(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0088718
(43) 공개일자 2014년07월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F28F 1/32 (2006.01) *F02C 7/14* (2006.01)
F01D 25/12 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0000585
(22) 출원일자 2013년01월03일
심사청구일자 2013년01월03일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
문미애
인천 남구 인하로 292, 10동 1209호 (주안동, 쌍용아파트)
김광용
서울 서초구 남부순환로 2311-12, 105동 1001호 (방배동, 래미안방배아트힐)
(74) 대리인
이원희

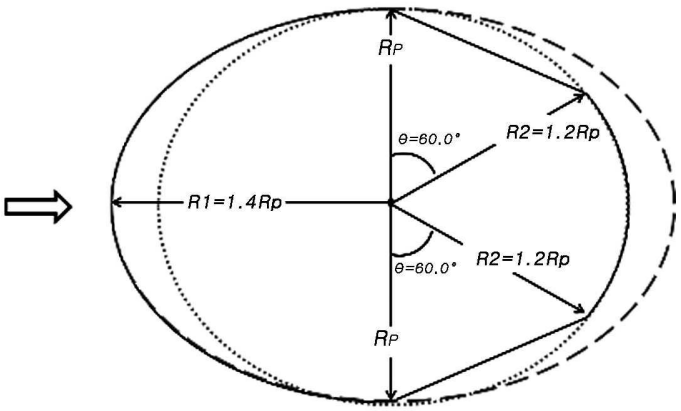
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜의 새로운 형상 구조**

(57) 요 약

본 발명은 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜의 새로운 형상 구조에 관한 것으로, 구체적으로 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로 내면에 부착되는 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 내부냉각 유로에 유입되는 냉각 유체가 핀-휜 후류에서 높은 열전달 성능을 유지하도록 함으로써, 같은 양의 냉각유체가 공급됨에도 불구하고 기존의 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 현저히 향상된 냉각성능을 보이고 있으므로, 고온의 열에 지속적으로 노출되는 장치, 특히 1,500℃ 이상의 고온에서 작동되는 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시키며, 엔진의 효율을 상승시킬 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

냉각장치 내부 냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜(pin-fin)에 있어서,

상기 핀-휜의 형상은 변형된 타원기둥 형상이고,

상기 핀-휜의 단면은 유동 흐름을 맞는 전면부의 반경이 후면부의 반경보다 크며,

상기 핀-휜의 후면부는 타원의 단축을 기준으로 타원 중심각이 50 - 80° 인 활꼴이 잘린 형태인 것을 특징으로 하는 핀-휜.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 타원 중심각은 60° 인 것을 특징으로 하는 핀-휜.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 핀-휜의 단면은 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.3 - 1.6R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 50 - 80° 인 반경이 1.2 - 1.4R인 것을 특징으로 하는 핀-휜.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 핀-휜의 단면은 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.4R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 60° 인 반경이 1.2R인 것을 특징으로 하는 핀-휜.

청구항 5

제1항에 따른 핀-휜이 내면에 부착된 내부냉각유로를 구비한 냉각장치.

청구항 6

제5항에 따른 냉각장치를 구비한 가스터빈 블레이드.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 가스터빈 블레이드, 복잡한 회로를 지닌 전자 장치 등과 같이 고온의 열에 지속적으로 노출된 장치 등의 냉각을 위한, 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜의 새로운 형상 구조에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 가스터빈 블레이드, 복잡한 회로를 지닌 전자 장치 등과 같이 고온의 열에 지속적으로 노출된 장치의 경우 장치의 성능을 유지하기 위해서는 냉각이 필수적이다.

[0003] 일반적으로 가스터빈 블레이드를 예를 들어 설명하면, 엔진의 효율 및 성능을 높이기 위해 최근 가스터빈 엔진

은 1,500-1700℃에서 작동되도록 설계되고 있으며, 열효율을 더욱 높이기 위해 터빈 입구온도를 연평균 20℃씩 꾸준히 상승시켜 설계하는 추세이다.

