



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0029250
(43) 공개일자 2023년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B64C 21/04 (2023.01)

(52) CPC특허분류

B64C 21/04 (2023.01)

B64C 2230/04 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0111526

(22) 출원일자 2021년08월24일

심사청구일자 2021년08월24일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

김광용

서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12, 105동 701호(방배동, 래미안방배아트힐)

김남훈

인천광역시 미추홀구 경인남길 64(용현동, 엘림주택)

(74) 대리인

특허법인태백

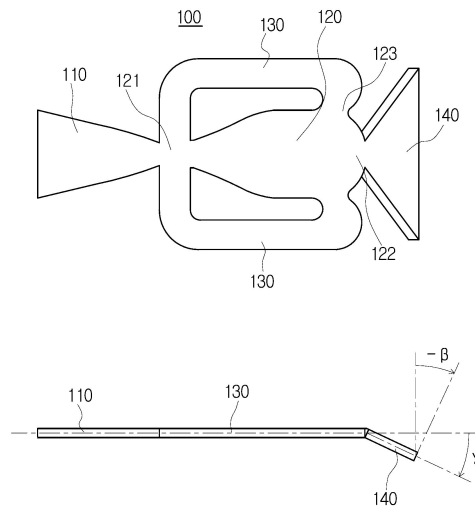
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일

(57) 요약

본 발명은 외부에서 유체를 유입하는 입구부와, 상기 입구부의 후단에 연결되고, 상기 입구부를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 혼합실과, 상기 혼합실의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실의 유입구측으로 유동시켜, 상기 유입구측에서 공급되는 유체에 진동을 발생시키는 피드백 유로, 및 상기 혼합실의 후단에 연결되고, 상기 혼합실의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 출구부를 포함하여, 항공기의 날개에 구비되고, 상기 항공기의 날개에 진동하는 제트기류를 토출시켜, 토출된 진동하는 제트기류에 의해 항공기의 날개에 발생하는 유동박리가 제어됨에 따라, 항공기 날개의 양력 및 공력성능을 향상시킬 수 있는 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일을 제공한다.

대 표 도 - 도8



(52) CPC특허분류
B64C 2230/18 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126887
과제번호	2019R1A2C1007657
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	막 없는 미세연료전지에 관한 신개념 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

외부에서 유체를 유입하는 입구부;

상기 입구부의 후단에 연결되고, 상기 입구부를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 혼합실;

상기 혼합실의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실의 유입구측으로 유동시켜, 상기 유입구측에서 공급되는 유체에 진동을 발생하는 피드백 유로; 및

상기 혼합실의 후단에 연결되고, 상기 혼합실의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 출구부;를 포함하는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 출구부는

상기 혼합실의 중심선과 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 의 굽힘각(bending angle)을 가지는 것을 특징으로 하는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

에어포일 코드라인의 수직면과 상기 출구부의 단면이 이루는 각인 출구부의 장착 피치각(pitch angle)은 $-15^{\circ} \sim -35^{\circ}$ 의 각도를 이루는 것을 특징으로 하는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 출구부의 굽힘각(bending angle)과 장착 피치각(pitch angle)이 서로 동일한 각도를 조절되는 것을 특징으로 하는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 입구부는

유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 좁아지는 형태를 이루는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 출구부는

유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이루는 출구가 굽은 유체 진동기.

청구항 7

에어포일몸체;

상기 에어포일몸체의 후단에 회전 가능하게 결합되는 플랩; 및

상기 에어포일몸체의 상기 플랩 측에 구비되는 유체 진동기를 포함하고,

상기 유체 진동기는 상기 플랩의 표면으로 진동하는 제트기류를 토출하는 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 유체 진동기는

외부에서 유체를 유입하는 입구부와;

상기 입구부의 후단에 연결되고, 상기 입구부를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 혼합실과;

상기 혼합실의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실의 유입구측으로 유동시켜, 상기 유입구측에서 공급되는 유체에 진동을 발생하는 피드백 유로와;

상기 혼합실의 후단에 연결되고, 상기 혼합실의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 출구부;를 포함하는 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 유체 진동기의 출구부는

상기 에어포일몸체의 후단에 회전 가능하게 결합된 플랩의 회전각인 플랩각(flap angle)에 대응하여 절곡되는 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 플랩각이 40° 를 이룰 때,

상기 유체 진동기의 출구부는 상기 혼합실의 중심선과 $15^\circ \sim 35^\circ$ 의 굽힘각(bending angle)을 가지는 것을 특징으로 하는 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일.

청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 플랩각이 40° 를 이룰 때,

에어포일 코드라인의 수직면과 상기 출구부의 단면이 이루는 각인 출구부의 장착 피치각(pitch angle)은 $-15^\circ \sim -35^\circ$ 의 각도를 이루는 것을 특징으로 하는 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 항공기의 날개에 구비되고, 상기 항공기의 날개에 진동하는 제트기류를 토출시켜, 토출된 진동하는 제트기류에 의해 항공기의 날개에 발생하는 유동박리가 제어됨에 따라, 항공기 날개의 양력 및 공력성능을 향상시킬 수 있는 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 항공기의 에어포일(airfoil)이나 날개(wing)와 같이 양력을 받으면서 기동하는 물체의 주위에서는 매우 복잡한 유동 현상이 발생하며, 이러한 유동 현상은 다양한 변수에 의해서 변화될 수 있다.

[0004] 항공기 날개에서 발생하는 유동박리는 공기역학적 성능에 부정적인 영향을 미칩니다.

[0005] 이에 유동분리 제어에 대한 많은 연구가 수행되었는데, 흐름 제어 기술은 표면에 다양한 구조를 부착하는 수동 흐름 제어(PFC)와 액추에이터를 사용하는 능동 흐름 제어(AFC)로 분류되고, AFC는 PFC의 단점인 항력증가 문제를 제거할 수 있는 장점이 있으며 효과적인 분리제어가 가능하다. 특히 AFC 기술 중 유체 진동자를 이용한 방법이 다른 방법에 비해 우수한 제어 효과를 보였다.

[0006] 하지만, 종래기술은 그 구조가 복잡할 뿐만 아니라, 유동박리 제어 효과가 기대에 못미치는 문제점이 있었다.

[0007] 종래기술로는 공개특허 제10-1998-014328호(1998.05.25)를 참조할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 항공기의 날개에 구비되고, 상기 항공기의 날개에 진동하는 제트기류를 토출시켜, 토출된 진동하는 제트기류에 의해 항공기의 날개에 발생하는 유동박리가 제어됨에 따라, 항공기 날개의 양력 및 공력성능을 향상시킬 수 있는 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명에 따른 출구가 굽은 유체 진동기는 외부에서 유체를 유입하는 입구부; 상기 입구부의 후단에 연결되고, 상기 입구부를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 혼합실; 상기 혼합실의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실의 유입구측으로 유동시켜, 상기 유입구측에서 공급되는 유체에 진동을 발생시키는 피드백 유로; 및 상기 혼합실의 후단에 연결되고, 상기 혼합실의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 출구부;를 포함한다.

[0012] 이때 본 발명에 따른 상기 출구부는 상기 혼합실의 중심선과 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 의 굽힘각(bending angle)을 가지는 것이 바람직하다.

[0013] 그리고 본 발명에 따른 에어포일 코드라인의 수직면과 상기 출구부의 단면이 이루는 각인 출구부의 장착 피치각(pitch angle)은 $-15^{\circ} \sim -35^{\circ}$ 의 각도를 이루는 것이 바람직하다.

[0014] 여기서 본 발명에 따른 상기 출구부의 굽힘각(bending angle)과 장착 피치각(pitch angle)이 같이 조절될 경우 박리제어에 효과적이다.

[0015] 또한, 본 발명에 따른 상기 입구부는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 좁아지는 형태를 이룰 수 있다.

[0016] 더불어 본 발명에 따른 상기 출구부는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이룰 수 있다.

다.

