

이온 보조 반응법에 의한 친수성 처리가 충전재 특성값에 미치는 영향

김진호* · 최충현** · 강병하† · 이재현***
(2000년 9월 22일 접수, 2001년 2월 16일 심사완료)

Effects of Hydrophilic Treatment by IAR Method on the Packing Characteristic Value

Jin-Ho Kim, Chung-Hyun Choi, Byung Ha Kang and Jae-Heon Lee

Key Words: Hydrophilic(친수성), Fill Packing(충전재), Cooling Tower(냉각탑), Ion Assisted Reaction(이온 보조 반응법)

Abstract

Hydrophilic treatment of the packing materials in a cooling tower has been made by the ion assisted reaction (IAR) method to increase the wettability of the packing materials. The effects of hydrophilic treatment of packing materials on the performance of a cooling tower have been investigated in a wide range of operating parameters, such as water flow rate, air flow rate, and the water inlet temperature. A pilot cooling tower has been designed and built to model a counter-flow cooling tower. The results obtained indicate that the packing characteristic value with hydrophilic packing could be substantially increased by 6~19.3% than that with conventional packing in the operating ranges considered. The correlations of the packing characteristic value as a function of water-to-air ratio are suggested for a counter-flow cooling tower with hydrophilic packing as well as with conventional packing.

기호설명

a : 충전재의 비표면적 [m^2/m^3]
 c_p : 비열 [kJ/kgK]
 c_{pv} : 수증기의 비열 [kJ/kgK]
 G : 공기의 질량유량 [kg/s]
 h : 엔탈피 [kJ/kg]
 K : 물질전달계수 [kg/m^2]
 L : 냉각수의 질량유량 [kg/s]
 Q : 열전달량 [kW]
 T : 온도 [$^{\circ}C$]
 U : 불확실성 [%]

V : 충전재의 부피 [m^3]
 x : 절대습도 [kg/kg_{DA}]

그리스문자

ϵ : 상대오차 [%]

하첨자

a : 공기측
 DA : 건공기
 c : 상용 충전재
 h : 친수성 충전재
 in : 입구측
 out : 출구측
 v : 수증기
 w : 냉각수측

* 한국과학기술연구원 열유동제어연구센터
† 책임저자, 회원, 한국과학기술연구원 열유동제어연구센터
E-mail : bhkang@kookmin.ac.kr
TEL : (02)910-4681 FAX : (02)910-4655
** 한양대학교 대학원 기계공학과
*** 회원, 한양대학교 공과대학 기계공학부

1. 서론

냉각탑은 직접 접촉 응축 열교환기의 하나로서 대부분의 산업설비, 냉동설비 및 건물공조설비에 사용되고 있는 중요한 요소 기기로서 냉각탑의 성능향상은 시스템의 효율과 밀접한 관계가 있다.^(1,2) 냉각탑의 성능은 그 내부에 충전되는 물질인 충전재(充填材, fill packing)에 의해 좌우된다. 또한, 충전재의 열전달 및 압력강하 특성은 냉각수가 충전재 표면을 흘러내리는 형태와 냉각수가 충전재에 분배되는 형상에 크게 영향을 받는다. 냉각수의 분배는 분배기(distributor)의 성능과 충전재의 기계적인 형상 및 그 배치에 좌우되며, 이에 따라 냉각탑 제조업체에서는 여러 가지 형상의 충전재 및 분배기에서의 압력강하와 충전재 특성값을 측정하여 제공하고 있다.^(3,4,5)

충전재는 냉각수의 유동형태에 따라 비산형과 수막형으로 구분될 수 있으며, 수막형 충전재의 열전달 성능이 상대적으로 우수하므로 현재 수막형 충전재가 널리 사용되고 있다.⁽⁶⁾ Phelps⁽⁷⁾는 수막형 충전재를 사용할 경우, 비산형 충전재를 사용하는 경우에 비하여 냉각탑의 크기변화 없이 냉각탑의 성능을 50~200% 이상 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 이강현 등⁽⁸⁾은 대향류형 냉각탑에 네 가지 종류의 충전재의 성능시험을 수행하여, 요철이 있는 지그재그 형상의 유로를 가진 충전재의 열전달 성능이 가장 우수하다는 결과를 얻었다. 또한, 충전재 설계시 압력강하 특성보다는 열전달 성능이 충전재 선정의 주요인이라는 결론을 내리고 있다.

