대한설비공학회 2005동계학술발표대회 논문집 pp. 88~96

05-W-015

공동주택 연도 내의 자연 대류를 고려한 열-유동 해석

박 성 근, 김 상 규*, 최 형 권**†, 용 호 택**

서울 산업대학교 에너지환경대학원, *서울 산업대학교 산업대학원 기계공학과, **서울 산업대학교 기계공학과

Numerical Study on the Natural-Convection in a Shaft of an Apartment

Sung-Geun Park, Sang Gyu Kim*, Hyoung Gwon Choi**†, Ho-Taek Yong**

ABSTRACT: In this paper, the heat and fluid flow analysis in a shaft of an apartment has been performed in order to investigate the pressure distribution inside a shaft considering both natural and forced convection. The present CFD approach can be used in estimating the capacity of roof ventilator of an apartment reasonably. Furthermore, flow patterns inside a shaft have been examined for some operating conditions of hood system.

Key words: Heat and fluid flow (열 유동), Shaft(연도), Roof ventilator(동력 팬)

1. 서 론

실내 환경 개선을 위한 관심이 높아지고 에너지 절약에 대한 관심이 높아지는 친환경적인 설비 시스템의 연구 중요성이 대두 되고 있다. 최근 고단열, 고기밀 공동 주택의 경우, 주방에서 조리 시 발생하는 오염 물질 및 열기가 실내 환경 악화의 주원인이 되고 있다. 이에 따라 주방 내 환경개선을 위해 레인지후드 및 환기 시스템에 대한 연구와 공동 주택에서 사용하는 집합배기 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Park et al.[1]은 주방환기 시스템의 개선을 위해 렌지후드와 흡출기의 성능테스트와 설문조사를 통해 문제점을 검토하였고 개구부설계 등을 고려한 건축 설계적 요소와 주방배기용 연도(배기 입상 덕트)설계 등의 기계설비적 방법을 제시하였다. Lee와 Lee[2]의 연구에서는 환기성능 해석을 위한 기본모델을 설정하고, 단위주호의 실내외 및 실간 공기유동 분석을 시뮬레이션 하여 결과를 바탕으로 관련변수 사이의 상호작용을 고려한 다중환기성능 예측 식을 제시하였다. Lee와 Rhee[3]는 각 지역의 기 시공된 덕트의 규격과 비교 검토하여 적정 여부 및 개선 방안을 제시함으로써 주방배기시스템의 설계에 대한 기초적 자료를 제시하였다. Song et al.[4,5]는 하절기와 동절기로 나누어 실험을 통해서 덕트 내의 압력분포 및 온도분포, 각 가지(branch)에서 유량을 측정함으로 수직 덕트 내의 배기현상을 파악하고 성능 개선에 관한 자료를 제시 하였다. Kim과 Kim[6]은 주방과 욕실 배기량에 주요한 영향을 미치는 인자들을 찾아내고 주요 영향인자의 수준 변화에 따른 주방과 욕실의 층별 배량 변화를 분석함으로써 층수 및 외피의 기밀도가 주방 및 욕실에 미치는 영향을 파악하였다.

일반적인 공동 주택의 경우 집합배기방식을 택하여 레인지 후드에서 포집된 오염 공기를 연도를 통해 외부로 배출하는 구조를 가지고 있으며, 연도에는 배기를 위한 무동력 흡출기가 설치되어 있거나 동력을 이용한 흡출기가 설치되어 있는 경우가 있다. 일반적인 경우는 무동력 흡출기를 사용하고 있으나 무동력 흡출기의 경우 바람에 따라 그 유량이 변하게 되는데, 우리나라 기후 특성상 바람이 일정치 않아 환기량 확보에 어려움이 있다.

