



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0089954
(43) 공개일자 2020년07월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F04D 29/24 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F04D 29/245 (2013.01)

F05D 2240/30 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0006872

(22) 출원일자 2019년01월18일

심사청구일자 2019년01월18일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

김광용

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

심현석

경상남도 거제시 거제대로 3697-19 (옥포동, 그린파크) 그린파크 102동 810호

김상훈

인천광역시 부평구 부평대로 138 (부평동) 신일유타이션 917호

(74) 대리인

이원희

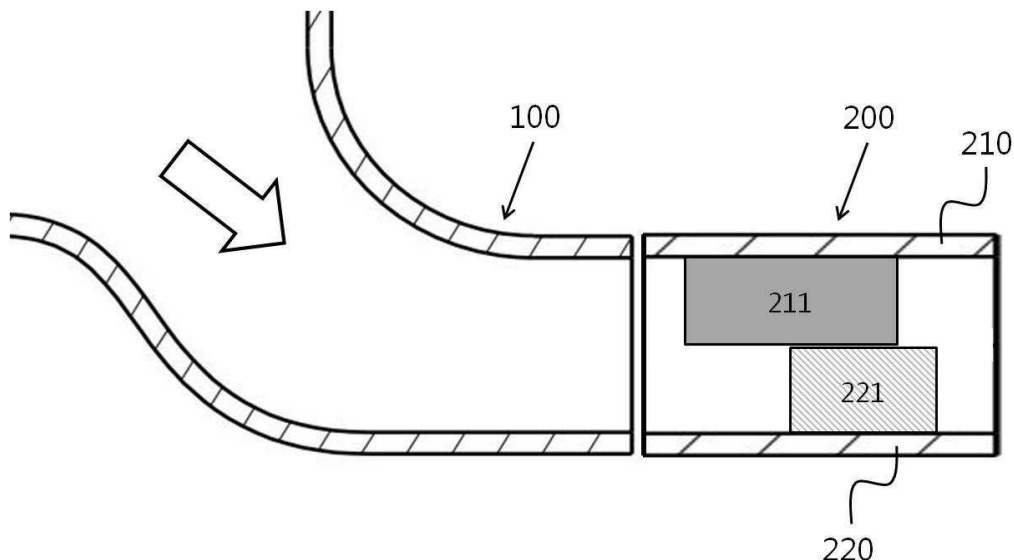
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 부분 디퓨저 베인을 포함하는 원심펌프

(57) 요약

원주 방향으로 형성된 다수개의 블레이드를 가진 임펠러; 및 상기 임펠러로부터 가스 출구 방향으로 연장 형성된 복수 개의 디퓨저를 포함하고, 적어도 1개 이상의 디퓨저는 슈라우드 측에 위치하는 베인을 포함하고, 적어도 1개 이상의 디퓨저는 허브 측에 위치하는 베인을 포함하는 원심펌프가 개시된다. 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프는 부분 디퓨저 베인을 포함하여 설계유량 부근에서의 높은 효율을 가짐과 동시에 넓은 유량 범위에서 정압을 회복할 수 있다. 특히, 부분 디퓨저 베인을 특정 배열로 포함하는 원심펌프는 압력회복계수의 기울기가 양이 되는 시점을 효과적으로 지연시킬 수 있다.

대표도 - 도3



명세서

청구범위

청구항 1

원주 방향으로 형성된 다수개의 블레이드를 가진 임펠러; 및
상기 임펠러로부터 가스 출구 방향으로 연장 형성된 복수 개의 디퓨저를 포함하고,
적어도 1개 이상의 디퓨저는 슈라우드 측에 위치하는 베인을 포함하고,
적어도 1개 이상의 디퓨저는 허브 측에 위치하는 베인을 포함하는 원심펌프.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 복수 개의 디퓨저는,
슈라우드 측에 위치하는 베인을 포함하는 디퓨저 및 허브 측에 위치하는 베인을 포함하는 디퓨저가 번갈아 위치하는 것을 특징으로 하는 원심펌프.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 슈라우드 측에 위치하는 베인은 25% 내지 75%의 스펠 높이를 가지는 것을 특징으로 하는 원심펌프.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 허브 측에 위치하는 베인은 25% 내지 75%의 스펠 높이를 가지는 것을 특징으로 하는 원심펌프.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 부분 디퓨저 베인을 포함하는 원심펌프에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 원심펌프에서 디퓨저는 임펠러에 의해 얻은 속도에너지를 정압의 형태로 바꿔주는 역할을 담당하며, 종류에 따라 벌류트(volute), 베인 디퓨저(vaned diffuser)와 베인이 없는 디퓨저(vanless diffuser)로 구분할 수 있다. 이 중 베인디퓨저는 압력회복이 높은 장점이 있으나 임펠러와의 상호작용으로 인해 작동범위가 비교적 제한되는 단점이 있다. 반면, 베인이 없는 디퓨저의 경우 압력회복은 낮으나 작동범위가 넓은 장점이 있다.

[0005] 베인 디퓨저가 구비된 원심형 기계의 내부 유동과 성능 특성 연구에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되었으며, 베인이 없는 디퓨저의 경우 성능 특성에 관한 연구보다는 회전 실속(rotating stall)과 같은 내부 유동 특성에 대한 연구가 수행된 바 있다.

[0007] 한편, 베인 디퓨저와 베인이 없는 디퓨저의 장점을 취하고자 이를 결합한 형태인 부분 디퓨저 베인(partial diffuser vane)에 대한 연구가 일부 연구자들에 의해 진행된 바 있다.

[0008] 종래 Zhu 등은 원심펌프에 절반 베인 디퓨저(half vane diffuser)를 적용하여 실험을 진행한 바 있으며 (International Communications in Heat and Mass Transfer 79 (2016) 114-127), 상기 문헌에는 익렬 형태의 베인 디퓨저에 대해 베인의 높이가 성능에 미치는 영향에 대해 분석된 내용이 개시되어 있다. 그러나, 선행 연구들은 대부분 실험을 통해 성능 특성만을 확인하였으므로 내부 유동 특성은 확인할 수 없었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 일 측면에서의 목적은 원심펌프의 수력효율과 내부 유동 특성이 우수한 원심펌프를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 측면에서

[0013] 원주 방향으로 형성된 다수개의 블레이드를 가진 임펠러; 및

[0014] 상기 임펠러로부터 가스 출구 방향으로 연장 형성된 복수 개의 디퓨저를 포함하고,

[0015] 적어도 1개 이상의 디퓨저는 슈라우드 측에 위치하는 베인을 포함하고,

[0016] 적어도 1개 이상의 디퓨저는 허브 측에 위치하는 베인을 포함하는 원심펌프가 제공된다.