[0004] 그러나 이는 터빈 블레이드의 열부하를 가중시키고, 이로 인해 블레이드의 수명을 단축시키는 결과를 초래하게 된다. 전 부하조건에서 운전되는 터빈의 요소 표면온도를 10℃만 낮추어도 그 수명을 2배까지 증가시킬 수 있는 것으로 보고되어 있으며, 이러한 이유로 고온으로부터 터빈 블레이드를 보호하기 위한 다양한 냉각기술에 대한 연구가 수십 년간 지속되어 왔는데, 그 중 하나가 블레이드 내부 냉각기술이다.

[0005] 내부 냉각기술로는 대류냉각(convection cooling), 충돌냉각(impingement cooling), 막냉각(film cooling) 등이 있는데, 내부 유로 냉각기술은 블레이드 내부에 부착된 냉각 유로에 압축기로부터 추출한 냉각 유체를 주입하여 강제대류를 발생시킴으로써 고온의 블레이드를 냉각시키는 기법이다. 내부 유로를 통해 대류열전달을 강화시키기 위하여 내부 유로 벽면에 핀-휜, 리브, 딤플 등의 열전달 증진을 위한 장치를 설치한다. 이러한 유동간섭물(turbulator)은 벽 근처 경계층을 교란시키고, 난류의 발생을 촉진시켜 열전달을 증진시키는 역할을 수행한다. 핀-휜의 경우, 열전달면과 핀-휜의 접촉부에서 형성되는 와류(말발굽 와류, 재순환 와류 등)로 인해 열전달면의 냉각 성능을 증진시키며, 특히 공간의 협소로 인해 다른 냉각 방법을 적용하는 것이 어려운 가스터빈 블레이드 후연(trailing edge)에 많이 적용되고 있다.

[0006] 그러나, 내부냉각유로에 유입되는 냉각 유체는 압축기로부터 추출된 고압의 냉각공기가 사용되므로 과도한 양의 압축공기의 사용은 가스터빈의 효율을 감소시키므로 효과적인 냉각방식의 필요성이 대두되고 있다.

[0007] 종래, 선행기술문헌에는 유동 간섭물인 핀의 형상(원형, 큐빅형, 다이아몬드형)이 열 전달 성능에 미치는 영향이 기술되어 있으며, 구체적으로 동일한 레이즈놀수 조건에서, 큐빅형과 다이몬드형의 핀이 원형 핀에 비해 높은 열전달 성능을 나타내는 반면, 원형 핀은 압력 손실이 가장 적음을 확인하였습니다. 따라서, 열 전달 성능과 펌핑 파워와의 균형 측면에서 원형 핀이 열 교환기로서 더 우수함을 기재하고 하고 있다.

[0008] 특히, 상기 선행문헌에도 나타낸 바와 같이 핀-휜의 형상은 열전달 성능에 영향을 끼치므로 열전달 성능 향상을 위해 다양한 핀-휜 형상 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) Volum 4: Turbo Expo 2007, Parts A and B, Paper no. GT2007-28306; pp.991-999

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜의 새로운 형상 구조을 특정하여 향상된 냉각성능을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

[0012] 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜(pin-fin)에 있어서,

[0013] 상기 핀-휜의 형상은 변형된 타원기둥 형상이고,

[0014] 상기 핀-휜의 단면은 유동 흐름을 맞는 전면부의 반경이 후면부의 반경보다 크며,

[0015] 상기 핀-휜의 후면부는 타원의 단축을 기준으로 타원 중심각이 50 - 80° 인 활꼴이 잘린 형태인 것을 특징으로 하는 핀-휜을 제공한다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 새로운 형상 구조를 갖는 핀-휜은 상기 타원 중심각이 60° 인 것을 특징으로 한다.

