니다. 번창하는 사업으로 어느 누구보다 동분서주한 상황에서도 많은 관심을 보여주시신 호준오빠, 나태해 지는 저를 자상한 격려로 추스려 주셨던 기훈오빠를 상형오빠, 전성원 선배님, 강일경 선배님, 홍민호 선배님, 유형규 선배님, 주영 언니, 소연언니, 항상 바쁘면서도 부족한 후배 챙겨주느라 정신없었을 선언니와 명이 오빠, 현진언니에게 감사의 마음을 전합니다. 함께 논문 쓰며 힘이 되어준 진철오빠, 후배들 돌보느라 정신없었을 종연, 진영, 논문 쓴다는 핑계로 많이 챙겨주지 못해 미안한 마음이 앞서는 혜진, 얼굴도 예쁘지만 마음이 더 예쁜 옥, 연구실의 귀염둥이 은희, 왕만두의 괴롭힘을 더 이상 못 막아줘서 너무 마음이 아픈 용우오빠, 우진이를 비롯한 환경연구실 모든 선후배님들에게 다시 한번 감사의 마음을 전합니다. 또한 학부 때부터 많이 챙겨주고 힘들 때 마다 용기를 준 복희오빠와 영호오빠, 진우에게도 감사의 마음을 전합니다.

항상 바쁜척하는 못난 친구를 먼저 챙겨주고 힘들 때마다 사랑과 격려로 감싸주었던 수현, 경인, 상란, 언제나 언니같이 감싸주고 당당한 모습을 보여주는 수경, 꿈을 이루기 위해 언제나 노력하는 또 다른 수경, 무숙이, 산업전선에서 한참 바쁜 우리 경현이와 정선이, 낯선 타국에서 힘든 때에도 위로와 격려를 주었던 동훈이에게도 감사의 마음을 전합니다. 언제나 먼저 사랑으로 감싸줘 미안한 마음이 앞서는 현숙이, 마당소식지 정규를 비롯한 훈마당 선후배님들에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 오늘의 제가 있기까지 언제나 믿어주시고 평생 사랑으로 후원해주신, 제가 힘들어할 때 저보다 더 아파하셨을 엄마, 아빠께 감사드립니다. 때로는 엄마처럼 때로는 친구처럼 다정다감하게 사랑을 주는 서경언니, 언제나 모자란 동생 챙겨주고 아껴주고 인생의 지침이 되어준 광숙언니를 비롯한 우리 자매들과 집안에 웃음을 선사해주는 우리 귀염둥이 훈이와 은이에게 깊은 감사와 사랑을 드리며, 이 논문을 사랑하는 부모님께 바칩니다.

2004년 6월 사랑하는 모든 분들의 행복을 빌며 진경 드림