

공조설비의 필터차압 변화에 따른 에너지 소비성능 평가

원근호, 궤노열*, 허정호**

서울시립대학교 대학원, *FMTelecom 기술연구소, **서울시립대학교 건축학부(건축공학전공)

Evaluation of Energy Consumption of HVAC System for Air Filter Pressure Difference Change in Commercial Buildings

Keun-Ho Won, Ro-Yeul Kwak*, Jung-ho Huh**

Department of Architectural Engineering, Graduate School, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

*Technology Research Institute, FMTelecom Co. Ltd., Seoul 138-160, Korea

**Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

(Received October 12, 2004; revision received November 22, 2004)

ABSTRACT: Air handling unit (AHU)'s air filter pressure difference is important for energy consumption and indoor air quality. Both energy performance data and air filter differential pressure of AHU in real office buildings were monitored and analyzed to investigate quantitatively energy impact as dust buildup level on air filter grows. We also modeled and simulated CAV system using HVACSIM+ program to examine the energy effect of dust buildup on filters. Through analysis of time series pressure drop data, the filter pressure difference rate has been increased due to cumulative supply air flow rate increase. As filter pressure drop increased to 1 inch water column, it is found that the supply air flow rate was decreased by 10%, the chilled water flow rate was increased by 5.9% and the pump energy consumption was increased to 5.9%.

Key words: AHU(공기조화기), Air filter(공기필터), Building energy performance(에너지 성능), Dynamic simulation(동적 시뮬레이션), HVACSIM+

1. 서 론

건물 공조기 내부에 설치되는 필터는 건물 내부로 공급되는 공기를 정화하여 실내 청정도를 유지하기 위한 공기정화장치이다. 그러나 이 필터가 막힐 경우, 공기의 흐름이 원활하게 소통되지 못하여 실내공기 환경뿐만 아니라 공기조화 시스템의 에너지 효율에 영향을 미쳐 송풍동력인 전기에너지 사용량을 증대시키는 것으로 알려져 있다.

건물 공조기의 공기필터 막힘에 관한 기존 연구로서 Liu and Song⁽²⁾는 LCC와 에너지를 연계한 연구에서 변풍량 공조기 필터의 막힘에 따라 송풍팬에서 추가적으로 발생하는 에너지를 산정하고, 그 결과를 LCC 계산에 이용하였다. Kim⁽³⁾은 크린룸 실험 챔버를 대상으로 필터의 압력손실을 증가시켜 풍량, 필터 압력손실과 소비전력량의 관계를 고찰하였다. 필자는 기존연구⁽⁴⁾에서 정풍량 공조기의 필터막힘에 따른 송풍동력의 증가를 부직포를 부착한 가속실험을 통하여 송풍동력 에너지가 증대되는 요인에 대하여 정량적인 분석을 실시하였고, 또 사무소 건물을 대상으로 필터 막힘에 따른 공조기 송풍동력의 에너지 변

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2210-2616; fax: +82-2-2248-0382

E-mail address: huhj0715@uos.ac.kr

화를 평가하고 생애비용을 향상시킬 수 있는 공기 필터의 실시간 운용관리 기술을 제시하였다. 본 연구에서는 후속연구로 장기 시계열의 필터 전후 차압변화에 대한 추가분석을 실시하여 정풍량 공조기의 필터막힘에 따른 에너지 소비가 열원부분에서 발생하여 현장에서 측정하기가 현실적으로 어렵기 때문에 정풍량 공조기의 필터막힘에 따른 냉수 유량의 변화를 동적 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

2. 장기 시계열 필터차압 측정

2.1 건물 및 시스템 개요

Fig. 1은 사무소 건물의 전경이고, Table 1은 서울 강남구에 위치하고 있는 대상 건물의 개요로 지상 41층 지하 4층의 사무소 건물과 지하 1층의 복합상가로 구성되어 있다. 사무실 건물은 각층 공조방식으로 원래는 변풍량 방식으로 설계되었



Fig. 1 View of building.

으나, 현재는 VAV BOX의 댐퍼 개도율을 고정시켜서 정풍량 방식으로 운전되고 있고 복합상가 공조기는 정풍량 방식으로 설계 및 운전되고 있다. Fig. 2는 복합상가, Fig. 3은 사무소건물의 공기 다이어그램이다.

