

|                                                                                                                      |                                                  |                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | <b>(19) 대한민국특허청(KR)</b><br><b>(12) 공개특허공보(A)</b> | <b>(11) 공개번호</b> 10-2012-0115006<br><b>(43) 공개일자</b> 2012년10월17일                     |
| <b>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)</b><br><b>F01D 5/18</b> (2006.01) <b>F02C 7/12</b> (2006.01)<br><b>F01D 25/12</b> (2006.01) |                                                  | <b>(71) 출원인</b><br><b>인하대학교 산학협력단</b><br>인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)               |
| <b>(21) 출원번호</b> 10-2011-0032899                                                                                     |                                                  | <b>(72) 발명자</b><br><b>김광용</b><br>서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12, 105동 1001호 (방배동, 래미안방배아트힐) |
| <b>(22) 출원일자</b> 2011년04월08일                                                                                         |                                                  | <b>이기돈</b><br>서울특별시 구로구 구로동로25길 11-24 (구로동)                                          |
| <b>심사청구일자</b> 2011년04월08일                                                                                            |                                                  | <b>(74) 대리인</b><br><b>김국진</b>                                                        |

전체 청구항 수 : 총 4 항

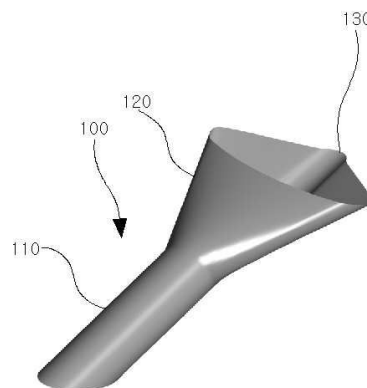
(54) 발명의 명칭 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조

### (57) 요약

본 발명은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 목적으로 사용되는 막냉각 홀의 형상을 특징하여 냉각 유체가 냉각 표면에 보다 넓고 효과적으로 분포할 수 있도록 함으로써 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 냉각 효율을 얻을 수 있도록 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것이다.

본 발명은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 있어서, 일정한 단면적을 갖는 원통부와, 상기 원통부의 상단에 연결되어 그 단면적이 점점 넓어지는 확관부 및 홀 출구의 중앙부분이 유동방향으로 돌출되도록 하여 확관부에 돌출 형성되는 돌출부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

**대표도** - 도3



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 있어서,

일정한 단면적을 갖는 원통부와,

상기 원통부의 상단에 연결되어 그 단면적이 점점 넓어지는 확관부 및

홀 출구의 중앙부분이 유동방향으로 돌출되도록 하여 확관부에 돌출 형성되는 돌출부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 막냉각 홀은 가스터빈 블레이드에  $30^\circ$  의 기울기를 갖도록 형성되고, 원통부의 직경을 D라고 했을 때, 원통부와 확관부의 길이는 각각 3D인 것을 특징으로 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조.

### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 확관부는 원통부를 기준으로 하여 양 측면방향으로  $25^\circ$  의 기울기를 갖도록 확관되는 것을 특징으로 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조.

### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 돌출부는 원통부를 기준으로 하여 홀 출구 방향으로 저면부분이  $2.5^\circ$  만큼 확관되는 방향으로 돌출 형성된 것을 특징으로 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 목적으로 사용되는 막냉각 홀의 형상을 특정하여 냉각 유체가 냉각 표면에 보다 넓고 효과적으로 분포할 수 있도록 함으로써 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 냉각 효율을 얻을 수 있도록 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 일반적으로, 가스터빈 엔진의 효율 및 성능을 높이기 위해 최근 가스터빈 엔진은  $1,500\sim 1700^\circ\text{C}$ 에서 작동되도록 설계되고 있으며, 열효율을 더욱 높이기 위해 터빈 입구온도를 연평균  $20^\circ\text{C}$ 씩 꾸준히 상승시켜 설계하는 추세이다.

