



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0118018
(43) 공개일자 2022년08월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F04D 19/00 (2006.01) F04D 29/52 (2006.01)
F04D 29/68 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F04D 19/002 (2013.01)
F04D 29/522 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0021609
(22) 출원일자 2021년02월18일
심사청구일자 2021년02월18일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김광용
서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12 (방배동, 방배아트힐아파트) 105동 701호
브영티엔유
인천광역시 미추홀구 인하로91번길 51-10, 104호 (용현동)
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 15 항

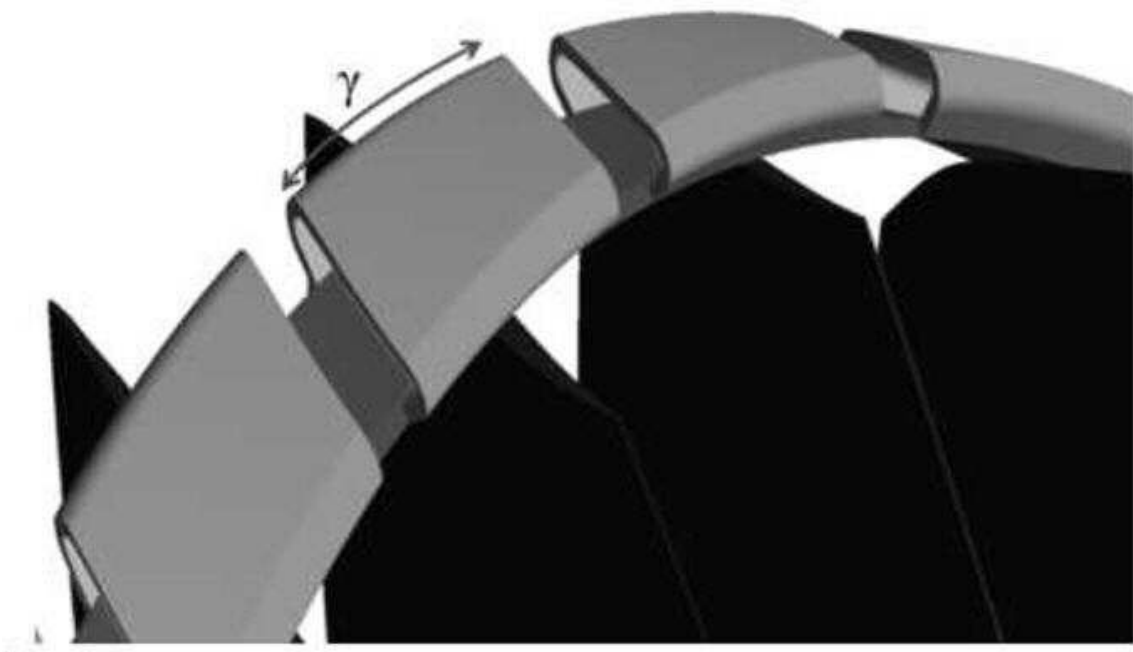
(54) 발명의 명칭 재순환 채널과 케이싱 그루브를 포함하는 축류 압축기 및 축류 압축기의 성능 향상방법

(57) 요약

본 발명의 목적은 케이싱 그루브와 재순환 채널을 포함하는 축류 압축기 및 축류압축기의 성능 향상방법을 제공하는데 있다. 이를 위하여 본 발명은 회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브; 상기

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



케이싱 그루브의 원호상에 배치되고, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널;을 포함하고, 상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하고, 상기 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하고, 상기 재순환 채널은 케이싱 그루브 영역에서 발생하는 2차 누출 흐름을 제어하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기를 제공하며, 상기 구성을 통하여 축류 압축기의 스톨마진을 개선하는 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

F04D 29/681 (2013.01)

F05D 2210/12 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브;

상기 케이싱 그루브의 원호상에 배치되고, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널;을 포함하고,

상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하고,

상기 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하고,

상기 재순환 채널은 케이싱 그루브 영역에서 발생하는 2차 누출 흐름을 제어하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 재순환 채널은 상기 케이싱 그루브의 원호상에 단속적으로 복수개가 형성되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 3

제1항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리의 비가 0.2 내지 0.5인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 4

제1항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 후단부까지의 거리의 비가 0.6 내지 0.9인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 5

제1항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 케이싱 그루브의 홈의 깊이의 비가 0.02 내지 0.05인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 30 내지 60 ° 인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 45 내지 90 ° 인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 8

제2항에 있어서, 단일 재순환 채널이 케이싱 그루브 표면을 커버하는 중심각은 4 내지 8 ° 인 것을 특징으로 하는 축류 압축기.

청구항 9

축류 압축기의 회전자 쉬라우드 표면에, 블레이드의 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 형성하는 단계;

상기 케이싱 그루브의 원호상에, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널을 형성하는 단계;를 포함하고,

상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리의 비가 0.2 내지 0.5의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 11

제9항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리의 비가 0.2 내지 0.5의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 12

제9항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 후단부까지의 거리의 비가 0.6 내지 0.9의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 13

제9항에 있어서, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 케이싱 그루브의 홈의 깊이의 비가 0.02 내지 0.05의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 14

제9항에 있어서, 상기 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 30 내지 60 ° 의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

청구항 15

제9항에 있어서, 상기 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 45 내지 90 °의 범위로 조절되는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스톨마진이 개선된 축류 압축기 및 축류 압축기의 스톨마진을 향상시키는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로 압축기는 원심압축기(Centrifugal flow compressor)와 축류압축기(Axial flow compressor)로 분류될 수 있는데, 이 중 축류압축기는 대량의 공기를 처리할 수 있고, 압력비 증가를 위해 다단으로 제작이 가능하며, 입,出口的 압력비 및 효율이 높아 고성능 기관에 사용된다.

[0005] 축류압축기는 1열의 로터(회전자)와 1열의 스테이터(고정자)를 합하여 1단이라 부르며 단수를 증가시킴으로써 유체의 높은 압력을 얻을 수 있다. 축류압축기는 대량의 공기를 처리할 수 있고 다단화가 용이해 효율이 높고 단을 추가하여 압력을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다.

[0007] 회전자는 회전체와 회전자 블레이드로 구성된다. 회전자는 터빈 또는 터빈 단에 의하여 회전축에 연결되어 함께 구동하고, 회전자 블레이드는 공기의 흐름을 직선으로 유도하는 역할을 한다.

