



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0057164
(43) 공개일자 2023년04월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B63G 8/08 (2006.01) B63B 71/10 (2020.01)
B63H 11/00 (2020.01)
(52) CPC특허분류
B63G 8/08 (2013.01)
B63B 71/10 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2021-0141276
(22) 출원일자 2021년10월21일
심사청구일자 2021년10월21일

(71) 출원인
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
허영민
서울특별시 관악구 낙성대역길 78, 606호(봉천동, 승리빌라)
이신형
서울특별시 영등포구 당산로 214, 409동 2001호(당산동5가, 당산 삼성 래미안)
(74) 대리인
김정수

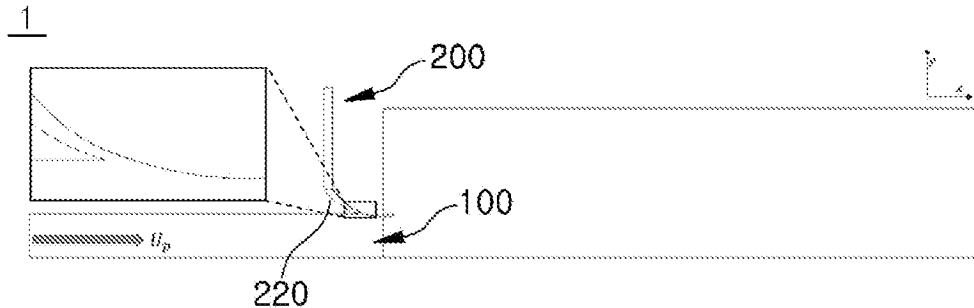
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법

(57) 요약

본 발명은 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법에 관한 것으로, 특히, 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기는 제1축 방향으로 수축 운동하여 주축 제트(Primary Jet)를 생성하는 주축 피스톤(Primary Piston); 및 상기 제1축과 수직을 이루는 제2축 방향으로 수축 운동하여 코안다 제트(Coanda Jet)를 생성하고, 상기 주축 피스톤의 제1출구와 이웃하도록 제2출구가 배치되는 코안다 피스톤(Coanda Piston);을 포함하는 것을 특징으로 한다.

도 1



(52) CPC특허분류

B63H 2011/002 (2013.01)

Y02T 70/50 (2020.08)

(72) 발명자

석우찬

부산광역시 사상구 백양대로494번길 10, 103동
1902호(주례동, 주례1차동일아파트)

서인덕

서울특별시 관악구 관악로 133, 103동 1101호(봉천
동, 건영아파트(6차))

이인수

서울특별시 관악구 관악로15길 56, 507호(봉천동,
성문타워스텔)

명세서

청구범위

청구항 1

제1축 방향으로 수축 운동하여 주축 제트(Primary Jet)를 생성하는 주축 피스톤(Primary Piston); 및
상기 제1축과 수직을 이루는 제2축 방향으로 수축 운동하여 코안다 제트(Coanda Jet)를 생성하고, 상기 주축 피스톤의 제1출구와 이웃하도록 제2출구가 배치되는 코안다 피스톤(Coanda Piston);
을 포함하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 코안다 피스톤은,
상기 제2출구 측 일부분이 상기 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡률 반경을 갖는 코안다 벽(Coanda Wall);
을 포함하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기.

청구항 3

제 1항에 있어서,
상기 제2출구는,
상기 제1출구와 소정도로 이격되도록 배치되어 상기 코안다 제트가 상기 제1출구와 일정 크기의 출구 높이를 갖도록 구성되는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법에 있어서,
추진 성능 평가 지표(η) 및 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ) 설정 단계;
코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계;
주축 제트와 코안다 제트 속도 비의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계;
코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계; 및
행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계;
를 포함하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,
코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법은,

상이한 다수개의 곡물 반경 조건과 상이한 다수개의 속도비(λ) 조건에서 와류 고리 추진기(Vortex Ring Thruster, VRT) 및 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기(Coanda Vortex Ring Thruster, CoVoRT)의 추진 성능을 비교 및 분석하여 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능을 평가하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 추진 성능 평가 지표(η)는,

$$\eta = \frac{\bar{E}_{kinetic}}{E_{jet}} = \frac{\frac{1}{2T} \rho \int_0^T \int_{cv} U_x^2 dV}{\frac{1}{2} m U_c^2 + \frac{1}{2} m U_p^2}$$

(E_{jet} = 피스톤 운동에 의해 유입된 에너지, $\bar{E}_{kinetic}$ = 피스톤 운동 방향의 평균 운동 에너지, m_c = 코안다 피스톤에서 방출되는 유체의 질량, m_p = 주축 피스톤에서 방출되는 유체의 질량, U_c = 코안다 제트 속도, U_p = 주축 제트 속도)

인 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 7

제 4항에 있어서,

상기 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ)는,

$$\lambda = \frac{U_c}{U_p}$$

(U_p = 주축 제트의 속도, U_c = 코안다 제트의 속도)

인 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 8

제 4항에 있어서,

상기 코안다 벽의 곡물 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는,

서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 곡물 반경을 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 9

제 4항에 있어서,

상기 주축 제트와 코안다 제트 속도비(λ)의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는,

서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 속도비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 하는

코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 10

제 4항에 있어서,

상기 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는,

상기 주축 피스톤의 직경(D)에 대한 상기 코안다 제트의 출구 높이(y_e)의 비(y_e/D)가 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

청구항 11

제 4항에 있어서,

상기 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는,

서로 다른 적어도 세가지 이상 조건의 행정비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하고,

피스톤의 당김 변수인 상기 행정비는,

$$\text{stroke ratio} = \frac{U_p T}{D_p}$$

(U_p : 주축 제트의 속도, D_p : 주축 피스톤의 직경, T : 총 추진 시간)

인 것을 특징으로 하는 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법에 관한 것으로, x축 방향으로 수축 운동하는 주축 피스톤 및 y축 방향으로 수축 운동하는 코안다 피스톤을 포함하고, 상기 코안다 피스톤의 출구 측 일정 부분이 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 코안다 벽을 포함함으로써, 다양한 선박의 주 추진 장치로서 적용이 가능하도록 추진 성능을 향상시킨 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 해양 자원 탐사 및 군사용 목적으로 사용되는 소형 잠수정의 추진 방식은 프로펠러 추진 방식과 제트 추진 방식으로 분류된다.

[0004] 최근에는 소음 발생이 적고, 제어 및 조종 성능이 우수한 제트 추진 방식 중 하나인 와류 고리 추진 방식을 소형의 무인 잠수정에 적용하고 있다.

