

# 전극형 가습기의 특성을 개선하기 위한 실험적인 연구

논 문

58P-3-12

## An Experimental Study to Improve the Characteristics of Electrode Type Humidifier

박 규 홍<sup>†</sup> · 송 하 진\* · 변 재 영\*\*  
(Kyu-Hong Park · Ha-Jin Song · Jae-Young Byun)

**Abstract** - This investigation was performed to study the characteristics of electricity and heat transfer that occur in the cylinder of electrode type humidifier during the process of water evaporation. Measurements were made to obtain the amount of water evaporation, the consumption of electric power, electrical conductivity, etc according to the materials and shapes of electrode. When the humidifier was in non-drain controlled mode, the number and amplitude of current cycle per minute increased gradually with the lapse of time, whereas for drain controlled mode, it decreased about 40[%] after draining water. It was found that for non-drain controlled mode, the thermal efficiency of humidifier which used SS400, STS316 and wire net electrode type was about 95~96[%] and it was 2~4[%] higher than that of drain controlled mode. Also, it was shown that the thermal efficiency of humidifier which used neighboring six-phase electrode balanced electrically was 4[%] higher than that of existing six-phase type.

**Key Words** : Electrode, Humidifier, Water Evaporation, Electrical Conductivity, Thermal Efficiency

### 1. 서 론

최근 실내공간에서의 공기조화는 더욱 위생적이고 효율적인 웰빙문화의 필요성이 두각되면서 적정습도를 유지하기 위한 고효율 가습기의 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 이러한 필요성에 따라 국내외적으로 가습기에 대한 연구 및 개발이 산업체와 연구기관에서 진행되고 있다. 일반적으로 가습기는 증기식, 기화식 및 수분무식으로 분류되며 이중 전극식 가습기(electrode type humidifier)는 증기식에 속한다. 이 방식은 히팅코일에 의해 물을 끓이는 간접방식이 아닌 물 자체를 직접열원으로 사용하여 증발시키므로 기존 전열식에 비하여 효율이 높고 응답성이 빠르다. 또한 위생적이므로 단지 일반 공조에 머물지 않고 첨단 산업분야에 까지 그 사용범위가 확대되고 있다.

이러한 전극식 가습기는 가습조(실린더)에 물이 없으면 물의 전기전도성이 유지되지 못하므로 자연히 가열이 되지 않은 등의 안정성은 높지만 적지 않은 전력소비가 발생하는 단점이 있다.<sup>1)</sup> 이러한 단점을 보완하기 위하여 시간당 소비 전력량을 유지하면서 가습량을 현재보다 높일 수 있는 방안을 강구하게 되었다. 구체적인 열효율 향상방법으로 알려진 내용으로는 가습조 내의 입출구에 디퓨저(diffuser)를 설치하여 최적의 온도경계층을 형성하여 열성능 향상을 이루거나

히터를 가능한 낮게 설치하여 데드존(dead zone)을 제거함으로써 증발용량을 최대화 할 수 있다<sup>2)</sup>는 논문과 가습조 내에 직류고전압을 인가하여 전극에서 발생하는 기포의 크기를 줄이고 그 기포를 특정방향으로 옮겨가도록 함으로서 열효율을 향상시키는 방법을 제시하고 있다.<sup>3)</sup> 또한 가습용 물에 염화나트륨(NaCl)을 투입하여 적정 염농도를 유지함으로써 증발효율을 향상시키는 실험보고서도 발표되어 있다.<sup>4)</sup>

그러나 전극식 가습기의 연구 및 개발이 일부 산업체를 중심으로 수행되고 있으나 가습조 내에서 발생하는 물리적인 현상을 규명하는 논문이나 저서는 국내외에서 거의 찾아볼 수 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 가습기의 전극재질, 전극형상, 전극배치, 수질 등에 대한 각각의 실험조건에 따라 증기발생량, 전기전도도를 구하여 가습조 내 물에서 발생하는 물리적인 현상을 규명하고 각각의 전극재질, 형상 등에 따른 열효율을 구하여 이를 비교, 검토하고자 한다.

본 연구의 해석결과들은 전극식 가습기 관련분야에서 에너지 효율을 증대시키고 전극의 재질, 형상 및 크기를 결정하는 설계자료로 활용될 것이다. 또한 실험과정에서 도출된 수증기 증발량과 전기전도도는 전극식 가습기의 최적 로직 제어 운전을 위한 기초 자료로 사용하고자 한다.