발명의 효과

[0018] 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프는 부분 디퓨저 베인을 포함하여 설계유량 부근에서의 높은 효율을 가짐과 동시에 넓은 유량 범위에서 정압을 회복할 수 있다. 특히, 부분 디퓨저 베인을 특정 배열로 포함하는 원심펌프는 압력회복계수의 기울기가 양이 되는 시점을 효과적으로 지연시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프의 일례를 나타낸 모식도이고;

도 2는 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프에서 하나의 임펠러 및 두개의 디퓨저를 포함하는 일부분을 나타낸 모식도이고;

도 3은 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프에서 임펠러 및 디퓨저의 단면을 나타낸 모식도이고;

도 4는 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프에서 하나의 임펠러 및 두개의 디퓨저를 포함하는 일부분과 내부에 위치하는 베인을 나타낸 모식도이고;

도 5는 실시예 및 비교예로 적용된 원심펌프 모델의 삼차원 형상을 나타낸 모식도이고;

도 6 (a)는 본 발명의 수치해석에 사용된 계산 영역과 경계조건을 나타낸 것이고; 도 6 (b)는 본 발명의 수치해석에 사용한 격자계의 예를 나타낸 것이고;

도 7은 디퓨저 출구에서의 피치(pitch) 방향 평균 전압 분포를 나타낸 것이고;

도 8은 실시예 1 및 비교예 1 내지 3에 대한 양정계수와 효율의 곡선들을 비교한 것이고;

도 9는 실시예 1 및 비교예 1 내지 3에 대한 디퓨저 압력회복계수(CP) 곡선을 비교한 것이고;
 도 10은 비교예 1에 대해 50% 스펠에서의 유량에 따른 디퓨저 압력회복계수 분포를 나타낸 것이고;
 도 11은 비교예 1에 대해 50% 스펠에서의 유량에 따른 속도 벡터 분포를 나타낸 것이고;
 도 12는 실시예 1 및 비교예 1 내지 3의 디퓨저의 반경방향 위치에 따른 압력회복계수 분포를 나타낸 것이고;
 도 13은 $r/r_2=1.06$, 1.23과 1.40에서의 피치방향 평균 유동각 분포를 나타낸 것이고;
 도 14는 $\phi/\phi_d=0.6$ 일 때 반경방향 위치에 따른 각 단면에서의 속도 분포를 나타낸 것이고;
 도 15는 $\phi/\phi_d=1.8$ 일 때 디퓨저 영역에서 압력회복계수가 -1인 3차원 등위면(iso-surface) 분포를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 본 발명의 일 측면에서
- [0022] 원주 방향으로 형성된 다수개의 블레이드를 가진 임펠러(100); 및
- [0023] 상기 임펠러(100)로부터 가스 출구 방향으로 연장 형성된 복수 개의 디퓨저(200)를 포함하고,
- [0024] 적어도 1개 이상의 디퓨저(200)는 슈라우드(210) 측에 위치하는 베인(211)을 포함하고,
- [0025] 적어도 1개 이상의 디퓨저(200)는 허브(220) 측에 위치하는 베인(221)을 포함하는 원심펌프(1000)를 제공한다.
- [0027] 이때, 도 1 내지 도 4에 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(1000)의 일례를 나타내었으며,
- [0028] 이하, 도 1 내지 도 4를 참조하여 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(1000)에 대하여 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1 및 도 2에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(1000)는 임펠러(100) 및 복수 개의 디퓨저(200)를 포함한다. 또한, 임펠러와 연결된 인입관(300)을 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 임펠러(100)는 원주 방향으로 형성된 다수개의 블레이드를 가지며, 회전 가능하도록 위치할 수 있다. 상기 임펠러의 형태는 제한되지 않으며, 일반적으로 원심펌프, 원심압축기 등에 적용되는 임펠러일 수 있다.
- [0032] 상기 디퓨저(200)는 임펠러(100)로부터 가스 출구 방향으로 연장 형성된 것으로, 인입관(300)으로부터 인입되는 유체(예로, 가스)의 운동에너지를 정압으로 변환시킬 수 있다.
- [0033] 종래 원심펌프의 임펠러 후단에 위치한 디퓨저는 임펠러에 의해 얻은 속도에너지를 정압의 형태로 바꿔주는 역할을 담당한다. 이중 베인 디퓨저(vaned diffuser)는 압력회복은 높은 장점이 있으나 임펠러와의 상호작용으로 인해 작동범위가 비교적 제한적인 단점이 있는 반면, 베인이 없는 디퓨저(vanless diffuser)의 경우 작동범위가 넓은 장점이 있으나 압력회복은 낮은 단점이 있다.
- [0034] 이에, 본 발명에서는 부분 디퓨저 베인(partial diffuser vane)이 적용된 원심펌프를 제공한다.
- [0036] 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(100)에서 적어도 1개 이상의 디퓨저(200)는 슈라우드(210) 측에 위치하는 베인(211)을 포함하고, 적어도 1개 이상의 디퓨저(200)는 허브(220) 측에 위치하는 베인(221)을 포함한다.
- [0037] 종래 디퓨저 내의 베인들은 공지되어 있다. 일반적으로, 슈라우드 벽과 허브 벽 사이에 완전히 연장된 베인들이 이용되어 왔다. 또한, 디퓨저의 벽들 사이에 완전히 연장되지는 않은 리브형 베인 또한 알려져 있다.
- [0038] 이때, 도 3 및 도 4에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(100)는 베인(211, 221)을 포함하고, 상기 베인 중 적어도 1개 이상은 슈라우드(210) 측에 위치한다. 이와 동시에, 상기 베인 중 적어도 1개 이상은 허브(220) 측에 위치한다.
- [0039] 상기 슈라우드(210) 측에 위치하는 베인(211)은 25% 내지 75%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하고, 30% 내지

70%의 스펠 높이를 가지는 것이 더욱 바람직하고, 40% 내지 60%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하며, 45% 내지 55%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하다. 상기 베인(211)은 슈라우드 벽에 형성되며 그 높이가 슈라우드 및 허브 사이 공간의 30% 내지 70% 크기일 수 있으며, 40% 내지 60% 크기일 수 있고, 45% 내지 55% 크기일 수 있다.

[0040] 또한, 상기 허브(220) 측에 위치하는 베인(221)은 25% 내지 75%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하고, 30% 내지 70%의 스펠 높이를 가지는 것이 더욱 바람직하고, 40% 내지 60%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하며, 45% 내지 55%의 스펠 높이를 가지는 것이 바람직하다. 상기 베인(221)은 허브 벽에 형성되며 그 높이가 슈라우드 및 허브 사이 공간의 30% 내지 70% 크기일 수 있으며, 40% 내지 60% 크기일 수 있고, 45% 내지 55% 크기일 수 있다.

