

**(19) 대한민국특허청(KR)**
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0109607

(43) 공개일자 2022년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F04D 29/30 (2006.01) F04D 17/10 (2006.01)

F04D 29/28 (2006.01) F04D 29/42 (2006.01)

F04D 29/44 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F04D 29/30 (2013.01)

F04D 17/10 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0012828

(22) 출원일자 2021년01월29일

심사청구일자 2021년01월29일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

김광용

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

노민수

인천광역시 미추홀구 용정공원로 33 (용현동) sk 스카이뷰 125동 2801호

마상범

인천광역시 연수구 신송로82번길 6 (송도동, 송도풍림아이원4단지아파트) 408동 703호

(74) 대리인

이원희

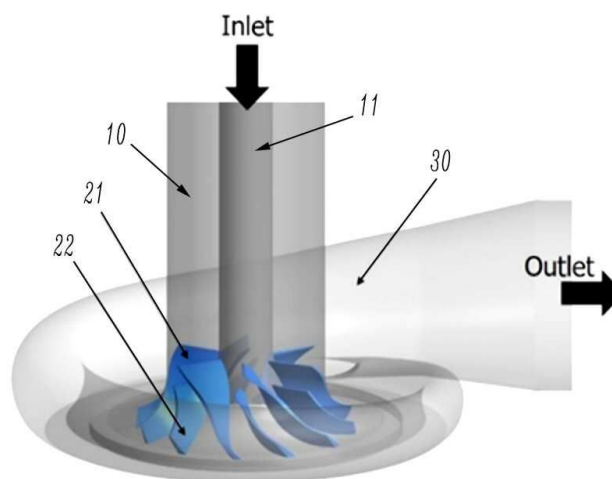
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기에 관한 발명으로, 구체적으로 원통형의 샤프트; 상기 샤프트를 내부에 수용하며, 유체가 유입되는 유체 덕트; 상기 유체 덕트 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러;를 포함하는 원심 압축기에 있어서, 상기 유체 덕트 외주면에 유체 재순환을 위한, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티가 구비되는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 제공한다.

본 발명에 따른 원심 압축기는 유체 덕트를 통해 임펠러로 흐르는 주유동의 사전 소용돌이 각도와 유사하게 정렬된 형태를 갖는 나선형 캐비티를 포함하며, 나선형 캐비티를 통해 효과적으로 재순환되는 유동이 주유동의 흐름을 활성화시킴으로써, 임펠러로 유입되는 유동 각도를 조절할 수 있는 효과가 있다. 이에 따라, 원심 압축기의 공력 성능을 개선하고 작업 안정성을 더욱 향상시킬 수 있는 우수한 효과가 있다.

대표도 - 도1

(52) CPC특허분류

F04D 29/284 (2013.01)

F04D 29/4206 (2013.01)

F04D 29/441 (2013.01)

F05D 2210/12 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

원통형의 샤프트;

상기 샤프트를 내부에 수용하며, 유체가 유입되는 유체 덕트;

상기 유체 덕트 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러;를 포함하는 원심 압축기에 있어서,

상기 유체 덕트 외주면에 유체 재순환을 위한, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티가 구비되는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 나선형 캐비티는

상기 유체 덕트와 유체적으로 연통되는 하부 연통구; 상부 연통구; 및 하부 연통구와 상부 연통구를 연결하는 유체 재순환부;를 포함하며,

상기 하부 연통구와 상부 연통구는 각각 유체 덕트의 상부 방향으로 나선형으로 형성된 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 캐비티는 상기 임펠러의 직경 대비 상기 하부 연통구의 폭의 비가 0.007 내지 0.010인 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 캐비티의 시작단은 누설 유동이 최대인 유체 덕트의 원주 방향 위치로부터 $\pm 7^\circ$ 이내에 위치하는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 캐비티는 유체 덕트 하부에서 상부로, 상기 임펠러의 회전 방향과 같은 방향으로 나선형으로 형성되는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 캐비티는 유체 덕트 하부에서 상부로, 상기 임펠러의 회전 방향과 같은 방향으로 나선형으로 형성되는 것

인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 임펠러는 메인 블레이드 및 스플리터 블레이드를 포함하는, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 원심 압축기는 상기 임펠러 하단부에 디퓨저를 더 포함하는, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 디퓨저는 베인 없는 디퓨저인 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기.

청구항 10

원통형의 샤프트를 내부에 수용하는 유체 덕트의 외주면에, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티를 배치하는 단계(단계 1); 및

상기 유체 덕트의 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러를 배치하는 단계(단계 2);를 포함하는 나선형 캐비티를 포함하는 원심 압축기의 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 압축기는 원심 압축기 (Centrifugal flow compressor)와 축류 압축기(Axial flow compressor)로 분류될 수 있으며, 그 중 원심 압축기는 단당 높은 압력비와 소형 경량화가 가능하다는 이점으로 인해 미사일 발사체 엔진과 내연기관 내 터보차저(Turbocharger) 등 군용, 산업용으로도 널리 사용되고 있다.

[0005] 원심 압축기는 원심력을 이용해 유체를 압축시키는데, 종래의 원심 압축기를 도 1을 참조하여 개략적으로 살펴보면, 유체가 유입되는 유체 덕트(fluid duct) (10), 상기 유입된 유체를 고속으로 회전시키는 임펠러(impeller) (20), 상기 임펠러로부터 유체의 운동에너지를 압력에너지로 변환시키는 디퓨저(diffuser), 상기 디퓨저로부터 나오는 유동을 모아주는 볼류트(volute) (30)를 포함하여 구성되어 있다.

[0006] 상기 임펠러가 고속으로 회전하면서 임펠러의 중심(hub) 근처의 유체 덕트로부터 유체를 흡입해 회전에 의해 원심력이 발생해 흡입된 유체를 바깥으로 밀어내면서 속도를 증가시켜 디퓨저 부분으로 이동시킨다. 디퓨저는 유체의 속도에 의한 운동에너지를 압력에너지로 변환시키며, 압축된 유체는 매니폴드를 거쳐 연소실로 보내진다.

