

실험계획법에 의한 수직샤프트 제어인자 도출을 위한 상관관계 분석

한 화 택[†], 신 철 용^{*}, 백 창 인^{**}

국민대학교 기계자동차공학부, ^{*}국민대학교 기계공학과 대학원, ^{**}(주)인벤트이엔지

Correlation Analysis for deriving Control Parameters in Vertical Shafts by Design of Experiments

Hwataik Han[†], Chulyong Shin^{*}, Chang-In Baek^{**}

School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

^{*}Graduate School of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

^{**}Invent-ENG., Seongnam 462-120, Korea

ABSTRACT: It is the objective of the present study to conduct correlation analysis for deriving control parameters in vertical shafts using the results obtain by the design of experiments in the preceding research. The control parameters are categorized into objective parameters, derived parameters, condition parameters, operation parameters, and sensing parameters. The maximum pressure in the shaft should be sufficiently small in order to maintain exhaust hood performance. The pressure variations between floors should also be minimized in order to maintain uniform exhaust performance between floors and to save energy for excessive pressure drop in the shaft. The standard deviation based on $-4Pa$ is proposed as an objective parameter to control pressure in shafts. The correlation equation has been obtained between the standard deviation and the sensing parameters of outdoor temperature and the pressure at the top of the shaft.

Key words: Vertical shaft(수직 샤프트), Control(제어), Parametric analysis(인자 분석), Kitchen exhaust(주방배기), Ventilation(환기)

기 호 설 명

d : 샤프트 직경 [mm]
 P : 정압 [Pa]
 ΔP : 정압구배 [Pa]
 N : 층 층수
 T_{out} : 외기온도 [°C]

u : 동시사용율 [%]
 ζ : 하부입구 손실계수
 σ : 표준편차
 ω : 옥상팬 회전수 [Hz]

1. 서 론

실내공기를 오염시키는 물질은 여러 가지가 있지만, 그 중 주방에서 조리시 배출되는 오염물질은 발생량도 많고 연소가스, 습기, 냄새 등 여러 가지 오염원을 포함하고 있기 때문에 실내공기질

[†] Corresponding author
 Tel.: +82-2-910-4687; fax: +82-2-910-4839
 E-mail address: hhan@kookmin.ac.kr

을 저하시키는 주요한 요인이 되고 있다. 때문에 조리시 발생하는 오염물질을 배출하기 위하여 거의 모든 주택에서 주방 배기후드를 설치하여 사용하고 있다. 그러나 배기후드의 성능이 제대로 발휘되지 않는 경우가 많고 비가동시 타세대에서 발생된 오염물질이 역류하거나 소음이 발생하는 등 문제가 발생하고 있다.

그동안 주방배기후드의 성능을 향상시키기 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. Kwon⁽¹⁾은 옥상팬의 제어를 통한 후드의 배기성능 향상에 관하여 연구하였고, Kang⁽²⁾은 보급공기를 후드 주변에 공급함으로써 레인지 후드의 포획성능을 향상시키고자 하였다. 그리고 Kim⁽³⁾은 주방의 강제배기 제어시스템의 기능개선을 위해 샤프트내 압력센서의 설치위치에 대해 연구하였다.

그러나 레인지 후드의 배기성능은 옥상팬만의 제어나 레인지 후드성능 자체만으로 해결될 수 있는 문제가 아니라 건물의 기밀도와 수직 샤프트내 압력분포가 연계되어 있는 총체적인 문제이다. 수직 샤프트내 압력분포에 대한 해석은 Murakami⁽⁴⁾이 수행한 바 있으며, 여러 변수들이 압력분포에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 그러나 샤프트의 압력제어에는 적용되지 않았다.