Ha 등⁽⁹⁾은 친수성 처리된 핀-관 열교환기 표면의 배수량을 측정한 결과 친수성 처리가 열교환기의 공기층에 맺히는 습기의 배수 교란과 압력강하를 감소시킨다는 결과를 얻었다. 또 Wang and Chang⁽¹⁰⁾은 계면활성제를 이용한 친수성 처리에 의해 열교환기 전후의 압력강하가 15~40% 정도 감소한다고 발표하고 있다.

냉각수를 충전재의 전체 표면에 균일하게 분포시키기 위하여 친수성을 증가시키는 기존의 방법에는 계면활성제를 표면에 코팅하는 방법과 계면활성제를 물에 첨가하여 물의 표면장력을 감소시키는 방법 등이 있다.^(11,12) 표면에 친수성 물질을 코팅하는 방법은 고품이나 이물질에 약하고 또한 시간에 따라 점차 그 코팅한 물질이 물에 녹는

단점을 가지고 있다. 또한 계면활성제를 물에 첨가하는 방법 역시 시간에 따라 그 효과가 감소하는 단점을 가지고 있다. 최근에는 이온빔이나 플라즈마를 발생시켜 활성가스를 표면에 반응시키는 방법(ion assisted reaction : 이온 보조 반응법)이 개발되었으며, 이 방법은 표면의 특성 자체를 바꾸기 때문에 반영구적인 장점이 있다.⁽¹³⁾

이온 보조 반응법이란 진공조 안에 표면 개질 물질을 넣고 활성기체와 비활성기체를 일정한 양으로 흘린 다음, 개질하고자 하는 표면에 일정한 양의 이온빔을 일정시간동안 조사하여 표면을 개질하는 방법이다. 이때 진공도, 활성기체, 비활성기체의 종류, 조사시간 및 이온빔의 양에 따라 표면의 성질이 바뀐다.⁽¹³⁾

본 연구에서는 친수성 처리방법으로서 이온 보조 반응법을 이용하여, 친수성 처리를 한 충전재와 아무런 처리하지 않은 동일 형상의 충전재를 대향류형 냉각탑 내에 채워 넣고 냉각수와 냉각공기를 공급하여 충전재 상하단에서 온도 및 습도를 측정함으로써 친수성 처리가 충전재 특성값에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

친수성 처리에 따른 대향류형 냉각탑 내의 충전재 성능을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 냉각탑 부분과 냉각수 공급부분으로 나누어질 수 있다. 냉각탑 부분은 Fig. 1의 하부로부터 볼 수 있듯이, 하부 수조(basin), 하부 수적제거기(low water drop eliminator), 충전재(fill packing), 스프레이 노즐(spray nozzle), 상부 수적제거기(high water drop eliminator), 팬(fan), 모터(motor) 및 유동정류장치(flow straightener)로 구성되어 있다. 하부 수적제거기는 충전재에서 떨어지는 물방울이 튀어 외부로 나가는 것을 방지하고, 상부 수적제거기는 냉각공기 유동에 실려 나가는 물방울을 제거하기 위한 장치이다. 스프레이 노즐은 냉각수를 충전재에 골고루 분사하기 위한 장치이다. 팬을 구동시키는 모터는 모터 컨트롤러에 의해 제어된다.

냉각수 공급부분은 Fig. 1의 좌측에 보이는 부분으로서 펌프(pump), 유량계(flow meter), 고온수조(hot bath) 및 온도조절기(temperature controller)