- [0008] 설계 조건에서의 압력비와 효율은 주로 원심 압축기의 성능 지표로 사용되었지만, 최근에는 탈설계 조건에서도 안정적인 작동이 가능하도록 작동 범위를 개선하기 위한 더 많은 연구가 진행되고 있다.
- [0009] 스톨(Stall)이나 서지(Surge)에 의해 제한되는 원심 압축기의 작동범위는 원심 압축기의 매우 중요한 성능지표 중 하나이다.
- [0010] 원심 압축기의 블레이드 입구 각도는 설계 유동에서 유동의 입사각과 유사하도록 설계되었지만, 탈설계 조건과 같은 저유량에서 블레이드 입구 각도와 유동 입사각의 차이가 발생한다. 이로 인해, 블레이드 선단에서 심한 박리가 발생하여 유동의 유입이 방해 받고, 스톨과 서지가 유발될 수 있다. 이와 같은, 스톨 및 서지 현상에 의해 압력비가 급격하게 떨어지고 효율이 낮아지며 날개에 심한 진동 현상을 발생시키고, 이에 따라 원심 압축기의 작동범위가 제한되게 된다.
- [0012] 이에 따라, 원심 압축기의 작동 안정성을 향상시키기 위해 스톨 현상의 원인을 분석하고 제어하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다.
- [0013] 이를 위해 종래의 경우, 임펠러의 팁 간극(tip clearance)나 입구부 형상 등을 조절하거나 링캐비티(Ring cavity)를 사용하는 방법으로 원심 압축기의 효율을 개선하고 작동범위를 향상시키는 방법이 개시된 바 있다.
- [0015] 관련 종래 기술로, Korea Society for Fluid Machinery, Vol.14,(2),pp.11-16에서는 링 형태의 캐비티를 구비하여 스톨 마진을 개선하여 작동범위를 향상시킨 원심 압축기를 개시한 바 있다.
- [0016] 도 2는 유체 덕트의 외주면에 링 캐비티(Ring cavity) (40)를 구비한 원심 압축기를 나타내는 예시적인 도면으로, 상기와 같이 링 캐비티를 구비한 원심 압축기는 제작이 용이하면서 팁 누설 유동과 주유동의 상호작용으로 운전 작동 범위를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 다만, 이 경우 재순환 유동으로 인한 공력 손실이 발생하여 원심 압축기의 효율이 감소되는 단점이 있다.
- [0018] 또한, 대한민국 특허 등록공보 제1017707380000호에서는 분리된 캐비티를 구비한 원심 압축기에 관한 것으로, 상세하게는 중앙이 비어있는 유체 덕트; 상기 유체 덕트 외주부에 서로 이격되게 배치되고, 상기 입구덕트의 외주부 및 캐비티의 측벽부 사이에 공간부를 갖는 복수 개의 캐비티; 및 상기 유체 덕트의 하단부에 위치하며, 상기 유체 덕트를 축으로 회전하는 임펠러;를 포함하는 분리된 캐비티를 구비한 원심 압축기를 개시한 바 있다.
- [0019] 도 3은 유체 덕트의 외주면에 분리된 캐비티(Discrete cavity) (50)를 구비한 원심 압축기를 나타내는 예시적인 도면으로, 이는 설계점에서 유동 손실을 줄임으로써 효율성 손실을 최소화하면서 작업 안정성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다.
- [0021] 나아가, 본 발명자들은 기존 개시된 원심 압축기에서 스톨 마진을 향상시켜 작동 안정성을 더욱 개선시키기 위하여 연구하던 중, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 개발하고 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0023] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 등록공보 제1017707380000호

비특허문헌

- [0024] (비특허문헌 0001) Korea Society for Fluid Machinery, Vol.14,(2),pp.11-16

발명의 내용

해결하려는 과제

[0025] 본 발명의 목적은 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기 및 이의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0026] 상기 목적을 달성하기 위해,

[0027] 본 발명의 일 측면에서는

[0028] 원통형의 샤프트;

[0029] 상기 샤프트를 내부에 수용하며, 유체가 유입되는 유체 덕트;

[0030] 상기 유체 덕트 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러;를 포함하는 원심 압축기에 있어서,

[0031] 상기 유체 덕트 외주면에 유체 재순환을 위하여, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티가 구비되는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 제공한다.

[0033] 또한, 본 발명의 다른 일 측면에서는

[0034] 원통형의 샤프트를 내부에 수용하는 유체 덕트의 외주면에, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티를 배치하는 단계(단계 1); 및

[0035] 상기 입구덕트의 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러를 배치하는 단계(단계 2);를 포함하는 나선형 캐비티를 포함하는 원심 압축기의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0037] 본 발명에 따른 원심 압축기는 유체 덕트를 통해 임펠러로 흐르는 주유동의 사전 소용돌이 각도와 유사하게 정렬된 형태를 갖는 나선형 캐비티를 포함하며, 나선형 캐비티를 통해 효과적으로 재순환되는 유동이 주유동의 흐름을 활성화시킴으로써 임펠러로 유입되는 유동 각도를 조절할 수 있는 효과가 있다. 이에 따라, 원심 압축기의 공력 성능을 개선하고 작업 안정성을 더욱 향상시킬 수 있는 우수한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0039] 도 1은 종래의 캐비티를 구비하지 않은 원심 압축기를 나타낸 모식도이고,

도 2는 종래의 링 형태의 캐비티를 구비한 원심 압축기를 나타낸 모식도이고,

도 3은 종래의 서로 이격된 복수의 개별 캐비티를 구비한 원심 압축기를 나타낸 모식도이고,

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 나타낸 모식도이고,

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기의 단면을 나타낸 모식도이고,

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기의 유체 덕트와 접하는 캐비티의 하부 연통구를 확대하여 나타낸 모식도이고,

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기의 평면을 나타낸 모식도이고,

도 8은 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 원심 압축기의 단열 효율(Adiabatic efficiency)을 측정한 결과 그래프이고,

도 9는 본 발명의 실시예 및 비교예에 따른 원심 압축기의 스톱 마진(stall margin)을 측정한 결과 그래프이고,

도 10은 본 발명의 실시예 1 및 비교예 2에 따른 원심 압축기의 스톱 부근 조건에서의 캐비티 내부의 유선

(streamline)을 나타낸 도이고,

도 11은 본 발명의 실시예 1 및 비교예 2에 따른 원심 압축기의 스톨 부근 조건에서의 전 압력 분포를 나타낸 도이고,

도 12는 본 발명의 실시예 1 및 비교예 2에 따른 원심 압축기의 비교 평면 (a), 스톨 부근 조건에서의 축 속도 분포(b, c)를 나타낸 도이고,

도 13은 본 발명의 실시예 1 및 비교예 2에 따른 원심 압축기의 스톨 부근 조건에서의 원주 속도 분포 (a, b)를 나타낸 도이고,

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 원심 압축기의 전압력 분포 및 속도 벡터를 나타낸 도로, 캐비티의 하부 연통구의 폭(P/D)에 따른 압력 분포 및 속도 벡터를 나타낸 도이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 정적 엔트로피 컨투어 및 유선을 나타낸 도이고, 캐비티의 하부 연통구의 폭(P/D)에 따른 정적 엔트로피 컨투어 및 유선을 나타낸 도이다.

도 16은 본 발명의 실시예에 따른 유동의 원주 속도 분포를 나타낸 도로, 캐비티의 하부 연통구의 폭(P/D)에 따른 원주 속도 분포를 나타낸 도이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 유동의 축 속도 분포를 나타낸 도로, 캐비티의 시작단의 원주 방향 위치(α_c)에 따른 축 속도 분포를 나타낸 도이다.

도 18은 본 발명의 실시예에 따른 블레이드 스펜에서의 속도 분포를 나타낸 도로, 캐비티의 시작단의 원주 방향 위치(α_c)에 따른 속도 분포를 나타낸 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0040] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0041] 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0042] 다른 식으로 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용된 모든 기술적 및 과학적 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 숙련된 전문가에 의해서 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다.
- [0043] 본 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0045] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0047] 본 발명의 일 측면에서는,
- [0048] 원통형의 샤프트;
- [0049] 상기 샤프트를 내부에 수용하며, 유체가 유입되는 유체 덕트;
- [0050] 상기 유체 덕트 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러;를 포함하는 원심 압축기에 있어서,
- [0051] 상기 유체 덕트 외주면에 유체 재순환을 위한, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티가 구비되는 것인, 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 제공한다.
- [0053] 이하, 본 발명의 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를 나타낸다.