- [0017] 본 발명에 따른 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일은 에어포일몸체의 후단에 회전 가능하게 결합되는 플랩; 및 상기 에어포일몸체의 상기 플랩 측에 구비되는 유체 진동기를 포함하고, 상기 유체 진동기는 상기 플랩의 표면으로 진동하는 제트기류를 토출한다.
- [0018] 이때 본 발명에 따른 상기 유체 진동기는 외부에서 유체를 유입하는 입구부와, 상기 입구부의 후단에 연결되고, 상기 입구부를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 혼합실과, 상기 혼합실의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실의 유입구측으로 유동시켜, 상기 유입구측에서 공급되는 유체에 진동을 발생하는 피드백 유로와, 상기 혼합실의 후단에 연결되고, 상기 혼합실의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 출구부를 포함한다.
- [0019] 그리고 본 발명에 따른 상기 유체 진동기의 출구부는 상기 에어포일몸체의 후단에 회전 가능하게 결합된 플랩의 회전각인 플랩각(flap angle)에 대응하여 절곡되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명에 따른 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일에 의해 나타나는 효과는 다음과 같다.
- [0022] 항공기의 날개에 구비되고, 상기 항공기의 날개에 진동하는 제트기류를 토출시켜, 토출된 진동하는 제트기류에 의해 항공기의 날개에 발생하는 유동박리가 제어됨에 따라, 항공기 날개의 양력 및 공력성능을 향상시킬 수 있는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 출구가 굽은 유체 진동기의 평면 및 에어포일을 보인 예시도이다.
- 도 2는 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 양력계수(C_L) 변화를 보인 그래프이다.
- 도 3은 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 항력계수(C_D) 변화를 보인 그래프이다.
- 도 4는 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 양력 대비 항력 비율(C_L/C_D)의 변화를 보인 그래프이다.
- 도 5는 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 피크 속도비(FVR)의 변화를 보인 그래프이다.
- 도 6은 다양한 피치 및/또는 유체 진동기의 굽힘 각도에 따른 분사 각도의 변화를 보인 그래프이다.
- 도 7은 시간 평균 속도 윤곽 및 출구 분사 각도를 보인 그래프이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 유체 진동기를 보인 측면 예시도이다.
- 도 9는 다양한 굽힘 각도에 대한 질량 유량에 따른 주파수 변화를 보인 그래프이다.
- 도 10은 다양한 굽힘 각도 및 유속에 대한 속도 등고선 및 벡터를 보인 시뮬레이션 그림이다.
- 도 11은 계산영역을 보인 예시도이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른 출구가 굽은 유체 진동기의 설치 조건을 보인 예시도이다.
- 도 13은 플랩각 $\delta=20^\circ$, 40° , 60° 에서 장착 피치각의 변화에 따른 양력계수의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 14는 플랩각(δ) 40° , $\beta=0^\circ$ 에서 유체진동기 출구부 굽힘각(γ)의 변화에 따른 양력계수를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세

서 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.

- [0026] 따라서 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 균등한 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0027] 본 발명은 항공기의 날개에 구비되고, 상기 항공기의 날개에 진동하는 제트기류를 토출시켜, 토출된 진동하는 제트기류에 의해 항공기의 날개에 발생하는 유동박리가 제어됨에 따라, 항공기 날개의 양력 및 공력성능을 향상시킬 수 있는 출구가 굽은 유체 진동기 및 그 출구가 굽은 유체 진동기를 구비한 에어포일에 관한 것으로, 도면을 참조하여 살펴보면 다음과 같다.
- [0028] 먼저 도 1을 참조한 본 발명의 일 실시 예에 따른 출구가 굽은 유체 진동기(100)는 전체적인 형상이 높이 1~2mm의 판 상을 이루고, 입구부(110), 혼합실(120), 한 쌍의 피드백 유로(130), 및 출구부(140)를 포함한다.
- [0029] 상기 입구부(110)는 외부에서 일정한 압력의 유체를 유입한다.
- [0030] 이때 상기 입구부(110)는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 좁아지는 형태를 이루어 전체적인 형상이 호퍼 형상을 이루는 것이 바람직하다.
- [0031] 그리고 상기 입구부(110)의 후단에는 혼합실(120)이 연결되는데, 상기 혼합실(120)은 상기 입구부(110)를 통해 유입된 유체를 어느 한 편의 내측면을 따라 유동시킨다.
- [0032] 이때 상기 혼합실(120)은 상기 혼합실(120)로 유체가 유입되는 유입구(121)측이 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이루어져, 코안다 효과(Coanda effect)에 의해 상기 입구부(110)를 통해 유입된 유체가 상기 혼합실(120)의 어느 한 편의 내측면을 따라 유동하게 되고, 상기 혼합실(120)에서 유체가 유출되는 유출구(122)측은 만곡형을 이룬다.
- [0033] 따라서 상기 입구부(110)를 통해 혼합실(120)로 유입된 유체는 상기 혼합실(120)의 어느 한 내측면을 따라 유동하면서 상기 혼합실(120)의 유출구(122)를 통해 유출된다.
- [0034] 더불어 상기 혼합실(120)은 피드백 유로(130)를 구비하는데, 상기 피드백 유로(130)는 한 쌍으로 상기 혼합실(120)의 유출구(122)측 좌, 우에서 분기되어 상기 혼합실(120)의 유입구(121)측으로 유체가 유동하도록 연결된다.
- [0035] 이때 상기 혼합실(120) 중 한 쌍의 피드백 유로(130)가 분기되는 지점에는 유체의 분기가 용이하도록 'Λ' 형태의 분기돌기(123)를 각각 형성하는 것이 바람직하다.
- [0036] 따라서 상기 혼합실(120)의 내측면을 따라 유동하는 유체 중 일부가 분기돌기(123)에 의해 분기되어, 상기 피드백 유로(130)를 따라 우회하여 다시 상기 혼합실(120)의 유입구(121)로 유입되고, 상기 혼합실(120)에서 분기되어 혼합실(120)의 유입구(121)로 유입되는 기류에 의해 상기 입구부(110)를 통해 혼합실(120)로 유입된 유체의 주유동 방향이 어느 한 편으로 치우치도록 한다.
- [0037] 그러므로 상기 한 쌍의 피드백 유로(130)를 통한 유체의 주유동 방향이 어느 한 방향으로 치우쳐 유동하는 제트기류의 현상이 교번 반복됨에 따라 상기 혼합실(120)에서는 진동하는 제트기류를 생성 토출하게 된다.
- [0038] 그리고 상기 혼합실(120)의 후단에는 출구부(140)가 연결되는데, 상기 출구부(140)는 상기 혼합실(120)에서 유출되는 진동하는 제트기류를 토출한다.
- [0039] 이때 상기 출구부(140)는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이루는 것이 바람직하다.
- [0040] 또한, 상기 출구부(140)는 상기 혼합실(120)의 중심선과 15° ~ 35°의 굽힘각으로 굽혀질 수 있다.
- [0041] 더불어 에어포일 코드라인의 수직면과 상기 출구부(140)의 단면이 이루는 각인 상기 출구부(140)의 장착 피치각(pitch angle)은 상기 출구부(140)가 굽힘각(bending angle)에 대응하여 굽혀짐에 따라 상기 출구부(140)의 굽힘각(bent angle)에 대응하여 -15° ~ -35°의 각도를 이루는 것이 바람직하다.
- [0042] 여기서 상기 출구부(140)의 굽힘각(bending angle)과 장착 피치각(pitch angle)이 같이 조절될 경우 박리제어에 효과적이다.