### 2. 실험 장치 및 방법

#### 2.1 실험 장치

본 실험장치의 주요부분은 전극을 포함한 가습조(실린더), 급배수펌프, 항온급수조, 가습컨트롤러, 온도조절 및 측정장치, 기타 측정계기로 구성되며 그 개략도를 그림 1에 나타냈다.<sup>5)</sup>

<sup>†</sup> 교신저자 종신회원 : 대림대학 전기과 교수·공박  
E-mail : khpark@daelim.ac.kr

\* 비 회 원 : 대림대학 기계과 겸임교수·공박, 태화 선인연구원

\*\* 비 회 원 : 유한대학 컴퓨터제어과 겸임교수·공박, 승일전자연구소장  
접수일자 : 2009년 7월 13일  
최종완료 : 2009년 8월 19일

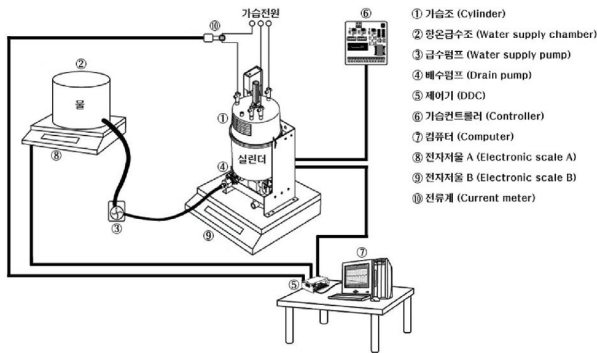


그림 1 실험장치의 개략도  
 Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험에 사용되는 가습기의 정격전력, 용량 및 전압은 각각 6[kW], 8[kg/h], 380[V]이고 전극재질로 STS310S, STS430, STS304, STS316, SS400, 순철을 사용하였으며 전극형상으로는 판형, 철망형 및 EX(expanded plate)형을 사용하였다.

그림 1에서 나타난 바와 같이 수증기가 발생하는 가습조를 중심으로 좌측 부분에는 가습조에 물을 공급하는 향온급수조와 급수펌프가 있고 하부에는 가습기 시스템을 제어하는 제어기(DDC(direct digital control))와 컴퓨터가 있다. 또한 상부와 우측에는 가습전원과 가습컨트롤러가 있고 가습조와 향온급수조 하부에는 물의 무게를 측정하기 위한 디지털저울이 있다.

그림 2는 수증기가 발생하는 가습조와 3상 교류전극을 나타낸 것이며 전극은 가습조 내에 수직으로 상부에 고정, 설치되어 있다. 가습조 내의 물은 급수펌프에 의해 유입되고 수위 센서가 위치해 있는 전극의 높이(140[mm])까지 채워진다.

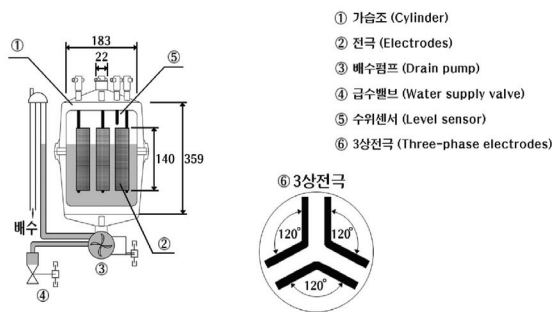


그림 2 전극과 급배수장치  
 Fig. 2 Electrodes, water supply and drain apparatus

그림에서 나타난 바와 같이 3개의 전극은 각각 120°의 각을 이루며 방사상 형태로 조립되어 있고 그 크기는 90×140×2[(mm)]이다. 시험 전극간 거리는 각각 55, 62, 70, 78[mm] 등 4종류이다. 가습조는 플라스틱 소재를 사용하여 두께, 외경 및 높이를 각각 1[mm], 183[mm], 359[mm]로 제작되었으며 상부에는  $\varnothing 22$ [mm]의 증기구가 설치되어 있다. 또한 6극 전극배치로 그림 2의 ⑥과 같은 3상 전극을 나란하게 2쌍을 설치한 일반형 배치와 그림 12의 그림상자 내 우측에 나타난 바와 같이 모든 전극을 동일한 간격 [78mm]으로 설치한 근접형 배치형상을 사용하였다.

2.2 실험 방법

본 실험에서 사용된 물은 일반 수돗물(154~164[ $\mu$ S/cm])을 사용하여 전극재질, 형상, 배치, 초기 전기전도도, 초기 공급수온도 및 배수횟수를 일정 조건으로 변화시키면서 가습시간 경과(7시간)에 따른 전극전류, 증기발생량, 전기전도도를 구하는 실험을 하였다. 실험조건은 아래 표 1과 같다.

