



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년05월15일
(11) 등록번호 10-0897754
(24) 등록일자 2009년05월08일

(51) Int. Cl.

F28C 1/02 (2006.01) F28F 25/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0027394

(22) 출원일자 2009년03월31일

심사청구일자 2009년03월31일

(56) 선행기술조사문헌

논문1995년

논문2004년

논문1998년

(73) 특허권자

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 궁동 220번지 충남대학교

장한기술 주식회사

인천 남동구 고잔동 671-4

(72) 발명자

유성연

대전광역시 서구 월평동 누리아파트 107동 1506호

김진혁

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 121동 804호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

민병준, 박상선, 백경업, 이문욱

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 한성근

(54) 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법

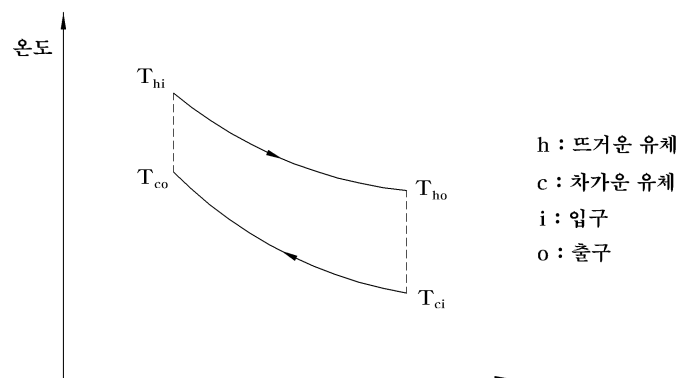
(57) 요약

본 발명은 분무수를 사용하여 열교환기 내부에서 순환되는 냉각수를 냉각시키는 밀폐형 냉각탑의 열교환기의 설계방법에 관한 것으로 냉각수관 외부에서의 총열전달량($\dot{Q}$)을 관 표면과 공기와의 온도차에 의한 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)과 분무된 물이 관 표면에서 공기 중으로 증발하면서 발생하는 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)으로 나누어서 계산하되;

상기 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)은 종래의 방법과 동일하게 구하고, 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)은 열전달과 물질전달의 유사성(analogy)을 이용하여 각각 구함으로써 열교환기의 설계나 성능해석을 정확하고 간편하게 할 수 있도록 한 것을 특징으로 한다.

본 발명은 상기와 같이 열전달량을 현열 열전달량과 잠열 열전달량으로 나눈 다음, 잠열 열전달량을 열전달과 물질전달의 유사성을 이용하여 구함으로써 실험이나 설계 경험식을 사용하지 않고도 간단하게 밀폐형 냉각탑에 사용되는 열교환기의 설계나 성능해석이 가능하며, 아울러 열교환기의 재질이나 분무조건 등이 변경되더라도 최소한의 실험만으로 변경된 설계요건에 따라 냉각탑의 열교환기를 설계할 수 있으므로 과도한 실험에 따른 시간과 비용을 경감할 수 있다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

이상식

경상북도 포항시 남구 대도동 16-4번지

김주상

대전광역시 동구 판암동 판암주공아파트 509동 60
2호

유해성

서울특별시 서초구 방배동 엘지방배자이아파트 10
3동 701호

박형준

서울특별시 성북구 정릉4동 대림e-편한세상 111동
1603호

특허청구의 범위

청구항 1

분무수를 사용하여 열교환기 내부에서 순환되는 냉각수를 냉각시키는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법에 있어서,

냉각수관 외부에서의 총열전달량($\dot{Q}$)을 관 표면과 공기와의 온도차에 의한 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)과 분무된 물이 관 표면에서 공기 중으로 증발하면서 발생하는 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)으로 나누어서 계산하되;

상기 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)은 종래의 방법과 마찬가지로 수학적 식 5에 의해 구하고, 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)은 수학적 식 7에 의해 구하며;

상기 수학적 식 7에서의 분무수의 물질전달에 의한 증발량($\dot{m}_e$)은 수학적 식 8에 의해 구하며;

상기 과정에 의해 총열전달량($\dot{Q}$)이 구해지면 이로부터 열교환기의 열전달면적(A)을 계산하거나 열교환기의 성능해석을 하는 것을 특징으로 하는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법.

<수학적 식 5>

$$\dot{Q}_s = h_o A F \Delta T_{LMTD, CF}$$

여기서 h_o 는 관외부에서의 열전달계수, A 는 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta T_{LMTD, CF}$ 는 대수평균온도차이다.

<수학적 식 7>

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_e h_{fg}$$

여기서, $\dot{Q}_l$ 는 잠열 열전달량이고, $\dot{m}_e$ 는 분무수의 물질전달에 의한 증발량, h_{fg} 는 증발잠열이다.

