



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0102623
(43) 공개일자 2024년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F28F 27/00 (2006.01) F28D 9/00 (2006.01)
F28F 3/08 (2006.01) G06F 30/20 (2020.01)
(52) CPC특허분류
F28F 27/00 (2013.01)
F28D 9/005 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0184838
(22) 출원일자 2022년12월26일
심사청구일자 2022년12월26일

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 조선대길 126(서석동, 산학협력단)
(72) 발명자
조흥현
광주광역시 남구 제석로80번길 36, 303-1001 (한국아텔리움 3차)
김의
광주광역시 북구 삼정로 50 303동 806호
함정균
광주광역시 동구 밤실로 25, 시온빌 203호
(74) 대리인
황영익

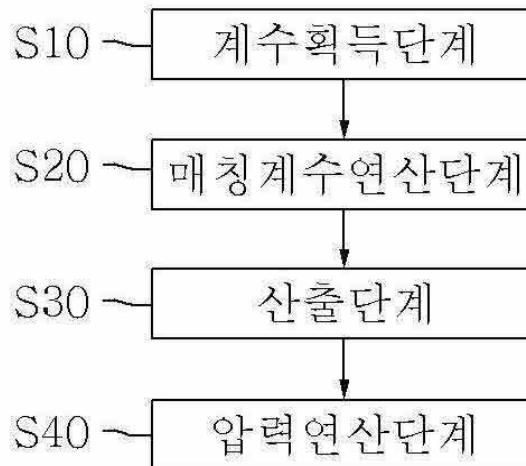
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 판형열교환기의 성능 예측 방법

(57) 요약

본 발명은 판형열교환기의 성능 예측 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 판형열교환기의 형상정보와 입구조건 등의 상태정보를 기초로 판형열교환기의 최적 설계를 위해 필요한 판의 개수를 산정하고, 산정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력조건을 도출하여 최적의 판형열교환기의 설계를 가능토록 하는 판형열교환기의 성능 예측 방법(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



측 방법에 관한 것이다.

본 발명은 판형열교환기의 성능 예측을 위한 방법에 있어서, 판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보를 기초로 대수평균온도차(LMTD)기반 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 획득하는 계수획득단계(S10); 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 대류열전달계수 기반 총괄열전달계수(U)를 획득하는 매칭계수연산단계(S20); 상기 계수 획득단계(S10)에서 획득된 총괄열전달계수(U_{LMTD})와, 상기 매칭계수연산단계(S20)에서 획득된 총괄열전달계수(U)의 적합여부를 판단하여 판형열교환기의 판의 개수를 산출하는 산출단계(S30); 상기 산출단계(S30)에서 결정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산하는 압력연산단계(S40);를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

F28F 3/08 (2013.01)

G06F 30/20 (2020.01)

F28F 2200/00 (2013.01)

G06F 2119/08 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415180059
과제번호	20202020800200
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원(KETEP)
연구사업명	에너지기술개발사업
연구과제명	열에너지 다소비 산업설비 스마트설계 플랫폼 기술 개발 및 실증
기 여 율	1/1
과제수행기관명	조선대학교산학협력단
연구기간	2020.05.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

판형열교환기의 성능 예측을 위한 방법에 있어서,

판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보를 기초로 대수평균온도차(LMTD)기반 총괄열전달계수 (U_{LMTD})를 획득하는 계수획득단계(S10);

누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 대류열전달계수 기반 총괄열전달계수(U)를 획득하는 매칭계수연산단계(S20);

상기 계수획득단계(S10)에서 획득된 총괄열전달계수(U_{LMTD})와, 상기 매칭계수연산단계(S20)에서 획득된 총괄열전달계수(U)의 적합여부를 판단하여 판형열교환기의 판의 개수를 산출하는 산출단계(S30);

상기 산출단계(S30)에서 결정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산하는 압력연산단계(S40);를 포함하는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 계수획득단계(S10)에서 상기 판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보는, 판형열교환기의 저온측 입구온도($T_{w,i}$)와 출구온도($T_{w,o}$), 고온측 입구온도($T_{s,i}$)와 출구온도($T_{s,o}$), 저온측 농도(X_c)와 고온측 농도(X_h), 질량유량($\dot{m}$), 판형열교환기의 판형성데이터인 판의 폭(Width of plate:W), 판의 길이(Length of plate:L), 주름 깊이(Corrugation depth:B), 주름피치(Corrugation pitch:P), 판의 두께(Thickness of plate:T) 정보인 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 계수획득단계(S10)에서는, 판형열교환기의 평균 열전달율(Q_{avg})을 고온 입/출구측에서의 열전달율(Q_s)과 저온 입/출구측에서의 열전달율(Q_w)을 이용한 수학식 1에 근거하여 계산하고, 계산된 열전달율(Q_{avg})을 이용한 수학식 2에 근거하여 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 획득하는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

[수학식 1]

$$Q_s = \dot{m} c_{p,s} (T_{s,i} - T_{s,o})$$

$$Q_w = \dot{m} c_{p,w} (T_{w,i} - T_{w,o})$$

$$Q_{avg} = \frac{Q_s + Q_w}{2}$$

(여기서, $C_{p,s}$ 와 $C_{p,w}$ 는 저온측과 고온측의 LiBr 수용액 비열을 나타냄.)

