(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0000391
(43) 공개일자 2023년01월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F01D 5/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F01D 5/186 (2013.01)
F01D 5/183 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0128309
(22) 출원일자 2021년09월28일
심사청구일자 2021년09월28일
(30) 우선권주장
1020210082484 2021년06월24일 대한민국(KR)

(71) 출원인
두산에너빌리티 주식회사
경상남도 창원시 성산구 두산볼보로 22 (귀곡동)
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김예지
경기도 수원시 영통구 영통로 498, 155동 1001호
조형희
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 천지

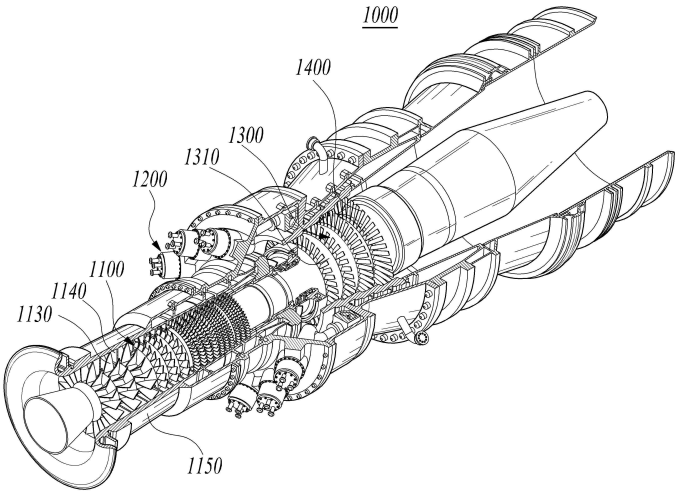
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈**

(57) 요 약

본 발명은 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈에 관한 것으로, 보다 상세하게는 냉각홀이 형성된 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈에 관한 것이다. 이러한 본 발명에 따르면, 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈은 확장부와 요홈부를 포함하는 냉각홀이 형성되어, 냉각 효율이 향상된다는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
F05D 2220/32 (2013.01)
F05D 2260/202 (2013.01)
(72) 발명자
현민주
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
박희승
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
최승영
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교
김태현
서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교

명 세 서

청구범위

청구항 1

리딩 엣지 및 트레일링 엣지가 형성되고, 내부에 냉각 유체가 유동하는 냉각 유로가 형성된 에어포일; 및

상기 에어포일에서 상기 냉각 유로와 외부를 연통시키고, 입구 및 출구가 형성된 냉각홀을 포함하며,

상기 냉각홀은 상기 출구에

확장부, 및 상기 확장부로부터 상기 트레일링 엣지를 향하여 함몰된 요홈부가 형성된 터빈 블레이드.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 냉각홀은,

상기 출구의 단면적이 상기 입구의 단면적보다 크게 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 확장부와 상기 요홈부의 경계 부분에 일정한 곡률 반경을 갖는 곡선부가 형성된 터빈 블레이드.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 확장부는,

대략 사각형 형상으로 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 요홈부는,

대략 사각형 형상으로 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 확장부는,

상기 리딩 엣지와 상기 트레일링 엣지를 잇는 직선과 나란한 방향이 제1방향일 때, 상기 제1방향으로의 폭인 제1-1폭이 적어도 일부 구간에서 일정하게 유지되도록 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제1-1폭은 상기 입구의 내경보다 작거나 같게 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 확장부는,

상기 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 상기 제2방향으로의 폭인 제1-2폭이 상기 입구의 내경보다 4배 이상 크게 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 요홈부는,

상기 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고,

상기 제1-2폭은,

상기 입구의 내경과 상기 제2-2폭의 합보다 크게 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 요홈부는 제1요홈부 및 제2요홈부를 포함하고,

상기 제1요홈부는 상기 확장부로부터 상기 트레일링 엣지를 향하여 함몰 형성되며,

상기 제2요홈부는 상기 제1요홈부로부터 상기 트레일링 엣지를 향하여 함몰 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 11

제3항에 있어서,

상기 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 상기 요홈부는 상기 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고,

상기 곡선부는 두개가 이격되어 형성되며,

상기 각각의 곡선부들 간의 중심간격은 상기 제2-2폭보다 크게 형성되는 터빈 블레이드.

청구항 12

회전 가능하게 배치되는 터빈 로터 디스크;

상기 터빈 로터 디스크에 배치되는 복수 개의 터빈 블레이드; 및

고정 배치되는 복수 개의 터빈 베인을 포함하고,

상기 터빈 블레이드는,

리딩 엣지 및 트레일링 엣지가 형성되고, 내부에 냉각 유체가 유동하는 냉각 유로가 형성된 에어포일; 및

상기 에어포일에서 상기 냉각 유로와 외부를 연통시키고, 입구 및 출구가 형성된 냉각홀을 포함하고,

상기 냉각홀은 상기 출구에,

확장부, 및 상기 확장부로부터 상기 트레일링 엣지를 향하여 함몰된 요홈부가 형성된 터빈.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 확장부와 상기 요홈부의 경계 부분에 일정한 곡률 반경을 갖는 곡선부가 형성된 터빈.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 확장부는,

대략 사각형 형상으로 형성되는 터빈.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 요홈부는,

대략 사각형 형상으로 형성되는 터빈.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 확장부는,

상기 리딩 엣지와 상기 트레일링 엣지를 잇는 직선과 나란한 방향이 제1방향일 때, 상기 제1방향으로의 폭인 제1-1폭이 적어도 일부 구간에서 일정하게 유지되도록 형성되는 터빈.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 제1-1폭은 상기 입구의 내경보다 작거나 같게 형성되는 터빈.

청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 확장부는,

상기 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 상기 제2방향으로의 폭인 제1-2폭이 상기 입구의 내경보다 크게 형성되는 터빈.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 요홈부는,

상기 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고,

상기 제1-2폭은,

상기 입구의 내경과 상기 제2-2폭의 합보다 크게 형성되는 터빈.

청구항 20

제13항에 있어서,

상기 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 상기 요홈부는 상기 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고,

상기 곡선부는 두개가 이격되어 형성되며,

상기 각각의 곡선부들 간의 중심간격은 상기 제2-2폭보다 크게 형성되는 터빈.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈에 관한 것으로, 보다 상세하게는 냉각홀이 형성된 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 가스 터빈은 압축기에서 압축된 압축 공기와 연료를 혼합하여 연소시키고, 연소로 발생된 고온의 가스로 터빈을 회전시키는 동력 기관이다. 가스 터빈은 발전기, 항공기, 선박, 기차 등을 구동하는데 사용된다.

[0003] 일반적으로 가스 터빈은 압축기, 연소기 및 터빈을 포함한다. 압축기는 외부 공기를 흡입하여 압축한 후 연소기로 전달한다. 압축기에서 압축된 공기는 고압 및 고온의 상태가 된다. 연소기는 압축기로부터 유입된 압축 공기와 연료를 혼합해서 연소시킨다. 연소로 인해 발생된 연소 가스는 터빈으로 배출된다. 연소 가스에 의해 터빈 내부의 터빈 블레이드가 회전하게 되며, 이를 통해 동력이 발생된다. 발생된 동력은 발전, 기계 장치의 구동 등 다양한 분야에 사용된다.

[0004] 최근에는 터빈의 효율을 증가시키기 위하여 터빈으로 유입되는 가스의 온도(Turbine Inlet Temperature: TIT)가 지속적으로 상승하는 추세에 있는데, 이로 인하여 터빈 블레이드의 내열처리 및 냉각의 중요성이 부각되고 있다.

