



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월15일
(11) 등록번호 10-2420912
(24) 등록일자 2022년07월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F24S 10/75 (2018.01) F24S 10/55 (2018.01)
F24S 80/00 (2018.01) F28F 13/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F24S 10/75 (2018.05)
F24S 10/55 (2018.05)
(21) 출원번호 10-2021-0014793
(22) 출원일자 2021년02월02일
심사청구일자 2021년02월02일
(56) 선행기술조사문헌
KR101782433 B1*
KR1020100083102 A*
KR1020110108675 A
KR1020190128105 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김광용
서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12, 105동 701호(방배동, 래미안방배아트힐)
안승용
경기도 오산시 오산로300번길 34, 206호(오산동, 동아연립)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 유태영

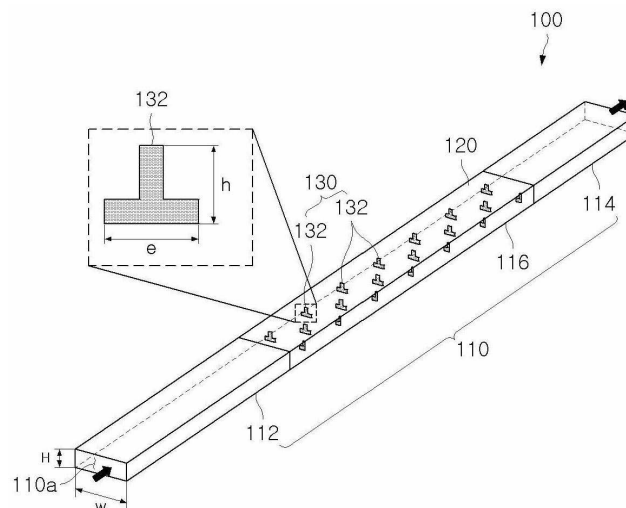
(54) 발명의 명칭 태양열 공기 가열기

(57) 요약

본 발명은 내부에는 사각형상의 유로가 길이방향으로 구비되는 본체; 상기 본체의 상부에 구비되며, 태양열을 이용하여 상기 본체의 유로로 이동하는 공기를 가열하는 집열판; 및 상기 본체의 내부에 구비되며, 열전달 면적을 확대시키고 열전달율을 증대시키는 T자 형상을 가지는 복수개의 리브로 이루어지는 장애물을 포함하는 태양열 공기 가열기를 제공한다.

따라서, 난류유동부에 T자형상을 가지는 복수개의 리브를 엇갈리게 배치한 후 다른 형상인 삼각형상을 가지는 리브가 설치된 태양열 공기 가열기와 RANS 해석을 수행 후 열전달 및 압력강하에 미치는 영향을 비교 시, T자형 리브가 설치 시 레이놀즈 수가 10,000 이하인 영역에서 삼각형 리브에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F28F 13/12 (2013.01)

F24S 2010/751 (2018.05)

F24S 2080/05 (2018.05)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

일단으로는 공기가 유입되고, 타단으로는 상기 공기가 배출되며, 내부에는 상기 공기가 이동하는 사각형상의 유로가 길이방향으로 구비되는 본체; 및

동, 알루미늄, 스테인레스 스틸 중 선택된 하나 이상의 금속으로 이루어지고, 상기 본체의 상부에 구비되며, 태양열을 이용하여 상기 본체의 유로로 이동하는 공기를 가열하는 집열판; 을 포함하고,

상기 본체는,

T자 형상을 가지며, 내측의 상부면에 배치되며 수평한 부분이 하방으로 서로 엇갈리게 배치되어, 상기 집열판에서 상기 공기로의 열전달 면적을 확대시키고 열전달율을 증대시키는 복수개의 리브로 이루어지는 장애물이 구비되어, 상기 유로를 이동하는 상기 공기에 난류유동을 발생시키는 난류유동부를 포함하는 태양열 공기 가열기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 리브의 높이(h)와 상기 유로의 높이(H)의 비율(h/H)은 0.3 내지 0.7인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 리브의 폭(e)과 상기 유로의 폭(W)의 비율(e/W)은 0.067 내지 0.133인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 리브의 폭(e)과 상기 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.08과 0.09 사이에서 성능계수(PF)가 최대인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 리브의 높이(h)와 상기 리브의 폭(e)의 비율(h/e)은 0.38 내지 1.75인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 리브의 높이(h)와 상기 리브의 폭(e)의 비율(h/e)이 0.83일 때 성능계수(PF)가 최대인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 본체는 직사각형상을 가지며,

상기 본체는,

상기 난류유동부의 일단에 배치되며 상기 난류유동부의 내부로 이동되는 공기가 유입되는 공기유입부와,

상기 공기유입부와 대응되게 상기 난류유동부의 타단에 배치되며 상기 난류유동부의 내부로 이동된 공기가 배출되는 공기배출부를 더 포함하는 태양열 공기 가열기.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 유로의 높이(H)는 145 내지 155mm이고,

상기 유로의 폭(W)는 295 내지 305mm인 것을 특징으로 하는 태양열 공기 가열기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 태양열 공기 가열기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 태양열을 이용하여 난류유동을 발생시키는 장애물이 구비되는 유로로 이동되는 공기를 가열하는 태양열 공기 가열기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 화석 연료 사용으로 인한 환경오염 문제가 대두되면서 신재생 에너지원으로 태양열 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 태양열 공기 가열기(SAH)는 태양 에너지를 이용하여 흡수관 위로 흐르는 공기를 가열하는 장치이다. 이 장치는 공간 난방, 농산물의 건조 및 산업 제품의 탈수에 사용된다.

[0003] 공기 밀도가 액체의 밀도 보다 매우 작기 때문에 태양열 공기 가열기(SAH)는 액체 태양열 가열기에 비해 열전달율이 낮다는 단점이 있다. 태양열 공기 가열기(SAH)의 열전달 성능은 유속, 히터의 길이 및 깊이, 흡열판의 모양 등 다양한 요소에 의해 결정된다. 흡열판의 형상계수(absorber shape factor)인 실제 흡열판의 영역과 태양 복사열 흡수 영역의 비율은 태양열 가열기 설계 및 열전달 성능에 영향을 미치는 중요 변수로 작용한다.

[0004] 흡열판에 부착된 장애물은 일반적으로 열전달 면적을 확대하고 난류강도를 높여 열전달을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 그러나 흡열판에 부착된 장애물의 면적이 증가함에 따라 태양열 공기 가열기(SAH)를 통해 압력 강하도 증가한다. 따라서 압력 강하를 최소화하면서 열전달을 증가시켜 전체 열전달 성능을 향상시키기 위하여 장애물의 모양에 대해 많은 연구가 수행되고 있는 실정이다.

[0005] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-2169394호(2020.10.19.)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기와 같은 실정에 부합하기 위해 창출된 것으로서, 본체의 유로로 이동되는 공기와의 열전달을 강화할 수 있는 T자형상을 가지는 복수개의 리브를 본체의 유로의 상부면에 엇갈리게 배치함으로써 가열기의 종합 열전달 성능을 향상시켜 환경에 대한 열손실을 감소하며 집열효과를 향상시킬 수 있는 태양열 공기 가열기를 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 내부에는 사각형상의 유로가 길이방향으로 구비되는 본체; 상

기 본체의 상부에 구비되며, 태양열을 이용하여 상기 본체의 유로로 이동하는 공기를 가열하는 집열판; 및 상기 본체의 내부에 구비되며, 열전달 면적을 확대시키고 열전달율을 증대시키는 T자 형상을 가지는 복수개의 리브로 이루어지는 장애물을 포함하는 태양열 공기 가열기를 제공한다.

