

## 고층 아파트의 주방 및 욕실 배기 시스템 시뮬레이션

김 영 돈, 김 광 우\*

서울대학교 대학원 건축학과, \*서울대학교 건축학과

### Simulation of the Kitchen and Bathroom Exhaust Systems in High-Rise Apartment Buildings

Young-Don Kim, Kwang-Woo Kim\*

Department of Architecture, Graduate School, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

\*Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received April 30, 2003; revision received October 7, 2003)

**ABSTRACT:** The objective of this study is to find major variables which influence the performance of kitchen and bathroom exhaust systems in high-rise apartment buildings. For this purpose, the influencing factors on the exhaust airflow rates from the kitchen or bathroom are identified and in every cases, which are made of combinations between the influencing factors, the exhaust airflow rates are calculated through the simulations. The results of the simulation show that the exhaust airflow rates from the kitchen and bathroom mainly depends on outdoor air temperature, number of floors, airtightness of the building envelope, fan on ratio, vertically connected to same shaft, exhaust fan capacity for kitchen or bathroom, roof ventilator capacity and shaft area for kitchen or bathroom exhaust.

**Key words:** Kitchen and bathroom exhaust(주방 및 욕실 배기), Network model(네트워크 모델), High-rise apartment building(고층 아파트)

#### 1. 서 론

주거공간에 대한 실내공기의 최대 오염원은 주방과 욕실에 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 연소가스, 수증기 및 취기 등과 같은 주방이나 욕실에서 발생하는 오염물질을 제거함으로써 전체 주거공간에 대한 실내공기질의 악화를 방지하려면 오염물 발생원이 있는 주방이나 욕실에서 적정량의 공기를 배기시키는 것이 필요하다.

우리 나라의 경우 주거용 건물에서 10층 이상 고층 아파트의 비율은 국가 총주택 중 약 30%를

차지한다. 그리고 아파트에서 에너지 절약과 차음의 목적으로 외피의 기밀도는 점점 강화되는 추세이다. 그러나 건물이 고층화될 경우 수직배기 방식에서는 겨울철에 연돌효과로 인해 상부층에서 배기가 역류될 수 있으며,<sup>(1)</sup> 주호의 면적에 대한 배기 샵프트 면적 비율이 커진다. 외피가 고기밀화될 경우에는 배기를 위한 유입공기의 부족에 따라 배기량이 감소하고 배기성능도 저하된다. 따라서 아파트의 주방과 욕실에서 발생하는 오염물질을 국부적인 강제배기를 통해 효과적으로 제거하기 위한 배기 시스템을 설계하려면 건물의 높이, 외피의 기밀도, 배기팬 용량 등과 같이 배기량에 영향을 미치는 인자들을 모두 파악하고 각 인자가 배기량에 미치는 영향 정도를 아는 것이 필수적이다.

† Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7066; fax: +82-2-885-8057

E-mail address: snukkw@snu.ac.kr

이에 관한 기존의 연구로서, Kim<sup>(2)</sup>은 주방 배기팬, 수직배기 샤프트, 주방 배기팬의 수직적 동시사용률 및 옥상 흡출기의 크기에 따른 주방배기량의 변화를 실측과 CFD를 통해 분석하였고, Kang and Han<sup>(3)</sup>는 주방팬 가동시 보조급기의 유무에 따른 주방과 거실의 CO 및 CO<sub>2</sub> 농도를 실측과 CFD를 통해 포집효율의 개념으로써 분석하였다. 그리고 Lee<sup>(4)</sup>는 외부풍속, 실내의 온도차, 개구부 기밀 성능, 화장실 배기팬 및 주방 배기팬의 변화에 따른 환기량을 분석하였다. 이외에도 주방이나 욕실에서 발생하는 오염물질의 제거에 영향을 미치는 인자들의 변화에 따른 CO나 CO<sub>2</sub>의 농도분포에 대해 실측한 많은 연구가 있다. 그러나 주방과 욕실의 배기량에 영향을 미치는 모든 인자들에 대해 종합적으로 분석한 연구는 아직 없는 실정이다.

본 연구에서는, 점점 고층화, 고기밀화되어 가는 아파트에 대한 적정 배기 시스템 설계지침을 개발하기 위한 과정의 일환으로서, 주방과 욕실 배기량에 영향을 미치는 인자들을 파악하고 각 인자들의 영향력을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여

분석함으로써 주방과 욕실 배기량에 주요한 영향을 미치는 인자들을 찾아내고자 한다. 더 나아가 주요 영향인자의 수준변화에 따른 주방과 욕실의 층별 배기량 변화를 분석함으로써 건물의 층수 및 외피의 기밀도가 주방 및 욕실 배기량에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

## 2. 배기 시스템 설계와 영향인자

### 2.1 주방과 욕실 배기 시스템

아파트의 주방과 욕실 배기 시스템의 가장 일반적인 형태는 Fig. 1과 같다. 주방 배기의 경우 레인지 후드를 통해 유입된 배기가 플렉시블 덕트, 수직 배기 샤프트를 거쳐 옥상에서 배출된다. 그러나 주방은 대부분의 아파트에서 외벽에 면해 배치되기 때문에 일부에서는 주방배기가 해당층에서 직접 외부로 배기되기도 한다. 욕실 배기의 경우 욕실 내의 그릴 혹은 배기팬을 통해 유입된 배기가 플렉시블 덕트, 수직 배기 샤프트를 차례

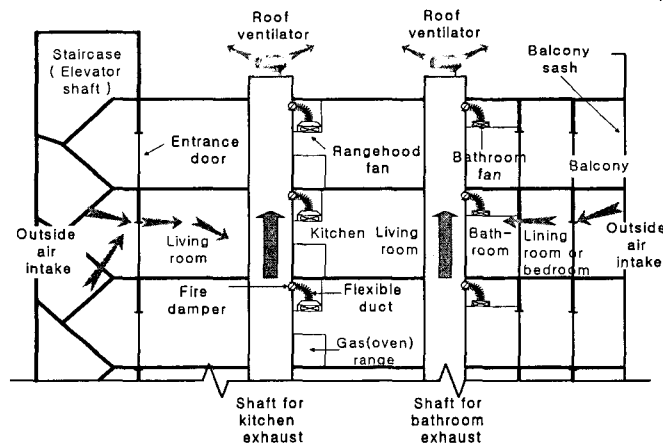


Fig. 1 Typical kitchen & bathroom exhaust system.