[0003] 따라서 높은 입구온도로부터 터빈 블레이드를 보호하기 위해 다양한 냉각기법들이 연구 및 개발되고 있는데, 그 중 막냉각(film-cooling) 방법은 블레이드 표면과 일정한 각도를 이루는 홀(hole)을 통해 냉각유체를 분사하여

블레이드 표면에 막을 형성함으로써 고온의 주유동가스로부터 표면을 보호하는 방법으로, 이 방법은 매우 효과적인 냉각성능으로 인해 가장 보편적으로 사용되고 있다.

[0004] 막냉각을 위해서는 압축기로부터 추출된 고압의 냉각공기가 사용되므로 과도한 양의 압축공기의 사용은 가스터빈의 효율을 감소시키므로 효과적인 냉각방식의 필요성이 대두 되고 있으며, 홀의 형상은 막냉각 효율에 크게 영향을 끼치기 때문에 막냉각 효율을 높이기 위해 다양한 홀의 형상이 개발되고 있는 실정이다.

[0005] 그 중 미국공개특허공보 제2008/0031738호에는 벨 형상의 막냉각 홀의 구성이 개시되어 있는데, 그 주요 기술적 구성은 도 1에 나타난 바와 같이, 터빈 날개부 냉각 회로를 가진 유체 연통에서 에어포일(22)의 외표면에서 형성된 다수의 냉각홀(50)에 관한 것으로, 냉각홀(50)은 계량부(58)와 에어포일(50)의 외측 표면으로 개구된 확산부(51)를 포함하여 전체적으로 벨형상을 이루도록 구성되어 높은 냉각효율을 갖도록 한 것에 특징이 있다.

[0006] 또한, 도 2에 나타난 종래의 팬 형상의 냉각홀(70)의 형상 또한, 냉각홀이 확산부를 포함하여 냉각홀(70)을 통과하는 냉각유체가 확산될 수 있도록 한 것에 특징이 있다.

[0007] 하지만, 상기 도 1에 나타난 종래의 냉각홀(50) 형상은 길이방향으로의 확산 효과는 어느 정도 기대할 수 있으나, 폭방향으로의 확산 효과가 미비하여 전체적인 냉각유체의 확산효과가 떨어지게 되고, 도 2에 나타난 종래의 팬 형상의 냉각홀(70) 형상 구조 또한 폭방향 및 길이방향으로의 확산 효과가 떨어져 냉각 성능이 떨어지게 되고, 전체적으로 많은 수의 냉각홀(70)이 필요하게 되어 냉각유체의 사용량이 많이 필요하게 되는 문제점이 있었다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 목적으로 사용되는 막냉각 홀의 형상을 특정함으로써 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 냉각 효율을 얻을 수 있는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조를 제공함에 있다.

[0009] 또한, 본 발명은 향상된 냉각성능으로 인해 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시킬 수 있고, 적은 냉각유체의 사용 및 홀의 개수를 줄임으로써 엔진의 효율을 상승시킬 수 있는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조를 제공함에 다른 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0010] 상기한 바와 같은 목적들을 달성하기 위한 본 발명은,

[0011] 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 있어서, 일정한 단면적을 갖는 원통부와, 상기 원통부의 상단에 연결되어 그 단면적이 점점 넓어지는 확관부 및 홀 출구의 중앙부분이 유동방향으로 돌출되도록 하여 확관부에 돌출 형성되는 돌출부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

[0012] 이때, 상기 막냉각 홀은 가스터빈 블레이드에 30°의 기울기를 갖도록 형성되고, 원통부의 직경을 D라고 했을 때, 원통부와 확관부의 길이는 각각 3D인 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기 확관부는 원통부를 기준으로 하여 양 측면방향으로 25°의 기울기를 갖도록 확관되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 그리고, 상기 돌출부는 원통부를 기준으로 하여 홀 출구 방향으로 저면부분이 2.5°만큼 확관되는 방향으로 돌출 형성된 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

[0015] 본 발명에 따르면, 확관부 및 확관부에 돌출 형성되는 돌출부에 의해 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 가스터빈 블레이드의 냉각 효율을 얻을 수 있는 뛰어난 효과를 갖는다.

