

## 파울링 형성 가속장치를 이용한 공기조화기용 열교환기의 공기측 파울링 특성에 대한 실험적 연구

안 영 철, 조 재 민, 이 재 근<sup>†</sup>, 이 현 옥\*, 안 승 표\*,  
윤 덕 현\*, 하 삼 철\*, 강 태 옥\*\*, 옥 주 호\*\*

부산대학교 기계공학과, <sup>†</sup>LG전자 디지털 어플라이언스 사업본부 연구소, <sup>\*</sup>LG전자 에어컨 사업부

### An Experimental Study of the Air-side Particulate Fouling of Finned-Tube Heat Exchangers of Air Conditioners by using Accelerated Particle-Loading System

Young-Chull Ahn, Jae-Min Cho, Jae-Keun Lee<sup>†</sup>, Hyun-Uk Lee\*, Seung-Phyo Ahn\*,  
Deok-Hyun Youn\*, Sam-Chul Ha\*, Tae-Wook Kang\*\*, and Ju-Ho Ock\*\*

*Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

*<sup>\*</sup>Digital Appliance Company Research Lab., LG Electronics, Gyeongnam 641-711, Korea*

*<sup>\*\*</sup>Air Conditioner Division, LG Electronics, Gyeongnam 641-713, Korea*

*(Received May 29, 2003 revision received August 13, 2003)*

**ABSTRACT:** The air-side particulate fouling of the HVAC heat exchangers degrades the performance of cooling capacity, pressure drop across a heat exchanger, and indoor air quality. The purpose of this study is to investigate the fouling characteristics using accelerated particle loading system. The fouling characteristics are analyzed as functions of a dust concentration, a face velocity and a wet or dry surface condition. The pressure drop increases with increasing test operation and reaches constant asymptotic level. For the saturated condition due to particle loading, the pressure drop across the slitted finned-tube heat exchangers at the face velocity of 1 m/sec increases up to 57% and the cooling capacity decreases about 2%. The cooling capacities are not affected greatly by the presence of the fouling deposits if the thickness of the fouling deposits can not change substantially the flow pattern through the fins.

**Key words:** Heat exchanger(열교환기), Particulate fouling(입자상 파울링), Pressure drop(압력 손실), Cooling capacity(냉방능력), Air conditioner(공기조화기)

#### 1. 서 론

열교환기는 공조설비의 핵심부품으로서 생활수준의 질적 향상 및 대기오염 등의 이유로 최근 가정이나 사무실 등에 그 수요가 급증하고 있으

며 향후 지속적인 수요증가가 있을 것으로 예상된다. 특히, 냉방용 공기조화기에 대한 수요가 증가하면서 설치 후 유지관리에 대한 중요성이 점점 중요한 요소로 자리잡게 되었다. 그런데 대부분의 가정이나 사무실 등에서 공기조화기의 사용 중 주기적인 청소와 점검은 거의 이루어지지 않고 있으므로 실내 분진 및 오염물의 퇴적으로 인한 열교환기 표면의 파울링 현상의 초래와 그에 따른 냉방능력 감소와 에너지소모의 증가는 반드

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-512-5236

E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

Table 1 Comparison of test conditions on air-side particulate foulings of finned-tube heat exchangers

|                    | Bott and Bemrose <sup>(3)</sup> | Siegel <sup>(4)</sup>                               | Present study               |
|--------------------|---------------------------------|---|-----------------------------|
| Test particle      | CaCO <sub>3</sub>               | Monodisperse liquid particle<br>SAE Coarse particle | JIS Test dust #11           |
| Particle size      | 3~30 μm                         | 0.1~10 μm   | 0.1~10 μm                   |
| Dust concentration | 0.12~1.64 g/m <sup>3</sup>      | -   | 1.28, 3.84 g/m <sup>3</sup> |
| Face velocity      | 2.4~5.8 m/sec                   | 1~5 m/sec   | 0.5~1.5 m/sec               |
| Fins/inch          | 10.5                            | 12  | 18                          |
| Fin surface        | Dry                             | Dry   | Dry & wet                   |
| Heat exchanger     | Spiral finned-tube              | Corrugated finned-tube                              | Slitted finned-tube         |

시 해결되어야 할 문제점의 하나로 자리잡게 되었다.