본 연구는 집합 배기 방식의 유동 특성을 파악하여 동력팬 흡출기의 필요성과 용량을 선정하기

† Corresponding author
Tel.: +82-2-970-6312; fax: +82-2-949-1458
E-mail address: hgchoi@snut.ac.kr

위한 기초 연구이다. 21층 규모에 설치 되어있는 34평형 모델의 연도를 3차원 시뮬레이션을 통하여 열전도와 자연대류를 고려했을 때와 하지 않았을 때의 열-유동을 묘사 하였다. 동력팬 흡출기 선정을 위해 유량변화와 온도변화에 따른 압력변화를 계산했다. 그리고 후드의 작동여부에 따른 층별 유량을 비교하였다. 각 층의 압력 분포와 온도분포, 유동장, 유량 등을 파악하여 연도내의 배기특성을 알고자 한다.

본 논문의 2장에서는 지배방정식과 격자, 경계조건에 대해 설명하였으며, 3장에서는 각 Case에 대한 결과를 나타내었다. 4장에서는 3장의 결과를 바탕으로 결론을 도출 한다.

2. 지배 방정식 및 경계조건

2.1 계산영역 및 부하조건

우리나라의 고층 아파트의 평균인 21층 규모의 34평짜리 공동주택의 연도를 설정하였으며 크기는 0.53 m × 0.22 m × 60 m 이다. 층고 차는 2.8 m를 기준으로 하였고 렌지후드 덕트의 높이는 실내 바닥에서 2.5m 로 하였고 크기는 0.12 m× 0.12 m의 정 사각 덕트로 길이는 0.2 m만 고려하였다. 또한 외기와의 온도차에 의한 열전달 효과를 위해 사방으로 약 0.2 m 의 콘크리트로 둘러 쌓여있다고 가정하여 실제 계산영역은 0.93 m × 0.62 m × 60 m이다.

Fig. 1은 후드에서 연도로 들어가는 유량을 결정하기 위한 주방후드의 팬 성능 곡선이다. 3단으로 작동했을 때를 기준으로 하면 압력이 150 Pa일 때 유량은 520 CMH 이다. 유입되는 유체의 온도는 400 K로 정하였다. 또한 21층의 동시가동률은 동시가동률 자료[7]를 통하여 기본적으로 40%로 설정하였다.

2.2 Mesh 및 경계조건

격자 생성 프로그램인 ICEM-CFD를 사용하여 격자를 생성 하였다. 육면체 격자를 사용한 격자계이다. 격자수는 약 40만개 정도 이다. Fig. 2는 격자의 일부분을 나타낸 그림이다.

입구부분은 후드가 3단으로 작동할 때의 유량인 520 CMH 기준으로 층수와 동시가동률 40%,

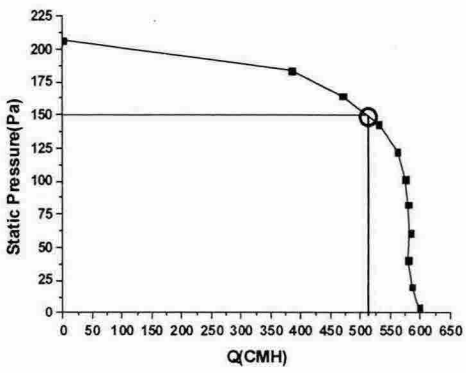


Fig. 1 Performance curve of the fan

온도와 밀도를 기준으로 산출된 1.056 kg/s의 유량 조건을 부여하였다. 후드가 작동하는 층은 모든 층으로 설정하였다. 유입되는 유체의 온도는 400 K 이다. 외기의 온도는 상온 23°C이고 출구부분은 Outflow로 설정하였다. Wall은 콘크리트의 물성치를 적용하였고 벽은 외기의 온도에 영향을 받는다고 가정하여 23°C를 주었다. Case1은

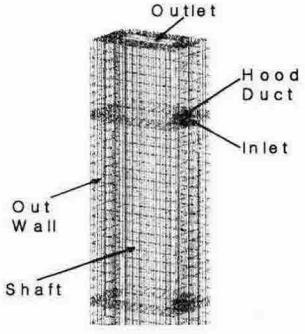


Fig. 2 Mesh and geometry

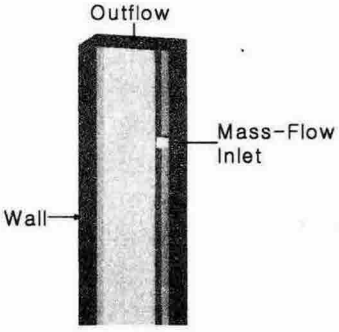


Fig. 3 Boundary Condition

Table 1 Simulation Case

Case No.	Natural Convection				Working Stairs			동시 가동률
Case 1	○				All			40%
Case 2	✖				All			40%
	Non-Working-Stairs							
Case3	2	4	6	8	10	12	14	40%
	16							
Case4	1	2	3	4	5	6	7	40%
	8							
Case5	7	8	9	10	11	12	13	40%
	14							
Case6	14	15	16	17	18	19	20	40%
	21							