[0005] 터빈 블레이드를 냉각하기 위한 방법 중에는 막냉각 방식이 있다. 막냉각 방식은 터빈 블레이드에 형성된 막냉각 홀에 의해서 이루어진다. 막냉각 홀 형상 중에는 대표적으로 홀의 입구와 출구 면적이 동일한 원형 홀이 있다. 원형 홀의 경우 홀 출구에서의 분사 속도가 빨라서 냉각 유체가 터빈 블레이드의 표면을 덮지 못할 수 있다. 이 경우, 냉각 유체가 연소 가스의 유동을 뚫고 나가 막냉각 효율이 감소될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상기한 바와 같은 기술적 배경을 바탕으로, 본 발명은 냉각 효율이 향상된 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 터빈 블레이드는 에어포일, 냉각홀을 포함한다. 에어포일은 리딩 엣지 및 트레일링 엣지가 형성되고, 내부에 냉각 유체가 유동하는 냉각 유로가 형성된다. 냉각홀은 에어포일에서 냉각 유로와 외부를 연통시키고, 입구 및 출구가 형성된다. 냉각홀은 출구에 확장부가 형성되고 확장부로부터 트레일링 엣지를 향하여 함몰된 요홈부가 형성된다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 냉각홀은 출구의 단면적이 입구의 단면적보다 크게 형성될 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드는 확장부와 요홈부의 경계 부분에 일정한 곡률 반경을 갖는 곡선부가 형성될 수 있다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 확장부는 대략 사각형 형상으로 형성될 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 요홈부는 대략 사각형 형상으로 형성될 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드 확장부는 리딩 엣지와 트레일링 엣지를 잇는 직선과 나란한 방향이 제1방향일 때 제1방향으로의 폭인 제1-1폭이 적어도 일부 구간에서 일정하게 유지되도록 형성될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 제1-1폭은 입구의 내경보다 작거나 같게 형성될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 확장부는 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때 제2방향으로의 폭인 제1-2폭이 입구의 내경보다 4배 이상 크게 형성될 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 요홈부는 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고, 제1-2폭은 입구의 내경과 제2-2폭의 합보다 크게 형성될 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드의 요홈부는 제1요홈부 및 제2요홈부를 포함하고, 제1요홈부는 확장부로부터 트레일링 엣지를 향하여 함몰 형성되며, 제2요홈부는 제1요홈부로부터 트레일링 엣지를 향하여 함몰 형성될 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드는 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 요홈부는 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고, 곡선부는 두개가 이격되어 형성되며, 각각의 곡선부들 간의 중심간격은 제2-2폭보다 크게 형성될 수 있다.

[0018] 본 발명의 실시예에 따른 터빈은 터빈 로터 디스크, 터빈 블레이드, 터빈 베인을 포함한다. 터빈 로터 디스크는 회전 가능하게 배치된다. 터빈 블레이드는 터빈 로터 디스크에 복수 개가 배치된다. 터빈 베인은 복수 개가 고

정 배치된다. 터빈 블레이드는 에어포일, 냉각홀을 포함한다. 에어포일은 리딩 엣지 및 트레일링 엣지가 형성되고, 내부에 냉각 유체가 유동하는 냉각 유로가 형성된다. 냉각홀은 에어포일에서 냉각 유로와 외부를 연통시키고, 입구 및 출구가 형성된다. 냉각홀은 출구에, 확장부 및 확장부로부터 트레일링 엣지를 향하여 함몰된 요홈부가 형성된다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈은 확장부와 요홈부의 경계 부분에 일정한 곡률 반경을 갖는 곡선부가 형성될 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 확장부는 대략 사각형 형상으로 형성될 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 요홈부는 대략 사각형 형상으로 형성될 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 확장부는 리딩 엣지와 트레일링 엣지를 잇는 직선과 나란한 방향이 제1방향일 때 제1방향으로의 폭인 제1-1폭이 적어도 일부 구간에서 일정하게 유지되도록 형성될 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 제1-1폭은 입구의 내경보다 작거나 같게 형성될 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 확장부는 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때 제2방향으로의 폭인 제1-2폭이 입구의 내경보다 크게 형성될 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈의 요홈부는 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고, 제1-2폭은 입구의 내경과 제2-2폭의 합보다 크게 형성될 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈은 터빈 블레이드의 회전 반경 방향이 제2방향일 때, 요홈부는 제2방향으로의 폭이 제2-2폭이고, 곡선부는 두개가 이격되어 형성되며, 각각의 곡선부들 간의 중심간격은 제2-2폭보다 크게 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈은, 확장부와 요홈부를 포함하는 냉각홀이 형성되어, 냉각 효율이 향상된다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 터빈의 내부 모습을 나타낸 사시도이다.

도 2는 도 1의 가스 터빈의 일부를 절개하여 나타낸 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드를 나타낸 것이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀을 나타낸 것이다.

도 5는 도 4의 냉각홀의 출구를 나타낸 것이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀에서 토출되는 냉각 유체의 유동을 종래의 경우와 비교하여 나타낸 것이다.

도 7은 제1-1폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 8은 제1-2폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 9는 제2-2폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 10은 제2-1폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 11은 곡선부의 중심간격에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 냉각홀의 출구를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예를 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0030] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명한다. 이때, 첨부된 도면에서 동일한 구성 요소는 가능한 동일한 부호로 나타내고 있음에 유의한다. 또한, 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략할 것이다. 마찬가지 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 개략적으로 도시되었다.

[0033] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 터빈 블레이드 및 이를 포함하는 터빈에 대하여 상세히 설명한다.

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 터빈의 내부 모습을 나타낸 사시도이고, 도 2는 도 1의 가스 터빈의 일부를 절개하여 나타낸 단면도이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드를 나타낸 것이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀을 나타낸 것이고, 도 5는 도 4의 냉각홀의 출구를 나타낸 것이며, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀에서 토출되는 냉각 유체의 유동을 종래의 경우와 비교하여 나타낸 것이다.

[0037] 이하, 도 1 및 도 2를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 가스 터빈(1000)에 대하여 설명한다. 본 발명의 제1실시예를 따른 가스 터빈(1000)의 열역학적 사이클은 이상적으로는 브레이튼 사이클(Brayton cycle)을 따를 수 있다. 브레이튼 사이클은 등엔트로피 압축(단열 압축), 정압 급열, 등엔트로피 팽창(단열 팽창), 정압 방열로 이어지는 4가지 과정으로 구성될 수 있다. 즉, 대기의 공기를 흡입하여 고압으로 압축한 후 정압 환경에서 연료를 연소하여 열에너지를 방출하고, 이 고온의 연소 가스를 팽창시켜 운동에너지로 변환시킨 후에 잔여 에너지를 담은 배기가스를 대기 중으로 방출할 수 있다. 즉, 압축, 가열, 팽창, 방열의 4 과정으로 사이클이 이루어질 수 있다.

[0038] 위와 같은 브레이튼 사이클을 실현하는 가스 터빈(1000)은 도 1에 도시된 바와 같이, 압축기(1100), 연소기(1200) 및 터빈(1300)을 포함할 수 있다. 이하의 설명은 도 1을 참조하겠지만, 본 발명의 설명은 도 1에 예시적으로 도시된 가스 터빈(1000)과 동등한 구성을 가진 터빈 기관에 대해서도 폭넓게 적용될 수 있다.

[0039] 도 1을 참조하면, 가스 터빈(1000)의 압축기(1100)는 외부로부터 공기를 흡입하여 압축할 수 있다. 압축기(1100)는 압축기 블레이드(1130)에 의해 압축된 압축 공기를 연소기(1200)에 공급하고, 또한 가스 터빈(1000)에서 냉각이 필요한 고온 영역에 냉각용 공기를 공급할 수 있다. 이때, 흡입된 공기는 압축기(1100)에서 단열 압축 과정을 거치게 되므로, 압축기(1100)를 통과한 공기의 압력과 온도는 올라가게 된다.

[0040] 압축기(1100)는 원심 압축기(centrifugal compressors)나 축류 압축기(axial compressor)로 설계되는데, 소형 가스 터빈에서는 원심 압축기가 적용되는 반면, 도 1에 도시된 것과 같은 대형 가스 터빈(1000)은 대량의 공기를 압축해야 하기 때문에 다단 축류 압축기(1100)가 적용되는 것이 일반적이다. 이때, 다단 축류 압축기(1100)에서는, 압축기(1100)의 블레이드(1130)는 센터 타이로드(1120)와 로터 디스크의 회전에 따라 회전하여 유입된 공기를 압축하면서 압축된 공기를 후단의 압축기 베인(1140)으로 이동시킨다. 공기는 다단으로 형성된 블레이드(1130)를 통과하면서 점점 더 고압으로 압축된다.