파울링은 일반적으로 “경계면에 퇴적되는 바람직하지 않은 고체퇴적물”로 정의<sup>(1)</sup>되며, 열교환기 전열면 상에 공기 중의 각종 분진들의 중력침강 및 입자이동에 의하여 입자침착이 이루어지면서 발생한다. 유체 중에 부유된 입자는 전열면에 부착하여 오염물질을 형성하기 위하여 입자의 브라운 운동 및 난류확산에 의하여 전열면으로 이동한다.<sup>(2)</sup>

공기조화기용 열교환기에서 발생하는 파울링은 냉매가 지나가는 구리관에서 발생하는 관내측 파울링과 공기가 핀 사이를 지나가면서 형성되는 공기측 파울링으로 나눌 수 있다. 공기측 파울링에 대해서 Bott and Bemrose<sup>(3)</sup>는 CaCO<sub>3</sub> 입자를 사용하여 300×300 mm<sup>2</sup>의 원형 핀-관 형식의 열교환기에 대하여 가속실험을 수행하였으며, 그 결과로 압력손실은 50% 증가하였고, 열전달 능력은 12% 정도 감소한 뒤 포화되는 특성을 나타낸다고 보고하였다. 그리고 이 연구는 열교환기의 표면이 건조한 상태에서 실험이 수행되었으며 파울링을 가속화시키기 위한 CaCO<sub>3</sub>의 크기는 3~30 μm의 입자를 사용함으로써 실제 대기분진의 조건과는 다소 차이가 있다고 볼 수 있다. 반면 Siegel<sup>(4)</sup>은 대기분진과 크기 및 성분이 유사한 SAE Coarse particle을 사용하였으며, 또한 단분산 액체 입자를 사용하여 열교환기 부착특성을 분석하였다. 사용된 입자들은 두 경우 모두 0.1~10 μm의 입도분포를 가지고 있으며, 이는 대기분진에서 가장 많은 개수분포를 가지는 영역의 입자들이다. Siegel의 연구에서는 150×150 mm<sup>2</sup>의 핀-관 형식의 열교환기를 사용하였고 0.1~10 μm

범위의 입자들에 대한 부착을 수치해석과 실험을 통해 비교하였다. Siegel은 열교환기의 핀 간격 변화에 따른 분진 입경별 부착효율에 대해 주로 연구를 수행하였으나 열교환기의 표면이 건조한 상태에서 실험이 수행되었으며 공기조화기의 실제 운전조건인 습윤조건(공기조화기의 가동시 증발기 표면에 응축수가 맺혀 있는 상태)에 대한 분석은 수행되지 않았다. 증발기용 열교환기의 경우 장치가 가동되어 냉매가 순환되어야만 팬이 가동하여 먼지입자가 유입되기 때문에 습윤조건에서의 파울링 특성에 대하여 분석하는 것이 보다 현실적인 의미를 가진다고 볼 수 있다. 따라서 습윤조건 하에서 분진의 농도 및 유속변화에 따른 파울링 형성에 대한 분석이 필요한 실정이다. Table 1에 본 연구와 선행연구와의 실험조건을 비교하여 나타내었다.