본 연구에서는 수직 샤프트내 압력제어를 위한 제어 방안을 도출하기 위하여 관련 인자들을 유도하고 각 인자들의 상호 관계와 결과에 미치는 영향에 관하여 분석하고자 한다. 실험계획법에 의하여 계산된 해석결과⁽⁵⁾를 바탕으로 제어 목적함수를 도출하고 외기온도와 최상층 압력과 압력구배를 제어 감지변수로 하여 옥상팬과 하부개도율의 제어 조작변수를 활용하기 위한 수직샤프트내 압력제어 방안을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 수직샤프트내 압력분포

수직샤프트내의 압력을 제어하기 위해서 샤프트내 압력분포를 우선 이해하여야 한다. 외부조건과 상황에 따라서 다양한 분포로 나타날 수 있으나, 동시사용 세대가 하부층에 몰려있고 샤프트 상부에 옥상팬이 설치된 경우의 압력분포는

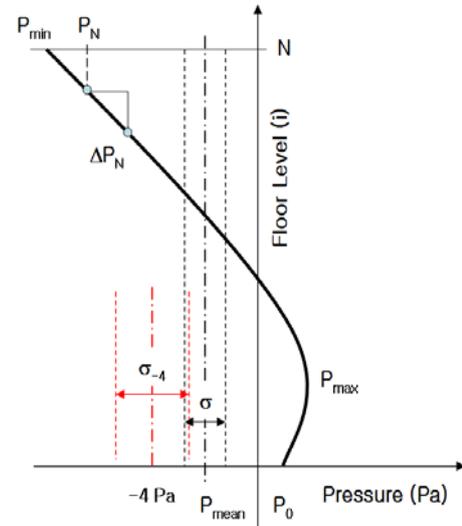


Fig. 1 Schematic pressure distributions in a vertical shaft.

대체적으로 Fig. 1과 같이 나타난다. 최대정압은 동시세대가 몰려있는 하부층의 중간 정도에서 발생하며 옥상팬에 의하여 최상부에서 최소정압이 발생한다. 최소정압은 옥상팬의 강도에 따라서 크게 영향을 받으며 최하층의 압력은 샤프트 하부 입구의 개도율에 의해 영향을 받는다. 압력분포가 주어지면 전층에 걸친 압력의 평균값과 표준편차를 계산할 수 있다. 수직샤프트내 압력분포의 가장 이상적인 형태는 전층에 걸쳐 일정값 이하의 균일한 압력을 보이는 것이다.

2.2 제어 인자

수직 샤프트내 최대정압이나 편차 등 압력분포

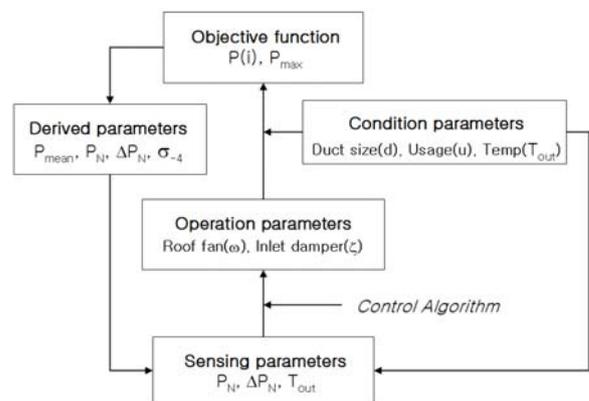


Fig. 2 Parameters related to the pressure control in a vertical shaft.

Table 1 Table 1 Results of the design of experiments by the preceding study.

