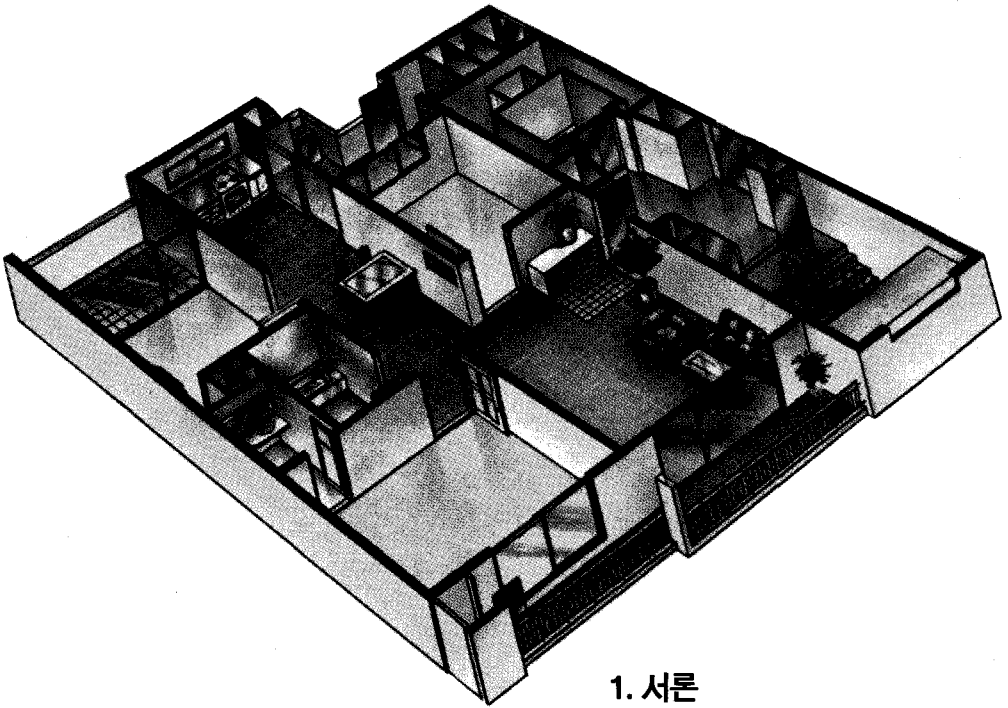


공동주택의 화장실 배기 실태 조사에 관한 연구



조창휘 / 현대건설 기술연구소 부소장
 김상민 / 현대건설 기술연구소 연구원
 박종수 / 현대건설 기술연구소 연구원
 엄일경 / 현대건설 기술연구소 연구원

1. 서론

산업발달과 인구의 도시집중에 따라 보급된 공동주택은 우리의 주거형태에서 차지하는 비중이 급속히 증가하여 왔으며, 점점 고층화 되어가는 추세를 보임에 따라 시공기술의 발달 및 양적인 면에서는 상당한 성과를 거두었으나 주거환경의 질적인 향상은 만족할 만한 발전을 이루지 못하였다고 할 수 있다. 특히 실내공기환경에 대한 관심 증가와 공동주택의 초고층화에 따른 화장실과 주방배기에 대해서는 전혀 고려가 없었다고 볼 수 있다.

공동주택의 경우 대부분의 화장실은 주

택의 중앙에 위치하여 외기를 통한 급배기가 불가능하므로 배기덕트를 통한 자연 환기 및 기계식 환기가 이루어지고 있으나, 배기설비의 불량 및 제반 문제점으로 화장실에서 발생하는 악취가 충분히 배출되지 못함에 따라 화장실내에 항상 악취가 잔존하여 거주자들이 불쾌감을 느끼는 원인이 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 배기 설비 설계에 관한 내용 검토 및 공동주택 화장실의 배기실태를 조

사하므로써 공동 주택 화장실의 배기설비 설계기준 및 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 공동주택 화장실의 배기설계 기준

2-1 환기의 종류 및 방식

환기는 일반적으로 자연환기와 기계환기로 분류할 수 있는데 자연환기는 압력차, 온도차 등에 의해서 자연적으로 환기가 되는 것을 말하며, 기계환기는 송풍기를 이용하여 강제적으로 환기시키는 방법으로 <표 2-1>과 같이 분류되며 화장실은 제3종 기계환기 및 자연환기를 적용하고 있다. 공동주택에 적용되고 있는 환기방식으로는 입상덕트별 기계배기, 동별기계배기, 입상덕트별 자연배기, 세대별 기계배기 + 입상덕트별 자연배기 등이 있다.