[0009] 고정자는 압축기의 외부케이스 역할을 하며 내측에 다수의 고정자 베인(vane)이 장착되어 전방에서 흡입된 공기의 속도를 감소시킴으로써 압력을 상승시키는 역할을 한다. 고정자 베인은 고정식 베인과 각도가 조절되는 가변식 베인으로 나뉘어지며, 압축기 케이스에 고정되거나 스테이터 베인 리테이닝 링에 의해 고정된다.

[0011] 특히, 회전자 블레이드와 고정자 베인은 다양한 형태의 불임각이나 비틀림 형상을 갖도록 에어포일(airfoil) 형상의 단면을 갖는다. 이를 통해 회전축에 가까운 블레이드와 회전축과 먼부분의 블레이드의 회전속도 차이에서 유도되는 공기 저항의 차이를 감소시키게 된다.

[0013] 압축기 내부에서 공기는 압축기의 축방향을 흐르면서 회전자 블레이드와 고정자 블레이드에 의하여 압축되며 후방으로 전달된다. 회전자 블레이드 표면에서 박리하며 난류가 되어 공기는 속도가 빨라지고 공기 저항이 커져 엔진의 성능을 감소시킨다. 때문에, 블레이드에서 박리된 공기 흐름을 제어함으로써 엔진의 성능을 향상시키기 위한 방법이 연구되고 있다.

[0015] 한편, 축류압축기의 유체 안정화와 관련된 종래기술로서 한국등록특허 제10-1025867호 (이하 '선행기술'이라 약칭함)는 축류 임펠러의 유체 안정화장치가 개시되었다. 선행기술은 축류 임펠러의 회전축의 회전에 따라 날개의 끝단과 마주보며 케이스에 형성되는 조절공과 조절공을 밀폐하도록 밀착 삽입되는 조절리브의 조작을 통하여 케이스 내부의 요철을 형성하고 이에 따라 유체의 흐름을 제어하는 안정화 장치를 개시한다.

[0017] 이와 같은 축류 압축기는 축류 압축기의 입구에 유입되는 공기의 유량이 감소할수록 공기의 압력비가 증가하는

경향을 보인다. 그러나, 특정 유량에 도달하면 갑자기 스톨(stall)이 발생하는데, 이때 압력비가 떨어지고 효율이 낮아지며 날개에 심한 진동 현상이 발생한다.

[0019] 따라서, 축류 압축기의 작동 안정성을 높이기 위한 기술이 요구된다.

[0021] 예를 들어, 한국 등록특허 제10-1401328호는 케이싱 트리트먼트를 활용한 축류 압축기의 스톨 억제 장치를 개시하고 있고, 구체적으로는 동익과 대향하는 내벽에 홈이 형성된 외부 케이싱(casing)을 구비하는 축류 압축기에서 스톨이 발생하는 것을 억제하는 장치로서, 상기 외부 케이싱의 홈을 개방하거나 폐쇄하도록 상기 외부 케이싱의 축방향으로 이동 가능한 내부 케이싱, 및 상기 내부 케이싱을 상기 외부 케이싱의 축방향으로 이동시키는 구동수단을 포함하며, 상기 외부 케이싱은 상기 외부 케이싱의 축방향으로 상기 홈과 연통되고, 상기 외부 케이싱의 내부에 위치하는 공동(cavity), 및 상기 외부 케이싱의 벽두께 방향으로 상기 공동에 연통되어 있는 슬롯(slot)를 포함하며, 상기 외부 케이싱에서 상기 홈과 상기 공동이 연통되는 부위의 간격은, 상기 내부 케이싱의 두께와 일치하는 케이싱 트리트먼트를 활용한 축류 압축기의 스톨 억제 장치를 개시하고 있다. 그러나, 상기 문헌에는 단일 효율의 저하를 최소화하면서도 스톨 효율을 개선할 수 있는 구성에 대하여 개시하고 있지 않은 문제점이 있다.

[0023] 이에 본 발명의 발명자들은 스톨 마진을 개선하면서도, 단일 효율 저하를 최소화할 수 있는 구성을 연구하여 본 발명을 도출하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0025] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-1025867호
(특허문헌 0002) 한국 등록특허 제10-1401328호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0026] 본 발명의 목적은 케이싱 그루브와 재순환 채널을 포함하는 축류 압축기를 제공하는데 있다.

[0028] 본 발명의 다른 목적은 축류 압축기의 스톨마진을 향상시키는 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0030] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은

[0031] 회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브;

[0032] 상기 케이싱 그루브의 원호상에 배치되고, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유도하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널;을 포함하고,

[0033] 상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출

부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하고,

[0034] 상기 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하고,

[0035] 상기 재순환 채널은 케이싱 그루브 영역에서 발생하는 2차 누출 흐름을 제어하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기를 제공한다.

[0037] 또한, 본 발명은 상기 목적을 달성하기 위하여

[0038] 축류 압축기의 회전자 쉬라우드 표면에, 블레이드의 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 형성하는 단계;

[0039] 상기 케이싱 그루브의 원호상에, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유도하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널을 형성하는 단계;를 포함하고,

[0040] 상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법을 제공한다.

발명의 효과

[0042] 본 발명에 따르면, 케이싱 그루브에 의하여 팁 누출 흐름이 제어되고, 재순환 채널을 통하여 그루브 영역의 2차 누출 와류가 제어되어, 단열 효율의 저하를 최소화하면서도 스톨 마진을 크게 개선할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0044] 도 1은 본 발명의 일 구체예에 따른 축류 압축기 중 케이싱 그루브와 재순환 채널을 확대하여 보여주는 개략도이고,

도 2는 케이싱 그루브와 재순환 채널의 연결관계를 확인하기 위한 도 1의 단면도이고,

3은 본 발명의 일 구체예에 따른 축류 압축기의 단면도이고,

도 4는 본 발명의 일 구체예에 따른 축류 압축기에 포함되는 케이싱 그루브와 재순환 채널의 설계 변수들을 보여주는 개략도이고,

도 5는 본 발명의 일 구체예에 따른 축류 압축기의 유체역학적 분석을 위하여 도출된 축류 압축기를 시뮬레이션한 개략도이고,

도 6은 NASA Stage 37 압축기를 위한 수치 결과의 유효성을 보여주는 그래프이고,

도 7은 재순환 채널과 케이싱 그루브를 위한 그리드 컨버전스 그래프이고,

도 8은 본 발명에 따른 일 구체예의 축류 압축기의 유체역학적 퍼포먼스에 대한 케이싱 처리의 효과를 보여주는 그래프이고,

도 9는 케이싱 그루브의 전단부 위치가 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고,

도 10은 케이싱 그루브의 후단부 위치가 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고,

도 11은 케이싱 그루브의 홈 깊이가 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고,

도 12는 재순환 채널이 케이싱 그루브를 원주방향으로 커버하는 영역인 중심각이 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고,

도 13은 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 주입각이 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고,

도 14는 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 배출각이 NASA Stage 37의 유체역학적 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여주는 그래프이고, 및

도 15는 각 설계변수들이 축류 압축기의 퍼포먼스에 미치는 영향력의 민감도를 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명은 축류 압축기에 관한 것으로, 구체적으로는 스톨마진 개선을 위하여 케이싱 그루브와 재순환 채널을 포함하는 축류 압축기에 관한 것이다.