- [0008] 본 발명에 따른 태양열 공기 가열기에 있어서, 상기 리브의 높이(h)와 상기 유로의 높이(H)의 비율(h/H)은 0.3 내지 0.7일 수 있다.
- [0009] 상기 리브의 폭(e)과 상기 유로의 폭(W)의 비율(e/W)은 0.067 내지 0.133일 수 있고, 상기 리브의 폭(e)과 상기 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.08과 0.09 사이에서 성능계수(PF)가 최대일 수 있다.
- [0010] 상기 리브의 높이(h)와 상기 리브의 폭(e)의 비율(h/e)은 0.38 내지 1.75일 수 있으며, 상기 리브의 높이(h)와 상기 리브의 폭(e)의 비율(h/e)이 0.83일 때 성능계수(PF)가 최대일 수 있다.
- [0011] 상기 본체는 직사각형상을 가질 수 있으며, 상기 본체는 상기 본체의 일단에 배치되며 상기 본체의 내부로 이동되는 공기가 유입되는 공기유입부와, 상기 공기유입부와 대응되게 상기 본체의 타단에 배치되며 상기 본체의 내부로 이동된 공기가 배출되는 공기배출부와, 상기 공기유입부와 상기 공기배출부 사이에 위치하고 상부면에는 상기 장애물이 구비되어 상기 본체의 내부로 이동하는 공기에 난류유동을 발생시키는 난류유동부를 포함할 수 있고, 상기 난류유동부의 상부면에는 상기 장애물인 복수개의 리브가 서로 엇갈리게 배치될 수 있다.
- [0012] 상기 유로의 높이(H)는 145 내지 155mm일 수 있고, 상기 유로의 폭(W)는 295 내지 305mm일 수 있다.

발명의 효과

- [0013] 본 발명에 따른 태양열 공기 가열기는 난류유동부에 T자형상을 가지는 복수개의 리브를 엇갈리게 배치한 후 다른 형상인 삼각형상을 가지는 리브가 설치된 태양열 공기 가열기와 레이놀즈 수 해석을 수행 후 열전달 및 압력 강하에 미치는 영향을 비교 시, T자형 리브가 설치 시 레이놀즈 수가 10,000 이하인 영역에서 삼각형 리브에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 본 발명에 따른 태양열 공기 가열기를 도시한 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 도시된 난류유동부를 개략적으로 도시한 정면도이다.
- 도 3은 도 1에 도시된 난류유동부를 개략적으로 도시한 측면도이다.
- 도 4는 도 1에 도시된 난류유동부를 개략적으로 도시한 평면도이다.
- 도 5는 도 1에 도시된 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.1일 때, 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)에 따른 열전달에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 6은 도 1에 도시된 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.1일 때, 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)에 따른 압력강하에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 7은 도 1에 도시된 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.1일 때, 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)에 따른 성능계수의 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 8은 도 1에 도시된 5번째와 7번째 리브 사이의 대칭 평면에서 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)의 변화에 따른 유선 분포를 도시한 도면이다.
- 도 9는 다른 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H) 시에 동일한 열전달면에서의 온도분포를 도시한 도면이다.
- 도 10은 도 1에 도시된 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)이 0.5일 때, 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)에 따른 열전달에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 11은 도 1에 도시된 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)이 0.5일 때, 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)에 따른 압력강하에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.
- 도 12는 도 1에 도시된 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)이 0.5일 때, 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)에 따른 성능계수의 변화를 도시한 그래프이다.

도 13은 도 1에 도시된 5번째와 7번째 리브 사이의 대칭 평면에서 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)의 변화에 따른 유선 분포를 도시한 도면이다.

도 14는 다른 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W) 시에 동일한 열전달면에서의 온도분포를 도시한 도면이다.

도 15는 도 1에 도시된 리브의 면적이 375mm²일 때, 리브의 높이(h)와 리브의 폭(e)의 비율(h/e)에 따른 열전달에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.

도 16은 도 1에 도시된 리브의 면적이 375mm²일 때, 리브의 높이(h)와 리브의 폭(e)의 비율(h/e)에 따른 압력강하에 대한 성능의 변화를 도시한 그래프이다.

도 17은 도 1에 도시된 리브의 면적이 375mm²일 때, 리브의 높이(h)와 리브의 폭(e)의 비율(h/e)에 따른 성능계수의 변화를 도시한 그래프이다.

도 18은 도 1에 도시된 5번째와 7번째 리브 사이의 대칭 평면에서 리브의 높이(h)와 리브의 폭(e)의 비율(h/e)의 변화에 따른 유선 분포를 도시한 도면이다.

도 19 및 도 20는 도 1의 난류유동부에 T자형 리브와 삼각형 리브가 설치 시 레이놀즈수에 따른 성능매개 변수의 변화를 도시한 그래프이다.

도 21은 난류유동부에 장애물이 부착되지 않은 때까한 유로에서의 누셀트수와 마찰계수에 관한 관계식으로부터 계산된 값을 수치해석의 결과를 레이놀즈 수에 따라 비교한 그래프이다.

도 22는 Bekele 등이 수행한 실험과 동일한 경계조건에서 삼각형 장애물이 장착된 태양열 공기 가열기에 대한 실험 결과와 수치해석 결과를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0016] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 태양열 공기 가열기(100)는 태양열을 이용하여 유로로 이동되는 공기를 가열하는 것으로, 본체(110)와, 집열관(120)과, 장애물(130)을 포함한다.
- [0017] 상기 본체(110)는 직사각형상을 가지고, 내부에는 상기 본체(110)를 길이방향으로 관통하는 사각형상의 유로(110a)가 형성되며, 공기유입부(112)와, 공기배출부(114)와, 난류유동부(116)를 포함한다.
- [0018] 상기 공기유입부(112)는 본체(110)의 일단에 배치되며, 상기 공기유동부(112)로는 상기 본체(110)의 내부로 이동되는 공기가 유입된다. 상기 공기배출부(114)는 상기 공기유입부(112)와 대응되게 상기 본체(110)의 타단에 배치되며, 상기 본체(110)의 내부를 관통하여 이동된 공기가 배출되고, 상기 공기유입부(112)와 상기 공기배출부(114) 사이에는 난류유동부(116)가 위치한다. 상기 난류유동부(116)의 상부면에는 상기 본체(110)의 내부로 이동되는 공기에 난류유동을 발생시키는 장애물(130)이 구비되며, 상기 장애물(130)은 T자 형상을 가지는 복수개의 리브(132)로 이루어진다.
- [0019] 상기 본체(110)의 상부에는 집열관(120)이 구비되며, 상기 집열관(120)은 태양열을 이용하여 상기 유로(110a)를 통해 상기 본체(110)의 일단에서 타단으로 이동하는 공기를 가열하는 역할을 한다.
- [0020] 상기 본체(110)의 유로(110a)로 이동되는 공기는 상기 집열관(120)에 의해 가열되고, 상기 유로(110a)로 이동되는 공기는 상기 난류유동부(116)의 상부면에 장착되는 장애물(130)에 의해 열전달 면적이 확대되고 열전달율이 증대되게 된다.
- [0021] 상기 본체(110)는 상기 집열관(120)이 구비되는 상부면을 제외한 둘레면에는 보온단열층(미도시)을 설치하여 열손실을 줄이는 것이 바람직하며, 상기 집열관(120)은 동이나 알루미늄 등 스테인레스스틸과 같은 금속으로 제작되는 것이 바람직하다.
- [0022] 상기 본체(110)의 공기유입부(112)로 유입된 공기를 상기 본체(110)의 길이방향으로 흐르면서 상기 집열관(120)에 의해 가열되고, 가열되어 온도가 상승한 공기는 공기배출부(114)로 흘러나가며, 상기 난류유동부(116)에