Vertical shaft size(m)	Usage (%)	Roof fan (Hz)	Inlet loss coefficient	Out door temperature(°C)	Static pressure of vertical shaft(Pa)								Exhaust airflow(CMH)		
					Average	Minium	Maxium	σ (avg)	σ (-4)	P(N)	DP(N)	Average	Minium	Maxium	
0.45	32	30	1	0	0.9	0.1	1.5	0.37	5.06	1.5	0.06	519	513	528	
			10	15	1.4	0.5	2.6	0.65	5.55	0.5	-0.07	505	499	514	
			100	30	4.2	1.2	7.0	1.97	8.61	1.1	-0.24	461	452	479	
	40	50	1	15	-1.3	-4.3	1.3	1.92	3.34	-4.3	-0.24	521	511	542	
			10	30	-0.5	-5.0	3.2	2.83	4.57	-5.0	-0.36	504	493	530	
			100	0	1.9	-0.6	4.2	1.68	6.25	-0.6	-0.19	492	483	514	
	48	70	1	30	-3.6	-10.7	1.4	4.23	4.25	-10.7	-0.58	528	511	570	
			10	0	-1.7	-7.1	2.2	3.25	4.02	-7.1	-0.43	518	503	555	
			100	15	0.3	-7.1	5.5	4.46	6.25	-7.1	-0.60	488	469	535	
0.55	40	70	1	0	-3.1	-8.4	0.5	3.04	3.18	-8.4	-0.47	529	521	549	
			10	15	-4.0	-10.3	0.3	3.64	3.64	-10.3	-0.55	532	522	556	
			100	30	-3.7	-11.2	1.5	4.34	4.35	-11.2	-0.64	523	509	552	
	48	30	1	15	1.9	0.4	3.0	0.73	6.09	0.9	-0.12	502	494	523	
			10	30	3.5	0.7	5.1	1.46	7.75	0.7	-0.26	478	472	488	
			100	0	7.4	6.2	8.4	0.72	11.61	6.2	-0.13	445	439	461	
	32	50	1	30	-2.9	-6.8	0.2	2.37	2.61	-6.8	-0.33	529	523	543	
			10	0	-1.1	-3.0	0.5	1.13	3.20	-3.0	-0.16	524	520	533	
			100	15	-1.6	-4.7	0.8	1.87	3.08	-4.7	-0.27	521	516	534	
0.65	48	50	1	0	0.7	-1.4	2.2	1.12	4.97	-1.4	-0.25	510	503	528	
			10	15	0.2	-3.2	2.1	1.73	4.65	-3.2	-0.35	509	504	517	
			100	30	2.7	-2.8	5.6	2.90	7.40	-2.8	-0.52	474	467	493	
	32	70	1	15	-4.7	-11.2	0.0	3.75	3.82	-11.2	-0.56	533	524	550	
			10	30	-5.3	-12.3	0.0	4.12	4.32	-12.3	-0.61	535	525	553	
			100	0	-5.2	-10.4	-1.5	3.01	3.23	-10.3	-0.45	545	538	558	
	40	30	1	30	0.2	-1.4	1.2	0.86	4.35	-1.4	-0.16	515	512	522	
			10	0	2.1	0.5	2.6	0.58	6.25	2.2	-0.03	506	499	523	
			100	15	3.7	1.8	4.9	0.99	7.94	1.8	-0.19	478	474	485	

에 영향을 미치는 인자에는 여러 가지가 있다. 여기서는 5개의 인자, 샤프트 직경(d), 동시사용율(u), 외기온도(T_{out}), 옥상팬(ω), 그리고 하부입구 손실계수(ζ)를 고려한다. 이들 중 샤프트 직경과 동시사용율, 그리고 외기온도는 제어가 가능하지 않은 외부에서 주어지는 상대변수이다. 또한 옥상팬이나 하부입구개도율은 샤프트내의 압력제어를 위하여 활용할 수 있는 조작변수이다. 이들을 분류하여 정리하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 제어의 목적은 최대정압과 압력의 편차를 최소화하는 것이며, 이로부터 파생된 변수로 평균압력, 최상층 압력, 압력의 기울기 등이 있다. 또한 감지변수는 측정가능하며 제어에 활용하고자 하는 변수로서 외기온도나 최상층 압력 등을 생각할 수 있다.