<수학적 식 8>

$$\dot{m}_e = h_m A F \Delta \rho_{LMTD, CF}$$

여기서, $\dot{m}_e$ 는 분무수의 물질전달에 의한 증발량이고, h_m 는 물질전달계수, A 는 열교환기의 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta \rho_{LMTD, CF}$ 는 대수평균밀도차이다.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 물질전달계수(h_m)는 열전달과 물질전달의 유사성(analogy)을 이용하여 구한 수학적 식 10에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법.

<수학식 10>

$$Sh/Nu = \frac{(h_m D / D_{diff})}{(h D / k)} = (Sc / Pr)^n$$

여기서, Sh 는 Sherwood수, Nu 는 Nusselt수, Pr 는 Prandtl수, D 는 특성길이, D_{diff} 는 확산계수, k 는 열전도계수이며 n 은 지수이다.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 대수평균밀도차($\Delta \rho_{LMTD, CF}$)는 수학식 9에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법.

<수학식 9>

$$\Delta \rho_{LMTD, CF} = \frac{(\rho_{sat, T_{so}} - \rho_{ai}) - (\rho_{sat, T_{si}} - \rho_{ao})}{\ln((\rho_{sat, T_{so}} - \rho_{ai}) / (\rho_{sat, T_{si}} - \rho_{ao}))}$$

여기서, $\Delta \rho_{LMTD, CF}$ 는 대수평균밀도차, $\rho_{sat, T_{so}}$ 는 열교환기 물 출구의 관 외부표면온도, ρ_{ai} 는 입구 공기의 밀도, $\rho_{sat, T_{si}}$ 는 열교환기 물 입구의 관 외부 표면온도에서의 공기의 포화 밀도, ρ_{ao} 는 출구 공기의 밀도이다.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 열전달과 물질전달의 유사성을 이용한 물질전달계수(h_m)는 수학식 13 또는 수학식 14로 표현되는 Sherwood수로부터 계산되는 것을 특징으로 하는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법.

<수학식 13>

$$Sh_{analogy} = 0.52 Re^{0.5} S_c^{0.36} \quad (100 \leq Re \leq 1000)$$

여기서, $Sh_{analogy}$ 는 유사성을 이용할 때의 Sherwood수, Re 는 Reynolds수, S_c 는 Schmidt수이다.

<수학식 14>

$$Sh_{analogy} = 0.27 Re^{0.63} S_c^{0.36} \quad (1000 \leq Re \leq 2 \times 10^5)$$

여기서, $Sh_{analogy}$ 는 유사성을 이용할 때의 Sherwood수, Re 는 Reynolds수, S_c 는 Schmidt수이다.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 물질전달계수(h_m)는 분무수의 분무유량 등의 변수가 반영되도록 다시 수학식 15와 같이 분무수의 Reynolds수로 교정되는 것을 특징으로 하는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법.

<수학식 15>

$$Sh_{cor} = Sh_{analogy}(CRe_s^m)$$

여기서, Sh_{cor} 는 상관식의 Sherwood수이고, $Sh_{analogy}$ 는 유사성을 이용할 때의 Sherwood수이며, Re_s 는 분무수의 Reynolds수로서 공기의 Reynolds수와 같은 방법으로 정의되고, C 와 m 은 각각 관의 배열, 분무특성 등에 따라 정해지는 상수와 지수로서 실험 결과를 사용하여 최소자승법 등을 사용한 커브 피팅(Curve Fitting) 방법에 의해 구한다.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

- <1> 본 발명은 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 과도한 실험이나 경험식을 사용하지 않고도 열전달과 물질전달의 유사성을 이용하여 밀폐형 냉각탑에 사용되는 열교환기의 설계나 성능해석을 정확하고 간편하게 할 수 있는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 일반적으로 건물의 실내를 냉방하는 데에는 냉동기를 사용하는데 이때 냉동기의 응축수를 냉각시키기 위해 냉각수가 사용되며, 이 과정에서 데워진 냉각수는 재사용될 수 있도록 다시 냉각되어야 하는데 이때 사용되는 장치가 냉각탑이다.
- <3> 냉각탑은 그 냉각방식에 따라 개방형과 밀폐형으로 구분되며 개방형 냉각탑은 응축수를 냉각시키는 과정에서 가열된 고온의 냉각수를 냉각탑의 상부에서 분무 낙하시켜 냉각탑 내부에 충전된 충전재에 보내 송풍기에 의해 강제송풍된 공기와 직접 접촉하도록 함으로써 냉각수를 냉각시키는 방식이고, 밀폐형 냉각탑은 도 1에 도시된 바와 같이 냉동기의 응축기를 냉각시키는 과정에서 가열된 고온의 냉각수가 그 내부에서 순환되는 열교환기(50)를 냉각탑의 내부에 설치한 다음, 냉각탑의 상부로부터 분무수를 열교환기 표면에 분무 낙하시켜 열교환되도록 하는 한편, 송풍기(20)에 의해 공기를 냉각탑의 하부로부터 강제 송풍시켜 이 송풍된 공기가 열교환기의 표면을 지나면서 열교환기 내부의 냉각수와 열교환되도록 하는 방식으로 냉각수가 열교환기 내부를 순환하기 때문에 공기 중에 직접 노출되지 않아 냉각수가 오염될 우려가 없어 그 수요가 점점 증가하고 있다.
- <4> 한편, 열교환기를 설계할 때는 일반적으로 수학식 1에 나타난 바와 같이 뜨거운 유체가 얻는 열량과 차가운 유체가 얻는 열량이 동일하다고 가정하여 설계하며 그 구체적인 설계과정을 설명하면 이하와 같다.