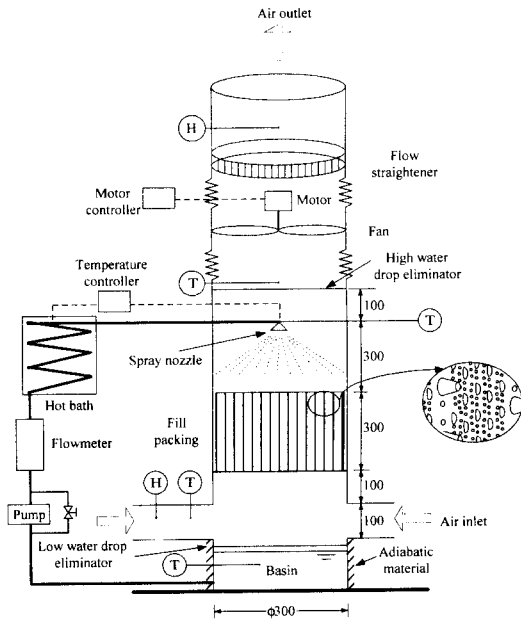


Fig. 1 Schematic of experimental setup
[unit ; mm]

로 구성되어 있으며, 온도조절기는 스프레이 노즐에 공급되는 온도를 일정하게 유지하기 위하여 고온수조의 온도를 제어하는 장치이다. 냉각수를 이송하는 배관은 외부로의 열량방출을 막기 위해 단열재로 감쌌다.

냉각수와 냉각공기의 흐름도는 Fig. 2에 간략히 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 냉각수는 수조로부터 펌프에 의하여 유량계와 고온 수조를 거쳐 스프레이 노즐로 공급된다. 냉각공기는 냉각탑 하부 유입구로부터 흡입되어 충전재, 상부 수직제거기, 팬, 그리고 유동정류장치를 거쳐 냉각탑 상부 유출구로 배출된다.

실험에 사용된 냉각탑 충전재는 20 USRt 이하의 냉각탑에서 주로 사용되는 제품으로서 재질은 폴리프로필렌(PP, Polypropylene)이다. Fig. 1의 우측에는 충전재의 표면 형상을 확대하여 보이고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 충전재는 2 mm 두께의 얇은 판에 원뿔대, 계란형 및 구형의 덩굴이 주기적으로 배치되어 물방울이 충전재 표면을 타고 내리는 면적을 증가시킬 수 있도록 고안되어 있다. 실험에는 두 가지 종류의 충전재를 사용하였다. 한 종류는 충전재의 표면을 이온 보조 반응법으로 친수성 처리한 것이고 다른 종류는 충전재의 표면에 아무런 처리도 하지 않은 상용

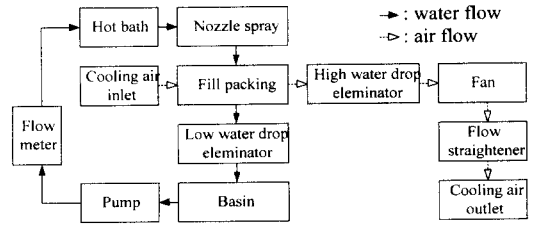


Fig. 2 Flow lines of the cooling air and the cooling water

의 것이다. 본 연구에서 사용된 이온 보조 반응법은 Koh 등⁽¹³⁾의 방법과 동일하며, 이때의 조건으로 진공도는 10^{-5} Torr이고, 활성기체 및 비활성기체로는 산소 및 아르곤을 사용하였으며 그 유량은 각각 6.0 SCCM (standard cubic cc per minute)이다. 또한, 이온빔은 1 keV, $0.23 \pm 0.1 \mu A$ 의 전력으로 생성하였으며, 조사시간은 28초이었다. 친수성 처리후 충전판 표면에서 물과의 후퇴 접촉각(receding contact angle)이 10° 이하임을 확인하였다.

본 실험에서는 300 mm 직경의 열교환공간내에 폭 300 mm, 길이 300 mm, 두께 2 mm인 충전판 16장을 두루마리 형태로 적층하였으며, 이때 충전재의 열 및 물질전달면적은 총 $2.88 m^2$ 이고, 부피는 $2.12 \times 10^{-3} m^3$ 이고, 비표면적은 $1360 m^2/m^3$ 이 된다.