[0005] 와류 고리 추진기(Vortex Ring Thruster, VRT)는 해파리나 오징어와 같은 연체 동물의 추진 기술을 모방한 제트 추진 시스템으로, 다른 추진 시스템에 비해 소음 발생이 적고 자세 제어 및 조종 성능 관점에서 우수한 장점이 있어 주로 소형 무인 잠수정(Unmanned Underwater Vehicle, UUV)의 보조 추진 장치로 활용되고 있다.

[0006] 하지만, 상기한 와류 고리 추진기는 일정한 전진 속도로 이동할 경우 프로펠러 추진 방식에 비해 추진 효율이 비교적 낮아 저속으로 운행하는 소형 무인 잠수정의 보조 추진 장치에만 적용되는 한계가 있다.

[0007] 따라서, 종래의 와류 고리 추진기가 소형 무인 잠수정뿐 아니라 다양한 선박의 주 추진 장치로서 적용될 수 있도록 코안다 효과를 적용하여 추진 성능을 향상시킨 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) [특허 문헌] KR 10-2028320호 (등록일자 2019년 09월 27일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은, 제1축 방향으로 수축 운동하는 주축 피스톤(Primary Piston) 및 상기 제1축과 수직을 이루는 제2축 방향으로 수축 운동하고, 상기 주축 피스톤의 제1출구와 이웃하도록 제2출구가 배치되는 코안다 피스톤(Coanda Piston)을 포함하며, 상기 코안다 피스톤은, 상기 제2출구 측 일정 부분이 상기 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡률 반경을 갖는 코안다 벽(Coanda Wall)을 포함함으로써, 피스톤의 수축 운동에 의해 추진기 출구부 측에 형성되는 와류 고리(Vortex Ring) 및 이에 후행하는 후행 제트(Trailing Jet)가 형성되며, 상기 와류 고리는 코안다 피스톤의 추가적인 운동량 공급에 의해 진행 속도가 빨라지고 와류 고리의 크기가 상대적으로 크게 형성되어 와류 고리 추진기의 추진 성능이 월등히 향상되도록 구성된 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기는 제1축 방향으로 수축 운동하여 주축 제트(Primary Jet)를 생성하는 주축 피스톤(Primary Piston); 및 상기 제1축과 수직을 이루는 제2축 방향으로 수축 운동하여 코안다 제트(Coanda Jet)를 생성하고, 상기 주축 피스톤의 제1출구와 이웃하도록 제2출구가 배치되는 코안다 피스톤(Coanda Piston);을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 본 발명에 따른 상기 코안다 피스톤은, 상기 제2출구 측 일정부분이 상기 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡률 반경을 갖는 코안다 벽(Coanda Wall);을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 본 발명에 따른 상기 제2출구는, 상기 제1출구와 소정도로 이격되도록 배치되어 상기 코안다 제트가 상기 제1출구와 일정 크기의 출구 높이를 갖도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 한편, 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법은 추진 성능 평가 지표(η) 및 와류 고리의 동적 거동 특성에 대한 분석을 포함하며 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ) 설정 단계; 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계; 주축 제트와 코안다 제트 속도비의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계; 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계; 및 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법은, 상이한 다수개의 곡률 반경 조건과 상이한 다수개의 속도비(λ) 조건에서 와류 고리 추진기(Vortex Ring Thruster, VRT) 및 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기(Coanda Vortex Ring Thruster, CoVoRT)의 추진 성능을 비교 및 분석하여 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능을 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 상기 추진 성능 평가 지표(η)는,

$$\eta = \frac{\bar{E}_{kinetic}}{E_{jet}} = \frac{\frac{1}{2T} \rho \int_0^r \int_{cv} U_x^2 dV}{\frac{1}{2} m U_c^2 + \frac{1}{2} m U_p^2}$$

[0018] (E_{jet} = 피스톤 운동에 의해 유입된 에너지, $\bar{E}_{kinetic}$ = 피스톤 운동 방향의 평균 운동 에너지, m_c = 코안다 피스톤에서 방출되는 유체의 질량, m_p = 주축 피스톤에서 방출되는 유체의 질량, U_c = 코안다 제트 속도, U_p = 주축 제트 속도)인 것을 특징으로 한다.

[0020] 또한, 본 발명에 따른 상기 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ)는,

$$\lambda = \frac{U_c}{U_p}$$

[0022] (U_p = 주축 제트의 속도, U_c = 코안다 제트의 속도)인 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 상기 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는, 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 곡률 반경을 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 또한, 본 발명에 따른 상기 주축 제트와 코안다 제트 속도비(λ)의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는, 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 속도비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한, 본 발명에 따른 상기 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는, 상기 주축 피스톤의 직경(D)에 대한 상기 코안다 제트의 출구 높이(y_c)의 비(y_c/D)가 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 비교군의 추진 성능을 비교 평가하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 아울러, 본 발명에 따른 상기 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계는, 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 행정비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가하고, 피스톤의 당김 변수인 상기 행정비는,

$$stroke\ ratio = \frac{U_p T}{D_p}$$

[0028] (U_p = 주축 제트의 속도, D_p : 주축 피스톤의 직경, T : 총 추진 시간)인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0030] 상기와 같은 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법에 의하면, 주축 피스톤(Primary Piston) 및 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡률 반경을 갖는 코안다 벽(Coanda Wall)을 갖는 코안다 피스톤을 포함함으로써, 피스톤의 수축 운동에 의해 추진기 출구부 측에 형성되는 와류 고리(Vortex Ring) 및 이에 후행하는 후행 제트(Trailing Jet)가 형성되며, 상기 와류 고리는 코안다 피스톤의 추가적인 운동량 공급에 의해 진행 속도가 빨라지고 와류 고리의 크기가 상대적으로 크게 형성되어 와류 고리 추진기의 추진 성능이 월등히 향상되는 효과가 있다.