[0017] 나아가, 본 발명에 따른 새로운 형상 구조를 갖는 핀-휜은 상기 단면의 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.3 - 1.6R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 50 - 80° 인 반경이 1.2 - 1.4R인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 본 발명에 따른 새로운 형상 구조를 갖는 핀-휜은 단면의 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.4R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 60° 인 반경이 1.2R인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로 내면에 부착되는 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 내부냉각 유로에 유입되는 냉각 유체가 핀-휜 후류에서 높은 열전달 성능을 유지하도록 함으로써, 같은 양의 냉각유체가 공급됨에도 불구하고 기존의 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 현저히 향상된 냉각성능을 보이고 있으므로, 고온의 열에 지속적으로 노출되는 장치, 특히 1,500℃ 이상의 고온에서 작동되는 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시키며, 엔진의 효율을 상승시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜의 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜이 복수개 배열된 구조를 나타낸 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜이 복수개 배열된 구조를 나타낸 단면도이다.

도 4는 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 냉각성능을 비교하기 위하여, 상기 핀-휜이 부착된 내부냉각유로를 나타내는 도면이다.

도 5는 레이즈놀수가 5,000일 때, 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 누셀트수 분포를 나태낸 도면이다.

도 6은 레이즈놀수 변화에 따른 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 면적 평균 누셀트수를 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 유선 분포를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명에 따른 변형된 타원형 핀-휜과 종래 원형 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 속도장 분포를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 새로운 형상 구조를 갖는 핀-휜의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜의 단면도이고, 도 2 내지 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜이 복수개 배열된 구조를 나타낸 단면도이고, 도 4는 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 냉각성능을 비교하기 위하여, 상기 핀-휜이 내면에 부착된 냉각유로를 나타내는 도면이고, 도 4는 레이즈놀수가 5,000일 때, 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 누셀트수 분포를 나태낸 도면이고, 도 5는 레이즈놀수 변화에 따른 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 면적 평균 누셀트수를 나타낸 도면이고, 도 6은 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 유선 분포를 나타낸 도면이고, 도 7은 본 발명에 따른 변형된 타원형 핀-휜과 종래 원형 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 속도장 분포를 나타낸 도면이다.

[0023] 본 발명은 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 새로운 형상 구조를 갖는 핀-휜에 관한 것으로, 상기 핀-휜의 형상은 변형된 타원기둥 형상이다.

[0024] 또한, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 핀-휜의 단면은 유동 흐름을 맞는 전면부의 반경이 후면부의 반경보다 크며 상기 핀-휜의 후면부는 타원의 단축을 기준으로 타원 중심각이 50-80° 인 활꼴이 잘린 형태이다.

[0025] 내부유로 냉각기술은 압축기로부터 추출된 냉각유체를 내부냉각유로에 주입하여 강제대류를 발생시킴으로써 고온에 노출된 장치, 특히 가스터빈 블레이드를 냉각시키는 기법으로, 내부냉각유로를 통한 열전달을 강화시키기 위하여 내부냉각유로 벽면에 핀-휜과 같은 유동간섭물이 설치된다. 본 발명은 핀-휜의 후류에서 높은 열전달 성능을 가지도록 하기 위하여 상기와 같은 핀-휜 형상 구조를 가스터빈 블레이드 내부냉각유로에 적용한 것이다.

[0026] 나아가, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 타원 중심각이 50° 미만인 경우 원형에 가까워 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜 특유의 유동 분포가 나타나지 않는다는 문제점이 있으며, 80° 초과인 경우 후면부의 활꼴이 잘린 형태를 유지할 수 없다는 문제점이 있다.

[0027] 또한, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 타원 중심각은 60° 인 것이 더욱 바람직하다.

[0028] 나아가, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 핀-휜의 단면은 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.3 - 1.6R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 50 - 80° 인 반경이 1.2 - 1.4R인 것이 바람직하다.

[0029] 또한, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 전면부 타원의 장축 반경과 단축을 기준으로 후면부 타원 중심각이 50 - 80° 인 반경이 상기 범위를 벗어나는 경우 발명된 형상 특유의 변형된 타원형 형태를 유지할 수 없으며, 이로 인한 열 전달 성능 향상 효과를 거두기 어렵다는 문제점이 있다.