[0041] 압축기 베인(1140)은 하우징(1150)의 내부에 장착되며, 복수의 압축기 베인(1140)이 단을 형성하며 장착될 수 있다. 압축기 베인(1140)은 전단의 압축기 블레이드(1130)로부터 이동된 압축 공기를 후단의 블레이드(1130) 측으로 안내한다. 일 실시예에서 복수의 압축기 베인(1140) 중 적어도 일부는 공기의 유입량의 조절 등을 위해 정해진 범위 내에서 회전 가능하도록 장착될 수 있다.

[0042] 압축기(1100)는 터빈(1300)에서 출력되는 동력의 일부를 사용하여 구동될 수 있다. 이를 위해, 도 1에 도시된 바와 같이, 압축기(1100)의 회전축과 터빈(1300)의 회전축은 토크 튜브(1170)에 의하여 직결될 수 있다. 대형 가스 터빈(1000)의 경우, 터빈(1300)에서 생산되는 출력의 거의 절반 정도가 압축기(1100)를 구동 시키는데 소

모될 수 있다.

[0043] 한편, 연소기(1200)는 압축기(1100)의 출구로부터 공급되는 압축 공기를 연료와 혼합하여 등압 연소시켜 높은 에너지의 연소 가스를 만들어 낼 수 있다. 연소기(1200)에서는 유입된 압축공기를 연료와 혼합, 연소시켜 높은 에너지의 고온, 고압 연소가스를 만들어 내며, 등압연소과정으로 연소기 및 터빈부품이 견딜 수 있는 내열한도까지 연소가스온도를 높이게 된다.

[0044] 연소기(1200)는 셀 형태로 형성되는 하우징 내에 다수가 배열될 수 있으며, 연료분사노즐 등을 포함하는 버너(Burner)와, 연소실을 형성하는 연소기 라이너(Combustor Liner), 그리고 연소기와 터빈의 연결부가 되는 트랜지션 피스(Transition Piece)를 포함하여 구성된다.

[0045] 한편, 연소기(1200)에서 나온 고온, 고압의 연소가스는 터빈(1300)으로 공급된다. 공급된 고온 고압의 연소 가스가 팽창하면서 터빈(1300)의 터빈 블레이드(1400)에 충동, 반동력을 주어 회전 토크가 야기되고, 이렇게 얻어진 회전 토크는 상술한 토크 튜브(1170)를 거쳐 압축기(1100)로 전달되고, 압축기(1100) 구동에 필요한 동력을 초과하는 동력은 발전기 등을 구동하는데 사용된다.

[0046] 터빈(1300)은 로터 디스크(1310)와 로터 디스크(1310)에 방사상으로 배치되는 복수 개의 터빈 블레이드(1400)와 터빈 베인(1500)을 포함한다. 로터 디스크(1310)는 대략 원판 형태를 가지고 있고, 그 외주부에는 복수의 홈이 형성되어 있다. 홈은 굴곡면을 갖도록 형성되며 홈에 터빈 블레이드(1400)가 삽입된다. 터빈블레이드(1400)는 도브테일 등의 방식으로 로터 디스크(1310)에 결합될 수 있다. 터빈 베인(1500)은 회전하지 않도록 고정되며 터빈 블레이드(1400)를 통과한 연소 가스의 흐름 방향을 안내한다.

[0048] 이하, 도 3 내지 도 5를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드(1400) 및 이를 포함하는 터빈(1300)에 대하여 더욱 상세히 설명한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 터빈 블레이드는 에어포일(1410) 및 냉각홀(1440)을 포함한다.

[0049] 에어포일(1410)의 횡단면이 익형이고, 반경 방향을 종방향으로 하여 길게 연장되어 형성될 수 있다. 에어포일(1410)에는 연소 가스의 유동이 통과할 수 있다. 에어포일(1410)에는 리딩 엣지(1411), 트레일링 엣지(1412), 압력면(1413), 흡입면(1414)이 형성될 수 있다. 에어포일(1410)에서 리딩 엣지(1411)는 연소 가스 유동의 상류 측에 형성되고, 트레일링 엣지(1412)는 연소 가스 유동의 하류 측에 형성될 수 있다. 압력면(1413)과 흡입면(1414)은 리딩 엣지(1411)와 트레일링 엣지(1412) 사이에 형성될 수 있다. 압력면(1413)은 에어포일(1410)에서 오목하게 형성될 수 있다. 흡입면(1414)은 압력면(1413)의 배면에서 볼록하게 형성될 수 있다. 압력면(1413)과 흡입면(1414)에서의 압력 차이에 따라, 터빈 블레이드(1400)는 회전할 수 있다.

[0050] 터빈 블레이드(1400)는 플랫폼(1420)과 루트(1430)를 포함할 수 있다. 플랫폼(1420)은 에어포일(1410)의 반경 방향 내측 단부에 배치될 수 있다. 플랫폼(1420)은 대략 두께를 갖는 사각 플레이트 형상으로 형성될 수 있다. 플랫폼(1420)은 에어포일(1410)을 지지할 수 있다. 플랫폼(1420)은 복수 개의 터빈 블레이드(1400) 간의 간격을 유지시킬 수 있다.

[0051] 루트(1430)는 플랫폼(1420)의 반경 방향 내측에 배치될 수 있다. 루트(1430)는 로터 디스크(1310)에 고정 결합된다. 터빈 블레이드(1400)의 루트(1450)는 복수 개가 로터 디스크(1310)에 방사상으로 배치될 수 있다. 이에 따라, 로터 디스크(1310)가 회전시, 루트(1450)도 함께 회전할 수 있다. 루트(1450)는 전나무 형태 또는 도브테일 형태로 형성될 수 있다.

[0052] 에어포일(1410)의 내부에는 냉각 유체(F)가 유동하는 냉각 유로(CS)가 형성된다. 냉각 유체(F)는 압축기(1100)에서 압축된 공기일 수 있다. 냉각 유로(CS)는, 루트(1430)와 플랫폼(1420)을 순차적으로 통과하여, 에어포일(1410)에 이르도록 형성될 수 있다. 이 경우, 냉각 유체(F)는 루트(1430)를 통해서 에어포일(1410)에 유입될 수 있다.

[0053] 에어포일(1410)에는 냉각 유로(CS)와 외부를 연통시키고, 입구 및 출구(O)가 형성된 냉각홀(1440)이 형성된다. 냉각홀(1440)은 에어포일(1410)의 측벽에 형성될 수 있다. 냉각홀(1440)은 적어도 한 개 이상 구비된다. 냉각홀(1440)의 입구는 내경이 D인 원형으로 형성될 수 있다. 냉각홀(1440)은 입구로부터 출구(O)를 향하여 일정 구간에서 내경이 D인 관형으로 형성될 수 있다. 냉각홀(1440)은 내경이 D로 일정한 구간을 지나, 출구(O)까지 종단면적이 확장되는 구간을 포함할 수 있다. 출구(O)의 단면적은 입구의 단면적보다 크게 형성될 수 있다. 이 경우, 냉각 유체(F)의 출구(O)에서의 유속이 감소하여, 냉각 유체(F)가 터빈 블레이드(1400)의 표면에 더욱 많

이 부착될 수 있고, 키드니 와류의 발생을 저감할 수 있다는 장점이 있다.

[0054] 냉각홀(1440)은 에어포일(1410)의 표면을 기준으로 전체적으로, 경사지게 배치될 수 있다. 예를 들어, 냉각홀(1440)은 입구에서 출구(O)를 향해갈수록 트레일링 엣지(1412)를 향하도록 경사지게 형성될 수 있다.

[0055] 이하, 터빈 블레이드(1400)의 회전축과 나란한 방향 또는 리딩 엣지(1411)와 트레일링 엣지(1412)를 잇는 직선과 나란한 방향을 제1방향(A1)이라 하고, 제1방향(A1)과 수직한 방향을 제2방향(A2)이라 정의한다.