[0016] 또한, 본 발명에 따르면 향상된 냉각성능으로 인해 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시킬 수 있고, 적은 냉각유체의 사용 및 홀의 개수를 줄임으로써 엔진의 효율을 상승시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전체적인 가스터빈의 구조적 안정성을 향상시킬 수 있는 효과를 추가로 갖는다.

### 도면의 간단한 설명

[0017] 도 1 및 도 2는 종래의 막냉각 홀의 형상을 나타낸 도면.  
 도 3은 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀을 나타낸 사시도.  
 도 4는 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 평면도 및 측면면도.  
 도 5는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서 측면방향으로 평균한 막냉각 효율을 나타낸 그래프.  
 도 6은 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서 평균한 막냉각 효율을 나타낸 그래프.  
 도 7의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서의 막냉각 효율 분포를 나타낸 도면.  
 도 8의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상 출구에서의 속도벡터를 나타낸 도면.  
 도 9의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀을 통과하는 냉각유체의 유선 분포를 나타낸 도면.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조의 바람직한 실시예에 대하여 상세히 설명하기로 한다.

[0019] 도 3은 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀을 나타낸 사시도이고, 도 4는 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 평면도 및 측면면도이며, 도 5는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서 측면방향으로 평균한 막냉각 효율을 나타낸 그래프이고, 도 6은 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서 평균한 막냉각 효율을 나타낸 그래프이며, 도 7의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상에 대한 냉각표면에서의 막냉각 효율 분포를 나타낸 도면이고, 도 8의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀 형상 출구에서의 속도벡터를 나타낸 도면이며, 도 9의 (a),(b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀과 본 발명의 홀을 통과하는 냉각유체의 유선 분포를 나타낸 도면이다.

[0020] 본 발명은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 목적으로 사용되는 막냉각 홀의 형상을 특정하여 냉각 유체가 냉각 표면에 보다 넓고 효과적으로 분포할 수 있도록 함으로써 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 냉각 효율을 얻을 수 있도록 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀(100)의 형상 구조에 관한 것으로, 그 구성은 도 3에 나타난 바와 같이, 크게 원통부(110), 확관부(120) 및 돌출부(130)로 이루어진다.

[0021] 보다 상세히 설명하면, 상기 원통부(110)는 냉각유체가 유입되는 입구부 역할을 하는 것으로, 도 4에 나타난 바와 같이, 가스터빈 블레이드(80)의 폭을 3D라 하였을 때, 직경이 D인 원통형상으로 이루어지고, 냉각유체의 진행방향으로 30°의 기울기를 갖도록 하여 3D의 길이를 갖도록 형성된다.

[0022] 따라서, 블레이드(80)의 하부로부터 공급되는 냉각 유체는 직경이 좁은 원통부(110) 내로 유입되어 그 유속이 빨라지게 된다.

[0023] 다음, 상기 확관부(120)는 원통부(110)의 상부에 그 단면적이 점점 넓어지도록 연결되어 원통부(110)로부터 유입되는 냉각유체가 출구부를 통해 배출될 때 넓게 퍼질 수 있도록 하여 냉각의 범위를 확장시킬 수 있도록 하는 역할을 하는 것으로, 원통부(110)를 기준으로 하였을 때 양 측면 방향으로 25°의 기울기를 갖도록 확관되고,

그 전체적인 길이는 3D가 되도록 구성되어 있다.

[0024] 다음, 상기 돌출부(130)는 냉각유체의 진행방향으로 돌출되도록 하여 확관부(120)의 저면에 형성된 것으로, 냉각유체를 블레이드(80) 표면에 고르게 분포시키는 역할을 하게 된다.

[0025] 즉, 상기 돌출부(130)는 도 4에 나타난 바와 같이, 원통부(110)를 기준으로 하여 홀(100)의 출구 방향으로 저면 부분이 2.5° 만큼 확장되는 방향으로 돌출 형성되어 확관부(120)를 통과하는 냉각유체가 길이방향으로도 넓게 분포되도록 함으로써 보다 효율적인 블레이드(80)의 냉각이 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

[0026] 상기와 같은 형상적 특징을 갖는 막냉각 홀(100)의 냉각성능을 평가하기 위해서, 유동장과 막냉각에 대한 수치 해석을 수행하였다.