[수학식 2]

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{s,i} - T_{w,o}) - (T_{s,o} - T_{w,i})}{\ln \left(\frac{T_{s,i} - T_{w,o}}{T_{s,o} - T_{w,i}} \right)}$$

$$U_{LMTD} = \frac{Q_{avg}}{A_t \Delta T_{LMTD}}$$

(여기서, A_t 는 총 전열면적, ΔT_{LMTD} 는 대수평균온도차임.)

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 총 전열면적 A_t 는 수학식 3에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

[수학식 3]

$$A_t = \phi (N - 2) L_H L_w$$

(여기서, N : 전열판 개수, L_H : 전열판의 유효길이, L_w : 전열판의 넓이를 의미함.)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 매칭계수연산단계(S20)에서의 상기 총괄열전달계수(U)는, 상기 대류열전달계수(h)를 이용한 수학식 4에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

[수학식 4]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{hot}} + \frac{t_{wall}}{k_{wall}} + \frac{1}{h_{cold}}}$$

(여기서, h_{hot} 과 h_{cold} 는 Nu수 상관식으로 계산된 고온측과 저온측 대류열전달계수, t_{wall} 은 전열판의 두께, k_{wall} 은 전열판의 열전도도임.)

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 대류열전달계수는, 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 수학적 식 4에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

[수학적 식 5]

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_h}$$

(여기서, k는 유체의 열전도도, D_h 는 판형열교환기 채널의 수력직격임.)

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 누셀트수(Nusselt number: Nu)는, 쉘브론각도에 따른 수학적 식 6에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 판형 열교환기의 성능 예측방법.

[수학적 식 6]

$$Nu = (0.358 - 0.001267 \cdot \theta + 0.1778 \times 10^{-4} \cdot \theta^2) \text{Re}^{\left[0.6355 - 0.1106 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot \theta}{45} - 0.1911\right)\right]} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 산출단계(S30)에서는, 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수($\bar{U}$)의 매칭에 의한 결과값에서 상기 총괄열전달계수($\bar{U}$)가 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})보다 크게 되면 전열판(N)의 개수를 1 추가하여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하거나 상기 총괄열전달계수($\bar{U}$)가 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})보다 작게 되면 전열판(N)의 개수를 1 줄여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하는 과정을 반복 수행하고, 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수($\bar{U}$)의 결과값의 차이가 1% 이하로 나오면 반복수행과정을 정지하는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 압력연산단계(S40)에서는, 수학적 식 7에 의해 판형열교환기의 압력을 연산하는 것을 특징으로 하는 판형열교환기의 성능 예측방법.

[수학기 7]

$$f = \frac{\Delta P}{4 \left(\frac{L}{D_h} \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)}$$

(여기서, f 는 마찰계수, ΔP 는 판형열교환기내 압력강하, L 은 판의 길이, D_h 는 수력직경, ρ 는 유체의 밀도, V 는 유체의 속도임.)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 판형열교환기의 성능 예측 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 판형열교환기의 형상정보와 입구조 건 등의 상태정보를 기초로 판형열교환기의 최적 설계를 위해 필요한 판의 개수를 산정하고, 산정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력조건을 도출하여 최적의 판형열교환기의 설계를 가능토록 하는 판형열교환기의 성능 예측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 열교환기는 서로 온도가 다르고 고체벽으로 분리된 두 유체 사이에 열교환을 수행하는 장치로, 난방, 공기조화, 동력발생, 폐열회수 등에 널리 이용된다. 이와 같은 열교환기는 하나의 유체로부터 다른 유체로 물리적인 접촉이 없이 열을 전달하기 위한 것이다. 즉 유체를 서로 섞지 않으면서 열만 전달하는 것이다. 하나의 유체를 간접적으로 가열하거나 냉각하고자 할 때에 사용하며, 열교환기 자체를 가열 또는 냉각하는 것은 아니다.

[0004] 열교환기에는 구조상 다관식 열교환기, 2중관식 열교환기, 액막식 열교환기, 코일식 열교환기, 판형 열교환기 등이 있다.

[0005] 다관식 열교환기는 금속관을 다수 늘어놓아 관외와 관내(관측)에 흐르는 두 유체 사이에서 열교환을 하는 것으로, 열전달 계수를 크게 하기 위해서 몸통측 유체를 관에 직각 방향으로 닿도록 몸통 유로에 나선상의 방해판을 설치한 것이 있으며, 또 같은 목적을 위해서 몸통측이나 관측의 유로를 열교환기 내에서 몇 번 왕복시키도록 다회로로 한 것도 많다. 또한 관과 몸통과의 온도차에 의한 신축은 무리없이 흡수할 수 있는 구조로 되어 있다.