선행연구에서 실험계획법을 이용하여 각각 3개 수준을 갖는 위의 5개 인자에 대하여 샤프트내 압력분포를 해석하였다. 직교배열표에 의하여 조건이 설정되었고 그 결과가 Table 1에 정리되어 있다. 여기에 각 경우에 대한 압력값의 최대, 최소, 평균값, 그리고 표준편차 등이 계산되어 있

다. 참고로 각 세대의 주방후드 배기량의 평균, 최대, 최소값이 아울러 나타나 있다. .

3. 결과 및 고찰

3.1 인자의 영향

수직샤프트내의 정압분포에 영향을 미치는 5가지 인자에 대하여 샤프트내 최대정압과의 상관관계를 분석하였다. 동시에 최상층의 정압도 함께 도시하였는데 이는 샤프트내 최소압력과 거의 모든 경우에서 일치한다.

동시사용율에 대한 영향은 Fig. 3에 나타나 있다. 동시사용율이 증가할수록 최대정압 역시 높아지는 경향을 보이고 있는데 이런 경향은 최상층의 정압에서도 동일하게 나타나고 있다. 외기온도에 대한 영향은 Fig. 4에 나타나 있다. 외기온도는 최대정압에 대해서는 큰 영향이 없으나 최상층 정압에 대해서는 외기온도가 높아질수록 최상층 정압이 낮아지는 경향을 보인다. 따라서 최대정압과 최상층 정압의 상관관계에 외기온도가

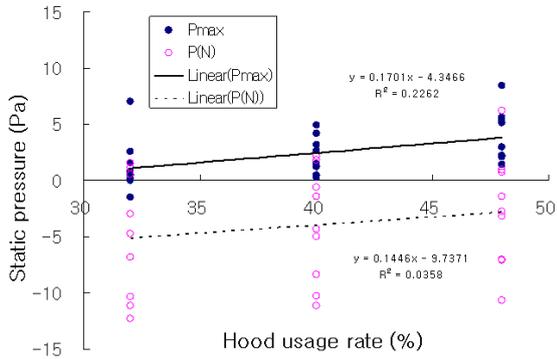


Fig. 3 Effect of hood usage rate on static pressures in vertical shaft.

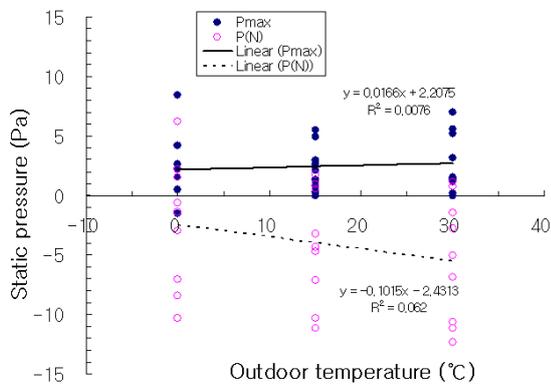


Fig. 4 Effect of outdoor temperature on static pressures in vertical shaft.

영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 옥상팬에 대한 영향은 Fig. 5에 나타나있다. 옥상팬의 회전수가 증가할수록 최대정압과 최상층 정압 모두 낮아지는 경향을 보이고 있는데 최상층의 정압이 더욱 큰 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 이 결과로 보아 옥상팬의 회전수가 증가할수록 수직 샤프트내의 정압편차가 커짐을 알 수 있다. 하부 입구 개도율의 영향은 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 10(개도율 30%)까지 별 영향이 없으나 이 후 100(개도율 10%)으로 갈수록 영향이 커지고 있다. 이 결과로부터 하부입구 개도율은 일정값 이하일 경우에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3.2 목적함수의 설정

세대별 최소 배기풍량은 주방후드팬의 성능곡선에 따른 값으로서 Fig. 7과 같이 수직샤프트내 최대정압과 분명한 상관관계를 가지고 있다. 최

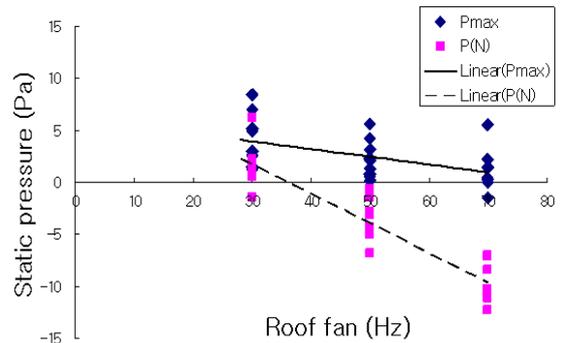


Fig. 5 Effect of roof fan on static pressures in vertical shaft.