[0041] 나아가, 상기 복수 개의 디퓨저(200)는 슈라우드(210) 측에 위치하는 베인(211)을 포함하는 디퓨저 및 허브(220) 측에 위치하는 베인(221)을 포함하는 디퓨저가 번갈아 위치할 수 있다. 도 4를 참조하면, 하나의 디퓨저가 슈라우드 벽에 형성된 베인을 포함하는 경우, 이와 인접하게 위치한 디퓨저는 허브 벽에 형성된 베인을 포함한다.

[0042] 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프(1000)는 전술한 바와 같이 부분 디퓨저 베인을 포함하여 설계유량 부근에서의 높은 효율을 가짐과 동시에 넓은 유량 범위에서 정압을 회복할 수 있다. 특히, 부분 디퓨저 베인을 특정 배열로 포함하는 원심펌프는 압력회복계수의 기울기가 양이 되는 시점을 효과적으로 지연시킬 수 있다.

[0044] 이하 본 발명을 실시예, 비교예, 및 실험예를 통하여 상세히 설명한다. 이하의 내용은 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고자 하는 것이고, 그 효과를 설명하기 위한 것일 뿐, 이하의 기재 내용에 의하여 본 발명의 범위가 한정 해석되는 것은 아니다.

[0046] <실시예 1 및 비교예 1 내지 3>

[0047] 도 5에 실시예 및 비교예로 적용된 원심펌프 모델의 삼차원 형상을 나타내었으며, 임펠러와 디퓨저의 세부 형상 정보는 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

임펠러		디퓨저	
입구 곡률반경	$R_1=141.13$	입구 곡률반경	$R_3=259.00$
출구 곡률반경	$R_2=258.60$	출구 곡률반경	$R_4=469.35$
출구 폭	38.49	출구 폭	40
출구 블레이드 각도	22.3 deg	출구 블레이드 각도	10.21 deg
블레이드 수	$Z_1=7$	블레이드 수	$Z_2=8$

[0049] 비교예 1(FDV)로 기준 형상인 간극이 없는 유로 형태의 디퓨저 베인을 형성하였고, 비교예 2(PHDV)로 허브에 설치한 50% 스펠 높이의 디퓨저 베인을 형성하였으며, 비교예 3(PTDV)으로 슈라우드에 설치한 50% 스펠 높이의 디퓨저 베인을 형성하였다.

[0050] 실시예 1(PSDV)로 50% 스펠 높이의 베인을 허브와 슈라우드에 번갈아 설치한 형태인 디퓨저 베인을 나타내었다.

[0052] <실험예>

[0053] - 수치해석 방법

[0054] 압축성 정상상태 유동 해석을 위해 상용 유동해석 프로그램인 ANSYS CFX 15.0을 사용하였으며, 임펠러 형상 정의, 격자계 생성, 경계조건 정의, 유동해석 및 결과분석은 각각 Blade-Gen, Turbo-Grid, CFX-Pre, CFX-Solver 및 CFX-Post를 사용하여 수행하였다. 난류모델로는 역압력 구배로 인한 유동 박리 예측에 효과적이며, 터보기계의 유동예측이 정확하다고 알려진 $k-\omega$ SST(shear stress transport) 모델을 사용하였다.

- [0055] 도 6 (a)는 본 발명의 수치해석에 사용된 계산 영역과 경계조건을 나타낸다. 계산 영역은 입구 배관, 임펠러와 디퓨저로 구성하였으며, 주기조건을 이용하여 단일 또는 복수 유로의 임펠러와 디퓨저 영역을 포함하였다. 임펠러의 회전속도는 1710 rpm이며, 작동유체로는 20℃ 물과의 상사성을 고려하여 동점성 계수 $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 를 가지는 20℃의 공기를 사용하였다. 입구와 출구 경계조건으로는 각각 전압력과 질량유량을 부여하였다. 벽 조건은 점착조건을 사용하였으며, 정익-동익 경계면 처리방법으로는 동익 출구 유동을 원주 방향으로 평균하여 물성을 전달하는 방식인 stage 방식을 적용하였다.
- [0056] 도 6 (b)는 본 발명의 수치해석에 사용한 격자계의 예를 나타낸 것이다. 입구배관, 임펠러와 디퓨저 영역에 대해 육면체 격자로 구성하였으며, 고체 경계면 근처 첫 격자점의 y^+ 를 1.2 이하로 유지하여 저 레이놀즈수(low-Reynolds number) SST 난류모델이 적용되도록 하였다. 격자의 수가 수치 해에 영향을 미치지 않는 격자계의 확보를 위해 격자의존성 테스트를 수행하였다.
- [0057] 도 7은 디퓨저 출구에서의 피치(pitch) 방향 평균 전압 분포를 나타낸 것으로, 77, 142 그리고 230만개의 격자계를 사용하여 얻은 결과에 대해 비교하였다. 도 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 142만개와 230만 개의 격자계의 해석 결과는 비교적 큰 차이가 없기 때문에 해석 시간의 경제성의 확보를 위해 142만개의 격자계를 추후 해석에 일괄 적용할 격자계로 선정하였다.
- [0058] 연속 방정식과 운동량 방정식의 잔차(residual)가 10^{-4} 이하이며, 해석 반복횟수 100번 당 성능함수의 변화 0.3% 이하가 되는 것을 수치해의 수렴 조건으로 사용하였다. Intel i7 2.67 GHz CPU가 장착된 PC를 사용하여 병렬계산을 수행한 결과 평균적으로 비교예 1(FDV)의 경우에는 3시간 30분, 비교예 2(PHDV)와 비교예 3(PTDV)은 8시간 그리고 실시예 1(PSDV)은 14시간 20분 가량 소요되었다.
- [0060] - 성능 함수
- [0061] 부분 디퓨저 베인의 배열에 따른 수력성능의 정량적인 평가를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 유량계수(Φ), 양정계수(Ψ), 효율(η) 그리고 디퓨저 압력회복계수($C_{p,d}$)를 다음과 같이 정의하였다.
- [0062] <수학식 1>
- $$\Phi = \frac{Q}{u_2 A} = \frac{Q}{2\pi\omega r_2^2 b_2}$$
- [0063]
- [0064] <수학식 2>
- $$\Psi = \frac{gH}{0.5\omega^2 r_2^2}$$
- [0065]
- [0066] <수학식 3>
- $$\eta = \frac{(p_4^T - p_1^T)Q}{T\omega}$$
- [0067]
- [0068] <수학식 4>
- $$C_p = \frac{p_4^T - p_3^T}{p_4^T - p_3^T}$$
- [0069]
- [0070] (상기 수학식 1 내지 4에서 p , p^T , Q , T , ω 는 각각 압력, 전압력, 유량, 토크, 각속도를 나타내며, r_2 , b_2 는 각각 임펠러 출구 반지름, 임펠러 출구 폭을 나타낸다. 하첨자 1, 2, 3, 4는 임펠러 입구, 임펠러 출구, 디퓨저 입구, 디퓨저 출구를 각각 나타낸다.)
- [0071] 디퓨저의 유효 작동 범위를 정의하기 위한 성능변수로, 압력회복계수가 최대인 지점에서의 유량과 설계 유량의 비($\Phi_{cp,max}/\Phi_d$) 및 압력회복계수가 0과 최대가 되는 지점에서의 유량의 차와 설계 유량의 비(Φ_{op}/Φ_d) ($\Phi_{cp,0}$