이하에서 구체적으로 설명되는 구성 외의 축류 압축기를 이루는 구성들은 통상적인 축류 압축기의 구성과 동일하거나, 통상의 기술자가 치환, 수정, 변경할 수 있는 구성들이므로, 구체적인 설명에서는 제외한다.

본 발명에서 축류 압축기의 성능 향상 또는 개선은 스톨 마진(stall margin)의 개선, 안정 범위 확장(stable range extension) 등을 의미한다. 즉, 압축기의 압력과 효율의 저하를 억제하면서 스톨 마진을 향상시켜, 운전 안정성을 향상시키고, 압축기를 안정적으로 운영할 수 있는 유량의 범위가 증가하는 것을 의미한다.

본 발명에서 사용되는 압력비율(PR), 단열 효율(η), 스톨마진(SM)과 안정범위 확장(SRE)은 다음의 식에 의하여 계산되는 값이다:

$$PR = \frac{p_{t,out}}{p_{t,in}}$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{p_{t,out}}{p_{t,in}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\frac{T_{t,out}}{T_{t,in}} - 1} \times 100\%$$

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

$$SRE = \frac{(\dot{m}_{choke} - \dot{m}_{NS})_{CT} - (\dot{m}_{choke} - \dot{m}_{NS})_{SC}}{(\dot{m}_{choke} - \dot{m}_{NS})_{SC}} \times 100\%$$

(상기 식에서, p_t , T_t , 및 $\dot{m}$ 는 각각 총 압력, 총 온도, 및 정규화된 메스플로우 레이트이고, 밀침자 out과 in은 각각 압축기의 배출부 및 도입부를 의미하고, 밀침자 peak, NS, 및 choke는 각각 피크 단열 효율 컨디션, 니어스톨 컨디션, 및 초크 컨디션을 의미한다. 또한 밀침자 CT 및 SC는 각각 케이싱 처리 및 미처리 케이싱을 의미한다.).

보다 구체적으로는 본 발명은

회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브;

- [0058] 상기 케이싱 그루브의 원호상에 배치되고, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널;을 포함하고,
- [0059] 상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하고,
- [0060] 상기 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하고,
- [0061] 상기 재순환 채널은 케이싱 그루브 영역에서 발생하는 2차 누출 흐름을 제어하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기를 제공한다.
- [0063] 이하 본 발명의 축류 압축기를 각 구성별로 상세히 설명한다.
- [0065] 본 발명의 축류 압축기는 케이싱 그루브를 포함하며, 이는 회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 포함한다. 본 발명의 도 1에 예시적인 본 발명의 케이싱 그루브가 도시되어 있다. 도 1에서 400번 구성이 케이싱 그루브이고, 회전자 블레이드(100)의 팁 상부에 배치되어 있고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한 본 발명의 도 2에서 예시적으로 도시된 단면을 보면, 케이싱 그루브의 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상으로 홈이 형성되어 있음을 알 수 있다. 상기 형상 및 배치를 갖는 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하여 축류 압축기의 안정성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 이 경우 케이싱 그루브로 도입되지 않는 유출 플로우의 일부가 하류의 유출 플로우와 상호작용을 하게 되고, 이에 따라 2차 누출 와류가 형성되어 축류 압축기의 효율성이 저하될 수 있는 문제점이 있다.
- [0067] 이를 해결하기 위하여 본 발명의 축류 압축기는 상기 케이싱 그루브와 연통하는 재순환 채널을 포함한다.
- [0069] 구체적으로 본 발명의 축류 압축기는 상기 케이싱 그루브의 원호상에 배치되고, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널을 포함한다.
- [0071] 본 발명의 예시적인 구조를 보여주는 도 1 및 도 2에는 재순환 채널(500)이 도시되어 있다. 본 발명의 재순환 채널(500)은 케이싱 그루브(400)의 원호상에 배치되고 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 공기가 흐를 수 있도록 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 배출되는 공기가 유입되는 배출부(501)와, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부(502), 나아가, 배출부(501)를 통하여 유입된 공기가 주입부(502)로 순환 유동하는 순환 유로(503)를 포함한다. 이를 통하여 케이싱 그루브로 유입된 공기가 재순환 채널을 통하여 다시 공기 유입의 전면으로 공급되어, 2차 누출 와류에 따른 압축기의 효율성 저하를 방지하는 효과가 있다.
- [0073] 한편, 본 발명의 축류 압축기에 포함되는 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 측면부가 케이싱 그루브 전단부로 정의되고, 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 측면부가 케이싱 그루브 후단부로 정의된다. 즉, 단면이 사다리꼴 형상인 케이싱 그루브에서 재순환 채널의 주입부와 접하여 연통되는 측면부가 케이싱 그루브의 전단부로 정의되고, 재순환 채널의 배출부와 접하여 연통되는 측면부가 케이싱 그루브의 후단부로 정의된다.