2.2 실험방법

이온 보조 반응법을 이용한 친수성 처리에 따른 충전재 성능을 평가하기 위한 실험에서 대향류형 냉각탑 내의 냉각수의 유량 및 입출구 온도, 냉각공기의 유량 및 입출구 온습도가 측정되었다. 냉각수 입구온도는 분사 노즐에서 T형 열전대를 이용하여 측정되었으며, 냉각수 출구온도는 수조 내에 설치된 6개의 T형 열전대를 이용하여 측정되었다. 냉각공기의 입구 온도 및 습도는 냉각공기의 입구에서 온습도계로 측정되었다. 냉각공기 출구온도는 분사노즐로부터 100 mm 상단에서 채널의 중심으로부터 벽면까지 네 개 지점에서 열전대로 측정되었다. 공기유동에 실려 나가는 물방울이 습도센서에 미치는 영향을 제거하기 위하여 냉각공기 출구습도는 팬 상단 200 mm 지점에서 측정되었다. 각 온도 측정점에서의 온도 측정 오차는 약 $\pm 0.5^\circ C$ 이며, 습도의 측정오차는 약 5% 정도로 확인되었다.

냉각수 유량은 유량계(최대 20 l pm)를 사용하여 측정되었으며, 유량계는 실험장치에 설치된 후 일정시간 동안 순환되는 냉각수의 무게를 측정하여 보정되었다. 이때 유량 측정오차는 실험범위 내에서 최대 ±4.5% 정도이었다. 냉각공기 유량은 유동정류장치로부터 900 mm 하류에서 열선유속계를 이용하여 20지점의 속도를 측정하고, 이를 단면 평균하여 산정되었다.

실험은 냉각수의 공급유량을 0.0691, 0.0856 및 0.102 kg/s로, 그리고 고온수조의 온도를 30, 40 및 50℃로 유지한 상태에서 냉각공기 유량을 0.0518, 0.0683 및 0.0847 kg/s로 증가시키면서 수행되었다. 측정온도 및 습도의 변화가 10분 이상 각각 0.2℃, 2% 이내로 유지되는 경우를 정상상태로 가정하였으며, 정상상태에 도달하는 시간은 최소 20분에서 최대 60분까지 소요되었다. 모든 측정치들은 정상상태에 도달한 후 30초 간격으로 5분 동안의 값을 산술평균하여 결정되었다.

이와 같이 측정된 값들은 다음의 계산식에 의하여 충전재 특성값을 산정하는데 사용된다.

냉각탑 설계시 중요한 변수인 충전재 특성값은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{KaV}{L} = \int_{w,out}^{w,in} \frac{c_{pw} dT_w}{h_w - h_a} \quad (1)$$

여기서, K , c_{pw} , T_w , h_w 및 h_a 는 각각 수막냉각공기의 물질전달계수, 수막냉각공기의 습비열(= $c_{pw} + c_{pv}x_a$), 냉각수 온도, 수막냉각공기(냉각수-냉각공기 접촉면)의 엔탈피 및 냉각공기의 엔탈피이다. c_{pv} , x , a , V 및 L 은 정압비열, 절대습도, 충전재 비표면적, 충전재 체적 및 냉각수 유량이다. 하첨자 v , a 와 w , in 및 out 은 각각 수증기, 냉각공기측과 냉각수, 입구 및 출구를 의미한다. 식 (1)에서 적분구간은 냉각수 출구에서 입구까지이다.

식 (1)에서 (KaV/L)는 충전재 특성값(packaging characteristic value)이다. 이 값은 충전재의 열전달 성능을 나타내는 무차원 변수로서, 물리적으로는 충전재의 열 및 물질전달 계수 또는 NTU (Number of Transfer Unit)와 동일한 의미를 갖는다. 충전재 특성값이 클수록 출구 냉각수 온도는 공기 입구의 습구온도와 가까워진다. 식 (1)의 적분값을 구하기 위해서는 ASHRAE의 블루시트⁽¹⁴⁾를 이용하는 방법과 CTI (Cooling Tower Institute)

법⁽¹⁵⁾이 있으나, 본 연구에서는 CTI법을 사용하였다. 식 (1)의 적분항에서 수막냉각공기와 냉각공기의 엔탈피차가 충전재내의 각 위치에서 일정하지 않기 때문에 실용적으로는 다음과 같이 근사적으로 계산한다.