[0027] 삼차원 Reynolds-averaged Navier-Stokes equation을 풀기 위해 상용전산유체역학 코드인 ANSYS CFX-11.0을 사용하였으며, 육면체 격자 및 shear stress transport 난류모델을 사용하였다.

[0028] 작동유체는 공기(이상기체(ideal gas), air)이며, 경계조건으로는 벽면에 단열조건과 접촉조건을 적용하였고, 냉각유체 공급유로의 입구에는 유량조건을 부여하였다. 주유로의 입구에는 전압력 조건(100,400 Pa)을, 출구에는 정압조건(93,500 Pa)을 주었으며, 고온가스의 마하수는 0.3을, 고온가스와 냉각유체의 온도는 각각 540K, 310K을 적용하였다.

[0029] 분사율(M)의 변화에 따른 측면방향 및 면적 평균한 막냉각 효율을 계산하여 막냉각 표면에서의 냉각성능을 평가하였으며, 막냉각 효율( $\eta$ ) 및 분사율(M)은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\eta(x/D, z/D) = \frac{T_{aw}(x/D, z/D) - T_{\infty}}{T_c - T_{\infty}} \quad (1)$$

$$M = \frac{\rho_2 U_2}{\rho_{\infty} U_{\infty}} \quad (2)$$

[0032] 여기서  $T_{aw}$ 는 단열벽면온도를 의미하며,  $T_{\infty}$ 와  $T_c$ 는 각각 주유동과 냉각유체의 분사온도를 나타낸다. 또한  $\rho_2$ 와  $U_2$ 는 각각 냉각 유체가 분사되는 지점에서 측정한 냉각유체의 밀도와 속도를 나타내며,  $\rho_{\infty}$ 와  $U_{\infty}$ 는 고온가스의 입구부근에서 측정한 밀도와 속도를 의미한다. 그리고, D는 본 발명에 따른 막냉각 홀(100)의 원통부(100) 직경이고,  $x$ 와  $z$ 는 각각 냉각 유체가 분사되는 지점으로부터의  $x$  방향, 즉 분사방향 및  $z$  방향, 즉 측면방향으로부터의 거리를 나타낸다.

[0033] 도 5는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀(70)과 본 발명의 막냉각 홀(100) 형상에 대한 냉각표면에서 측면방향으로 평균한 막냉각 효율( $\eta_1$ )을 나타낸 것으로, 팬 형상 홀(70)의 수치해석결과와 실험결과와 좋은 일치성을 보여주며, 본 발명에 따른 막냉각 홀(100)은 팬 형상 홀(70)과 비교하여 분사율이 0.5일 때는 막냉각 효율( $\eta_1$ )이 미세하게 증가하였으나 분사율이 2.5일 때는 월등하게 높은 막냉각 효율( $\eta_1$ )을 보임을 확인할 수 있다.

[0034] 도 6은 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀(70)과 본 발명의 막냉각 홀(100) 형상에 대한 냉각표면에서 평균한 막냉각 효율( $\eta_s$ )을 나타낸 것으로, 본 발명에 따른 막냉각 홀(100)은 팬 형상 홀(70)과 비교하였을 때 높은 막냉각 효율( $\eta_s$ )을 보이는 것을 확인할 수 있고, 특히 분사율이 증가함에 따라 기존에 사용되어지는 팬 형상 홀(70)과 비교하여 월등히 높은 막냉각 효율( $\eta_s$ )을 보임을 알 수 있다.