2-2 공동주택 화장실의 환기기준

2-2-1 국내기준

국내 공동주택 화장실의 배기설계에 대한 관련 기준으로서 건축법(건축시행령 제50조 환기설비)에 제시하고 있으나 최근 공동주택이 초고층화 되어가는 추세에 따라 환기횟수, 배기덕트의 크기, 옥상배기팬의 효율 및 크기 등에 대한 고려가 필요하며, 외기기상조건에 대비한 공동주택의 배기기준이 설정되어야 할 것으로 판단된다.

2-1-2 국외기준

<표 2-2>에는 국외 관련단체의 화장실 배기에 관련된 환기량, 배기구면적, 환기횟수에 대한 설계기준을 나타내고 있다.

<표 2-1> 환기의 분류

구분	급기	배기	환기량	내압	비고
기계환기	제1종	기계	기계	임의일정	임의
	제2종	기계	자연	임의일정	정압 배기구 필요
	제3종	자연	기계	임의일정	부압 급기구 필요
자연환기	자연	기계	불일정	부압	

<표 2-2> 국외 관련단체의 화장실 배기관련 설계기준

관련기준	항목	환기량	배기구면적	환기횟수
ASHRAE-Std (62-1989)		85m ³ /h(간헐)	-	-
		34m ³ /h(연속)	-	-
일본공기조화 위생공학회(HASS)		30m ³ /h·m ³	-	-
독일규격협회 (DIN 18017)		-	분기덕트단면적 140cm	-
국·내외 일반적 권장치		-	-	5~10회/h

<표 3-1> 측정대상 공동주택의 개요

구분	S아파트	P아파트	D아파트	B아파트
총 층 수	12층	17층	25층	25층
총 높이	32m	45m	68m	68m
평형	32평	32평	69평	32평
화장실 수	2개	2개	2개	2개
배기방식	자연배기	자연배기 + 세대별 기계환기	자연배기	자연배기
옥상배기팬크기	φ450	φ450	φ600	φ450
분기덕트크기	φ100 Flexible Duct	φ100 Flexible Duct	φ100 Flexible Duct	φ100 Flexible Duct
배기덕트크기	300×300	300×300	300×350	260×280
준공년도	1992년	1991년	1993년	1994년

3. 측정 개요

3-1 측정대상 공동주택의 개요

공동주택 화장실의 배기실태 조사를 위해 선정된 측정대상 공동주택의 평면도 및 배기덕트의 내부구조는 <그림 3-1>~<그림 3-2>와 같으며 <표 3-1>은 측정대상 공동주택의 개요를 나타낸 것이다.

3-2 측정내용

공동주택 화장실의 배기성능을 측정하기 위하여 측정대상 공동주택 저·중·고층부 거실 화장실에서 CO₂ 가스를 이용한 가스추적법과 배기풍속 등을 측정하여 환기횟수를 계산하였으며, 옥상층에서는 배기팬의 배기풍속, 회전수(RPM)를 측정하였다.

또한, 외기가 환기회수에 미치는 영향을 평가하기 위해서 외기온도, 풍속, 풍향 등을 측정하였다.

3-3 측정항목 및 측정기기

〈표 3-3〉에는 측정대상 공동주택의 환기성능을 평가하기 위해 사용된 측정기기와 측정시간을 측정항목별

〈표 3-2〉 측정내용

측정 항목	S아파트	P아파트	D아파트	B아파트	
화 장 실	가스추적법	1,6,12층	1,10,17층	1,13,25층	-
	배기풍속	전 층	전 층	전 층	전 층
	옥상배기팬 정지후 가스 추적법 측정	-	-	13층	-
	온·습도	전 층	전 층	전 층	전 층
	외 기	옥상배기 풍속/온도	옥 상	옥 상	옥 상
옥상배기팬 회전수		옥 상	옥 상	옥 상	옥 상
풍속/풍향		옥 상	옥 상	옥 상	옥 상