[0030] 또한, 본 발명에 따른 냉각장치 내부냉각유로의 내면에 부착되는 핀-휜에 있어서, 상기 핀-휜의 단면은 타원 단축이 R인 경우 전면부 타원은 장축 반경이 1.4R이고, 후면부 타원은 단축을 기준으로 타원 중심각이 60° 인 반경이 1.2R인 것이 더욱 바람직하다.

[0031] 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜을 고온에 노출되는 장치, 특히 가스 터빈 블레이드의 냉각을 위한 내부냉각유로에 적용할 경우 핀-휜의 후류에서 높은 열전달 성능을 가지는 효과가 있다.

[0032] 즉, 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 핀-휜의 후면부가 부채꼴과 유사한 형태를 가지기 때문에 냉각유체가 후면에서 넓게 퍼지는 효과가 나타남에 따라 높은 열전달 성능을 오래 유지할 수 있는 것이다.

[0033] 또한, 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜을 냉각장치 내부냉각유로에 적용함에 있어서, 본 발명에 따른 복수개의 핀-휜을 도 2에 나타낸 바와 같이 각 열의 핀-휜들이 서로 대응되도록 또는 도 3에 나타낸 바와 같이 각 열의 핀-휜들이 서로 엇갈리도록 배열할 수 있다.

[0034] 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜(실시예)과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜(비교예)의 냉각성능을 비교하기 위하여, 도 6에 나타낸 바와 같이 내부냉각유로에 상기 핀-휜들을 부착되도록 설계하였다. 상기 내부냉각유로의 폭, 높이, 길이는 각각 58.7 ㎜, 28.7 ㎜, 203.2㎜이다. 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 원형기둥 형상의 핀-휜을 내부냉각유로 입구로부터 139.7㎜ 떨어진 곳에 위치하도록 하였다.

[0035] 또한, 상기 냉각성능을 비교하기 위하여, 본 발명의 일실시에에 따른 변형된 타원기둥 형상은, 도 1에 나타낸 바와 같이 설계하였다. 즉, 원형기둥 형상의 핀-휜의 반경을 R_P, 전면부 타원의 유동 수평 방향 반경을 R_1, 후면부 타원의 유동 수평 방향 반경을 R_2 라 정의하고, 후면부는 타원의 단축을 기준으로 타원 중심각이 Θ인 활꼴이 잘린 형태로 설계하고, R_1/R_P=1.40, R_2/R_P=1.20, Θ=60.0° 의 값을 갖도록 하였다.

[0036] 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 냉각성능을 비교하기 위하여, 내부냉각유로의 유동장과 온도장에 대한 수치해석을 수행하였다. 삼차원 Reynolds-averaged Navier-Stokes equation을 풀기 위해 비정렬격자계를 채택한 상용전산유체역학 코드인 ANSYS CFX-11.0을 사용하였으며, 육면체 격자를 구성하여 수치해석을 수행하였다. 또한 유동장 및 온도장을 해석하기 위한 난류모델로는 shear stress transport 난류모델을 사용하였다. 작동유체는 공기(ideal gas, air)이며, 경계조건으로는 입구에 일정속도를 지정하였고, 출구에는 정압력조건을 주었다. 열전달면에는 일정 열유속조건과 점착조건을 사용하였고, 핀-휜의 표면에는 단열조건과 함께 점착조건을 적용하였다.

[0037] 나아가, 레이놀즈수(Reynolds number)의 변화에 따른 면적 평균한 누셀트수(Nusselt number)를 계산하여 열전달면에서의 냉각성능을 평가하였으며, 레이놀즈수 및 누셀트수는 각각 다음과 같이 정의된다.

[0038] [수학식 1]

[0039] $$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu}$$

[0040] [수학식 2]

[0041] $$Nu = \frac{q_0 D_h}{k_f (T_w - T)}$$

[0042] (상기 수학식 1 또는 2에 있어서, U는 내부냉각유로의 입구 속도, D_h는 수력직경, ρ는 냉각유체의 밀도, μ는 점성계수, q_0는 열전달면에 주어진 열유속, k_f는 열확산계수, T_w는 단열벽면온도를 의미한다.)