[0006] 이와 같은 다관식 열교환기는 폭넓은 범위의 열전달량을 얻을 수 있으므로 적용범위가 매우 넓고 신뢰성과 효율이 높다. 이중관식 열교환기는 2중관의 내관과, 내관과 외관 사이 고리 부분에 흐르는 온도가 다른 두 유체 사이에서 열교환을 하는 것이다. 따라서 배관 계통에 부속시키는 것이 간단하고 널리 사용된다. 전열 면적을 증가시키기 위해 직렬 또는 병렬로 같은 치수의 것을 쉽게 연결시킬 수 있다.

[0007] 액막식 열교환기는 직렬로 연결한 몇 단인가의 수평 관군의 상부에서 찬 물을 부어 관 표면상을 박막상으로 흘러 떨어지는 냉각수에 의해 관내 유체를 냉각하는 것이다. 이와 같은 액막식 열교환기는 구조가 간단하고 정밀가공을 필요로 하지 않으며 화학공업 전반에 사용되고 있다.

[0008] 코일식 열교환기는 통 안의 액을 가열 또는 냉각하는 경우, 통 안에 담근 사관에 의해 열교환을 하는 것으로, 구조가 간단하고 저렴하기 때문에 많이 사용되고 있다.

[0009] 다음으로, 판형 열교환기는 최근에 많이 사용되는 열교환기로 다수의 평판을 일정한 간격으로 세워놓고 한칸씩 건너서 각각의 유체를 통과시켜 열교환을 하는 형식이며, 고난류 유동에 의한 열교환 효율향상, 경량화, 높은사용 압력, 동결에 의한 저항성이 높다.

[0010] 이와 같은 판형 열교환기는 온도가 서로 다른 매체를 근접시켜 매체 열을 서로 나누어 가지도록 하는 것이다. 즉, 판형 열교환기는 전열판을 이용하여 열교환이 이루어지게 만든 구조이다. 근접한 전열판 사이로 한쪽 면은 뜨거운 매체를 다른 면은 차가운 매체를 통과시켜 뜨거운 매체의 열이 차가운 매체로 전달되도록 설계되거나, 차가운 매체의 냉기를 뜨거운 매체로 전달되도록 설계되는 것이다.

- [0011] 상기 전열판은 통상적으로 양각 형태의 스테인리스판으로 이루어진다. 또한, 각각의 전열판들은 herringbone pattern 무늬의 방향을 위 아래로 엇갈리게 번갈아 배치함으로써 각 유체가 전열판에 고르게 분배되어 난류를 형성하면서 이동하게 된다.
- [0012] 그러나, 이와 같은 판형 열교환기를 용액열교환기로 사용시 LiBr 수용액의 열물성을 반영하여 사용자의 요구에 맞는 최적의 성능을 갖도록 제작하는 데는 상당한 노력이 필요함에 따라 적절한 전열판의 개수에 따른 판형열교환기의 적정압력을 설정하여 최적의 열효율을 얻을 수 있도록 하는 판형열교환기의 성능 예측을 위한 기술개발이 시급한 실정이다.
- [0013] 본 발명의 배경이 되는 기술로는 대한민국 등록실용신안 제20-0376584호의 판형 열교환기의 열교환판의 구조가 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0015] 본 발명은 상기한 실정을 감안하여 창안된 것으로, 본 발명의 목적은 판형열교환기의 형상정보와 입구조건 등의 상태정보를 기초로 판형열교환기의 최적 설계를 위해 필요한 판의 개수를 산정하여 열교환기의 크기를 예측할 수 있도록 함은 물론 산정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력조건을 도출하여 최적의 판형열교환기의 설계를 가능토록 하는 판형열교환기의 성능 예측 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명은 판형열교환기의 성능 예측을 위한 방법에 있어서, 판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보를 기초로 대수평균온도차(LMTD)기반 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 획득하는 계수획득단계(S10); 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 대류열전달계수 기반 총괄열전달계수(U)를 획득하는 매칭계수연산단계(S20); 상기 계수획득단계(S10)에서 획득된 총괄열전달계수(U_{LMTD})와, 상기 매칭계수연산단계(S20)에서 획득된 총괄열전달계수(U)의 적합여부를 판단하여 판형열교환기의 판의 개수를 산출하는 산출단계(S30); 상기 산출단계(S30)에서 결정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산하는 압력연산단계(S40);를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 계수획득단계(S10)에서 상기 판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보는, 판형열교환기의 저온측 입구온도($T_{w,i}$)와 출구온도($T_{w,o}$), 고온측 입구온도($T_{s,i}$)와 출구온도($T_{s,o}$), 저온측 농도(X_c)와 고온측 농도(X_h), 질량유량($\dot{m}$), 판형열교환기의 판형성데이터인 판의 폭(Width of plate:W), 판의 길이(Length of plate:L), 주름깊이(Corrugation depth:B), 주름피치(Corrugation pitch:P), 판의 두께(Thickness of plate:T) 정보이다.
- [0019] 또한, 상기 계수획득단계(S10)에서는, 판형열교환기의 평균 열전달율(Q_{avg})을 고온 입/출구측에서의 열전달율(Q_s)과 저온 입/출구측에서의 열전달율(Q_w)을 이용한 수학적 식 1에 근거하여 계산하고, 계산된 열전달율(Q_{avg})을 이용한 수학적 식 2에 근거하여 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 획득한다.
- [0020] [수학적 식 1]