- [0043] 그리고 도 1을 참조한 본 발명의 일 실시 예에 따른 출구가 굽은 유체 진동기(100)를 구비한 에어포일은 항공기 날개의 익형을 이루는 에어포일몸체(10)를 포함하고, 상기 에어포일몸체(10)의 후단에는 플랩(20)이 회전 가능하게 결합 된다.
- [0044] 또한, 상기 에어포일몸체(10) 중 상기 플랩(20) 측에는 상기한 유체 진동기(100)를 구비하는데, 상기 에어포일몸체(10) 중 상기 플랩(20) 측에 구비되어, 상기 유체 진동기(100)는 상기 플랩(20)의 표면으로 진동하는 제트기류를 토출하여 유동박리가 제어되도록 한다.
- [0045] 여기서 상기 유체 진동기(100)는 상술한 바와 같이 입구부(110)와, 혼합실(120)과, 피드백 유로(130), 및 출구부(140)를 포함하는데, 상기 입구부(110)는 외부에서 유체를 유입하는 것으로, 이때 상기 입구부(110)는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 좁아지는 형태를 이루어 전체적인 형상이 호퍼 형상을 이루는 것이 바람직하다.
- [0046] 그리고 상기 혼합실(120)은 상기 입구부(110)의 후단에 연결되고, 상기 입구부(110)를 통해 유입된 유체를 진동하는 제트기류로 토출하는 것으로, 상기 혼합실(120)은 상기 입구부(110)를 통해 유입된 유체를 어느 한 편의 내측면을 따라 유동시킨다.
- [0047] 이때 상기 혼합실(120)은 상기 혼합실(120)로 유체가 유입되는 유입구(121)측이 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이루어져, 코안다 효과(Coanda effect)에 의해 상기 입구부(110)를 통해 유입된 유체가 상기 혼합실(120)의 어느 한 편의 내측면을 따라 유동하게 되고, 상기 혼합실(120)에서 유체가 유출되는 유출구(122)측은 만곡형을 이룬다.
- [0048] 상기 피드백 유로(130)는 상기 혼합실(120)의 내부를 따라 유동하는 유체의 일부를 상기 혼합실(120)의 유입구(121) 측으로 유동시켜, 상기 유입구(121) 측에서 공급되는 유체에 진동을 발생한다.
- [0049] 이때 상기 피드백 유로(130)는 한 쌍으로 상기 혼합실(120)의 유출구(122)측 좌, 우에서 분기되어 상기 혼합실(120)의 유입구(121)측으로 유체가 유동하도록 연결된다.
- [0050] 그리고 상기 혼합실(120) 중 한 쌍의 피드백 유로(130)가 분기되는 지점에는 유체의 분기가 용이하도록 'Λ' 형태의 분기돌기(123)를 각각 형성하는 것이 바람직하다.
- [0051] 따라서 상기 혼합실(120)의 내측면을 따라 유동하는 유체 중 일부가 분기돌기(123)에 의해 분기되어, 상기 피드백 유로(130)를 따라 우회하여 다시 상기 혼합실(120)의 유입구(121)로 유입되고, 상기 혼합실(120)에서 분기되어 혼합실(120)의 유입구(121)로 유입되는 기류에 의해 상기 입구부(110)를 통해 혼합실(120)로 유입된 유체의 주유동 방향이 어느 한 편으로 치우치도록 한다.
- [0052] 그러므로 상기 한 쌍의 피드백 유로(130)를 통한 유체의 주유동 방향이 어느 한 방향으로 치우쳐 유동하는 제트기류의 현상이 교번 반복됨에 따라 상기 혼합실(120)에서는 진동하는 제트기류를 생성 토출하게 된다.
- [0053] 상기 출구부(140)는 상기 혼합실(120)의 후단에 연결되고, 상기 혼합실(120)의 중심선을 기준으로 일방향으로 절곡되어 상기 혼합실(120)에서 유출되는 제트기류를 절곡된 방향으로 토출하는 것으로, 상기 유체 진동기(100)의 출구부(140)는 상기 에어포일몸체(10) 중 플랩(20) 측에 위치하여, 상기 플랩(20)의 표면으로 진동하는 제트기류를 토출하는 것이 바람직하다.
- [0054] 이때 상기 출구부(140)는 유체가 유동하는 방향으로 폭이 점진적으로 확장되는 형태를 이루는 것이 바람직하다.
- [0055] 또한, 상기 출구부(140)는 상기 에어포일몸체(10)의 후단에 회전 가능하게 결합된 플랩(20)의 회전각인 플랩각(flap angle)에 대응하여 일방향으로만 굽혀질 수 있는데, 바람직하게는 상기 혼합실(120)의 중심선과 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 의 굽힘각으로 굽혀질 수 있다.
- [0056] 더불어 에어포일 코드라인의 수직면과 상기 출구부(140)의 단면이 이루는 각인 상기 출구부(140)의 장착 피치각(pitch angle)은 상기 출구부(140)가 굽힘각(bending angle)에 대응하여 굽혀짐에 따라 상기 출구부(140)의 굽힘각에 대응하여 $-15^{\circ} \sim -35^{\circ}$ 의 각도를 이루는 것이 바람직하다.
- [0057] 여기서 상기 출구부(140)의 굽힘각(bending angle)과 장착 피치각(pitch angle)이 같이 조절될 경우 박리제어에 효과적이다.
- [0058] 상기 유체 진동기(100)의 피치각은 진동기 출구가 플랩 표면과 더 평행해짐에 따라 양력 증가에 더 큰 영향을 미친다.

[0059] 더불어 상기 유체 진동기(100)는 플랩(20) 측에서 항공기 날개의 길이방향을 따라 일정한 간격으로 복수 개를 구비하여, 상기 플랩(20)의 표면 전체에 진동하는 제트기류가 분사되도록 하는 것이 바람직하다.

[0060] 본 발명의 일 실시 예에 따른 출구가 굽은 유체 진동기(100)의 출구부(140) 굽힘이 유체 진동기의 성능에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

[0061] 에어포일의 공기역학적 성능을 평가하기 위해 양력, 항력, 및 압력 계수 각각을 아래의 [수학식1], [수학식2], [수학식3]으로 정의할 수 있다.

수학식 1

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} U_{\infty}^2 c s}$$

[0062]

수학식 2

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} U_{\infty}^2 c s}$$

[0063]

수학식 3

$$C_P = \frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho_{\infty} U_{\infty}^2}$$

[0064]

[0065] 여기서, L: 양력, D: 항력, P: 정압, ρ : 유체 밀도, U: 속도, c: 익형 코드 길이, 및 s: 계산 영역의 너비를 나타내고, 아래 첨자 ∞ 는 자유 스트림 값을 나타낸다.

[0066] 유체 진동기의 굽힘으로 인한 출구 속도 변화를 평가하기 위해 유체 진동기(FVR)의 출구부(140)에서 진동하는 제트기류의 최고 속도 비율은 아래의 [수학식 4] 및 [수학식 5]와 같이 정의된다.

수학식 4

$$F_{VR} = \frac{U_{peak}}{U_{ref}}$$

[0067]

수학식 5

$$U_{ref} = \frac{\dot{m}_{inlet}}{A_{ref} \rho}$$

[0068]

[0069] 여기서, 기준 속도 U_{ref} 는 상기 혼합실 출구에서의 제트기류 속도이고, U_{peak} 는 유체 진동기 출구에서 평균시간 동안 제트기류의 속도 피크값, $\dot{m}_{inlet}$ 은 입구에서의 질량 유량, A_{ref} 는 출구의 면적, ρ 는 25° C에서 공기 밀도입니다.

[0070] Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes(URANS) 방정식을 이용한 유동해석을 수행하였고, 유체 진동기의 출구부(140) 굽힘각이 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 3D URANS 유동해석을 수행한다.

[0071] 그리고 유동해석을 위해 상용 CFD코드인 ANSYS 15.0®을 사용하였으며, 난류모델은 shear stress

transport(SST) 모델을 사용하여 진행한다.

- [0072] 여기서 작동 유체는 25℃의 공기를 이상 기체로 가정하고, 외부영역의 경우, 입구에 25m/s의 균일한 속도가 할당되었으며 이는 현 길이를 기준으로 5.0×10^5 의 Reynolds 수에 해당한다.
- [0073] 출구에는 일정한 압력 조건이 적용되고 벽에는 미끄럼 방지 경계 조건이 사용된다.
- [0074] 또한, 계산 시간을 줄이기 위해 유동의 주기성을 고려하여 외부 영역의 양쪽에 주기적인 조건을 할당하고, 측정 영역은 3개의 유체 진동기를 포함하는데, 여기서 최적의 수 계산 영역에 포함된 진동기는 예비 테스트를 통해 결정되었다.
- [0075] 균일한 속도 조건은 유체 진동기의 입구에서도 적용되고, 입구 속도는 운동량 계수(C_μ)에서 계산할 수 있다.
- [0076] 운동량 계수(C_μ)값은 $C_\mu = 2.64\%$ 로 고정되었고, 아래의 [수학식 6]과 같이 외부 자유 흐름의 운동량 플럭스에 대한 유체 진동기에서 발생하는 총 운동량 플럭스의 비율로 정의된다.