[0043] 도 5는 레이즈놀수가 5,000일 때, 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 누셀트수 분포를 나태낸 도면이다. 도 5를 참조하면 종래 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 핀-휜의 양옆을 통과하는 냉각유체가 넓은 영역에서 높은 누셀트수 분포를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 핀-휜의 후류에서도 뛰어난 열전달 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

[0044] 도 6은 레이즈놀수 변화에 따른 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜의 면적 평균 누셀트수를 나타낸 도면이다. 원형기둥 형상의 핀-휜의 수채해석 결과는 실험결과와 매우 작은 오차 범위 내에서 일치함으로써, 수치해석의 타당성을 입증하였다. 도 6을 참조하면 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 레이즈놀수가 증가할수록 월등하게 높은 누셀트수 분포를 보이는 것을 확인할 수 있다.

[0045] 도 7는 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜과 종래 원형기둥 형상의 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 유선 분포를 나타낸 도면이다. 도 7를 참조하면 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 핀-휜 후류에서 냉각유체의 재순환 영역이 더욱 크게 형성된 것을 확인할 수 있다.

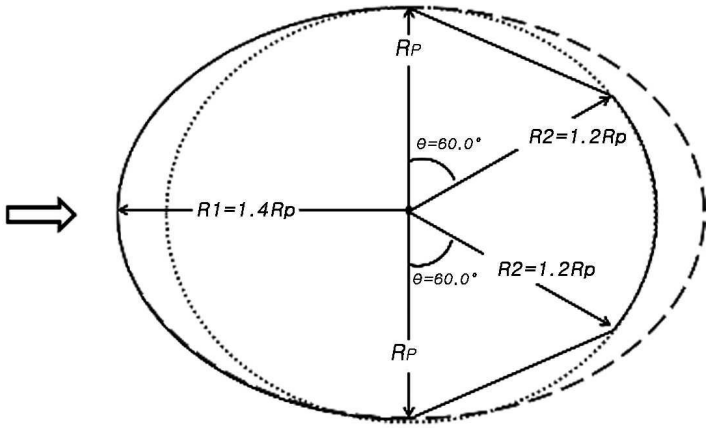
[0046] 도 8은 본 발명에 따른 변형된 타원형 핀-휜과 종래 원형 핀-휜이 부착된 내부냉각유로 유동장에서의 속도장 분포를 나타낸 도면이다. 도 8을 참조하면 본 발명에 따른 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜은 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 핀-휜의 양옆을 통과하는 냉각유체의 속도가 더 높은 것을 확인할 수 있다. 나아가, 높은 속도 역시 오랫동안 유지되는 것을 확인할 수 있다.

[0047] 도 4 내지 7에 나타낸 실험 결과로부터, 본 발명에 따른 변형된 타원형기둥 형상의 핀-휜이 부착된 내부냉각 유로가 형성된 가스터빈 블레이드는 내부냉각 유로에 유입되는 냉각 유체가 핀-휜 후류에서 높은 열전달 성능을 유지하도록 함으로써, 같은 양의 냉각유체가 공급됨에도 불구하고 기존의 원형기둥 형상의 핀-휜과 비교하여 현저히 향상된 냉각성능을 보이고 있으므로, 고온의 열에 지속적으로 노출되는 장치, 특히 1,500℃ 이상의 고온에서 작동되는 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시키며, 엔진의 효율을 상승시킬 수 있는 효과가 있음을 알 수 있다.