$\Phi_{cp,max})/\Phi_d$)를 정의하였다.

[0073] - 결과 분석

[0074] 도 8은 실시예 1 및 비교예 1 내지 3에 대한 양정계수와 효율의 곡선들을 비교한 것으로, 비교예 1(FDV)의 경우 $\Phi/\Phi_d=0.7$ 부근에서 최고 효율을 나타내며, 최고 효율점을 전후로 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 비교예 2(PHDV), 비교예 3(PTDV) 및 실시예 1(PSDV)의 경우 $\Phi/\Phi_d=1.0$ 부근에서 최고 효율을 나타내며, $0.6<\Phi/\Phi_d<1.4$ 의 넓은 범위에서 완만한 기울기와 함께 높은 효율을 가짐을 확인할 수 있다. 양정계수의 경우 비교예 1(FDV)은 $\Phi/\Phi_d<0.7$ 에서 큰 값을 보이며 이후 급격한 기울기로 감소하는 것을 확인할 수 있고, 비교예 2(PHDV), 비교예 3(PTDV) 및 실시예 1(PSDV)은 $\Phi/\Phi_d>0.7$ 에서 비교예 1보다 큰 값을 보이며 유량이 증가함에 따라 완만한 기울기로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0075] 도 9는 실시예 1 및 비교예 1 내지 3에 대한 디퓨저 압력회복계수(C_p) 곡선을 비교한 것으로, 비교예 1(FDV)의 경우 $\Phi/\Phi_d=0.6$ 에서 0.68의 높은 값을 보이거나, 유량이 증가함에 따라 급격하게 감소하여 $\Phi/\Phi_d=0.95$ 부근에서 압력회복계수 값이 0을 나타냄으로써 더 이상 정압을 회복할 수 없는 상태에 이른다. 반면, 비교예 2(PHDV), 비교예 3(PTDV) 및 실시예 1(PSDV)의 경우 압력회복계수의 최대값은 0.56 정도로 비교예 1(FDV)에 비해 낮은 값을 가지나, $\Phi/\Phi_d=1.8$ 에 이르기까지 양의 디퓨저 압력회복계수 값을 가짐으로써 넓은 유량 범위에서 정압을 회복할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0076] 하기 표 2는 각 형상에 대한 주요 성능함수(η_d , $C_{p,d}$, $\Phi_{cp,max}/\Phi_d$, Φ_{op}/Φ_d) 값을 정리한 것이다. 설계유량에서의 효율(η_d)의 경우 부분 디퓨저인 비교예 2(PHDV), 비교예 3(PTDV) 및 실시예 1(PSDV)이 비교예 1(FDV)에 비해 0.12 이상 높은 값을 가지는 것을 확인할 수 있고, 세가지 배열의 값의 크기는 큰 차이가 없었다. 설계유량에서의 압력회복계수($C_{p,d}$)는 비교예 1의 경우 -0.3222를 나타냄으로써 설계유량에서 큰 정압 손실이 발생하는 것을 알 수 있는 반면, 부분 디퓨저의 경우 양의 값을 가지며 이 중 실시예 1(PSDV)의 경우 0.5620으로 월등히 높은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.

표 2

[0077]

	비교예 1(FDV)	비교예 2(PHDV)	비교예 3(PTDV)	실시예 1(PSDV)
η_d	0.7802	0.9039	0.9038	0.9040
$C_{p,d}$	-0.32222	0.5544	0.5485	0.5620
$\Phi_{cp,max}/\Phi_d$	0.6000	1.0500	1.1500	0.9500
Φ_{op}/Φ_d	0.3250	0.7500	0.8500	0.8500

[0078] 한편, 비교예 1(FDV)의 $\Phi_{cp,max}/\Phi_d$ 와 Φ_{op}/Φ_d 값은 각각 0.6000과 0.3250인데, 이는 압력회복계수의 기울기가 양이 되기 시작하는 지점이 0.6000으로 평가된 형상들 중 가장 작은 유량에서 압력회복계수의 기울기가 양으로 변하나, 압력회복계수가 양인 영역이 0.3250으로 타 형상들에 비해 매우 작아 평가된 형상들에 비해 상대적으로 좁은 작동 범위를 가진다. 반면, 실시예 1(PSDV)의 경우 비교예 2(PHDV)와 비교예 3(PTDV)에 비해 설계유량에서 가장 높은 효율(0.9040)을 가지며, 0.9500의 낮은 $\Phi_{cp,max}/\Phi_d$ 값을 가짐으로써 저 유량 영역에서의 작동 안정성을 보이고 동시에 0.8500의 큰 Φ_{op}/Φ_d 값을 가져 상대적으로 넓은 작동 영역을 갖는다. 따라서 본 발명에 따른 실시예 1(PSDV)의 원심펌프가 수력성능이나 작동영역 확보에 있어 타 배열에 비해 가장 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다.

[0079] 도 10은 비교예 1(FDV)에 대해 50% 스팬에서의 유량에 따른 디퓨저 압력회복계수 분포를 나타낸 것으로, $\Phi/\Phi_d=0.6$ 의 경우 입구부를 제외한 영역에서 높은 압력회복계수 분포를 보이거나, $\Phi/\Phi_d=0.8$ 에서는 디퓨저 유로 내부에서 낮은 압력회복 계수를 보인다. 결국, $\Phi/\Phi_d=1.0$ 에 이르러서는 입구부를 제외한 나머지 영역에서 낮은 압력

회복을 나타내며, 특히 디퓨저 유로 초입부에서 낮은 압력회복계수 값을 보인다.