$$\int_{w,out}^{w,in} \frac{c_{pw} dT_w}{h_w - h_a} \approx \frac{c_{pw}(T_{w,in} - T_{w,out})}{4 \sum_{i=1}^4 \Delta h_i} \quad (2)$$

위 식에서 엔탈피 차이 Δh_i 는 $(h_{w,i} - h_{a,i})$ 이고, $h_{w,i}$ 는 다음 식으로 지정되는 온도 T_i 에서의 수막냉각공기의 엔탈피를 뜻한다.

$$T_i = T_{w,out} + \alpha_i(T_{w,in} - T_{w,out}) \quad (3)$$

여기서, i 가 1, 2, 3 및 4일 때, 각각 α_i 는 0.1, 0.4, 0.6 및 0.9이다.

2.3 불확실성과 실험타당성

본 실험에서의 충전재 특성값의 불확실성 $U_{(KaV/L)}$ 은 식 (4)과 같이 계산되었다.

$$U_{(KaV/L)} = \sqrt{U_{c_{pw}}^2 + 2U_{T_w}^2 + 4\{U_{h_w}^2 + U_{h_a}^2\}} \quad (4)$$

여기서, U 는 불확실성이며, $U_{c_{pw}}$, U_{T_w} 및 U_h 의 값은 각각 0.1, 3.5 및 4%이며, 충전재 특성값의 불확실성은 12.3%로 산정되었다.

실험의 타당성을 검증하기 위하여 세 가지 냉각수 공급유량인 경우에 냉각수가 잃은 열량 Q_w 와 냉각공기가 얻은 열량 Q_a 를 각각 식 (5)와 식 (6)에 의해 계산하여 Fig. 3에 나타내었다.

$$Q_w = L c_{pw} (T_{w,in} - T_{w,out}) \quad (5)$$

$$Q_a = G (h_{a,out} - h_{a,in}) \quad (6)$$

Fig. 3에서 직선은 식 (7)로 계산된 두 열량의 상대오차 ±10%인 범위가 표시된 것이다. 그림에서 보면, 냉각수가 잃은 열량과 공기가 얻은 열량은 ±10% 이내에서 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있으며 이로써 본 실험의 타당성을 검증할 수 있었다.

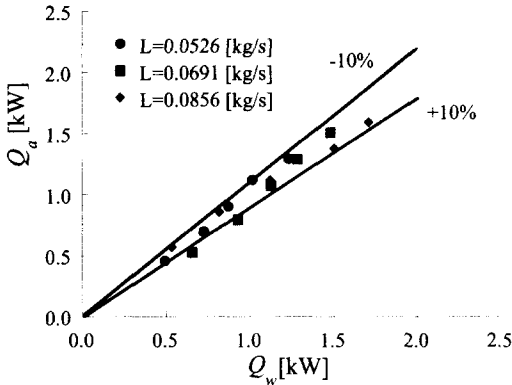


Fig. 3 Heat balance between water side and air side

$$\epsilon = \frac{Q_w - Q_a}{Q_w} \times 100 \quad (7)$$

3. 실험 결과 및 토의

3.1 친수성 처리에 따른 충전재 특성값의 변화

본 연구에서는 친수성 처리 방법으로 이온 보조 반응법을 사용한 친수성 충전재와 친수성 처리하지 않은 동일 형상의 상용 충전재를 대향류형 냉각탑 내에 채워 넣고 냉각수와 냉각공기를 공급하여 충전재 상하단의 온도 및 습도를 측정함으로써 친수성 처리가 충전재 특성값에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 냉각탑에 공급되는 공기는 실내공기를 이용하였으며, 온도 및 습도는 각각 $17 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 10\%$ 이다. 이와 같이 유입 공기 상태가 결정되어 있는 주위조건 하에서 실험조건에 언급된 충전재를 가진 냉각탑의 성능평가를 위해서는 냉각공기 유량, 냉각수 유량 및 냉각수 입구온도 등 세 가지 변수의 변동이 가능하다.