[0031] 아울러, 일정한 전진 속도로 이동할 경우 프로펠러 추진 방식에 비해 추진 효율이 낮은 한계를 갖는 종래의 와류 고리 추진기와는 달리 x축 방향으로 수축운동하는 주축 피스톤과 y축 방향으로 수축 운동하는 코안다 피스톤을 포함하여 각각의 피스톤의 수축 운동에 대한 반작용으로 추진력을 발생시킴으로써, 추진 성능이 향상되어 와류 고리 추진기가 다양한 선박의 주 추진 장치로서 적용될 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 전반적인 구성을 나타내는 구성도이다.
- 도 2는 종래의 와류 고리 추진기의 구성을 나타낸 구성도이다.
- 도 3은 서로 다른 조건의 곡률 반경을 나타낸 도이다.
- 도 4는 곡률 반경 변화 및 속도비 변화에 따른 추진 성능 결과값을 비교한 표이다.
- 도 5는 곡률 반경 변화 및 속도비 변화에 따른 추진 성능 결과값을 비교한 그래프이다.
- 도 6은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제1도이다.
- 도 7은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제2도이다.
- 도 8은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제3도이다.
- 도 9는 곡률 반경 변화에 따른 해석 결과는 비교한 도이다.
- 도 10은 서로 다른 조건의 코안다 제트 출구 높이를 나타낸 도이다.
- 도 11은 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 결과를 비교한 도이다.
- 도 12는 행정비 변화에 따른 결과를 비교한 도 및 결과값을 나타낸 표이다.
- 도 13은 행정비 변화에 따른 결과를 도시한 도이다.
- 도 14는 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법의 구성을 나타낸 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예를 설명한다. 우선, 도면들 중 동일한 구성요소 또는 부품들은 가능한 한 동일한 참조부호를 나타내고 있음에 유의해야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하게 하지 않기 위해 생략한다.
- [0036] 도 1은 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 전반적인 구성을 나타내는 구성도이고, 도 2는 종래의 와류 고리 추진기의 구성을 나타낸 도이다.
- [0038] 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기는 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이 주축 피스톤 및 코안다 피스톤을 포함할 수 있다.
- [0040] 상기 주축 피스톤(Primary Piston)은 제1축 방향으로 수축 운동하여 주축 제트(Primary Jet)를 생성하도록 구성된다.
- [0041] 구체적으로, 상기 주축 피스톤은 제1축 방향 즉, x축 방향으로 수축 운동하여 출구부 측으로 와류 고리(Vortex Ring) 및 이에 후행하는 후행 제트(Trailing Jet)가 형성될 수 있도록 한다.
- [0042] 또한, 상기 주축 피스톤의 제1출구 측으로 상기 코안다 피스톤의 제2출구가 배치되고, 출구측으로 주축 제트가 생성된다.
- [0044] 상기 코안다 피스톤(Coanda Piston)은 상기 제1축과 수직을 이루는 제2축 방향으로 수축 운동하여 코안다 제트(Coanda Jet)를 생성하고, 상기 주축 피스톤의 제1출구와 이웃하도록 제2출구가 배치되도록 구성된다.
- [0045] 또한, 상기 코안다 피스톤은 상기 제2출구 측 일정부분이 상기 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡률 반경을

갖는 코안다 벽(Coanda Wall)을 포함할 수 있다.

- [0047] 상기 코안다 벽은 상기 코안다 피스톤의 제2출구측 일정 부분이 주축 제트 측 방향으로 일정 각도 굴곡진 곡면으로 생성되어 곡률 반경의 증감 정도에 따라 코안다 제트에 의해 발생하는 음의 방향 와도(Vorticity) 성분의 유입 각도가 커지거나 작아지게 되어 와류 고리(Vortex Ring) 형성에 필요한 에너지 유입을 저지 또는 증대시키는 구성요소로 작용할 수 있다.
- [0048] 따라서, 상기 코안다 벽은 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따라 와류 고리 추진기의 추진 성능이 평가될 수 있다.
- [0049] 또한, 상기 코안다 벽은 크기가 증가할수록 코안다 제트의 속도가 증가하여 추진 성능이 향상되고, 코안다 벽의 곡률 반경이 감소할수록 코안다 제트의 속도가 감소하여 추진 성능이 저하되는 현상이 나타날 수 있다.
- [0050] 이는, 상기 곡률 반경이 감소할수록 상기 코안다 제트에 의해 발생하는 음의 방향 와도(Vorticity) 성분의 유입 각도가 커지게 되어 와류 고리(Vortex Ring) 형성에 필요한 에너지 유입이 저지되기 때문이다.
- [0052] 한편, 상기 제2출구는 상기 제1출구와 소정도로 이격되도록 배치되어 상기 코안다 제트가 상기 제1출구와 일정 크기의 출구 높이를 갖도록 구성된다.
- [0054] 상기 코안다 제트의 출구 높이($\mathcal{Y}^c$)는 출구 높이 변화에 따른 와류 고리 추진기(Vortex Ring Thruster, VRT) 및 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기(Coanda Vortex Ring Thruster, CoVoRT)의 와도 컨투어(Vorticity Contour)를 비교하여 추진 성능을 평가하는 구성이다.
- [0055] 또한, 상기 코안다 제트의 출구 높이($\mathcal{Y}^c$) 변화에 따른 VRT와 CoVoRT 와도 윤곽을 비교할 경우, $\mathcal{Y}^c/D = 0.1$ (D는 주축 피스톤의 직경)인 경우 음의 방향 와도가 코안다 제트의 수축 운동에 의해 발생한 운동량이 와류 고리(Vortex Ring)에 유입을 저지하고 이후 후행 고리(Trailing Ring)가 형성된다.
- [0056] 또한, $\mathcal{Y}^c/D = 0.05$ 인 경우 추진 성능이 가장 우수한 것으로 나타난다.
- [0057] 이 때, $\mathcal{Y}^c = 7.62 \text{ mm}$ 이다.
- [0059] 이하, 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법을 설명하도록 한다.
- [0061] 도 14는 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법의 구성을 나타낸 블록도이다.
- [0063] 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법은 도 14에 도시된 바와 같이 추진 성능 평가 지표(η) 및 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ) 설정 단계(S100), 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S200), 주축 제트와 코안다 제트 속도비의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S300), 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S400) 및 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S500)를 포함할 수 있다.
- [0064] 구체적으로, 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법은 3가지 곡률 반경 조건과 3가지 속도비 조건에서 VRT와 CoVoRT의 추진 성능을 비교 분석하는 평가 분석 방법으로, 추진 성능 평가 지표를 이용한 정량적 비교 및 와류 고리(Vortex Ring) 형성 및 분리 관점에서 분석을 수행하게 된다.

[0066] 피스톤 운동 구현 방식에 따른 해석 결과를 비교하며, 시간 스케일의 무차원 수인 formation time인 t^* 에 따라 결과를 도시하면,

$$t^* = \frac{U_p t}{D_p}$$

[0067]

[0068] 이다.

[0069] 또한, 피스톤 수축 길이 및 제트 속도의 설정에서 피스톤의 수축 길이는 $6 D_p$ 이며, 제트는 등속운동을 하고 속도(U_p)는 0.1524 m/s로 나타난다.

[0071] 또한, 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가의 해석자 검증을 위한 물리량 비교는 Rosenfeld(1998)와 Zhang 등(2020) 등이 수행한 CFD 해석 결과와 Gharib 등(1998)등이 수행한 실험 결과와 비교한다.