- [0035] 도 7의 (a), (b)는 분사율이 1.5와 2.5일 때, 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀(70)과 본 발명의 홀(100) 형상에 대한 냉각표면에서의 막냉각 효율 분포를 나타낸 것으로, 종래의 팬 형상 홀(70)과 비교하였을 때, 본 발명에 따른 막냉각 홀(100)의 경우 냉각유체가 표면에 고르며 넓게 분포하며 월등히 효과적인 냉각효율을 보여주며, 이러한 효과는 분사율이 커짐에 따라 증가함을 확인할 수 있다.
- [0036] 도 8의 (a), (b)와, 도 9의 (a), (b)는 도 2에 나타난 종래의 팬 형상 홀(70)과 본 발명의 홀(100) 형상 출구에서의 속도벡터 및 냉각유체의 유선 분포를 나타낸 것으로, 종래의 팬 형상 홀(70)은 냉각 면의 중앙부분에서 낮은 막냉각 효율을 보이고, 냉각유체가 좁은 영역에 분포하지만, 본 발명에 따른 막냉각 홀(100)의 경우 중앙부분에서도 높은 냉각효율을 보일 뿐만 아니라, 냉각유체가 표면 전체에 걸쳐 고르게 분포함을 확인할 수 있다.
- [0037] 따라서, 본 발명에 따른 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀(100)의 형상 구조에 의하면, 확관부(120) 및 확관부(120)에 돌출 형성되는 돌출부(130)에 의해 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 가스터빈 블레이드(80)의 냉각 효율을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 그에 따라 향상된 냉각성능으로 인해 가스터빈 블레이드의 수명을 연장시킬 수 있고, 적은 냉각유체의 사용 및 전체 막냉각 홀(100)의 설치 개수를 줄임으로써 엔진의 효율을 상승시킬 수 있음과 동시에 전체적인 가스터빈의 구조적 안정성을 향상시킬 수 있는 등의 다양한 장점을 갖는 것이다.
- [0038] 전술한 실시예들은 본 발명의 가장 바람직한 예에 대하여 설명한 것이지만, 상기 실시예에만 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변형이 가능하다는 것은 당업자에게 있어서 명백한 것이다.

## 산업상 이용가능성

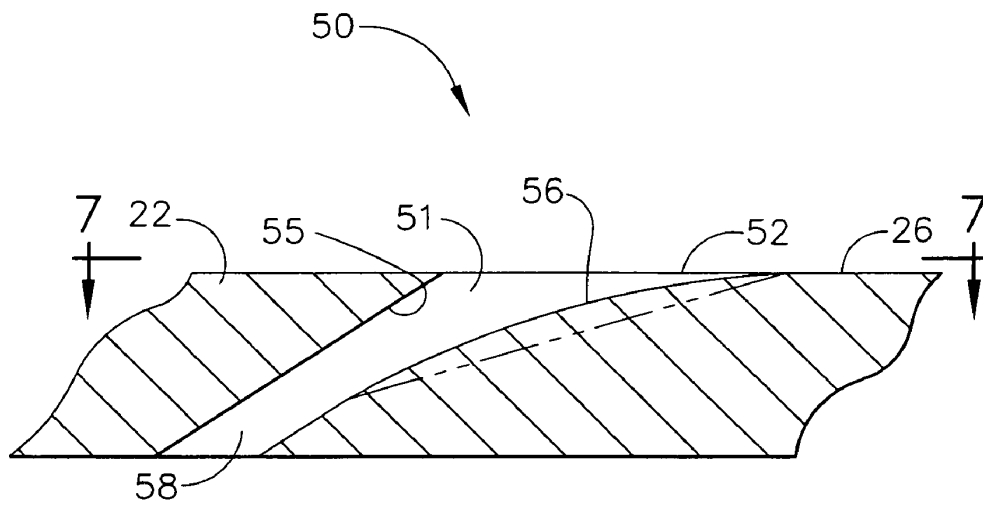
- [0039] 본 발명은 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 목적으로 사용되는 막냉각 홀의 형상을 특정하여 냉각 유체가 냉각 표면에 보다 넓고 효과적으로 분포할 수 있도록 함으로써 기존의 홀의 구조에 비해 월등히 향상된 냉각 효율을 얻을 수 있도록 하는 가스터빈 블레이드의 냉각을 위한 막냉각 홀의 형상 구조에 관한 것이다.