그러므로 본 연구에서는 기존의 연구자들에 의해 수행되지 못한 공기조화기의 실제 운전조건인 습윤조건 하에서 열교환기 표면에 형성되는 파울링 현상에 대하여 압력손실 변화와 냉방능력의 변화를 중심으로 분석을 수행하였으며 향후 파울링 저감을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법 및 실험장치

### 2.1 파울링 특성 측정장치

일반적으로 대기분진 혹은 실내 분진에 노출되어 형성되는 열교환기의 공기측 파울링은 분진의 농도가 낮아 수년에 걸쳐 천천히 형성된다. 이러한 파울링 형성을 가속화하고 단시간 내에 그것의 형성과정중의 압력손실과 냉방능력의 변화특

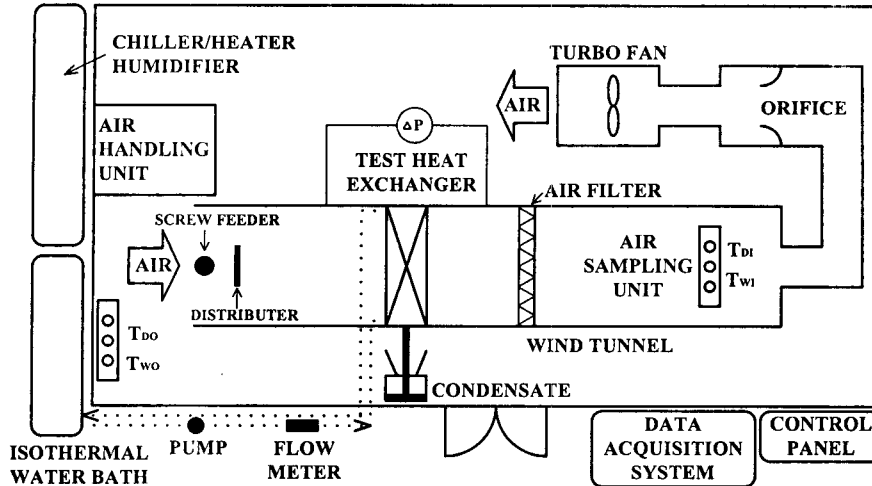


Fig. 1 Schematic diagram of the fouling measuring apparatus in the psychrometric calorimeter.

성을 살펴보기 위하여 Fig. 1과 같은 파울링 가속 장치를 설계, 제작하였다.

Fig. 1은 파울링 가속실험을 위한 장치의 개략도를 나타낸 것으로서 항온 항습실, 열교환기 성능 측정부, 작동유체의 구동부, 제어판으로 구성되어 있다. 항온 항습실(3S System,  $7,000 \times 8,200 \times 3,000 \text{ mm}^3$ )은 냉동기, 가열기 및 가습기 등으로 구성되며 실내의 온도와 습도를 일정한 상태로 제어하여 실험하고자 하는 열교환기의 전면 입구공기의 조건을 원하는 상태로 설정할 수 있다. 열교환기의 압력손실과 전열능력(냉방능력) 변화를 측정하기 위하여 흡입식 풍동을 항온항습실 내부에 제작, 설치하였으며 덕트의 크기는 열교환기의 크기에 맞추어  $310 \times 210 \text{ mm}^2$ 로 설치하였다. 열교환기의 작동유체는 증류수이며 항온항습실 외부에 설치된 항온수조의 증류수를 펌프를 이용하여 일정한 온도( $5^\circ\text{C}$ )와 유량( $430 \text{ kg/hr}$ )으로 시험 열교환기에 공급되도록 하였다.

파울링에 의한 열교환기의 성능변화 측정은 선행연구<sup>(5,6)</sup>와 동일한 방법으로서, 열교환기를 통과한 공기의 풍량, 온도, 습도를 측정하여 열교환기의 전열량(냉방능력)을 계산한다. 또한 작동유체(증류수)의 유량 및 입구온도 등을 제어하여 관내측의 조건을 설정할 수 있으며 이로부터 산출되어지는 관내측의 전열량과 열전달에 의해 변화하는 공기측의 엔탈피로부터 계산되는 전열량 값을 비교하여 오차범위가  $\pm 3\%$  이내에 들도록 장치를 안정화하여 결과를 도출함으로써 실험값의

신뢰도를 확보하였다.