- [0055] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나 보다 분명해질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0057] 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기는 원통형의 샤프트(shaft) (11) 및 상기 샤프트를 내부에 수용하며, 유체가 유입되는 유체 덕트(fluid duct) (10)를 포함한다. 상기 유체 덕트는 상기 샤프트에 연결되어 회전하는 임펠러로 외부의 유체를 흡입하기 위한 것이다.
- [0059] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기는 상기 유체 덕트 (10) 외주면에 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티 (spiral cavity) (60)를 포함한다.
- [0060] 이는, 원심압축기에서 발생하는 스톨(stall) 및 서지(surge) 현상으로부터 압축기를 보호하여 작동 안정성을 높이기 위한 것이며, 또한, 유체 덕트(10)에서 재순환 유동을 가능하게 하고, 상기 재순환된 유체의 유입이 주유동의 흐름을 활성화시키도록 하기 위한 것이다.
- [0062] 원심압축기는 상기 유체 덕트로부터 흡입된 유체를 원주 방향으로 토출하여 압축 및 펌핑하는 장치로, 종래의 경우, 탈설계 조건의 저유량 영역에서 스톨 및 서지 현상에 의해 장치의 심한 진동이 발생되고 임펠러 및 유체 덕트 내에 큰 응력이 발생되어, 압축기의 작동범위 및 성능이 제한된다.
- [0063] 이에, 본 발명에서는 원심압축기의 작동범위 및 성능을 개선하기 위하여 압축기의 유체 덕트 외주면에 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티를 구비하였으며, 이를 통해 원심 압축기에서 발생하는 스톨 및 서지 현상을 지연시켜 작동안정성을 높일 수 있다.
- [0064] 도 4에 도시된 바와 같이, 캐비티의 나선 형태는 유체 덕트를 통해 주유동이 회전하여 내려오는(사전 소용돌이) 각도와 유사하게 정렬되어, 캐비티를 통해 유체 덕트로 배출되는 재순환 유동이 주유동과 원활하게 상호작용하여 흐름이 효과적으로 활성화되도록 할 수 있다.
- [0066] 상기 나선형 캐비티는 유체 덕트 하부에서 상부로, 상기 임펠러의 회전 방향과 같은 방향으로 나선형으로 형성될 수 있다. 일 실시예에서 상기 회전 방향은 시계 방향일 수 있다.
- [0068] 상기 나선형 캐비티는 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 유체 덕트와 유체적으로 연통되는 하부 연통구 (61); 상부 연통구 (62); 및 하부 연통구와 상부 연통구를 연결하는 유체 재순환부 (63);를 포함하며, 상기 하부 연통구와 상부 연통구는 각각 유체 덕트의 상부 방향으로 나선형으로 형성될 수 있다.
- [0070] 또한, 상기 캐비티는 도 5 및 도 6에 나타난 바와 같이, 상기 임펠러의 직경(D) 대비 상기 캐비티의 축 방향 위치(L)의 비(L/D), 상기 임펠러의 직경(D) 대비 유체 덕트의 외주면에 접하는 상기 캐비티의 하부 연통구의 폭(P)의 비(P/D)를 가진다. 상기 축 방향 위치는 상기 임펠러의 하단부를 기준으로 상기 캐비티의 시작단까지의 샤프트 축 방향으로의 수직 위치로 정의된다.
- [0071] 또한, 도 7에 나타난 바와 같이, 상기 캐비티의 시작단은 누설 유동이 최대인 유체 덕트의 원주 방향 위치를 기준으로 하는 원주 방향 위치(α_c)를 갖는다.
- [0072] 상기 기준 원주 방향 위치는 블레이드와 케이싱 사이 갭에서 발생할 수 있는 누설 유동이 가장 강력하게 발생하는 위치로 정의된다.
- [0073] 일 실시예에서, 예를 들어, 도 7의 볼루트에서는 비대칭적 유동으로 인해 볼루트의 각 위치마다 누설유동의 강

도가 다르게 나타나는데, 이때 누설 유동이 최대인 유체 덕트의 원주 방향 위치는 볼류트(volute)에서 유체가 수평으로 빠져나가는 위치와 평행한 위치일 수 있다.

- [0075] 한편, 본 명세서 상에서 '스톨 마진(stall margin)'은 설계 질량 유량부터 원심 압축기의 운전이 가능한 최소한의 질량 유량까지의 운전 범위를 나타낼 수 있는 지표를 의미하며, '단열 효율(adiabatic efficiency)'은 설계 질량 유량에서의 단열 효율을 의미한다.
- [0076] 상기 단열 효율 및 스톨 마진을 통해 원심 압축기의 성능을 평가할 수 있다. 즉, 상기 단열 효율이 클수록, 스톨 마진이 클수록 원심 압축기의 성능이 우수한 것으로 볼 수 있다. 특히, 스톨 마진이 클수록 압축기의 작업 안정성이 우수한 것으로 나타난다.
- [0078] 본 발명의 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기는 상기 임펠러의 직경(D) 대비 상기 유체 덕트의 외주부에 접하는 상기 캐비티의 하부 연통구의 폭(P)의 비(P/D)가 0.007 내지 0.010인 것이 바람직하고, 더 바람직하게는 0.0075 내지 0.095 일 수 있고, 더욱 바람직하게는 0.0075 내지 0.008 일 수 있다.
- [0079] 공력 성능 향상을 위한 것으로, 만약 상기 비(P/D)의 값이 0.007 미만인 경우, 스톨 마진은 증가하나, 제작이 용이하지 않은 문제가 있을 수 있고, 또한, 상기 비 (P/D)의 값이 0.010을 초과하는 경우, 제작은 용이하나 스톨마진이 감소하는 문제가 발생할 수 있다.
- [0081] 본 발명의 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기에서, 상기 캐비티의 누설 유동이 최대인 유체 덕트의 원주 방향 위치로부터 $\pm 7^\circ$ 이내에 위치하는 것이 바람직하고, 더 바람직하게는 $\pm 5^\circ$, 더욱 바람직하게는 $\pm 3^\circ$ 이내에 위치할 수 있다.
- [0082] 만약, 상기 캐비티 시작단의 원주 방향 위치(α_c)가 기준 원주 방향 위치로부터 $\pm 7^\circ$ 를 초과하는 경우, 스톨 마진이 큰 폭으로 감소하는 문제가 발생할 수 있다.
- [0085] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기는 상기 유체 덕트 (10)의 하단부에 위치하며, 상기 유체 덕트를 축으로 회전하는 임펠러 (20)를 포함한다.
- [0086] 상기 임펠러 (20)는 개방형 임펠러(un-shrouded impeller)일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0087] 또한, 상기 임펠러는 보다 긴 블레이드인 메인 블레이드(main blade) (21) 사이에 보다 짧은 스플리터 블레이드(splitter blade) (22)를 포함하는 것이 바람직하다. 이는 고압력비 및 고효율이 요구되는 원심 압축기에 적합하도록 하기 위한 것으로, 상기 임펠러의 회전을 거쳐 유체에 운동 에너지를 주는 동시에, 직경 방향 외측에 유체를 토출함으로써 원심력에 의한 압력 상승을 보다 잘 유도할 수 있다.
- [0089] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 원심 압축기는 상기 임펠러 (20) 하단부에 디퓨저(diffuser) (미도시)를 더 포함할 수 있으며, 상기 디퓨저는 베인 없는 디퓨저(vainless diffuser)일 수 있으나 이에 제한된 것은 아니다.
- [0091] 또한, 본 발명의 다른 일 측면에서는,
- [0092] 원통형의 샤프트를 내부에 수용하는 유체 덕트의 외주면에, 유체 덕트 하부에서 상부로 나선형으로 형성된 나선형 캐비티를 배치하는 단계(단계 1); 및
- [0093] 상기 유체 덕트의 하단부에 상기 샤프트에 결합되어 회전하는 임펠러를 배치하는 단계(단계 2);를 포함하는 나선형 캐비티를 포함하는 원심 압축기의 제조방법을 제공한다.