2.2 장기 시계열 필터차압 측정 개요

연구대상 건물 공조기의 필터가 장기 시계열에 따라 막힘 현상이 어떻게 발생하는가를 평가하기 위해 대상건물의 복합상가 공조기 2대와 사무소건물 공조기 2대를 선정하여, 2003년 9월부터 2004년 4월초까지 7개월 동안 BAS 모니터링 데이터

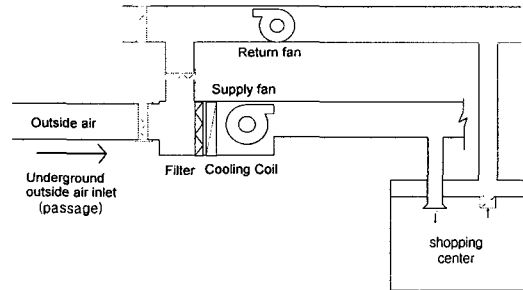


Fig. 2 AHU diagram in shopping center.

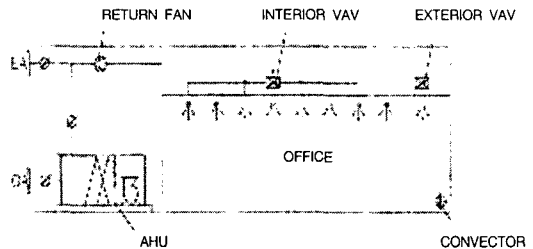


Fig. 3 AHU diagram in office.

Table 1 Description of building, AHU and filter

| Item | | Description | |
|-----------------|---------------|--------------------------------------|------------------------|
| Location | | Seoul, Korea | |
| Type | | Office building | Shopping store |
| Completion year | | 2000. 8 | 2000. 12 |
| Gross area | | 147,060.51 m ² | 125,669 m ² |
| Story | | Ground 41 story, Underground 4 story | Underground 1 story |
| Number of AHU | | 43 | 67 |
| Filter type | Pre filter | Panel type | Panel type |
| | Medium filter | Bag type | Bag type |

를 이용하여 필터 차압과 풍량을 측정하였다. 사용한 필터의 종류는 Table 1과 같으며, 필터차압 변화의 장기 시계열 분석을 위해 측정 전에 필터는 모두 신규로 교체하였다. 사무소 건물의 공조기는 대표적인 운전 스케줄을 갖는 13층과 38층의 공조기를 대상으로 선택하였다. 복합상가의 공조기는 사람들의 통행이 많아, 먼지가 많이 발생하고 운전시간도 길어 필터의 막힘이 빨리 진행될 것으로 예상되는 복도측 공조기와 상가측 공조기를 대상으로 측정하였다.

3. 장기 시계열 필터차압 분석

3.1 복합상가 필터차압 분석

복합상가의 복도는 통행인원이 많고, 아침 8시에서 밤 12시까지 운전이 되어 다른 공조기 보다 운전 시간이 긴 것이 특징이다. Fig. 4는 복합상가의 복도 공조기의 누적풍량에 따른 필터차압의 변화 추이를 나타낸 것이다. 시계열 누적풍량이 증대함에 따라 필터차압이 증대되고 있으며, 특히, OA댐퍼의 개도율에 따라 필터차압의 크기에 차이가 있음을 알 수 있다. 복도측 공조기는 Fig. 2와 같이 외기 도입부가 지상으로부터 멀리 떨어져 있는 특성 때문에 외기 도입부에서 압력강하가 크므로 급기풍량은 외기의 영향보다 환기팬의 영향을 더욱 받고 있다. 따라서, OA댐퍼 개도율이 100%의 경우에 비해 개도율 0%의 경우가 환기팬의 영향을 더욱 받아 급기풍량도 커지고 있으며 이에 따라 필터차압도 커지고 있다.