압력손실과 전열(냉방)능력의 측정은 실제 에어컨의 열교환기 통과유속인  $1 \text{ m/s}$  조건을 기준으로 하였으며 항온·항습 실내 공기의 온·습도는 한국산업규격 “에어 컨디셔너”(KS C 9306)<sup>(7)</sup>에 준하여 습구온도  $19.5^\circ\text{C}$ , 건구온도  $27^\circ\text{C}$ 로 각각 설정하였다.

## 2.2 파울링 입자 및 입자 공급장치

파울링 입자는 대기분진을 모사하여 일반적인 공조용 필터의 성능평가에 주로 사용되는 JIS 11종 분진<sup>(8)</sup>을 사용하였으며, 입경분포는  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$ 로 대기분진 중 개수농도의 대부분을 차지하는 입경영역의 입자들로 구성되어 있다. 밀도는

Table 2 Material properties of the test dust

|                                     |                                |         |
|-------------------------------------|--------------------------------|---------|
| Density ( $\text{g/cm}^3$ )         |                                | 2.9~3.1 |
| Median diameter ( $\mu\text{m}$ )   |                                | 1.6~2.3 |
| Size distribution ( $\mu\text{m}$ ) |                                | 0.1~10  |
| Chemical components (%)             | SiO <sub>2</sub>               | 34~40   |
|                                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 26~32   |
|                                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17~23   |
|                                     | MgO                            | 0~7     |
|                                     | TiO                            | 0~4     |
|                                     | CaO                            | 0~3     |
| L.O.I.*                             |                                | 0~4     |

\*Loss on ignition.

Table 3 Specifications of the finned-tube heat exchanger used in present study

| Parameter      |                  | Dimension   |
|----------------|------------------|-------------|
| Coil           | Width            | 310 mm      |
|                | Height           | 210 mm      |
| Staggered tube | Diameter         | 7 mm        |
|                | Pass No. (Pitch) | 10 (21 mm)  |
|                | Row No. (Pitch)  | 2 (12.7 mm) |
| Slitted fin    | FPI (Fins/Inch)  | 18          |
|                | Thickness        | 0.1 mm      |

2.9~3.1 g/cm<sup>3</sup>, 평균 입경은 1.6~2.3 μm를 가지며, 구성성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 이루어져 있다. Table 2에 실험 분진의 특성 및 성분을 상세히 나타내었다.

입자 공급장치는 스크류 피더(screw feeder)와 Vacuum transducer pump(Air-vac, TD260H)를 이용하여 분진을 균일하게 발생시켰으며, 50 mesh의 분산망을 설치하여 공급되는 입자들이 열교환기에 고르게 분포되도록 하였다.

### 2.3 파울링 가속실험

Table 3에는 본 연구에서 사용한 열교환기의 상세사양을 나타내었다. 이 열교환기는 창문형 공기조화기의 증발기용으로 사용되는 것으로서 외곽치수는 310×210 mm<sup>2</sup>이며 18 fpi의 슬릿 slit)형 핀을 가진 핀-관형 열교환기이다.

열교환기의 파울링 가속실험에서 표면이 건조한 조건은 냉매를 순환시키지 않은 상태에서 일정 농도의 입자를 발생시켜서 수행하며, 습윤조건은 냉매를 순환시켜 열교환기 표면에 응축수가 충분히 형성된 시점을 기준으로 하여 실험을 수행하였다. 습윤조건에서 가속실험 후 건조시키는 조건의 반복실험은 1시간 동안 습윤조건에서 가속실험을 수행한 뒤 30분간 열풍발생장치를 이용해 충분히 건조시키는 과정을 반복하여 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 표면조건에 따른 파울링 특성

공기조화기의 증발기용으로 사용되는 열교환기는 공기조화기가 가동되지 않을 때는 항상 건조

한 상태로 유지되다가 공기조화기가 가동되어 냉매가 순환됨에 따라 표면에 공기 중의 수분들이 응축되어 습윤조건을 형성하게 된다. 그러므로 열교환기의 표면이 건조한 상태에서 형성되는 파울링 메카니즘은 습윤조건에서 형성되는 메카니즘과 다르게 나타날 것이고 실제적으로 관심의 대상이 되는 증발기의 파울링 현상은 습윤조건에서의 메카니즘을 파악하는 것이 중요하다 할 수 있다.