[0021]
$$Q_s = \dot{m} c_{p,s} (T_{s,i} - T_{s,o})$$

$$Q_w = \dot{m} c_{p,w} (T_{w,i} - T_{w,o})$$

$$Q_{avg} = \frac{Q_s + Q_w}{2}$$

(여기서, $C_{p,s}$ 와 $C_{p,w}$ 는 저온측과 고온측의 LiBr 수용액 비열을 나타냄.)

[수학식 2]

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{s,i} - T_{w,o}) - (T_{s,o} - T_{w,i})}{\ln \left(\frac{T_{s,i} - T_{w,o}}{T_{s,o} - T_{w,i}} \right)}$$

$$U_{LMTD} = \frac{Q_{avg}}{A_t \Delta T_{LMTD}}$$

(여기서, A_t 는 총 전열면적, ΔT_{LMTD} 는 대수평균온도차임.)

또한, 상기 총 전열면적 A_t 는 수학식 3에 의해 계산한다.

[수학식 3]

$$A_t = \phi (N - 2) L_H L_w$$

(여기서, N : 전열판 개수, L_H : 전열판의 유효길이, L_w : 전열판의 넓이를 의미함.)

또한, 상기 매칭계수연산단계(S20)에서의 상기 총괄열전달계수(U)는, 상기 대류열전달계수(h)를 이용한 수학식 4에 의해 계산한다.

[수학식 4]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{hot}} + \frac{t_{wall}}{k_{wall}} + \frac{1}{h_{cold}}}$$

(여기서, h_{hot} 과, h_{cold} 는 Nu수 상관식으로 계산된 고온측과 저온측 대류열전달계수, t_{wall} 은 전열판의 두께, k_{wall} 은 전열판의 열전도도임.)

또한, 상기 대류열전달계수는, 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 수학식 4에 의해 계산한다.

[0038] [수학식 5]

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_h}$$

[0039]

[0040] (여기서, k 는 유체의 열전도도, D_h 는 판형열교환기 채널의 수력직경임.)

[0041] 또한, 상기 누셀트수(Nusselt number: Nu)는, 쉘브론각도에 따른 수학식 6에 의해 계산한다.

[0042] [수학식 6]

$$Nu = (0.358 - 0.001267 \cdot \theta + 0.1778 \times 10^{-4} \cdot \theta^2) \text{Re}^{\left[0.6355 - 0.1106 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot \theta}{45} - 0.1911\right)\right]} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

[0043]

[0044] 또한, 상기 산출단계(S30)에서는, 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수(U)의 매칭에 의한 결과값에
서 상기 총괄열전달계수(U)가 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD}) 보다 크게 되면 전열판(N)의 개수를 1 추가하
여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하거나 상기 총괄열전달계수(U)가
상기 총괄열전달계수(U_{LMTD}) 보다 작게 되면 전열판(N)의 개수를 1 줄여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총
괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하는 과정을 반복 수행하고, 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전
달계수(U)의 결과값의 차이가 1% 이하로 나오면 반복수행과정을 정지하도록 이루어진다.

[0045] 또한, 상기 압력연산단계(S40)에서는, 수학식 7에 의해 판형열교환기의 압력을 연산한다.

[0046] [수학식 7]

$$f = \frac{\Delta P}{4 \left(\frac{L}{D_h} \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)}$$

[0047]

[0048] (여기서, f 는 마찰계수, ΔP 는 판형열교환기내 압력강하, L 은 판의 길이, D_h 는 수력직경, ρ 는 유체의 밀도, V 는 유체의 속도임.)

발명의 효과

[0050] 본 발명에 따르면 판형열교환기의 형상정보와 입구조건 등의 상태정보를 기초로 판형열교환기의 최적 설계를 위
해 필요한 판의 개수와 압력조건을 도출할 수 있어 고품질의 판형열교환기의 설계가 가능하게 되어 과도한 실험
에 따른 시간과 비용을 경감할 수 있다.