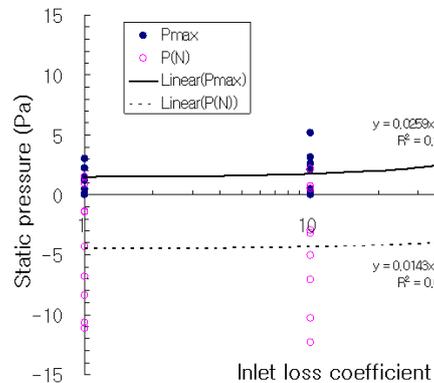


Fig. 6 Effect of inlet loss coefficient on static pressures in vertical shaft.

대정압이 높아질수록 최대정압이 발생하는 층의 세대에서는 배기성능이 저하된다. 그러나 이를 해결하기 위해 옥상팬의 용량을 증가시킬 경우 지나치게 낮은 정압이 발생하는 세대가 생긴다. 이런 경우 주방후드 미작동 시에도 누설에 의한 배기가 일어나고 이에 따라 틈새에서 소음이 발

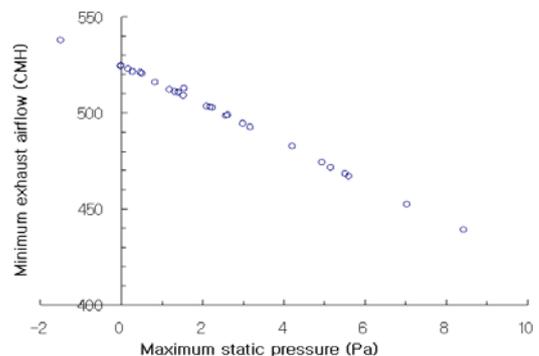


Fig. 7 Correlation of minimum exhaust airflow rate with the maximum pressure in shaft.

생활 가능성이 높다. 또한 옥상팬의 운전에 따른 주방배기 시스템의 에너지 효율성이 떨어질 수 있다. 따라서 배기성능이 저하되는 것을 방지하기 위해서는 최대정압을 일정수준 이하로 유지하는 것이 필요하지만 한편 수직샤프트내 정압편차를 가급적 축소시킴으로써 세대간 배기성능의 극심한 불균형을 줄일 수 있고 에너지 효율성을 높일 수 있다.

수직샤프트내 정압분포의 표준편차를 줄이기 위한 방안을 위하여 고려되어야할 변수를 알아보기 위해 표준편차에 대한 최대정압, 최소정압 그리고 평균정압의 상관관계를 각각 분석하여 보았다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 최대정압, 최소정압, 평균정압 모두 표준편차와는 별다른 상관관계를 보이지 않는다. 그러나 흥미롭게도 Fig. 9에 보이

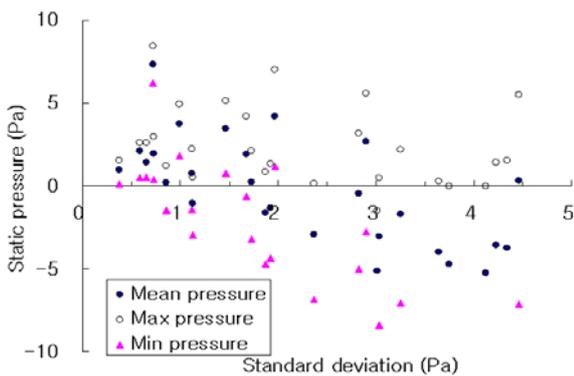


Fig. 8 Correlations of static pressures with standard deviation of pressure.