Table 1 Required exhaust airflow rates and allowable maximum air speed in shaft

Space	Organization	Exhaust airflow rates (m <sup>3</sup> /h)	Max. air speed in shaft (m/s)
Kitchen	KNHC*	200	5.0
	D Company	Amount of hood exhaust	5.0
	ASHRAE	180	-
Bathroom	KNHC*	100	3.0
	D Company	6ach	2.5
	ASHRAE	90	-

\* Korea National Housing Corporation.

Table 2 Influencing factors on kitchen and bathroom exhaust

Makeup air intake	Driving force for exhaust	Exhaust path
Airtightness of the building envelope, Opening for outdoor air intake, Airtightness of the dwelling unit entrance door, Airtightness of the building entrance door, Fan on condition in a dwelling unit, Make-up air flow rates	Outdoor air temp., Wind speed, Wind direction, Number of floors, Indoor air temp., Exhaust fan capacity for kitchen or bathroom, Roof ventilator capacity	Access types to dwelling unit and types of exhaust path, Fan on ratio, vertically connected to same shaft, Shaft area for kitchen or bathroom exhaust, Roughness of the shaft surface, Condition of the bottom of the shaft

로 거친 후 옥상에서 배출된다. 주방과 욕실 배기 샤프트의 상단에는 배기성능을 높이기 위해 바람에 의해 작동되는 원심식 흡출기, 베르누이식 흡출기 혹은 고정식 흡출기 중의 하나가 설치된다. 이와 같은 주방과 욕실 배기 시스템 설계시에 일반적으로 적용되는 실별 배기량과 수직 샤프트 내 최대 풍속은 Table 1<sup>(5,6)</sup>과 같다.

2.2 배기에 영향을 미치는 주요 인자

아파트에서 주방과 욕실 배기량에 영향을 미치는 인자들을 빠짐없이 파악하기 위해 유입공기, 배기 구동력 및 배기 경로의 분류체계를 고안한 후 배기를 위한 공기가 건물 내로 유입된 후 배기 구동력에 의해 외부로 다시 배기되기까지의 경로를 따라, 영향을 미칠 수 있는 인자를 파악하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 여기서 유입공기와 관련된 인자는 외피의 기밀도, 외기 유입구, 단위주호 출입문의 기밀도, 1층 계단실 출입문의 개방 여부 혹은 기밀도, 세대내 팬 동시사용률, 보조급기의 양이 있고, 배기 구동력과 관련된 인자는 외기 온도, 풍속, 풍향, 건물의 층수, 실내온도, 주방과 욕실 배기팬의 용량, 옥상 배기팬의 용량이 있으며, 배기 경로와 관련된 인자는 주동형태(계단실형, 복도형) 및 단위주호 내의 실과 창호의 배치, 배기방식(수직, 층별), 수직적 팬 동시사용률, 주방과 욕실 배기 샤프트의 면적, 샤프트 내부 거칠기, 샤프트 최하부의 개방 여부가 있다.

3. 배기량 해석모델 작성 및 검증

3.1 시뮬레이션 인자 및 수준의 설정

배기 시스템의 배기량 해석을 위해, 공동주택의 평면으로 가장 일반적인 Fig. 2와 같은 계단실

형 32평형 단위주호를 기본 해석대상 모델로 선정하였다. 이 단위주호에서 주방과 화장실의 배기는 인접한 수직 샤프트를 통해 이루어진다. 모델의 공기유동 경로에 대한 입력값은 기존의 연구<sup>(4,6-8)</sup>를 토대로 Table 3과 같이 설정하였고 배기량 예측을 위한 시뮬레이션의 케이스와 해당 인자(factor)에 대한 수준(level)값은 Table 4와 같이 설정하였다. 여기서 배기 시스템 설계의 관점에서 관련 인자를 기후조건, 건축적 조건, 평균 운전상태 및 설비적 조건으로 먼저 분류하였다. 'Base level' 열의 값은 각 인자의 수준으로서 가장 빈번하게 나타나거나 사용되는 것이며, 시뮬레이션 기준 모델의 수준값으로 적용되었다. 그러나 옥상 팬의 용량에 대한 인자의 경우 원심식 무동력 흡출기가 설치되는 것이 가장 일반적이거나, 기존 연구<sup>(2)</sup>에서 옥상의 무동력 흡출기가 오히려 원활한 배기를 제한하는 요인으로도 작용함이 밝혀졌기

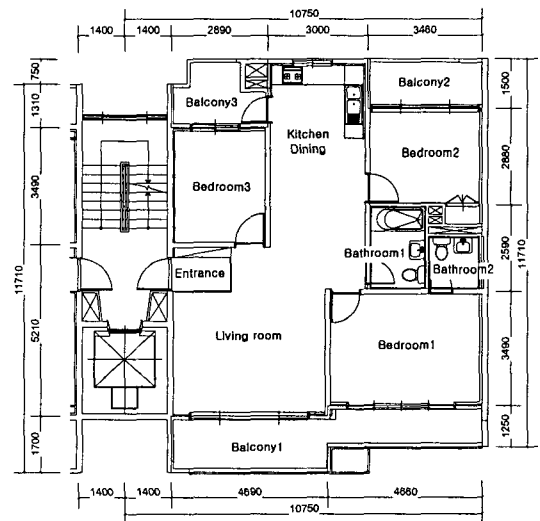


Fig. 2 Plan of base model.