[0095] 본 발명의 제조방법으로 제조된 원심 압축기는 유체 덕트를 통해 임펠러로 흐르는 주유동의 사전 소용돌이 각도와 유사하게 정렬된 형태를 갖는 나선형 캐비티를 포함하며, 나선형 캐비티를 통해 효과적으로 재순환되는 유동이 주유동의 흐름을 활성화시킴으로써 임펠러로 유입되는 유동 각도를 조절할 수 있는 효과가 있다. 이에 따라, 원심 압축기의 공력 성능을 개선하고 작업 안정성을 더욱 향상시킬 수 있는 우수한 효과가 있다.

[0098] 이하, 실시예 및 실험예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명한다. 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기의 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0100] <실시예 1>

[0101] 본 발명의 일 측면에서 제공되는 나선형 캐비티 (spiral cavity)를 구비한 원심 압축기를 아래와 같이 설계하였다.

[0102] 샤프트가 내부에 수용된 원통형의 유체 덕트의 외주부에 나선형 캐비티를 설계하였다. 캐비티의 하부 연통구의 폭(W)은 약 0.92mm, 캐비티의 축 방향 위치(L)는 약 48 mm가 되도록 하였다. 또한 기준 원주 방향 위치는 본 실시예의 블레이드와 케이싱 사이의 간극에서 발생하는 누설 유동이 가장 강하게 발생하는, 도 7에 도시된 α_c 가 0° 로 표시된 위치로 설계하였다.

[0103] 상기 유체 덕트의 하단부에 하기 표 1과 같은 사양을 가지는 임펠러를 설계하여 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였고, 상기 임펠러 직경(D)에 대한 상기 캐비티의 축 방향 위치(L)의 비(L/D), 상기 임펠러 직경(D)에 대한 상기 유체 덕트의 외주면에 접하는 캐비티의 하부 연통구의 폭(P)의 비(P/D) 및 기준 원주 방향 위치에 대한 상기 캐비티의 시작단의 원주 방향 위치(α_c)가 각각 0.47, 0.009, 0° 가 되도록 하였다.

표 1

질량 유량(kg/s)	0.45
회전 속도(rpm)	65,400
전 압력비	1.96
임펠러 외경(D, mm)	102.32
임펠러의 메인 블레이드(스플리터 블레이드)의 수(개)	6(6)
블레이드 입구각(허브, 팁)($^\circ$)	-54.12, -62.96
블레이드 출구각(허브, 팁)($^\circ$)	-28.98, -32.14

[0105]

[0107] <실시예 2>

[0108] 상기 실시예 1에서, 상기 임펠러 직경(D)에 대한 상기 유체 덕트의 외주부에 접하는 캐비티의 하부 연통구의 폭(P)의 비(P/D)가 0.008이 되도록 달리 설계하는 것을 제외하는 것을 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다.

[0110] <실시예 3>

[0111] 상기 실시예 1에서, 상기 임펠러 직경(D)에 대한 상기 유체 덕트의 외주부에 접하는 캐비티의 하부 연통구의 폭

(P)의 비(P/D)가 0.010이 되도록 달리 설계하는 것을 제외하는 것을 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다.

[0113] <실시예 4>

[0114] 상기 실시예 1에서, 상기 캐비티 시작단의 원주 방향 위치(α_c)는 -10° 로 달리 설계하는 것을 제외하는 것을 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다.

[0116] <실시예 5>

[0117] 상기 실시예 1에서, 상기 캐비티 시작단의 원주 방향 위치(α_c)는 10° 로 달리 설계하는 것을 제외하는 것을 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다.

[0119] <비교예 1> 캐비티를 구비하지 않은 원심 압축기

[0120] 상기 실시예 1의 단계 1에서 캐비티를 형성하는 과정이 없는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 캐비티를 구비하지 않은 원심 압축기를 설계하였다(도 1).

[0122] <비교예 2> 링 형태의 캐비티

[0123] 상기 실시예 1의 단계 1에서 나선형 캐비티가 아닌 단순 링 캐비티로 제조하는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 링 형태의 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다(도 2).

[0125] <비교예 3> 분리된 개별 캐비티

[0126] 상기 실시예 1의 단계 1에서 나선형 캐비티가 아닌 서로 이격된 복수의 개별 캐비티로 제조하는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 링 형태의 캐비티를 구비한 원심 압축기를 설계하였다(도 3).

[0128] <실험예 1> 공력 성능 평가(1)

[0129] 본 발명의 일 실시예에 따라 제조된 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기의 공력 성능(aerodynamic performance)을 평가하기 위해, 아래와 같은 해석을 수행하였다.

[0131] 실시예 1 및 비교예 1 내지 3에 의해 설계된 원심 압축기의 공력 성능 분석을 위해 상용 코드인 ANSYS CFX-15.0 소프트웨어를 사용하였고, Shear Stress Transport(SST) 난류 모델을 사용하여 3차원 레이놀즈 평균 나비에-스톡스(Reynolds-averaged Navier-Stokes, RANS) 해석을 수행하였다. 이때, 원심 압축기의 단열 효율 및 스톨 마진을 성능함수로 선정하여 공력성능을 분석하였다. 그 결과를 도 8 및 도 9에 나타내었다.

[0132] 한편, 상기 단열 효율 및 스톨 마진은 하기의 수학식 1 및 수학식 2에 의해 정의될 수 있다.

수학식 1

$$\eta = \frac{(PR)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{(TR) - 1} \times 100\%$$

[0134]

수학식 2

$$SM = \left(1 - \frac{\dot{m}_{stall}}{\dot{m}_{design}} \times \frac{PR_{design}}{PR_{stall}} \right) \times 100\%$$

[0136]

[0137]

PR: 전압력비

[0138]

TR: 전온도비

[0139]

r: 비열비

[0140]

$\dot{m}_{design}$: 설계점의 질량유량

[0141]

$\dot{m}_{stall}$: 스톨점의 질량유량

[0142]

PR_{design} : 설계점의 전압력비

[0143]

PR_{stall} : 스톨점의 전압력비

[0145]

상기 도 8에 따르면, 단열 효율의 경우, 캐비티를 구비하지 않은 비교예 1에 의해 설계된 원심 압축기와 비교하여, 비교예 2, 3 및 실시예 1의 캐비티를 구비한 원심 압축기의 단열 효율이 감소된 것으로 나타났다. 실시예 1에 의해 설계 및 제조된 경우 단열 효율이 약 1.7% 감소하였지만, 약 70%의 단열 효율을 유지하는 것을 알 수 있었다.

[0146]

반면, 상기 도 9에 따르면, 스톨 마진의 경우, 비교예 1 내지 3과 대비하여 실시예 1에 의해 설계 및 제조된 경우 스톨 마진이 74.2%로 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 비교예 2 및 3에 의해 제조된 경우 보다 각각 7.1%, 3.1% 증가한 것을 알 수 있다.

[0147]

종합하면, 비교예 2에 비해 실시예 1은 단열 효율이 0.3% 낮지만, 스톨 마진은 7.1% 개선되어 스톨 마진 개선 정도가 단열 효율 저하보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 또한, 비교예 3에 비해 실시예 1은 단열 효율이 1.0% 낮고 반면 스톨 마진은 3.1% 개선되는 것이 확인되었다.