- [0075] 다음으로, 본 발명의 축류 압축기에서 상기 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하여 축류 압축기의 성능을 향상시키고, 상기 재순환 채널은 케이싱 그루브 영역에서 발생하는 2차 누출 흐름을 제어하여 축류 압축기의 성능을 더욱 향상시키는 효과가 있다.
- [0077] 본 발명의 축류 압축기에 포함되는 케이싱 그루브 및 재순환 채널의 설계 변수는 다음과 같이 정의될 수 있다.
- [0079] 본 발명의 도 4는 케이싱 그루브 및 재순환 채널의 설계 변수 설명을 위하여 예시적으로 간단하게 본 발명의 케이싱 그루브와 재순환 채널의 단면 부분을 도시하고 있고, 이는 본 발명의 도 2의 단면과 동일하다.
- [0081] 도 4를 참조하여 설명하면, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(Chord length)는 C_R 로 표시되었고, 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브의 전단부까지의 거리가 L_F 로 기재되었고, 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브의 후단부까지의 거리가 L_B 로 기재되었다. 다음으로, 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 α 로 표시되었고, 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 β 로 표시되었다. 또한, 도 1을 참조하여 설명하면, 개별 재순환 채널이 원주방향으로 케이싱 그루브를 커버하는 각도로 정의되는 중심각은 γ 로 표시되었다.
- [0083] 한편, 본 발명의 재순환 채널은 케이싱 그루브의 원호상에 배치되면서 단속적으로 복수개가 형성되는 것이 바람직하다. 이는 예시적으로 본 발명의 도 1을 통하여 확인할 수 있다. 도 1에 따르면, 단속적으로 복수개의 재순환 채널이 케이싱 그루브 상에 배치된 것을 알 수 있고, 이때, 단일 재순환 채널이 케이싱 그루브를 커버하는 각도가 γ 임을 알 수 있다.
- [0085] 본 발명의 축류 압축기는 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리의 비가 0.2 내지 0.5인 것이 바람직하다. 상기 거리의 비가 0.2 내지 0.5의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 거리의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히 상기 거리의 비가 0.3, 즉 30 %인 경우 SM 및 SRE에 있어서 가장 우수한 효과가 있다.
- [0087] 다음으로, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 후단부까지의 거리의 비가 0.6 내지 0.9인 것이 바람직하다. 상기 거리의 비가 0.6 내지 0.9의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 거리의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히 상기 거리의 비가 0.7, 즉 70 % 이상인 경우 충분한 SM 및 SRE 효과를 확인할 수 있으며, 그 이상으로 비가 높아진다고 효과의 개선이 더 높게 확인되는 것은 아니다.
- [0089] 다음으로, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 케이싱 그루브의 홈의 깊이의 비가 0.02 내지 0.05인 것이 바람직하다. 상기 깊이의 비가 0.02 내지 0.05의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 깊이의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히, 상기 깊이의 비가 0.02, 즉 2% 이상인 경우 충분한 SM 및 SRE 효과를 확인할 수 있으며, 그 이상으로 비가 높아진다고 효과의 개선이 더 높게 확인되는 것은 아니며, 오히려 지나치게 높이의 비가 높아지는 경우, 효과가 저하될 수 있고, 또한, 단열 효율과 총 압력비율을 고려하면, 상기 비율을 지나치게 높게 하지 않는 것이 바람직하다.

- [0091] 본 발명의 축류 압축기에 있어서, 상기 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 30 내지 60 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 30 내지 60 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 30 ° 를 초과하는 경우에도 30 ° 인 경우와 비교하여 그 효과가 현저히 개선되는 것은 아니다.
- [0093] 본 발명의 축류 압축기에 있어서, 상기 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 45 내지 90 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 45 내지 90 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 45 ° 를 초과하는 경우에도 45 ° 인 경우와 비교하여 그 효과가 현저히 개선되는 것은 아니다.
- [0095] 한편, 본 발명의 축류 압축기에 포함되는 재순환 채널이 상기 케이싱 그루브의 원호상에 단속적으로 복수개가 형성되는 경우, 단일 재순환 채널이 케이싱 그루브 표면을 커버하는 영역으로 정의되는 중심각은 4 내지 8 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 4 내지 8 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 4 ° 를 초과하는 경우에도 4 ° 인 경우와 비교하여 스톨 마진의 효과가 현저히 개선되는 것은 아니나, 안정 범위 확장은 상기 각도가 증가할수록 그 효과도 증가할 수 있다.
- [0097] 이하 본 발명의 축류 압축기를 도면을 통하여 그 구성 및 연결관계를 보다 구체적으로 설명한다. 이하의 설명은 본 발명의 축류 압축기를 예시적으로 설명하는 것이고, 통상의 기술자가 고려할 수 있는 범위 내에서, 각 구성들의 형상 및 연결관계는 확장이 가능하기 때문에, 이하의 설명에 의하여 본 발명의 권리범위가 한정되어 해석되는 것을 의도하지는 않는다.
- [0099] 도 1 및 도 2는 본 발명의 축류 압축기 중 회전자 블레이드(100), 그 팁 상부에 배치되고 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되는 케이싱 그루브(400), 상기 케이싱 그루브(400)의 원호상에 배치되고, 케이싱 그루브(400)의 양측면부와 연통되고, 배출부(501), 주입부(502), 및 순환 유로(503)를 포함하는 재순환 채널(500)을 개시하고 있다. 특히, 도 1에 따르면, 본 발명의 재순환 채널이 단속적으로 복수개로 형성되어 케이싱 그루브 상에 배치되고 있는 일 예를 확인할 수 있다. 또한, 도 2에 따르면, 본 발명의 케이싱 그루브가 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상으로 홈을 갖는다는 것을 알 수 있다.
- [0101] 도 1 및 도 2에서 공기의 흐름은 케이싱 그루브(400)로 유입된 공기는 케이싱 그루브의 후단부를 통하여 이와 연통되는 재순환 채널(500)의 배출부(501)로 도입되고, 순환 유로(503)를 통하여 유동하여 재순환 채널의 주입부(502)로 이동하여, 이와 연통되는 케이싱 그루브의 전단부를 통하여 케이싱 그루브 내로 다시 주입되게 된다. 이와 같은 공기의 순환을 통하여 그루브 영역에서의 2차 누출 와류로부터 비롯되는 축류 압축기의 효율 저하를 억제할 수 있다.
- [0103] 본 발명의 축류 압축기는 회전자 쉬라우드 표면에 케이싱 그루브를 포함하고, 이와 연통되는 재순환 채널을 포함함으로써, 케이싱 그루브와 재순환 채널을 포함하지 않는 경우, 케이싱 그루브를 포함하되 재순환 채널을 포함하지 않는 경우, 나아가 재순환 채널을 포함하되 케이싱 그루브를 포함하지 않는 경우와 비교하여 스톨마진의 개선되고, 나아가 단열 효율이 개선되는 효과가 있다.
- [0105] 또한 본 발명은 축류 압축기의 스톨마진을 향상시키는 방법을 제공한다. 특히, 본 발명은 단열 효율의 저하를 억제하면서 축류 압축기의 스톨마진을 향상시키는 방법을 제공한다.