수학식 1

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_h C_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) : \text{뜨거운 유체가 잃은 열량} \\ &= \dot{m}_c C_{pc} (T_{co} - T_{ci}) : \text{차가운 유체가 얻은 열량} \\ &= UAF\Delta T_{LMTD,CF} : \text{두 유체 사이의 열전달량} \end{aligned}$$

<5>

- <6> 여기서 $\dot{m}_h$ 는 뜨거운 유체의 유량, C_{ph} 는 뜨거운 유체의 비열, T_{hi} 는 뜨거운 유체의 입구 온도, T_{ho} 는 뜨거운 유체의 출구 온도, $\dot{m}_c$ 는 차가운 유체의 유량, C_{pc} 는 차가운 유체의 비열, T_{co} 는 차가운 유체의 출구 온도, T_{ci} 는 차가운 유체의 입구 온도, U 는 총합열전달계수, A 는 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta T_{LMTD,CF}$ 는 대수평균온도차이다.

<7> 상기 수학적 식 1에서 총합열전달계수(U)는 수학적 식 2를 사용하여 구하는데, 수학적 식 2에서의 h_i 와 h_o 는 각각 관 내부에서의 열전달계수와 관 외부에서의 열전달계수로서 일반적으로 공지된 실험 상관식을 이용하여 계산한다.

수학적 식 2

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}$$

<8>

<9> 여기서 U 는 총합열전달계수, A 는 열교환기의 열전달 면적, h_i 는 관 내부에서의 열전달계수이고, A_i 는 관 내부의 표면적, r_o 는 관의 외부반경, r_i 는 관의 내부반경, k 는 열전도계수, L 은 관의 길이, h_o 은 관의 외부에서의 열전달계수, A_o 는 관 외부의 표면적이다.

<10> 또한 수학적 식 1에서 대향류의 대수평균온도차($\Delta T_{LMTD, CF}$)는 열교환기 입구와 출구에서의 온도를 아래의 수학적 식 3에 대입하여 구한다.

수학적 식 3

$$\Delta T_{LMTD, CF} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln((T_{hi} - T_{co}) / (T_{ho} - T_{ci}))}$$

<11>

<12> 여기서, $\Delta T_{LMTD, CF}$ 는 대수평균온도차, T_{hi} 는 뜨거운 유체의 입구 온도, T_{co} 는 차가운 유체의 출구 온도, T_{ho} 는 뜨거운 유체의 출구 온도, T_{ci} 는 차가운 유체의 입구 온도이다.

<13> 수학적 식 2와 수학적 식 3에서 각각 구한 값을 수학적 식 1에 대입하게 되면 열교환기의 열전달 면적(A)을 최종적으로 구할 수 있는데, 상기와 같은 과정에 의해 열교환기의 열전달 면적(A)을 구하는 것이 통상적인 열교환기의 설계방법이다.

<14> 그러나 밀폐형 냉각탑의 열교환기에서는 도 2에 도시된 바와 같이 열교환기의 관 내부에는 냉각수가 순환되고, 관의 외부 표면에는 분무수와 공기의 2상(2 phase) 유체가 흐르므로 이들 간에 열전달과 물질전달이 동시에 일어나기 때문에 상기와 같은 통상적인 열교환기의 설계방법을 그대로 적용할 수는 없다.

<15> 즉, 열교환기의 관의 내부에는 액상의 냉각수만 흐르므로 열교환기 관의 내부에서의 열전달량을 계산할 때는 냉각수에 의한 열전달만을 고려하면 되지만, 열교환기 관의 외부 표면에는 액상의 분무수와 기상의 공기의 2상의 유체가 흐르므로 열교환기 관의 외부에서의 열전달량을 구하기 위해서는 열전달과 물질전달을 동시에 고려하여야 하는데, 열전달과 물질전달에 영향을 미치는 인자(관의 직경·배열·재료·표면상태, 공기의 온도·습도·유량·유입방법, 분무수의 온도·유량·분무방법, 냉각수의 온도·유량 등)가 너무 많기 때문에 이들을 모두 고려한 일반적인 실험 상관식을 얻는다는 것은 거의 불가능하다.