〈표 3-3〉 측정항목별 측정기기

측정항목	측정기기	측정시간
화 장 실	환기횟수 · Multi-Gas Monitor (Type 1302, B&k) · CO/CO ₂ Analyzer (Type UM-206, KOMYO)	· 1분측정/1분대기 (초기 CO ₂ 농도 이하) 로 될때까지 측정)
	온도/습도 배기풍속 · Anemometer (Type 6511, KANOMAX)	· 1초 간격 10회 측정
외 기	옥상배기 풍속/온도 · Hot wire Anemometer (Type V-01-ANDP, IET)	· 10초 간격 연속측정
	풍속/풍향 온도 · Digital Weather Consol (Type Capricorn2, HIND International INC)	· 1분 간격 연속측정
기	옥상배기팬 회전수 · RPM Meter	· 1분 간격 연속측정

로 나타내었다.

4. 측정결과 분석 및 고찰

4-1 환기횟수의 산정 및 비교고찰

측정대상 공동주택의 환기횟수를 측정하기 위하여 S.P.D 아파트에서 가스농도 감쇠, 화장실 배기풍속 및 옥상배기풍속의 3가지 방법으로 환기횟수를 산정하였으며, 이에 대한 결과분석은 다음과 같다.

4-1-1 가스농도 감쇠법에 의한 환기횟수

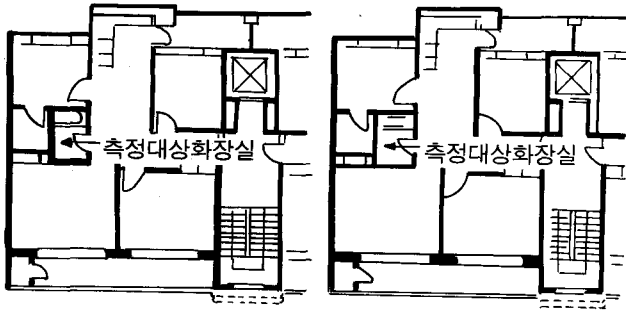
가스농도 감쇠에 의한 환기횟수의 측정 은 대표성을 나타낼 수 있는 저, 중, 고층부의 3개층을 측정하였으며, 환기회수 및 P 아파트의 가스농도 감쇠곡선은 〈표 4-1〉 및 〈그림 4-1〉과 같다.

S아파트(12층), P아파트(17층), D아파트(25층)의 3개 아파트에서 산정된 평균 환기횟수는 저층부 2.9회/h, 중층부 1.6회/h, 고층부 3.1회/h 정도로 3개의 아파트에서 동일하게 중층부가 저, 고층부에 비하여 배기가 원활하지 못함을 보이고 있으며, 전반적으로 중층부 <저층부 < 고층부의 순으로 배기성능이 양호하게 나타남을 보이고 있다. 또한 공동주택 화장실 환기의 기준값인 환기횟수 10회/h에는 크게 미치지 못하는 것으로 나타나 적절한 배기 대책이 강구되어야 하며, 특히 중간층에 대해서는 화장실 배기풍속을 증가시킬수 있는 대책이 요구된다.

4-1-2 세대별 화장실의 배기풍속에 의한 환기횟수

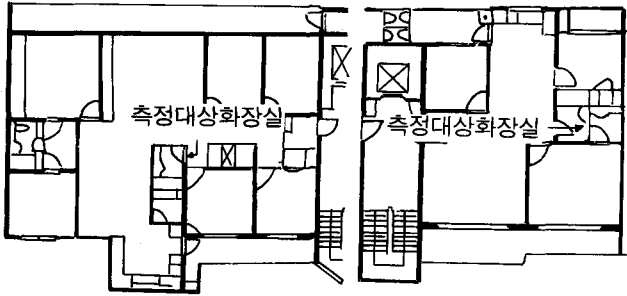
세대별 화장실의 배기풍속에 의한 환기횟수는 각 세대의 화장실 천정 배기그릴에서 풍속을 측정하여 산정하였으며, 평균 환기횟수는 〈표 4-2〉와 같다.

측정결과 4개의 측정대상 아파트에서 동일하게 중간층 부분에서 거의 0에 가까운 환기횟수를 나타내고 있으며, 저·고층부에서도 층별(12~25층)에 따라 2.5회 이하의 낮은 값을 보이고 있어 가스농도 감쇠법에 의한 측정결과와 동일하게 중간층 부분에서의 배기상태가 극히 불량한 것으로 나타났다.