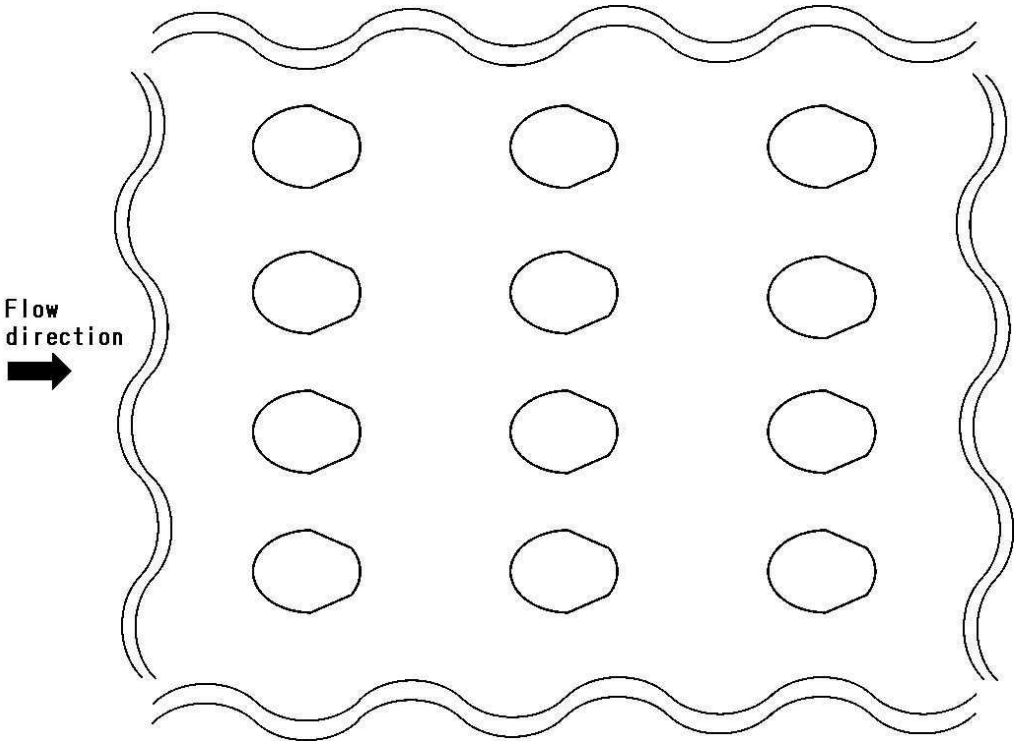
[0048] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형 가능함은 물론이다.