- [0107] 구체적으로 본 발명은
- [0108] 축류 압축기의 회전자 쉬라우드 표면에, 블레이드의 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 형성하는 단계;
- [0109] 상기 케이싱 그루브의 원호상에, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널을 형성하는 단계;를 포함하고,
- [0110] 상기 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 케이싱 그루브 전단부 및 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 케이싱 그루브 후단부를 포함하는 것을 특징으로 하는 축류 압축기의 성능 향상방법을 제공한다.
- [0112] 이하 본 발명의 성능 향상방법을 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0114] 본 발명의 성능 향상방법은 축류 압축기의 회전자 쉬라우드 표면에, 블레이드의 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 형성하는 단계를 포함한다.
- [0116] 본 발명의 축류 압축기의 회전자 쉬라우드 표면에 케이싱 그루브를 형성하는 단계로, 이는 회전자 블레이드의 팁 상부에 배치되고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되며, 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상인 홈을 갖는 케이싱 그루브를 형성한다. 본 발명의 도 1에 예시적인 본 발명의 케이싱 그루브가 도시되어 있다. 도 1에서 400번 구성이 케이싱 그루브이고, 회전자 블레이드(100)의 팁 상부에 배치되어 있고, 원주방향으로 연장되어 고리형태로 형성되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한 본 발명의 도 2에서 예시적으로 도시된 단면을 보면, 케이싱 그루브의 원주방향에 수직인 단면이 상부가 하부보다 좁은 사다리꼴 형상으로 홈이 형성되어 있음을 알 수 있다. 상기 형상 및 배치를 갖는 케이싱 그루브는 회전자 블레이드의 팁 누출 흐름을 제어하여 축류 압축기의 안정성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 이 경우 케이싱 그루브로 도입되지 않는 유출 플로우의 일부가 하류의 유출 플로우와 상호작용을 하게 되고, 이에 따라 2차 누출 와류가 형성되어 축류 압축기의 효율성이 저하될 수 있는 문제점이 있다.
- [0118] 이를 해결하기 위하여 본 발명의 성능 향상방법은 상기 케이싱 그루브와 연통하는 재순환 채널을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0120] 구체적으로 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법은 상기 케이싱 그루브의 원호상에, 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 나온 공기가 유입되는 배출부, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부, 및 배출부로 유입된 공기가 주입부로 순환 유동하는 순환 유로를 포함하는 재순환 채널을 형성하는 단계를 포함한다.
- [0122] 본 발명의 예시적인 구조를 보여주는 도 1 및 도 2에는 재순환 채널(500)이 도시되어 있다. 본 발명의 재순환 채널(500)은 케이싱 그루브(400)의 원호상에 배치되고 상기 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 양측면부와 공기가 흐를 수 있도록 연통되고, 케이싱 그루브의 사다리꼴 형상의 일측면부에서 배출되는 공기가 유입되는 배출부(501)와, 공기를 사다리꼴 형상의 타측면부로 주입하는 주입부(502), 나아가, 배출부(501)를 통하여 유입된 공기가 주입부(502)로 순환 유동하는 순환 유로(503)를 포함한다. 이를 통하여 케이싱 그루브로 유입된 공기가 재순환 채널을 통하여 다시 공기 유입의 전면으로 공급되어, 2차 누출 와류에 따른 압축기의 효율성 저하를 방지하는 효과가 있다.

- [0124] 한편, 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에서 형성되는 케이싱 그루브는 상기 재순환 채널의 주입부와 접하는 측면부가 케이싱 그루브 전단부로 정의되고, 상기 재순환 채널의 배출부와 접하는 측면부가 케이싱 그루브 후단부로 정의된다. 즉, 단면이 사다리꼴 형상인 케이싱 그루브에서 재순환 채널의 주입부와 접하여 연통되는 측면부가 케이싱 그루브의 전단부로 정의되고, 재순환 채널의 배출부와 접하여 연통되는 측면부가 케이싱 그루브의 후단부로 정의된다.
- [0126] 한편, 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에서 축류 압축기에 포함되는 케이싱 그루브 및 재순환 채널의 설계 변수는 다음과 같이 정의될 수 있다.
- [0128] 본 발명의 도 4는 케이싱 그루브 및 재순환 채널의 설계 변수 설명을 위하여 예시적으로 간단하게 본 발명의 케이싱 그루브와 재순환 채널의 단면 부분을 도시하고 있고, 이는 본 발명의 도 2의 단면과 동일하다.
- [0130] 도 4를 참조하여 설명하면, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(Chord length)는 C_R 로 표시되었고, 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브의 전단부까지의 거리가 L_F 로 기재되었고, 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브의 후단부까지의 거리가 L_B 로 기재되었다. 다음으로, 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 α 로 표시되었고, 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 β 로 표시되었다. 또한, 도 1을 참조하여 설명하면, 개별 재순환 채널이 원주방향으로 케이싱 그루브를 커버하는 각도로 정의되는 중심각은 γ 로 표시되었다.
- [0132] 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에서 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리의 비가 0.2 내지 0.5인 것이 바람직하다. 상기 거리의 비가 0.2 내지 0.5의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 거리의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히 상기 거리의 비가 0.3, 즉 30 %인 경우 SM 및 SRE에 있어서 가장 우수한 효과가 있다.
- [0134] 다음으로, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 후단부까지의 거리의 비가 0.6 내지 0.9인 것이 바람직하다. 상기 거리의 비가 0.6 내지 0.9의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 거리의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히 상기 거리의 비가 0.7, 즉 70 % 이상인 경우 충분한 SM 및 SRE 효과를 확인할 수 있으며, 그 이상으로 비가 높아진다고 효과의 개선이 더 높게 확인되는 것은 아니다.
- [0136] 다음으로, 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)에 대한 케이싱 그루브의 홈의 깊이의 비가 0.02 내지 0.05인 것이 바람직하다. 상기 깊이의 비가 0.02 내지 0.05의 범위에서 스톨 마진(SM) 개선의 효과 및 안정범위 확장(SRE)의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 그 깊이의 비가 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 특히, 상기 깊이의 비가 0.02, 즉 2% 이상인 경우 충분한 SM 및 SRE 효과를 확인할 수 있으며, 그 이상으로 비가 높아진다고 효과의 개선이 더 높게 확인되는 것은 아니며, 오히려 지나치게 높이의 비가 높아지는 경우, 효과가 저하될 수 있고, 또한, 단열 효율과 총 압력비를 고려하면, 상기 비율을 지나치게 높게 하지 않는 것이 바람직하다.
- [0138] 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에 있어서, 상기 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는

각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도는 30 내지 60 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 30 내지 60 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 30 ° 를 초과하는 경우에도 30 ° 인 경우와 비교하여 그 효과가 현저히 개선되는 것은 아니다.

[0140] 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에 있어서, 상기 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 채널 배출부 각도는 45 내지 90 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 45 내지 90 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 45 ° 를 초과하는 경우에도 45 ° 인 경우와 비교하여 그 효과가 현저히 개선되는 것은 아니다.