Table 3 Airflow path properties

Airflow path	Area (m <sup>2</sup> )	Airflow rates per unit area at 10 Pa (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )	Leakage area (cm <sup>2</sup> )
Balcony1 sash	18.6	15.2	167.7
Balcony2 sash	6.2	15.2	55.9
Balcony3 sash	3.1	15.2	27.9
Bedroom(B.R.)1 window	5.9	8.2	28.7
B.R.2 window	7.6	9.2	41.5
B.R.3 window	2.7	8.2	13.1
Living room window	8.3	9.2	45.3
Kitchen window	0.6	9.2	3.3
Bedroom door	1.9	35.2 m <sup>3</sup> /h@4 Pa, 63.8 m <sup>3</sup> /h@10 Pa	37.8
Bathroom door	1.5	23.2 m <sup>3</sup> /h@4 Pa, 39.2 m <sup>3</sup> /h@10 P	23.2
Entrance door	2.1	Same as bedroom door	37.8
Balcony3 door	1.7	Same as bedroom door	37.8
Stairwell window	3.0	15.2	27.0
Building entrance door	3.8	-	2.4 m <sup>2</sup>

Table 4 Simulation case

	Factor	Level	Unit	Base level
Climatic condition	Outdoor air temp.	-12.2, 12.1, 34.4	°C	12.1
	Wind speed	0, 2.5, 10.8	m/s	2.5
	Wind direction	W, NE, S		W
Architectural condition	Number of floors	5, 15, 30, 60	-	30
	Airtightness of the building envelope	balcony with sash(BWS), balcony without sash(BNS), curtain wall with effective leakage area 0.59 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> (CW1)	-	BWS
	Opening for outdoor air intake	0, 78.5 (Φ100 opening on exterior wall adjacent to kitchen)	cm <sup>2</sup>	0
	Airtightness of the dwelling unit entrance door	249, 38, 24	cm <sup>2</sup>	38
	Airtightness of the building entrance door	2.4 m <sup>2</sup> for open, 65 cm <sup>2</sup> for closed door	-	2.4 m <sup>2</sup>
Average operating condition	Fan on condition in a dwelling unit	only kitchen fan on (K), fans in kitchen and bathroom 1 are on (KB1), all 3 fans are on (KB12)	-	KB1
	Fan on ratio, vertically connected to same shaft	100, 70, 40	%	40
Mechanical condition	Exhaust fan capacity for kitchen or bathroom	none (No), large capacity of kitchen fan and small capacity of bathroom1 fan (KSB), large capacity of kitchen and bathroom1 fans (KLB)	-	KSB
	Roof ventilator capacity	none (No), roof ventilator (RV), powered roof ventilator (PRV)	-	No
	Make-up air flow rates	0, 180 m <sup>3</sup> /h to kitchen	m <sup>3</sup> /h	0
	Shaft area for kitchen or bathroom exhaust	(0.07, 0.06)(1/2A), (0.14, 0.12)(A), (0.28, 0.24)(2A)	m <sup>2</sup>	A
	Roughness of the shaft surface	5 for brick, 0.15 for steel	mm	5
	Condition of the bottom of the shaft	open to atmosphere (O), closed (C)	-	C

Table 5 Floors where exhaust fans are on

Number of floors (fan on ratio)	Floors where kitchen and bathroom exhaust fans are on (shaded)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5 floors (60%)	1	2	3	4	5					
15 floors (46%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30 floors (40%)	11	12	13	14	15					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
60 floors (33%)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Table 6 Exhaust airflow rates and shaft area

Number of floors	Kitchen		Bathroom	
	Airflow rates (m <sup>3</sup> /h)	Shaft size (mm)	Airflow rates (m <sup>3</sup> /h)	Shaft size (mm)
5 floors	600	200×180	300	200×150
15 floors	1400	300×280	700	280×250
30 floors	2400	400×360	1200	400×300
60 floors	4000	400×600	2000	400×500

Table 7 Fan performance

Kitchen fan		Bathroom fan	
Airflow rates (m <sup>3</sup> /h)	Pressure rise (Pa)	Airflow rates (m <sup>3</sup> /h)	Pressure rise (Pa)
0	140	0	50
180	105	13	33
360	60	26	17
550	0	40	0

Table 8 Local loss coefficient (L.L.C.)

Description	L.L.C. for kitchen	L.L.C. for bathroom
Ceiling intake	0.26	0.22
90° elbow	0.5	0.57
Screen (free area ratio=0.4)	3.0	3.0
Conical diffuser, with wall	0.32	0.32
Fire damper	0.19	0.19
Tee-converging (shaft) Cb	0.86	0.49
Tee-converging (shaft) Cs	-0.04×6	-0.04×6
Exhaust hood (roof)	0.6	0.6

때문에 무동력 흡출기가 없는 상태를 기준모델의 수준값으로 설정하였다. 그리고 수직 배기 시스템에 대한 배기 성능 시뮬레이션시 동일한 수직 샤프트에 연결된 배기팬의 동시사용률을 고려할 필요가 있으므로, 설계 관행<sup>(6)</sup>에 따라 취사용 가스의 동시사용률 자료<sup>(9)</sup>를 이용하여, 주방과 욕실 1의 배기팬이 작동되는 세대를 Table 5의 음영 처리된 층과 같이 가정하였다. 이것은 기준모델에 대한 시뮬레이션과 층수 변화에 따른 영향을 평가하기 위한 시뮬레이션에 적용되었다. 여기서, 한개의 단위주호 내에서 주방, 욕실1 및 욕실2의 배기팬이 동시에 작동될 확률은 낮으므로 욕실2의 배기팬은 꺼져 있다고 가정하였다. Table 6은 Table 5의 동시사용률과 Table 1에 제시된 대한주택공사의 수직 샤프트 설계기준에 따라 아파트의 층수별 수직 샤프트의 크기를 계산한 것으로서 시뮬레이션에 적용되었다. 기준모델에 채택된 주방팬, 욕실팬의 용량은 현재 가장 일반적으로 사용되는 제품에 대한 값이며, 압력-풍량 관계는 Table 7과 같다. 역류방지장치의 경우 현재의 설계관행을 반영하여 주방팬에는 있으나 욕실팬에는 없는 것으로 설정하였다. 주방의 레인지 후드 혹은 욕실의 그릴과 같은 배기 흡입구에서 옥상의 무동력 흡출기나 배기 배출구까지의 국부손실 계수에 대한 값은 Table 8과 같이<sup>(6,10)</sup> 설정하였다.