<16> 이러한 이유로 냉각탑 제조사들은 각자가 보유하고 있는 간단한 설계 경험식을 사용하여 냉각탑을 설계하고 있어 설계 정확도가 낮을 뿐만 아니라 열교환기의 시방 또는 설치환경 등이 변경되는 경우 성능변화를 알기가 어려워 적절히 대처하지 못하는 문제점이 있으며, 우리나라 제조사의 경우는 대부분 외국의 제품을 모방하여 설계하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<17> 본 발명은 상기와 같은 종래의 냉각탑 열교환기 설계의 어려움을 해소하기 위해 개발된 것으로, 본 발명에서는 실험이나 설계 경험식을 사용하지 않고도 열전달과 물질전달의 유사성을 이용하여 밀폐형 냉각탑에 사용되는 열교환기의 설계나 성능해석을 정확하고 간편하게 할 수 있는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법을 제공하고자

하는 데에 그 목적이 있다.

- <18> 또한 본 발명은 열교환기의 시방 또는 설치환경 등이 변경되는 경우에도 성능변화를 비교적 쉽고 정확하게 예측할 수 있는 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법을 제공하고자 하는 데에 또 다른 목적이 있다.

과제 해결수단

- <19> 상기와 같은 본 발명의 목적은 열교환기의 전체 열전달량을 열교환기 관의 외부에서의 열전달량을 관의 표면과 공기와의 온도차에 의한 현열 열전달량과 분무된 분무수가 열교환기 관의 외부 표면에서 공기 중으로 증발되면서 발생하는 잠열 열전달량으로 나눈다. 여기서 현열 열전달량은 분무수가 없는 종래의 열교환기 설계방법으로 구하고, 잠열 열전달량은 열전달과 물질전달의 유사성을 이용하여 구한 다음, 이들로부터 전체 열전달량을 계산하여 이로부터 열교환기의 열전달 면적을 최종적으로 계산해내는 것에 의해 달성된다.
- <20> 본 발명의 또 다른 목적은 열교환기 관의 외부 표면에서의 잠열 열전달량을 구할 때 사용하는 물질전달계수를 무차원 변수로 나타낸 것에 의해 달성된다.

효 과

- <21> 본 발명은 실험이나 설계 경험식을 사용하지 않고도 열전달과 물질전달의 유사성을 이용하여 밀폐형 냉각탑에 사용되는 열교환기의 설계나 성능해석을 정확하고 간편하게 할 수 있으며, 아울러 열교환기의 재질이나 분무조건 등이 변경되더라도 최소한의 실험만으로 변경된 설계요건에 따라 냉각탑의 열교환기를 설계할 수 있으므로 과도한 실험에 따른 시간과 비용을 경감할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <22> 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 구성과 바람직한 실시예를 설명한다.
- <23> 앞서 설명한 바와 같이 밀폐형 냉각탑에 사용되는 열교환기의 관의 표면에는 액상의 분무수와 기상의 공기의 2상의 유체가 흐르게 되고, 이에 따라 이들간의 열전달 메커니즘이 매우 복잡하므로 본 발명에서는 이를 간략화하기 위해 관 외부에서의 열전달량을 아래의 수학적식 4와 같이 관 표면과 공기와의 온도차에 의한 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)과 분무된 물이 관 표면에서 공기 중으로 증발하면서 발생하는 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)으로 나누어서 계산하는 것을 제안한다.

수학적식 4

<24>
$$\dot{Q} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_l$$

- <25> 여기서, $\dot{Q}$ 는 총열전달량, $\dot{Q}_s$ 는 현열 열전달량이고, $\dot{Q}_l$ 는 잠열 열전달량이다.

- <26> 상기 수학적식 4에서 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)은 종래의 방법과 마찬가지로 수학적식 5에 의해 계산되되, 여기서 대수평균온도차는 수학적식 3의 뜨거운 유체 온도(T_h)대신 열교환기 관 외부 표면온도(T_s)를 사용하여 수학적식 6과 같이 계산한다.

수학적식 5

<27>
$$\dot{Q}_s = h_o A F \Delta T_{LMTD, CF}$$

- <28> 여기서 h_o 는 관 외부에서의 열전달계수, A 는 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta T_{LMTD, CF}$ 는 대수평균온도차이다.

수학식 6

$$\Delta T_{LMTD, CF} = \frac{(T_{so} - T_{ai}) - (T_{si} - T_{ao})}{\ln((T_{so} - T_{ai}) / (T_{si} - T_{ao}))}$$

<29>

여기서 T_{si} 는 열교환기 물 입구에서 관 외부 표면온도, T_{so} 는 물 출구에서 관 외부 표면온도, T_{ai} 은 공기 입구의 온도, T_{ao} 은 공기 출구의 온도이다.