설치되는 장애물(130)은 공기를 교란하여 유동의 난류도(turbulence intensity)를 제공하는 동시에 와류를 생성시켜 상기 본체(110)의 유로(110a) 내의 유체의 혼합을 촉진함으로써 열전달을 향상시키게 된다.

[0023] 도 2 내지 도 4를 참조하면, 상기 난류유동부(116)에는 장애물(130)인 복수개의 T자 형상을 가지는 리브(132)가 상부면에 설치되며, T자 형상을 가지는 복수개의 리브(132)는 상기 난류유동부(116)의 상부면에 서로 엇갈리게 배치되는 것이 바람직하다.

[0024] 상기 난류유동부(116)에 설치되는 복수개의 리브(132) 중 첫번째 리브(132)는 상기 난류유동부(116)의 입구에서 출구측으로 70~75mm 이격되는 것이 바람직하며, 상기 난류유동부(116)의 전체 길이는 1150~1250mm이고, 상기 난류유동부(116)에 복수개의 리브(132)가 13열로 엇갈리게 배치됨으로써 상기 유로(110a)로 이동하는 공기에 난류유동을 발생시키게 된다.

[0025] 도 1을 참조하면, 상기 리브(132)의 높이(h)와 상기 유로(110a)의 높이(H)의 비율(h/H)은 0.3 내지 0.7이고, 상기 리브(132)의 폭(e)과 상기 유로(110a)의 폭(W)의 비율(e/W)은 0.067 내지 0.133이며, 상기 리브(132)의 높이(h)와 상기 리브(132)의 폭(e)의 비(h/e)는 0.38 내지 1.75인 것이 바람직하다.

[0026] 상기 난류유동부(116)에 설치되는 리브(132)의 형상변화가 열전달 성능 및 압력강화에 미치는 영향을 평가하기 위해 세 가지 성능 변수가 정의되며, 열전달과 관련된 성능 변수는 다음과 같이 정의된다.

수학식 1

$$F_{N_u} = \frac{N_{u_0}}{N_{u_s}}$$

[0027]

[0028] 여기서, N_{u_0} 는 열전달 표면의 면적 평균 누셀트(Nusselt) 수이다.

수학식 2

$$N_{u_0} = \frac{q_o D_h}{k_a (T_p - T_s)}$$

[0029]

[0030] 여기서 T_p 는 장애물을 포함한 흡열판 표면의 평균 온도, T_s 는 흐르는 공기의 평균온도를 의미한다. k_a 는 유체의 열전도도, q_o 는 열흡수판의 열유속, D_h 는 유로의 수력학적직경이다. N_{u_s} 는 장애물이 없는 유로에서 완전히 발달된 흐름에 대한 누셀트(Nusselt) 수이며 다음 Dittus-Boelter 방정식에서 정의된다.

수학식 3

$$N_{u_s} = 0.024 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

[0031]

[0032] 여기서 레이놀즈수 Re 는 수력학적 지름을 사용하여 정의되고 Pr 은 프란틀(Prandtl) 수를 나타낸다.

[0033] 압력 강화와 관련된 성능 매개 변수의 정의는 다음과 같다.

수학식 4

$$F_f = \left(\frac{f_o}{f_s} \right)^{1/3}$$

[0034]

[0035] 여기서 f_o 는 장애물이 있는 유로의 마찰계수이다.

수학식 5

$$f_o = \frac{2(\Delta P)D_h}{4\rho L U^2}$$

[0036]

[0037] 여기서 ΔP 는 난류유동부의 압력 강하, ρ 는 작동유체의 밀도, U 는 유동의 평균속도, L 은 난류유동부 유로의 길이이다. f_s 는 매끄러운 유로에서 완전히 발달한 흐름의 마찰계수로서, 다음과 같은 Modified Blasius 방정식으로 정의된다.

수학식 6

$$f_s = 0.085Re^{-0.25}$$

[0038]

[0039] 열전달 성능과 압력강하를 동시에 고려한 태양열 공기 가열기의 성능을 평가하기 위한 성능계수 PF(Performance factor)는 다음과 같이 정의된다.

수학식 7

$$PF = \frac{F_{N_u}}{F_f}$$

[0040]

[0041] 도 21을 참조하면, 수치 해석의 타당성을 입증하기 위하여 난류유동부(116)에 장애물(130)이 부착되지 않은 매끈한 유로(110a)에서의 누셀트수(N_{u_o})와 마찰계수(f_o)에 관한 관계식으로부터 계산된 값을 수치해석의 결과를 레이놀즈 수에 따라 비교하였다. 전반적으로 수치해석 결과는 관계식으로 계산된 값과 잘 일치하고 있고 레이놀즈 수가 증가할수록 관계식으로 계산된 값과 비교해 오차가 감소하는 경향을 보이고 있다. 테스트된 레이놀즈 수의 범위 내에서 누셀트(Nusselt) 수의 평균 상대 오차는 3.29% 미만이며, 마찰계수의 경우에는 2.71% 미만이다.

[0042] 도 22를 참조하면, 추가적으로 Bekele 등이 수행한 실험과 동일한 경계조건에서 삼각형 장애물이 장착된 태양열 공기 가열기에 대한 실험 결과와 수치해석 결과를 비교하였다. 이 경우에도 수치해석 결과는 실험 결과와 잘 일치하고 있다. 누셀트(Nusselt) 수(N_{u_o})에 대한 두 결과에서 레이놀즈 수에 따른 기울기는 정확히 일치하고 있으나 정량적으로는 장애물이 없는 경우에 비해 다소 차이를 보이고 있다. 테스트된 레이놀즈 수 범위 내에서 계산된 누셀트 수의 평균 상대 오차는 4.43% 미만이며, 마찰계수의 경우에는 1.94% 미만으로 수치해석 결과는 실험값과 매우 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