(a) S아파트

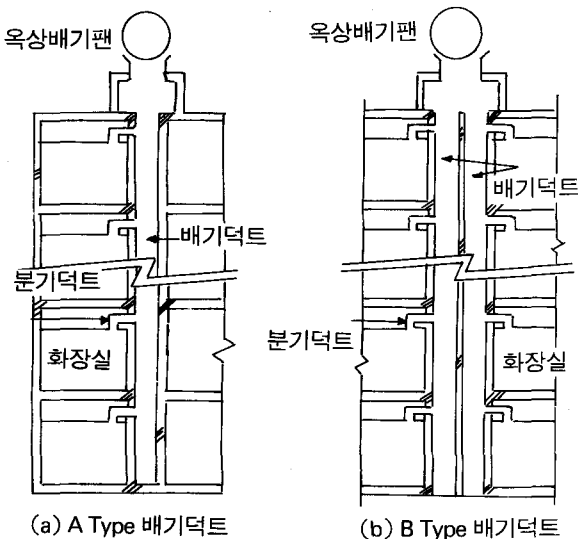
(b) P아파트



(c) D아파트

(d) B아파트

〈그림 3-1〉 측정대상 공동주택의 평면도



(a) A Type 배기덕트

(b) B Type 배기덕트

〈그림 3-2〉 측정대상 공동주택 배기덕트 내부구조도

4-1-3 옥상배기팬의 배기풍속에 의한 환기횟수

옥상배기팬의 배기풍속에 의해 산정된 환기횟수는 〈표 4-2〉 및 〈그림 4-2〉와 같으며, 가스농도 감소에 의한 환기횟수 및 화장실 배기풍속에 의한 환기횟수보다 비교적 높은 값을 보이고 있다. 또한 배기덕트와 연결된 옥상배기팬 하단부에서 측정된 풍속으로 산정된 풍량은 하나의 배기덕트에 묶인 세대수 전체에서의 배기풍량과 같아야 하나 덕트내 틈새 및 조적시공에 따른 마찰저항 등으로 각 세대에서 배출되는 배기량의 합과 일치하지 않는 것으로 나타났다.

4-2 실측 환기횟수와 기준치와의 비교고찰

〈그림 4-3〉은 각 측정방법에 따라 산정된 환기횟수의 분포를 층별로 나타낸 것으로, 가스농도 감소 및 화장실 배기풍속에 의해 산정된 환기횟수는 3회/h 미만, 옥상배기팬의 배기풍속에 의한 환기횟수는 5~10회/h 정도로 나타나 3가지 환기횟수 일부를 제외하고는 공동주택 화장실의 일반적인 환기횟수 권장치인 10회/h를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

4-3 공동주택 옥상배기팬의 배기효율 평가

본 연구에서는 옥상배기팬의 효율을 평가하기 위하여 D아파트의 옥상배기팬(φ 600)을 정지 및 자연회전 상태로 변화시키면서 가스농도 감소에 의한 화장실의 환기횟수를 측정하였다.

〈표 4-3〉에 나타난 바와 같이 측정된 환기횟수는 옥상배기팬 정지 및 자연회전 상태에서 커다란 차이가 없어 옥상배기팬은 화장실 배기에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

5. 이론 및 수치해석 방법

5-1 수치해석 모델 및 가정

본 연구에서는 실제 기건설되어진 12층 공동주택 화장실 배기덕트를 해석모델로 선정하여 수치해석을 실시 실험치와의 검증을 통해 해석 프로그램의 타당성을 검토하였다.