[0072] Gharib 등(1998)은 vortex circulation의 최대값이 Total circulation과 동일할 때의 formation time을 formation number로 정의하였으며, 이는 Pinch-Off 과정이 발생하는 시간을 의미한다.

[0073] 또한, 상기 Pinch-Off 현상은 후행 고리(Vortex Ring)가 후행 제트(Trailing Jet)와 분리되는 현상을 의미한다.

[0075] 상기 추진 성능 평가 지표는 피스톤 운동에 의해 유입된 에너지 E_{jet} 대비 전체 도메인에 발생한 피스톤 운동 방향(제1방향 즉, x축 방향)의 유동 방향 평균 운동 에너지 $\bar{E}_{kinetic}$ 를 추진 성능 평가 지표(Propulsion Performance Evaluation Index, PPEI) η 로 설정하고, 상기 η 는 아래와 같은 관계식을 갖는다.

$$\eta = \frac{\bar{E}_{kinetic}}{E_{jet}} = \frac{\frac{1}{2T} \rho \int_0^r \int_{cv} U_x^2 dV}{\frac{1}{2} m U_c^2 + \frac{1}{2} m U_p^2}$$

[0077]

[0079] 이 때, m_c 와 m_p 는 각각 코안다 피스톤(200)과 주축 피스톤(100)이 수축 운동하여 방출하는 유체의 질량을 나타낸다.

[0080] 또한, U_c 와 U_p 는 각각 코안다 피스톤(200)과 주축 피스톤(100)의 속도를 나타낸다. 즉, U_c 와 U_p 는 각각 코안다 제트와 주축 제트의 속도를 나타낸다.

[0082] 또한, 상기 추진 성능 평가 지표는 종래의 VRT와 CoVoRT의 추진 성능 평가 지표의 정량적 비교를 위한 것으로, 분모는 인풋으로 들어가는 에너지 즉, 유입 에너지량이고, 분자의 경우에는 계산 영역에 해당하는 축 방향 속도 즉, 추진에 쓰이는 에너지로 아웃풋에 해당하는 에너지를 나타낸다.

- [0084] 또한, 상기 주축 제트와 코안다 제트의 속도의 비(λ)는 주축 제트의 속도(U_p)와 코안다 제트의 속도(U_c)의 비로 설정된다.
- [0085] 즉, λ 는 아래와 같다.
- $$\lambda = \frac{U_c}{U_p}$$
- [0086]
- [0088] 도 3은 서로 다른 조건의 곡률 반경을 나타낸 도이고, 도 4는 곡률 반경 변화 및 속도비 변화에 따른 추진 성능 결과값을 비교한 표이며, 도 5는 곡률 반경 변화 및 속도비 변화에 따른 추진 성능 결과값을 비교한 그래프이고, 도 9는 곡률 반경 변화에 따른 해석 결과는 비교한 도이다.
- [0090] 본 발명에 따른 상기 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S200)는 도 3 내지 도 5 및 도 9에 도시된 바와 같이 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 곡률 반경을 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가한다.
- [0091] 구체적으로, 상기 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S200)는 코안다 벽(220)의 곡률 반경 변화에 따른 VRT 및 CoVoRT의 추진 성능을 비교 분석하는 단계로서, 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 VRT와 CoVoRT의 와도 컨투어(Vorticity Contour)를 비교하여 성능 평가를 실행하는 단계이다.
- [0092] 또한, 상기 비교 단계에서 코안다 벽(220)에 의해 발생하는 음의 와류가 곡률 반경이 감소함에 따라 유입 각도가 커져 와류 고리(Vortex Ring) 형성에 필요한 에너지 유입을 저지하는 영향이 커지는 것을 알 수 있다.
- [0093] 또한, 코안다 벽(220)의 곡률 반경은 도 3에 도시된 바와 같이 R87(0.87 D_p), R83(0.83 D_p), R79(0.79 D_p)로 설정되어 비교 평가를 수행한다. 이 때, D_p 는 주축 피스톤의 직경을 나타낸다.
- [0094] 이 때, 코안다 제트의 출구부 길이가 주축 제트의 10%로 설정하고, $\lambda = 0.5, 1.0, 2.0$ 인 경우에 대해 CFD 해석을 수행한다.
- [0095] 평가 결과, $\lambda = 1.0$ 이고, 곡률 반경이 R87인 CoVoRT의 경우 최대 50% 정도의 추진 성능이 향상된다.
- [0096] 또한, $\lambda = 2.0$ 인 경우, CoVoRT는 모든 곡률 반경에서 VRT에 비해 추진 성능이 저하된다.
- [0097] 즉, 곡률 반경이 작아지는 경우, 주축 제트가 출구부쪽으로 유출될 때 유입 각도가 커지게 되어 와류 고리 형성에 필요한 에너지 유입이 저지되는 경향이 나타나게 된다.
- [0098] 따라서, 코안다 벽의 곡률 반경이 클수록 추진 성능이 향상되게 된다.
- [0100] 도 6은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제1도이고, 도 7은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제2도이며, 도 8은 속도비 변화에 따른 해석 결과를 비교한 제3도이다.
- [0102] 본 발명에 따른 상기 주축 제트와 코안다 제트 속도비(λ)의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S300)는 도 6 내지 도 8에 도시된 바와 같이 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 속도비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가한다.
- [0103] 또한, 주축 제트와 코안다 제트 속도 비의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S300)는 코안다 제트의 속도 변화에 따른 VRT와 CoVoRT의 와도 컨투어(Vorticity Contour)를 비교하여 성능 평가를 실행하는 단계이다.
- [0104] 이 때, 속도비 λ 는 0.5, 1.0, 2.0 인 경우에 대해 CFD 해석을 수행한다.
- [0105] 평가 결과, 코안다 제트의 속도가 증가할수록 (즉, λ 가 증가할수록) 와류 고리(Vortex Ring)와 음의 와류가 후

행 제트(Trailing Jet)를 따라 진행하면서 와류 고리 형성에 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