## 부호의 설명

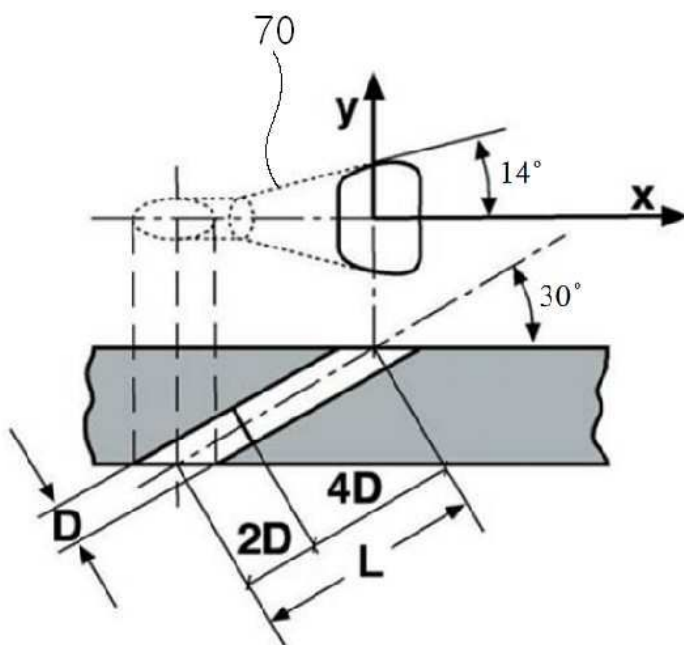
- [0040]      100 : 막냉각 홀                                  110 : 원통부  
              120 : 화관부                                     130 : 돌출부