[0056] 냉각홀(1440)의 출구(O)는 확장부(1441)와 요홈부(1442)를 포함할 수 있다. 확장부(1441)는 대략 사각형 형상일 수 있다. 확장부(1441)는 각진 사각형 형상일 수도 있고, 꼭짓점 부분이 곡선으로 형성된 사각형 형상일 수 있다. 확장부(1441)는 대략 직사각형 형상일 수 있고, 경우에 따라서 평행사변형, 사다리꼴과 같은 형상으로 형성될 수도 있다. 확장부(1441)의 구체적인 형상은 터빈 블레이드(1400)의 운전 조건 및 환경에 따라 최적화될 수 있음은 물론이다.

[0057] 확장부(1441)는 적어도 일부 구간에서 제1방향(A1)으로의 폭인 제1-1폭(W1-1)이 일정하게 유지되도록 형성될 수 있다. 확장부(1441)는 적어도 일부 구간에서 제1-1폭(W1-1)이 일정하게 유지된 채로, 제2방향(A2)으로 길게 연장되어 형성될 수도 있다. 확장부(1441)는 제1-1폭(W1-1)과, 제2방향(A2)으로의 폭인 제1-2폭(W1-2)을 갖는 사각형 형상으로 형성될 수도 있다. 확장부(1441)의 제1-1폭(W1-1)은 입구의 내경(D)보다 작거나 같은 크기로 형성될 수 있다. 위와 같이 제1-1폭(W1-1)이 일정한 구간에서는, 확장부(1441)에서 냉각 유체(F)가 제2방향(A2)의 지점마다 균일한 양으로 토출될 수 있다.

[0058] 요홈부(1442)는 확장부(1441)의 트레일링 엣지(1412) 측 가장자리에서 함몰되어 형성될 수 있다. 요홈부(1442)는 트레일링 엣지(1412)를 향하여 함몰되어 형성될 수 있다. 요홈부(1442)는 확장부(1441)로부터 트레일링 엣지(1412)를 향하여 단부가 뾰족하게 함몰되어 형성될 수 있고, 단부가 곡선형으로 둥글게 형성될 수도 있다. 또한, 요홈부(1442)는 대략 사각형의 형상으로 형성될 수도 있다. 이 경우, 요홈부(1442)는 제1방향(A1)으로의 폭인 제2-1폭(W2-1)과, 제2방향(A2)으로의 폭인 제2-2폭(W2-2)을 갖는 사각형 형상으로 형성될 수도 있다. 요홈부(1442)의 구체적인 형상은 터빈 블레이드(1400)의 운전 조건 및 환경에 따라 최적화될 수 있음은 물론이다.

[0059] 확장부(1441)와 요홈부(1442)의 경계 부분에는 곡선부(1443)가 형성될 수 있다. 곡선부(1443)는 확장부(1441)와 요홈부(1442)가 만나는 모서리 부분에서 형성될 수 있다. 곡선부(1443)는 냉각홀(1440) 출구(O)의 외측에 곡률 중심이 배치되고 일정한 곡률 반경을 갖는 곡선의 형상으로 형성될 수 있다. 곡선부(1443)는 두 개의 곡선부(1443)가 서로 이격된 채로 형성될 수 있다. 두 개의 곡선부(1443)는 각각의 곡률 중심 사이에 간격(R)이 형성될 수 있고, 이를 중심간격(R)이라 한다. 곡선부(1443)는 확장부(1441)와 요홈부(1442)에서 와류가 형성되는 것을 방지하여, 냉각 유체(F)가 원활하게 토출될 수 있도록 할 수 있다.

[0060] 도 6을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀(1440)에서의 유동을 보다 자세히 설명한다. 도 6은, 냉각 유체(F)가 유동하는 냉각홀(1440)의 측단면을, 종래의 경우와 본 발명의 일 실시예에 따른 경우를 나누어 나타낸 것이다. 도 6에서는 온도분포가 도시되어 있다. 온도분포는 유체의 온도가 T, 연소 가스 입구 유동의 온도가 TH, 냉각 유체(F)의 출구 유동의 온도 Tc일 때, (TH-T)/(TH-Tc)의 파라미터로 나타낼 수 있다.

[0061] 요홈부(1442)에서 토출되는 냉각 유체(F)의 유동은, 확장부(1441)에서 토출되는 냉각 유체(F)의 유동보다, 에어포일(1410)의 표면에서 트레일링 엣지(1412)를 향하여 더욱 길게 부착되어 형성될 수 있다. 요홈부(1442)에서 토출되는 냉각 유체(F)는 확장부(1441)에서 토출되는 냉각 유체(F)의 유동을 트레일링 엣지(1412)를 향하여 유도할 수 있다. 이에 따라, 종래의 경우(도 6(a))보다 냉각 유체(F)의 유동이 에어포일(1410)의 표면에 부착된 채로 더욱 멀리 뻗어나감을 알 수 있다(도6 (b)).

[0063] 도 7은 제1-1폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이고, 도 8은 제1-2폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이며, 도 9는 제2-2폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이고, 도 10은 제2-1폭의 크기에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이고, 도 11은 곡선부의 중심간격에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 그래프이다.

[0064] 이하, 도 7 내지 도 11을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 냉각홀(1440) 및 냉각홀(1440)의 형상에 의한 터빈 블레이드(1400)의 냉각 효율에 대하여 상세히 설명한다.

[0065] 이하의 그래프들은, 분사비율(Blowing Ratio, 이하 BR)이 2인 경우를 조건으로 하여 측정한 것이다. 분사비율(BR)은, 터빈 블레이드(1400)에서의 단위 면적 당 연소 가스의 질량 유량에 대한, 냉각홀(1440)에서의 단위 면

적 당 냉각 유체(F)의 질량 유량의 비율로 정의된다. 즉, 터빈 블레이드(1400)에서의 연소 가스의 유속과 밀도가 각각 VH와 DH이고, 냉각홀(1440)에서의 냉각 유체(F)의 유속과 밀도가 각각 Vc와 Dc인 경우, 분사비율(BR)은 (Vc*Dc)/(VH*DH)로 정의된다.

[0066] 또한, 이하의 그래프들에서 도시된 냉각 효율(Area-averaged film cooling effectiveness)은 (T-TH)/(Tc-TH)로 정의된다. 이 때, TH는 연소 가스 유동의 입구 온도이며, Tc는 냉각 유체(F) 유동의 출구(O) 온도이고, T는 단열벽면온도이다.

[0067] 도 7은 입구내경(D), 제1-2폭(W1-2), 제2-1폭(W2-1), 제2-2폭(W2-2)이 일정할 때, 제1-1폭(W1-1)의 변화에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 제1-1폭(W1-1)이 입구내경(D)보다 큰 경우에는 냉각 효율이 0.25보다 작게 측정되었다. 반면에 제1-1폭(W1-1)이 입구내경(D)의 절반인 경우 냉각 효율이 0.4에 근접한 값으로 측정되었다. 즉, 제1-1폭(W1-1)이 입구내경(D)의 이하인 경우, 냉각 효율이 극대화됨을 알 수 있다. 이는 냉각 유체(F)의, 확장부(1441)에서의 유동과 요홈부(1442)에서의 유동의 상호작용으로 인한 것일 수 있다.

[0068] 도 8은 입구내경(D), 제1-1폭(W1-1), 제2-1폭(W2-1), 제2-2폭(W2-2)이 일정할 때, 제1-2폭(W1-2)의 변화에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 제1-2폭(W1-2)이 입구내경(D)의 3배 또는 4배인 경우에는 냉각 효율이 0.25보다 작게 측정되었다. 반면에 입구내경(D)의 5배인 경우에는 냉각 효율이 0.30에 근접한 값으로 측정되었다. 따라서, 제1-2폭(W1-2)이 입구내경(D)의 4배보다 큰 경우, 냉각 효율이 증가하는 것을 알 수 있다.

[0069] 더욱 구체적으로는, 제1-2폭(W1-2)이 입구내경(D)의 4.5배보다 크고 5.95보다 작은 경우, 냉각 효율이 극대화되는 것이 측정되었다. 이는 냉각 유체(F)의, 확장부(1441)에서의 유동과 요홈부(1442)에서의 유동의 상호작용으로 인한 것일 수 있다.

