

## 공기측 파울링에 의한 에어컨 열교환기의 성능분석 연구

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

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

### Performance Evaluation of Heat Exchangers due to Air-side Particulate Fouling in the Air Conditioners

Young-Chull Ahn, Jae-Min Cho, Jae-Keun Lee<sup>†</sup>, Hyun-Uk Lee<sup>\*</sup>,

Seung-Phyo Ahn<sup>\*</sup>, Deok-Hyun Youn<sup>\*</sup>, Sam-Chul Ha<sup>\*</sup>, Tae-Wook Kang<sup>\*\*</sup>

*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 February 6, 2003; revision received April 15, 2003)*

**ABSTRACT:** The air-side particulate fouling in the heat exchangers of HVAC applications degrades the performance of cooling capacity, pressure drop across a heat exchanger, and indoor air quality. Indoor and outdoor air contaminants foul heat exchangers. The purpose of this study is to investigate the cooling performance and pressure drop on the air-side particulate fouling of heat exchangers for air conditioners. Air conditioners being used in the field such as inn, restaurant, and office are collected in chronological used order. Test results show 15% decrease of the cooling capacity and 44% increase of the pressure drop for the 7 years air conditioners used in the seaside inn.

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

### 1. 서 론

열교환기는 공조설비의 핵심부품으로서 생활수준의 질적 향상 및 대기오염 등의 이유로 최근 가정이나 사무실 등에 그 수요가 급증하고 있으며 향후 지속적인 수요증가가 있을 것으로 예상된다. 특히, 에어컨에 대한 수요가 증가하면서 설치 후 유지관리에 대한 중요성이 점점 중요한 요소로 자리잡게 되었다. 그런데 대부분의 가정이나 사무실 등에서 에어컨의 사용중 주기적인 청

소와 점검은 거의 이루어지지 않고 있으므로 실내 분진 및 오염물의 퇴적으로 인한 열교환기 표면의 Fouling 현상의 초래와 그에 따른 냉방능력 감소와 에너지소모의 증가는 반드시 해결되어야 할 문제점의 하나로 자리잡게 되었다.

Fouling은 일반적으로 “경계면에 퇴적되는 바람직하지 않은 고체퇴적물”로 정의<sup>(1)</sup>되며, 열교환기 전열면 상에 공기 중의 각종 분진들의 중력침강(Gravitational settling) 및 입자이동(Particle transport)에 의하여 입자침착이 이루어지면서 발생한다. 유체 중에 부유된 입자는 전열면에 부착하여 오염물질을 형성하기 위하여 입자의 브라운운동(Brownian motion) 및 난류확산(Turbulent diffusion)에 의하여 전열면으로 이동한다.<sup>(2)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding author

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

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

Fouling은 열교환기와 에너지관련설비(냉난방장치, 보일러, 공업로) 등에서 심각한 문제를 야기할 뿐만 아니라 열·유체역학적으로 매우 중요한 문제 중의 하나이다. 그러나 현재까지 밝혀진 바로는 Fouling은 어떠한 조건, 상황에 따라 고유하게 생성/이탈 및 Aging이 진행되기 때문에 Fouling을 감소시키기 위한 정량적인 설계기술은 없다고 알려져 있다. 작동유체 자체를 청결하게 유지함으로써 Fouling을 감소시킬 수도 있으나 작동유체 자체의 특성 때문에 본질적으로 청결하게 유지할 수 없는 경우가 대부분이다. 따라서 후처리기술이라 할 수 있는 청정작업보다는 예방기술이라 할 수 있는 Fouling 저감기술은 에너지 절약 및 설비 유지, 보수비를 크게 줄일 수 있는 미래 지향적 기술이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 실제 실공간에서 사용되어지고 있는 에어컨 열교환기의 공기측 Fouling 현상 분석을 통하여 침적되는 입자특성을 분석하고 사용년도, 적용공간에 따른 에어컨 열교환기의 성능변화를 예측하고, 또한 열교환기의 Wet/Dry 사이클에 따른 Fouling 현상을 분석하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 Fouling 입자 특성분석