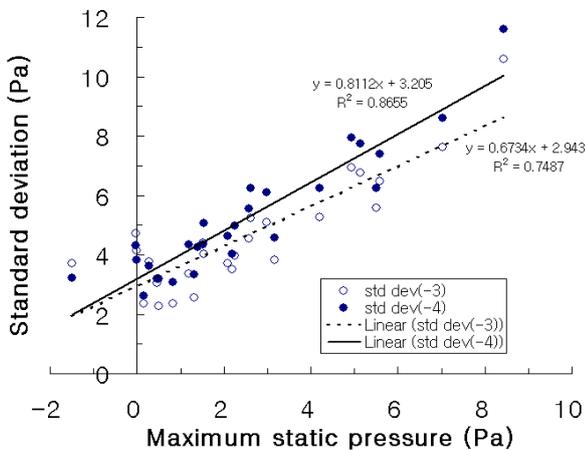


Fig. 9 Correlations of maximum static pressure with the standard deviations at -3 and -4Pa.

는 바와 같이 -3Pa이나 -4Pa에 대한 표준편차의 경우에는 분명한 상관관계를 보이고 있다. 따라서 이 변수를 목적변수로 선정하는 것이 적합하다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 -4Pa에 대한 표준편차를 사용하였다.

3.3 감지변수의 상관관계

주방후드를 가동하는 세대의 위치가 변화하면 수직샤프트내 최대정압이 나타나는 위치도 바뀐다. 주택의 특성상 후드 가동세대의 위치와 동시 사용율은 일정하지 않고 예측하기가 어렵기 때문에 이를 측정하는 것은 현실적으로 쉽지 않다. 따라서 측정하기 용이한 감지변수로서 최상층의 정압, 정압구배 그리고 외기온도를 선정하였다.

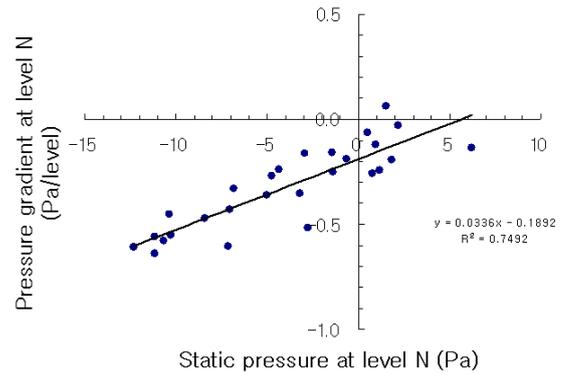


Fig. 10 Correlation with pressure gradient and static pressure at highest level

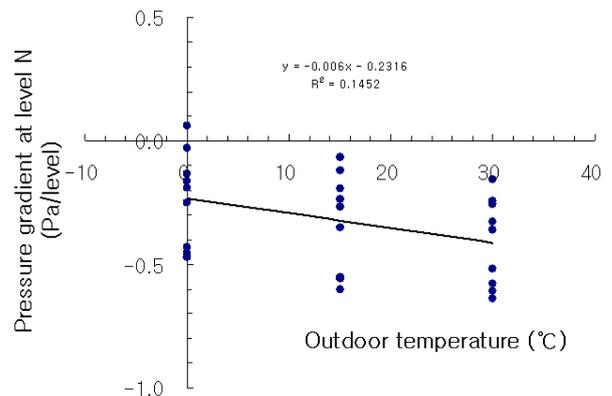


Fig. 11 Correlation with pressure gradient and outdoor temperature at highest level