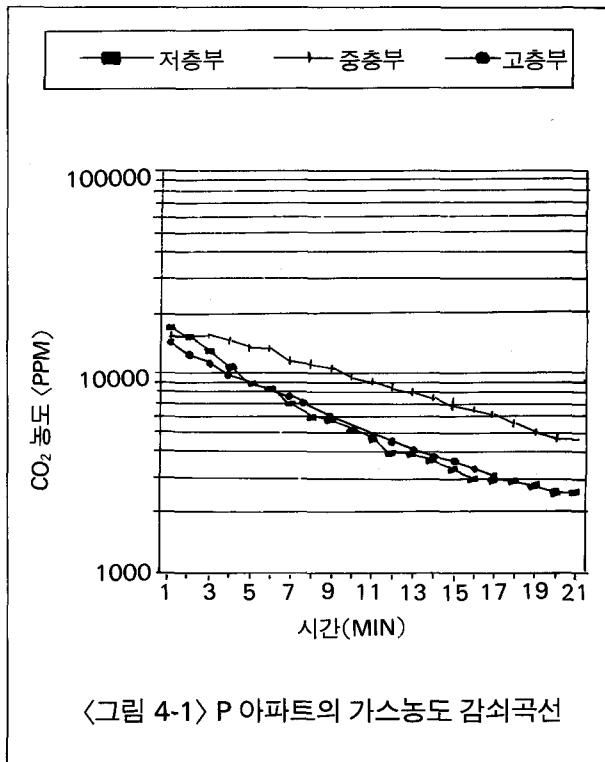
사용된 난류모델은 Low Reynold수 k-ε 난류모델중 LS모델이며 지배방정식은 Partankar에 의해서 제안된 제어체적방법을 기본으로 하여 이산화 하였으며, 해를 구하기 위해 SIMPLE 알고리즘이 이용되었다.

수치모델은 2차원 난류운동으로 가정하여 해석하였으며, 유입된 풍량은 유출된 풍량과 같아야 한다는 가정 아래 2차원 해석시 발생이 우려되는 분기덕트의 길이에

<표 4-1> 가스농도 감쇠법에 의한 환기횟수

(단위 : 회/h)

측정대상 아파트	층 고	해당층수	Multi Gas Monitor	CO/CO ₂ Analyzer
S아파트 (12층)	저층부	1층	2.8	2.7
	중층부	6층	1.6	1.7
	고층부	12층	2.6	2.6
P아파트 (17층)	저층부	1층	2.0	1.9
	중층부	10층	1.7	1.5
	고층부	17층	2.5	2.5
D아파트 (25층)	저층부	1층	3.9	3.6
	중층부	13층	1.5	1.6
	고층부	25층	5.1	4.4



대한 유입풍량과 배기덕트 최상부의 크기 (길이)에 대한 유출풍량의 차이를 없애기 위해 유입 분기덕트 크기 및 유출 배기덕트의 크기를 면적으로 산정 계산을 실시 3차원 해석시 나타날 수 있는 값에 근접하고자 했다.

해의 수렴성을 알기위해 제어체적내로 유입되는 유량과 유출되는 유량의 차이를 조사하였고 그 차이가 10⁻⁸kg/s 이하일 때의 값을 수렴치로 인정하였다.

<그림 5-1>은 해석 모델의 기하학적 형태 및 크기를 나타낸 것이며, <그림 5-2>는 계산영역의 분할 모습을 나타낸 것이다.

5-2 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서 사용된 연속방정식, 운동량 방정식, 난류 운동에너지 방정식, 난류운동에너지 소산을 방정식은 다음과 같다.

1) 연속방정식

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots(\text{식5.1})$$

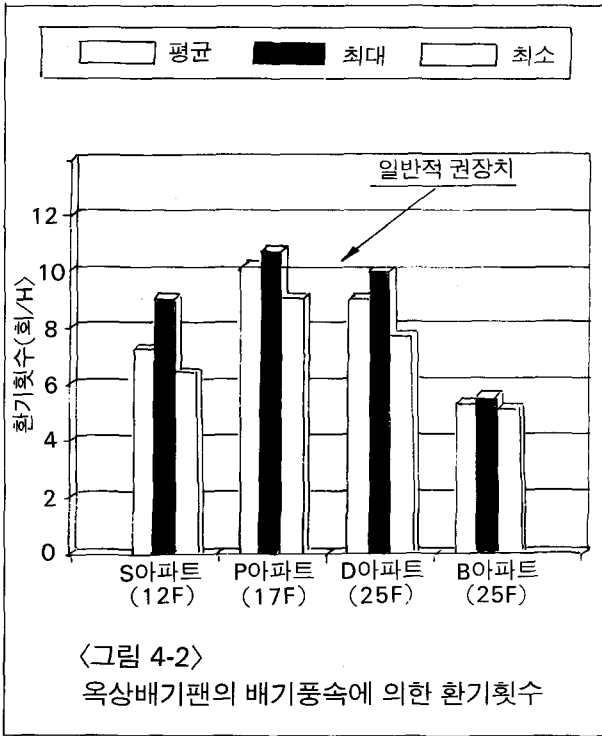
2) 운동량 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial u}{\partial x} \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_t \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right] - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\rho k) + \rho g \beta (T - T_0) \dots\dots\dots(\text{식5.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial v}{\partial x} \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right] - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) \dots\dots\dots(\text{식5.3}) \end{aligned}$$