필터차압은 교체 초기의 0.8inch w.c.¹⁾이 7개월이 경과한 시점에서(누적풍량 35,000,000 m³) OA댐퍼의 개도율이 0%인 경우 4.0inch w.c., 개도율이 100%인 경우 2.0inch w.c.을 나타내고 있어 OA 댐퍼의 개도율에 따라 필터차압의 크기가 2배까지 변화함을 알 수 있다. 또한, 필터차압이 큰 OA 댐퍼의 개도율이 0%인 경우 필터차압은 초기에는 완만히 증가하다가 누적풍량이 커질수록 식(1)과 같이 지수함수로 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

$$y = 0.9038 e^{(4 \times 10^{-6})x} \quad (1)$$

1) 1 inch w.c.=25.4 mmAq=0.0345 kgf/m²

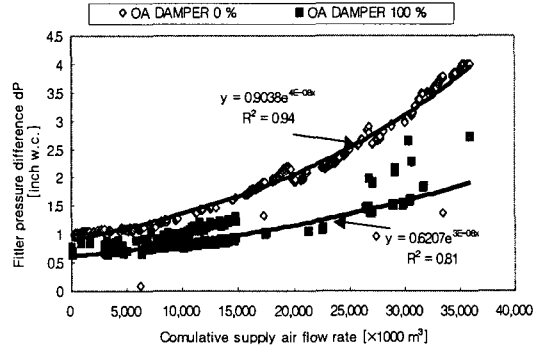


Fig. 4 Filter pressure difference depending on cumulative supply air flow rate in shopping center's passage.

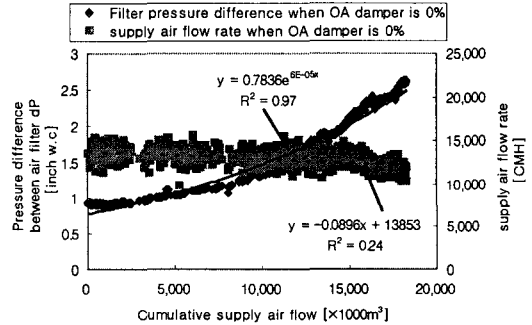


Fig. 5 Pressure difference between air filter, supply air flow rate and cumulative supply air flow rate in shopping center's store.

아울러, 이 건물의 필터관리기준은 필터차압이 1.5inch w.c. 이상일 때 교체하며, 이 값은 누적풍량이 14,000,000 m³에서 발생하고 있다.

복합상가의 상가측 공조기는 운전시간이 아침 9시부터 저녁 8시까지이며, Fig. 5는 복합상가의 상가측 공조기의 누적풍량에 따른 필터차압 변화 추이를 나타낸다. 상가측 공조기는 복도측 공조기와 달리 외기 도입부가 지상에 있기 때문에 외기 도입부의 저항이 크지 않아 외기 도입량의 영향을 많이 받고 있으며, 따라서 상가측 공조기의 경우 필터차압이 1.5inch w.c.인 시점은 누적풍량이 12,000,000 m³으로 복도측보다 필터막힘이 빨리 발생하고 있음을 알 수 있다.

또한, 장기 시계열적으로 필터막힘이 단위시간당 풍량의 크기에 미치는 영향을 분석한 결과 Fig. 5의 점선으로 나타난 바와 같이 교체 초기시

의 풍량 14,000 CMH이 필터막힘시 12,000 CMH로 약 15% 정도 감소하는 것으로 나타나고 있다.

3.2 사무소 건물 필터차압 분석

사무소 건물 공조기의 운전시간은 아침 8시에서 저녁 8시까지이며 복합상가와 비교하였을 때 사람들의 통행이 상대적으로 적고 주로 앉아서 작업하는 관계로 먼지 등의 발생이 적은 특성을 나타낸다. Fig.6은 사무소 공조기의 누적풍량에 따른 필터차압의 변화를 나타낸다. 사무실의 공조기는 Fig.3과 같이 외기 도입부가 공조실 벽면에 바로 뚫려 있어 외기 도입시 저항이 적으며, 시계열 누적풍량이 증대함에 따라 필터차압이 증대되고 있음을 알 수 있다. 사무소 공조기의 경우 필터차압이 1.5 inch w.c.인 시점은 누적풍량

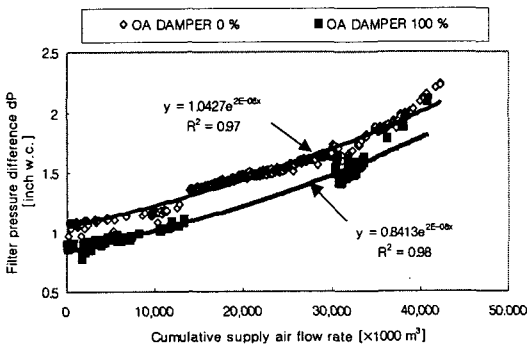


Fig. 6 Filter pressure difference depending on cumulative supply air flow rate in of- fice building.