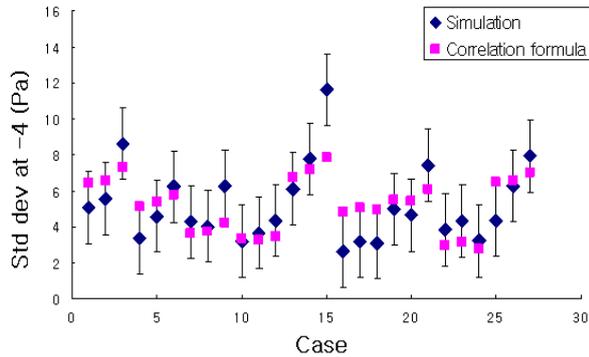


Fig. 12 Comparison with the simulation data for verification

이들 변수에 대한 상관관계를 분석한 결과 최상층의 정압과 외기온도는 상관관계가 없는 독립적인 변수임을 알 수 있다. 최상층의 정압과 정압구배는 분명한 상관관계를 보이고 있다. 최상층의 정압과 정압구배의 상관관계는 Fig. 10에 나타나고, 최상층의 정압구배와 외기온도와의 상관관계는 Fig. 11에 나타나있다. 외기온도가 높아질수록 최상층의 정압구배도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 외기온도가 높아질수록 수직샤프트내 정압편차가 증가함을 말한다. 이 결과를 바탕으로 최상층의 정압구배를 제외하고 외기온도와 최상층 정압을 감지변수로 하여 목적변수인 -4Pa 에 대한 표준편차와 최상층의 정압과의 상관관계를 분석하였다. 상관관계식은 식 (1)과 같이 나타난다.

$$\sigma_{-4} = 5.93 + 0.31P_N + 0.0331T_{out} \quad (1)$$

상관식에 의한 표준편차 결과값이 Fig. 12과 같이 기존의 해석결과를 잘 추종하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

지금까지 수직샤프트내 압력분포에 영향을 미치는 다섯 가지 인자들의 영향에 관하여 살펴보았으며, 실험계획법에 의하여 3가지 수준에 대한 해석결과를 바탕으로 제어인자 도출을 위한 상관관계 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 최대 정압을 목적함수로 하여 이를 최소화

하는 제어방법으로는 최소 정압을 지나치게 낮추어 에너지손실과 소음발생을 유발할 수 있으며 층간 배기성능의 불균일을 초래할 수 있다.

(2) 평균압력이 아닌 -4Pa 을 중심으로 한 표준편차는 샤프트내 최대정압과 강한 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며, 동시에 층간 정압 편차를 나타내는 지표로서 제어를 위한 제어 목적변수로 활용될 수 있는 가능성을 보였다.

(3) 제어 감지변수로서 외기온도 그리고 최상층 압력과 압력구배를 활용할 수 있으며, 제어 조작변수로서 옥상팬과 하부입구 개도율을 이용하여 현실적으로 가능한 수직샤프트내 압력 제어 방안을 강구할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 각 인자들간의 구체적인 관계식을 대입하고 제어알고리즘을 개발하면 에너지 절약적이며 효율적인 샤프트의 설계와 운용에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Kwon, Y. I., Ahn, J. H., 2007, Intelligent exhaust control system used in high riser for elevating exhaust efficiency of toilet and cooking place, SAREK '07 Summer Annual Conference, pp. 565-571.
2. Kang, Y. M., Han, H. 2001, Performance of a kitchen ventilation system with supplementary supply and exhaust air, SAREK '01 Summer Annual Conference (II), pp. 707-713.
3. Kim, J. H., 2006, A study on the improvement of the standing duct mechanical ventilation system for kitchen ventilation in high-rise apartment, MS thesis, Chung-Ang University, Seoul, Korea.
4. Murakami, S., Yoshno, H., Mizutani, K., Akabayashi, S., Hasegawa, K., 1990, Ventilating performance of vertical exhaust duct in a multi-story house, SHASE.
5. Han, H. and Shin, C., 2008, Correlation analysis of parameters affecting pressure distributions in vertical shafts by design of experiments, 2008, Proc. of Summer Annual Conference of SAREK.