[0051] 본 발명의 다양하면서도 유익한 장점과 효과는 상술한 내용에 한정되지 않으며, 본 발명의 구체적인 실시형태를
설명하는 과정에서 보다 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0053] 도 1은 판형열교환기의 개략적인 상태를 나타낸 상태도,

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법을 나타낸 블록도,

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법을 나타낸 순서도,

도 4는 판형열교환기의 실험데이터와 본 발명에 따른 누셀트수(Nusselt number: Nu) 상관식의 비교를 위한 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0054] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.

[0055] 다만, 본 발명의 기술 사상은 설명되는 일부 실시 예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있고, 본 발명의 기술 사상 범위 내에서라면, 실시 예들간 그 구성 요소들 중 하나 이상을 선택적으로 결합, 치환하여 사용할 수 있다.

[0056] 또한, 본 발명의 실시예에서 사용되는 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는, 명백하게 특별히 정의되어 기술되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 일반적으로 이해될 수 있는 의미로 해석될 수 있으며, 사전에 정의된 용어와 같이 일반적으로 사용되는 용어들은 관련 기술의 문맥상의 의미를 고려하여 그 의미를 해석할 수 있을 것이다.

[0057] 또한, 본 발명의 실시예에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다.

[0058] 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함할 수 있고, “A 및(와) B, C 중 적어도 하나(또는 한 개 이상)”로 기재되는 경우 A, B, C로 조합할 수 있는 모든 조합 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0059] 또한, 본 발명의 실시 예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제1, 제2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다.

[0060] 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등으로 한정되지 않는다.

[0061] 그리고, 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 ‘연결’, ‘결합’ 또는 ‘접속’ 된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결, 결합 또는 접속되는 경우뿐만 아니라, 그 구성 요소와 그 다른 구성 요소 사이에 있는 또 다른 구성 요소로 인해 ‘연결’, ‘결합’ 또는 ‘접속’ 되는 경우도 포함할 수 있다.

[0062] 또한, 각 구성 요소의 “상(위) 또는 하(아래)”에 형성 또는 배치되는 것으로 기재되는 경우, 상(위) 또는 하(아래)는 두 개의 구성 요소들이 서로 직접 접촉되는 경우뿐만 아니라 하나 이상의 또 다른 구성 요소가 두 개의 구성 요소들 사이에 형성 또는 배치되는 경우도 포함한다. 또한, “상(위) 또는 하(아래)”으로 표현되는 경우 하나의 구성 요소를 기준으로 위쪽 방향뿐만 아니라 아래쪽 방향의 의미도 포함할 수 있다.

[0063] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0064] 도 1은 판형열교환기의 개략적인 상태를 나타낸 상태도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법을 나타낸 블록도이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법을 나타낸 순서도이고, 도 4는 판형열교환기의 실험데이터와 본 발명에 따른 누셀트수(Nusselt number: Nu) 상관식의 비교를 위한 그래프이다.

[0065] 상기 도 1 내지 도 4에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법은 판형열교환기의 성능 예측을 위한 방법에 있어서, 판형열교환기의 상태정보를 기초로 대수평균온도차(LMTD)기반 총괄열전달계수

(U_{LMTD})를 획득하는 계수획득단계(S10)와, 대류열전달계수 기반 총괄열전달계수(U)를 획득하는 매칭계수

연산단계(S20)와, 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수(U)의 일치 여부를 통해 판형열교환기의 최적 판의 개수를 산출하는 산출단계(S30) 및 판형열교환기의 압력을 연산하는 압력연산단계(S40)를 포함하여 이루어진다.

[0066] 즉, 본 발명에 따른 판형열교환기의 성능 예측방법은 판형열교환기의 형상정보와 입구조건 등의 상태정보를 기초로 판형열교환기의 최적 설계를 위해 필요한 판의 개수를 산정하여 열교환기의 크기를 예측할 수 있도록 하고, 산정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력조건을 도출하여 최적의 판형열교환기의 설계를 가능토록 하는 것이다.

[0067] 이를 위한 본 발명의 판형열교환기의 성능 예측 방법에 대한 일 실시예를 살펴보면, 상기 계수획득단계(S10)는 판형열교환기의 성능에 영향을 미치는 상태정보를 기초로 대수평균온도차(LMTD)기반 총괄연전달계수 (U_{LMTD})를 획득하는 단계로, 상기 상태정보는 판형열교환기의 입구와 출구에서 사용자가 원하는 성능을 설정해주는 인자들로 이루어질 수 있을 것이다.

[0068] 즉, 상기 상태정보는, 판형열교환기의 저온측 입구온도($T_{w,i}$)와 출구온도($T_{w,o}$), 고온측 입구온도($T_{s,i}$)와 출구온도($T_{s,o}$), 저온측 농도(X_c)와 고온측 농도(X_h), 질량유량($\dot{m}$), 판형열교환기의 판형성데이터인 판의 폭(Width of plate:W), 판의 길이(Length of plate:L), 주름깊이(Corrugation depth:B), 주름피치(Corrugation pitch:P), 판의 두께(Thickness of plate:T)와 같은 정보일 수 있을 것이다.