표 1 실험조건  
 Table 1 Experimental conditions

전극재료	전극형상	전극배치	전극간격 [mm]	초기 전기 전도도 [ $\mu$ S/cm]	초기 공급수온도 [°C]
SS400	판형	3극	78	192	30
순철	판형	3극	78	192	30
STS430	판형	3극	78	192	30
STS310S	판형	3극	78	192	30
STS304	판형	6극 일반형	78	170	18
		6극 근접형	78		
STS316	판형	3극	78	150, 192, 300, 400	30
	망형	3극	55, 62, 70, 78	192	30
	EX	3극	78	192	30

시간경과에 따른 가습조와 향온급수조의 물의 무게를 디지털저울로 측정하여 증기발생량을 구하였다. 실험초기에 가습조와 향온급수조의 물의 무게를 측정하고 가습시간경과에 따라 1시간 간격으로 다시 물의 무게를 측정하여 가습초기 무게와의 차를 컴퓨터에 자동, 기록하였다. 따라서 7시간 동안 증발된 물의 무게는 가습초기 물의 무게에서 7시간경과 후 물의 무게를 뺀 값이 된다.

가습조 내 물의 공급은 시간경과에 따라 정격정류의 105[%]에 도달할 때까지 계속되고 그 유량은 거의 1[l/min]으로 일정하게 유지된다. 정격정류의 105[%]에 도달했을 때 급수를 중단하고 이후 물의 증발로 인하여 수위가 낮아져서 접수면적이 줄어든다. 이로 인하여 정격정류의 95[%]까지 수위가 내려가면 다시 향온급수조로부터 향온수를 받는다. 이러한 반복된 과정에서 전류의 사이클이 이루어진다. 또한 배수는 제어기(DDC)에 의해 7시간 동안, 103분 간격으로 10초간 4회 실시하였다.

이 실험장치의 3상 전극에 전력이 공급되는 방식은 델타( $\Delta$ ) 결선과 동일하므로 선간전압(상전압)이 380[V]로 유지되고 선전류는 전극의 접수면적에 비례하여 전극에 흐른다. 유입된 3상의 선전류는 DDC에 의해 제어되고 그 데이터는 컴퓨터로 읽어 스프레드시트(excel)에 의해 시간경과에 따라 소비전력량, 증기발생량 등의 데이터가 컴퓨터에 저장된다.

전기전도도는 전기전도도계(conductivity meter: WTW LF330)를 사용하여 일정시간 경과 후 가습조 내의 물을 추출하여 기준 온도(25[°C])에서 측정하고 온도 보상식으로 보정하여 구하였다.

3. 물리적 현상 및 실험고찰

본 실험에서는 가습조 내 전극의 재질, 형상, 배치, 물의 초기전도도, 공급수 온도 및 배수횟수를 일정 실험조건에 따라 변화시켰다. 이러한 실험조건에 따라서 전극전류, 전기전

도도 등의 시간 경과에 따른 변화를 구하여 전극사이의 물에서 발생하는 물리적 현상을 규명하였다. 또한 시간경과에 따른 증기발생량을 측정하여 각종 전극의 재질, 형상 및 배치에 따른 가습기의 열효율을 구하여 이를 비교, 분석하였다.

3.1 물리적 현상

가습조 내의 전극에 전압을 인가하면 물은 전기 전도체가 되어 물에 흐르는 전류의 저항에 의해 열이 발생되고 이 열에 의해 물은 증발한다. 전극간의 물의 전기전도도는 물중에 녹아 있는 이온의 작용에 의해 전류가 흐를 수 있는 능력을 말하는데 이는 이온의 농도와 활성화도, 용액의 온도 등에 따라 변한다. 가습시간 경과에 따라서 전극표면으로부터 발생하는 무기물과 물의 농축으로 물의 농도는 크게 증가한다. 이러한 농도의 증가는 물중에 녹아 있는 이온의 활성화도(세기)를 증가시키고 물의 저항을 감소시킨다. 따라서 가습시간 경과에 따라서 가습조 내 물의 전기전도도는 증가한다. 전극식 가습기의 증발과정에서 발생하는 전기전도도에 관련된 식은 다음과 같다.

$$G = \frac{1}{R} \tag{1}$$

여기서  $G$ 는 컨덕턴스(conductance)로 저항 $R[\Omega]$ 의 역수이며 그 단위는 [S] 또는 [S]이다. 1[S]는 1[V]의 전위차에서 1[A]의 전류가 흐르는 도체의 컨덕턴스를 나타낸다.

또한 물의 컨덕턴스 $G$ 는 전극의 접수면적 $A[\text{cm}^2]$ 에 비례하고 전극간 거리 $L[\text{cm}]$ 에 반비례하므로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = k \left( \frac{A}{L} \right) \tag{2}$$

윗 식에서  $k$ 를 전기전도도(electrical conductivity)라 하고 그 단위는 [S/cm] 이지만 이것은 너무 큰 단위이기 때문에 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]를 사용하였다.<sup>6)</sup>

그림 3은 STS316 전극을 사용하여 무배수 조건으로 초기 전기전도도와 공급수 온도를 각각 192[ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ], 30[ $^{\circ}\text{C}$ ]로 하여 7시간 동안의 시간경과에 따른 전류변화를 나타낸 것이다.