[0080] 도 11은 비교예 1(FDV)에 대해 50% 스팬에서의 유량에 따른 속도 벡터 분포를 나타낸 것으로, $\phi/\phi_d=0.6$ 의 경우 디퓨저 배인 후연부에서 역류가 발생하기 시작하며, 유량이 증가함에 따라 디퓨저 흡입면 부근에서 역류 영역이 발달하는 것을 확인할 수 있다. 이는 디퓨저 내부 유로의 유효 면적 축소를 야기한다. 따라서 $\phi/\phi_d=1.0$ 에서 확인할 수 있는 바와 같이 축소된 유로에서의 높은 유동 속도로 인해 압력을 충분히 회복시킬 수 없는 상태에 이른다(도 10 참조).

[0081] 도 12는 실시예 1 및 비교예 1 내지 3의 디퓨저의 반경방향 위치에 따른 압력회복계수 분포를 나타낸 것이다. $\phi/\phi_d=0.6$ 의 경우(도 12 (a)), 공통적으로 반경방향 거리가 증가함에 따라 압력회복계수도 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 비교예 1(FDV)의 경우 타 경우에 비해 $1.05 < r/r_2 < 1.3$ 의 영역에서 압력회복의 상승 폭이 증가하여 이후 타 경우에 비해 높은 값을 유지하며 증가하는 것을 확인할 수 있다. 부분 디퓨저(PHDV, PTDV, PSDV)의 경우 실시예 1(PSDV)이 전 구간에서 타 부분 디퓨저들에 비해 상대적으로 높은 압력회복계수를 가지는 것을 확인할 수 있다. 도 12 (b)($\phi/\phi_d=1.0$)에서는 비교예 1(FDV)과 부분 디퓨저의 압력회복계수 분포의 차이가 확연한 것을 확인할 수 있는데, 비교예 1(FDV)의 경우 $r/r_2=1.05$ 부근에서 1.3까지 급격하게 감소하고 이후 점차 증가하나 부분 디퓨저에 비해 상당히 낮은 압력회복계수 값을 가진다. 부분 디퓨저들의 경우 반경방향 위치에 따른 압력회복계수의 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 도 12 (c)는 $\phi/\phi_d=1.8$ 에서의 비교예 2(PHDV), 비교예 3(PTDV), 실시예 1(PSDV)의 분포를 나타낸 것으로, 공통적으로 $r/r_2=1.25$ 부근에서 가장 작은 압력회복계수 값을 보이며 그 이후 점차 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 비교예 3(PTDV)의 경우 타 경우에 비해 감소폭이 상대적으로 작아 이후 구간에서도 상대적으로 높은 압력회복계수 값을 가진다.

[0082] 도 13은 $r/r_2=1.06$, 1.23과 1.40에서의 피치방향 평균 유동각 분포를 나타낸 것이다. 도 13 (a)($\phi/\phi_d=0.6$)에서 비교예 2(PHDV)의 경우 r/r_2 값이 증가함에 따라 허브 부근에서의 유동각은 증가하나 쉬라우드 부근에서의 유동각은 음의 값을 유지하며, 반대로 비교예 3(PTDV)의 경우에는 쉬라우드 부근에서의 유동 각은 증가하나 허브 부근에서의 유동각은 음의 값을 유지한다. 이 때 음의 유동각은 유동의 역류가 발생함을 의미하며, 도 11에서 확인한 바와 같이 역류가 발생할 경우 디퓨저 내부 유로의 유효 면적이 감소하게 된다. 한편, 실시예 1(PSDV)은 입구부($r/r_2=1.06$)에서는 쉬라우드 부근에서 음의 유동 각을 가지나, $r/r_2=1.23$ 에서 양의 값으로 바뀌며 최종적으로 스팬에 따라 일정한 유동각 분포를 나타낸다. $\phi/\phi_d=1.8$ 일 때 r/r_2 의 변화에 따른 유동각 분포는 도 13 (c)와 같다. 비교예 2(PHDV)의 경우 입구부($r/r_2=1.06$)에서의 유동 각에 비해 유로 내부($r/r_2=1.23$, 1.40)에서의 유동각은 전 스팬 영역에 걸쳐 변화가 심했으며, 특히 30% 스팬 부근에서는 40° 이상 감소한 것을 확인할 수 있다. 반면, 비교예 3(PTDV)의 경우 입구부 유동각과 비교하였을 때 유로 내부에서의 유동각은 유사한 분포를 보이며, 실시예 1(PSDV)의 경우 타 경우에 비해 쉬라우드 부근에서의 유동각의 변화가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다.

[0083] 도 14는 $\phi/\phi_d=0.6$ 일 때 반경방향 위치에 따른 각 단면에서의 속도 분포를 나타낸다. 비교예 2(PHDV)는 허브 부근에서 높은 속도를 나타내고, 비교예 3(PTDV)은 쉬라우드 부근에서 높은 속도 분포를 나타내는 반면, 실시예 1(PSDV)은 앞의 두 경우에 비해 낮은 속도 분포를 보인다. 이는 도 13 (a)에서 설명하였던 바와 같이 디퓨저 배인이 없는 영역(비교예 2(PHDV)의 경우 쉬라우드 부근, 비교예 3(PTDV)의 경우 허브 부근)에서의 역류의 발달로 인해 유효면적이 감소하여 배인 부근의 유로에서 높은 유동 속도를 가짐으로써 압력이 충분히 회복되지 못하는 것을 의미하며, 따라서 실시예 1(PSDV)의 $\phi/\phi_d=0.6$ 에서의 디퓨저 압력회복계수 값이 다른 두 경우에 비해 상대적으로 큰 것으로 판단된다(도 12 (a) 참조).

[0084] 도 15는 $\phi/\phi_d=1.8$ 일 때 디퓨저 영역에서 압력회복계수가 -1인 3차원 등위면(iso-surface) 분포를 나타낸 것이다. 공통적으로 디퓨저 전연부로부터 시작된 낮은 압력분포가 디퓨저 흡입면, 상단부 그리고 유로 중간부까지 확장되어 있는 것을 확인할 수 있다. 등위면 분포의 상대적인 크기를 비교하였을 때 비교예 3(PTDV)의 경우 다른 두 경우에 비해 상대적으로 그 크기가 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 디퓨저 입구부 유동각과 디퓨저의 위치 그리고 입사각에 따른 유동의 변화 때문으로 유추할 수 있다(도 13 (c) 참조). 비교예 3(PTDV)의 경우 입구 부에서의 유동각 분포와 유동의 흐름에 따른 각도의 변화가 크지 않다. 반면, 비교예 2(PHDV)의 경우 입구 유동각에 비해 유동이 흐름에 따라 급격한 각도의 변화를 확인할 수 있는데, 이는 입구부 유동각에 비해 상대적으로

작은 허브의 디퓨저 각도로 인해 급격한 유동 변화를 야기하여 큰 유동 박리가 발생하였기 때문이고, 결국 도 12 (c)에서 확인할 수 있는 바와 같이 국부적인 압력회복 저하로 인해 낮은 디퓨저 압력회복계수 값을 가지는 것으로 확인된다.