Fig. 2는 열교환기의 표면조건에 따른 파울링 특성을 나타낸 것으로 표면이 건조한 조건에서의 가속실험, 습윤조건에서의 가속실험, 습윤조건에서의 가속실험 후 건조시키는 조건의 반복에 대해 압력손실의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 100%가 나타내는 값은 파울링 분진을 투입하지 않았을 때 유속이 1 m/s인 경우 각 조건에서의 압력손실값을 기준으로 하여 나타낸 값이다. 표면이 건조한 조건에서는 210%까지 압력손실이 상승하다가 포화에 도달하는 것으로 나타났으며 습윤조건에서는 157%에서 포화값이 나타났다. 습윤조건에서는 표면에 응축수가 맺히기 때문에 파울링 입자들이 열교환기 표면에 부착되더라도 응축된 수분이 모여 액적이 되어 흘러내릴 때 상당부분의 파울링 입자들을 함유한 채 흘러내리기 때문에 건조조건의 파울링 포화값에 비하여 상당히 낮은 값에서 포화에 도달하게 된다. 반면 습윤조건과 건조조건의 반복에서는 습윤조건 중에는 파울링 입자의 투입으로 압력손실이 증가하다가 건조조건에서는 입자의 투입을 중지하고 열풍을 이

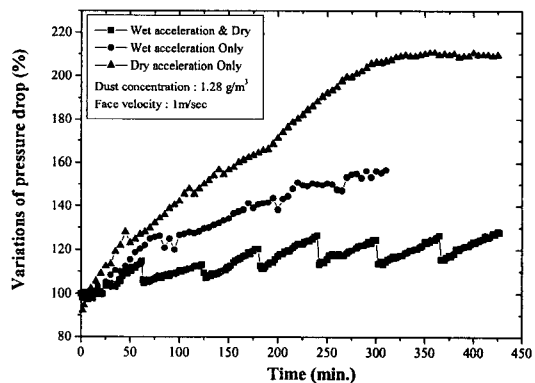


Fig. 2 Variation of the pressure drops through heat exchangers under the condition of wet or dry fin surface with particle loading.

용하여 열교환기를 건조시키기 때문에 건조과정 중에 잔류하는 수분이 파울링 입자들과 함께 흘러내려서 이후 실험에서 급격한 압력손실의 감소를 나타내게 된다. 그리고 이러한 현상이 계속 반복되게 된다. 그러나 실제 공기조화기에서 습윤조건 중에 응축수와 함께 흘러내리지 않고 잔류하는 입자들은 이후의 건조조건과 습윤조건이 계속 반복되면서 추가적으로 부착되는 입자들과 응집현상을 일으켜 크기가 커지게 되고 기류의 흐름을 방해하는 요소로 작용하게 된다.

### 3.2 재현성 실험

Fig. 3과 Fig. 4에는 가속실험에 대한 재현성을 확인해 보기 위해 동일한 습윤조건에서 2회의 실험

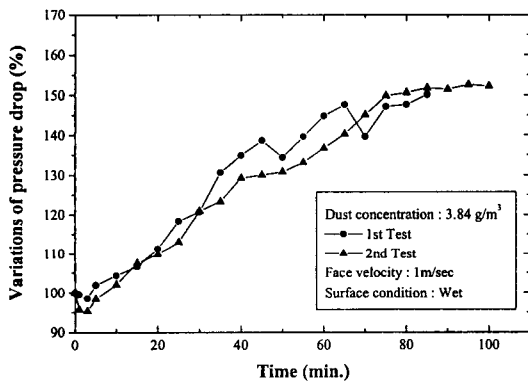


Fig. 3 Variations of the pressure drop due to particulate fouling in the finned-tube heat exchangers with particle loading.