[0043] 도 5 내지 도 9를 참조하면, 유로(110a)의 높이(H)에 대한 T자형 리브(132)의 높이(h)의 비율(h/H)에 대한 결과

를 살펴보면, 도 5와 도 6은 $0.3 \leq h/H \leq 0.7$ 의 범위에서 [수학식 1]과 [수학식 4]로 각각 정의된 성능 변수 F_{N_u} 와 F_J 의 변화를 나타내고 있다. 계산치는 동그란 심볼로 표시된 5개의 점에서 계산되었고 선은 이 점들을 커브 피팅한 것이다. h/H 의 변화에 따라 F_{N_u} 는 0.5와 0.6 사이에서 최대치를 갖고 그 이후에는 완만히 감소하는 것을 확인할 수 있다. F_J 의 경우 h/H 가 증가할수록 계속 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 그러므로 h/H 가 증가할 때, 즉 리브(132)의 높이가 증가할 때 열전달 성능에서는 최대치가 존재하나, 압력강하는 계속적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

[0044] 도 8은 난류유동부(116)에 설치된 5번째와 7번째 리브 사이의 대칭 평면에서 리브의 높이(h)와 유로의 높이(H)의 비율(h/H)의 변화에 따른 유선 분포를 나타내며, T자 형상을 가지는 리브(132)의 형상에 기인하여 리브(132)의 높이 방향으로 두 개의 재순환 영역이 생겨나는 것을 확인할 수 있다. h/H 가 커질수록 벽 근처 재순환 영역의 크기가 확대되고 있고, h/H 가 0.3에서 0.5로 증가하면서 재부착 거리는 급격히 짧아지고 있다. 유선의 재부착 거리가 상대적으로 짧아짐에 따라 재부착 이후에 새롭게 발달하는 열경계층으로 인해 도 5에 도시된 바와 같이 이 구간에서 열전달이 급격히 증가함을 확인할 수 있다. $h/H=0.5$ 인 경우와 $h/H=0.6$ 인 경우는 도 5에 도시된 바와 같이 비슷한 열전달 성능을 보이는 반면, 압력강하는 리브 높이가 낮은 $h/H=0.5$ 에서 더 낮은 것을 도 6을 통해 확인할 수 있다.

[0045] 그로 인해 도 7에 나타난 PF분포에서는 $h/H=0.5$ 에서 최대 성능계수 PF가 나타난다. 도 8에 나타난 열전달면의 국소 누셀트 수 분포에서는 이 두 경우가 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. $h/H=0.5$ 인 경우 전반적으로 높은 누셀트 수 분포를 보이며, 유동하류로 갈수록 h/H 가 0.6인 경우에 비해 누셀트 수의 감소폭이 작은 것을 알 수 있다. 동일한 열전달면에서의 온도분포를 나타낸 도 9에서도 두 경우의 온도분포가 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0046] 도 10 내지 도 14를 참조하면, 태양열 공기 가열기의 유로(110a)의 폭(W)과 리브(132)의 폭(e)의 비율(e/W)의 변화에 따른 결과를 살펴보면, 도 10과 도 11은 유로(110a)의 폭(W)과 리브(132)의 폭(e)의 비율(e/W)을 0.067에서 0.133까지 변화시켜가며 열전달과 압력강하와 관련된 두 성능변화들의 변화를 나타내고 있다. 도 10과 도 11에서 유로(110a)의 폭(W)과 리브(132)의 폭(e)의 비율(e/W)이 증가할수록 F_{N_u} 와 F_J 가 공통적으로 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 리브(132)의 높이(h)가 일정하게 유지된 상태에서 리브(132)의 폭(e)이 증가함에 따라 장애물(130)의 면적이 증가해서 유동교란에 따른 난류발생과 압력손실이 모두 증가하여 발생하는 현상으로 추측되며, 도 12에 나타난 PF 분포에서 유로(110a)의 폭(W)과 리브(132)의 폭(e)의 비율(e/W)이 0.08과 0.09 사이에 성능계수 최대점이 나타나지만 전반적으로 h/H 에 대한 도 7에 비해 그 변화가 매우 작음을 확인할 수 있다.

[0047] 도 13은 난류유동부(116)에 설치된 5번째와 7번째 리브 사이의 대칭 평면에서 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)의 변화에 따른 유선 분포를 나타내며, 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 증가함에 따라 앞에서 언급한 두 가지 재순환 영역 중 리브 상단의 재순환 영역이 커짐을 확인할 수 있다. 유선의 재부착 거리는 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W) 값과 상관없이 비슷한 크기를 유지하고 있어 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)의 증가에 따른 열전달 성능의 향상이 유선의 재부착 거리와는 무관함을 알 수 있다.

[0048] 도 14는 난류유동부(116)에 설치된 5번째와 7번째 리브 사이의 열전달면에서의 누셀트 수 분포를 나타내며, 리브의 폭(e)과 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 증가함에 따라 리브의 높이(h)가 일정한 상태에서 폭(e)이 넓어지면서 높은 누셀트 수 영역의 폭도 측면 방향으로 넓어져서 전체적인 누셀트 수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0049] 도 15에는, 상기 난류유동부(116)에 설치되는 T자 형상의 리브(132)의 폭(e)에 대한 높이(h)의 비율(h/e)이 $0.38 \leq h/e \leq 1.75$ 범위에서 F_{N_u} 의 변화가 도시되어 있다. 이 범위의 중간 지점인 $h/e=0.83$ 에서 열전달이

최대가 되고, 이 지점 전과 후의 F^{N_u} 의 변화율이 비슷함을 알 수 있다. 이 변화는 도 5에 도시된 유로(110a)의 높이(H)에 대한 T자형 리브(132)의 높이(h)의 비율(h/H)에 따른 변화와 유사하나 도 5와 달리 리브의 면적이 일정하게 유지됨에 따라 F^{N_u} 의 분포가 대칭형으로 보다 분명하게 나타나고 있다. 도 16은 리브(132)의 폭(e)에 대한 높이(h)의 비율(h/e)의 변화에 따른 압력강하와 관련된 F^J 의 변화를 나타낸 것이다. 리브(132)의 폭(e)에 대한 높이(h)의 비율(h/e)이 증가함에 따라 압력강하의 변화는 도 6 및 도 11과 비교해 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 도 6 및 도 11의 경우 리브의 면적이 변화하지만 이 경우에는 리브의 면적이 일정하게 유지된다는 점에서 차이가 있으며, 이에 따라 압력강하는 리브의 형상비 보다는 리브의 면적에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다.

[0050] 압력강하의 변화가 리브(132)의 폭(e)에 대한 높이(h)의 비율(h/e)의 전 범위에서 작게 나타나기 때문에 성능계수 PF의 분포는 도 17에 나타난 바와 같이 F^{N_u} 의 분포(도 15)와 매우 유사한 분포를 보여주고 있다. 성능계수 PF의 최대치도 리브(132)의 폭(e)에 대한 높이(h)의 비율(h/e)이 0.83에서 나타난다.

[0051] 도 18은 5번째와 7번째 리브 열 사이의 열전달면에 대한 누셀트 수 분포를 나타내며, 열전달 성능이 가장 큰 $h/e = 0.83$ 에서 높은 누셀트 수 영역의 면적이 가장 넓게 나타나고 있다. 이는 리브의 높이(h)와 폭(e)이 유사한 크기를 가질 때 장애물을 지나면서 난류가 가장 크게 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

[0052] 상기 복수개의 T자 형상을 가지는 리브(132)가 장착된 태양열 공기 가열기의 열전달 성능의 우수성을 입증하기 위해 Bekele 등이 사용한 삼각형 리브들이 장착된 태양열 공기 가열기와 성능함수들을 도 19 및 도 20와 같이 비교하였다. 실험적 연구에서 확인된 내용을 바탕으로 두 형상의 리브 단면적과 리브 사이의 간격이 동일한 조건에서 비교를 수행하였다.