자연대류를 고려하여 계산하였고 Case2는 고려하지 않았다. 동시가동률을 20%, 50%, 60%, 80%, 100%로 변화시켜 유량변화에 따라 Case1과 Case2를 계산 했다. 자연대류를 고려한 경우에는 유입되는 유체의 온도를 353 K, 373 K로 변화 시키면서 계산하였다. Case3-6은 층별로 후드의 작동 여부에 따라 구별하였다. Case3은 저층부터 짝수 층 8개 층만 작동하지 않게 하였고 Case4는 1-8층, Case5는 7-14층, Case6은 14-21층이 후드가 작동하지 않는 층으로 설정 하였다. 동시가동률 40%의 유량을 13개 층으로 나누어 작동하는 층마다 약 0.0813 kg/s로 유량 조건을 주었다. 또한 후드가 작동하지 않는 층의 후드 덕트 입구는 무응력 조건(Traction Free)을 주었다. 그리고 출구 부분은 Outflow로 설정하였다.

2.3 지배방정식

해석하고자 하는 문제는 열전달과 운동량방정식이 연성된 비압축성 난류 유동장이다. 밀도변화에 따는 부력 항은 Boussinesq 가정에 의해 모델링 되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자연대류의 영향

Fig. 4는 Case1과 Case2의 동시가동률에 따른 유량 변화와 압력 변화 그래프이다. 동시가동률이 높아질수록 연도로 유입되는 유체의 양이 많아짐으로 이를 대기로 배기시키기 위해서는 보다 많은 압력 강하가 필요하다. Case1과 Case2의 차이는 자연대류에 의한 부력 때문에 발생한다. 부력에 의한 기류의 상승효과가 연도 내에서 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 렌지 후드에서 연도로 들어가는 유체의 온도 변화에 따른 동시가동률과 압력변화 그래프이다. 온도가 올라 갈수록 부력에 의한 효과가 커져 출구로 토출시키기 위한 힘은 적게 드는 것으로 나타났다. Table 2는 동시가동률 40%와 100%일 때 온도변화와 자연대류 여부에 따른 출구의 압력을 나타낸 표이다. 동시 가동률이100% 일 때는 유입된 온도가 353 K때와 부력을 고려하지 않았을 때 압력이 비슷하다. 유입온도가 353 K일 때는 상층부와 하층부의 온도차가 무시