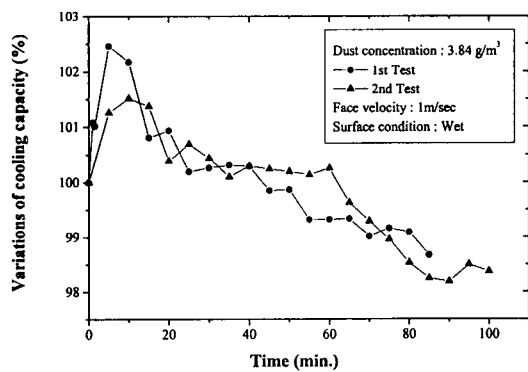


Fig. 4 Variations of the cooling capacity due to particulate fouling in the finned-tube heat exchangers with particle loading.

험을 수행한 결과를 압력손실의 변화와 전열(냉방) 능력의 변화에 대하여 각각 나타내었다. 두 번의 결과에서 약간의 불규칙한 변화와 오차를 나타내기는 하지만 전체적으로 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 압력손실의 변화는 약 57% 상승된 값에서 포화되는 경향을 나타내었고 전열(냉방)능력의 변화는 약 2% 정도 감소된 것으로 측정되었다. 여기서 주목할 점은 압력손실의 변화는 매우 크게 나타남에 비해 전열(냉방)능력의 변화는 전체적으로 감소하는 경향을 나타내기는 하나 그 감소량이 2% 정도로 상당히 미미하다는 것이다. 선행연구<sup>(5,6)</sup> 결과에서 약 7년 정도 사용된 공기조화기용 열교환기의 경우 45% 정도의 압력손실이 상승한다고 보고되어 있으므로 57% 상승된 압력손실은 상당히 긴 시간이 경과되어야 형성될 수 있는 양이며, 그러한 압력손실에서도 유량이 감소되지 않고 일정하게 유지된다면 열교환기의 공기측 파울링에 의한 전열(냉방)능력의 저하는 거의 무시할 수 있는 정도라는 것을 확인할 수 있다. 즉, 공기조화기의 전열(냉방)능력의 저하는 파울링에 의한 흡입 유량의 감소가 주된 원인이며 열저항의 증가는 무시할 수 있는 정도라는 결론을 얻을 수 있다.

### 3.3 분진농도별 특성

Fig. 5는 분진농도에 따른 파울링 특성을 나타낸 것으로 1.28 g/m<sup>3</sup>과 3.84 g/m<sup>3</sup>에서 수행되었다. 분진농도는 3배의 차이가 나지만 포화에 이르는 값은 157%로 동일하게 나타났으며 단지 포화에 이르는 시간이 대략 100분과 300분으로 3배 차이

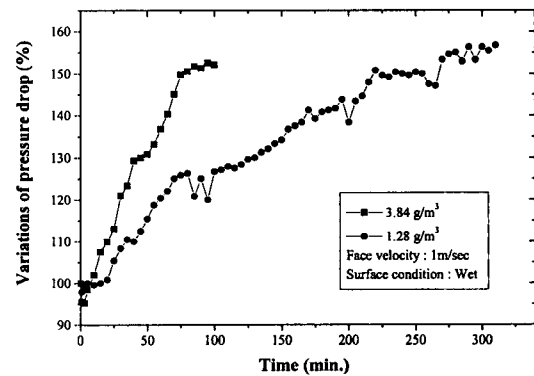


Fig. 5 Variation of the pressure drop as a function of particle loading rate and operation time.