에어컨은 사용된 장소 및 연도에 따라 열교환기에 형성되는 Fouling 입자의 형상 및 성분이 다르며, 입자의 크기 및 성분 따라 Fouling 형성 메커니즘 또한 다르게 나타난다. 사용연수 및 적용공간에 따른 에어컨 열교환기 표면에 붙어 있는 Fouling 입자를 채취하여 입도, 형상, 성분을 분석하였다. Fouling 입자의 형상 및 성분 분석을 위해 SEM(Scanning Electron Microscope)과 EDXA(Energy Dispersive X-ray Analysis)를 사용하였다. Fouling 입자의 크기분포 측정을 위해 입도 분석장치(API, Aerosizer)를 사용하였다.

### 2.2 열교환기 성능분석

Fig. 1은 본 연구에서 Fouling에 의한 열교환기 성능변화 평가장치로 사용된 열교환기 단품성능 시험장치의 구성도로서 항온항습실, 열교환기 성능측정부, 작동유체의 구동부, 제어판으로 구성되

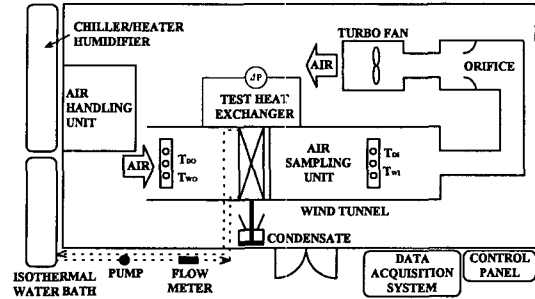


Fig. 1 Schematic diagram of the psychrometric calorimeter for measuring the cooling capacity and the pressure drop of heat exchanger in the air-conditioner.

어 있다. 항온항습실(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. 흡입식 풍동을 항온항습실 내부에 제작, 설치하여 사용하였으며 풍동 내부에 시험용 열교환기를 설치하여 압력손실과 열교환 능력을 측정하였다. 창문형 열교환기용으로  $310 \times 210 \text{ mm}^2$ , 벽걸이형 열교환기용으로  $750 \times 210 \text{ mm}^2$ 의 덕트를 제작, 사용하였다.<sup>(3,4)</sup> 열교환기의 작동유체로는 증류수를 사용하였으며 항온항습실 외부에 설치되어 있는 항온수조로부터 펌프를 이용하여 일정한 온도의 증류수가 시험 열교환기로 공급되도록 하였다. 실내기용 열교환기의 실험에는  $5^\circ\text{C}$ , 실외기용 열교환기의 실험에서는  $45^\circ\text{C}$ 로 설정하였다. 열교환기를 거치면서 온도가 변화한 증류수는 항온수조로 재순환되어 일정 온도로 유지되게 된다.

Fouling에 의한 열교환기의 성능변화 측정부는 열교환기를 통과한 공기의 풍량, 온도, 습도를 측정하여 열교환기의 능력을 계산한다. 또한 작동유체(증류수)의 유량 및 입구온도 등을 제어하여 관내측의 조건을 설정할 수 있으며 그로부터 산출되어지는 관내측의 전열량과 열전달에 의해 변화하는 공기측의 엔탈피로부터 계산되는 전열량을 비교하여 오차범위가  $\pm 3\%$  이내에 들도록 장치를 안정화하여 결과를 도출함으로써 실험값의 신뢰도를 확보하였다.

열교환기 단품성능시험 장치로 Fouling에 의한 에어컨 열교환기의 압력강하를 측정하기 위해 흡

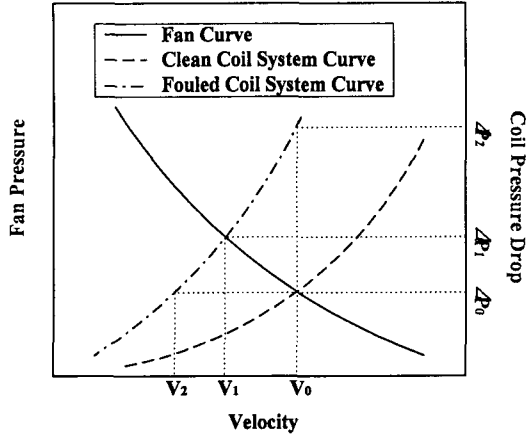


Fig. 2 Fan curve and system curves for clean and fouled coil.