[0053] 도 19는 두 리브의 형상에 대해 레이놀즈 수 증가에 따른 누셀트 수(N_{u_o})와 마찰계수(f_o)의 변화를 비교한 그래프이다. 마찰계수의 경우 T자 형상의 리브는 전체적인 레이놀즈 수 범위에서 삼각형 리브 보다 약간 큰 값을 보여주고 있으나, 누셀트 수는 모든 레이놀즈 수에서 균일하게 큰 향상을 보여주고 있다. T자 형상의 리브는 삼각형 리브 보다 레이놀즈 수 4510에서 약 65% 큰 누셀트 수 값을 보였으며, 레이놀즈 수 22600에서는 약 21.5% 큰 값을 나타냈다. 한편 마찰계수는 삼각형 리브에 비해 레이놀즈 수 4510에서 약 35%의 큰 값을 나타냈으며, 22600에서는 약 31% 큰 값을 나타냈다. 누셀트 수와 마찰계수를 동시에 고려해 성능계수 PF를 계산하였으며, 도 20에 두 가지 형상의 리브에 대한 태양열 공기 가열기의 성능계수 비교를 나타냈으며, T자 형상의 리브의 PF는 삼각형 리브에 비해 레이놀즈 수 4510에서 약 49.7% 큰 값을 보였으며, 22600에서는 약 11% 큰 값을 보였다.

[0054] 도 1을 참조하면, 상기 본체(110)의 내부에 형성되는 유로(110a)의 높이(H)는 145 내지 155mm인 것이 바람직하고, 상기 유로(110a)의 폭(W)은 295 내지 305mm인 것이 바람직하다. 더 바람직하게는 유로(110a)의 높이(H)는 150mm이고, 상기 유로(110a)의 폭(W)은 300mm이다.

[0055] 상기 유로(110a)의 높이(H)에 비해 T자 형상을 가지는 리브(132)의 높이(h)가 0.3 내지 0.7 이므로 상기 유로(110a)의 높이(H)를 통해 T자 형상을 가지는 리브(132)의 높이(h)의 최대값과 최소값을 확인할 수 있고, 상기 리브의 폭(e)과 상기 유로의 폭(W)의 비율(e/W)이 0.067 내지 0.133 이므로 상기 유로(110a)의 폭(W)을 통해 T자 형상을 가지는 리브(132)의 폭(e)의 최대값과 최소값을 확인할 수 있다.

[0056] 상기 난류유동부(116)에 T자 형상을 가지는 복수개의 리브(132)를 엇갈리게 배치한 후 다른 형상인 삼각형상을 가지는 리브가 설치된 태양열 공기 가열기와 레이놀즈 수 해석을 수행 후 열전달 및 압력강하에 미치는 영향을 비교 시, T자 형상의 리브(132)가 설치 시 레이놀즈 수가 10,000 이하인 영역에서 삼각형 리브에 비해 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