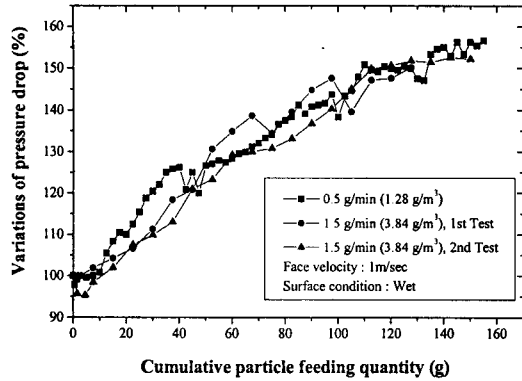


Fig. 6 Effects of particle loading rate on the pressure drop across heat exchangers as a function of particle feeding.

가 남을 알 수 있다. 이러한 결과는 Bott<sup>(2)</sup>의 실험결과와 일치하는 것으로 분진농도는 포화값에는 영향을 미치지 않고 포화에 도달하는 시간에만 관여한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 서로 다른 분진농도에서 수행된 결과를 비교하기 위해 총 투입된 분진량에 대해 압력손실 변화를 나타낸 결과이다. 총 투입된 분진량에 대해 각각 동일한 변화특성을 나타내는데 이는 열교환기 자체에서 보유할 수 있는 분진의 양에 한계가 있음을 보여주는 것이고 분진의 농도가 높고 낮음에 따라서 그 한계값에 빨리 도달하는지 혹은 늦게 도달하는지의 차이만 있음을 나타내는 결과이다. 그리고 이러한 경향은 본 실험결과에 대한 신뢰성을 확인해 주는 결과라 할 수 있다.

### 3.4 유속별 특성

공기조화기에서의 열교환기 통과유속은 일반적으로 1 m/sec로 설계되기 때문에 전, 후 범위인 0.5~1.5 m/sec 범위에서 파울링 특성을 파악하였다. Fig. 7에는 일정한 분진농도에서 유속의 변화에 따른 파울링 압력손실 변화를 나타내었다. 유속이 0.5 m/sec일 때는 포화값이 113%, 1.0 m/sec일 때는 157%, 그리고 1.5 m/sec일 때는 163%로 나타났는데 유속이 증가함에 따라 열교환기의 파울링 압력손실 또한 증가하는 모습을 확인할 수 있다. 일반적으로 작동유체의 유속을 증가시키면 벽면에서의 전단력이 증가하여 파울링 입자의 부착이 억제되어 파울링을 저감할 수 있는 것으로

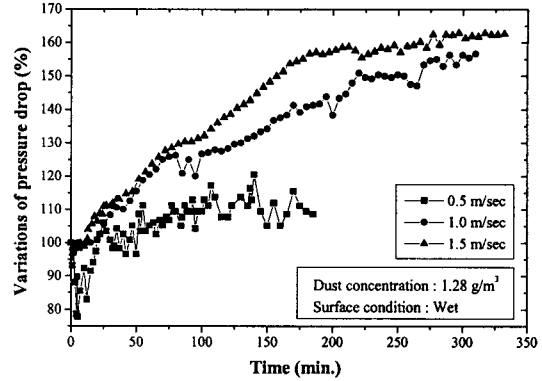


Fig. 7 Effects of face velocity on the pressure drop across heat exchangers.

알려져 있으나, 본 연구에서는 열교환기 표면에서의 응축수 비산(carry over)이 발생하지 않는 조건에서 수행된 것이므로 공기유속의 증가에 의한 전단력의 증가는 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.