도면

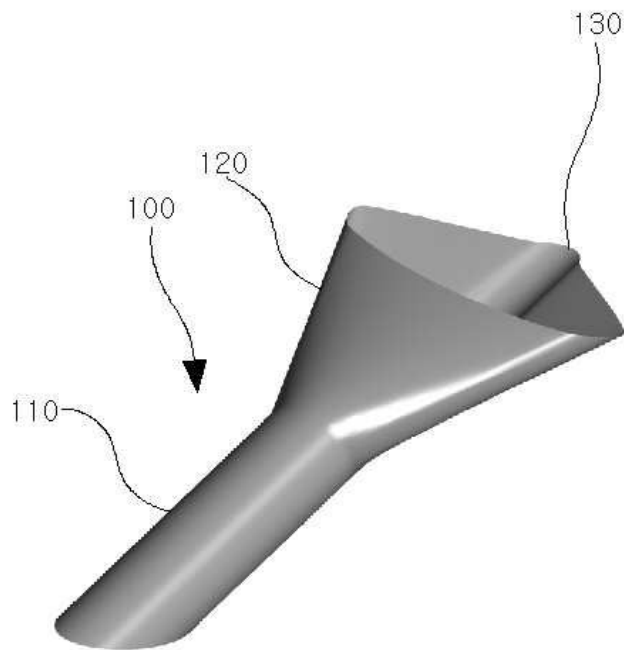
도면1



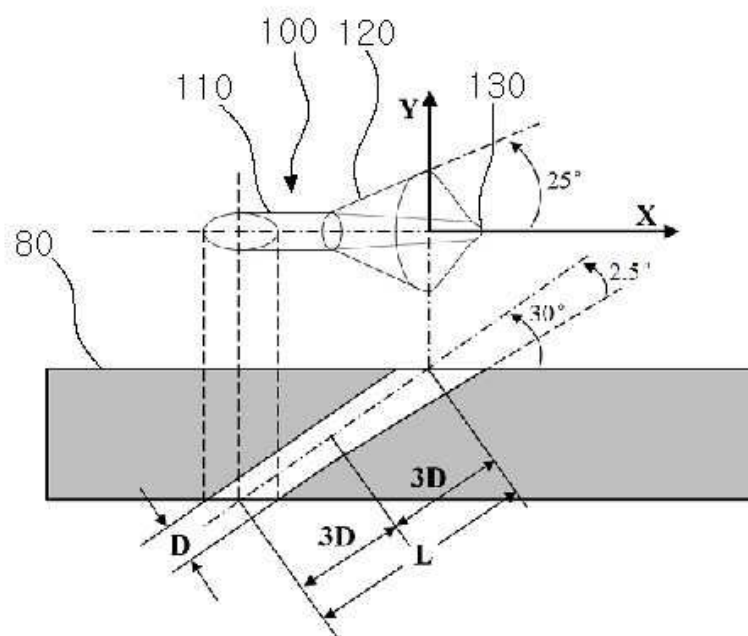
도면2



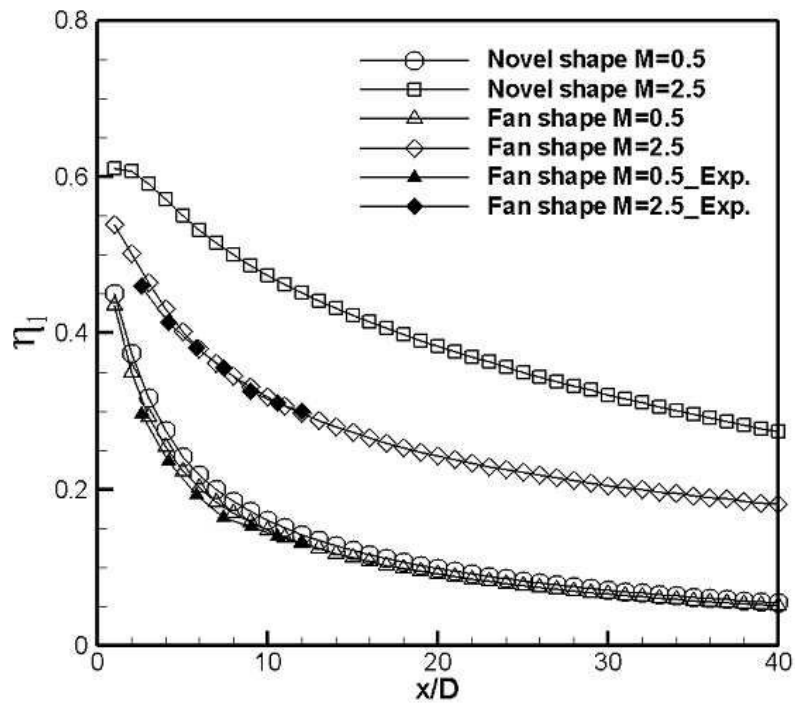
도면3



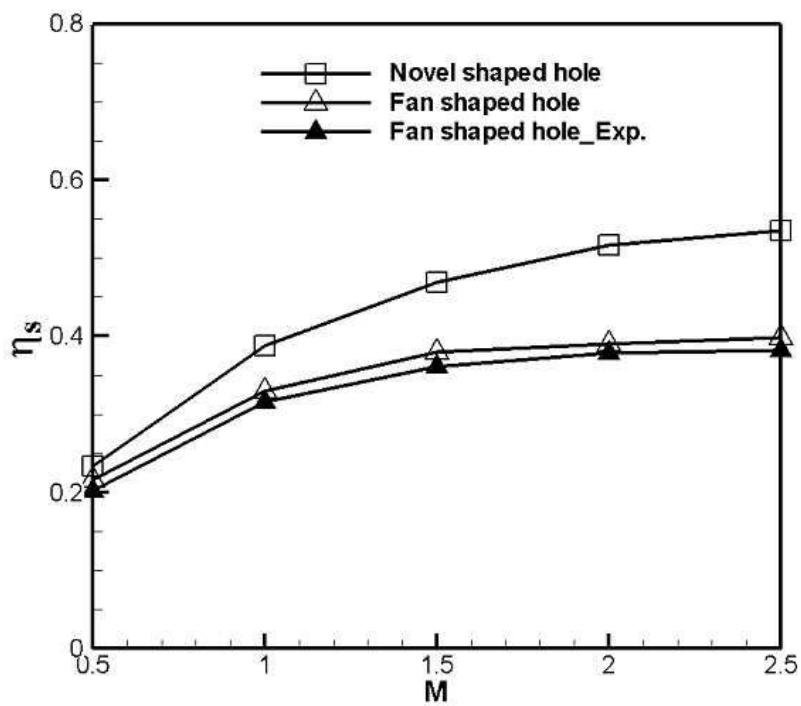
도면4