입식 풍동장치에 덕트를 제작하여 연결한 후 실내기 및 실외기의 열교환기를 분리설치하여 에어컨의 사용연수 및 적용공간에 따른 Fouling의 영향을 평가하였다.

Fig. 2에는 송풍기의 성능곡선과 열교환기의 유속에 따른 압력손실 변화특성을 나타내었다. 압력손실의 측정은 실제 에어컨의 열교환기 통과유속 ( $V_0$ )인 1 m/s로 유지하여 측정하였으며, Fouling된 열교환기의 압력손실( $\Delta P_2$ )과 초기 열교환기의 압력손실( $\Delta P_0$ )의 비로서 나타내었다. 열전달 능력은 Fouling된 열교환기의 통과유속을 감소시켜( $V_2$ ) 압력손실값이 Fouling되기 전인 새 열교환기의 초기 압력손실( $\Delta P_0$ )과 같은 값이 되도록 맞추어  $V_2$ 일 때의 열전달 능력과  $V_0$ 일 때의 열전달 능력의 비로서 나타내었다.

만약 송풍기의 동력을 일정하게 하여 측정한다면 Fouling에 의하여 풍압과 유량이 동시에 변화하기 때문에 유속은  $V_1$ 으로 되고 압력손실은  $\Delta P_1$ 이 된다. 그러므로 압력손실 변화는  $\Delta P_1/\Delta P_0$ 가

되어 본 연구결과에 비해 다소 낮게 측정이 되며 열전달능력의 변화도 ( $V_1$ 일 때의 열전달능력)/( $V_0$ 일 때의 열전달능력)로 낮게 나타나게 된다. 그러므로 본 연구에서는 유량과 풍압이 동시에 변수로 작용하기 때문에 한 가지 변수를 고정시킴으로써 남은 하나의 변수가 어떻게 영향을 미치는가 하는 관점에서 상기와 같은 조건을 설정하여 실험을 수행하였다.

항온·항습 실내공기의 온·습도는 에어컨 성능시험시 기준이 되는 한국산업규격 “에어컨디셔너”(KS C 9306)<sup>(5)</sup>에 준하여 설정하였다. 실험을 하기 전 열교환기 통과유속, 물의 입구온도, 유량 등을 일정한 값으로 설정하고 실험을 시작하여 정상상태(Steady state)에 도달하였을 때 Wet/Dry 사이클에 따른 에어컨 열교환기의 Fouling에 의한 압력손실 변화와 열전달능력의 변화를 측정하였다. Table 1에 실험조건을 요약하여 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Fouling 입자 특성분석

에어컨은 사용된 장소에 따라 열교환기에 형성되는 Fouling 입자의 형상 및 성분이 다르며, 입자의 크기 및 성분 에 따라 Fouling 형성 메커니즘 또한 다르게 나타난다.<sup>(3,4)</sup> 따라서 에어컨의 사용장소에 따른 열교환기 Fouling 특성을 파악하기 위해 에어컨 실내기 및 실외기의 열교환기 표면에 붙어 있는 Fouling 입자를 채취하여 입도분포와 형상 및 성분을 분석하였다.