그림 4는 그림 3과 동일 실험조건으로 하여 시간경과에 따른 컨덕턴스 $G$ , 전기전도도 $k$ , 전기저항 $R$  및 접수면적 $A$ 를 나타낸 것이다. 이 그림에서 전기전도도는 시간경과에 따라 거의 선형적으로 증가하고 전기저항은 증발과정초기(15분경과)까지 급격히 감소하고 이후는 시간경과에 따라 매우 완만하게 감소한다. 또한 전극의 접수면적은 가습시간 5분 경과까지 공급수의 유입으로 급격히 증가하나 이후 시간경과에 따라 물의 증발로 인해 조금씩 줄어들어 가습시간 120분 경과시, 거의 1/2까지 감소한다. 또한 컨덕턴스 $G$ 를 식(1)과 식(2)로부터 계산된 결과를 그림에 나타내었는데 식(1)로부터 구한 값의 분포가 식(2)로부터 구한 분포보다 평균 14[%] 높게 나타났다. 이것은 전기전도도 측정시 오차로부터 기인한 것으로 오차의 요인은 전도계의 온도보정, 고온수 추출시 온도강하 및 추출 후 고온수내 전기전도도의 불균일한 분포에 의한 것으로 생각된다. 그림에서와 같이 가습시간 10분부터 정격전류제어 전 55분까지 컨덕

턴스는 완만한 증가를 나타내는데 이는 전기전도도의 증가와 전극접수면적의 완만한 감소에 기인한 것으로 고려된다.

그림 3과 그림 4에서 가습경과시간을 I, II, III, IV구간으로 나누어 나타내었는데 I 구간은 급수공급 및 온도상승구간으로 가습시간 0분~14분의 범위를 나타낸다. 이 구간에서는 급수공급에 따른 전극의 접수면적과 물의 온도상승에 따른 전기전도도가 증가하므로 그림 3의 전극전류와 이에 따른 컨덕턴스도 급격히 상승하는 것을 나타낸다. 또한 물에서의 온도상승에 따라 전기전도도는 열전도도에 비례하므로<sup>7)</sup> 열전도도의 상승에 따라 물에서의 전열현상은 비등점(100[ $^{\circ}\text{C}$ ])에 이르기까지 매우 빠르게 진행되는 것으로 생각된다. II구간은 전극전류의 감소구간이고 가습시간 14분~20분의 범위를 나타낸다. 이 구간에서는 초기피크(가습시간 14분)의 2~3분전에 물의 비등이 시작되어 급격한 증발이 일어난다. 이 때문에 그림 4의 접수면적이 시간경과에 따라 비교적 크게 감소하여 전극전류도 0.5[A]정도 하강하는 것을 나타낸다. III구간은 전극전류의 상승구간으로 가습시간 20분~55분의 범위를 나타낸다. 이 구간에서는 그림 4의 접수면적이 시간경과에 따라 완만하게 감소하고 전기전도도는 증가한다. 전극의 접수면적 감소에도 불구하고 그림 3의 전극전류가 이 구간에서 상승하는 것은 전극전류에 미치는 접수면적의 영향보다 전기전도도의 영향이 크기 때문으로 고려된다. IV는 정격전류제어 구간으로 가습시간 55분 이후의 범위를 나타낸다. 이 구간에서 정격전류(9.12[A])는 105[%]에 도달했을 때 급수가 정지되고 정격전류의 95[%]에 이르렀을 때 다시 급수가 시작되는 반복 사이클이 이루어진다. 이 전류 사이클의 진폭은 8.5~10.5[A]의

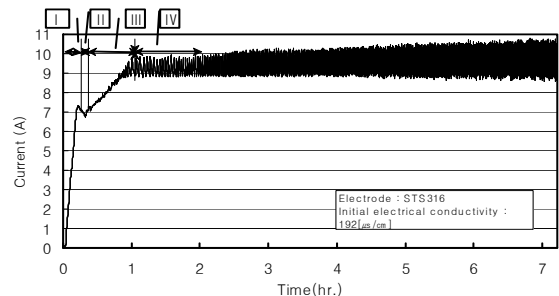


그림 3 무배수운전시 전류의 변화  
Fig. 3 Variation of current in non-drain control mode

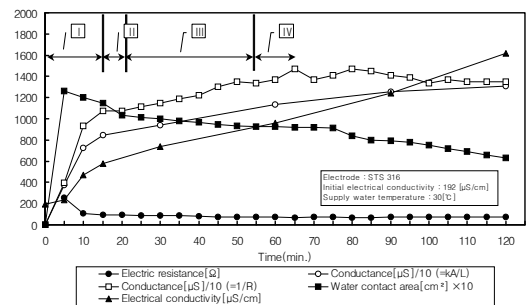


그림 4 컨덕턴스, 전기전도도, 전기저항 및 접수면적의 변화  
Fig. 4 Variation of conductance, electrical conductivity, electric resistance and water contact area

범위에 존재하며 시간이 경과할수록 단위시간당 사이클 횟수와 진폭은 조금씩 증가한다. 이것은 시간경과에 따라서 전극의 전식이 발생하여 고온수중 급속이온이 증가하고 또 고온수 자체의 농축으로 염분 등 이온의 수가 많아져서 전기전도도가 증가하기 때문으로 사료된다.