[0086] 이와 같이, 본 발명의 일 측면에서 제공되는 원심펌프는 부분 디퓨저 베인을 포함하여 설계유량 부근에서의 높은 효율을 가짐과 동시에 넓은 유량 범위에서 정압을 회복할 수 있다. 특히, 부분 디퓨저 베인을 특정 배열로 포함하는 원심펌프는 압력회복계수의 기울기가 양이 되는 시점을 효과적으로 지연시킬 수 있다.

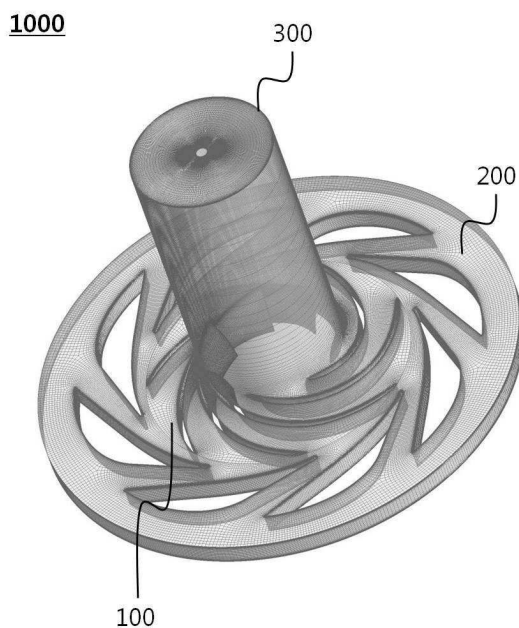
[0088] 상기에서 본 발명을 예시적으로 기술하였으며, 사용된 용어는 한정적이기보다는 설명을 위한 단어들이므로 의도하고자 함을 이해할 것이다. 상기의 교시내용을 고려하여 본 발명을 다양하게 변형 및 변경하는 것이 가능하다. 그러므로, 첨부된 청구항들의 범주 내에서, 기술 내용 내에서 구체적으로 열거한 것 외에 본 발명을 실시할 수 있음을 이해해야 한다.

부호의 설명

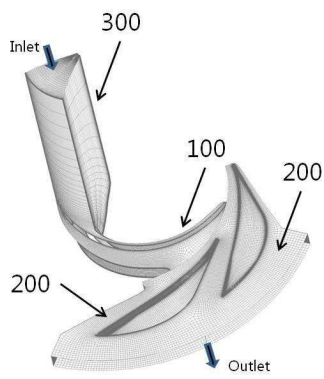
[0089] 1000 : 원심펌프
100: 임펠러
200: 디퓨저
210: 슈라우드
211: 베인(슈라우드 측)
220 : 허브
221: 베인(허브 측)
300: 인입관