Table 2는 에어컨의 사용공간별 열교환기 표면에 붙어 있는 Fouling 입자를 채취하여 입도를 측정된 결과이다. 사무실, 식당, 여관시료의 Fouling 입자의 크기는 각각 6.6, 9.8, 20.9  $\mu\text{m}$ 로 측정되었으며, 여관의 열교환기 Fouling 입자의 크기가 20.9  $\mu\text{m}$ 로 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 1 Experimental conditions for measuring cooling capacity and pressure drop

	Indoor unit		Outdoor unit	
	Inlet air	Inlet water	Inlet air	Inlet water
Temperature (Dry/Wet bulb)	27/19.5 (°C)	5°C	21/15.5 (°C)	45°C
Face velocity for pressure drop	1 m/s	-	1 m/s	-
Flow rate	-	430 kg/h	-	430 kg/h

Table 2 Size distribution of the fouled dusts on the heat exchangers

Applications	Mean size ( $\mu\text{m}$ )
Office	6.6
Restaurant	9.8
Inn	20.9

본 연구에 사용된 여관용 에어컨은 창문형 에어컨이고 그외의 사무실, 식당 등은 모두 벽걸이형 에어컨으로서, 창문형 에어컨은 일반적으로 1.5 m 정도의 높이에 설치되며, 벽걸이형은 천장의 바로 아래 즉 2~2.5 m 높이에 설치된다. 그렇기 때문에 실내에서 거주자의 활동에 의해 바닥 혹은 벽에 침전, 부착되어 있던 먼지들이 재비산되게 되고 상대적으로 설치위치가 낮은 창문형 에어컨이 분진의 영향을 크게 받았기 때문에 분석할 수 있다. 특히, 거주자의 활동에 의한 입자의 재비산은  $5\mu\text{m}$  이상의 큰 입자일수록 크게 나타나기 때문에<sup>(6)</sup> 창문형 에어컨이 벽걸이형 에어컨에 비하여 Fouling에 의한 성능저하가 두드러지게 나타난다.

Table 3은 열교환기 Fouling 입자의 화학적 조성을 EDXA로 분석한 것이다. 성분 중 Au가 많은 이유는 EDXA 분석시 시료에 Au 코팅을 하기 때문이다. 에어컨 실내기용 열교환기의 Fouling 입자의 화학적 성분은 대부분 Al, Ca, Si, Fe

Table 3 Material analysis of the fouled dusts in heat exchangers

Element	Applications			
	Indoor unit			Seaside outdoor unit
	Office	Restaurant	Inn	Inn
O	41.88	33.39	44.40	39.84
Al	6.89	8.74	9.41	16.54
Si	8.70	16.04	18.14	7.37
K	1.41	1.43	2.88	0.97
Na	-	-	-	2.55
Cl	-	-	-	1.57
Ca	1.99	3.04	1.31	3.35
Fe	4.27	10.14	8.59	5.63
Au	34.35	20.68	15.17	14.10
etc	-	6.53	-	-
Total	100	100	100	100



(a) Indoor unit

(b) Outdoor unit

Fig. 3 SEM photographs of the fouled dusts on the heat exchangers.

등으로 구성되어 있고, 해안가 실외기에는 사무실이나 식당의 실내기와 내륙의 실외기용 열교환기의 Fouling 성분에는 없는 Na, Cl의 성분이 포함되어 있음을 알 수 있다. 이는 바닥물의 주요 성분 중 하나인 NaCl에서 유입된 것으로서 염류로부터 유입된 성분에 의해 Corrosion fouling이 더욱 가속화되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 에어컨 Fouling 입자의 전자현미경 사진을 나타내었다. 실내기에는 사진에서 볼 수 있듯이 실내에서 많이 발생하는 섬유질(종이, 목재, 직물 등)의 물질과 거주자에 의해 발생하는 머리카락, 담배연기 등의 분진입자들이 응집되어 Chain 형상을 띠고 있음을 확인할 수 있다. 해안가 실외기는 실내기의 Fouling 형상과는 다른 대기분진으로 추정되는 입자상 물질이 나타남을 알 수 있다.

### 3.2 에어컨 실내기용 열교환기의 성능변화

에어컨의 적용공간에 따른 Fouling에 의한 열교환기의 성능변화를 측정하기 위해 사용연수 6년인 식당, 여관, 사무실, 그리고 가정집 에어컨에 대해 실내기의 열교환기를 분리하여 냉방능력 변화를 측정, 비교하였다.