그림 5는 4회의 유배수 조건으로 7시간의 시간경과에 따른 전류변화를 나타낸 것이다. 배수는 프로그램(승일 E-HUMP) 제어 의해 103분 간격으로 10초간 4회 실시하였다. 전류변화는 그림 3과 거의 유사하며 단지, 10초간 배수 후 급수가 되기 때문에 물의 농도가 낮아져서 배수 후 분당 사이클 진폭은 약 40[%] 감소하여 나타났다.

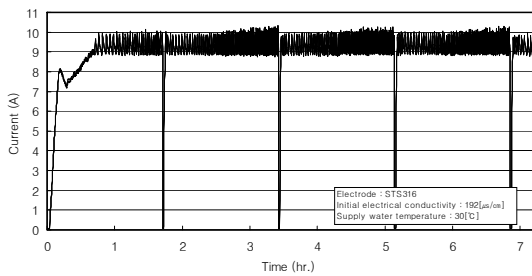


그림 5 유배수(4회)운전시 전류의 변화  
Fig. 5 Variation of current in drain(4) control mode

그림 6은 STS316 전극을 사용하여 무배수 및 유배수(4회) 조건시 시간경과에 따른 분당 사이클의 수를 나타낸 것이다. 무배수시 시간경과에 따른 분당 전류사이클 수는 거의 선형적으로 증가(1시간경과 : 0.4회, 7시간경과 : 1.6회)하나 유배수(4회)시 사이클 수는 일정 간격으로 급격히 감소하여 다시 증가하는 경향이 가습시간 103분마다 4회 반복된다. 이 과정에서 배수 후 분당 사이클 횟수는 약 40[%] 감소하였다. 이는 배수와 급수에 따른 물의 희석으로 전기전도도가 시간경과에 따라서 변하기 때문으로 고려된다.

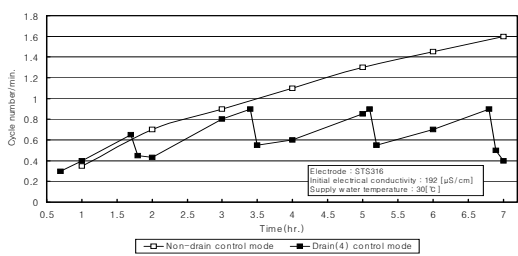


그림 6 무배수 및 유배수(4회)운전시 사이클 수  
Fig. 6 Number of cycle in non-drain and drain(4) control mode

그림 7은 STS316 전극을 사용하여 초기 전기전도도에 따른 가습기의 증기발생량[kg/h], 소비전력[kW], 초기 피크시간[min] 및 초기 피크전류[A]를 나타낸 것이다. 초기피크란 그림 3과 그림 4의 I 구간에서 공급수 유입에 따른 접수면적의 증가와 온도상승 따른 전기전도도의 증가로 가습시간 초기에 전류가 최대에 이르는 것을 말한다. 그림에서 나타낸 바와 같이 초기 전기전도도 증가에 따라 초기 피크전류는 증가하고 초기피크에 이르는 시간은 감소한다. 이는

전기전도도가 높은 물을 공급수로 사용하면 가습초기부터 전류의 흐름이 증가하여 초기 피크전류는 증가하고 초기피크까지 이르는 시간도 단축된다는 것을 의미한다. 한편, 7시간 동안 증기발생량은 공급수 초기 전기전도도의 증가조건에 따라 매우 완만하게 증가한다. 또한 소비전력은 초기 전기전도도의 증가조건에 따라 거의 일정하게 나타났다. 따라서 소비전력당 증기발생량[kg/kWh]은 초기전도도의 증가에 따라 매우 완만하게 증가하므로 초기 전기전도도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

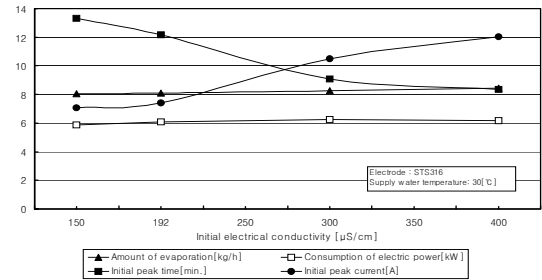


그림 7 초기 전기전도도에 따른 가습변수들의 변화  
Fig. 7 Variation of humidification variables according to initial electrical conductivity