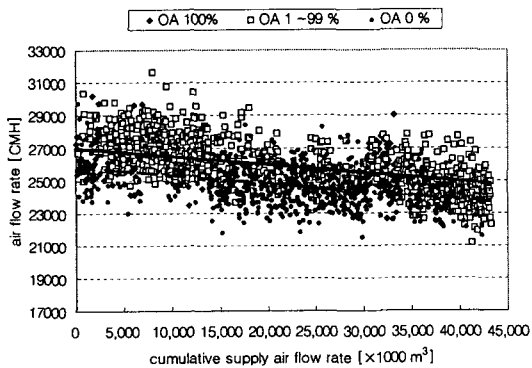


Fig. 7 Supply air flow rate depending on out- side air damper position and cumulative supply air flow rate in office building.

이 24,000,000 m³으로 복합상가 건물보다 필터막힘이 훨씬 늦게 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig.7은 필터막힘이 단위시간당 풍량에 미치는 영향을 분석한 결과를 나타낸다. 필터교체 초기시 의 풍량 27,000 CMH이 필터막힘시 24,000 CMH로 약 11% 정도 감소하는 것으로 나타나고 있다.

4. 필터차압 변화에 따른 유량 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 방법 및 조건

동적 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 정풍량 공조기의 필터막힘이 실내 온열환경과 냉수 유량에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자 시뮬레이션을 수행하였다. 변풍량 공조기의 경우, 팬이 부분부하 상태에서는 필터막힘이 발생하더라도 팬의 회전수를 변화시켜 풍량으로 조절가능하기 때문에 냉수유량에는 영향을 미치지 않아도 되나, 팬을 100%로 운전하는 경우 필터막힘이 발생할 경우 정풍량 공조기의 경우와 마찬가지로 급기풍량이 작아지므로, 코일에서 열전달이 적어지게 된다. 따라서, 실내부하를 적정하게 맞추도록 하기 위해서는 냉수 유량을 증가시켜야 한다.

공조기 각 구성요소의 수학적 모델을 사용한 동적 시뮬레이션 프로그램 HVACSIM+를 이용하여 유량 변화에 관한 시뮬레이션을 수행하였다. HVACSIM+는 각 구성요소를 모듈화한 타이프로 정의하여 시뮬레이션을 수행한다. 공조기의 시뮬레이션을 효과적으로 수행하기 위하여 전체 시스템을 4개의 슈퍼블록(superblock)으로 구분하여 유량 시뮬레이션을 수행하였다. Fig.8은 공조기 시뮬레이션 모델의 다이어그램을 나타내고 있다.

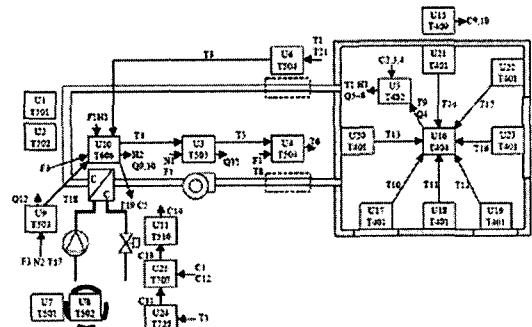


Fig. 8 Diagram of HVACSIM+ simulation model of HVAC.

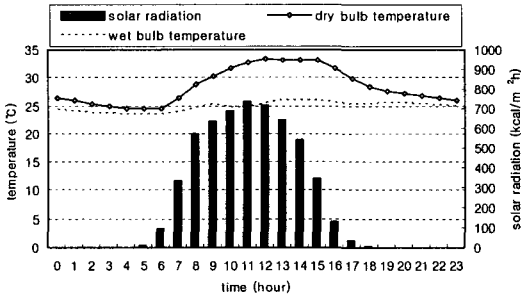


Fig. 9 Weather data in Seoul.