Fig. 4는 사용기간이 6년인 에어컨 실내기용 열교환기의 사용장소별 Fouling에 의한 냉방능력 변화를 나타내었다. 적용공간에 따른 Fouling에 의한 냉방능력의 감소는 여관 14%, 식당 12%, 사무실 7%, 주택 4% 순으로 크게 저하하는 것으로 나타났으며, 특히 해안가 여관인 경우 냉방능력 감소가 가장 크게 나타난 것으로 분석되었다. 이는 동일한 연수를 사용하더라도 Table 2에서 설명한 바와 같이 여관이 다른 공간에 비해 재비산 등에 의해 분진농도가 높으며 가동시간 또한 많기 때문에 판단된다.

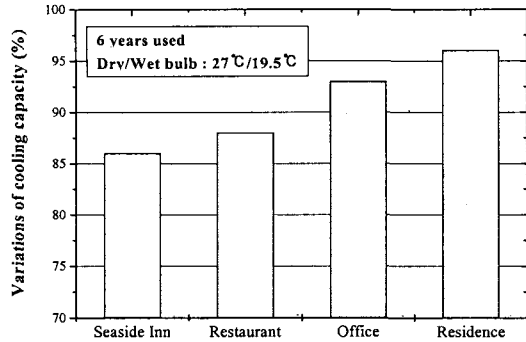


Fig. 4 Variations of cooling capacity for the evaporator heat exchangers used in various places at the same pressure drop of initial heat exchangers.

그러므로 사용년수에 따른 열교환기의 성능 변화 특성을 분석하기 위해 파울링의 영향을 가장 많이 받는 해안가 여관에서 사용된 창문형 에어컨을 위주로 사용년수별로 한대씩 수거하여 사용기간에 따른 냉방능력 변화 및 Wet/Dry 사이클에 따른 압력손실 변화를 측정하였다.

Fig. 5는 Wet/Dry 사이클에서 사용년수에 따른 해안가 시료의 Fouling에 의한 열교환기의 압력손실을 측정된 것이다. 열교환기 표면에 응축수가 맺혀 있는 상태를 Wet 사이클이라 하고, 그렇지 않은 상태를 Dry 사이클이라 하는데, 실제 에어컨이 가동할 때는 냉매의 순환에 의해 실내기 표면에 응축수가 맺히게 되므로 Wet 조건에서의

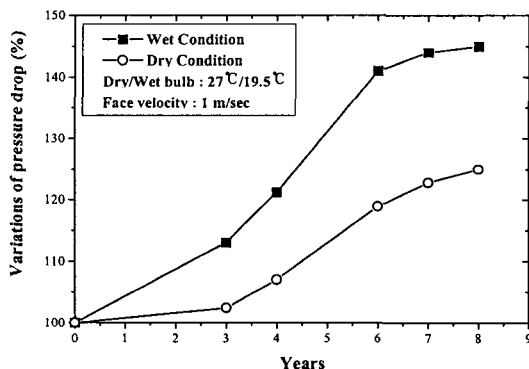


Fig. 5 Chronological variations for the pressure drop of evaporator heat exchangers in air-conditioners used in the seaside inn.

압력손실값이 실제 압력손실이 된다. Fouling에 의한 열교환기의 압력손실 변화는 Wet 사이클에서 7년 경과한 에어컨의 열교환기는 약 44% 압력손실이 증가함을 알 수 있다. 실험 결과에서 Wet 사이클이 Dry 사이클보다 압력강하가 더 크게 나타나는 이유는 Wet 사이클에서는 열교환기 표면에 응축수가 맺힘으로 인해 유동저항이 증가하였기 때문이다.