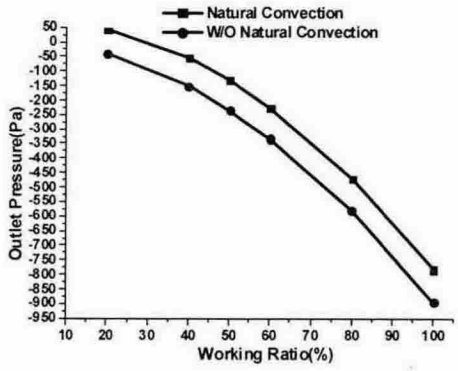


Fig. 4 Relation between working ratio and outlet pressure

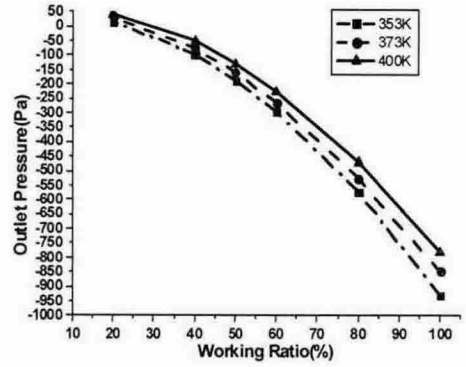


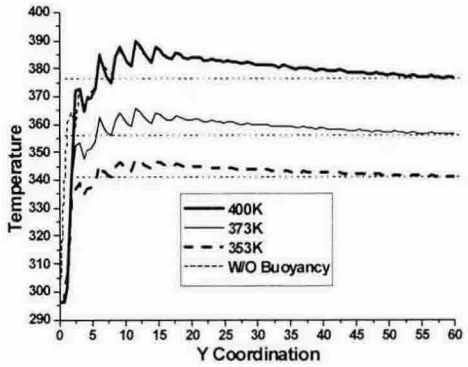
Fig. 5 Relation between working ratio and outlet pressure for various inlet temperatures.

Table 2 Outlet Pressures for some conditions

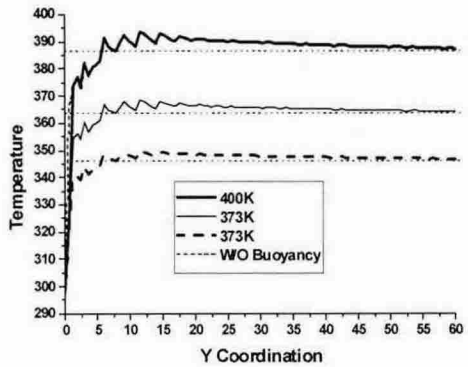
	동시가동률 40%	동시가동률 100%
400K	-51.13 Pa	-781.15 Pa
373K	-75.77 Pa	-847.63 Pa
353K	-98.01 Pa	-929.43 Pa
W/O Buoyancy	-151.84 Pa	-895.28 Pa

할 만큼 작아 부력에 의한 토출효과를 기대할 수 없기 때문에 부력을 고려하지 않았을 때와 별 차이가 없다.

Fig. 6은 동시가동률 40%와 100%일 때의 유입되는 유체의 온도변화에 따른 높이방향의 온도



(a) 40% Working ratio



(b) 100% Working ratio

Fig. 6 Temperature profiles along the vertical direction for various cases.

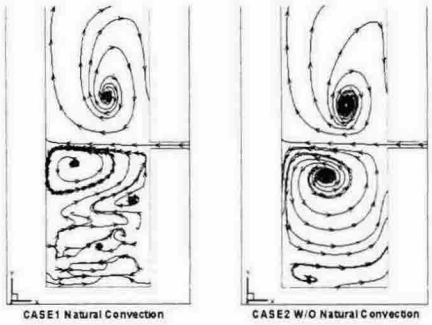
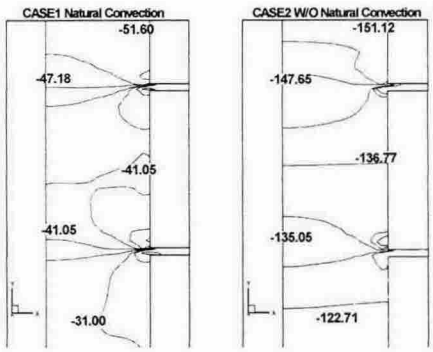
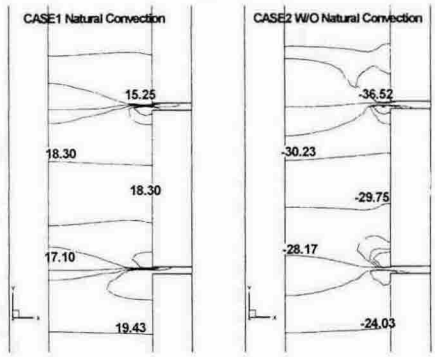


Fig. 7 The stream line patterns inside a shaft of low stairs.

그래프이다. 유입온도가 353 K인 경우 동시가동률이 100%일 때가 40% 일 때 보다 고층과 하층의 온도차가 거의 없는 것을 볼 수 있다.