[0069] 또한, 상기 계수획득단계(S10)에서의 총괄연전달계수(U_{LMTD})는 판형열교환기의 평균 열전달율(Q_{avg})을 고온 입/출구측에서의 열전달율(Q_s)과 저온 입/출구측에서의 열전달율(Q_w)을 이용한 수학적 식 1에 근거하여 계산하고, 계산된 열전달율(Q_{avg})을 이용한 수학적 식 2에 근거하여 획득한다.

수학적 식 1

$$Q_s = \dot{m} c_{p,s} (T_{s,i} - T_{s,o})$$

[0070]

$$Q_w = \dot{m} c_{p,w} (T_{w,i} - T_{w,o})$$

[0071]

$$Q_{avg} = \frac{Q_s + Q_w}{2}$$

[0072]

[0073] (여기서, $c_{p,s}$: 저온측 LiBr 수용액의 비열, $c_{p,w}$: 고온측 LiBr 수용액의 비열 나타냄.)

수학적 식 2

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{s,i} - T_{w,o}) - (T_{s,o} - T_{w,i})}{\ln \left(\frac{T_{s,i} - T_{w,o}}{T_{s,o} - T_{w,i}} \right)}$$

[0075]

$$U_{LMTD} = \frac{Q_{avg}}{A_s \Delta T_{LMTD}}$$

[0076]

(여기서, A_i 는 총 전열면적, ΔT_{LMTD} 는 대수평균온도차임.)

또한, 각 단계에서 사용되는 주요 LiBr 수용액의 물성치 수식은 이하와 같다.

밀도 $\rho_{\text{librh2o}}(T, x)$

$$\rho(T, x) = (1-x)\rho'(T) + \rho_c \sum_{i=1}^2 a_i x^{m_i} \left(\frac{T}{T_c} \right)^{t_i}$$

i	m_i	t_i	a_i
1	1	0	1.746
2	1	6	4.709

$T_c = 647.096 \text{ K}$; $\rho_c = 17,873 \text{ mol m}^{-3}$; RMS=0.44%.

비열 $c_{p,\text{librh2o}}(T, x)$

$$c_p(T, x) = (1-x)c_p'(T) + c_{p,i} \sum_{i=1}^8 a_i x^{m_i} (0.4-x)^{n_i} \left(\frac{T_c}{T-T_0} \right)^{t_i}$$

i	m_i	n_i	t_i	a_i
1	2	0	0	-1.42094×10^1
2	3	0	0	4.04943×10^1
3	3	1	0	1.11135×10^2
4	3	2	0	2.29980×10^2
5	3	3	0	1.34526×10^3
6	2	0	2	-1.41010×10^{-2}
7	1	3	3	1.24977×10^{-2}
8	1	2	4	-6.83209×10^{-4}

$c_{p,i} = 76.0226 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $T_c = 647.096 \text{ K}$; $T_0 = 221 \text{ K}$; RMS = 0.98%.

열전도도 $\text{cond}_{\text{librh2o}}(T, x)$

$$k = A_0 + A_1 X + B_0 T + B_1 T X + C_0 T^2 + C_1 T^2 X + D_0 T^3 + D_1 T^3 X$$

where $k = \text{W/m-K}$, $T = \text{K}$ & $X = \text{mass fraction LiBr}$

$$\begin{aligned} A_0 &= -0.880453887702949 & A_1 &= 0.883985046484968 \\ B_0 &= 0.00898659269884302 & B_1 &= -0.007666522227789178 \\ C_0 &= -1.55427759660091E-05 & C_1 &= 1.38873506415764E-05 \\ D_0 &= 7.3203107999836E-09 & D_1 &= -6.31953452062666E-09 \end{aligned}$$

[0090] 점도 $\text{visc_librh2o}(T,x)$

$$\ln \mu = A_0 + A_1 X^2 + \frac{B_0}{T} + \frac{B_1 X^2}{T} + \frac{C_0}{T^2} + \frac{C_1 X^2}{T^2}$$

where the units are μ (cP), T (K), X (mass fraction LiBr) and the constants are

$$\begin{aligned} A_0 &= -2.3212641667148 & A_1 &= 3.190587778753 \\ B_0 &= -609.44957160372 & B_1 &= 963.16370163469 \\ C_0 &= 372994.85578423 & C_1 &= -35211.99698739 \end{aligned}$$

[0091]

[0092] 또한, 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})의 획득을 위해 사용되는 총 전열면적은 A_t 는 수학식 3에 의해 계산된다.

수학식 3

[0093]

$$A_t = \phi(N-2)L_H L_w$$

[0094]

(여기서, N : 전열관 개수, L_H : 전열관의 유효길이, L_w : 전열관의 넓이를 의미함.)