[0148]

따라서, 실시예 1의 나선형 캐비티를 갖는 원심 압축기의 경우 단열 효율은 비교적 높은 수준으로 유지하면서 스톨 마진은 월등하게 증가시켜, 캐비티가 없거나 단순 링 캐비티 또는 분리된 개별 캐비티를 갖는 비교예에 비하여 작동안정성이 더욱 우수하게 개선되는 효과가 있음을 알 수 있었다.

[0150]

<실험예 2> 나선형 캐비티를 구비한 압축기의 유동 분석

[0151]

스톨 부근 조건의 유량에서 본 발명의 실시예에 따른 나선형 캐비티를 구비한 압축기의 유동 특성을 분석하기 위해, 아래와 같은 해석을 수행하였다.

[0153]

실시예 1 내지 5에 의해 설계된 원심압축기에 대한 유동 해석을 ANSYS CFX-15.0 소프트웨어를 사용하고, Shear Stress Transport(SST) 난류 모델을 사용하여 3차원 레이놀즈 평균 나비에-스톡스(Reynolds-averaged Navier-Stokes, RANS) 해석을 수행하였다.

[0155]

도 10 및 도 11에 도시된 바와 같이, 나선형 캐비티를 통한 실시예 1의 재순환 유동이 링 캐비티를 갖는 비교예

2의 경우보다 압력이 낮은 유체 덕트의 상부로 향하는 것으로 나타났다. 또한, 비교예 2의 유동이 실시예 1의 경우보다 캐비티 내부에 머무는 경향을 보였다.

[0156] 링 캐비티와 비교하여 나선형인 실시예 1의 캐비티의 각도는 유체 덕트를 통과하는 유동의 사전 소용돌이 각도와 정렬되도록 설계되어 주유동과 실시예의 나선형 캐비티를 통과하는 유동 간 상호작용이 원활하게 하는 것을 알 수 있다.

[0158] 기존 연구에 따르면, 유동의 축 방향 및 원주 방향 속도 성분이 증가하면 유동과 블레이드 간 입사각이 감소하여 임펠러에서 유동 분리가 감소하여 스톨이 감소하는 경향이 있다.

[0159] 도 12a에 도시된 비교 평면을 기준으로 본 발명의 실시예 1 및 비교예 2의 원심 압축기의 축 속도를 관찰하였다. 도 12b, 도 12c에 따르면, 비교예 2와 대비하여 실시예 1의 축 속도가 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0160] 또한, 도 13에 도시된 바와 같이, 비교 평면에서의 원주 속도를 관찰한 결과, 비교예 2와 비교하여, 실시예 1의 원주 속도가 향상된 것으로 확인되었다.

[0161] 즉, 본 발명의 실시예 1에 따라 설계된 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기가 링 캐비티를 구비한 비교예 2의 경우보다 유동의 원주 속도 및 축 속도가 향상되는 것을 알 수 있고, 이는 실시예에 따른 나선형 캐비티의 형태가 유체 덕트를 통과하는 유동의 사전 소용돌이 각도와 정렬되기 때문인 것으로 예상된다. 결과적으로 유동과 블레이드 간 입사각이 감소하여 임펠러 유동 분리 감소로 스톨마진이 향상되었다(도 9 참조).

[0163] <실험예 3> 공력 성능 평가(2)

[0164] 캐비티의 형상에 따른 본 발명의 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기의 공력 성능을 측정하기 위해, 아래와 같은 해석을 수행하였다.

[0166] 실시예 1 내지 5, 비교예 2에 의해 설계된 원심 압축기에 대한 공력 성능 분석을 ANSYS CFX-15.0 소프트웨어를 사용하고, Shear Stress Transport(SST) 난류 모델을 사용하여 3차원 레이놀즈 평균 나비에-스톡스(Reynolds-averaged Navier-Stokes, RANS) 해석을 수행하였으며, 그 결과를 하기 표 2 내지 4에 도시하였다.

표 2

	P/D	스톨 마진(%)
실시예 2	0.008	75.42
실시예 1	0.009	74.16
실시예 3	0.010	69.41

[0168]

표 3

	$\alpha_c(\text{degree}, ^\circ)$	스톨 마진(%)
실시예 4	-10	68.79
실시예 1	0	74.16
실시예 5	10	68.24

[0170]

[0172] 상기 표 2 내지 3에 따르면, 임펠러 직경에 대한 캐비티의 하부 연통구 폭의 비(P/D)과 캐비티 시작단의 원주 방향 위치(α_c)에 따른 공력 성능 영향이 큰 것으로 확인되었다.

[0173] 상기 표 2에 나타난 바와 같이, 임펠러 직경에 대한 캐비티 하부 연통구의 폭의 비(P/D)의 경우, 하부 연통구 폭이 0.008로 작은 실시예 2의 스톨 마진이 가장 크게 나타났고, 하부 연통구 폭이 0.010인 실시예 3의 스톨 마진이 가장 작게 나타났다. 실시예 3에 비하여 실시예 1은 4.65%, 실시예 2는 5.91% 증가하였다.

[0174] 상기 표 3에 나타난 바와 같이, 캐비티 시작단의 원주 방향 위치(α_c)의 경우, 캐비티 시작단의 원주 방향 위치가 0° 인 실시예 1의 스톨 마진이 가장 크게 나타났고, 실시예 1은 실시예 4(-10°)와 대비하여 5.37%, 실시예 5(10°)에 대비하여 5.92% 증가한 것으로 확인된다.

[0175] 이를 통해, 본 발명의 상기 캐비티의 형상을 조절함으로써 스톨 마진을 우수하게 개선할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 원심 압축기의 공력 성능을 더욱 향상시키고, 작업 안정성을 개선할 수 있다.

[0177] <실험예 4> 나선형 캐비티의 형상에 따른 유동 분석

[0178] 먼저, 캐비티의 형상에 따른 본 발명의 나선형 캐비티를 구비한 원심 압축기의 유동 특성을 비교하기 위해, 이하와 같은 해석을 수행하였다.

[0180] 실시예 1 내지 5에 의해 설계된 원심압축기에 대한 유동 해석을 ANSYS CFX-15.0 소프트웨어를 사용하고, Shear Stress Transport(SST) 난류 모델을 사용하여 3차원 레이놀즈 평균 나비에-스톡스(Reynolds-averaged Navier-Stokes, RANS) 해석을 수행하였다.

[0182] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 원심 압축기의 전압력 분포 및 속도 벡터를 나타낸 도로, 캐비티의 하부 연통구의 폭에 따른 압력 분포 및 속도 벡터를 나타낸 도이다.

[0183] 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 정적 엔트로피 컨투어 및 유선을 나타낸 도이고, 캐비티의 하부 연통구의 폭에 따른 정적 엔트로피 컨투어 및 유선을 나타낸 도이다.

[0184] 상기 도 14를 살펴보면, 실시예 1 및 실시예 2에서 유체 덕트의 상류에서 저압영역이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 캐비티 상부 연통구로 배출되는 고압의 재순환 유동과 유체 덕트를 통한 주유동 간의 원활한 상호 작용의 영향인 것으로 확인된다.