이렇듯, Fouling의 형성에 따른 압력손실의 증가는 공기 유량의 감소를 초래하고 그로 인해 냉방능력의 저하를 가져온다. 그러나 풍량이 감소되는 정도는 사용되는 팬의 특성에 따라 다소 차이가 있기 때문에 동일한 기준 하에서 비교를 하기 위하여, 사용하지 않은 깨끗한 열교환기의 압력손실을 초기 압력손실로 하여 Fouling된 열교환기가 초기 압력손실을 나타낼 때까지 유량을 감소시켜 그때의 냉방능력을 측정, 비교하였다. 에어컨의 사용에 따른 냉방능력의 저하에 대한 분석은 에어컨 Set에 대해서 냉방능력을 측정하는 것이 보다 실제적일 수 있으나, 에어컨 Set에 의한 결과는 팬과 압축기, 열교환기 관내측 오염 등에 의한 영향을 같이 포함하기 때문에 Fouling만에 의한 영향을 분석하기에는 적합하지 않으므로 상기와 같은 기준 하에서 열전달 능력을 측정하였다.

Fig. 6은 해안가 여관에서 사용된 에어컨 실내기의 열교환기를 분리하여 사용년수에 따른 열교환기의 냉방능력 변화를 측정된 그래프이다. 사

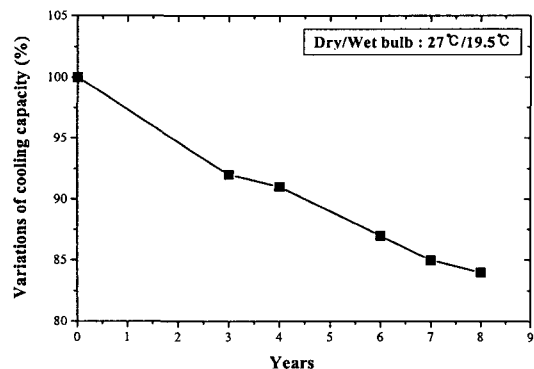


Fig. 6 Chronological variations for cooling capacity of evaporator heat exchangers in air-conditioners used in the seaside inn at the same pressure drop of initial heat exchangers.

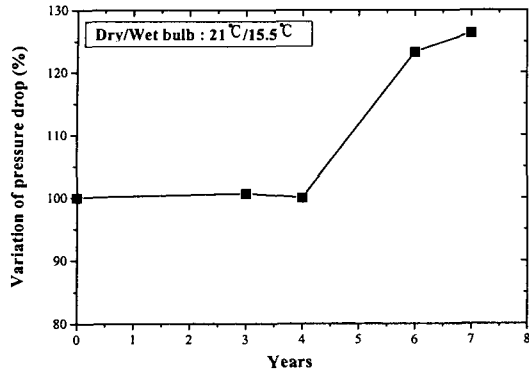


Fig. 7 Chronological variations for the pressure drop of condenser heat exchangers in air-conditioners used in the seaside inn.

용하지 않은 깨끗한 열교환기의 초기값을 100%로 하였을 경우, 7년 경과 후 Fouling에 의한 열교환기의 냉방능력은 약 15% 감소하는 것으로 측정되었다. 이와 같이 사용년수에 따라 냉방능력이 감소하는 경향을 보이는 것은 가동시간이 많아짐에 따라 열교환기가 공기 중의 오염물에 노출되는 시간 또한 증가하기 때문에 Fouling에 의해 흡입유량이 줄어들어 열전달 성능이 저하되었기 때문이다.

### 3.3 에어컨 실외기용 열교환기의 성능변화

해안가에서 사용된 에어컨 실외기를 사용년수에 따라 수거하여 Fouling에 의한 열교환기의 방열능력 변화 및 압력손실 변화를 측정하였다.

Fig. 7은 실외기용 열교환기의 사용년도에 따른 압력손실 변화를 나타낸 그래프로서, 압력손실 변화는 4년 이내에는 초기값과 거의 변화가 없으며, 4년 이후 급격히 증가하기 시작하여 7년 경과 후 약 25% 압력손실이 증가한 것으로 나타났다. 반면, Fig. 8은 에어컨 실외기용 열교환기의 방열능력 변화를 사용년수에 따라 나타낸 그래프로서 압력손실 변화와 동일하게 에어컨을 사용한 후 4년 이내에는 초기의 열교환기와 비교하여 거의 변화가 없으나, 4년 이후 급격히 저하되기 시작하여 7년 경과 후 방열능력이 15% 정도 저하되는 것으로 나타났다.