[0142] 한편, 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에서 형성되는 재순환 채널이 상기 케이싱 그루브의 원호상에 단속적으로 복수개가 형성되는 경우, 단일 재순환 채널이 케이싱 그루브 표면을 커버하는 영역으로 정의되는 중심 각은 4 내지 8 ° 인 것이 바람직하다. 상기 각도가 4 내지 8 ° 의 범위에서 조절되는 경우 SM 개선의 효과 및 SRE의 효과를 충분히 확인할 수 있으며, 상기 범위를 벗어나는 경우 스톨 마진 개선 효과 및 안정 범위 확장의 효과가 충분하지 못한 문제가 있다. 다만, 상기 각도가 4 ° 를 초과하는 경우에도 4 ° 인 경우와 비교하여 스톨 마진의 효과가 현저히 개선되는 것은 아니나, 안정 범위 확장은 상기 각도가 증가할수록 그 효과도 증가할 수 있다.

[0144] 본 발명의 축류 압축기의 성능 향상방법에 따르면 회전자 쉬라우드 표면에 케이싱 그루브를 형성하는 단계와, 이와 연통하는 재순환 채널을 형성하는 단계를 포함함으로써, 단열 효율이 저하되는 것은 억제하면서도 축류 압축기의 성능, 즉 스톨마진의 개선과 안정범위 연장의 효과를 극대화할 수 있는 효과가 있다.

[0146] 이하, 실험예를 통하여 본 발명을 보다 구체적으로 설명하고, 본 발명의 효과에 대하여 설명한다. 이하의 실험예는 본 발명의 구성과 효과를 구체적으로 설명하고자 하는 것일 뿐, 이하의 기재에 의하여 본 발명의 구성이나 효과가 한정되어 해석되는 것을 의도하는 것은 아니다.

[0148] <실험예 1>

[0149] NASA Stage 37에 대한 수치모델은 Dinh et al.(C. T. Dinh, S. B. Ma, and K. Y. Kim, "Effects of a circumferential feed-back channel on aerodynamic performance of a single-stage transonic axial compressor," in *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, 2017, vol. 2A-2017, doi: 10.1115/GT201763536.)에서 검증되었고, 본 발명에서도 동일 모델이 사용되었다. 도 6은 케이싱 그루브와 재순환 채널을 포함하지 않는 퍼포먼스 커브와 관련하여 Reid and Moore(L. Reid and R. D. Moore, "Design and overall performance of four highly loaded, high speed inlet stages for an advanced high-pressure-ratio core compressor," *NASA Tech. Pap.* 1337, 1978)에서 도출된 수치결과와 실험 데이터를 비교하고 있다. 도 6을 통하여, 총 압력 비율과 단열 효과에 있어서 수치 결과가 측정된 데이터와 충분히 일치한다는 것을 알 수 있다.

[0151] 본 발명에서 사용된 그리드 시스템의 컨버전스(convergence)를 평가하기 위하여, Richardson 외삽에 기초한 그리드 컨버전스 인덱스(GCI)가 분석되었다. 이 방법은 그리드-독립 솔루션을 위한 영역에서 일반적으로 사용된다. 우선, 케이싱 그루브를 위한 그리드는 G2로 고정된 상태에서, 재순환 채널을 위한 그리드 컨버전스 테스트가 수행된다. 채널을 위한 최적의 그리드가 도출되면, 동일한 절차를 통하여 채널을 위한 최적의 그리드를 사용하여 케이싱 그루브를 위한 테스트가 수행된다.

[0153] 이하의 표 1과 표 2는 각각 재순환 채널과 케이싱 그루브를 위한 GCI 분석의 결과이다. 도 7에서, 계산된 스

톨 마진은 재순환 채널과 그루브 모두에 대하여 엘리먼트의 수가 증가함에 따라 감소한다. 결과에 따르면 계산된 스톨 마진이 수용 가능한 오차 내로 수렴하기 때문에(표 1), RE2가 추가적인 계산을 위하여 선택되었다. 표 2에 나타난 결과로부터, G2가 동일한 이유로 선택되었다.

표 1

[0155]

표 1: 재순환 채널을 위한 그리드 컨버전스 분석		
엘리먼트 수	RE1/RE2/RE3	109005/ 67080/ 41925
그리드 개선 팩터	r21/r32	1.56/1.5
RE1/RE2/RE3에 상응하는 스톨마진	SM1/SM2/SM3	13.473/13.479/13.553
어패런트 오더(Apparent order)	p	5.32
외삽 값	ϕ_{ext}^{21}	13.47
추정된 상대 오차	e_a^{21}	0.0453%
외삽된 상대 오차	e_{ext}^{21}	0.0037%
그리드 컨버전스 인덱스	GCI_{fine}^{21}	0.0046%

표 2

[0157]

표 2: 케이싱 그루브를 위한 그리드 컨버전스 분석		
엘리먼트 수	G1/G2/G3	50139/ 30888/ 19305
그리드 개선 팩터	r21/r32	1.56/1.5
RE1/RE2/RE3에 상응하는 스톨마진	SM1/SM2/SM3	13.477/13.479/13.515
어패런트 오더(Apparent order)	p	5.78
외삽 값	ϕ_{ext}^{21}	13.48
추정된 상대 오차	e_a^{21}	0.0177%
외삽된 상대 오차	e_{ext}^{21}	0.0011%
그리드 컨버전스 인덱스	GCI_{fine}^{21}	0.0014%

[0159]

<실험예 2>

[0160]

도 8은 다음의 3가지 케이싱 처리에 따른 압축기의 유체역학적 퍼포먼스를 비교하고 있다:

[0161]

무처리 케이싱(smooth casing)(SC),

[0162]

재순환 채널이 없는 원주방향의 케이싱 그루브(Groove),

[0163]

재순환 채널을 포함하는 원주방향의 케이싱 그루브(REGC).

[0165]

도 8에 따르면, 재순환 채널이 없는 케이싱 그루브와 REGC 모두가 무처리 케이싱과 비교하여 스톨 마진이 증가함을 알 수 있으며, 대신에 단일 효율과 압력 비율이 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. REGC, 케이싱 그루브만 있는 경우, 및 무처리 케이싱의 경우 각각 스톨 마진은 13.48 %, 12.30 %, 및 9.95 %였다. 상기 스톨 마진은 도 8의 총압력 비율값과 정규화된 질량 유속값을 상기 스톨마진(SM) 계산식에 대입하여 계산되었다. 재순환 채널을 더 포함함으로써, REGC는 재순환 채널이 없고 케이싱 그루브만 있는 경우와 비교하여 더 높은 스톨 마진을 보여주고, 또한 효율 저하는 억제되는 것을 확인할 수 있다.