### 3.2 시뮬레이션 도구

본 연구에서는 아파트의 주방과 욕실 배기량을 해석하기 위하여, 네트워크 모델 알고리즘을 기본으로 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발되었고, 지금까지 다수의 연구에 적용되어 신뢰성을 인정받은 CONTAMW 프로그램<sup>(11)</sup>을 사용하였다. 건물 내의 공기유동은 일반적으로 Table 9와 같은 여러 가지 방법으로

Table 9 Prediction models of airflow

Models	Control volume	Application
Field model	Many mesh points	Airflow analysis of a large space in a single zone such as atrium or hall
Zone model	One or many numbers	
Network model	One per zone	Airflow analysis of a high-rise building having multi-zones and vertical shafts

해석이 가능하며, 그중에서 가장 정밀한 방법은 field model이다. 그러나 아파트와 같이 다중 층으로 구성된 건물에서 주방과 욕실 배기는 Table 2와 같은 다양한 인자에 영향을 받기 때문에 이런 인자를 모두 고려하여 field model로 배기량을 해석하려면 현재의 컴퓨터 기술 수준에선 상당한 시뮬레이션 시간이 필요하다. 반면에 네트워크 모델을 이용할 경우 입력 데이터를 신중히 적용하면 짧은 시간에 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 본 연구에는 네트워크 모델이 가장 적합하다고 판단된다.

3.3 시뮬레이션 모델 검증

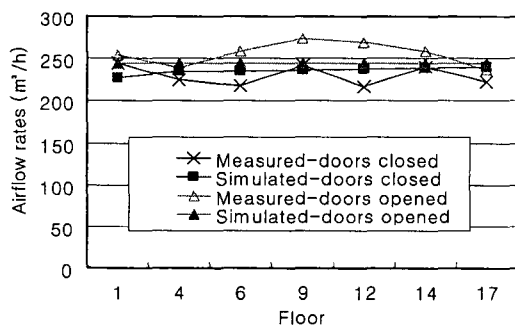
작성된 배기량 해석모델의 정확성을 검증하기 위해 서울 소재 두개의 아파트(이하 A와 B 아파트) 단지에서 각각 1개의 30평형 단위주호를 택해 해당 단위주호와 동일 수직선상에 있는 모든 단위주호의 주방과 욕실 배기량을 실측하고 그 값을 본 모델에 의한 예측결과와 비교하였다.

A아파트는 17층으로서 Fig.2와 같이 계단실형 코어와 전면 2칸 후면 3칸의 평면으로 이루어졌으며 주방배기는 층별 배기방식이고 욕실배기는 수직배기방식이다. B아파트는 15층으로서 박스형 코어와 전면 3칸 후면 3칸의 평면으로 이루어졌으며 주방배기와 욕실배기는 모두 수직배기방식이다. 배기량 실측은 A아파트는 2002년 11월 21일, B아파트는 동월 14일에 수행되었다. 그리고 배기 시스템 설계시에 15층 내외의 건물에 대한 수직적 팬 동시사용률로 40% 정도를 가정한다<sup>(5)</sup>는 점을 고려하여, 7개 층을 선정하고 해당 층의 주방과 거실측 욕실(이하 욕실1)의 팬을 가동시

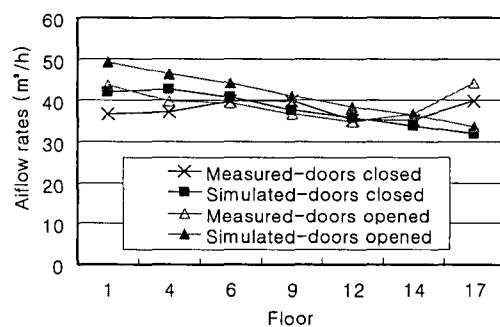
킨 후 배기량을 측정하였다. A아파트의 경우에는 외피의 기밀도가 배기량에 미치는 영향을 실측하기 위해 모든 문을 닫은 상태와 거실측 발코니창과 발코니와 거실 간의 문은 연 상태를 구분하여 실측하였다.

건물에서 배기량을 측정하는 방법은 크게 추적 가스법, 블로어 도어법과 덕트 내의 풍속을 측정함으로써 풍량을 계산하는 방법이 있다. 본 연구에서는 거실측 발코니의 창과 문을 연 상태에서도 배기량을 측정해야 하므로 덕트 내의 풍속을 측정하는 방법밖에 사용할 수 없다. 따라서 배기량은 NEBB의 지침<sup>(12)</sup>에 따라 air capture hood를 제작하여 직관부 덕트 내의 4개소 혹은 9개소의 풍속을 측정 후 평균 풍량을 구함으로써 계산하였다.

Fig. 3은 A아파트에 대한 주방과 욕실 배기량의 실측값과 시뮬레이션값을 비교한 그래프이다. 여기서 시뮬레이션값은 배기량 해석모델의 입력 변수를 실측대상의 조건과 동일하게 설정한 후 구한 예측치이다. 주방의 경우 모든 문을 닫은 때의 평균 배기량은 예측치가 236 m<sup>3</sup>/h이고 실측치는 230 m<sup>3</sup>/h이며 거실측 발코니창과 거실문을 연 때의 평균 배기량은 예측치가 244 m<sup>3</sup>/h이고 실측치는 255 m<sup>3</sup>/h이다. 욕실의 경우에도 배기량의 실측치와 예측치의 평균값이 모두 38~41 m<sup>3</sup>/h 범위 내에 있다. 여기에서 층별 배기를 하는 주방과 수직배기를 하는 욕실에 대해 시뮬레이션을 이용한 예측치는 실측치에 5% 이내의 편차로서 근사하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4는 B아파트에 대한 주방과 욕실 배기량의 실측값과 시뮬레이션 값을 비교한 그래프이다. 주방의 경우 평균 배기량은 예측치가 137 m<sup>3</sup>/h이고 실측치는 127 m<sup>3</sup>/h이며, 욕실의 경우 예측치가 36 m<sup>3</sup>/h이고 실측치



(a) Exhaust airflow rates from kitchen



(b) Exhaust airflow rates from bathroom1

Fig. 3 Exhaust airflow rates of A-apartment.