수학식 6

$$C_\mu = \frac{n \rho_{jet} U_{ref} A_{ref} U_{ref}}{\frac{1}{2} \rho_\infty U_\infty^2 c n l} = 2 \frac{A_{ref}}{c l} \left(\frac{U_{ref}}{U_\infty} \right)^2$$

- [0077]
- [0078] 여기서, 1은 인접한 두 유체 진동기 사이의 공간이고, n은 영역의 유체 진동기 수이고, ρ_{jet} 인 유체 진동기의 유체 밀도는 ρ_∞ 인 외부 흐름의 유체 밀도와 동일한 것으로 가정된다.
- [0079] 모든 영역에서 ICEM CFD 15.0®(그리드 시스템)을 사용하여 구조화되지 않은 사면체 메쉬를 생성했고, 경계층의 고속 구배를 해결하기 위해 1.2의 팽창비로 익형 표면과 진동기 벽에 각각 19 및 12개의 프리즘 레이어를 배치했으며, 모든 경우에 벽면의 첫 번째 격자점은 $y^+ < 2$ 에 위치했다.
- [0080] 정상 RANS 분석을 위한 계산 결과는 URAS 분석을 위한 초기값으로 사용되었고, 타임스텝은 5×10^{-6} s이고 지배방정식의 상대잔차 제곱 평균값은 1.0×10^{-4} 이하로 유지되었다.
- [0081] GCI(Grid-convergence index) 분석을 기반으로 한 결과를 살펴보면, 내부 영역의 경우, 유체 진동기의 제트 주파수에 대한 분석을 수행했으며, 최종적으로 선택된 4.7×10^5 셀의 상대 이산화 오차는 0.957%였다.
- [0082] 외부 영역의 경우, 2.2×10^6 셀이 있는 그리드 시스템이 0.072%의 "상대 이산화 오류"로 선택되었다.
- [0083] 내부 영역 계산에서 유체 진동기의 주파수에 대한 결과는 0.7g/s의 질량 유량에서 실험 측정과 비교하여 약 2%의 상대 오차를 보였고, 양력계수는 외부유동계산에서 $\alpha = 8^\circ$ 에서 9%의 상대오차를 보였다.
- [0084] 익형 표면의 압력 계수 분포도 측정치와 합당한 일치를 보였다.
- [0085] 본 발명에서 Case 1은 $-\beta = 0$ 에서 고정된 피치각으로 굽힘각만 변화시킨 경우이고, Case 2는 $\gamma = 0$ 로 피치각만 변화시킨 경우이며, 그리고 Case 3은 $-\beta = \gamma$ 로 굽힘각과 피치각을 모두 변화시킨 경우, 총 3가지 경우를 기반으로 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 양력계수(C_L) 및 항력계수(C_D) 및 양력 대비 항력 비율(C_L/C_D)의 변화를 도 2 내지 도 7을 참조하여 살펴보면 다음과 같다.
- [0086] 도 2는 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 양력계수(C_L)를 보인 것으로, 굽힘 각도의 증가는 굽힘이 없는 경우에 비해 $\gamma > 15^\circ$ 의 범위에서 피치 각도의 변화 없이 양력계수(C_L)를 향상시키는 것을 알 수 있고, 가장 높은 양력계수(C_L)는 Case 1에서 $\gamma = 35^\circ$ 에서 달성된다.
- [0087] $\gamma = 40^\circ$ 에서 낮은 유체 진동기 유량에서 진동이 억제되고, 단일 절연 유체 진동기의 경우 0.3g/s보다 큰 질량 유량에서 완전히 사라진다고 알려져 있다.
- [0088] 도 2에서 Case 1과 Case 3의 $\gamma = 40^\circ$ 에서도 양력계수(C_L)의 급격한 감소가 발견되었고, $-\beta$ 의 증가는 Case

2와 Case 3에서 $-\beta > 10^\circ$ 에 대해 양력계수(C_L)를 크게 향상시킬 수 있다.

- [0089] $-\beta$ 가 Case 3에서 함께 변경되면 상호 작용은 특히 $\gamma = -\beta = 35^\circ$ 에서 양력 계수(C_L)를 개선하는데 효과적인 것을 알 수 있고, $\gamma = -\beta = 35^\circ$ 와 40° 에서 Case 2와 Case 3 사이의 양력계수(C_L) 차이는 분명히 Case 1의 결과에 나타난 바와 같이 굽힘 각도 효과 때문이다.
- [0090] 도 3은 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 항력계수(C_D)를 보인 것으로, 30° 보다 큰 각도를 제외하고는 모든 경우에 항력계수(C_D)가 크게 변하지 않음을 보여주고, case 간의 항력계수(C_D) 차이도 크지 않다.
- [0091] $-\beta = 0^\circ$ 일 때 굽힘 각도의 증가는 굽힘이 없는 경우(case 1)에 비해 $\gamma = 30^\circ - 40^\circ$ 에서 항력계수(C_D)도 약간 감소하고, 항력계수(C_D)의 급격한 감소는 Case 3에서 $\gamma = -\beta = 35^\circ$ 에서 발견되지만 Case 1에서는 이 각도에서 눈에 띄는 변화가 없는 것을 알 수 있다.
- [0092] 도 4는 굽힘 및/또는 피치 각도에 따른 양력 대비 항력 비율(C_L/C_D) 변화를 보인 것으로, 양력 대비 항력 비율(C_L/C_D)은 $15^\circ < \gamma < 35^\circ$ 범위에서 출구 노즐의 굽힘에 의해 개선되는 것을 알 수 있다.
- [0093] case 2와 case 3은 $-\beta$ 가 있는 양력 대비 항력 비율(C_L/C_D)의 유사한 변화를 보여주고, $\gamma < 25^\circ$ 의 경우 Case 3은 $-\beta = 40^\circ$ 를 제외하고 그 이후 더 높은 값을 보여 양력계수(C_L)의 경우, 도 2와 동일한 굽힘 및 피칭 각도의 결합 효과가 반영된다.
- [0094] 공기역학적 성능에 대한 위 결과의 원인을 보다 자세히 분석하기 위해 굽힘 및/또는 피칭 각도에 따른 유체 진동기의 특성 변화를 살펴보면 다음과 같다.
- [0095] 도 5는 3가지 경우의 각도에 따른 피크 속도비(FVR)의 변화를 보여주는데, 결과는 피크 속도비(FVR)가 피치 각도(Case 2)보다 굽힘 각도(Case 1 및 Case 3)에 의해 훨씬 더 영향을 받는다는 것을 보여준다.
- [0096] 그리고 피크 속도비(FVR)에 대한 피치 각도의 영향은 case2와 같이 $-\beta = 15^\circ$ 이상으로 나타나나, Case 1 및 Case 3에서 나타난 바와 같이 피크 속도비(FVR)에 대한 굽힘 각도의 영향은 γ 및 $-\beta$ 의 전체 테스트 범위에서 발견된다.
- [0097] Case 3은 $-\beta > 15^\circ$ 에 대해 Case 1보다 더 높은 피크 속도비(FVR)를 나타내며 피크 속도비(FVR)에 대한 피치 각도의 기여는 Case 2에서 발견된다.
- [0098] 유체 발전기의 분사 각도는 또한 발전기 출구 노즐의 굽힘 각도에 의해 크게 영향을 받는다.
- [0099] 도 6 은 다양한 피치 및/또는 유체 발전기의 굽힘 각도에 따른 분사 각도의 변화를 보인 것이고, 도 7은 시간 평균 속도 윤곽 및 출구 분사 각도를 보인 것으로, 분사각이 굽힘각도에 따라 급격히 증가하고 Case 1과 Case 3 모두에서 $\gamma = 35^\circ$ 에서 최대값에 도달함을 보여준다.
- [0100] 도 6에서 Case 1과 Case 3의 두 곡선은 유사한 변화를 보여주고 있으며, case 3에서 $\gamma = -\beta > 15^\circ$ 의 각도에서 분사성능이 향상되고, case 3에서 $\gamma = -\beta = 40^\circ$ 의 각도에서 분사성능이 급격히 저하되었다.
- [0101] 따라서 상기한 구성의 유체 진동기(100)는 $\gamma = -\beta = 15^\circ \sim 35^\circ$ 에서 가장 우수한 성능을 보이고, 상기 유체 진동기(100)에서 분사된 제트 기류의 방향이 플랩각(flap angle, δf)과 가까워질수록 우수한 성능을 보인다.
- [0102] 상기한 유체 진동기 출구부(140)의 굽힘각(bending angle, γ)이 유체 진동기(100)의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS) 방정식을 이용한 유동해석을 수행하였고, 유체 진동기의 출구부(140) 굽힘각이 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 3D URANS 유동해석을 수행하였다.
- [0103] 그리고 유동해석을 위해 상용 CFD코드인 ANSYS 15.0®을 사용하였으며, 난류모델은 shear stress transport(SST) 모델을 사용하여 진행하였다.
- [0104] 도 8은 유체 진동기의 굽혀진 출구부(140)를 보인 것으로, 상기 출구부(140)의 굽힘각은 $\gamma = 0^\circ \sim 40^\circ$ 범위에서

5° 씩 증가시켜 평가하였다.