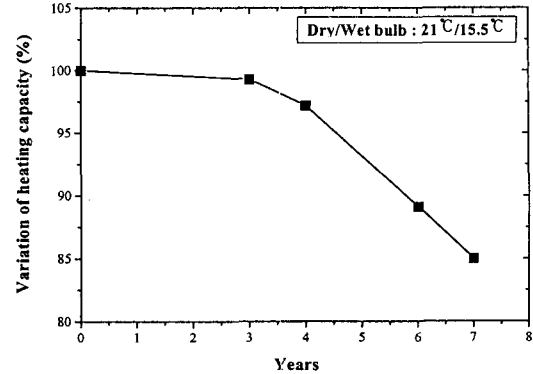


Fig. 8 Chronological variations for heating capacity of condenser heat exchangers in air-conditioners used in the seaside inn at the same pressure drop of initial heat exchangers.

실외기의 성능변화특성이 실내기와 다소 다르게 나타나는 것은, 실내기의 경우 섬유상 물질들과 입자상 물질들이 혼합 부착하여 Wet/Dry 과정을 반복하면서 서로 응집 성장하게 되어 시간에 따른 압력손실의 증가와 냉방능력의 저하가 뚜렷이 나타나지만, 실외기의 경우 Fouling 입자는 주로 대기분진의 영향을 받아 구형의 입자상 물질들이 대부분이고 표면이 항상 건조한 상태로 유지되기 때문에 부착력이 크지 않아 초기에는 큰 영향이 없으나 시간이 지남에 따라 해수로부터 유입된 염분의 영향 등에 의해 부식에 의한 Fouling이 진행되어 특정시점 이후 급격한 성능 감소 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 Fouling에 의한 에어컨용 열교환기의 성능변화를 분석하고자 실제 사용중인 에어컨을 적용공간 및 사용년수에 따라 수거하여 성능변화에 대한 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 에어컨 열교환기에 부착된 Fouling 입자의 특성분석 결과 실내기용 열교환기에는 섬유상 물질과 입자상 물질이 혼합되어 있으며 실외기용 열교환기에는 입자상 물질이 주로 부착되어 있고 특히 해안가 실외기에는 Na, Cl의 염류가 검출되어 부식에 노출되어 있음을 확인할 수 있었다.

(2) 적용공간에 따른 Fouling에 의한 에어컨 열교환기의 냉방능력 변화를 측정된 결과, 여관 > 식당 > 사무실 > 가정집 순으로 성능감소가 많음을 알 수 있었다. 이는 여관이 다른 공간에 비해 가동시간이 길고 분진입자들의 재비산 등에 의해 침구류 등에서 발생하는 섬유상 물질들과 거주자에 의해 발생하는 머리카락, 담배연기, 피부각질 등의 입자에 노출되는 시간이 많았기 때문이다.

(3) 사용년수에 따른 Fouling에 의한 해안가 실내기 열교환기의 냉방능력은 7년 경과 후 약 15% 정도 냉방능력 감소가 있었으며, 압력손실은 7년 경과 후 Wet 조건에서 45% 정도 증가하였다. 이는 에어컨의 사용시간이 길어짐에 따라 열교환기가 실내분진 등의 오염에 노출되는 시간 또한 증가하여 Fouling에 의한 공기유로의 저항이 증가하였기 때문이다.

(4) 사용년수에 따른 해안가 실외기 열교환기의 방열능력 및 압력손실을 측정된 결과, 7년 경과 후 방열능력은 15% 감소하였고, 압력손실은 25% 증가하였다. 실외기의 경우는 시간이 경과함에 따라 부식이 진행되어 거칠어진 표면에 입자들이 부착되어 발생하며 일정시간 경과 후 급격히 성능이 저하되는 특성을 보였다.

## 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. 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.
4. 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.
5. Korean Industrial Standard, KS C 9306, 2002, Air Conditioners.
6. Thatcher, T. R. and Layton, D. W., 1995, Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence, Atmospheric Environment, Vol. 29, No. 13, pp. 1487-1497.