### 3.2 가습기 열효율

가습조 내의 전극에 전압을 인가하여 전극사이의 물에 전류가 흐를 때의 전기에너지는 열에너지로 변환된다. 발생된 열 Q는 다음 식과 같다.

$$Q = I \cdot V \cdot t \text{ [Cal]} \quad (3)$$

여기서 I, V 및 t는 각각 전류[A], 전압[V], 시간[h]이다. 또한 식(3)으로부터 발생된 열은 전류의 제곱과 저항에 비례하므로 물의 저항보다는 물에 흐르는 전류에 의해 더 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 무배수 및 유배수(4회)시 시경과에 따른 증기 발생량[kg/h]과 소비전력[kW]을 나타낸 것이다. 유배수와 무배수 조건의 증기발생량과 소비전력 데이터 분포는 거의 유사한 경향을 나타내며 정격전류의 제어가 시작되는 가습시간 1시간 경과까지 유배수와 무배수의 증기발생량과 소비

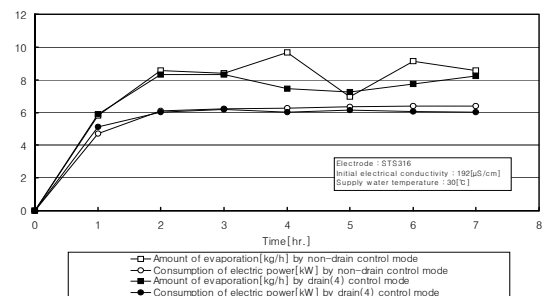


그림 8 증기발생량과 소비전력  
Fig. 8 Amount of water evaporation and consumption of electric power

전력은 급격하게 증가하므로 이에 따른 증기발생량과 소비 전력도 상승하고 이후는 정격전류 제어로 비교적 일정하게 유지된다. 그림에서 무배수 및 유배수(4회)시 평균 소비전력량당 증기발생량[kg/kWh]을 계산하면 각각 1.347과 1.28이 되어 약5[%]의 차이가 발생하는데 이것은 유배수시 물의 배수로 인한 열손실이 존재하기 때문으로 생각된다.

전기에너지에 의해서 발생된 열에너지는 물에 가해져서 물의 온도를 상승시켜 수증기 상태로 변화시키는 작용을 한다. 따라서 물에 가해진 이론적인 열량  $Q_i$ 는 다음 식과 같다.

$$Q_i = \int_{t_1}^{t_2} m_i C dt + m_i \gamma \quad (4)$$

여기서  $m_i$ ,  $C$  및  $\gamma$ 는 각각 물의 질량[kg], 비열[kcal/kg $^{\circ}$ C], 증발잠열[kcal/kg]이고  $t_1$ 과  $t_2$ 는 각각 공급수 온도, 가습조내 물의 온도이다. 여기서 물의 질량  $m_i$ 에 1[kWh]의 전력량을 가하여 발생된 이론적인 수증기량을  $\dot{m}_i$ 라 하고 실제 가해진 열량과 [kWh]당 수증기량을 각각  $Q_r$ 와  $\dot{m}_r$ 라 하면 전극식 가습기의 열효율  $\eta$ 는 다음식과 같다.

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_i} = \frac{\dot{m}_r}{\dot{m}_i} \times 100[\%] \quad (5)$$

### 3.2.1 전극재질과 형상에 따른 가습기 열효율

그림 9는 초기 전기전도도와 공급수 온도를 각각 192[ $\mu$ S/cm], 30[ $^{\circ}$ C]로 하여 배수형식 및 전극재질에 따른 열효율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 가습기 열효율은 무배수 조건시 전극재질 SS400과 STS316이 95[%] 정도로 높게 나타났고 무배수 조건이 유배수(4회) 조건보다 평균 2[%] 높은 열효율 분포를 나타냈다.