3) 난류 에너지 방정식

$$\frac{\partial(\rho uk)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vk)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial y} \right] - \rho \epsilon$$



〈표 4-2〉 측정방법에 따른 환기횟수

(단위 : 회/h)

측정방법	화장실 배기풍속				옥상배기팬 풍속			
	S	P	D	B	S	P	D	B
측정대상 아파트								
최대	2.3(1)	1.3(4)	0.8(2)	0.8(1)	9.0	10.7	10.5	5.5
최소	0.8(1)	0.1(10)	0.1(16)	0.1(15)	6.4	9.0	7.6	5.1
평균	0.9	0.6	0.4	0.4	7.2	10.2	9.0	5.3

* ()은 대상층

〈표 4-3〉 옥상배기팬 정지 및 자연회전 상태에서의 배기효율 비교(D아파트 13층)

구분		정지상태	자연회전상태
환기횟수 (회/h)	Multi Gas Monitor	1.51	1.53
	CO/CO ₂ Analyzer	1.75	1.85
	화장실 배기풍속	1.10	1.61
	옥상배기풍속	8.64	8.71
풍속 (m/s)	화장실배기풍속	0.16	0.17
	옥상배기풍속	1.36	1.42
	외기풍속	2.09	2.46
	RPM	0	70

$$\left[\left(\mu + \frac{M'}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + G \cdot P(\bar{\epsilon} + D) + C_{3pg} \beta \cdot \frac{M_t}{\sigma_t} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

..... (식 5.4)

4) 난류운동에너지를 소산율 방정식

$$\frac{\partial (p\mu\bar{\epsilon})}{\partial x} + \frac{\partial (p\nu\bar{\epsilon})}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial y} \right] - \frac{\bar{\epsilon}}{K} (C_1 G - C_2 p\bar{\epsilon}) + E - C_{3pg} \beta \cdot \frac{M_t}{\sigma_t} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \cdot \frac{\bar{\epsilon}}{K}$$

..... (식 5.5)

(식 5.5)에서 Reynolds 전단응력에 의한 난류 운동에너지를 생성률(production rate)을 나타내는 G는 다음과 같다.

$$G = \mu_t \left\{ 2 \left[\frac{\partial u}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial v}{\partial y} \right]^2 + \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right]^2 \right\}$$

..... (식 5.6)

위의 난류식들에서 나타난 난류 점성계수 μ_t 는 아래와 같다.

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

..... (식 5.7)

난류량에 관한 (식 5.4~7)에서 나타나는 여러가지 항의 표현을 〈표 5.1〉에 나타내었으며 난류모델에서의 실험상수는 $\sigma_k = 1$, $\sigma_\epsilon = 1.3$, 그리고 $C_1 = 1.44$ 이다.

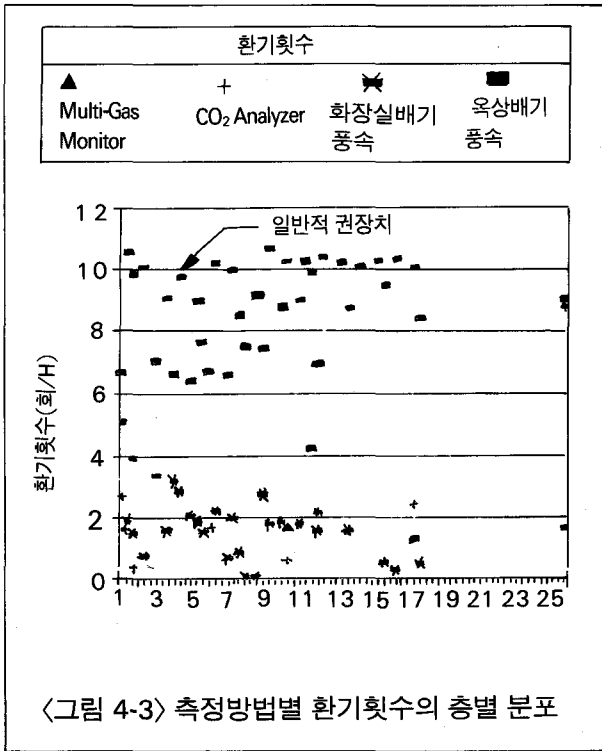
〈표 5.1〉에서 R_t 는 난류 Reynolds수, D는 점성응력에 의해서 생성되는 난류운동에너지, 그리고 E는 벽면근처에서 난류운동에너지의 실험치에 근접 시키기 위하여 부가된 항을 나타낸다.