[0070] 도 9는 입구내경(D), 제1-1폭(W1-1), 제1-2폭(W1-2), 제2-1폭(W2-1)이 일정할 때, 제2-2폭(W2-2)의 변화에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 제2-2폭(W2-2)이 입구내경(D)과 같은 경우 냉각 효율은 0.20에 근접하고, 제2-2폭(W2-2)이 입구내경(D)의 2배인 경우 냉각 효율은 0.25에 못 미치는 것으로 측정되었다. 반면에, 제2-2폭(W2-2)이 입구내경(D)의 3배인 경우 냉각 효율이 0.25를 넘어 0.30에 근접하는 값으로 측정되었다.

[0071] 구체적으로는, 제1-2폭(W1-2)의 길이가 제2-2폭(W2-2)과 입구내경(D)의 합보다 큰 경우에 냉각 효율이 극대화되었다. 다만, 제1-2폭(W1-2)의 길이가 제2-2폭(W2-2)과 입구내경(D)의 2배의 합의 이상인 경우에는 냉각 효율이 증가하지 않았다. 이는 냉각 유체(F)의, 확장부(1441)에서의 유동과 요홈부(1442)에서의 유동의 상호작용으로 인한 것일 수 있다.

[0072] 도 10은 입구내경(D), 제1-1폭(W1-1), 제1-2폭(W1-2), 제2-2폭(W2-2)이 일정할 때, 제2-1폭(W2-1)의 변화에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 제2-1폭(W2-1)이 입구내경(D)의 1.5배 또는 2.0배인 경우 냉각 효율은 0.25보다 작게 측정되었다. 반면에, 제2-1폭(W2-1)이 입구내경(D)과 같은 경우 냉각 효율이 0.25보다 높게 측정되었다. 따라서, 제2-1폭(W2-1)이 입구내경(D)의 1.5배보다 작은 경우, 냉각 효율이 극대화됨을 알 수 있다.

[0073] 이는 냉각 유체(F)의, 확장부(1441)에서의 유동과 요홈부(1442)에서의 유동의 상호작용으로 인한 것일 수 있다. 다만, 냉각홀(1440)의 출구(O)에 곡선부(1443)가 형성될 경우, 곡선부(1443)의 곡률 반경을 고려하여, 제2-1폭(W2-1)은 입구내경(D)의 0.5배 보다는 크게 형성될 수 있다.

[0074] 도 11은 제1-2폭(W1-2)이 입구내경(D)의 4배이고, 제2-2폭(W2-2)이 입구내경(D)의 2배이며, 제1-1폭(W1-1)이 입구내경(D)과 같고, 제2-1폭(W2-1이 입구내경(D)의 1.5배인 경우, 곡선부(1443)의 간격 변화에 따른 냉각 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 곡선부(1443)의 간격(R)은 두개의 곡선부(1443)에 있어서 각각의 곡률 중심 간의 간격인 중심간격(R)을 의미한다. 중심간격(R)의 크기가 제2-2폭(W2-2)과 같은 경우 냉각 효율은 0.25보다 낮게 측정되었다. 중심간격(R)의 크기가 제2-2폭(W2-2)과 입구내경(D)의 0.5배의 합과 같은 경우 냉각 효율은 0.25에 근접하게 측정되었다. 그리고 곡률반경(R)이 제2-2폭(W2-2)과 입구내경(D)의 합과 같은 경우 냉각 효율은 0.25보다 높게 측정되었다.

[0075] 즉, 곡선부(1443)가 형성된 경우가 곡선부(1443)가 형성되지 않은 경우보다 냉각 효율이 높게 측정되었고, 곡선부(1443)의 중심간격(R)은 제2-2폭(W2-2)과 입구내경(D)의 합과 같은 경우, 높은 냉각 효율을 가짐을 알 수 있다. 이는 곡선부(1443)가 확장부(1441)과 요홈부(1442)에서 발생할 수 있는 와류의 형성을 방지하였기 때문일 수 있다.

[0077] 도 12는 본 발명의 다른 실시예에 따른 터빈 블레이드의 냉각홀의 출구를 나타낸 것이다.

[0078] 이하, 도 12를 참조하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 터빈 블레이드(1400)의 냉각홀(1440)에 대하여 설명한다. 본 발명의 다른 실시예에 따른 냉각홀(1440)은 요홈부(1442)가 제1요홈부(1444)와 제2요홈부(1445)를 포함할 수 있다.

[0079] 요홈부(1442)가 제1요홈부(1444)와 제2요홈부(1445)를 포함하는 경우, 확장부(1441)에서 토출되는 냉각 유체(F)가 제1요홈부(1444)에서 토출되는 냉각 유체(F)에 의해서 안내될 수 있다. 그리고, 제1요홈부(1444)에서 토출되는 냉각 유체(F)는 제2요홈부(1445)에서 토출되는 냉각 유체(F)에 의해서 안내될 수 있다. 즉, 확장부(1441)와 요홈부(1442)에서 토출되는 냉각 유체(F) 간의 상호 작용이 더욱 긴밀하게 형성될 수 있어, 냉각 효율이 더욱 극대화될 수 있다는 장점이 있다.

[0080] 도 12에서는 냉각홀(1440)의 요홈부(1442)가 제1요홈부(1444) 및 제2요홈부(1445)로 구비된 것을 도시하고 있지만, 경우에 따라서, 제n요홈부로부터 함몰 형성된 제n+1요홈부가 추가로 형성될 수도 있다(n은 2 이상의 자연수).

[0082] 이상, 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이러한 수정, 변경 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함된다고 할 것이다.