- [0105] 도 9는 다양한 굽힘 각도에 대한 질량 유량에 따른 주파수 변화를 그래프로 나타낸 것으로, 이를 살펴보면, 상기 출구부(140)의 굽힘각(γ)과 유량이 증가할수록 주파수는 전체적으로 증가하는 형태를 보이고, 낮은 유량 범위에서 진동수 차이는 크지 않지만, 유량이 증가함에 따라 차이가 커지는 것을 알 수 있다.
- [0106] 도 10은 상기 출구부(140)의 굽힘각 $\gamma=0^\circ$, 15° 에서 상대적으로 높고, 낮은 두 가지 유량에서의 속도분포와 벡터를 나타낸 것으로, 유량이 증가할수록 출구에서의 속도는 빨라졌으며, 상기 출구부(140)의 굽힘각이 큰 경우, 높은 출구 속도를 보였다.
- [0107] 그러나 상기 출구부(140)의 굽힘각 $\gamma=15^\circ$ 보다 커지게 되면, 오히려 최대 출구 속도가 감소하는 경향을 보였고, 상기 출구부(140)의 굽힘각 $\gamma=40^\circ$ 의 경우, 진동하는 특성이 사라져 진동수가 측정되지 않아, 그로 인해 시간 평균 출구 최대 속도가 커지는 결과를 보였다.
- [0108] 따라서 상기와 같이 상기 유체 진동기의 출구부(140) 굽힘각이 진동기의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해, 넓은 범위의 굽힘각(γ)과 유량에 대하여 유동해석을 수행한 바, 유동해석 결과 굽힘각(γ)이 커지면서 진동수는 계속해서 증가하고, $\gamma=40^\circ$ 에서 진동하는 특성을 잃었다.
- [0109] 그리고 상기 유체 진동기의 출구부(140) 굽힘각에 따라서 유체 진동기 성능이 달라지는 것을 확인할 수 있었다.
- [0110] 또한, 상기 유체 진동기의 출구부(140) 굽힘각에 따른 공력성능을 살펴보면 다음과 같다.
- [0111] 최근 효율적인 공력성능 향상을 위해 익형 상에 설치된 유체 진동기들의 장착 조건에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있는데, 유체 진동기의 크기, 설치 위치와 각도, 배열 등을 조절한 결과, 유체 진동기의 장착 피치각(pitch angle)이 공력성능에 민감한 영향을 미치는 것을 확인하였다.
- [0112] 이에 NACA0015 익형에서 플랩각(flap angle, δ)과 유체진동기의 설치 피치각(pitch angle: $-\beta$)이 공력성능에 미치는 영향을 평가하기 위해 Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS) 방정식을 이용한 공력해석을 수행하였다.
- [0113] 이 과정에서 더 넓은 범위의 피치각(pitch angle)을 해석하기 위해, 유체 진동기 출구부(140)의 굽힘각(bending angle, γ)에 대한 추가적 해석을 수행하였고, 매개변수로는 플랩각과 유체 진동기의 장착 피치각 및 출구부 굽힘각을 선정하여 공력성능을 평가하였다.
- [0114] 플랩이 장착된 NACA0015 익형에서 유체 진동기의 장착 피치각도가 공력성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 URANS 유동해석을 수행하였고, 유동해석을 위해 상용 CFD코드인 ANSYS CFX 15.0을 사용하였으며, 난류모델은 shear stress transport(SST) 모델을 사용하였다.
- [0115] 계산영역은 도 11과 같이 설정하였으며, 계산시간의 단축을 위해 날개 길이 방향으로 주기조건을 부여하였는데, 시위길이(chord length, c)는 305mm, 받음각(α)은 8° 로 고정하였으며, 플랩각(δ)은 20° , 40° , 60° 3가지 경우에 대하여 δ 마다 유속을 달리하여 해석을 진행하였다.
- [0116] 피치각(pitch angle: $-\beta$)의 경우, 보다 넓은 범위를 평가하기 위해 도 12와 같이 조절하였으며, 피치각의 경우 $-\beta=0^\circ \sim \delta$ 에서 유체 진동기의 출구부(140)를 피치각과 동일한 각도로 굽혀 공력성능을 평가하였다.
- [0117] 이 과정에서 유체 진동기의 출구부 굽힘각(γ)이 공력성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 $\delta=40^\circ$, $-\beta=0^\circ$ 에서 굽힘각(γ)을 달리하여 공력성능을 평가하였다.
- [0118] 도 13은 플랩각 $\delta=20^\circ$, 40° , 60° 에서 피치각의 변화에 따른 양력계수의 변화를 나타낸 것으로, 이때 피치각은 굽힘각과 동일한 각도로 조절하였고, 모든 플랩각에서 피치각이 커질수록 양력계수가 상승하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.
- [0119] 그리고 피치각 $-\beta=0^\circ$ 에서 $-\beta=5^\circ$, $-\beta=10^\circ$ 로 갈수록 양력계수는 다소 감소하는 경향을 보이는데, 피치각이 커지면서 발생하는 기하학적인 문제로 유체진동기가 기존 설치 위치보다 하류에 장착되면서 양력계수가 감소하는 것으로 알 수 있고, 양력계수가 가장 높은 지점은 플랩각에 따라 다르게 나타났다.
- [0120] 도 14는 플랩각(δ) 40° , $-\beta=0^\circ$ 에서 유체진동기 출구부 굽힘각(γ)의 변화에 따른 양력계수를 나타낸 것으로, 양력계수가 $\gamma=0^\circ \sim 10^\circ$ 까지 다소 감소하는 경향을 보이다가, $\gamma=15^\circ \sim 30^\circ$ 까지 급격히 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이후 양력계수는 점차 줄어드는 것을 확인하였다.
- [0121] 도 13 및 도 14, 두 그래프에서 양력계수가 증가하는 구간과 감소하는 구간이 대부분 일치하는 것을 확인할 수

있고, 이러한 결과는 유체진동기의 출구부(40)를 굽혀 장착하는 것이 유동박리 제어에 효과적이라는 것을 나타낸다.

[0122] 특히 피치각 $-\beta=30^\circ$, 35° 에서 가장 높은 양력계수를 보여 가장 효과적임을 알 수 있었으나, 피치각 $-\beta=40^\circ$, $\gamma=40^\circ$ 와 같이 큰 각도에서는, 양력계수가 감소하는 경향이 두 경우 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다.