도면

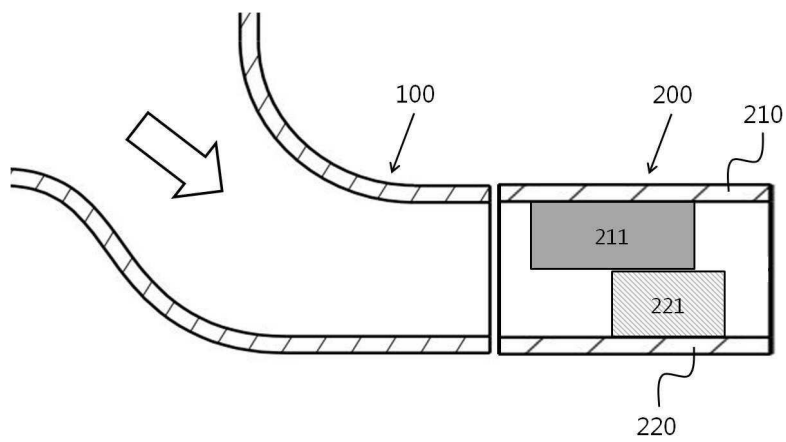
도면1



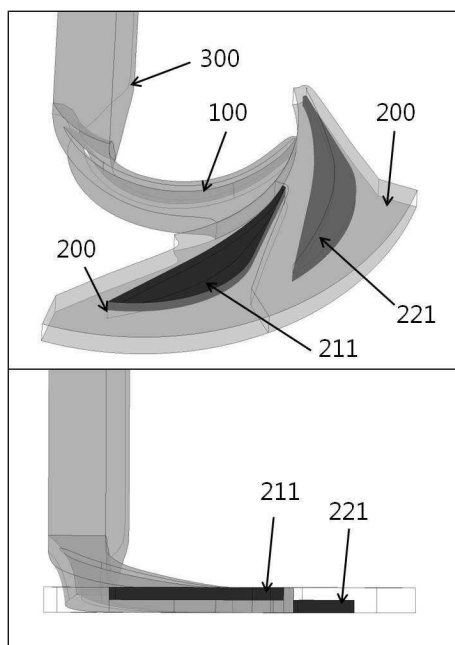
도면2



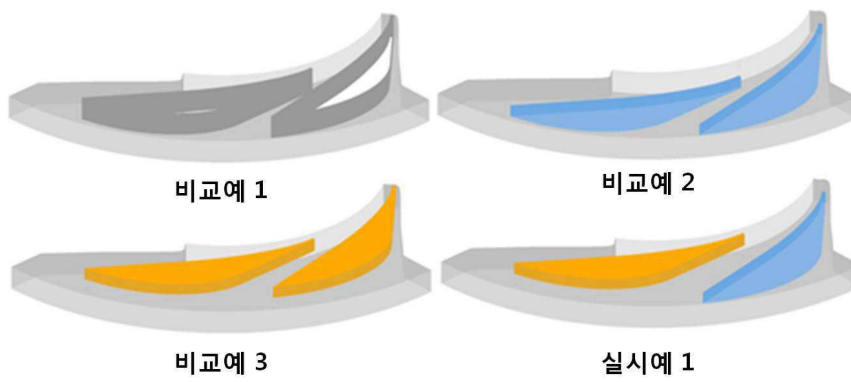
도면3



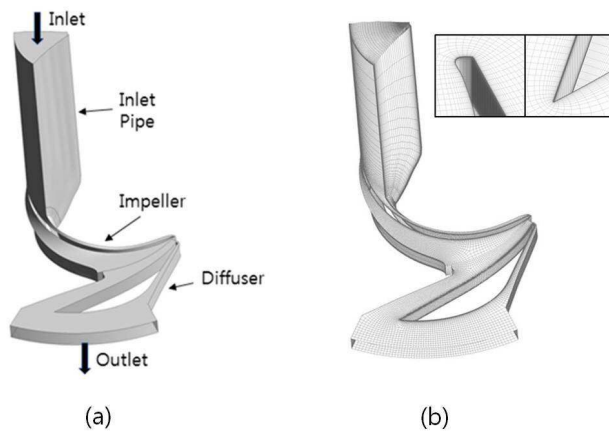
도면4



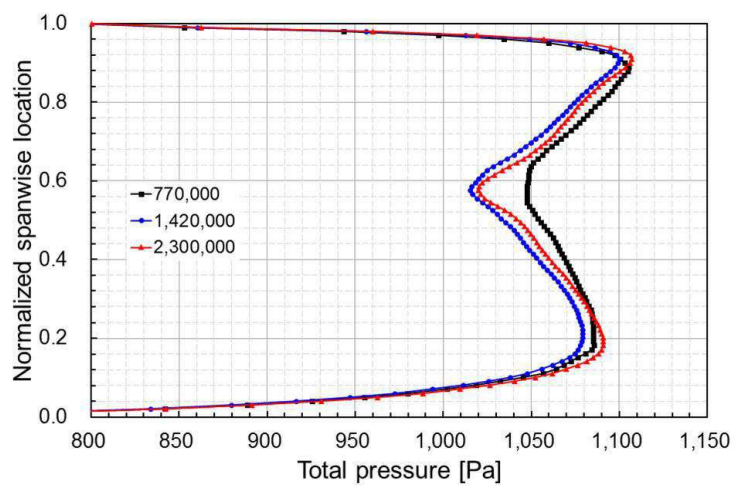
도면5



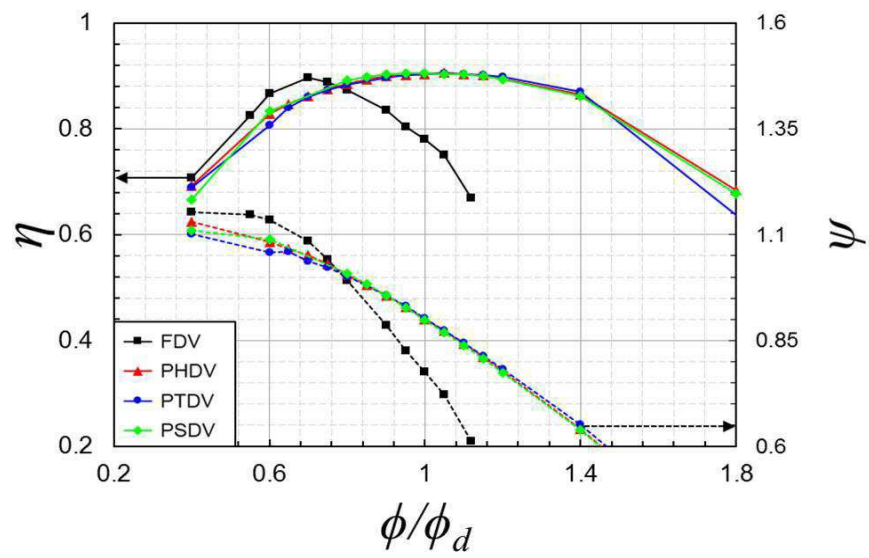
도면6