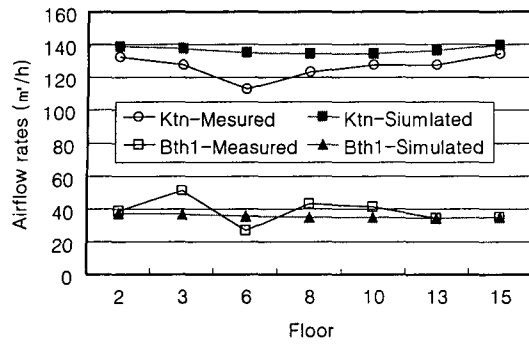


Fig. 4 Exhaust airflow rates of B-apartment.

는  $39\text{ m}^3/\text{h}$ 로서 예측치는 실측치에 8% 이내의 편차로서 근사하고 있음을 알 수 있다. 상기한 두 아파트 단지에 대한 실측에서 본 시

뮬레이션 모델이 주방과 욕실 배기량을 실측치와 5~8% 이내의 편차로 비교적 정확하게 예측하고 있음을 확인하였다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

주방과 욕실의 배기량에 영향을 미칠 것으로 추정되는 인자 중 주요한 영향 인자를 파악하기 위해, 먼저 기준모델에 대한 시뮬레이션을 통해 가장 일반적으로 사용되는 배기 시스템의 배기량을 분석하였다. 그후 각 인자의 수준변화에 따른 주방과 욕실의 배기량을 시뮬레이션을 통해 구하고, 그 결과에서 주요한 영향 인자를 찾아내었다. 그리고 이들 주요 영향 인자에 대해 층별 배기량 분포를 분석하였다.

Table 10 Simulated exhaust airflow rates and main influencing factors

	Factor	Level	Kitchen		Bathroom 1		Bathroom 2		Sum of AVG	Ratio (%)
			AVG	SD	AVG	SD	AVG	SD		
Base			240.6	12.0	32.4	3.5	12.6	14.3	285.6	
Climatic condition	Outdoor air temp.	-12.2°C	272.2	17.2	46.9	11.8	37.8	22.6	356.9	25
		23.0°C	223.5	19.2	26.2	0.5	14.7	1.1	264.4	-7
		34.4°C	202.1	25.9	14.8	2.8	-29.0	4.7	187.9	-34
	Wind speed	0 m/s	239.9	11.9	32.2	3.5	11.7	14.8	283.8	-1
		10.8 m/s	253.1	13.2	37.2	2.9	26.1	6.3	316.4	11
Wind direction	NE	240.1	12.1	32.5	3.4	12.8	14.3	285.4	0	
	S	241.0	12.0	32.6	3.5	13.4	13.8	287.0	1	
Architectural condition	Number of floors	5	205	6.8	27.9	0.9	-4.9	6.8	228.0	-20
		15	226.4	9.8	29.9	2.0	5.4	11.7	261.7	-8
		60	230.2	10.9	34.8	6.0	18.1	18.0	283.1	-1
	Airtightness of the building envelope	BNS	243.1	11.8	33.8	3.8	15.9	13.7	292.8	3
		CW1	220.1	12.6	20.7	2.0	-21.6	5.4	219.2	-23
	Opening for outside air intake	$78.5\text{ cm}^2$	243.2	11.9	33.9	3.8	15.5	13.8	292.6	2
	Airtightness of the dwelling unit entrance door	$249\text{ cm}^2$	251.1	16.3	37.3	2.2	23.6	6.9	312.0	9
$24\text{ cm}^2$		235.8	10.5	30.0	4.1	7.7	16.4	273.5	-4	
Airtightness of the B.E. door	$65\text{ cm}^2$	236.9	12.4	30.8	3.1	9.4	14.4	277.1	-3	
Average operating condition	Fan on condition in a dwelling unit	K	241.8	12.8	11.0	15.2	14.2	13.0	267.0	-7
		KB12	239.7	11.4	31.9	3.7	32.4	3.8	304.0	6
	Fan on ratio, vertically connected to same shaft	100%	140.1	33.4	33.3	3.5	19.6	12.3	193.0	-32
Mechanical condition	Exhaust fan capacity for kitchen or bathroom	70%	180.8	26.0	33.4	3.6	16.9	13.4	231.1	-19
		No	38.1	15.6	24.1	8.1	22.9	9.1	85.1	-70
	Roof ventilator capacity	KLB	238.9	11.8	61.9	2.1	10.4	14.9	311.2	9
		RV	231.5	10.5	34.5	3.2	21.9	8.0	287.9	1
	Make-up air flow rates	PRV	268.0	14.5	56.0	1.5	54.2	1.8	378.3	32
		$180\text{ m}^3/\text{h}$	248.1	12.0	36.5	3.8	21.2	11.3	305.8	7
	Shaft area for kitchen or bathroom exhaust	1/2A	153.8	45.4	29.9	2.2	5.5	12.6	189.2	-33
2A		277.1	6.2	33.8	4.0	15.0	14.5	325.9	14	
Roughness of shaft	0.15 mm	363.0	4.5	33.0	3.7	13.5	14.4	309.5	8	
Condition of bottom of shaft	O	264.0	6.2	26.8	0.7	-7.2	6.8	283.6	-1	

4.1 인자별 수준변화에 따른 시뮬레이션 결과

Table 10은 Table 4의 인자(factor)와 수준(level)에 대한 시뮬레이션 결과 중 배기팬 가동층에 대한 주방, 욕실1 및 욕실2 배기량의 평균(AVG), 표준편차(SD)와 3개의 평균 배기량의 합계치(Sum of AVG)를 보여준다. 여기에서 'Base'로 음영 처리된 첫번째 행은 기준모델에 대한 값이며 비교를 위한 기준값이다. 기준모델에 대한 주방, 욕실1 및 욕실2의 평균 배기량은 각각 240.6 m<sup>3</sup>/h, 32.4 m<sup>3</sup>/h와 12.6 m<sup>3</sup>/h이고 3개의 평균 배기량의 합계치 즉 단위주호의 전체 배기량은 285.6 m<sup>3</sup>/h이다.