부호의 설명

[0083] 1400 : 터빈 블레이드 1410 : 에어포일

1411 : 리딩 엣지 1412 : 트레일링 엣지

1413 : 압력면 1414 : 흡입면

1420 : 플랫폼 1430 : 루트

1440 : 냉각홀 1441 : 확장부

1442 : 요홈부 1443 : 곡선부

1444 : 제1요홈부 1445 : 제2요홈부

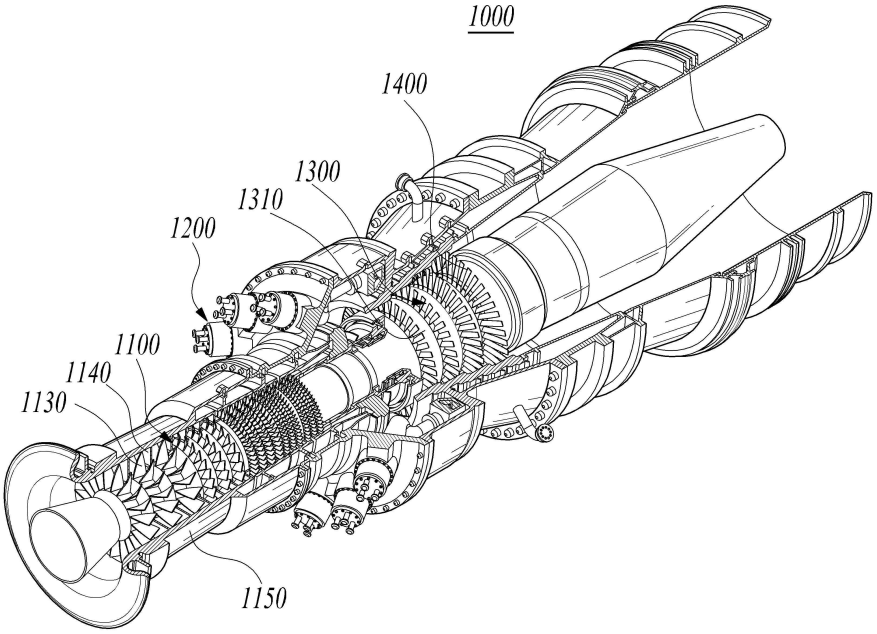
W1-1 : 제1-1폭 W1-2 : 제1-2폭

W2-1 : 제2-1폭 W2-2 : 제2-2폭

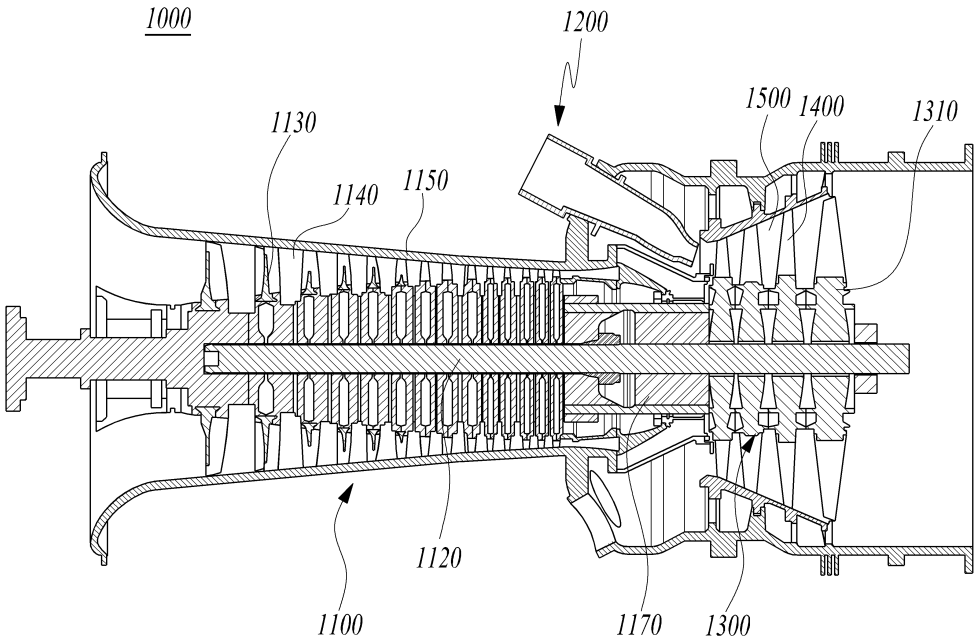
R : 중심간격

도면

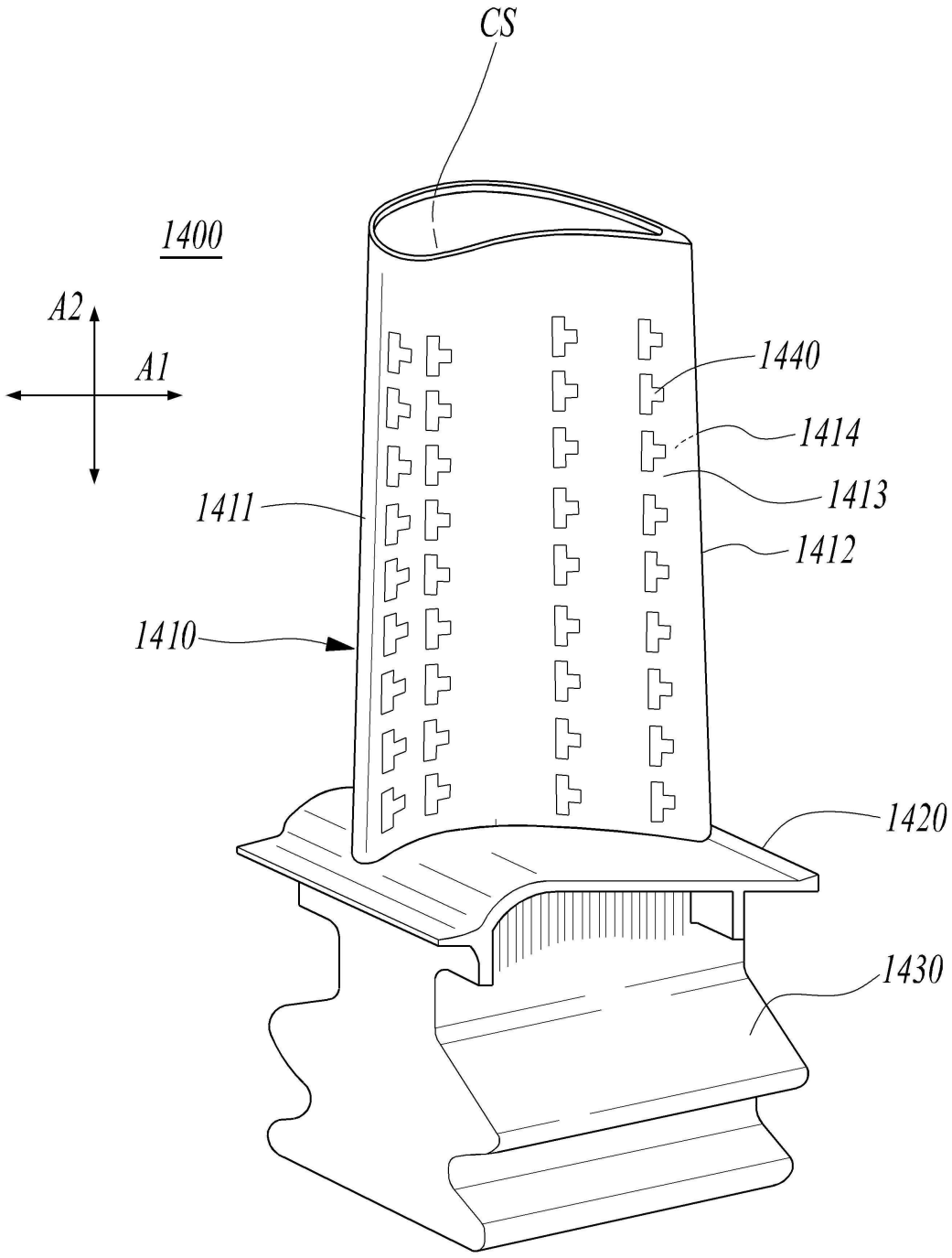
도면1


1000
1400
1300
1310
1200
1100
1140
1130
1150

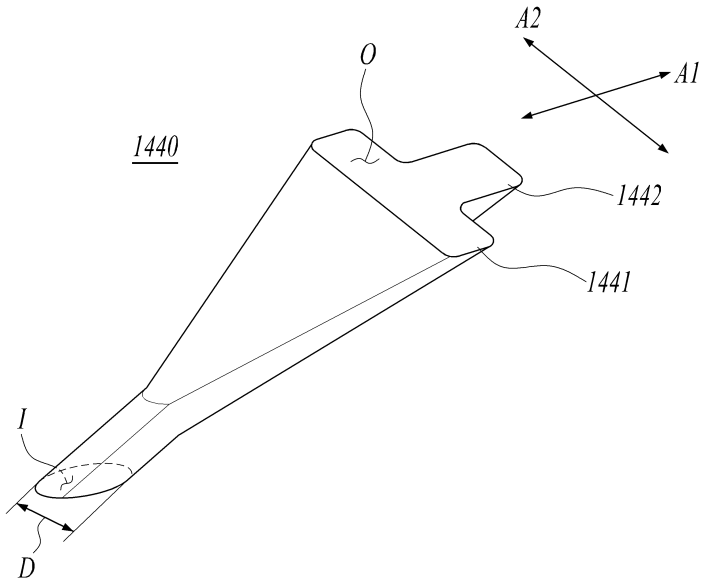
도면2


1000
1200
1130
1500
1400
1310
1140
1150
1120
1100