- [0106] 또한, $\lambda = 2.0$ 인 경우, 음의 방향 Vorticity 성분이 와류 고리(Vortex Ring) 형성에 필요한 에너지 유입을 저지하게 된다.
- [0107] 따라서, 코안다 제트의 속도 변화에 따른 VRT 와 CoVoRT의 와도 윤곽을 비교한 결과, $\lambda = 0.5$ 인 경우, VRT에 비해 후행 제트(Trailing Jet)의 유입되는 vorticity의 크기가 증가하고, 코안다 제트로 인한 운동량 유입으로 와류 고리(Vortex Ring)의 전진 속도가 빠르게 나타난다.
- [0108] 즉, $\lambda = 0.5$ 인 경우에는 CoVoRT의 와류 고리는 VRT의 와류 고리에 비해 코안다 피스톤의 추가적인 운동량 공급으로 인해 와류 고리의 전진 속도가 빠르고 와류 고리의 크기가 상대적으로 크게 나타난다.
- [0109] 한편, $\lambda = 2.0$ 인 경우, formation time 이 증가함에 따라 코안다 제트로 인한 과도한 운동량 유입으로 선행하는 와류 고리(leading vortex ring)의 pinch-off 현상이 발생하게 된다.
- [0110] 와류 고리와 후행 제트의 상호 작용으로 나타나는 pinch-off 현상은 추진 성능에 좋지 않은 영향을 주는 것으로, VRT와 CoVoRT의 와류 고리의 동적 특성을 비교한 결과 PPEI 경향과 유사한 것을 알 수 있다.
- [0111] 결과적으로, CoVoRT의 추진 성능이 VRT에 비해 우수하게 나타난다.
- [0113] 도 10은 서로 다른 조건의 코안다 제트 출구 높이를 나타낸 도이고, 도 11은 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 결과를 비교한 도이다.
- [0115] 본 발명에 따른 상기 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S400)는 도 10 및 도 11에 도시된 바와 같이 상기 주축 피스톤(100)의 직경(D)에 대한 상기 코안다 제트의 출구 높이(y^c)의 비(y^c/D)가 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 비교군의 추진 성능을 비교 평가한다.
- [0116] 또한, 상기 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S400)는 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 VRT 와 CoVoRT의 와도 컨투어(Vorticity Contour)를 비교하여 성능 평가를 실행하는 단계이다.
- [0117] 이 때, 상기 코안다 제트의 출구 높이(y^c)를 주축 피스톤의 직경(D)으로 나눈 값 즉, y^c/D 는 0.05, 0.075 및 0.1 의 조건으로 비교 평가를 수행할 수 있다.
- [0118] $y^c/D = 0.1$ 인 경우, 음의 와류가 코안다 제트의 수축 운동에 의해 발생한 운동량이 와류 고리에 유입을 저지하고 이후 후행 고리를 형성하게 된다.
- [0119] 또한, $y^c/D = 0.05$ 인 경우(이 때, $y^c = 7.62\text{mm}$) 추진 성능이 가장 우수하게 나타난다.
- [0120] 즉, 코안다 제트의 출구 높이가 작을수록 추진 성능이 향상된다.
- [0122] 도 12는 행정비 변화에 따른 결과를 비교한 도 및 결과값을 나타낸 표이고, 도 13은 행정비 변화에 따른 결과를 도시한 도이다.
- [0124] 본 발명에 따른 상기 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S500)는 도 12 및 도 13에 도시된 바와 같이 서로 다른 적어도 세 가지 이상 조건의 행정비를 갖는 비교군의 추진 성능을 비교 평가할 수 있다.
- [0125] 또한, 상기 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계(S500)는 행정비 변화에 따른 VRT 와 CoVoRT의 와도 컨투어(Vorticity Contour)를 비교하여 성능 평가를 실행하는 단계이다.
- [0126] 상기 행정비는 피스톤을 얼마나 당길지에 대한 변수로써, 행정비가 크면 피스톤을 많이 당기는 것이고, 행정비가 작으면 피스톤을 적게 당기는 것을 나타낸다.

[0127] 또한, 상기 행정비는 아래와 같은 관계식을 갖는다.

$$\text{stroke ratio} = \frac{U_p T}{D_p}$$

[0128]

[0129] 행정비가 큰 경우 많은 운동량 유입으로 와류 고리의 전진 속도가 빠르게 나타나고, 후행 제트 및 와류 고리의 z 방향 와도가 크다.

[0130] 따라서, 행정비가 큰 CoVoRT의 경우(도 13에서 행정비가 8인 경우) 후행 고리가 생성되어 추진 성능이 저하되게 된다.

[0131] 이는, 행정비가 크게 되면 음의 와류가 출구부까지 전진되면서 주축 제트와 코안다 제트가 운동량이 합쳐지지 못하고 분리가 됨에 따라 에너지 유입이 적게 되어 후행 고리가 형성되게 된다.

[0132] 본 발명에서 상기 행정비는 4, 6, 8 인 조건으로 비교 평가를 수행한다.

[0133] 이 때, 상기 행정비가 4의 경우, 추진 성능이 가장 우수하게 나타난다.

[0135] 결과적으로, 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기의 추진 성능 평가 방법에 의한 CoVoRT의 추진 성능은 곡률 반경이 작고, 속도의 비가 1일 때, 추진 성능이 비교적 우수하게 나타난다.

[0136] 또한, 코안다 제트의 출구 높이 $y^c/D = 0.05$ 이고 행정비가 4일 때 추진 성능이 우수하게 나타났으며, 이는 VRT에 비해 최대 67%가 향상된 성능이 나타나게 된다.

[0138] 상기와 같은 본 발명에 따른 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기 및 이의 추진 성능 평가 방법에 의하면, 주축 피스톤(Primary Piston) 및 주축 제트의 추진 방향으로 굴곡진 곡물 반경을 갖는 코안다 벽(Coanda Wall)을 갖는 코안다 피스톤을 포함함으로써, 피스톤의 수축 운동에 의해 추진기 출구부 측에 형성되는 와류 고리(Vortex Ring) 및 이에 후행하는 후행 제트(Trailing Jet)가 형성되며, 상기 와류 고리는 코안다 피스톤의 추가적인 운동량 공급에 의해 진행 속도가 빨라지고 와류 고리의 크기가 상대적으로 크게 형성되어 와류 고리 추진기의 추진 성능이 월등히 향상되는 효과가 있다.

[0139] 아울러, 일정한 전진 속도로 이동할 경우 프로펠러 추진 방식에 비해 추진 효율이 낮은 한계를 갖는 종래의 와류 고리 추진기와는 달리 x축 방향으로 수축운동하는 주축 피스톤과 y축 방향으로 수축 운동하는 코안다 피스톤을 포함하여 각각의 피스톤의 수축 운동에 대한 반작용으로 추진력을 발생시킴으로써, 추진 성능이 향상되어 와류 고리 추진기가 다양한 선박의 주 추진 장치로서 적용될 수 있는 효과가 있다.

[0141] 이에 설명한 본 명세서 및 청구범위에 사용되는 용어 및 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 본 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.