본 연구에서는 냉각수 입구온도가 35°C 인 경우에 냉각탑의 레인지 및 어프로치가 대략 5°C 및 7°C 정도로 유지되도록 냉각공기 유량과 냉각수 유량의 두 가지 변수의 범위를 정하였다. 냉각공기 유량, 냉각수 유량 및 냉각수 입구온도의 변수 범위는 각각 $0.0518 \sim 0.0847 \text{ kg/s}$, $0.0691 \sim 0.102 \text{ kg/s}$ 및 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 이며, 논의의 기준조건으로는 각 변수범위에서 최소값을 선택하여 Table 1과 같이 지정하였다.

냉각수 유량과 냉각수 입구온도가 기준조건인

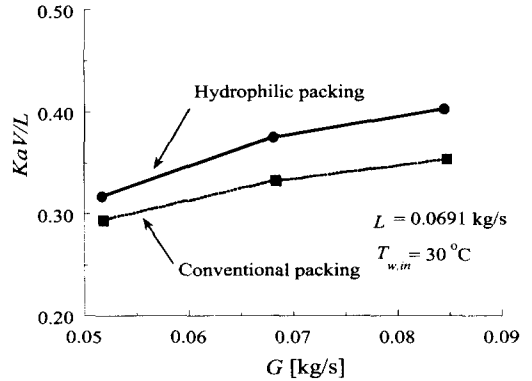


Fig. 4 Comparison of the packing characteristic value between the hydrophilic packing and the conventional packing along the cooling air flow rate

Table 1 Reference conditions

Parameters	Value
Cooling air flow rate $G \text{ [kg/s]}$	0.0518
Cooling water flow rate $L \text{ [kg/s]}$	0.0691
Cooling water inlet temperature $T_{w,in}$ $[^\circ\text{C}]$	30

경우, 두 가지 충전재에 대하여 냉각공기 유량 G 에 따른 충전재 특성값 (KaV/L)의 변화를 Fig. 4에 표시하였다. 본 연구에서는 충전재의 물질전달 비표면적 a 와 충전재 체적 V 가 일정한 경우이므로 특성값의 변화는 K/L 의 변화를 뜻하며, 특히 L 이 일정한 경우에 특성값의 변화는 직접 물질전달계수 K 의 변화를 뜻한다. 그림에서 냉각공기 유량이 증가하면 충전재 특성값이 증가하는 경향은 예상된 결과이다. 친수성 충전재의 특성값이 미처리 충전재의 특성값보다 8~14% 크게 나타나며, 냉각공기의 유량이 증가함에 따라 그 차이는 점점 증가된다. 이것은 친수성 처리가 충전재의 표면을 물과 접촉하기 쉽게 만들어 냉각수가 충전재 표면에 보다 균일하게 골고루 분포되어 냉각수와 냉각공기간의 접촉면적의 증가효과를 일으키고 또한 냉각수와 충전재 사이의 접촉면적이 증가되어 일정시간동안 충전재에 잔류하는 냉각수의 양이 증가하여 냉각수의 충전재 잔류시간이 증가하기 때문이다. 결국 냉각수와

냉각공기간의 접촉면적 증가와 냉각수의 충전재 잔류시간 증가는 냉각탑 내의 열전달량의 증가로 나타나고, 이것이 충전재 특성값의 증가로 나타난다.

Fig. 5에는 냉각공기 유량과 냉각수 입구온도가 기준조건인 경우, 냉각수 유량 L 의 변화에 따른 친수성 충전재와 상용 충전재에서의 특성값의 변화를 나타내었다. 그림에서 보면 냉각수 유량의 증가에 따른 특성값의 거동은 유사하나, 친수성 충전재의 특성값이 상용 충전재의 경우보다 8% 정도 크게 나타났다. 이는 친수성 처리 효과가 충전재의 표면을 물과 접촉하기 쉽게 만들어 냉각수와 냉각공기간의 접촉면적 증가와 냉각수의 충전재 잔류시간 증가의 효과를 일으켜 충전재 특성값의 증가로 나타나기 때문이다.