Table 10의 마지막 열은 각 인자의 특정 수준에서 주방, 욕실1 및 욕실2의 평균 배기량 합계치와 기준모델에 대한 값인 285.6과의 차이를 백분율로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 이 값의 절대치가 20 이상인 인자를 주요 영향 인자로 간주하여 해당 행과 인자를 음영 처리하였다. 여기에 속하는 인자는 외기온, 건물의 층수, 외피의 기밀도, 수직적 팬 동시사용률, 세대 내 배기팬의 용량, 옥상 배기팬의 용량, 샤프트 면적이다.

4.2 주요 영향 인자 분석

4.2.1 외기온

Fig. 5는 기준모델에서 외기온이 변하는 경우의 주방(Ktn), 욕실1(Bth1) 및 욕실2(Bth2)의 층별 배기량을 보여준다. 주방의 층별 배기량이 외기온이 -12.2°C인 겨울철에 가장 큰 것은 연돌효과로 인한 것이라 판단된다. 그리고 외기온이 34.4

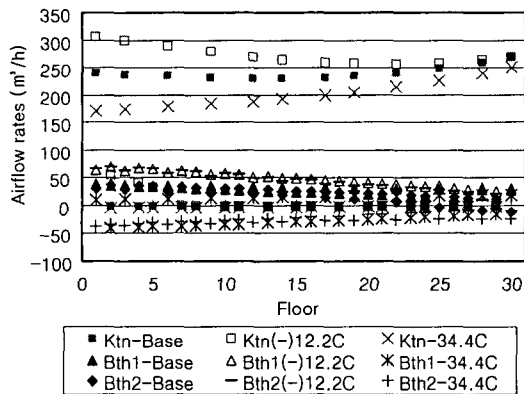
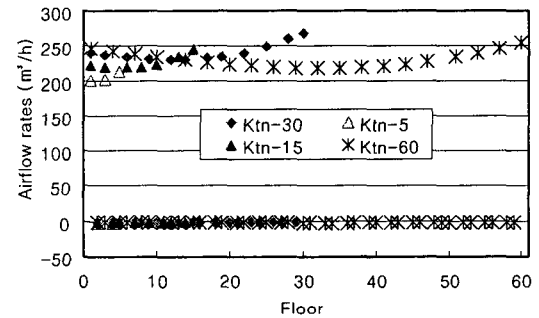


Fig. 5 Exhaust airflow rates according to outdoor air temperature.

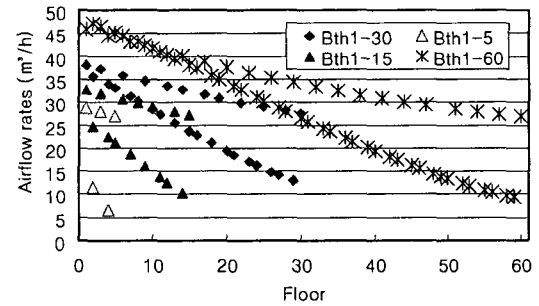
°C인 여름철에는 연돌효과로 인해 욕실 중 배기팬이 가동되지 않는 곳에서는 역류가 발생하는 것을 볼 수 있다.

4.2.2 층수

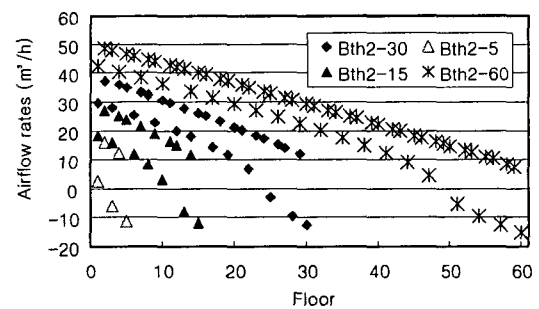
Fig. 6은 기준모델에서 층수가 변하는 경우의 층별 배기량을 주방, 욕실1 및 욕실2로 구분하여 보여준다. 주방의 경우 평균 배기량은 층수와 뚜렷한 연관성을 보이지 않으며 그 이유는 주방팬의 큰 정압이 배기구동력에 지배적인 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.



(a) Kitchen



(b) Bathroom 1



(c) Bathroom 2

Fig. 6 Exhaust airflow rates according number of floors.



욕실1의 경우 평균 배기량은 건물의 층수에 따라 증가한다. 그 이유는 높아짐에 따라 연돌효과로 인한 배기구동력이 커지는데 이 힘이 욕실1의 배기에 지배적인 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 여기서 층별 배기량은 배기팬 가동 여부에 관계없이 상부로 갈수록 감소한다.

배기팬이 전혀 가동되지 않는 욕실2의 경우에도 평균 배기량은 건물의 층수에 따라 증가하며 층별 배기량은 상부로 갈수록 감소한다. 그러나 건물의 층수에 관계없이 주방과 욕실1의 배기팬이 작동되는 층에서는 상부층에서 역류현상이 나타난다. 이 현상은 상대적으로 용량이 큰 주방 배기팬의 가동에 따라 단위주호 내에 부압이 형성됨에 따른 것으로 판단된다.

4.2.3 외피의 기밀도

Fig. 7은 기준모델에서 외피의 기밀도가 변하는 경우의 주방과 욕실의 층별 배기량을 보여준다. 수준값 중 BNS는 발코니 새시가 없는 것이며, CW1은 커튼월로서 KSF 2292에 의한 기밀도가 1등급(이하 KS 1등급)인 것으로서 누기면적으로 환산하면 4Pa에서 0.59 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>에 해당하는 값이다. 이 값은 미국의 상업용 건물의 커튼월에 대한 실측치 최소값인 0.8 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>(7)보다도 작은 값이나 기밀도가 극대화되는 상황을 분석하기 위해 설정하였다.