[0057] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

- [0058]
- 100 : 태양열 공기 가열기

110 : 본체

112 : 공기유입부

114 : 공기배출부

116 : 난류유동부

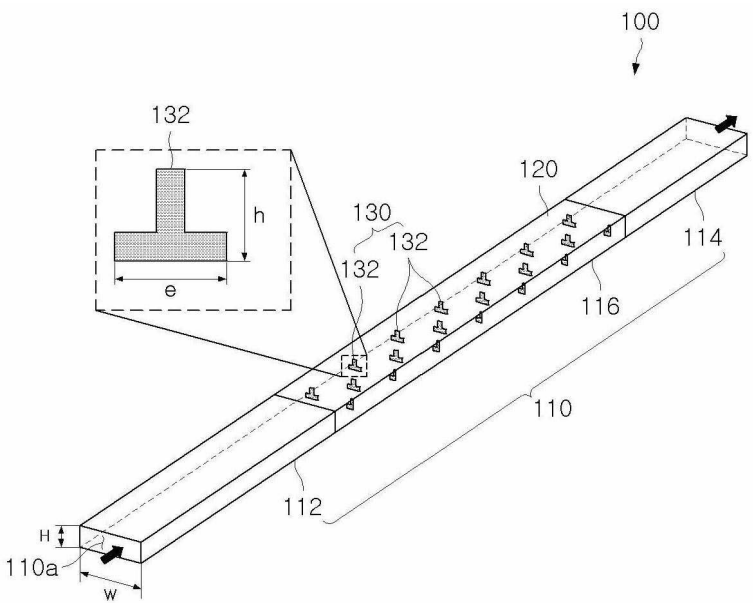
120 : 집열관

130 : 장애물

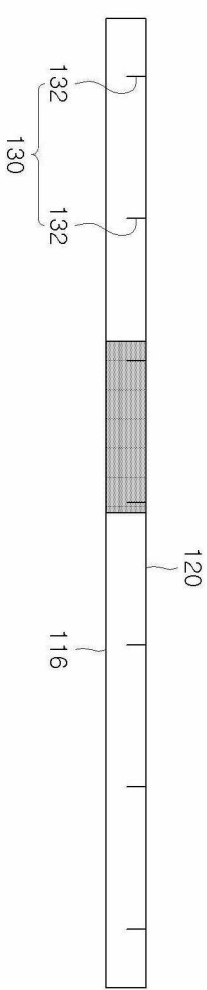
132 : T자형상 리브

도면

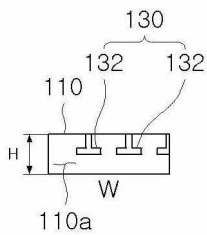
도면1



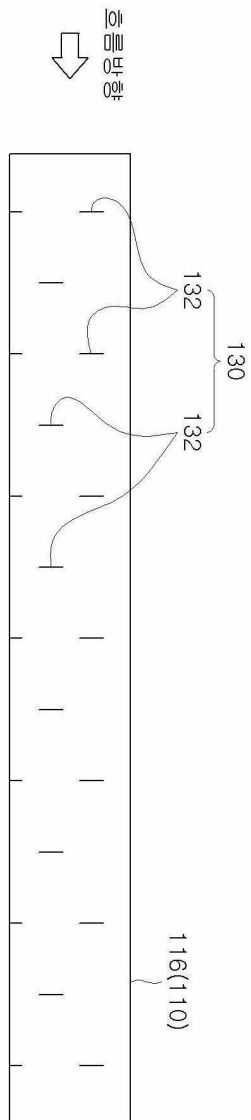
도면2



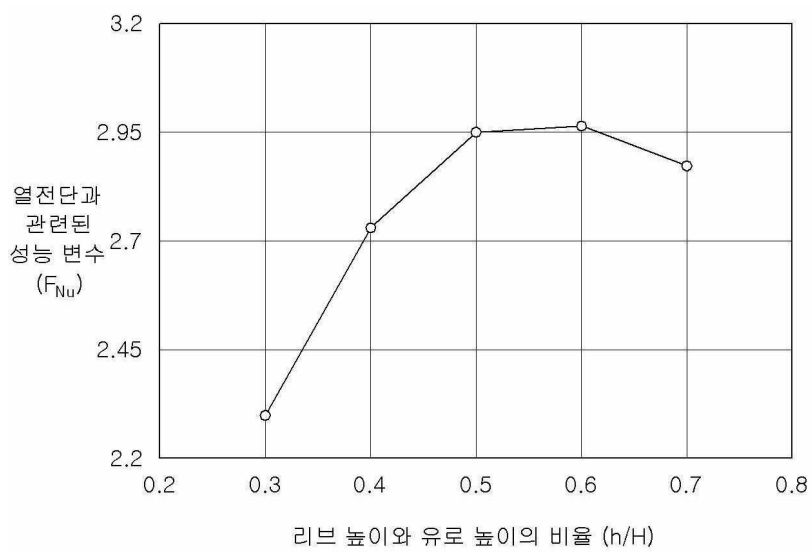
도면3



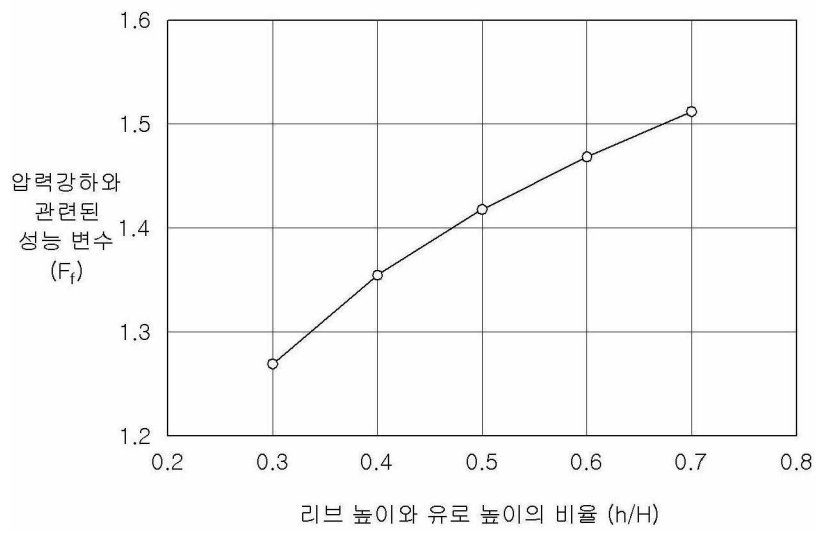
도면4