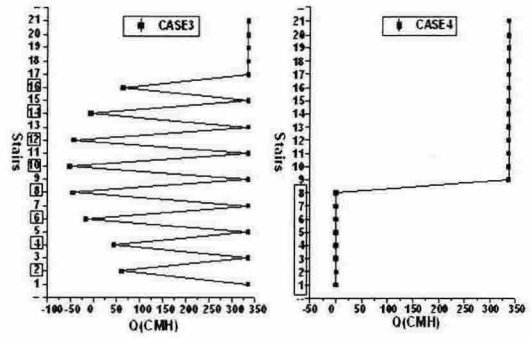


(a) High-stairs



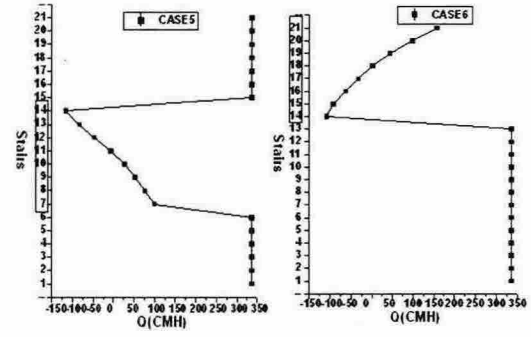
(b) Middle-stairs

Fig. 8 The pressure contours inside a shaft of high and middle stairs



(a) Case 3

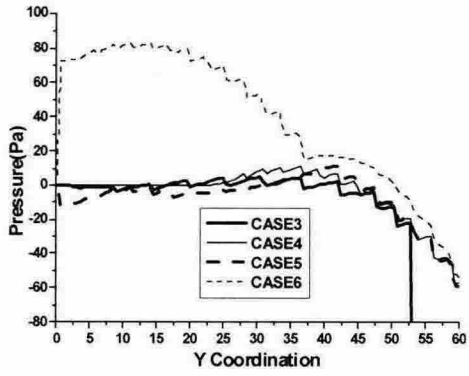
(b) Case 4



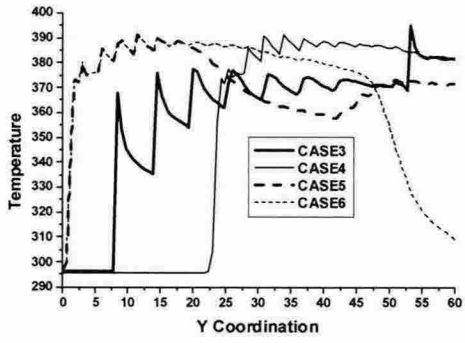
(c) Case 5

(d) Case 6

Fig. 9 Flow patterns of hood duct system for various operating conditions.



(a) Pressure



(a) Temperature

Fig. 10 Temperature and pressure profiles along the vertical direction for some cases.

Fig. 7은 저층 부분의 유동분포를 나타낸 그림이다. 유동분포에서 알 수 있듯이 Case1, 2 모두 저층에서는 정체가 발생 하였다. 이는 유입되는 유체가 입구부분에 막을 형성하여 부력에 의해 상승하고자 하는 공기를 막아 정체시켜 유체의 원활한 배출을 막기 때문이다. 또한 후드 덕트 밑으로 온도차에 의해 하강기류가 형성되었다.

Fig. 8은 동시 가동률 40% 일 때 자연대류를 고려했을 때와 안했을 때의 고층부분과 중간층 부분의 압력 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 8 (A)는 고층의 압력분포로 자연대류를 고려했을 때가 고려하지 않았을 때 보다 약 3배정도 크게 나타났다. 이는 자연 대류를 고려하지 않았을 때 부력의 영향을 받지 못하므로 상승기류가 생기지 않기 때문에 배기를 위해서는 출구부분에서 자연대류를 고려했을 때보다 많은 압력강하가 필요함을 알 수 있다. Fig. 8 (B)는 중간층의 압력분포로 Case1은 압력이 대기보다 높아 것을 볼 수 있고 Case2는 순차적으로 층수가 올라갈수록 압력이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