[0185] 또한, 상기 도 15에 도시된 바와 같이, 하부 연통구 폭(P)이 커질수록 캐비티 내부에 형성되는 와류가 강해지는 것을 알 수 있다. 이는 캐비티 내부 유동과 캐비티로 흡입된 누설 유동이 만나 형성되며, 이로 인해 유동 손실이 발생한다. 따라서, 실시예 1 및 2가 하부 연통구 폭(P)이 큰 실시예 3보다 유동 손실이 적은 것을 알 수 있다.

[0187] 원주 속도 분포

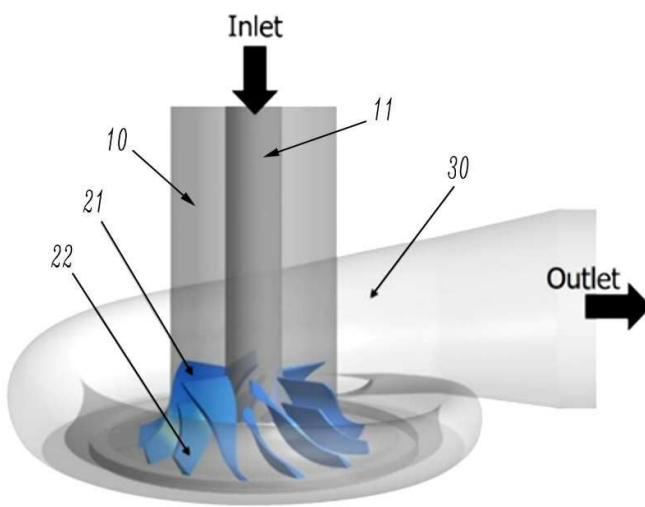
- [0188] 또한, 도 16은 본 발명의 실시예에 따른 원주 속도 분포를 나타낸 도로, 임펠러 직경에 대한 캐비티의 하부 연통구의 폭(P/D)에 따른 원주 속도 분포를 나타낸 도이다.
- [0189] 상기 도 16에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 나선형 캐비티의 형태는 유체 덕트를 흐르는 유동의 사전 소용돌이 각도와 정렬되는데, 하부 연통구의 폭이 0.008인 실시예 2의 경우 원주 속도가 가장 크게 개선되었다.
- [0190] 이는 실시예 2의 캐비티를 통한 재순환 유동이 가장 빠른 속도로 유체 덕트로 배출되고, 유체 덕트를 흐르는 주 유동과 상호작용하여 원주 속도가 향상되는 것으로 확인된다. 원주 속도 향상으로 유동의 입사각이 감소되어 스톨 마진이 개선될 수 있다.
- [0192] 축 속도 분포 및 블레이드 스펜 95% 에서의 속도 분포
- [0193] 한편, 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 축 속도 분포를 나타낸 도로, 캐비티의 시작단의 원주 방향 위치에 따른 축 속도 분포를 나타낸 도이고,
- [0194] 도 18은 본 발명의 실시예에 따른 블레이드 스펜에서의 속도 분포를 나타낸 도로, 캐비티의 시작단의 원주 방향 위치에 따른 속도 분포를 나타낸 도이다.
- [0195] 도 17에 도시된 바와 같이, α_c 가 0° 인 실시예 1의 경우가 축 속도 향상이 실시예 4, 5보다 우수하게 나타났다. 이는 유체 덕트 벽 부근의 누설 유동이 감소하고, 중앙의 주유동의 축 속도가 향상되는 것으로 확인된다.
- [0196] 또한, 도 18에 따르면, 실시예 1의 경우 실시예 4, 5와 비교하여 블레이드 스펜에서 유동 박리를 발생시키는 막힘 영역(속도가 0에 가까운)이 감소하는 것을 확인하였다.
- [0197] 이는 상기 캐비티의 시작단이 강한 누설 유동이 발생하는 기준 원주 방향 위치에 있을 때, 즉 α_c 가 0° 일 때, 유체 덕트의 하부에서 누설 유동이 더욱 효과적으로 캐비티에 흡입되고, 재순환이 원활하게 일어날 수 있는 것으로 파악된다.
- [0198] 또한 이에 따라, 주유동의 흐름을 활성화시킴으로써 블레이드에서의 유동 박리가 감소하고 작동안정성이 개선되는 것을 알 수 있었다.

부호의 설명

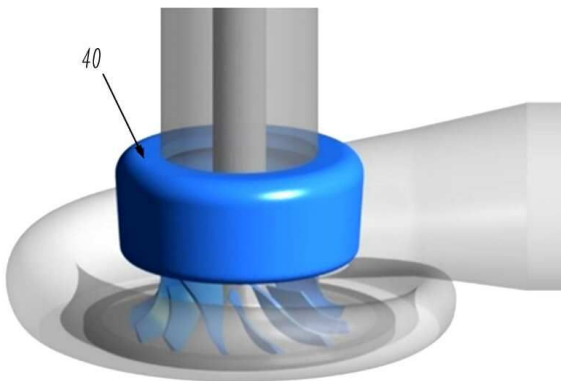
- [0200] 10: 유체 덕트
11: 샤프트
20: 임펠러
30: 볼류트
40: 링 캐비티
50: 분리된 캐비티
60: 나선형 캐비티
61: 하부 연통구
62: 상부 연통구
63: 유체 재순환부