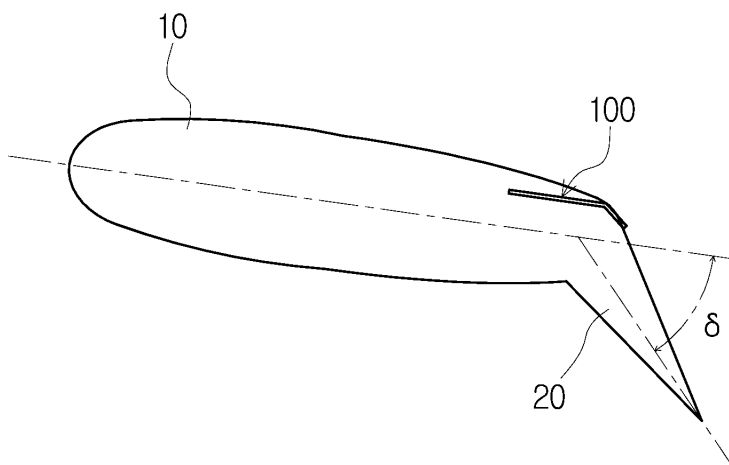
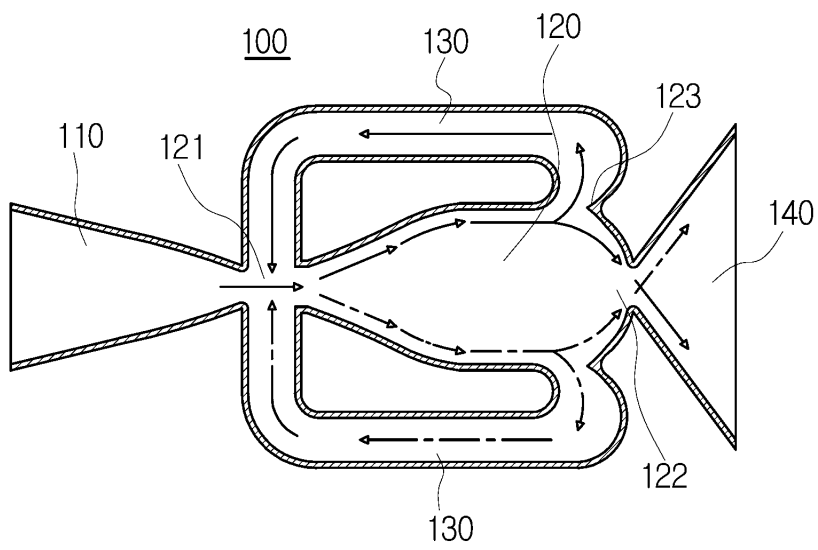
[0123] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

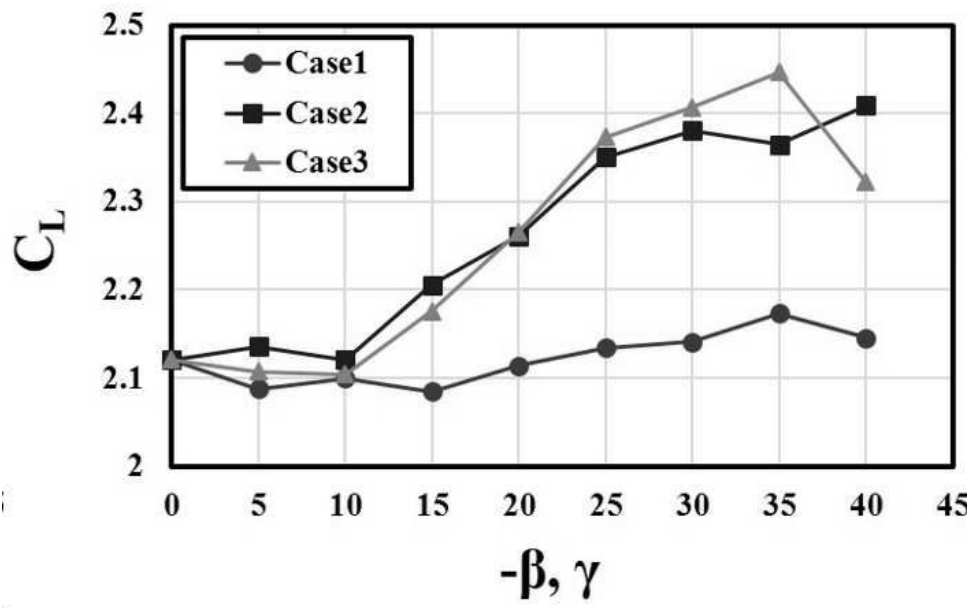
[0125] 10: 에어포일몸체
20: 플랩
110: 입구부
120: 혼합실
121: 유입구
122: 유출구
123: 분기돌기
130: 피드백 유로
140: 출구부