3.2 각층별 후드 작동조건의 영향

Fig. 9는 Case3-6의 각 층별로 유량 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 9 (a), (b), (d)를 보면 중상층에서 역류한 것을 볼 수 있다. Fig. 9 (a)는 Song et al[4-5] 의 나온 실험 결과와 비슷한 형상을 보였다. 중간층은 출구의 영향을 받지 않아서 역류가 발생하였지만 고층으로 갈수록 출구의 영향을 받아 역류가 발생하지 않았다. 그러나 Fig. 9 (b)에서는 저층에서 후드가 작동하지 않아도 역류가 거의 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 연도내의 부력에 의한 유체가 상승기류를 Fig. 9 (d)에서와 같이 후드가 작동하지 않는 중

간 층에서 역류가 발생함을 알 수 있는데 이는 저층에서 상승하는 유체로 인한 중상층의 압력상승에 의한 것이다. 고층에 경우 출구 측과 거리가 짧기 때문에 역류가 일어나지 않는다. 결과 층마다의 배기 성능의 차이가 있다. 또한 무동력 흡출기는 충분한 배기 성능을 얻기 힘들기 때문에 일정한 배기량을 얻을 수 있는 동력팬 흡출기를 선택하여 중상층 이하에 까지 영향을 미치도록 하여 역류의 발생을 억제해야 할 것이다. Fig. 10은 Case3-6의 높이 방향으로 온도와 압력변화 그래프이다.

4. 결론

본 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있다.

(1) 동시 가동률이 높아질수록 연도로 유입되는 유해가스의양이 많아짐으로 이를 배기시키기 위해서는 보다 많은 압력 강하가 필요하다.

(2) 자연대류를 고려했을 때가 고려하지 않았을 때보다 부력에 의해 발생하는 상승기류의 영향에 의하여 연도 출구의 정압이 높게 예측 되었다. 이는 연도에서 가동률에 따른 팬의 성능 예측 시 부력의 효과를 연도에 고려하여야 한다.

(3) 유입되는 유해가스의 온도가 높아질수록 부력의 영향이 커 출구에서 토출시키는 힘이 적게 들었으며, 유입된 유체의 온도가 353 K인 경우 고층과 저층의 온도차가 거의 없어서 부력에 의한 효과는 미미하였다.

(4) 후드가 부분적으로 작동할 경우 얻은 결론은 다음과 같다. Case4는 연도내의 부력에 의해 유체가 상승기류를 형성하여 역류가 생성되지 않았다. Case6은 연도 출구 근처는 압력이 낮아 역류가 생성되지 않았지만 중상층일부(14층-17층)에서는 저층에서 상승하는 높은 정압을 가진 유체로 인해 역류가 발생하였다. Case5는 저층에서 상승하는 유체의 압력 때문에 역류가 발생하지 않았지만 온도가 낮아짐에 따라 11층에서 14층까지는 역류가 발생하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 공통핵심기술 과제의 사업비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jin-Chul Park, Sang-Soo Lee and Eon-Ku Rhee, A Study on the Improvement of Ventilation Systems of the Kitchen in Apartment Journal of the KIBS , Vol. 3, No. 3
2. Yun-Gyu Lee, Kyung-Hoi Lee, 2000, A Study on Prediction Mod다 of Ventilation Performance for Multi-Family Housings using Airflow Analysis, AIK Vol 8, No. 8
3. Sang Soo Lee, Eon Ku Rhee, 1995, A Study on the Improvement of Ventilation Systems in Kitchen of Apartment Houses, SAREK pp. 479-483
4. Jun-Won Song, IL-Kyung Kang and Sung-Min Cho, 2004 Study on Improvement for Exhaust Performance in Vertical Duct, SAREK pp. 1047-1053
5. Jun-Won Song, IL-Kyung Kang and Sung-Min Cho, 2004 Study on Improvement for Exhaust Performance in Vertical Duct, SAREK pp. 206-211
6. Young-Don Kim, Kwang-Woo Kim, 2003, Simulation of the Kitchen and Bathroom Exhaust Systems in High-Rise Apartment Buildings, SAREK, Vol. 12 pp. 996-1006
7. SAREK, 2001, SAREK Handbook Vol.4 Sanitary · Fire Protection and Environment, SAREK, pp. 2.1-2.6