1170
1300

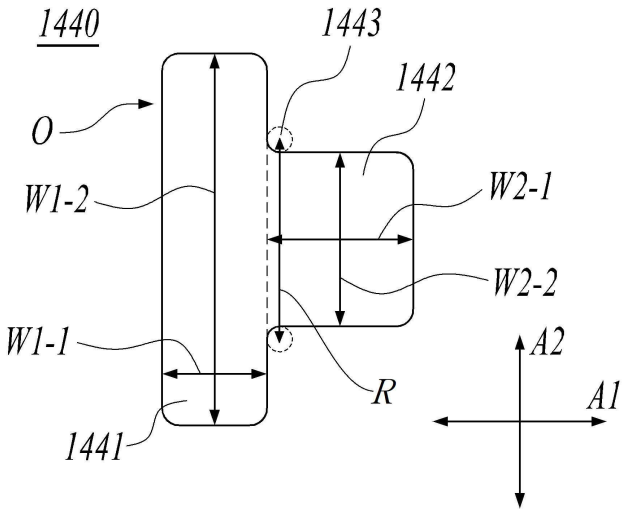
도면3



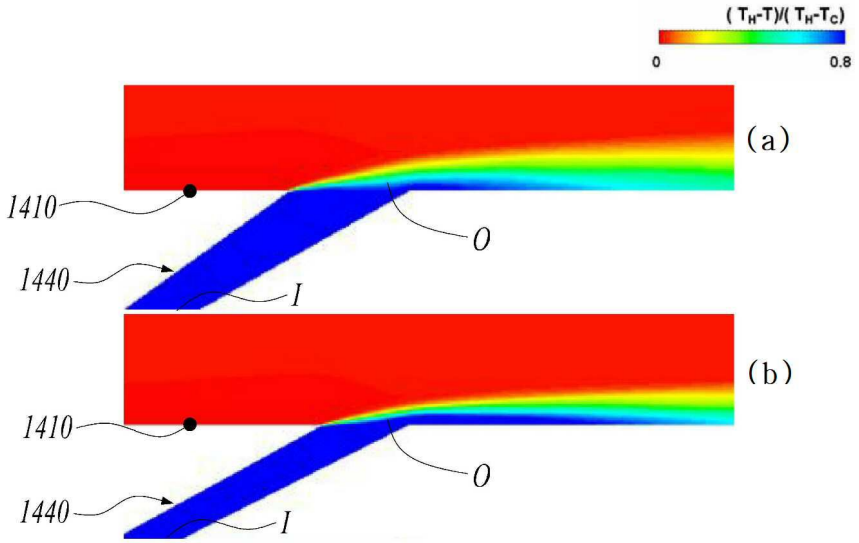
도면4


A2
O
A1
1440
1442
1441
I
D

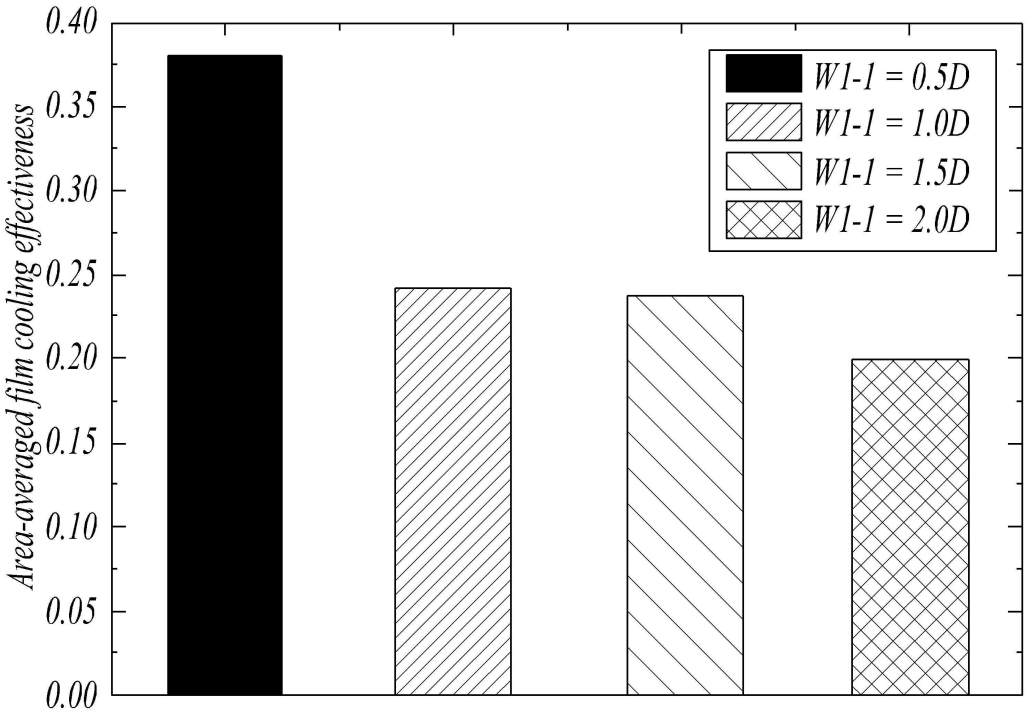
도면5


1440
1443
1442
O
W1-2
W2-1
W2-2
W1-1
A2
R
A1
1441

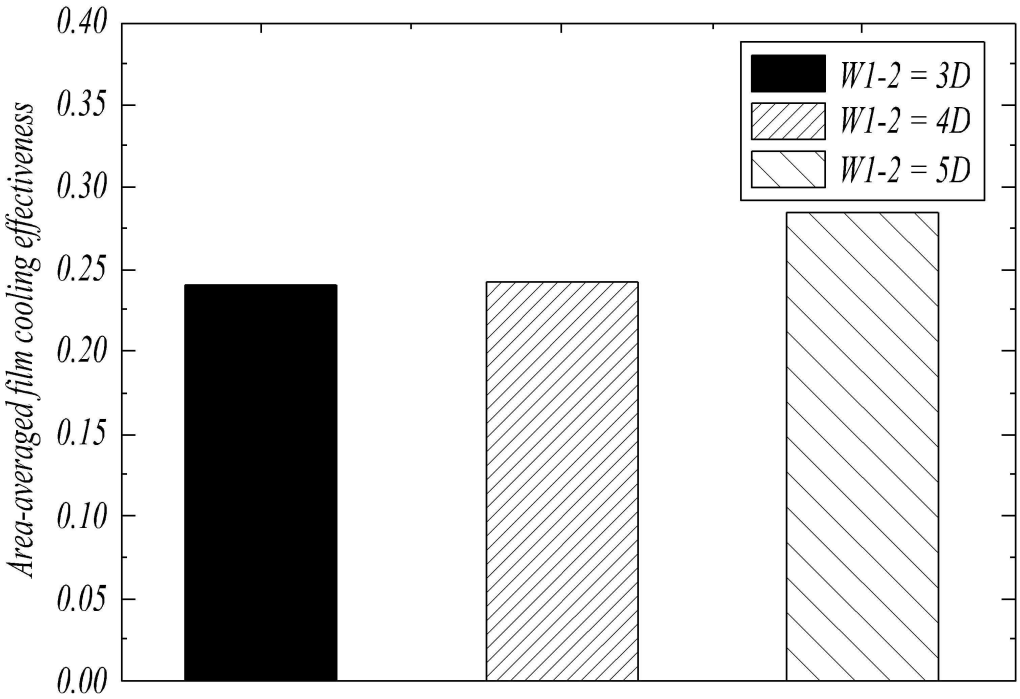
도면6


(T_H-T)/(T_H-T_C)
0
0.8
(a)
1410
O
1440
I
(b)
1410
O
1440
I

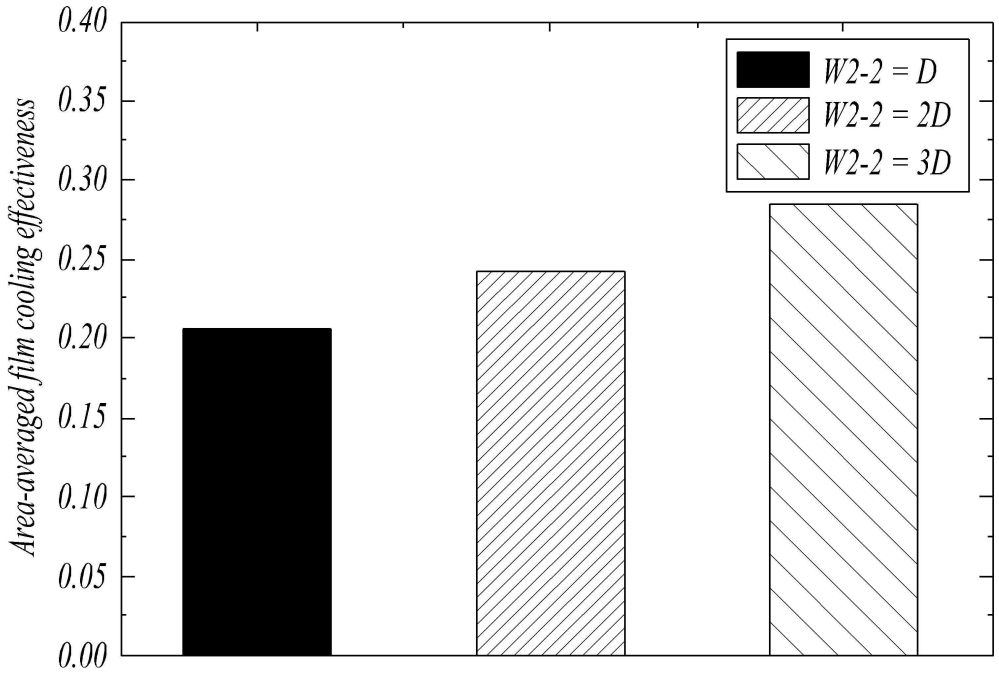
도면7


Area-averaged film cooling effectiveness
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
W1-1 = 0.5D
W1-1 = 1.0D
W1-1 = 1.5D
W1-1 = 2.0D