냉각공기 유량과 냉각수 유량이 기준조건인 경우, 냉각수 입구온도 $T_{w,in}$ 의 변화에 따라 친수성 충전재와 상용 충전재에서의 특성값의 변화를 Fig. 6에 보였다. 그림에서 보면 냉각수 입구온도가 증가함에 따라 두가지 충전재의 특성값이 모두 증가한다. 이는 온도가 증가함에 따라 냉각수와 냉각공기의 온도차가 증가하기 때문이다. 그러나 친수성 충전재의 특성값이 상용 충전재의 특성값보다 6~19.3% 높게 나타난다. 그 차이는 냉각수 입구온도가 높을 때 더욱 증가하였다. 이는 일반적으로 온도가 높을수록 접촉각이 작아지기 때문에 친수성 처리에 의한 접촉면적 증가효과가 증가했기 때문이라 사료된다.

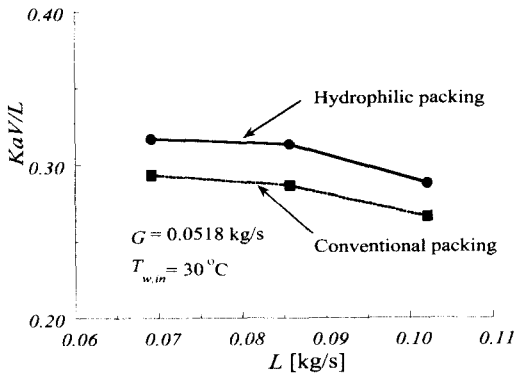


Fig. 5 Comparison of the packing characteristic value between the hydrophilic packing and the conventional packing along the cooling water flow rate

3.2 친수성 처리에 따른 충전재 특성곡선의 변화

실제 냉각탑 설계시 이용되는 충전재 특성곡선을 Fig. 7에 도시하였다. 충전재 특성 곡선은 그림에서 보이는 바와 같이 수공기비(water-air ratio) (L/G)에 따른 충전재 특성값 (KaV/L)의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 충전재 특성값은 수공기비가 증가함에 따라 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 그러나 친수성 충전재의 특성값이 미처리 충전재의 특성값보다 약 7~14% 정도 높음을 볼 수 있다.

친수성 충전재와 상용 충전재 특성값의 상관관

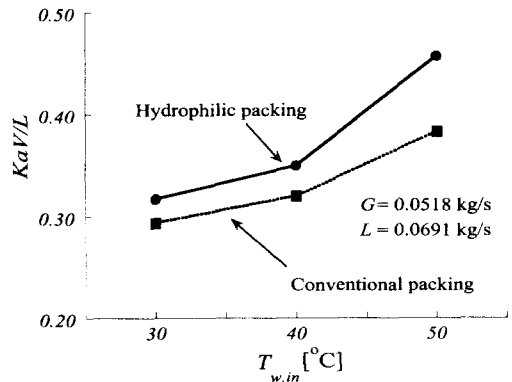


Fig. 6 Comparison of the packing characteristic value between the hydrophilic packing and the conventional packing along the cooling water inlet temperature

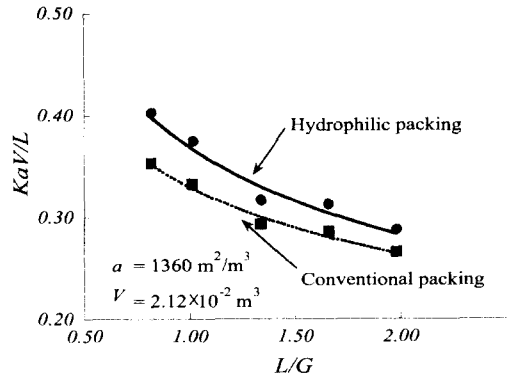


Fig. 7 Comparison of the cooling tower characteristic curve between the hydrophilic packing and the conventional packing

계식은 수공기비 0.82~1.97 범위에서 각각 식 (8)과 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$(KaV/L)_h = 0.369 (L/G)^{-0.382} \quad (8)$$

$$(KaV/L)_c = 0.329 (L/G)^{-0.318} \quad (9)$$

여기서, 하첨자 h 및 c 은 각각 친수성 충전재 및 상용 충전재를 가리킨다.