Table 2 Input data for calculations

| Load type | Load |
|-----------|------------|
| People | 10 persons |
| Light | 2.8 kW |
| Equipment | 2.8 kW |

4.2 기상데이터 및 실내부하 조건

여름철 냉방모드를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 서울지방 기상데이터에서 전형적인 여름날을 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 공조기의 운전시간은 07시에서 19시까지 12시간 운전하도록 하였고, 대상일은 하절기 8월 6일로 하였다. 기상조건은 Fig. 9와 같고, 실내조건은 Table 2와 같다.

4.3 시뮬레이션 변수

공기조화 시스템에서 필터가 막히는 것은 공기측의 유동저항을 증가시키는 것으로 본 연구에서는 필터의 막힘 상태를 시뮬레이션하기 위해, 블록(block) 1의 공기측에서의 유체저항을 크게 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 유닛 2의 저항을 0.1 kPa/(kg/s)²에서 0.105 kPa/(kg/s)²까지 0.0025 간격으로 변화시켜서 수행하였다. 이것은 Fig. 8의 타이프 502에서 유량저항계수의 파일이 전체 저항값 0.1 kPa/(kg/s)²의 (여기서, 0.1 kPa/(kg/s)²

는 코일, 필터 등의 시스템 저항과 덕트에서의 저항을 포함한 전체 저항값) 5% 범위 내에서 필터 차압이 증가한다고 가정한 것이다. 실제 측정값에서 대략 풍량이 20,000 m³일 때 필터 차압이 최대 1 inch w.c.까지 증가하였으므로 이것을 계산하면 0.04 kPa/(kg/s)²의 값이 된다.

4.4 시뮬레이션 분석결과

시뮬레이션의 조건은 Table 3과 같으며, 필터교체 직후의 CASE A와 필터 차압이 증가된 CASE B, C의 조건으로 유량 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 10과 같이 실내온도는 운전시작 시간인 7시

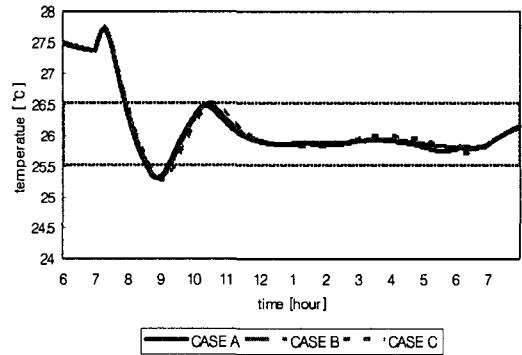


Fig. 10 Variation of room air temperature.

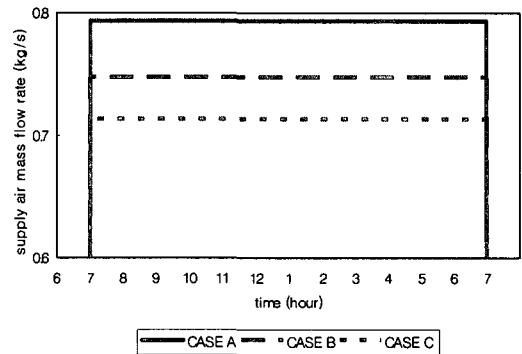


Fig. 11 Variation of supply air mass flow rate.

Table 3 Simulation case

| Case | Filter condition | Filter pressure difference increase |
|------|--|-------------------------------------|
| A | Initial condition | 0 |
| B | Filter pressure difference 0.5 inch w.c. increased | 0.0025 kPa/(kg/s) ² |
| C | Filter pressure difference 1.0 inch w.c. increased | 0.005 kPa/(kg/s) ² |

경 약간 상승한 후 점차 떨어져서 약 30분 정도 지난 후부터 제어범위인 25~27℃ 범위에 들어온다. 비례적분미분제어(PID)기를 사용하여 제어한 결과 약간의 오버슈트가 있지만 설정점(26℃)에 가깝게 제어됨을 알 수 있다. Fig. 11은 필터차압의 변화에 따른 급기량의 변화를 나타낸 것으로 급기량은 필터차압이 증가하고 급기량이 증가함에 따라 CASE B는 약 0.74 kg/s, CASE C는 약 0.71 kg/s로 감소한다. 필터교체 직후인 CASE A와 비교할 때 CASE B는 약 6%, CASE C는 약 10%의 풍량이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 12는 냉수유량의 변화를 나타낸 것으로 풍량이 감소함에 따라 실내부하를 충족시키기 위해 냉수밸브가 더 열려 냉수 유량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 냉수의 1일 총사용량을 비교하면, CASE A는 냉수가 약 80.7톤/day, CASE B는 83.3톤/day로 3.2% 증가하였고, CASE C는 85.5톤/day로 5.9% 증가하였다.