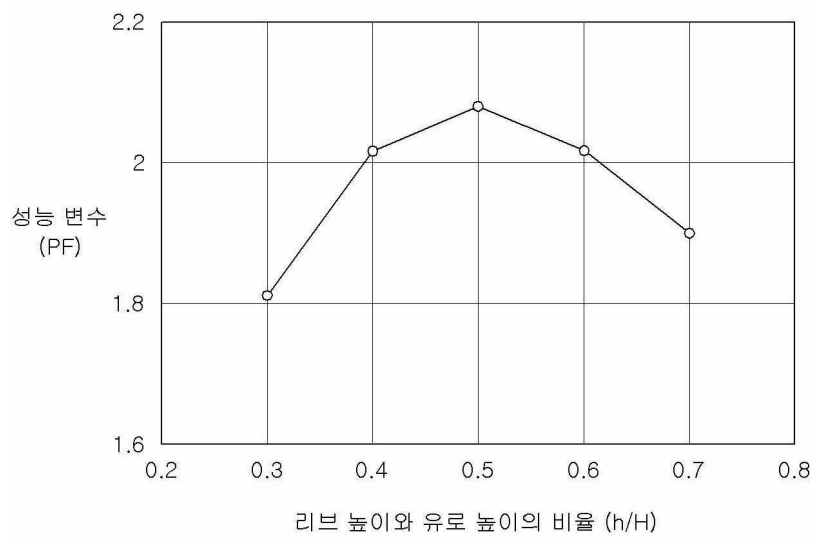
도면5



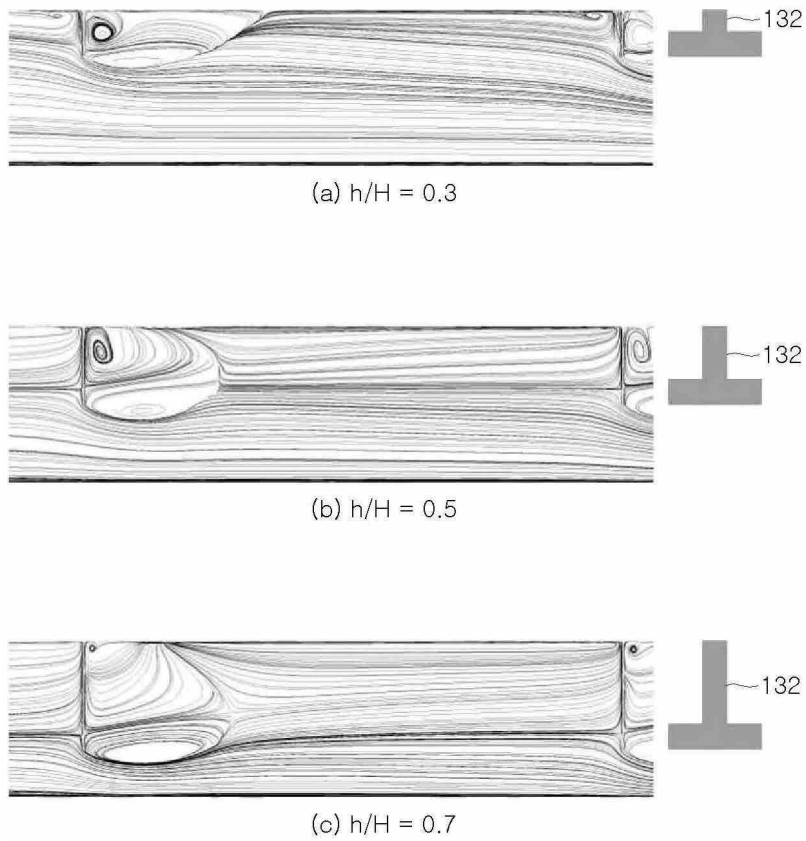
도면6



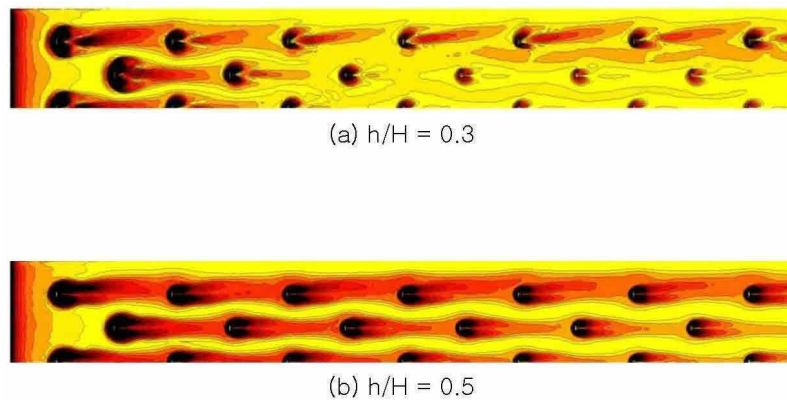
도면7



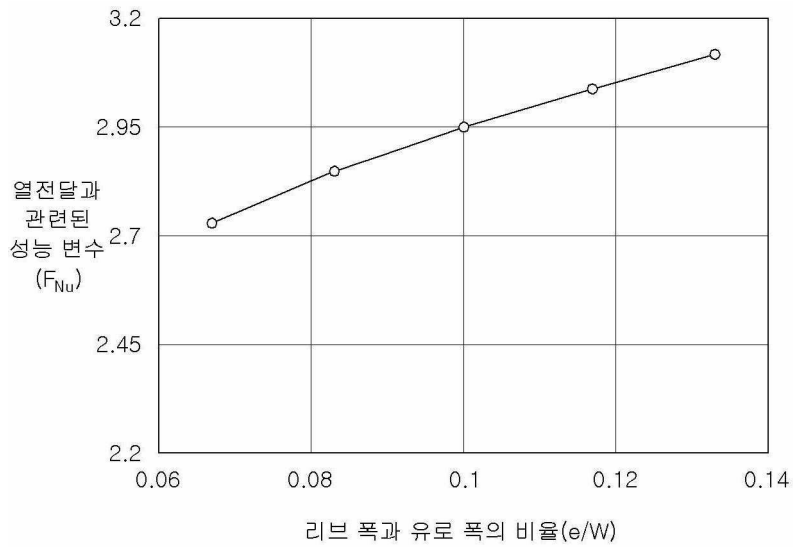
도면8



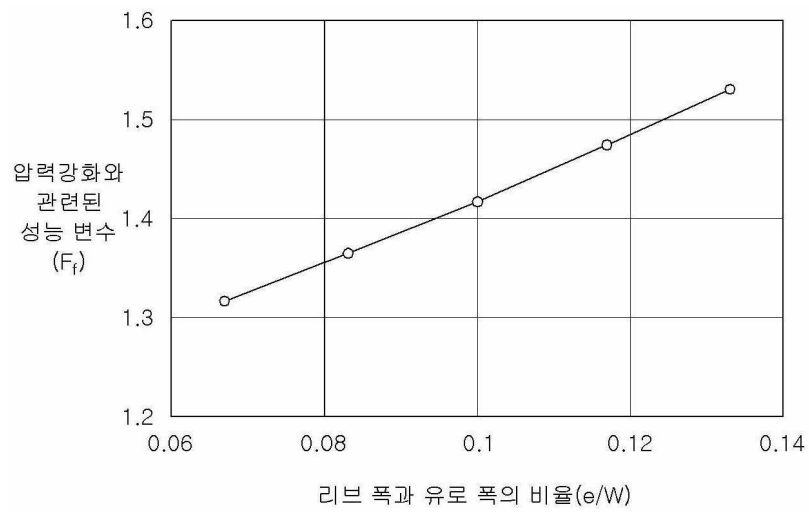
도면9



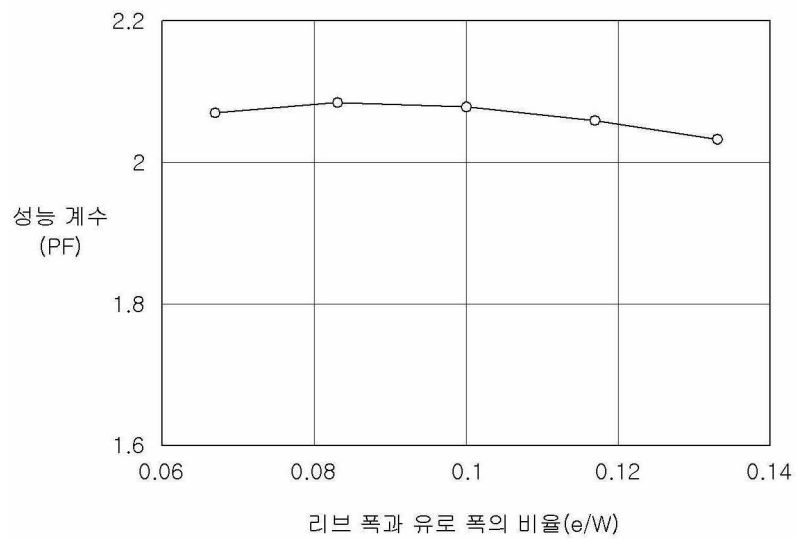
도면10



도면11



도면12



도면13



(a) $e/W = 0.067$



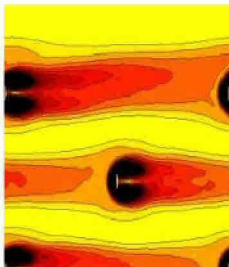
(b) $e/W = 0.10$



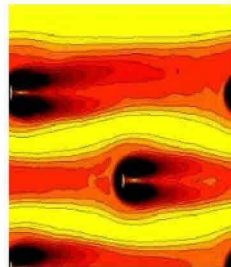
(c) $e/W = 0.133$