도면

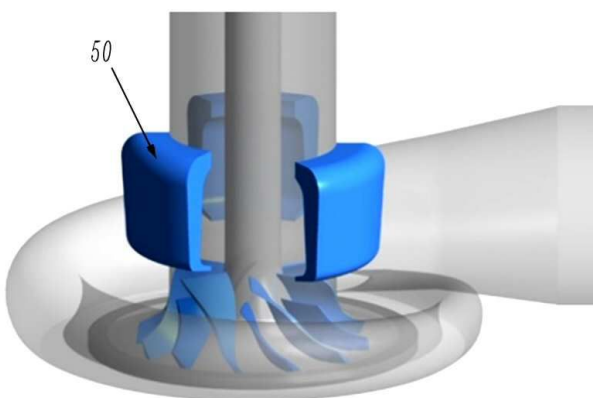
도면1



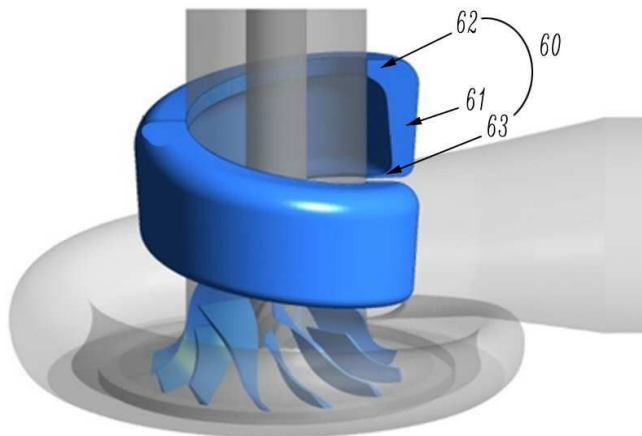
도면2



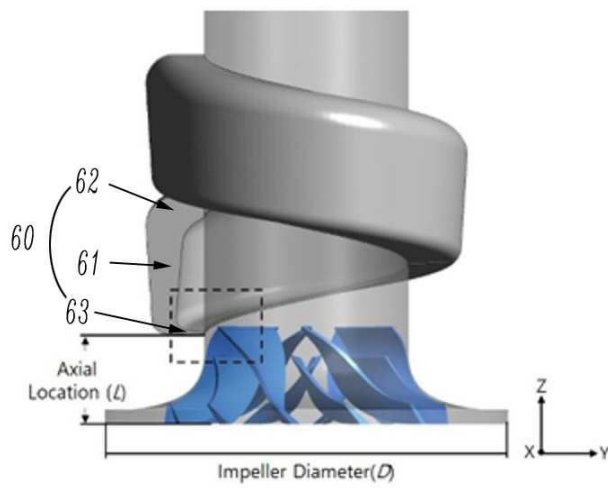
도면3



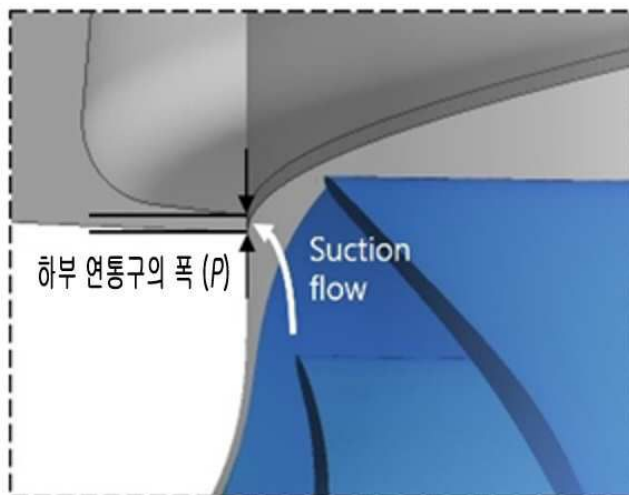
도면4



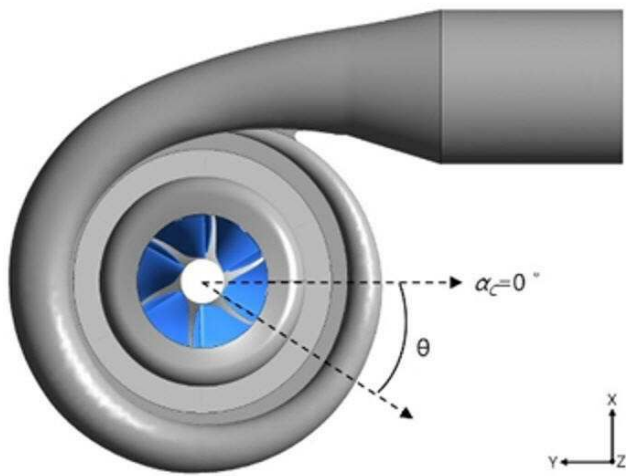
도면5



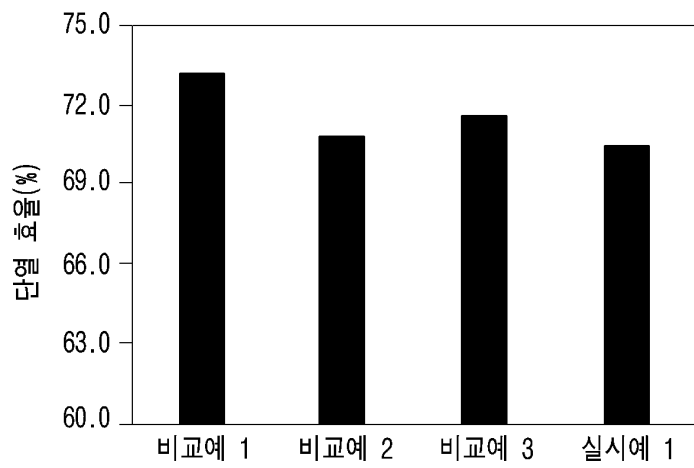
도면6



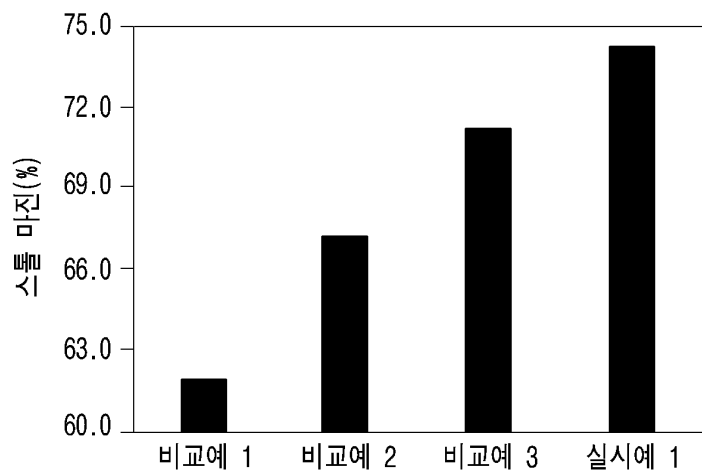
도면7



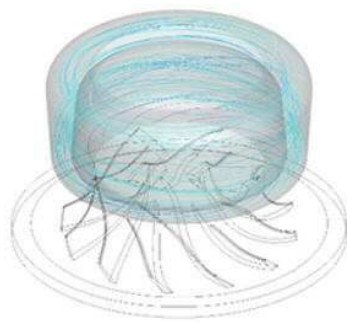
도면8



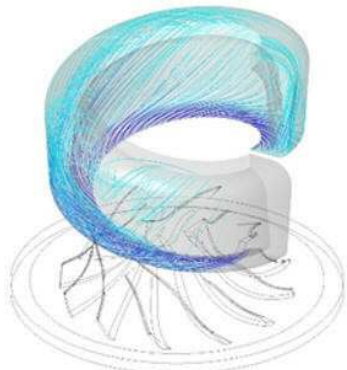
도면9



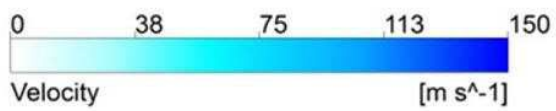
도면10



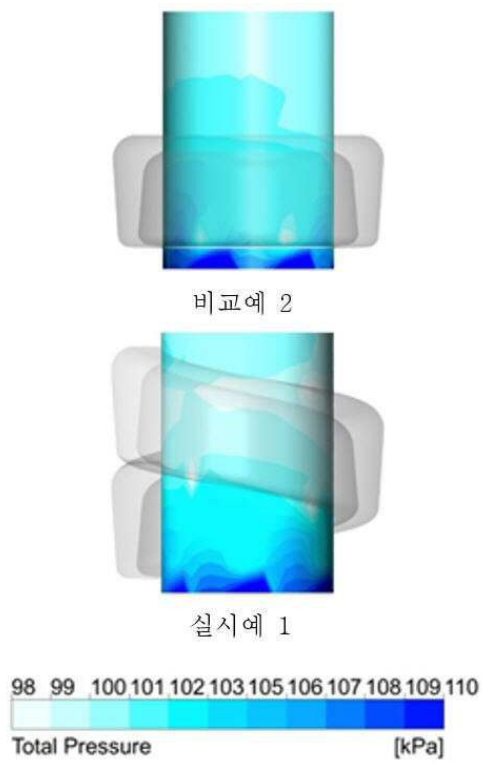