- [0167] <실험예 3>
- [0168] 축류 압축기 구성의 설계 변수값들을 변경하면서, 해당 변수값의 변화가 축류 압축기에 미치는 영향을 확인하였다.
- [0170] 본 발명의 REGC에서 6개의 설계변수에 대하여 그 값을 변화시키면서 이에 따른 축류 압축기의 퍼포먼스를 확인하였다. 설계변수는 다음과 같으며, 도 4에 표시된 바와 같다.
- [0171] L_F : 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 전단부까지의 거리
- [0172] L_B : 회전자 블레이드의 앞 가장자리로부터 케이싱 그루브 후단부까지의 거리
- [0173] C_R : 회전자 블레이드의 현의 길이로 정의되는 시위 길이(chord length)
- [0174] W_G : 케이싱 그루브의 하면으로부터 상면까지의 길이로 정의되는 홈의 깊이
- [0175] α : 재순환 채널로부터 케이싱 그루브로 공기가 주입되는 각도로 정의되는 재순환 채널 주입부 각도
- [0176] β : 케이싱 그루브로부터 재순환 채널로 공기가 배출되는 각도로 정의되는 재순환 배출부 각도
- [0177] γ : 개별 재순환 채널이 원주방향으로 케이싱 그루브를 커버하는 각도로 정의되는 중심각
- [0179] 상기 설계변수들의 변화값의 범위는 다음의 표 3과 같다.

표 3

설계변수	$L_F/C_R(\%)$	$L_B/C_R(\%)$	$W_G/C_R(\%)$	$\gamma(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$
하한	20	30	2	4	30	45
상한	50	90	5	8	60	90

- [0183] 도 9는 압축기의 유체역학적 퍼포먼스에 있어서, L_F 의 영향을 보여준다. 도 9에 따르면, 스톨마진과 안정범위 연장의 최대값은 $L_F/C_R = 30\%$ 에서 각각 14.18%와 55.42%인 것을 알 수 있다. 즉, 케이싱 그루브의 전단부를 하류로 이동시키에 따라 상기 퍼포먼스 파라미터를 감소시키고, 반면 단일 효율과 총 압력 비율의 피크는 증가시키는 것을 알 수 있다.
- [0185] 도 10에 따르면, L_B/C_R 이 70 내지 90% 범위에서 변함에 따라, 스톨 마진과 안정범위 연장에 있어서 약간의 변화만이 확인된다. 케이싱 그루브의 후단부를 상류로 이동시키는 것은 단일 효율과 압력 상승에 긍정적인 영향을 준다. 도 11에 따르면, 홈의 깊이 변수에 대해서는 유사한 경향이 확인된다. 도 12에 따르면, 원주방향으로 케이싱 그루브를 커버하는 각도는 단일 효율과 스톨마진에 있어서 현저한 효과가 없지만, 그 각도를 현저하게 줄이는 경우 안정범위 연장과 압력 비율이 감소된다.
- [0187] 도 13과 도 14는 재순환 채널 배출부 각도와 재순환 채널 주입부 각도가 압축기의 퍼포먼스에 미치는 영향을 보여준다. 상기 두가지 변수는 압축기의 단일 효율에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나, 주입부 각도를 증가시키고, 배출부 각도를 감소시키는 경우 스톨마진과 안정범위 연장의 면에서 약간의 개선을 확인할 수 있다.

[0189] 상기 각 설계변수들에 대하여, 스톨 마진과 단열 효율의 민감도를 도 15에 나타내었다. 변수에 대한 대상 기능(function)의 민감도는 해당 변수의 디자인 범위 내에서 이의 최대치와 최소치 사이의 차이에 의하여 정의된다. 도 18에 따르면, 케이싱 그루브의 전단부 및 후단부의 위치가 단열 효율에 있어서 가장 큰 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 스톨 마진의 경우, 케이싱 그루브의 전단부 위치와 원주 방향으로 커버하는 중심각이 가장 영향력 있는 요인임을 알 수 있다. 그러나, 실제 어플리케이션에 있어서 원주방향으로 커버하는 중심각은 기계적인 요구사항에 의하여 제한될 수 있는 문제점이 있다.

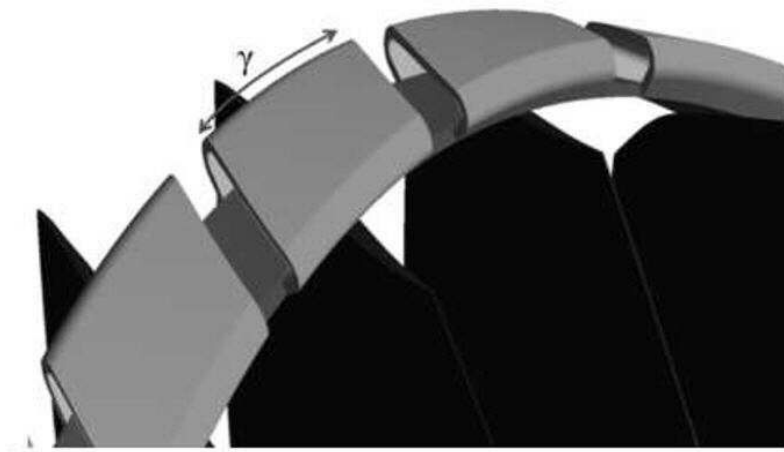
부호의 설명

[0191]

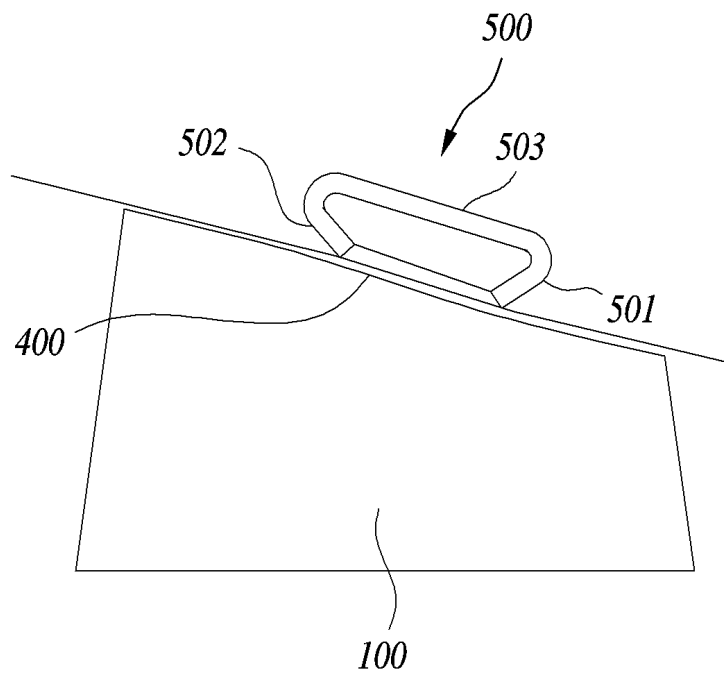
100.....	회전자 블레이드
200.....	고정자 블레이드
300.....	회전자 쉬라우드
400.....	케이싱 그루브
500.....	재순환 채널
501.....	재순환 채널의 배출부
502.....	재순환 채널의 주입부
503.....	재순환 채널의 순환 유로