<30>

잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)은 아래의 수학식 7에서와 같이 분무수의 물질전달에 의한 증발량($\dot{m}_e$)에 증발잠열(h_{fg}) 곱하여 계산한다.

<31>

수학식 7

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_e h_{fg}$$

<32>

여기서, $\dot{Q}_l$ 는 잠열 열전달량이고, $\dot{m}_e$ 는 분무수의 물질전달에 의한 증발량, h_{fg} 는 증발잠열이다.

<33>

상기 수학식 7에서 분무수의 물질전달에 의한 증발량($\dot{m}_e$)은 물질전달계수를 사용하여 아래의 수학식 8에 의해 구하고, 대수평균밀도차($\Delta \rho_{LMTD, CF}$)는 수학식 6의 대수평균온도차($\Delta T_{LMTD, CF}$)와 같은 개념으로 수학식 9에 의해 계산한다. 상기 수학식 8에서 물질전달계수(h_m)는 실험을 통해 구하는 경우 복잡한 실험장치가 요구되고 실험 변수가 많아 측정 또한 쉽지 않기 때문에 본 발명에서는 그 대신에 열전달과 물질전달 사이의 전달현상의 유사성(analogy)을 이용하여 아래의 수학식 10에 의해 물질전달계수(h_m)를 구한다.

<34>

수학식 8

$$\dot{m}_e = h_m A F \Delta \rho_{LMTD, CF}$$

<35>

여기서, $\dot{m}_e$ 는 분무수의 물질전달에 의한 증발량이고, h_m 는 물질전달계수, A 는 열교환기의 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta \rho_{LMTD, CF}$ 는 대수평균밀도차이다.

<36>

수학식 9

$$\Delta \rho_{LMTD, CF} = \frac{(\rho_{sat, T_{so}} - \rho_{ai}) - (\rho_{sat, T_{si}} - \rho_{ao})}{\ln((\rho_{sat, T_{so}} - \rho_{ai}) / (\rho_{sat, T_{si}} - \rho_{ao}))}$$

<37>

여기서, $\Delta \rho_{LMTD, CF}$ 는 대수평균밀도차, $\rho_{sat, T_{so}}$ 는 열교환기 물 출구의 관 외부표면온도, ρ_{ai} 는 입구 공기의 밀도, $\rho_{sat, T_{si}}$ 는 열교환기 물 입구의 관 외부 표면온도에서의 공기의 포화 밀도, ρ_{ao} 는 출구 공기의 밀도이다.

<38>

수학식 10

$$Sh / Nu = \frac{(h_m D / D_{iff})}{(h D / k)} = (Sc / Pr)^n$$

<39>

<40> 여기서, Sh 는 Sherwood수, Nu 는 Nusselt수, Pr 는 Prandtl수, D 는 특성길이, D_{diff} 는 확산계수, k 는 열전도계수이며 n 은 지수이다.

<41> 상기 수학적식 10 중 확산계수(D_{diff}), 열전도계수(k), Schmidt수(Sc), Prandtl수(Pr)는 유체의 물성치로부터 알 수 있는 값이므로 Nusselt수(Nu)나 열전달계수(h)를 알면 수학적식 8로부터 Sherwood수(Sh)나 물질전달계수(h_m)를 구할 수 있다.

<42> 한편, 밀폐형 냉각탑의 열교환기와 같은 원관(圓管) 군에서 관 외부 표면에서의 Nusselt수(Nu)를 구하는 실험식은 Reynolds수(Re)의 범위에 따라서 아래의 수학적식 11과 수학적식 12로 표현된다.

수학적식 11

<43>
$$Nu = 0.52Re^{0.5}Pr^{0.36} \quad (100 \leq Re \leq 1000)$$

<44> 여기서, Nu 는 Nusselt수, Re 는 Reynolds수, Pr 은 Prandtl수이다.

수학적식 12

<45>
$$Nu = 0.27Re^{0.63}Pr^{0.36} \quad (1000 \leq Re \leq 2 \times 10^5)$$

<46> 여기서, Nu 는 Nusselt수, Re 는 Reynolds수, Pr 은 Prandtl수이다.

<47> 상기 수학적식 11과 수학적식 12를 수학적식 10에 대입하면 Sherwood수(Sh)를 구하는 실험식인 아래의 수학적식 13과 수학적식 14를 얻을 수 있다.

수학적식 13

<48>
$$Sh_{analogy} = 0.52Re^{0.5}Sc^{0.36} \quad (100 \leq Re \leq 1000)$$

<49> 여기서, $Sh_{analogy}$ 는 상사성을 이용할 때의 Sherwood수, Re 는 Reynolds수, Sc 는 Schmidt수이다.