(a) 비교예 2



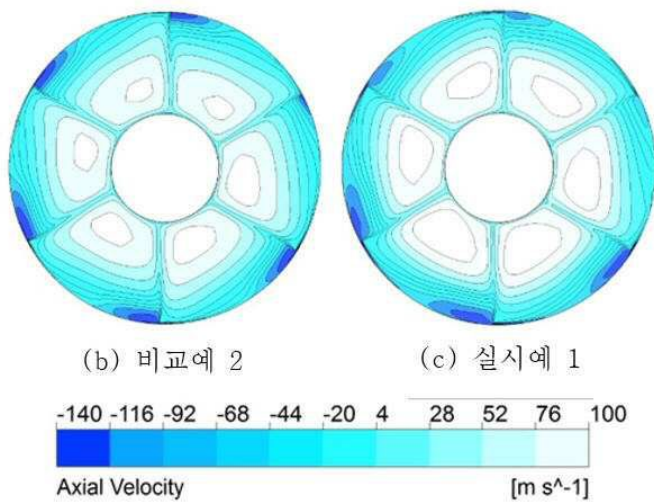
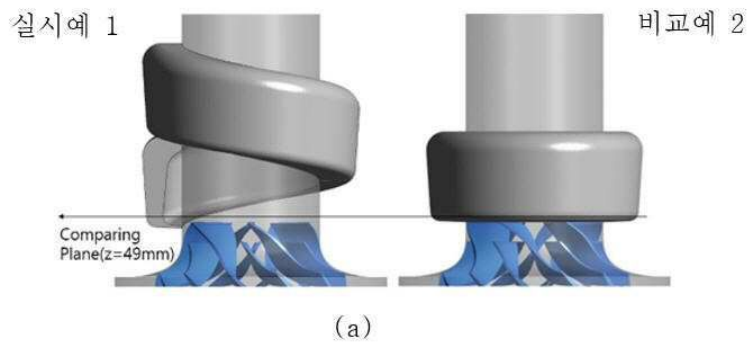
(b) 실시예 1



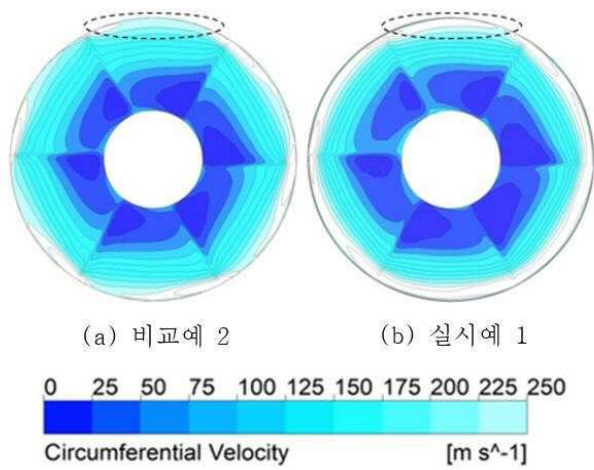
도면11



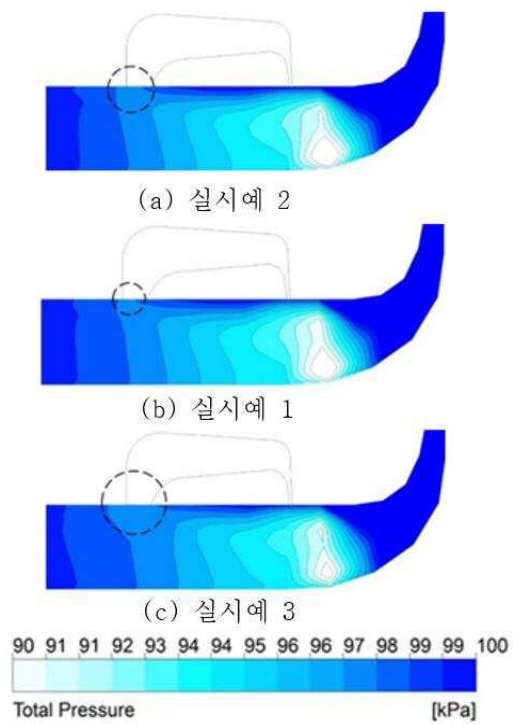
도면12



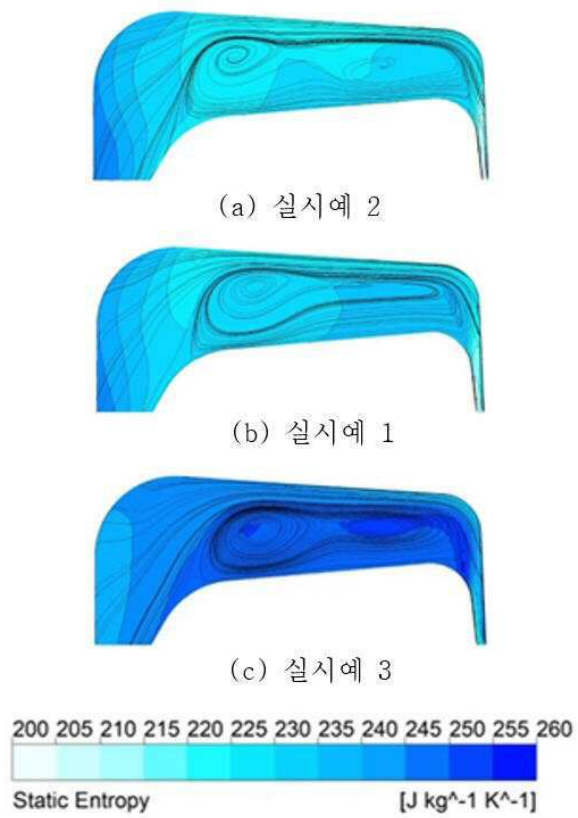
도면13



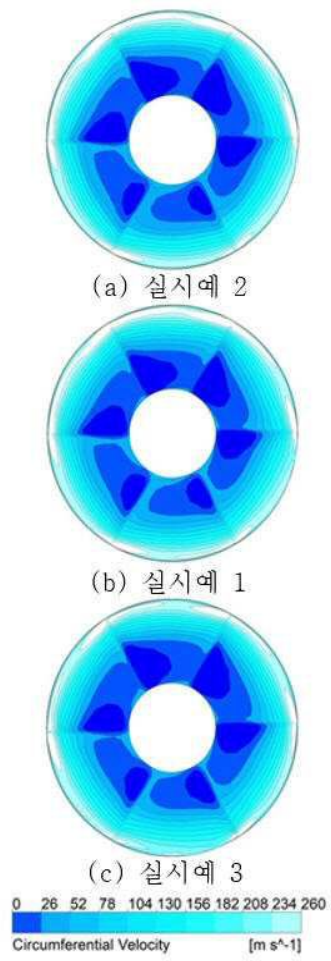
도면14



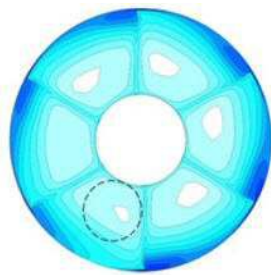
도면15



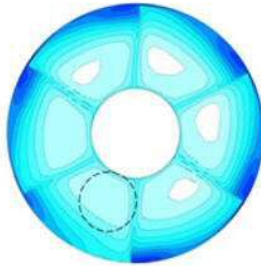
도면16



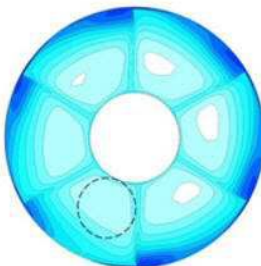
도면17



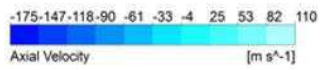
(a) 실시예 1



(b) 실시예 4



(c) 실시예 5



도면18