[0143] 따라서, 본 명세서에 기재된 도면 및 실시 예에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 하나의 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것이 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

부호의 설명

[0145] 1 : 코안다 효과를 활용한 와류 고리 추진기

100 : 주축 피스톤

200 : 코안다 피스톤

220 : 코안다 벽

S100 : 추진 성능 평가 지표(η) 및 주축 제트와 코안다 제트의 속도비(λ) 설정 단계

S200 : 코안다 벽의 곡률 반경 변화에 따른 추진 성능 비교 단계

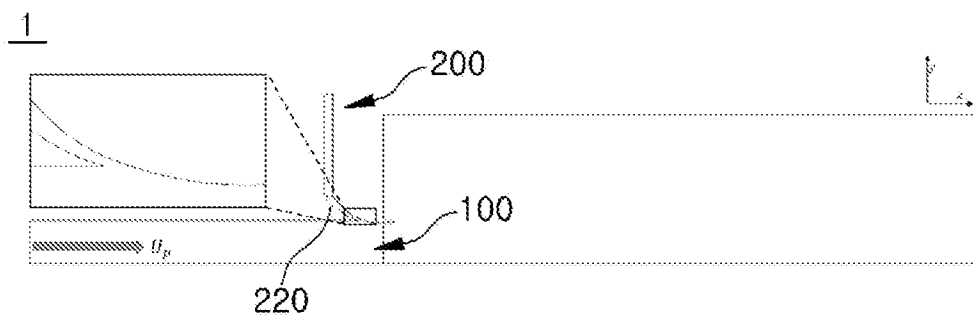
S300 : 주축 제트와 코안다 제트 속도비의 변화에 따른 추진 성능 비교 단계

S400 : 코안다 제트의 출구 높이 변화에 따른 추진 성능 비교 단계

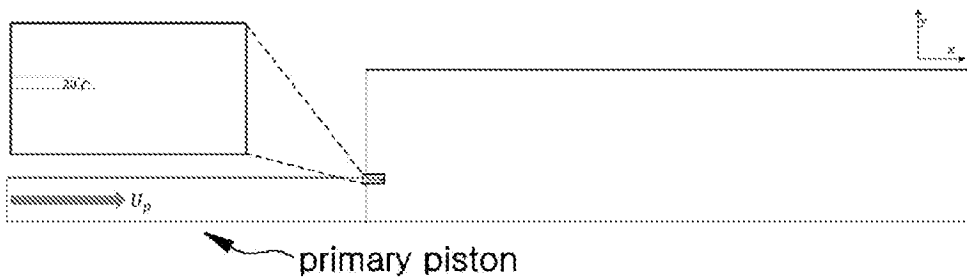
S500 : 행정비(Stroke Ratio) 변화에 따른 추진 성능 비교 단계

도면

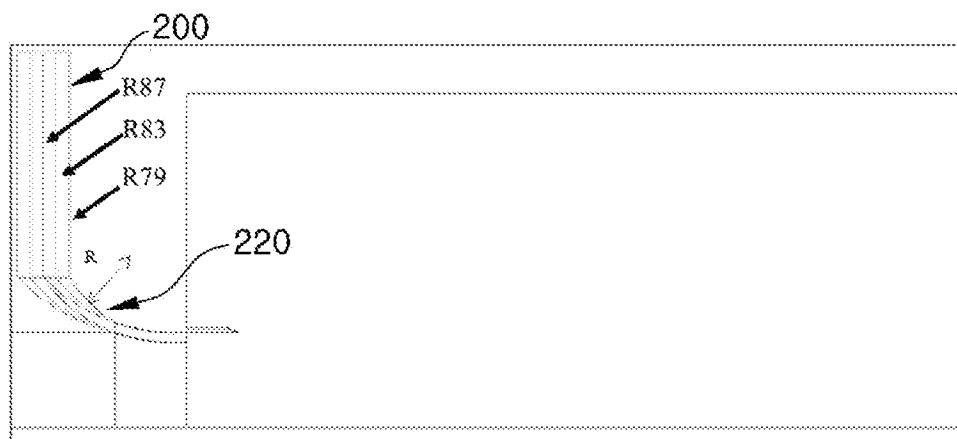
도면1



도면2



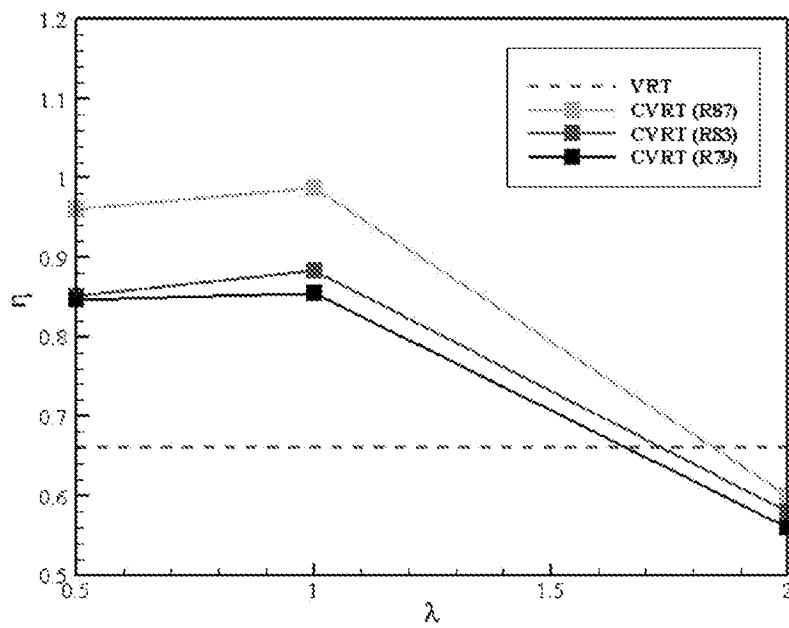
도면3



도면4

Radius of curvature		Percentage of propulsion performance improvement over VRT			
		(%)	R87	R83	R79
R87	0.87D	$\lambda = 0.5$	45.3	28.9	28.2
R83	0.83D	$\lambda = 1.0$	49.5	33.8	29.3
R79	0.79D	$\lambda = 2.0$	-9.3	-12.5	-15.2