주방배기의 경우 발코니 새시의 유무는 배기량에 거의 영향을 미치지 못하고 있으나 외피의 기밀도가 KS 1등급까지 높아질 경우에는 배기량이 감소하는 현상을 볼 수 있다. 이와 같이 외피의 기밀도를 극단적으로 강화시킨 경우에도 주방과

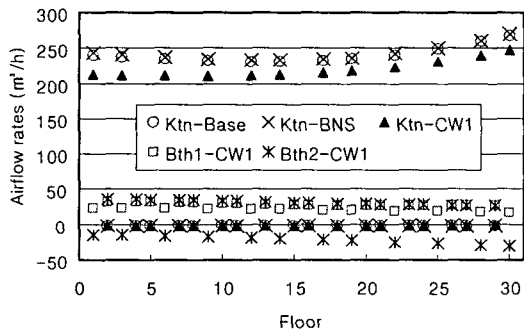


Fig. 7 Exhaust airflow rates according to airtightness of the building envelope.

욕실1 배기팬이 작동하는 층에 있는 주방의 평균 배기량 감소폭은 9%에 불과하다. 그러나 욕실1과 욕실2의 배기량도 기준모델의 값에 비해 감소하기 때문에, Table 10에 제시된 것처럼, 주호 전체의 배기량은 23%가 감소한다. 여기서 욕실1과 욕실2의 배기량도 감소하는 이유는 외피의 기밀도가 높아져 외기의 유입이 어려운 상황에서 욕실 배기팬에 비해 용량이 훨씬 큰 주방 배기팬이 가동될 때 단위주호 전체에 부압이 걸리기 때문이라 판단된다. 따라서 외피의 기밀도가 증가하면 주방 배기팬이 가동될 때 욕실 배기팬이 가동되지 않는 욕실에서는 역류가 발생할 것임을 예측할 수 있다.

외피의 기밀도가 높은 경우 욕실에서의 역류를 방지하면서 주방 등의 배기를 원활히 시키려면 욕실 배기팬에 역류방지 댐퍼를 설치하고 실내에는 보조급기를 할 필요가 있다고 사료된다.

4.2.4 수직적 팬 동시사용률

Fig. 8은 기준모델에서 동일 샤프트에 연결된 배기시스템의 수직적 팬 동시사용률이 변하는 경우의 층별 배기량을 보여준다. 팬이 작동하는 층의 경우 동시사용률이 커질수록 주방의 실별 배기량은 감소함을 볼 수 있다. 이것은 수직 배기 샤프트의 크기는 일정한 반면 통과 배기량은 증가함에 따라 배기저항이 커진 때문이다. 욕실1의 경우 배기팬의 용량이 작기 때문에 배기팬의 동시사용률이 배기량에 미치는 영향이 미미하다고 판단된다.

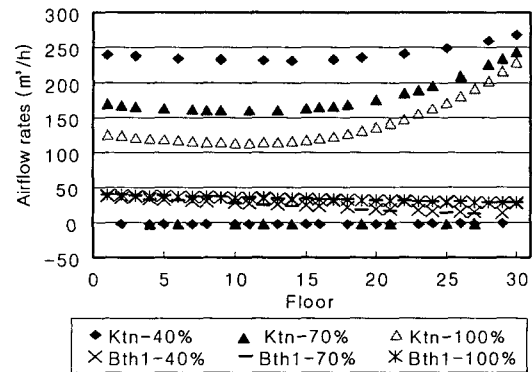


Fig. 8 Exhaust airflow rates according to fan on ratio, vertically connected to same shaft.

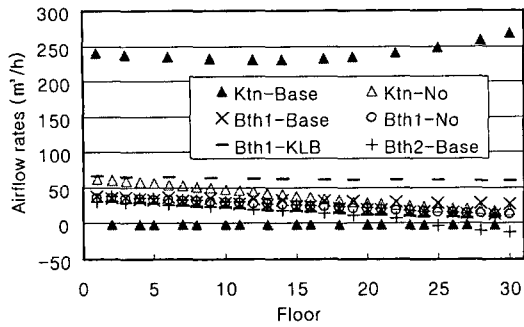


Fig. 9 Exhaust airflow rates according to exhaust fan capacity for kitchen or bathroom.

4.2.5 주방과 욕실 배기팬

Fig. 9는 기준모델에서 주방과 욕실 배기팬의 유무 혹은 용량이 변하는 경우의 층별 배기량을 보여준다. 수준값 KLB에 적용된 주방팬은 기준모델의 것과 동일하고 욕실팬은 최대풍량 90 m<sup>3</sup>/h, 최대정압 120 Pa의 용량이다. 그래프에서 주방배기량은 주방팬의 존재로 인해 크게 증가함을 알 수 있다.

4.2.6 옥상 흡출기

Fig. 10은 기준모델에서 옥상 흡출기의 유무 혹은 용량이 변하는 경우의 층별 배기량을 보여준다. 여기서 수준값 RV는 주방과 욕실 배기 샤프트의 상단에 직경 600 mm의 원심식 무동력 흡출기가 설치된 것으로서 최대풍량 800 m<sup>3</sup>/h, 최대정압 60 Pa의 용량이다. 그리고 수준값 PRV에 적용된 옥상팬은 동력팬으로서 주방의 경우 최대풍량 3700 m<sup>3</sup>/h, 최대정압 250 Pa의 용량이며, 욕실

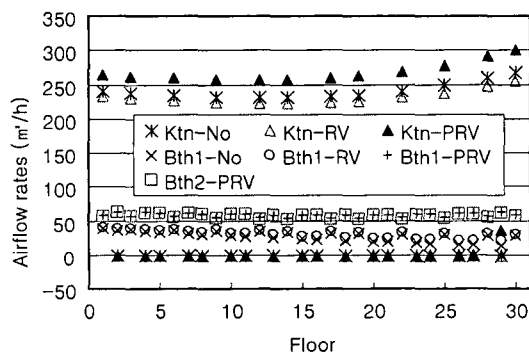


Fig. 10 Exhaust airflow rates according to roof ventilator capacity.