Table 4는 냉수유량을 증가시키기 위한 펌프의 전력에너지 소비량 결과로 1일 동안의 전력소비량으로 비교하면 CASE A의 307 kWh보다 CASE B는 317 kWh로 3.2%, CASE C는 325 kWh로 5.9% 증가함을 알 수 있다.

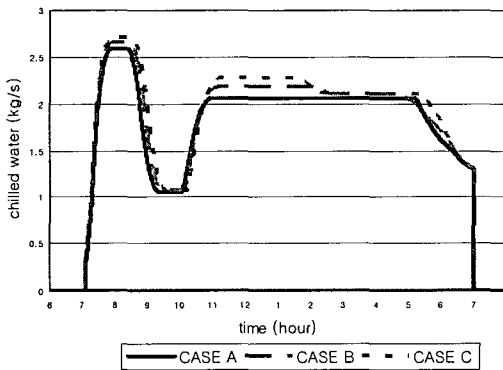


Fig. 12 Variation of chilled water.

Table 4 Simulation result

| Case | Chilled water use (ton) | Increase (%) | Chiller pump electric energy use (kWh) | Increase (%) |
|------|-------------------------|--------------|--|--------------|
| A | 80.74 | - | 307.34 | - |
| B | 83.33 | 3.2 | 317.15 | 3.2 |
| C | 85.53 | 5.9 | 325.48 | 5.9 |

4. 결 론

본 연구에서는 필터막힘에 따른 건물에너지 소비를 파악하기 위해 복합상가 건물과 사무실 건물을 대상으로 장기 시계열 필터차압에 대한 분석을 하였고, 현장 측정을 통해 파악하기 어려운 정풍량 공조기에서 동적 시뮬레이션 분석을 통하여 필터의 막힘이 전체 에너지 소비량에 미치는 영향을 정량적으로 파악하였다. 연구를 수행하면서 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 장기 시계열별 누적 풍량에 의한 필터차압 추이를 분석한 결과 필터차압은 초기에는 서서히 증가하다가 점차 진행함에 따라 필터차압이 급격히 증가한다. 시계열 누적풍량의 증가에 따라 필터차압은 지수 함수적으로 증가한다.

(2) 복합상가 건물의 공조기가 사무소 건물 공조기에 비해 누적풍량에 따른 필터차압의 증가폭이 더 크며, 건물 용도별로 필터차압의 변화에 크게 차이가 있으므로 건물 용도별 공조기 필터의 막힘 상태에 따른 세척주기 혹은 교체주기의 제사가 필요하다.

(3) 정풍량 공조기를 대상으로 필터의 막힘 상태를 모델링하고, 동적 시뮬레이션을 실시한 결과, 필터차압이 1 inch w.c. 증가함에 따라 급기 풍량이 약 10% 감소하고, 실내온도를 맞추기 위해 냉수 유량이 5.9% 증가하며, 냉수펌프의 전력에너지 소비량도 5.9% 증가함을 알 수 있다.

후 기

본 논문은 2003년도 서울시립대학교 학술연구 조성비에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. Building Maintenance Handbook, 1994, Ohmsha, Ltd.
2. Liu, M., David, E. and Song, D., 2003, Air filter-associated fan energy consumption in variable air volume systems, ASHRAE Transactions, Vol. 109, Part 1, pp. 45-51.
3. Kim, S.M., 1993, The effect of pressure drop of filter on blowing power in clean rooms, MS thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.

4. Kwak, R.Y., Won, G. H., Jung, K. W. and Huh, J. H., 2004, Evaluation of energy saving and development of energy management system of AHU's fan by air filter differential pressure in building, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 5, pp. 209-216.
5. http://www2.starcat.ne.jp/%7Enob_naka/jc.htm