도면5



도면6

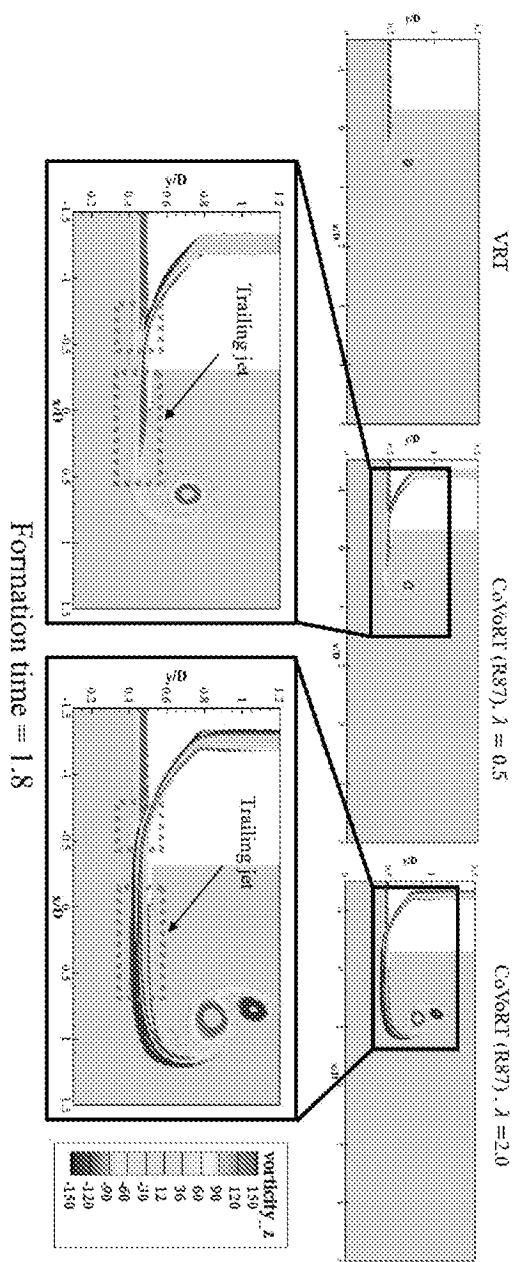


FIG. 7

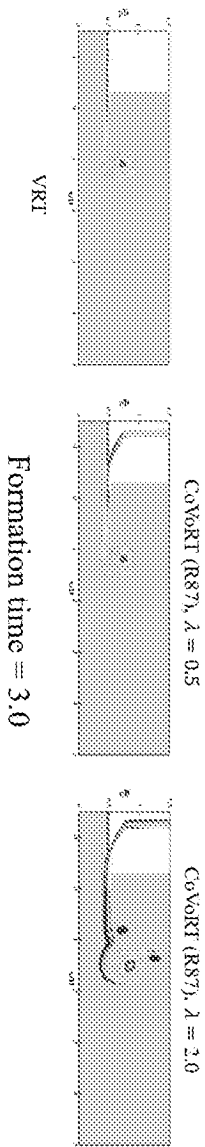
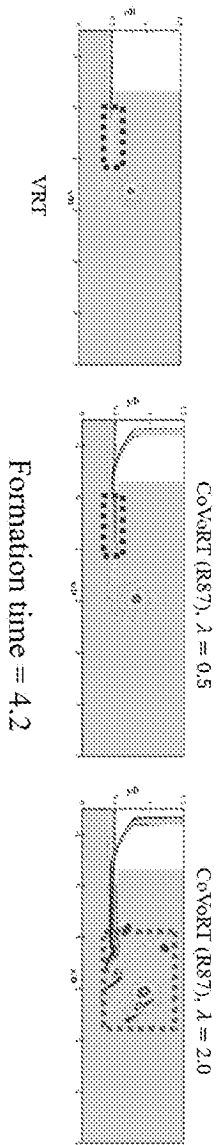
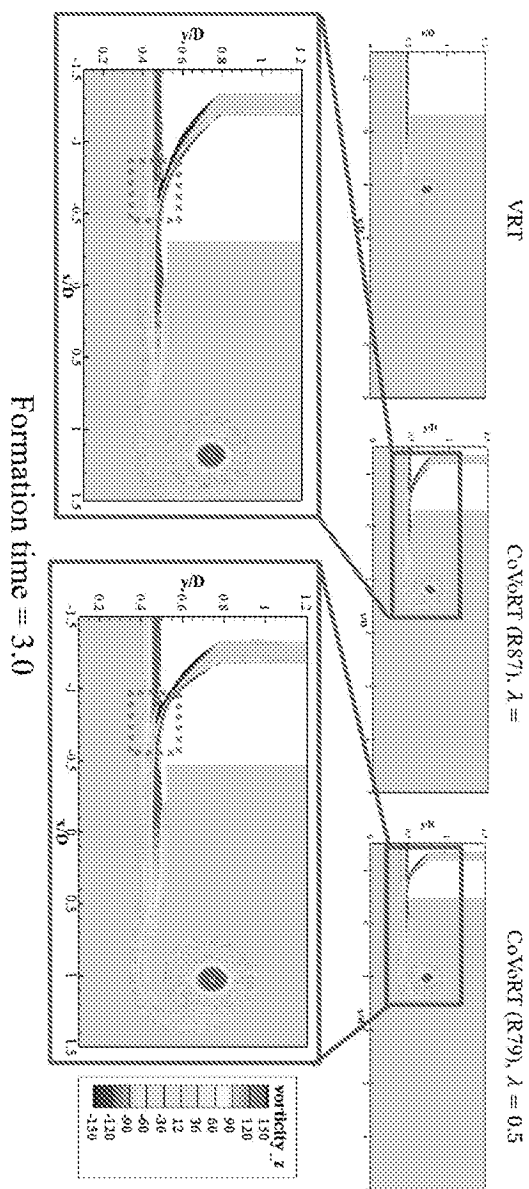