이모델에서 사용되는 등방성 난류에너지 소산율 $\bar{\epsilon}$ 는 벽면에서 경계조건을 간편하게 주기위하여 표준 K- ϵ 모델에서 사용되는 난류운동에너지 소산율 ϵ 을 다음과 같은 관계식으로 대체한 것이다.

$$\bar{\epsilon} = \epsilon - D$$

..... (식 5.8)

전술한 지배 방정식과 함께 정의되는 경계조건은 다음과 같다.



좌우벽에서

$$U=0, V=0, K=0, \bar{\epsilon}=0, \frac{\partial T}{\partial x}=0$$

바닥면과 상부면에서

$$U=0, V=0, K=0, \bar{\epsilon}=0, \frac{\partial T}{\partial x}=0$$

분기덕트 입구에서

$$P=P_i+0.5 \cdot \rho \cdot (U_{out}^2-V^2) + \rho g H_i, T=T_i$$

〈H_i: 지면으로 부터의 높이, T_i: 실측 온도〉

최상부 유출구에서

$$V=U_{out}, P=0, T=T_i$$

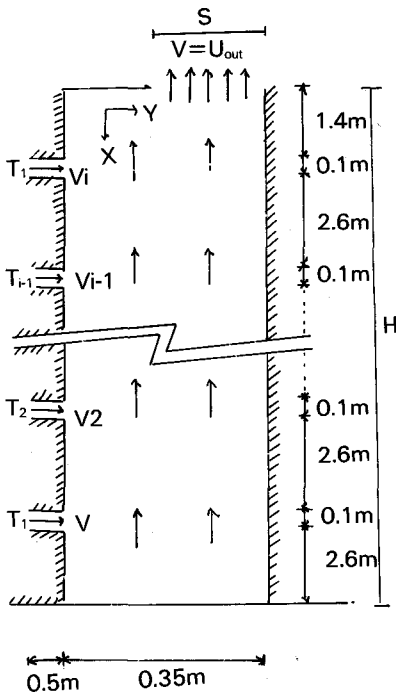
5-3 수치해석 모델의 검증

〈그림 5-3〉은 수치해석 program의 검증을 위해 12층 공동주택을 대상으로 실시한 해석결과를 실험치와 비교한 것으로 분기덕트 입구에서의 풍속분포는 실험치는 10층에서, 이론치는 8층에서 극히 미세한 풍속값을 가지는 〈곡선 형태의 경향을 보이고 있어 정상적인 면에서는 일치한다고 볼 수 있으며, 정상적인 면에서도 최저층과 최고층 부분에서 최대 35%의 차이를 나타내 대체로 일치하는 것으로 나타나 이론 해석 값의 타당성을 검증할 수 있었다.

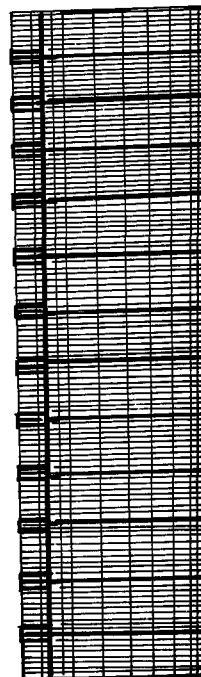
6. 결론

공동주택 화장실의 배기실태 조사 및 이론해석을 통하여 나타난 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 중·고층형 공동주택의 화장실 배기 실태조사 결과 저층형 공동주택의 화장실 배기설비설계에 사용된 설계기준, 시공방법 등을 기준이나 검토없이 그대로 고층형 공동주택에 적용하여 화장실 배기상의 제반문제가 발생하므로 이에 대한 기준설정이 필요하다.