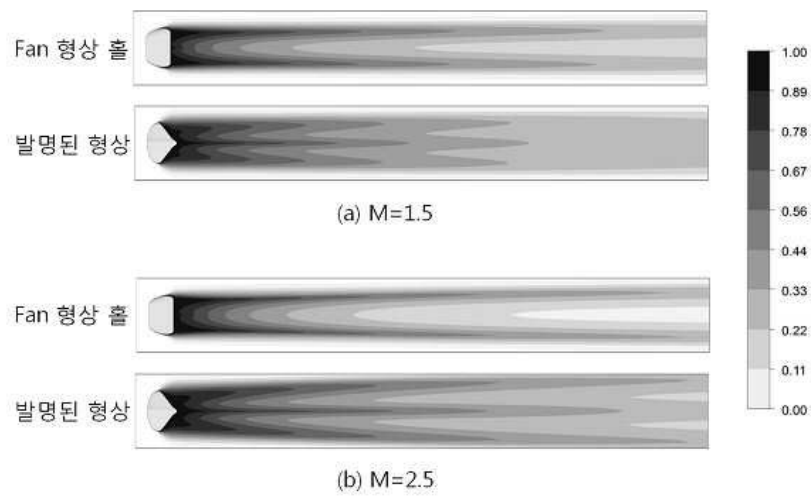
도면5



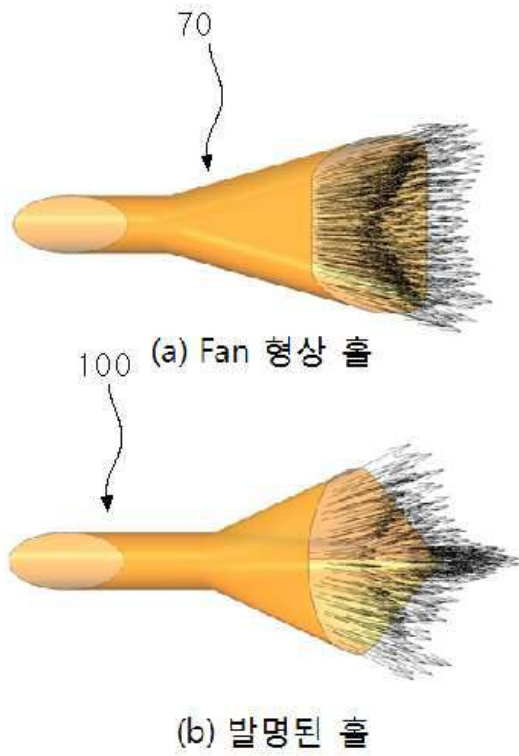
도면6



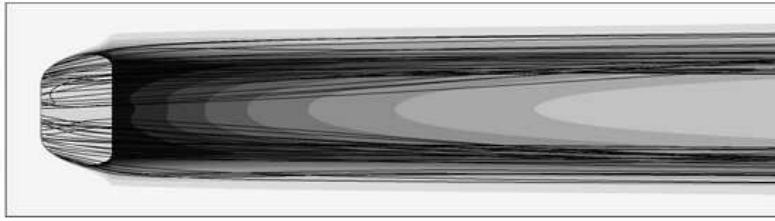
도면7



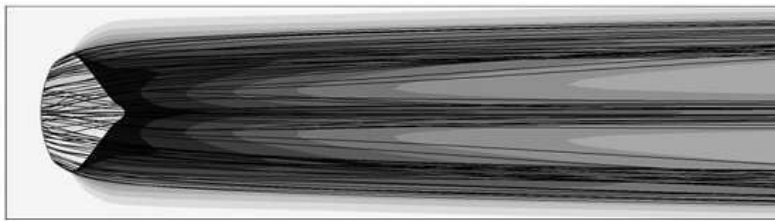
도면8



도면9



(a) Fan 형상 홀



(b) 발명된 형상