수학적식 14

<50>
$$Sh_{analogy} = 0.27Re^{0.63}Sc^{0.36} \quad (1000 \leq Re \leq 2 \times 10^5)$$

<51> 여기서, $Sh_{analogy}$ 는 상사성을 이용할 때의 Sherwood수, Re 는 Reynolds수, Sc 는 Schmidt수이다.

<52> 즉, 상기 수학적식 13 및 수학적식 14로 표현되는 Sherwood수를 알면 Sherwood수의 정의(h_mD/D_{diff})로부터 물질전달계수(h_m)를 구할 수 있다.

<53> 도 4(a) 내지 도 4(c)는 모두 상기와 같은 상사성을 이용하여 구한 물질전달계수와 실험에 의해 구한 물질전달계수를 비교한 그래프로서, 이들 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 공기의 속도가 증가함에 따라 열전달량이 증가되면서 물질전달도 증가되고 있다.

<54> 또한 상사성에 의해 구한 물질전달계수는 분무수 유량이 작을 때는 실험에 의해 구한 물질전달계수의 값보다 크지만, 분무수의 유량이 증가함에 따라 점차 그 차이가 줄어들고, 분무수 유량이 많을 때는 실험값보다 작아지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 상사성에 의해 물질전달계수를 구할 때 관(열교환기)의 표면이 분무수에 의해 적당

하게 도포되어 있다고 가정한 데에 따른 것으로 분무수 유량이 적을 때에는 관의 표면이 분무수에 의해 적당하게 도포되지 않기 때문에 상사성에 의해 구한 값이 실험에 의해 구한 값에 비해 상대적으로 크며, 분무수 유량이 커지게 되면 열교환기의 관의 표면이 분무수에 의해 필요 이상으로 도포되어 상사성에 의해 구한 값이 실험에 의해 구한 값보다 작아지게 되는 것이다.

<55> 위에서 설명한 바와 같이 밀폐형 냉각탑에서의 물질전달량은 분무수의 분무 유량에 따라 달라짐에도 상사성을 이용한 해석에서는 이러한 변수가 고려되지 않았기 때문에 실험값과 차이가 나므로 본 발명에서는 이러한 사항을 반영하여 분무수의 Reynolds수(Re)를 무차원 변수로 한 아래의 수학적 식 15와 같은 상관식을 제안한다.

수학적 식 15

<56>
$$Sh_{cor} = Sh_{analogy}(CRe_s^m)$$

<57> 여기서, Sh_{cor} 는 상관식의 Sherwood수이고, $Sh_{analogy}$ 는 상사성을 이용할 때의 Sherwood수이며, Re_s 는 분무수의 Reynolds수로서 공기의 Reynolds수와 같은 방법으로 정의되고, C 와 m 은 각각 관의 배열, 분무특성 등에 따라 정해지는 상수와 지수로서 실험 결과를 사용하여 최소자승법 등을 사용한 커브 피팅(Curve Fitting) 방법에 의해 구한다.

<58> 도 4는 관의 직경이 각각 9.54 mm, 25.4 mm로 제작된 냉각탑 열교환기에 대해 수학적 식 15의 상관식으로 구한 Sherwood수를 실험에 의해 구한 Sherwood수와 비교하여 나타낸 것으로 2가지 열교환기 모두에 대해 $\pm 5\%$ 범위 내에서 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

<59> 본 발명은 상기와 같이 열교환기의 관의 외부 표면에서의 물질전달계수(h_m)를 수학적 식 15로 표현되는 무차원식으로 나타냄으로써 열교환기의 시방 또는 설치환경 등이 변경되는 경우에도 이 바뀐 시방에 따라 C 와 m 을 구하기만 하면 되기 때문에 이러한 설계변경 사항을 쉽고 정확하게 반영할 수 있다.

<60> 상기 과정에 의해 C 와 m 이 결정되고 나면, 위의 상관식(수학적 식 15)과 Sherwood수의 정의($h_m D / D_{diff}$)로부터 물질전달계수(h_m)을 구할 수 있으며, 이 구해진 물질전달계수(h_m)를 수학적 식 8에 대입하면 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)을 구할 수 있다.

<61> 잠열 열전달량($\dot{Q}_l$)이 계산되면 여기에 종래의 방식에 의해 계산된 현열 열전달량($\dot{Q}_s$)을 더하여 총열전달량($\dot{Q}$)을 구하여 아래 수학적 식 16에 대입하게 되면 열교환기의 표면적(A)을 구할 수 있다.