도면

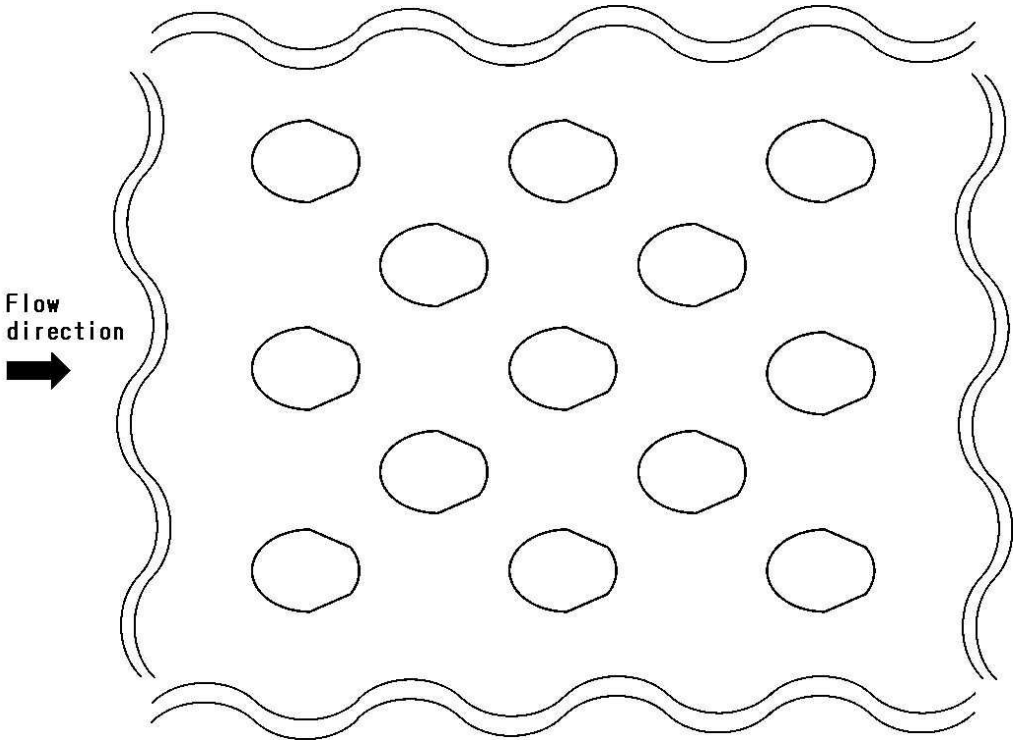
도면1



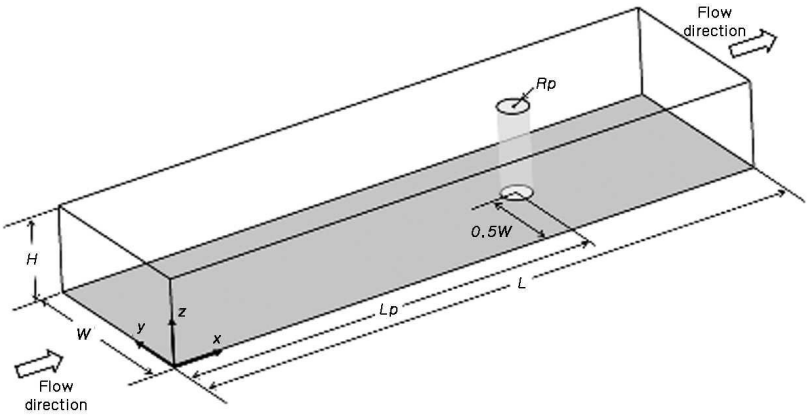
도면2



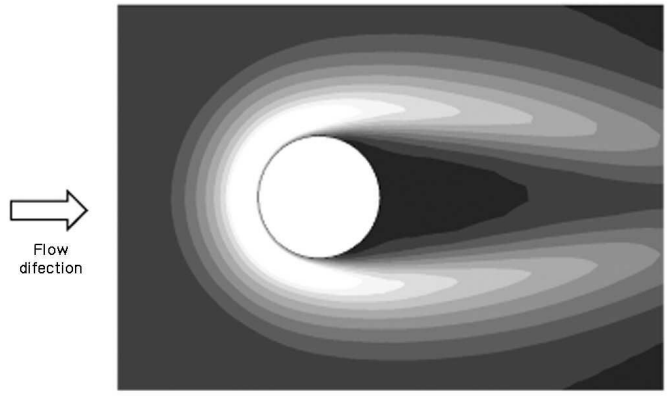
도면3


Flow
direction

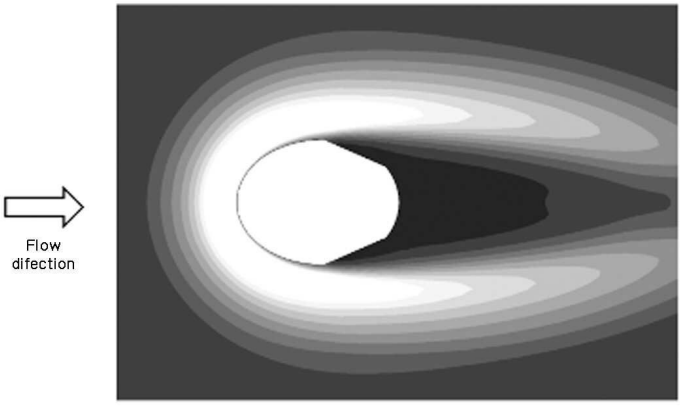
도면4


Flow
direction
Rp
0.5W
H
W
Lp
L
z
y
x
Flow
direction

도면5



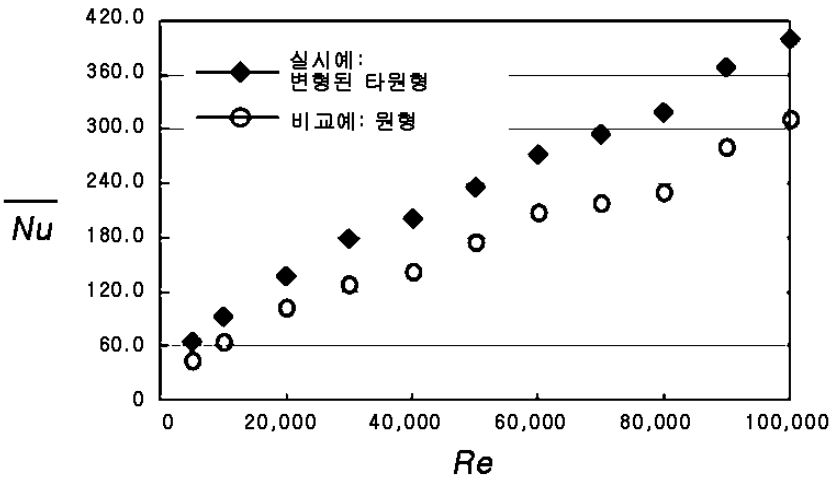
(a) 비교예: 원형기둥 형상의 핀-휜



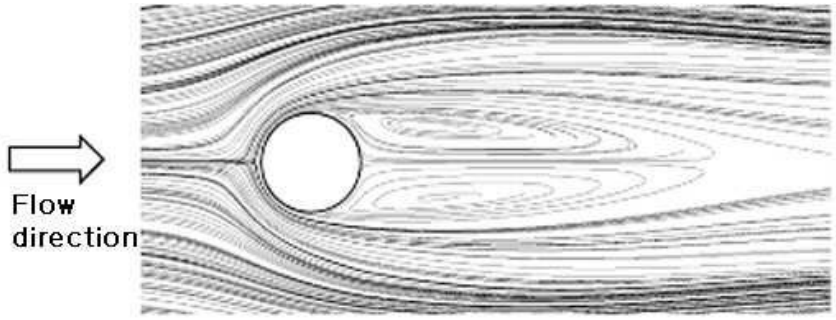