도면

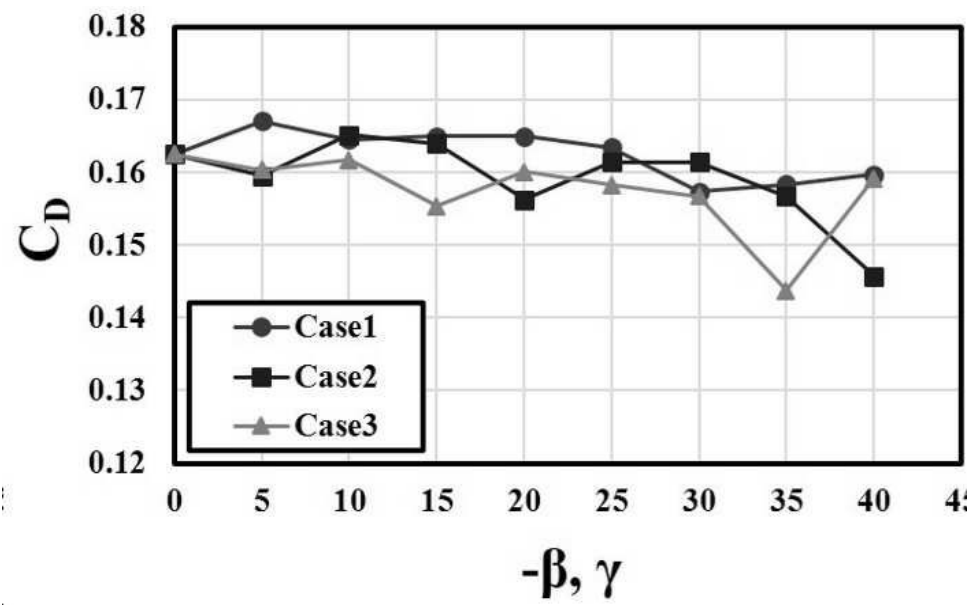
도면1



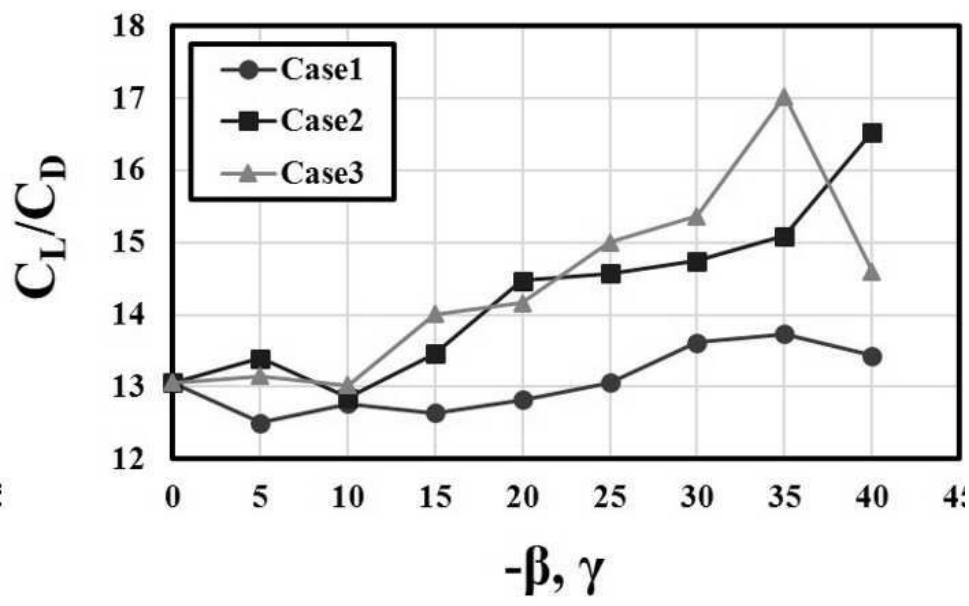
도면2



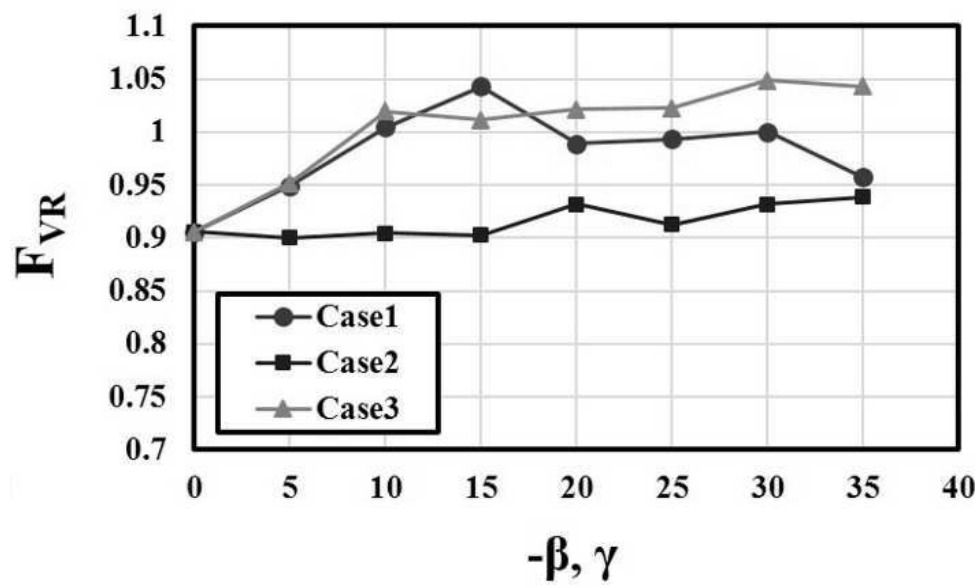
도면3



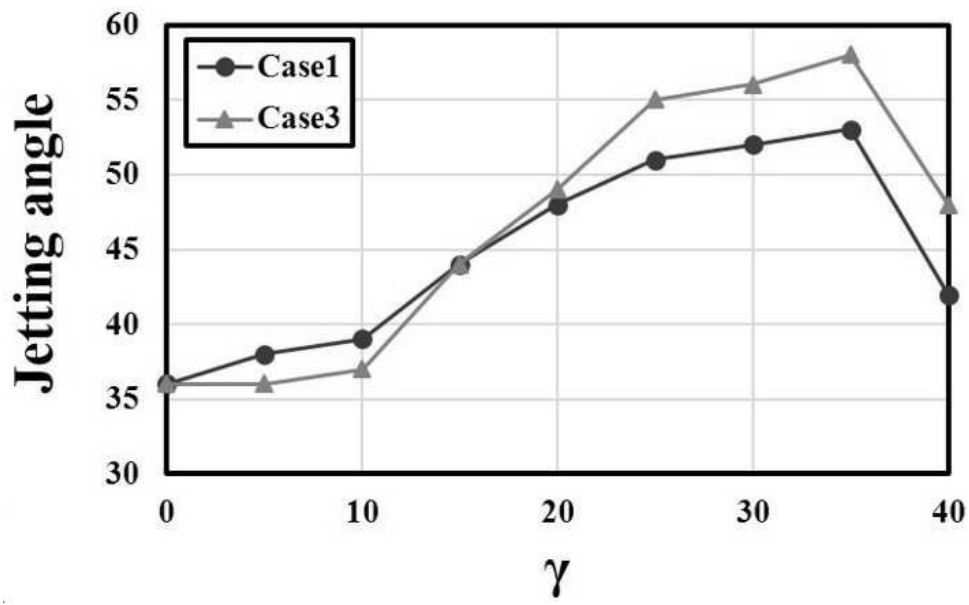
도면4



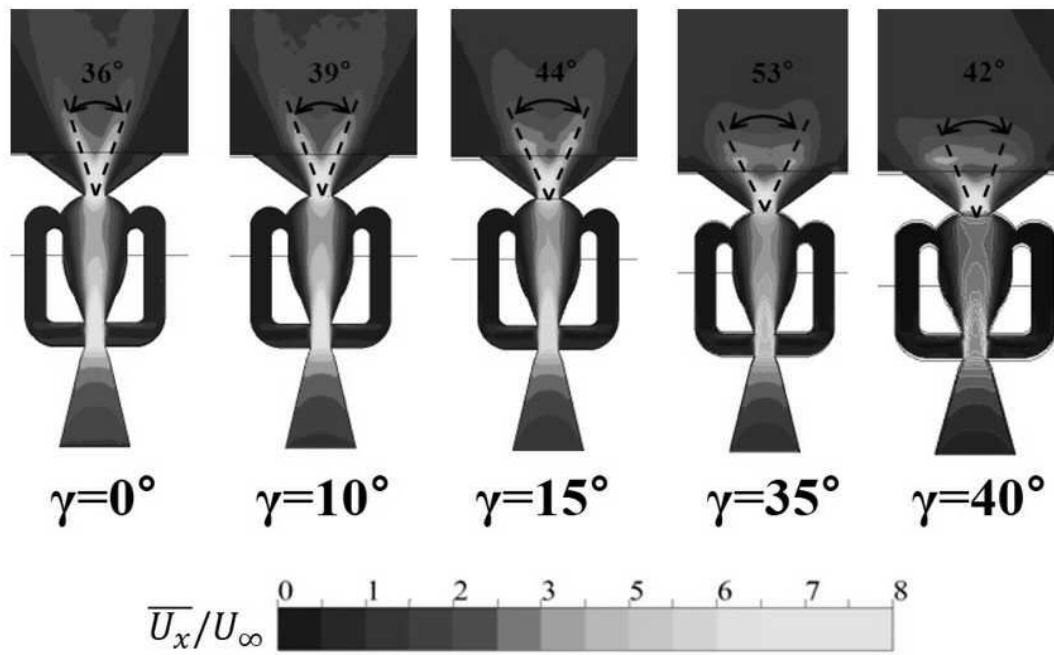
도면5



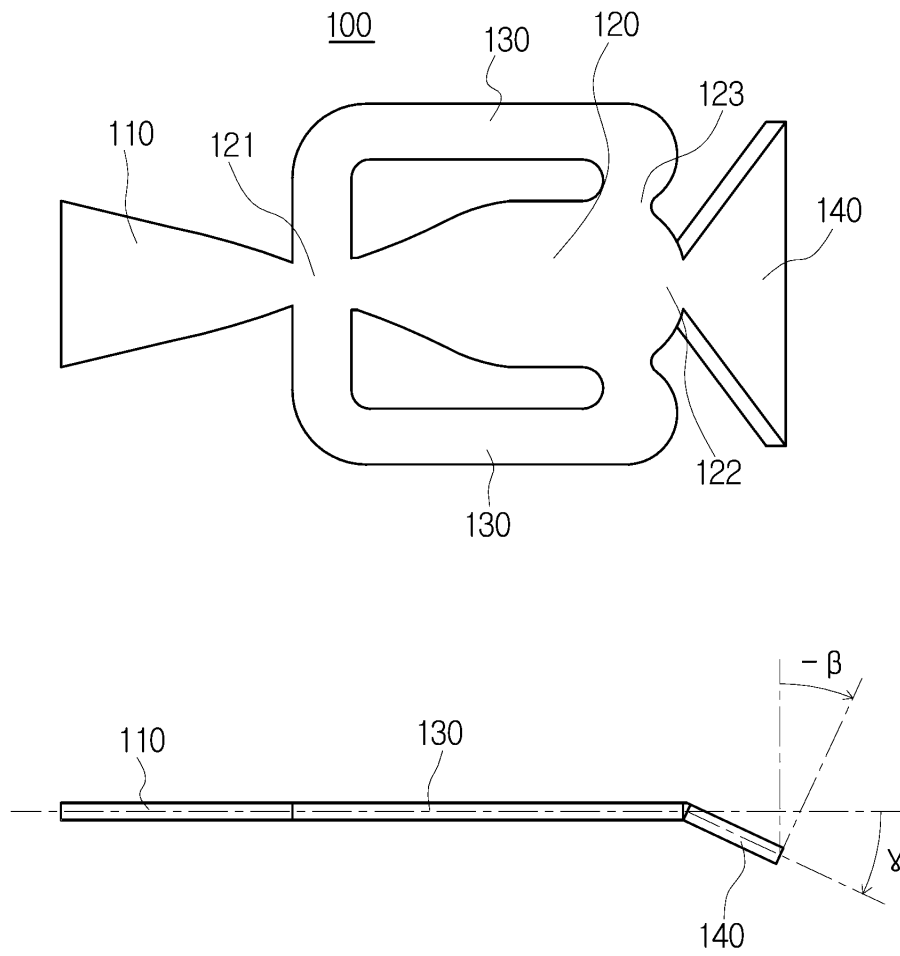