[0095]

또한, 상기 매칭계수연산단계(S20)는 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 대류열전달계수에 의해 총괄열전달계수를 획득하는 단계로, 상기 매칭계수연산단계(S20)에서의 상기 총괄열전달계수(U)를 구하는 실험식은 상기 대류열전달계수를 이용한 수학식 4로 표현된다.

수학식 4

[0096]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{hot}} + \frac{t_{wall}}{k_{wall}} + \frac{1}{h_{cold}}}$$

[0097]

(여기서, h_{hot} 과, h_{cold} 는 Nu수 상관식으로 계산된 고온측과 저온측 대류열전달계수, t_{wall} 은 전열관의 두께, k_{wall} 은 전열관의 열전도도임.)

[0098]

여기서, 상기 대류열전달계수는, 누셀트수(Nusselt number: Nu)를 적용한 수학식 4에 의해 계산된다.

수학식 5

[0099]

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_h}$$

[0100]

(여기서, k 는 유체의 열전도도, D_h 는 판형열교환기 채널의 수력직격임.)

[0101] 이때, 상기 판형열교환기 채널의 수력직격 D_h 는 아래 수학적 식 8로 정의된다.

수학적 식 8

$$D_h = 2b/\Phi$$

[0103]

[0104] b 는 전열판 골 깊이(Corrugation depth), Φ 는 확장인자(전개면적/투영면적)이다.

[0105] 또한, 상기 누셀트수(Nusselt number: Nu)는 쉘브론각도에 따른 아래 수학적 식 6에 의해 계산된다.

수학적 식 6

$$Nu = (0.358 - 0.001267 \cdot \theta + 0.1778 \times 10^{-4} \cdot \theta^2) \text{Re}^{\left[\frac{0.6355 - 0.1106 \sin\left(\frac{\pi \cdot \theta}{45} - 0.1911\right)}{1} \right]} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

[0107]

[0108] 여기서, 상기 누셀트수(Nusselt number: Nu) 상관식을 검증하기 위해서 도 4에 나타난 바와 같이 쉘브론각도가 60° 와 30° 인 판형열교환기로 실험을 통해 얻어진 값과 비교를 수행하였다.

[0109] 이에 대해 살펴보면 도 4에 나타난 기호■는 쉘브론 각도가 60° 인 판형열교환기의 실험으로 얻어진 값이고, 기호□는 쉘브론 각도가 30° 인 판형열교환기의 실험으로 얻어진 값이다.

[0110] 또한, 검정색 점선은 상기 수학적 식 6에서 쉘브론 각도가 60° 와 30° 에 따른 Nu 수 값이고, 파랑색 점선은 상관식 대비 -10% 오차이며, 붉은색 점선은 상관식 대비 +10%오차를 나타낸 것이다.

[0111] 이와 같이 상기 수학적 식 6의 상관식은 10% 범위 내에 실험으로 얻어진 Nu 수 값이 포함되는 것을 확인할 수 있다.

[0112] 또한, 상기 산출단계(S30)는 상기 계수획득단계(S10)에서 획득된 총괄열전달계수(U_{LMTD})와, 상기 매칭계수 연산단계(S20)에서 획득된 총괄열전달계수(U)의 적합여부를 판단하여 판형열교환기의 판의 개수를 산출한다.

[0113] 즉, 상기 산출단계(S30)에서는, 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수(U)의 매칭에 의한 결과값에서 상기 총괄열전달계수(U)가 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD}) 보다 크게 되면 전열판(N)의 개수를 1 추가하여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하거나 상기 총괄열전달계수(U)가 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD}) 보다 작게 되면 전열판(N)의 개수를 1 줄여 상기 계수획득단계(S10)를 통해 총괄열전달계수(U_{LMTD})를 다시 획득하는 과정을 반복 수행하고, 상기 총괄열전달계수(U_{LMTD})와 총괄열전달계수(U)의 결과값의 차이가 1% 이하로 나오면 반복수행과정을 정지하도록 이루어지는 것이다.

[0114] 이때, 사용된 전열판의 개수가 판형열교환기의 상태정보에 최적부합된 판형열교환기의 사이즈로 결정될 수 있다.

[0115] 또한, 상기 압력연산단계(S40)는 상기 산출단계(S30)에서 결정된 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산하는 것으로, 상기 압력연산단계(S40)에서는 아래 수학적 식 7에 의해 상기 산출단계(S30)에서 산출된 판의 개수

에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산하게 된다.

수학식 7

$$f = \frac{\Delta P}{4 \left(\frac{L}{D_h} \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)}$$

[0116]

[0117]

(여기서, f 는 마찰계수, ΔP 는 판형열교환기내 압력강하, L 은 판의 길이, D_h 는 수력직경, ρ 는 유체의 밀도, V 는 유체의 속도임.)

[0118]

상기 압력연산단계(S40)에서 판의 개수에 대응한 판형열교환기의 압력을 연산한 후에는, 판형열교환기의 설계결과물을 출력하여 본 발명에 따른 판형열교환기의 성능 예측방법을 종료한다.