〈그림 5-1〉 모델의 기하학적 크기 및 형태



〈그림 5-2〉 계산영역의 분할

2) 측정대상 공동주택의 환기횟수는 화장실의 일반적인 환기횟수 권장치 10회/h 에 못미치는 것으로 나타나 배기덕트의 크기 변화 및 배기설비기기의 보완 등이 필요할 것으로 판단된다.

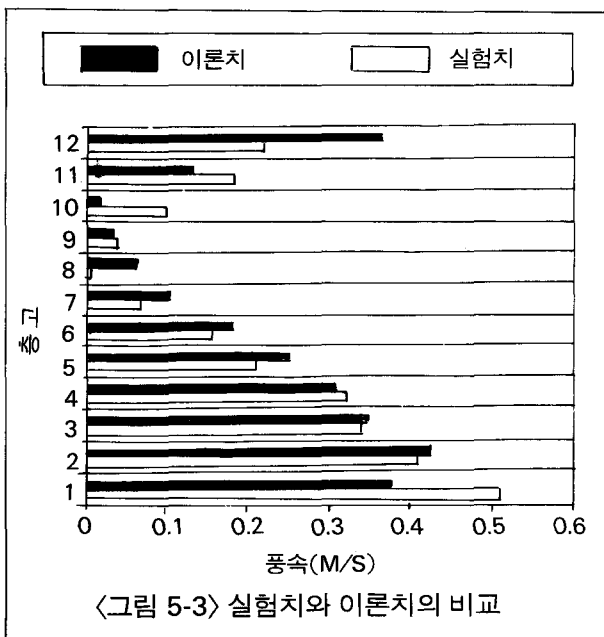
3) 옥상 배기팬은 화장실 배기를 원활하게 배출시키지 못하는 것으로 나타나 옥상 배기팬의 크기, 용량선정 및 외기 기상조건 변화에 대응할 수 있는 제품이 요구된다.

<표 5.1> Low Reynolds 수 K-ε 난류모델의 표현

항	표현
R_t	$\frac{\rho k^2}{\mu \epsilon}$
D	$2\nu \left\{ \left[\frac{\partial k^{1/2}}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial k^{1/2}}{\partial y} \right]^2 \right\}$
E	$\frac{2\mu_i}{\rho} \left\{ \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right]^2 + \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right]^2 + 2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right]^2 + 2 \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right]^2 + \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right]^2 + \left[\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right]^2 \right\}$
C_μ	$0.09 \exp \left[\frac{-3.4}{(1+R_t/50)^2} \right]$
C_2	$1.92(1-0.3 \exp(-R_t^2))$
C_1	1.44
σ_k	1
σ_ϵ	1.3

4) 측정결과 및 이론해석 검증결과 화장실의 배기풍량은 전체적으로 부족한 것으로 나타났으며, 특히 중층부의 화장실 배기풍량은 저·고층부에 비해 적은 것으로 나타나 층고별 균등배기 방안이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구가 초고층 공동주택 화장실 배기설계의 기초 자료로 이용되기 위해서는 건축계획 단계부터 이에 대한 고려가 필요하며, 추후에는 이론해석의 타당성 검증을 토대로 배기덕트의 크기 및 형태, 재질, 층고에 따른 영향 등을 수치해석 Simulation 을 통해 예측, 개선방안을 도출하는 연구의 진행도 필요할 것으로 판단된다.



<그림 5-3> 실험치와 이론치의 비교

참고문헌

1. 박희용 : 『유체역학』, 보성출판, 1990. 6
2. 공기조화·냉동공학회 : 『공기조화·위생공학편람』 한미출판사, 1991. 3
3. 대한주택공사 : 『건축설비 설계지침에 관한 연구』 1986. 6
4. S. V. Patankar : 『Numerical Heat Transfer and Fluid Flow』, McGraw-Hill, 1980.
5. J. P. Holman : 『Heat Transfer』 McGraw-Hill, 1981
6. Y. Asako and H. Nakamura : 『Heat Transfer by natural Convection from Heated Vertical Pipe with Chimney』 21th National Heat Transfer Symposium of Japan, Kyoto, Paper no. K209, pp.583~585, 1984.
7. Takahashi Takeo et al. : 『Study on Natural Ventilation of Large-Scale Indoor Space(Part 3) Wind Tunnel Experiments on Performance of Roof Ventilator』, 일본건축학회대회학술강연편, 4116호 소화 61년 8월.
8. 井上宇市 : 『공기조화』 동명사, 1989. 2