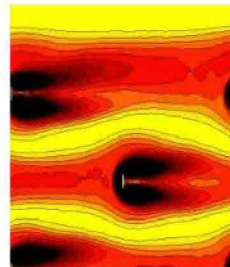
도면14



(a) $e/W = 0.067$

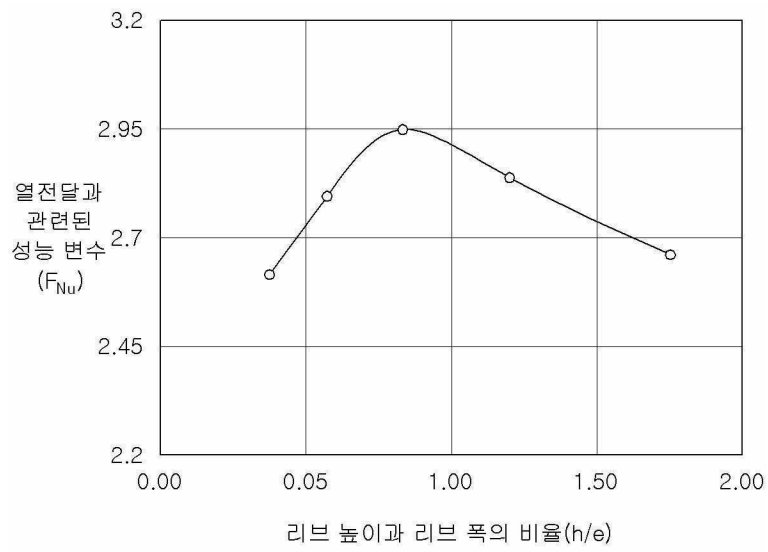


(b) $e/W = 0.10$

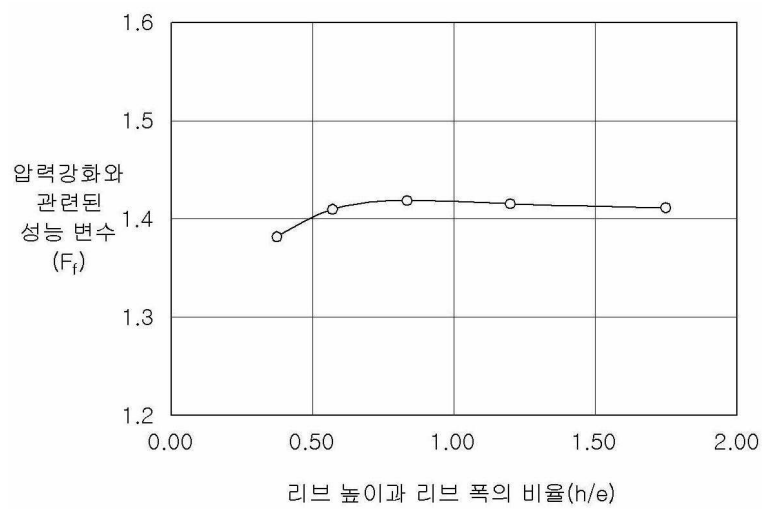


(c) $e/W = 0.133$

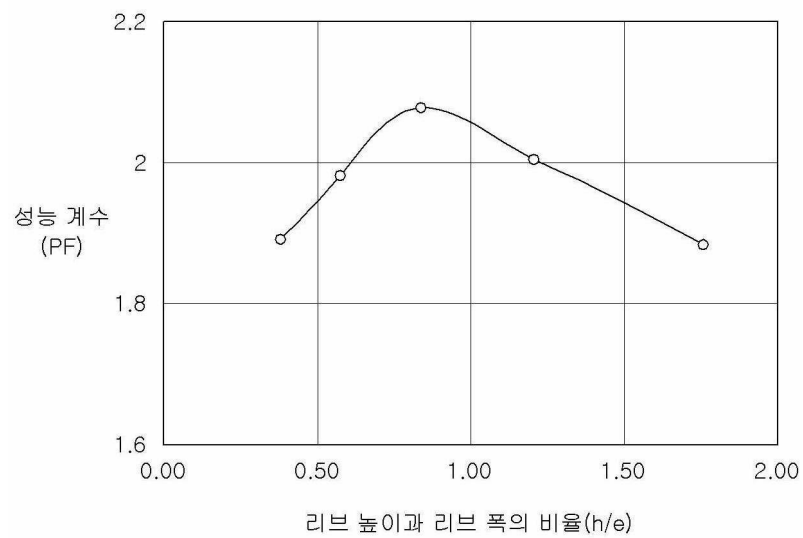
도면15



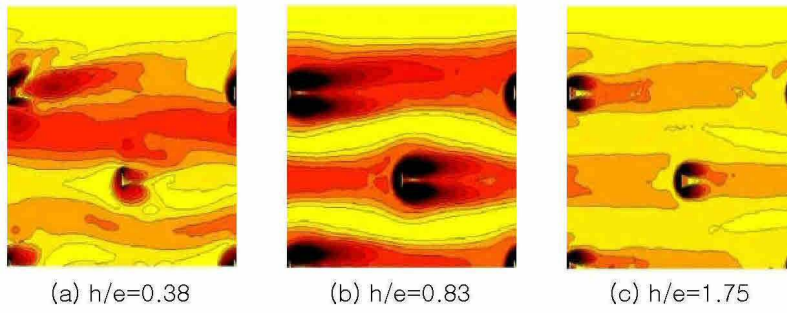
도면16



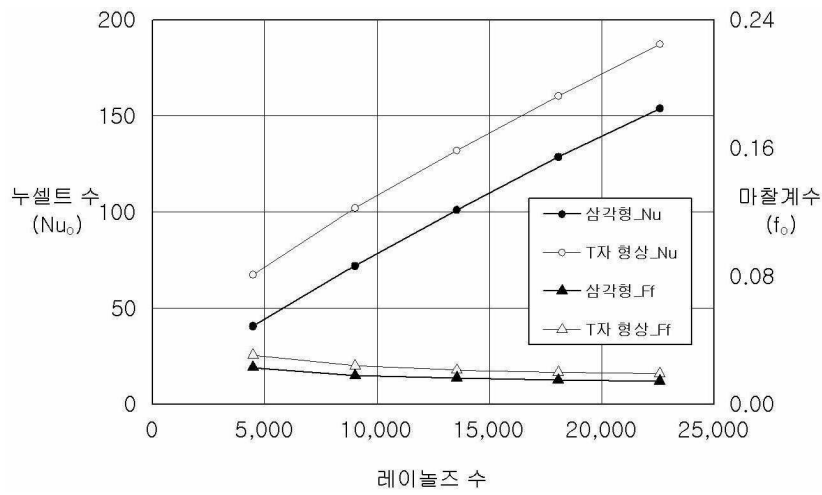
도면17



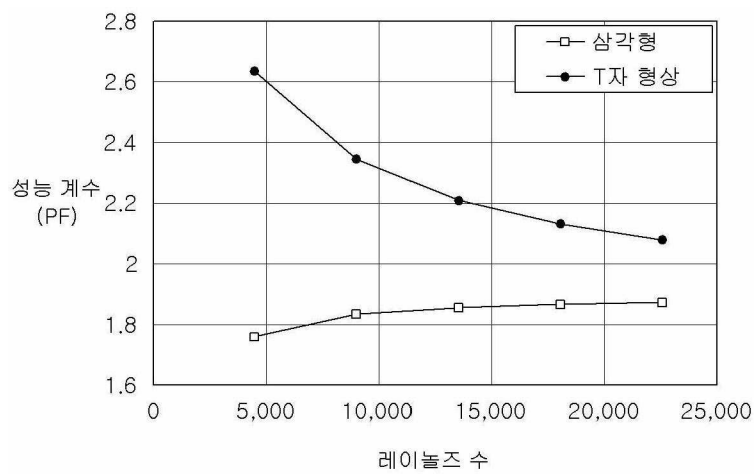
도면18



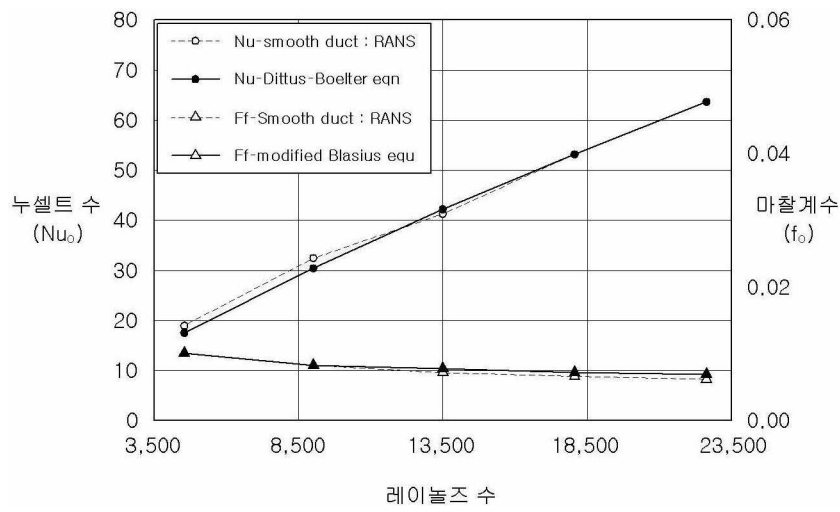
도면19



도면20



도면21



도면22