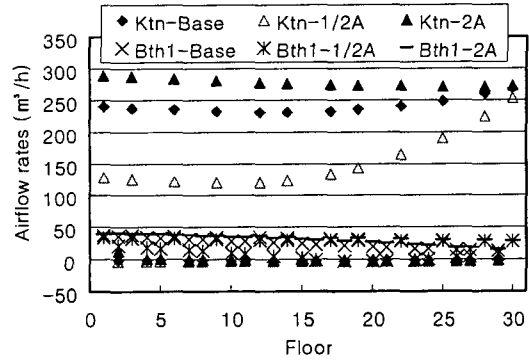


Fig. 11 Exhaust airflow rates according to shaft area.

의 경우 최대풍량 2300 m<sup>3</sup>/h, 최대정압 150 m<sup>3</sup>/h의 용량이다.

그래프에서 무동력 흡출기의 경우 배기량의 증가에 거의 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

4.2.7 샤프트 면적

Fig. 11은 기준모델에서 샤프트의 면적이 변하는 경우의 층별 배기량을 보여준다. 여기서 샤프트의 면적은 주방 배기의 경우 5 m/s, 욕실 배기의 경우 3 m/s를 기준으로 설계된 면적을 기준(수준 A)으로 하고, 그 면적의 1/2(수준 1/2A)와 2배(수준 2A)인 면적에 대해 비교하였다.

그래프에서 샤프트 면적이 1/2로 줄어드는 것이 2배로 증가하는 것보다 배기량의 변화에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 주방 배기의 경우 샤프트 면적이 줄어들면 배기량이 급속히 감소하나 상부층으로 가면서 증가하여 일정한 값으로 회복된다. 이것은 상부층에서 배기에 대한 저항이 점차 줄어들기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 고층 아파트에서 주방과 욕실 배기량에 주요한 영향을 미치는 인자들을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 찾아내고, 더 나아가 주요 영향 인자의 수준변화에 따른 주방과 욕실의 층별 배기량 분포를 분석함으로써 건물의 층수 및 외피의 기밀도가 배기량에 미치는 영향을 파악하고자 하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 고층 주거용 건물에서 주방과 욕실 배기량에 영향을 미치는 인자들을 파악하였고, 그 인자

들의 영향력을 분석하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 작성하였다. 그리고 두개의 아파트 단지에 대한 실측과 비교 시뮬레이션을 수행한 후, 실측치와 시뮬레이션치가 각각 5%와 8%의 범위 내에 있음을 확인함으로써 작성된 모델에 대한 타당성을 검증하였다.

(2) 주방과 욕실 배기량에 주요한 영향을 미치는 인자는 외기온, 건물의 층수, 외피의 기밀도, 수직적 팬 동시사용률, 주방과 욕실 배기팬의 용량, 욕실 배기팬의 용량 및 샤프트 면적임을 파악하였다.

(3) 건물이 고층화될 경우 우려되는 층별 배기 불균형은 수직 배기 샤프트의 크기가 배기풍량에 비해 작거나 실내외 온도차가 큰 경우에 심화됨을 파악하였다.

(4) 기준모델에 적용된 외피의 기밀도를 갖는 단위주호에서 주방 배기팬이 가동될 경우 단위주호 내에 형성된 부압으로 인해, 배기팬이 가동되지 않는 욕실에서는 역류가 발생할 수 있음을 발견하였다. 외피의 기밀도가 높은 경우 욕실에서의 역류를 방지하면서 주방 등의 배기를 원활히 시키려면 욕실 배기팬에 역류방지 댐퍼를 설치하고 실내에는 보조급기를 할 필요가 있다고 사료된다.

본 연구에서는 누기면적, 무동력 흡출기와 팬의 압력-풍량 특성 및 덕트의 국부손실계수 등과 같은 자료 중 국내의 실측치가 없는 것은 외국 문헌상의 값을 이용하였으나 배기량을 보다 정확하게 해석하려면 이들에 대한 보다 정확한 값을 얻기 위한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다. 그리고 본 연구에서는 특정 인자의 영향력을 분석하는 과정에서 다른 인자의 수준값은 기준값으로 고정하였으나, 다른 인자의 수준값도 동시에 변할 때의 영향력을 분석하는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. Tamblin, R. T., 1991, Coping with air pressure problems in tall buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 1, pp. 824-827.
2. Kim, I. K., 2002, A Study for the improvement and performance test of common exhaust duct through kitchen on high rise apartment house, Daewoo Construction Technology Report, Vol. 24, pp. 50-59.
3. Kang, Y. M. and Han, H. T., 2001, Performance of a kitchen ventilation system with supplementary supply and exhaust air, Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference (II), pp. 707-713.
4. Lee, Y. G., 1998, A Study on Prediction Model of Ventilation Performance for Multi-Family Housings using Airflow Analysis, Ph.D. thesis, Yonsei University, Seoul, Korea.
5. Kim, S. G., 2002, Ventilation system of high-rise apartment buildings, Magazine of SAREK, Vol. 31, No. 1, pp. 15-23.
6. ASHRAE, 2001, ASHRAE Handbook Fundamentals, ASHRAE, pp. 26.19-34.60.
7. Persily, A. K. and Ivy, E. M., 2001, Input Data for Multizone Airflow and IAQ Analysis, NISTIR 6585, NIST.
8. Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2000, Unification and Improvement of Energy Efficiency Code for Buildings and Houses, 1998-E-BD04-P-32.
9. SAREK, 2001, SAREK Handbook Vol. 4 Sanitary · Fire Protection and Environment, SAREK, pp. 2.1-2.6.
10. ASHRAE, 1994, ASHRAE Duct Fitting Database, ASHRAE.
11. Walton, G. N. and Dols, W. S., 2002, CONTAMW 2.0 User Manual, NISTIR 6921, NIST.
12. National Environmental Balancing Bureau, 1997, Testing Adjusting Balancing Manual for Technicians, pp. 9.10-9.15.