[0119]

이와 같이 본 발명에 따른 판형열교환기의 성능 예측 방법을 통해서 사용자가 원하는 성능에 따른 인자인 상태 정보를 통해 판형열교환기의 최적설계를 위한 최적의 판의 개수와 그에 따른 압력조건을 도출할 수 있게 된다.

[0120]

이상에서 설명된 본 발명의 성능 예측방법은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0121]

소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embodiment)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

[0122]

실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

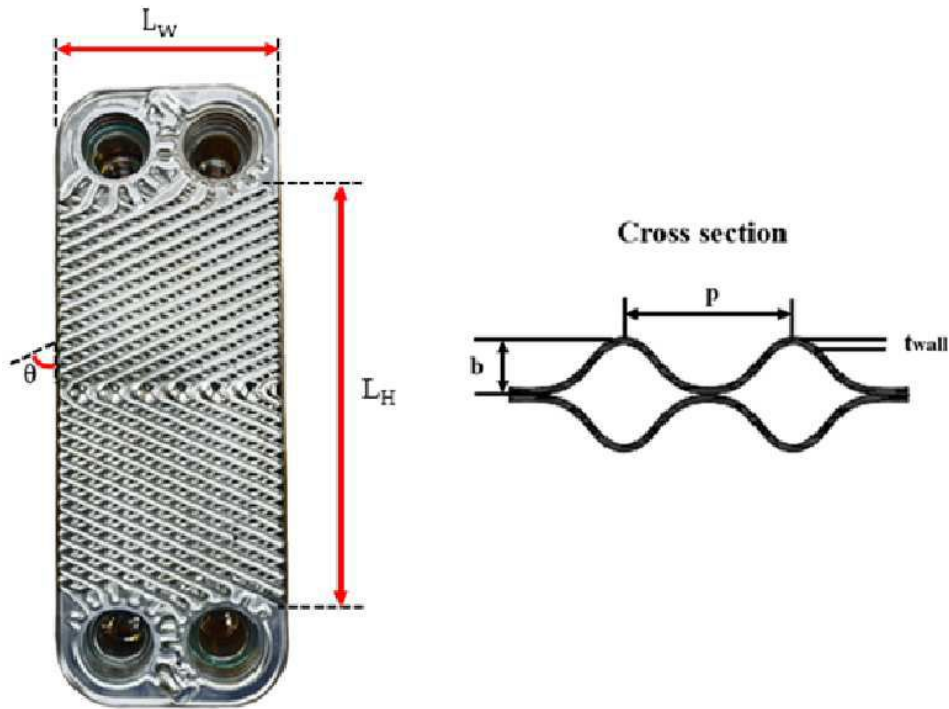
[0123]

이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기

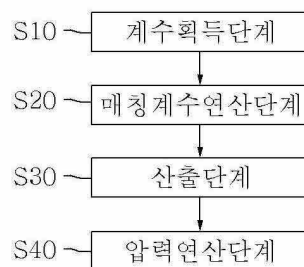
위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

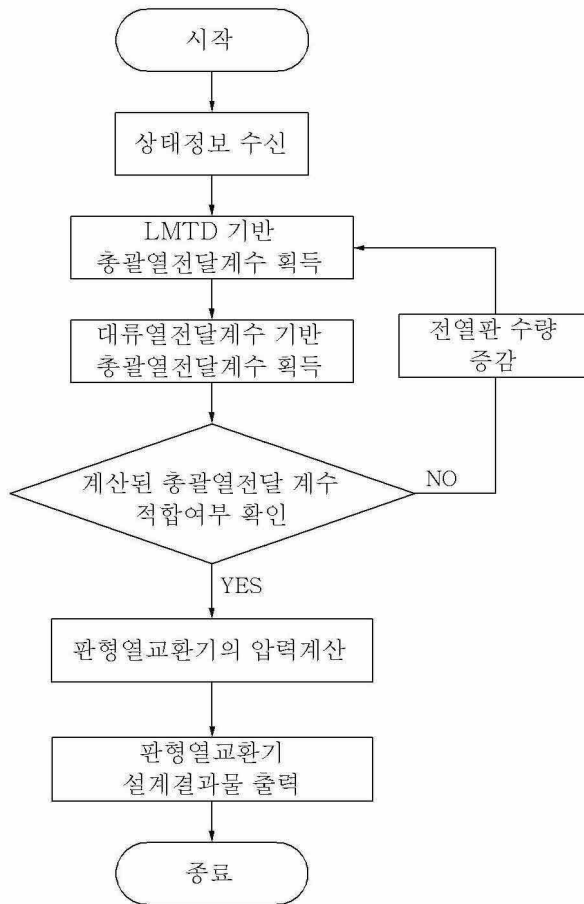
도면1



도면2



도면3



도면4