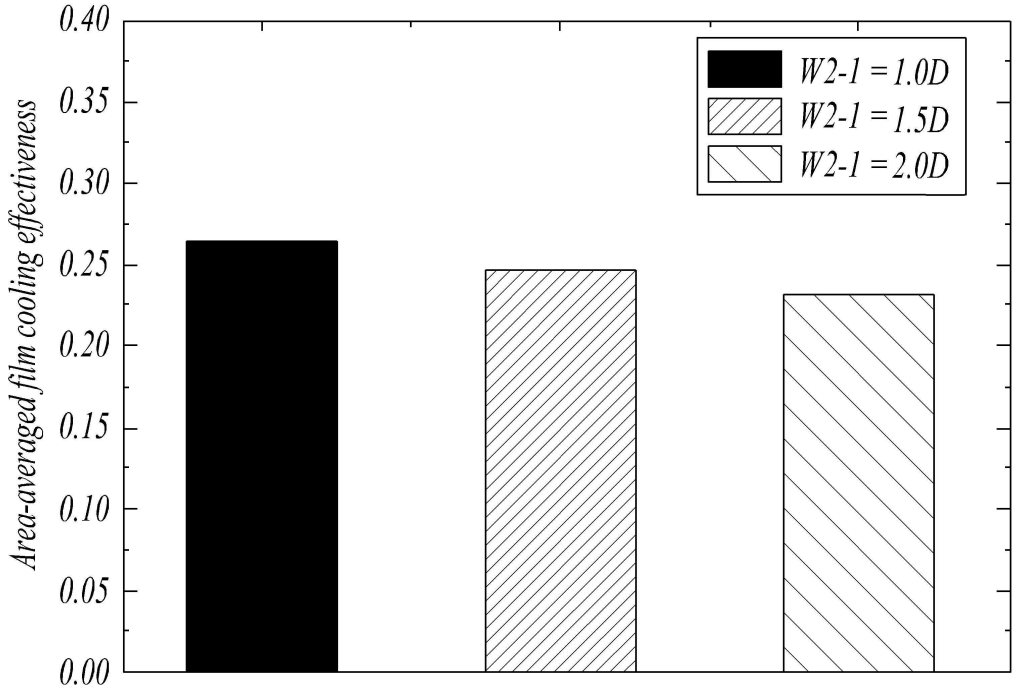
도면8


Area-averaged film cooling effectiveness
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
W1-2 = 3D
W1-2 = 4D
W1-2 = 5D

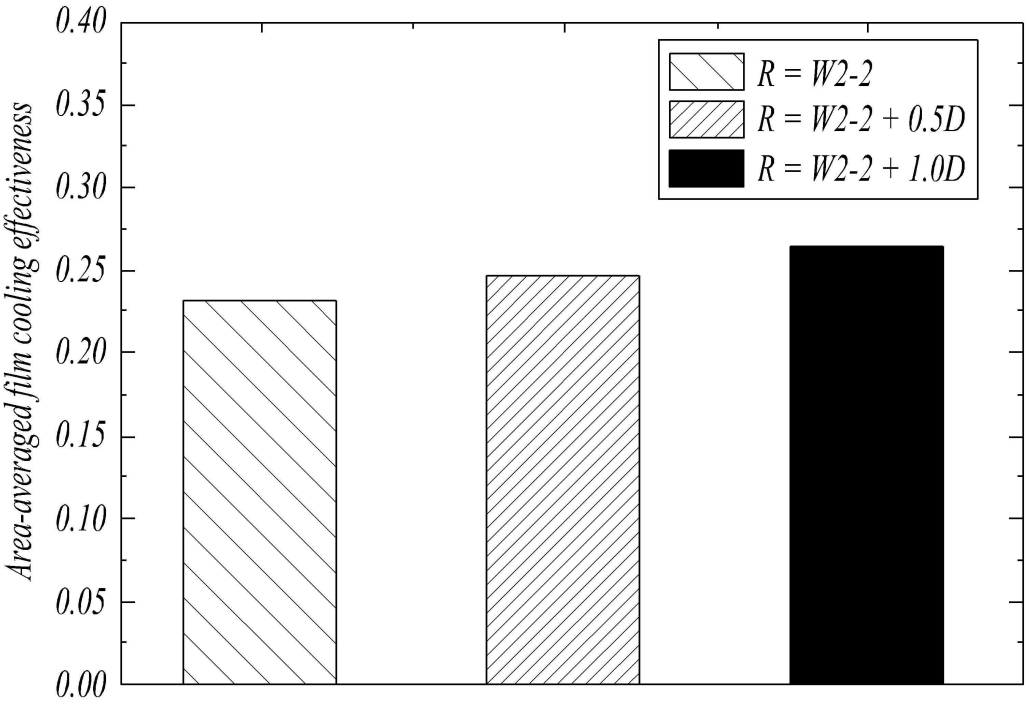
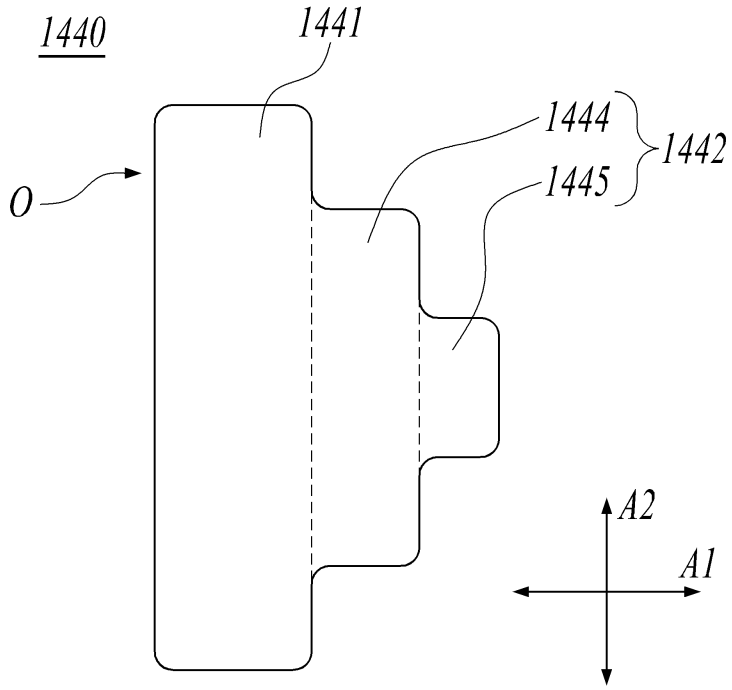
도면9


Area-averaged film cooling effectiveness
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
W2-2 = D
W2-2 = 2D
W2-2 = 3D

도면10


0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Area-averaged film cooling effectiveness
W2-1 = 1.0D
W2-1 = 1.5D
W2-1 = 2.0D

도면11


0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Area-averaged film cooling effectiveness
R = W2-2
R = W2-2 + 0.5D
R = W2-2 + 1.0D

도면12