(b) 실시예: 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜



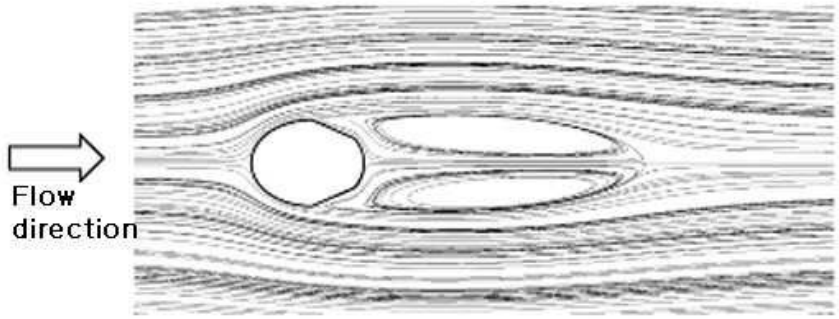
도면6



도면7

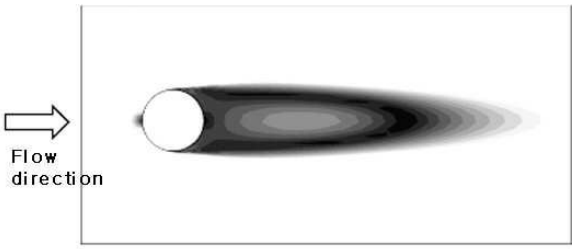


(a)비교예: 원형기둥 형상의 핀-휜

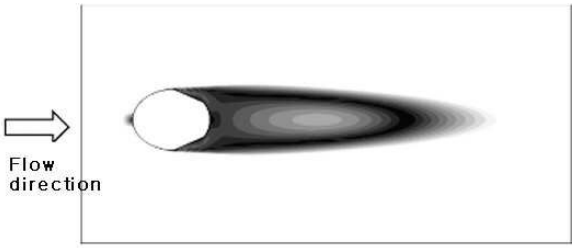


(b)실시예: 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜

도면8



(a)비교예: 원형기둥 형상의 핀-휜



(b)실시예: 변형된 타원기둥 형상의 핀-휜