그리고 Fig. 7의 0.5 m/s 결과에서 두드러지게 나타나는 현상이 파울링 시작단계의 압력손실이 파울링 전 압력손실에 비하여 오히려 감소하는 특성을 나타낸다는 것인데 이러한 결과는 Fig. 6 등의 다른 실험조건에서도 공통적으로 나타나는 현상이다. 본 연구에서 파울링 가속을 위해 사용한 분진의 성분이 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 모두 산화물질로 이루어져 있는데 이러한 산화물질들은 친수성의 특성을 가지고 있기 때문에 습윤조건이 완전히 형성된 열교환기 초기 압력손실값에 대하여 친수특성의 미세입자들이 부착됨으로 인해 응축수의 배출특성이 순간적으로 향상되어 압력손실이 다소 감소한 것으로 판단된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 파울링 가속장치를 제작하여 파울링의 발생에 따른 공기조화기용 열교환기의 성능변화 특성을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 공기조화기의 증발기용 열교환기에서 파울링은 응축수의 흘러내림에 의해 어느 정도 제거되는 경향을 보이며, 열교환기 핀 표면의 입자 부착에 의한 압력손실은 시간에 따라 증가한 후 일정값에서 포화된다. 핀 표면이 건조한 상태에

서는 기준값 대비 210%, 습윤조건에서는 기준값 대비 157%에서 포화되었다.

(2) 열교환기 표준유속인 1 m/sec의 조건과 공기조화기의 운전상태를 나타내는 습윤조건에서 유입분진의 농도가 1.28, 3.84 g/m<sup>3</sup>일 때 파울링 현상이 포화에 도달하는 시간은 각각 270분, 90분으로 나타났다. 이때 포화 압력손실은 초기값에 비하여 57% 상승하였으나 전열(냉방)능력의 저하는 2% 정도로 나타났다. 이는 파울링에 의한 열교환기의 전열(냉방)능력 저하는 파울링에 의한 열저항의 증가보다는 압력손실의 증가로 인한 유입공기량의 감소가 주된 원인을 나타낸다.

(3) 파울링을 가속시키는 분진농도의 영향은 포화값에는 영향을 미치지 않으며 포화값에 도달하는 시간에만 영향을 미치는데 농도가 높을수록 포화에 도달하는 시간은 짧아진다.

(4) 동일한 분진농도에서 열교환기로 유입되는 공기의 유속이 0.5, 1.0, 1.5 m/s로 변화할 때 포화시의 압력손실은 113%, 157%, 163%로 각각 나타났으며 유속이 빠를수록 높은 포화 압력손실을 나타내었다.

## 후 기

본 연구는 LG전자(주)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Marner, W. J., MacDavid, K. S., and Muzio, L. J., 1989, Development of a gas side fouling measuring device, National Heat Transfer Conference, Vol. 108, pp. 305-314.
2. Bott, T. R., 1995, Fouling of heat exchangers, Elsevier Science, pp. 55-96.
3. Bott, T. R. and Bemrose, C. R., 1983, Particulate fouling on the gas-side of finned tube heat exchangers, Journal of Heat Transfer, Vol. 105, pp. 178-183.
4. Siegel, J. A., 2002, Particulate Fouling of HVAC Heat Exchangers, Ph. D. thesis, University of California, Berkeley, U.S.A.
5. Ahn, Y. C., Han, J. G., Cho, J. M., Ock, J. H., Lee, H. W., Ahn, S. P., Youn, D. H. and Lee, J. K., 2002, An experimental study of the air-side fouling in heat exchangers of air conditioners, Proceedings of the 3rd Korean Conference on Aerosol and Particle Technology, July 11-13, pp. 159-160.
6. Ahn, Y. C., Cho, J. M., Lee, J. K., Ock, J. H., Lee, H. W., Kang, T. W., Ahn, S. P. and Yoon, D. H., 2002, An experimental study of the air-side particulate fouling in heat exchangers of air conditioners, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, Nov. 21, pp. 187-192.
7. Korean Standard, KS C 9306, 2002, Air Conditioners.
8. Japanese Industrial Standard, JIS Z 8901, 1995, Test Powders and Test Particles.

1. Marner, W. J., MacDavid, K. S., and Muzio,