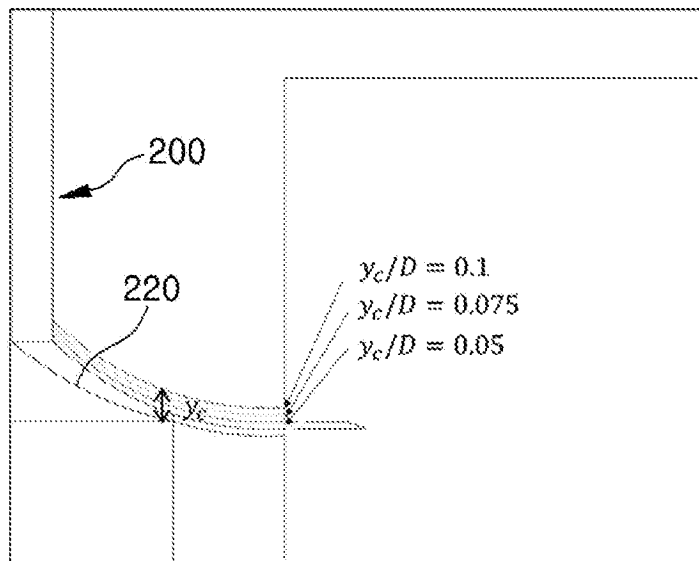
FIG. 6



도 9



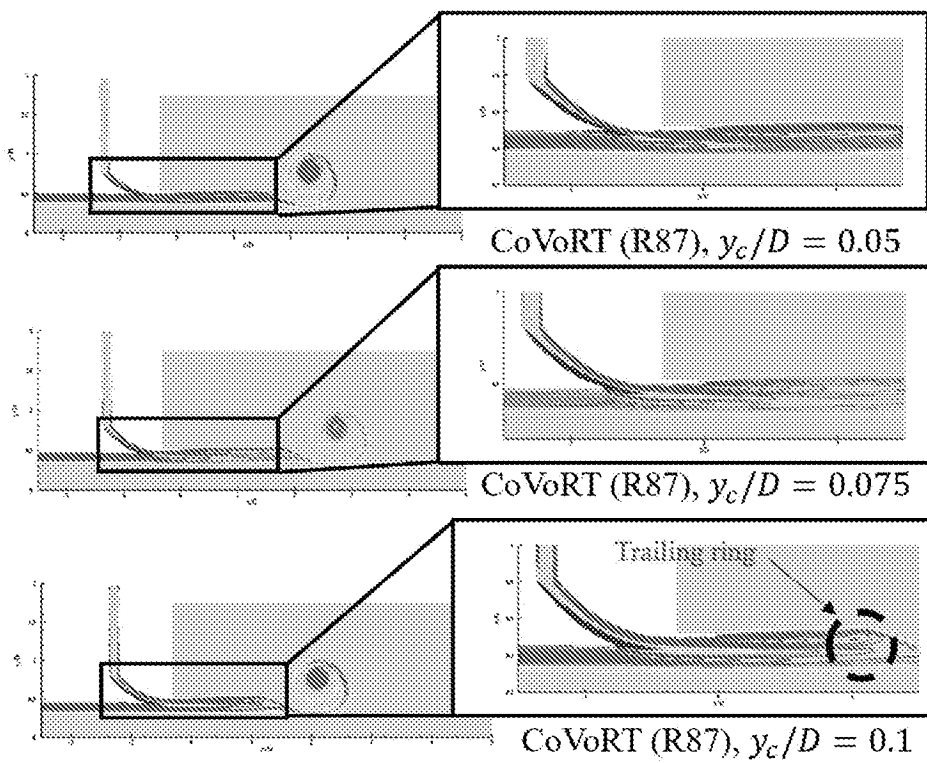
도면10



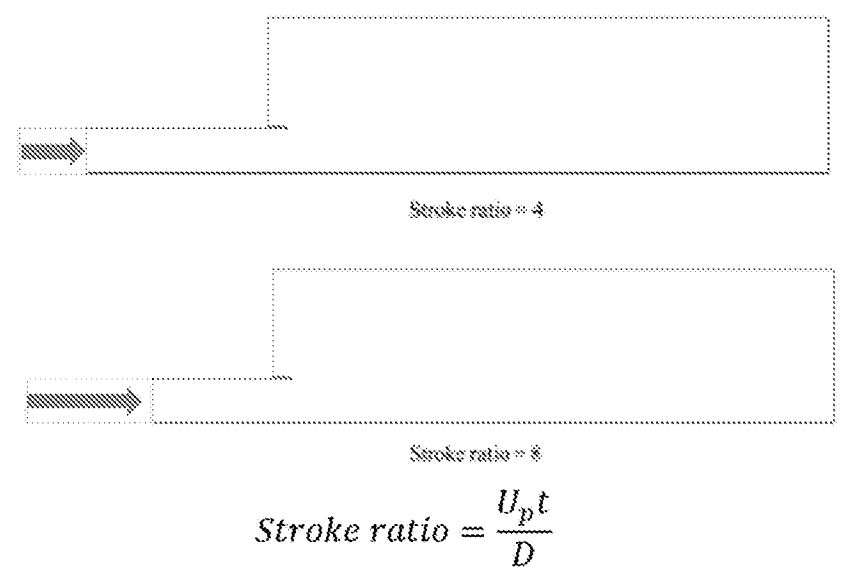
Percentage of propulsion performance improvement over VRT

(%)	$y_c/D = 0.05$	$y_c/D = 0.075$	$y_c/D = 0.1$
$\lambda = 0.5$	45.3	36.8	34.7

도면11

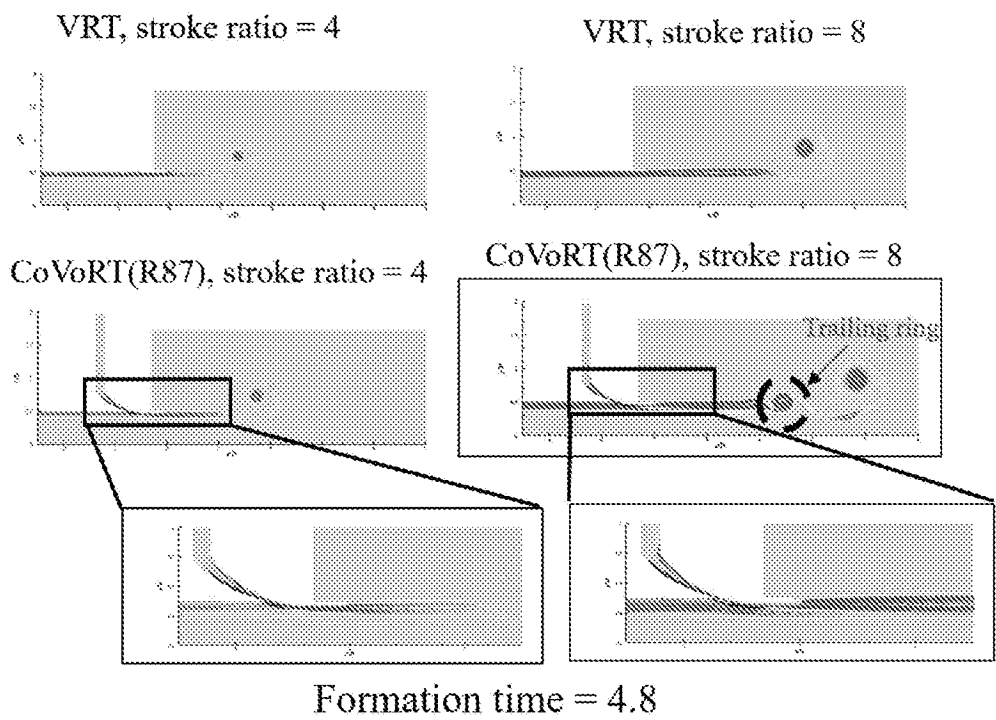


도면 12



Percentage of propulsion performance improvement over VRT			
(%)	Stroke ratio = 4	Stroke ratio = 6	Stroke ratio = 8
$\lambda = 1.0$	67.3	45.3	2.5

도면 13



도면14