도면6



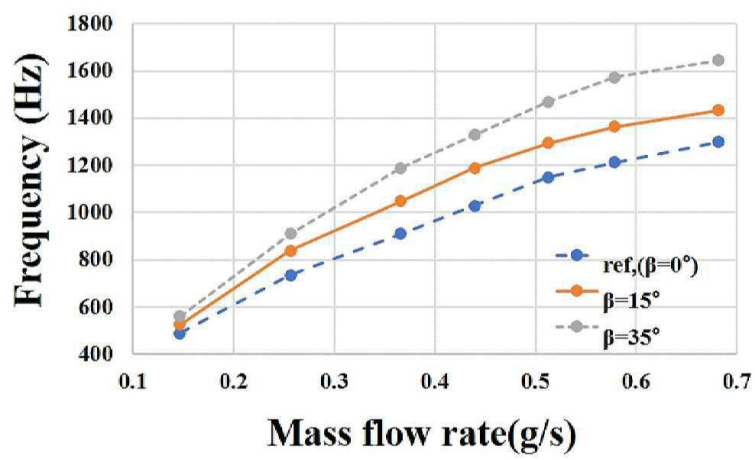
도면7



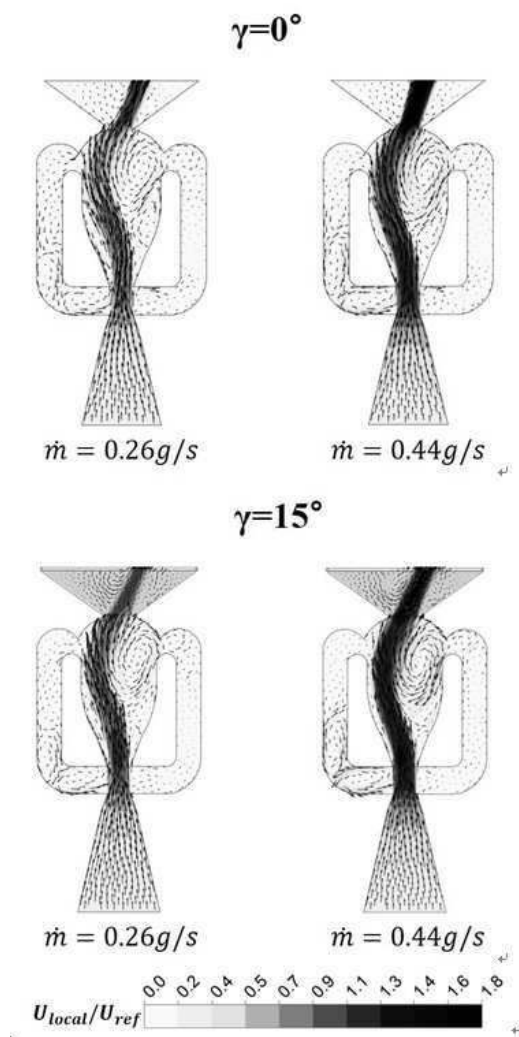
도면8



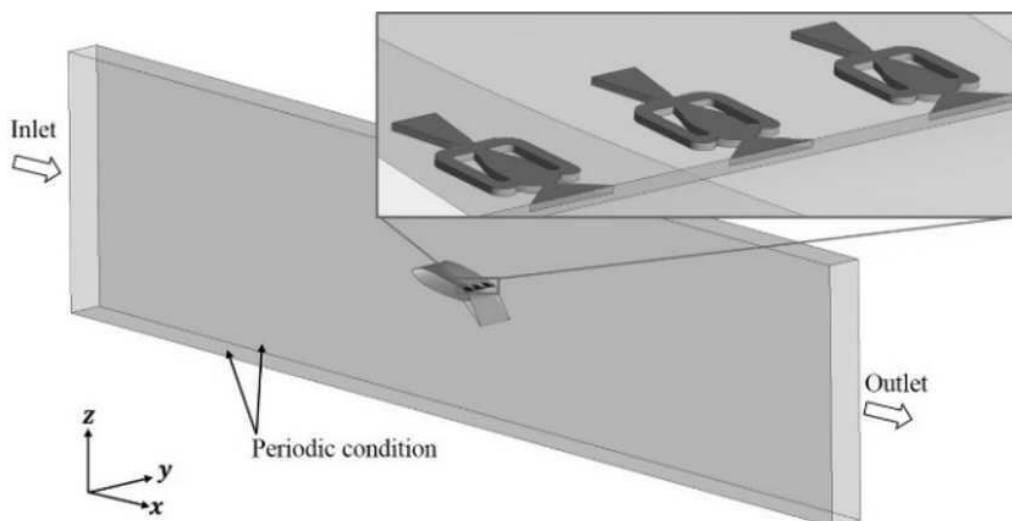
도면9



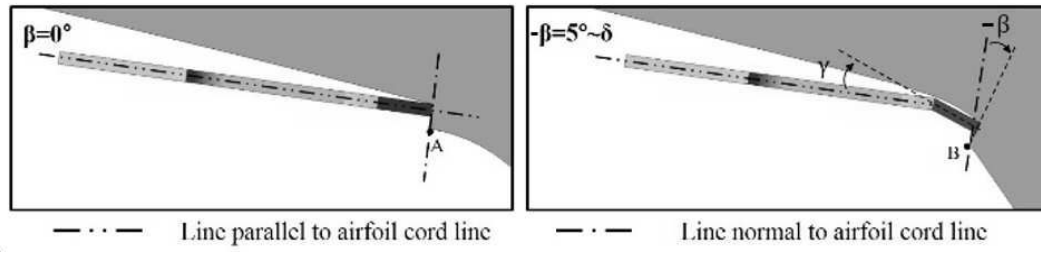
도면10



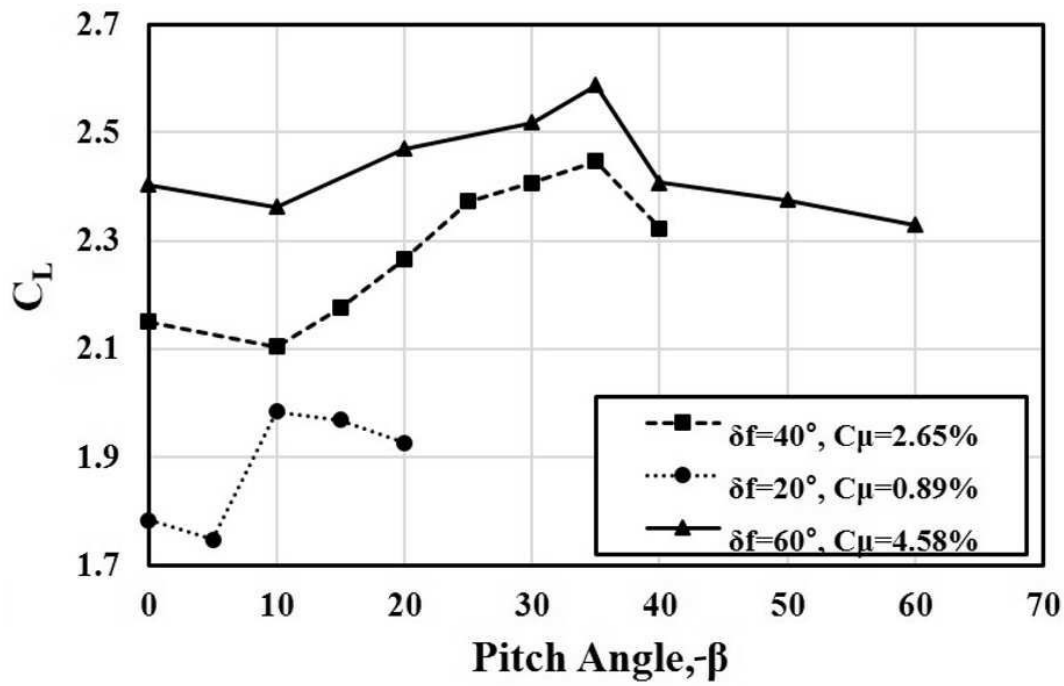
도면11



도면12



도면13



도면14