수학적 식 16

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_w C_{pw} (T_{wi} - T_{wo}) : \text{물이 잃은 열량} \\ &= \dot{m}_a (h_{ao} - h_{ai}) : \text{공기가 얻은 열량} \\ &= \dot{Q}_s + \dot{Q}_l : \text{물과 공기 사이의 열전달량} \\ &= (h_o A F \Delta T_{LMTD, CF} + h_m A F \Delta \rho_{LMTD, CF} h_{fg}) \end{aligned}$$

<62>

<63> 여기서, $\dot{Q}$ 는 총열전달량, $\dot{m}_w$ 는 물의 유량, C_{pw} 는 물의 비열, T_{wi} 는 물의 입구 온도, T_{wo} 는 물의 출구 온도, $\dot{m}_a$ 는 공기의 유량, h_{ao} 는 공기의 출구에서의 엔탈피, h_{ai} 는 공기의 입구에서의 엔탈피, $\dot{Q}_s$ 는 현열 열전

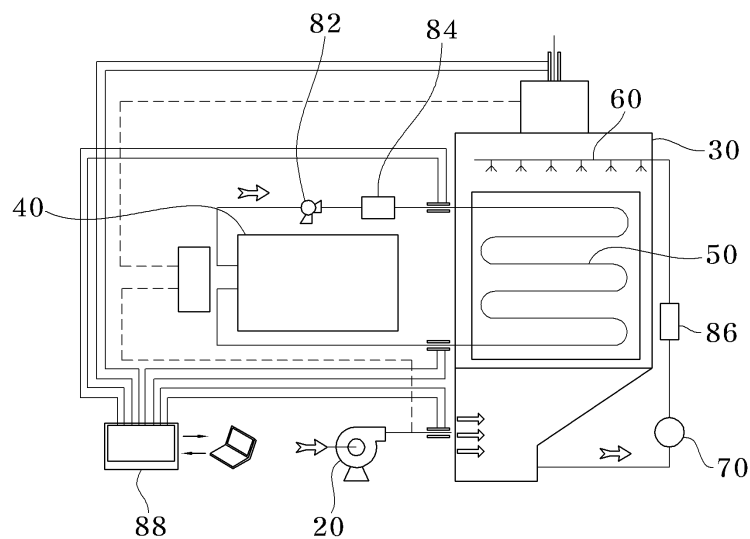
달량, $\dot{Q}_l$ 은 잠열 열전달량, h_o 는 관 외부에서의 열전달계수, A 는 열전달 면적, F 는 수정계수, $\Delta T_{LMTD, CF}$ 는 대수평균온도차, h_m 은 물질전달계수, $\Delta \rho_{LMTD, CF}$ 는 대수평균밀도차, h_{fg} 는 증발잠열이다.

도면의 간단한 설명

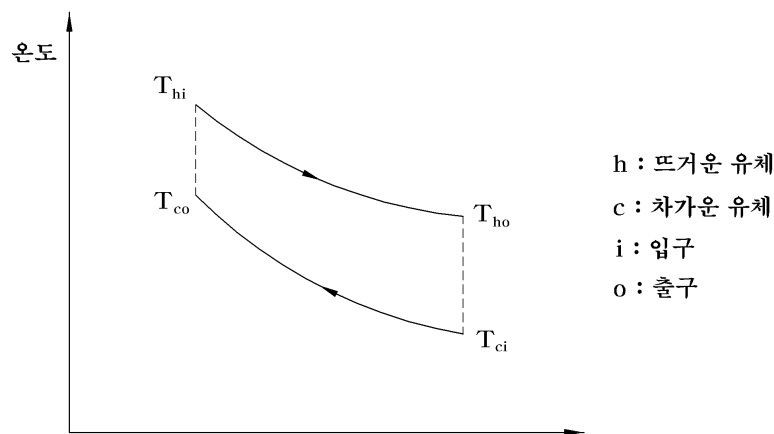
- <64> 도 1은 종래의 밀폐형 냉각탑의 구성을 도시한 개략도,
- <65> 도 2는 일반적인 열교환기에서의 열전달 관계를 나타낸 그래프,
- <66> 도 3은 밀폐형 냉각탑의 열교환기의 관 표면에서의 유체의 흐름을 표시한 단면도,
- <67> 도 4a 내지 4c는 본 발명에 따른 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법에 따라 열전달과 물질전달의 상사성을 이용하여 구한 물질전달계수(h_m)와 실험에 의해 구한 물질전달계수(h_m)를 비교한 그래프,
- <68> 도 5a, 5b는 본 발명에 따른 밀폐형 냉각탑의 열교환기 설계방법을 이용하여 구한 Sherwood수와 실험에 의해 구한 Sherwood수를 비교한 그래프이다.
- <69> < 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >
- <70> 10 : 밀폐형 냉각탑 20 : 송풍기
- <71> 30 : 하우징 40 : 향온조
- <72> 50 : 열교환기 60 : 분무노즐
- <73> 70 : 분무수펌프 82 : 냉각수펌프
- <74> 84 : 냉각수유량계 86 : 분무수유량계
- <75> 88 : 자료획득장치