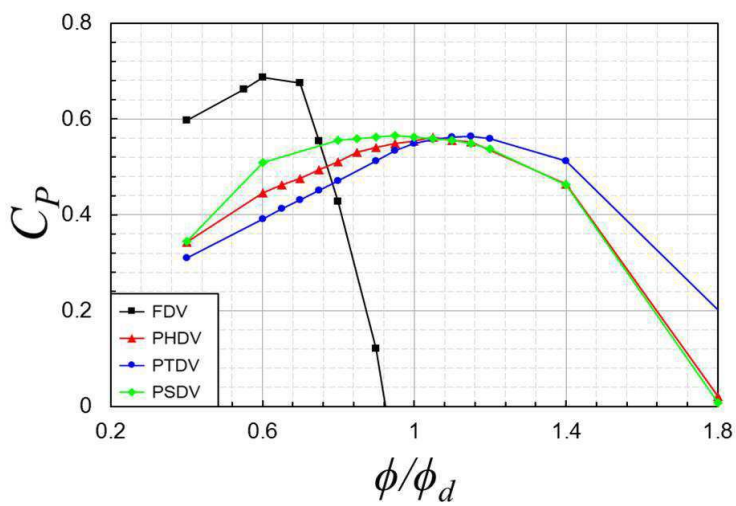
도면7



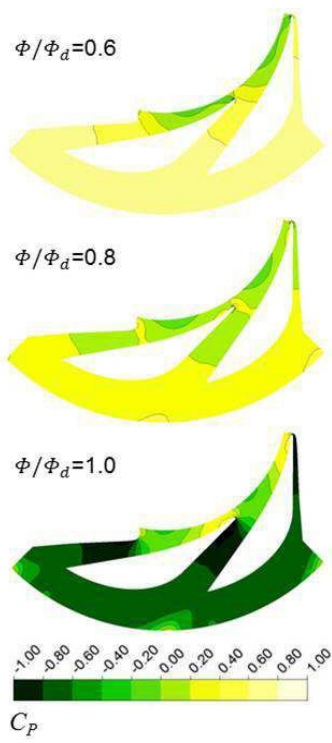
도면8



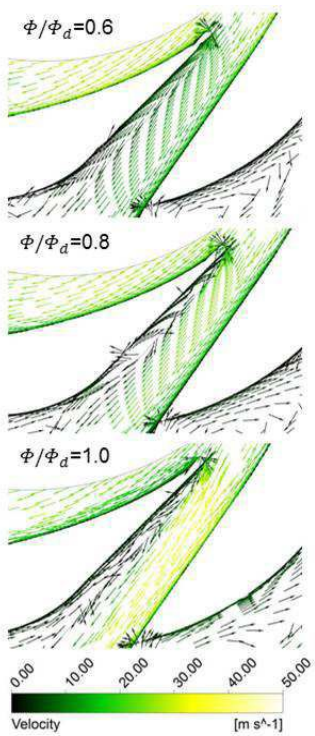
도면9



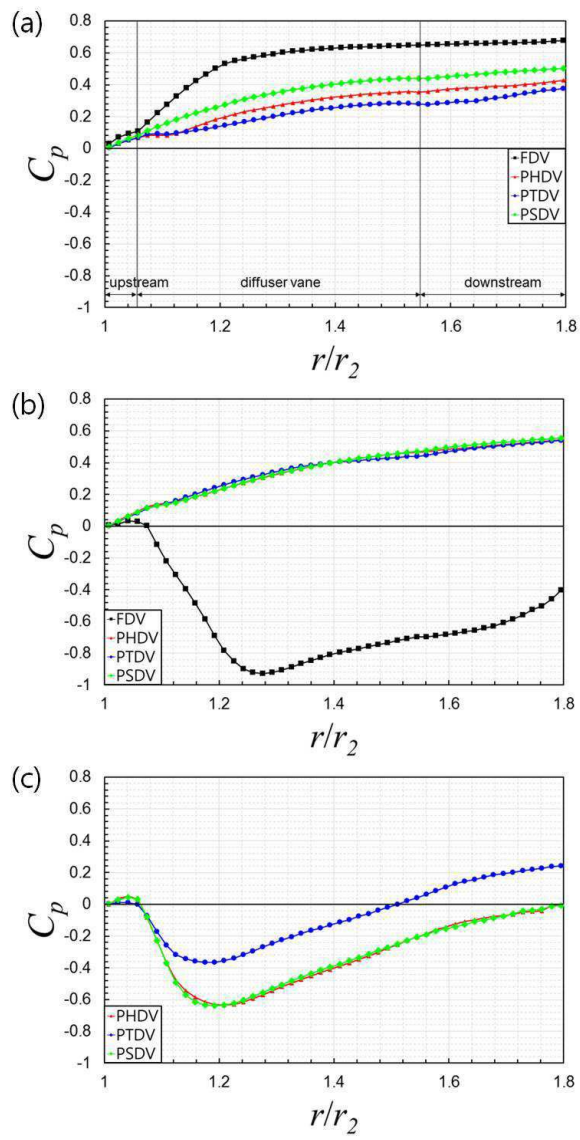
도면10



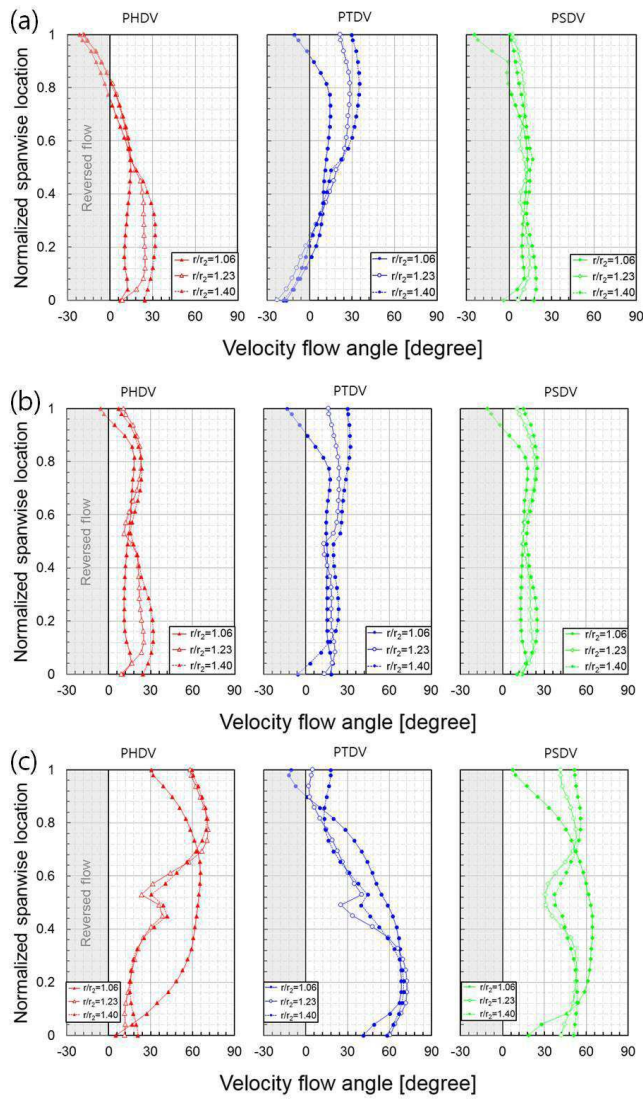
도면11



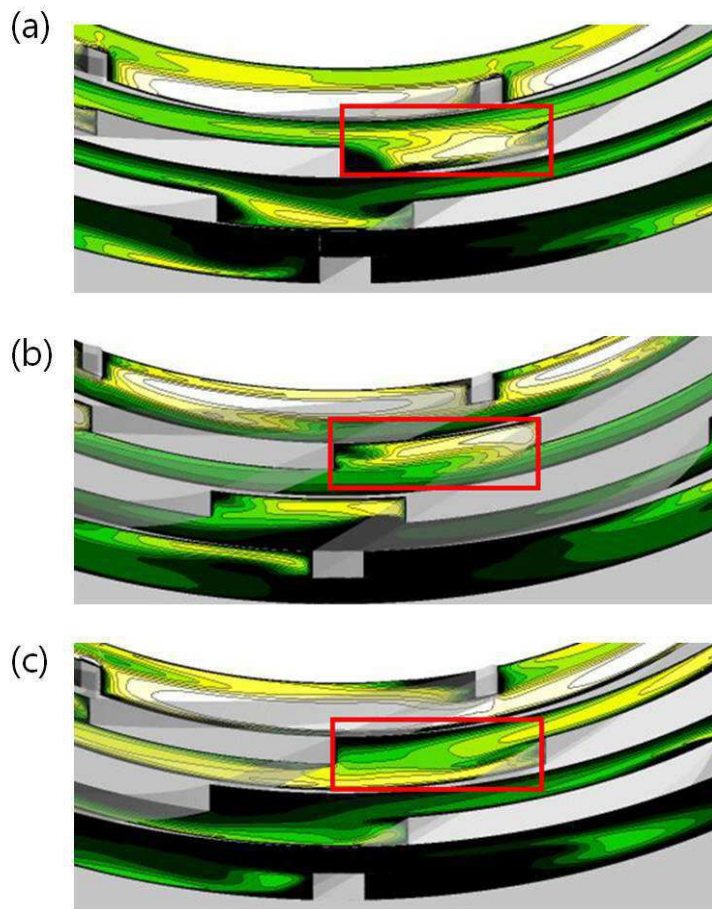
도면12



도면13



도면14



도면15