4. 결 론

이온 보조 반응법을 이용한 친수성 처리가 충전재 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 친수성 처리한 충전재와 상용 충전재를 대향류형 냉각탑 내에 채워 넣고 냉각수와 냉각공기를 공급하여 충전재 전후의 온도 및 습도를 측정하는 실험을 수행하여 다음은 같은 결과를 얻었다.

(1) 친수성 충전재의 특성값은 상용 충전재의 특성값에 비해 여러 가지 냉각공기 유량, 냉각수 유량 그리고 냉각수 입구온도의 변동에 따라 6~19.3% 크게 나타났다.

(2) 수공기비가 0.82~1.97 범위인 충전재 특성곡선 상에서, 친수성 충전재의 특성값은 상용 충전재의 특성값보다 7~14% 크게 나타났다.

(3) 부피와 비표면적이 각각 $2.12 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 및 $1360 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 인 친수성 충전재와 상용 충전재의 특성값은 수공기비의 함수로서 각각 다음과 같은 상관관계식으로 나타낼 수 있다.

$$(KaV/L)_h = 0.369 (L/G)^{-0.382}, \text{ hydrophilic treatment}$$

$$(KaV/L)_c = 0.329 (L/G)^{-0.318}, \text{ conventional}$$

후 기

본 연구는 과학기술부의 특정연구개발사업 중 국가지정연구실사업으로 지원되어 수행되었습니다.

참고문헌

(1) 오후규, 김성규, 1995, "직접접촉응축 열교환기의 분류 및 응용," 대한기계학회지, 제35권, 제7호,

pp. 638~646.
 (2) 김석현, 1995, "직접방식 열교환기와 전달특성," 대한기계학회지, 제35권, 제9호, pp. 829~835.
 (3) 윤재호, 1998, "냉각탑 산업의 기술 현황과 발전과제," 공기조화 냉동공학, 제27권, 제1호, pp. 3~6.
 (4) 서종대, 1998, "냉각탑 능력향상 방안," 공기조화 냉동공학, 제27권, 제1호, pp. 7~11.
 (5) Brentwood Industries, INC., 1996, *Accu-Pac® Technical Catalog*, PA, USA.
 (6) 공기조화 냉동공학회, 1992, *공기조화 냉동 위생공학편람*, 제3권, 제10장.
 (7) Phelps, P. M., 1972, "Increasing Cooling Towers Capacity without Enlarging the Structure," *Cooling Towers*, Vol. 1, CEP AICE, New York, 104~107.
 (8) 이강현, 최우영, 이재현, 소현영, 1998, "충전재 형상에 따른 냉각탑 성능비교에 관한 연구," 공기조화 냉동공학 논문집, 제10권, 제3호, pp. 358~367.
 (9) Ha, S., Kim, C., Ahn, S. and Dreitser, G. A., 1998, "Condensate Drainage Characteristics of Plate Fin-and-Tube Heat Exchanger," *Proc. of Int. Conf. and Exhibit, Heat Exchangers for Sustainable Development*, pp. 423~430.
 (10) Wang, C.-C. and Chang, C.-T., 1998, "Heat and Mass Transfer for Plate Fin-and-Tube Heat Exchangers, with and without Hydrophilic Transfer Enhancement by Additives," *Int. J. Refrigeration*, Vol. 19, No. 5, pp. 301~309.
 (11) Zieger, F. and Grossman, G., 1996, "Heat-Transfer Enhancement by Additives," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 41, pp. 3109~3120.
 (12) Yoon, J.-I., Kwon, O.-K., Moon, C.-G. and Kashiwagi, T., 1999, "The Effects of Surface-tant in the Absorptive and Generative Process," *KSME International Journal*, Vol. 13, No. 3, pp. 264~272.
 (13) Koh, S. K., Kim, K. H., Choi, W. K., Choi, S. C. and Ha, S. C., 1998, "Wettable Hydrophilic Surface Formation by Ion Assisted Reaction," *Proc. of Int. Conf. and Exhibit, Heat Exchangers for Sustainable Development*, pp. 593~612.
 (14) Baker, D., 1984, *Cooling Tower Performance*, Chemical Publishing co., New York.
 (15) 한국산업규격, 1983, 강제 통풍식 냉각탑 성능 시험 방법, KS B 6364~1983.