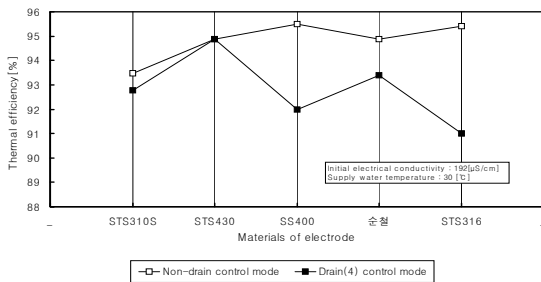


그림 9 각종 전극재질의 열효율  
Fig. 9 Thermal efficiency for the materials of electrode

그림 10은 초기 전기전도도와 공급수 온도를 각각 192[ $\mu$ S/cm], 30[ $^{\circ}$ C]로 하여 배수형식 및 전극형식에 따른 열효율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 무배수 조건시 철망형 전극의 가습기 열효율은 96[%] 정도로 높게 나타났다. 이는 철망형상(wire net type)의 전극을 사용함으로써 기포와 같은 전열저해요소를 감소시켜 증기발생량을 증가시키는 것으로 생각된다.<sup>3)</sup> 한편, 무배수 조건이 유배수(4회) 조건보다 평균 4[%] 높은 열효율 분포를 나타냈다.

따라서 열효율 향상을 위해서 전극재질의 설계는 SS400이나 STS316로 하고 전극형상의 설계는 철망형으로 하여 무배수 조건에 가까운 최적전조건으로 가습시스템을 제어해야 할 것으로 생각된다.

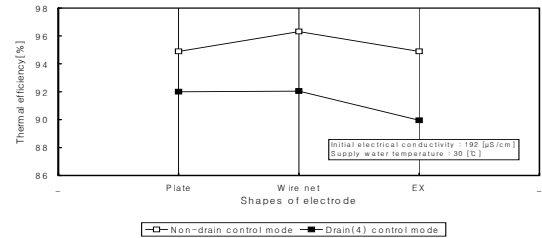


그림 10 각종 전극형상의 열효율  
Fig. 10 Thermal efficiency for the shapes of electrode

### 3.2.2 전극간 거리에 따른 가습기 열효율

그림 11은 전극재질 STS316과 내부칸막이 철망형 전극을 사용하여 초기 전기전도도와 공급수 온도를 각각 192[ $\mu$ S/cm], 30[ $^{\circ}$ C]로 하였을 때 무배수 및 유배수(9회)시 전극간 거리에 따른 열효율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 무배수 조건시 전극간 거리에 따른 가습기 열효율은 거의 90[%] 정도로 일정하게 나타났다. 이는 식(2)에서 나타낸 바와 같이 전극간 거리가 감소함에 따라 컨덕턴스가 증가한다. 이로 인해 물에 많은 전류가 흐르게 되어 소비전력이 증가한다. 소비전력의 증가는 증기발생량의 증가를 의미하므로 소비전력당 증기발생량은 거의 일정하게 되어 가습기 열효율은 전극간격에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 무배수 및 유배수(9회) 조건의 전극간 거리가 70[mm]에서 조금 높은 열효율을 나타냈으므로 전극식 가습기를 설계하는데 이 데이터를 활용할 수 있다. 또한 무배수 조건이 유배수 조건보다 평균 4[%] 높은 열효율 분포를 나타냈으므로 무배수 조건에 가까운 최적전조건으로 가습시스템을 제어해야 할 것으로 생각된다.

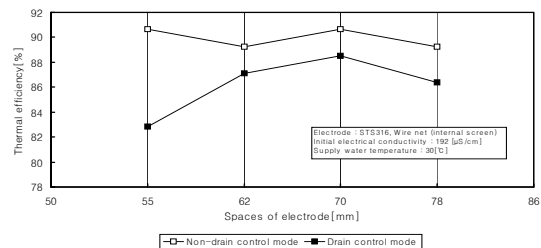


그림 11 전극간격에 따른 열효율  
Fig. 11 Thermal efficiency according to the spaces of electrode

### 3.2.3 전극배치에 따른 가습기 열효율

기존 2쌍의 3상 전극을 나란하게 배치한 일반형(existing six-phase)과 일정간격(78[mm])으로 균형배치한 근접형(neighboring six-phase) 가습기의 전극을 그림 12에 나타냈다. 근접형 전극배치는 전극간 거리가 일정하여 2쌍의 전극사이에서도 발열될 뿐 만 아니라 전기적 균형을 이루어 전력소비도 최소화된다. 그림 12는 전극재질 STS304를 사용하여 초기 전기전도도와

공급수 온도를 각각 170[ $\mu$ S/cm], 18[ $^{\circ}$ C]로 하였을 때 일반형 및 근접형 전극배치에 대하여 시간경과에 따른 증기발생량[kg/h]과 소비전력[kW]을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이들 변수들은 정격전류로 제어되기 전 1시간까지 급격히 증가하고 이후는 비교적 일정하게 유지된다. 일반형과 근접형 전극배치의 평균 소비전력당 증기발생량[kg/kWh]을 계산하면 각각 1.32(열효율 93.5%)와 1.37(열효율 97%)이 되어 약 4%의 차이를 나타낸다. 이는 두 전극배치의 증기발생량의 차는 적은 데 비하여 소비전력의 차는 근접형이 일반형보다 약3% 작게 나타난 결과로 전극의 균형배치가 소비전력에 영향이 있음을 알 수 있다.