도면

도면1



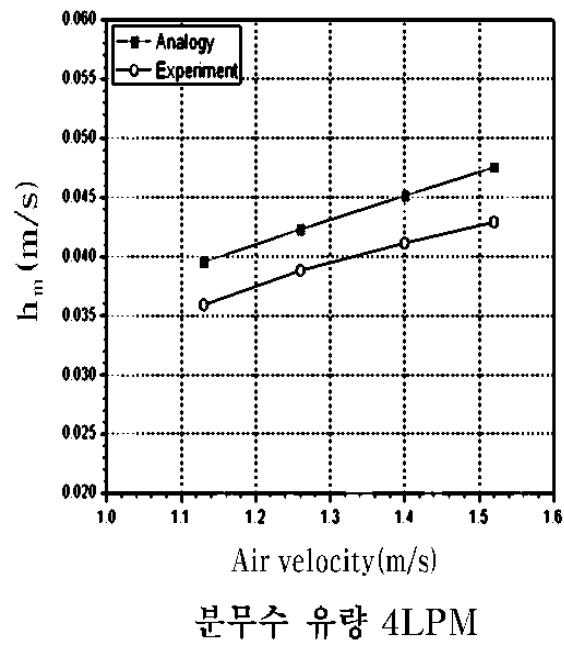
도면2



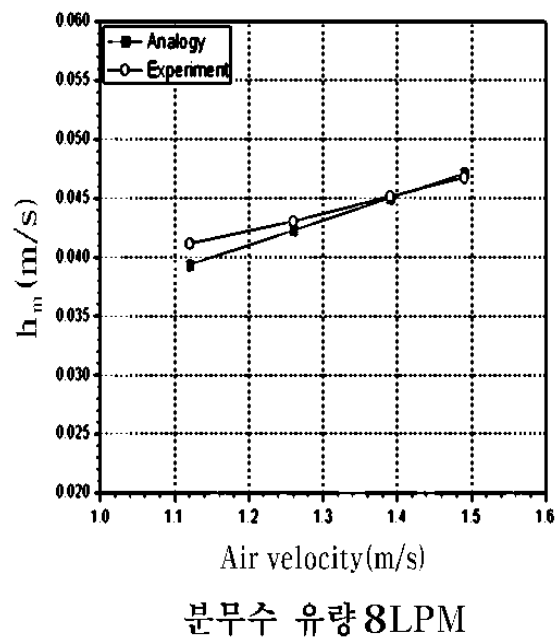
도면3



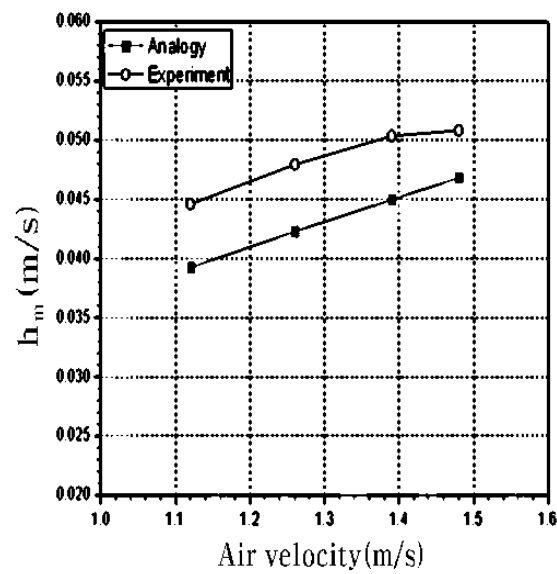
도면4a



도면4b

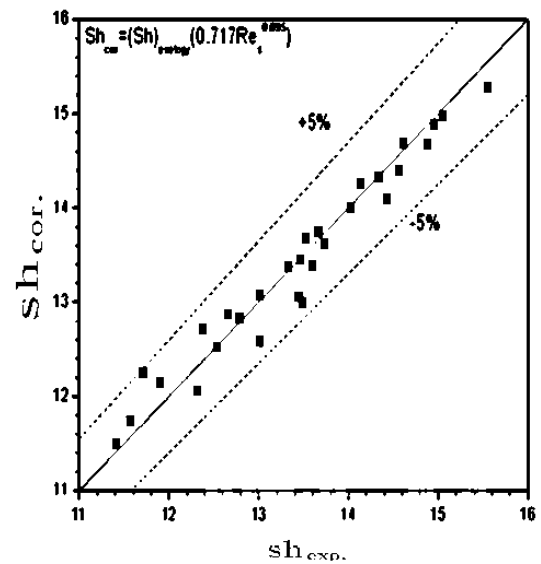


도면4c



분무수 유량 12LPM

도면5a



열교환기 1 (D=9.54 mm)

도면5b