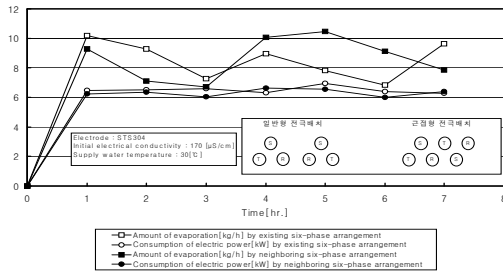


그림 12 전극배치에 따른 증기발생량과 소비전력  
 Fig. 12 Amount of water evaporation and consumption of electric power for the arrangement of electrodes

#### 4. 결 론

본 연구에서는 가습기의 전극재질, 전극형상, 전극간격, 전극배치 등에 대한 각각의 실험조건에 따라 증기발생량, 전기전도도 등을 구하여 가습조 내 물에서 발생하는 물리적 현상을 규명하고 각각의 전극재질 및 형상에 따른 열효율을 구하여 이를 비교, 검토하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 무배수시 정격전류(9.12[A]) 제어구간에서 7시간동안 반복사이클의 진폭은 8.5~10.5[A]의 범위에 존재하며 시간이 경과할수록 분당 사이클 횟수(1시간경과 : 0.4회, 7시간경과 : 1.6회)와 진폭은 조금씩 증가한다. 또한 유배수(4회)시 가습시간경과에 따른 전류의 변화는 103분마다 4회 10초간 배수 후, 급수가 되기 때문에 물의 농도가 낮아져서 배수 후 분당 사이클 횟수와 진폭은 약 40% 감소하여 나타났다.

2) 소비전력당 증기발생량[kg/kWh]은 초기 전기전도도의 증가에 따라 매우 완만하게 증가하므로 초기 전기전도도에는 거의 영향을 받지 않았다.

3) 가습시간 1시간까지 전류는 급격히 증가하므로 이에 따른 증기발생량과 소비전력량이 급격히 상승하였고 이후는 전류제어로 비교적 일정하게 유지되었으며 무배수시 평균 소비전력당 증기발생량[kg/kWh]은 유배수(4회)시보다 5% 높게 나타났다.

4) 무배수 조건시 전극재질 SS400과 STS316을 사용한 가습기 열효율은 95% 정도로 다른 재질보다 높게 나타났고 철망형 전극을 사용한 가습기 효율은 96% 정도로 다른 형상보다 높게 나타났으며 이 전극재질 및 형상의 무배수 조건이 유배수(4회) 조건보다 평균 2~4% 높은 열효율 분포를 나타냈다.

5) 무배수 및 유배수 조건의 가습기 열효율은 전극간격에 관계없이 비교적 일정하게 나타났으나 무배수 조건이 유배수 조건보다 평균 4% 높은 열효율 분포를 나타냈다. 또한 근접형 전극배치의

평균 소비전력당 증기발생량[kg/kWh]은 기존 일반형보다 4% 높게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 시행한 에너지 자원 기술 개발 사업인 “고효율 전자 전극봉식 가습기의 개발”과 관련하여 이루어진 논문으로, 그동안 연구 환경을 제공하여 주신 한국에너지기술평가원과 승일전자 사장님을 비롯한 연구진 여러분들에게 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 승일전자, “전극봉식 가습기 매뉴얼”, 2008
- [2] 조 수 외 4인, “심야전력 기기의 인증시험, 대한건축학회 발표논문집, 제11권 제 2호, pp. 409-412, 1991
- [3] 한국기계연구원, “EMD를 이용한 열전달 촉진 기술”, 과학기술처, pp. 46-59, 1992. 8
- [4] Ted Yeh, “The Optimum Concentration of Electrolytes for an Electrode Humidifier”, Transaction of the Oklahoma Junior Academy of Science, 1999
- [5] 박규홍 외 1인, “전극형 가습기용 전극설계(1)”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1190-1192, 2008
- [6] 박규홍 외 2인, “전극형 가습기용 전극설계(2)”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1213-1214, 2009
- [7] 김철주 외 4인, 열전달(SIXTH ED.), 교보문고, pp. 1091-1092, 2000

#### 저 자 소 개



#### 박 규 홍 (朴圭弘)

1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2005년~2006년 호주 Monash University 방문교수. 1978년~현재: 대림대학 전기과 교수, 발송배전 기술사



#### 송 하 진 (宋河鎭)

1983년 건국대 공대 기계공학과 졸업. 1985년 인하대 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1993년 인하대 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 현재 대림대학 기계과 겸임교수, 태화 선임연구원



#### 변 재 영 (邊在永)

1974년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 유한대학컴퓨터제어과 겸임교수, 승일전자연구소장