도면

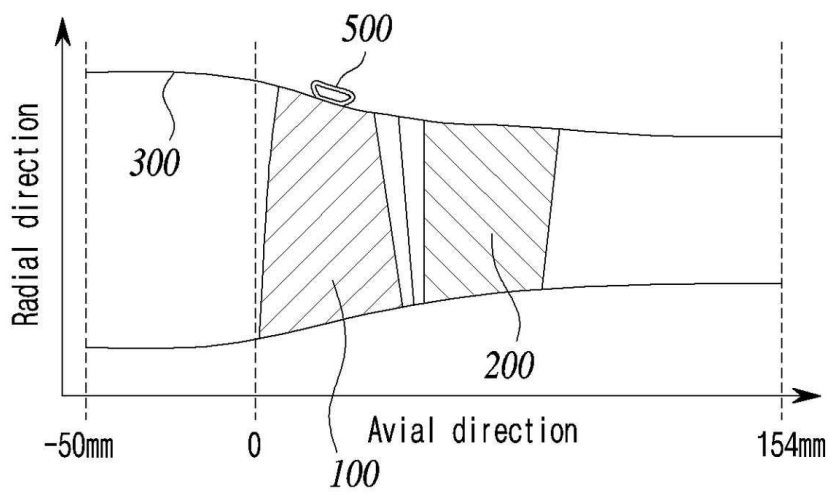
도면1



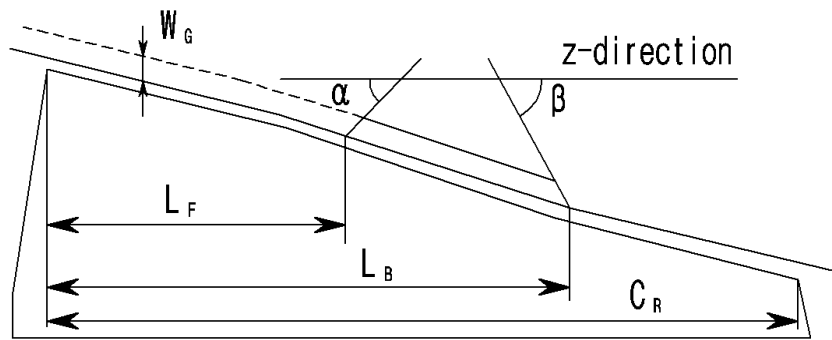
도면2



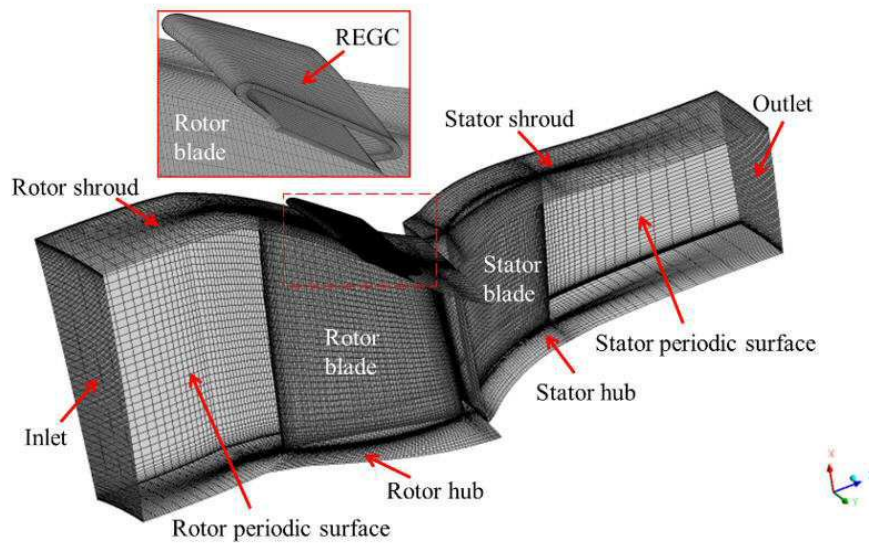
도면3



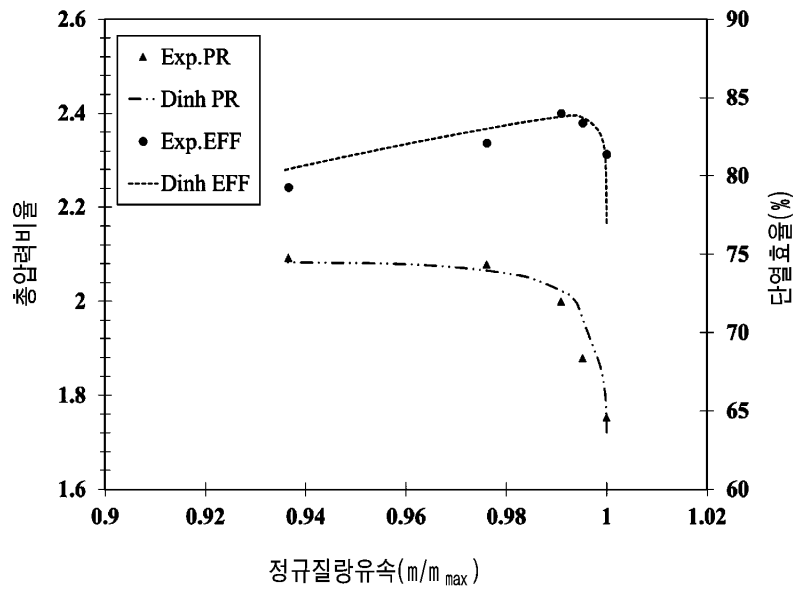
도면4



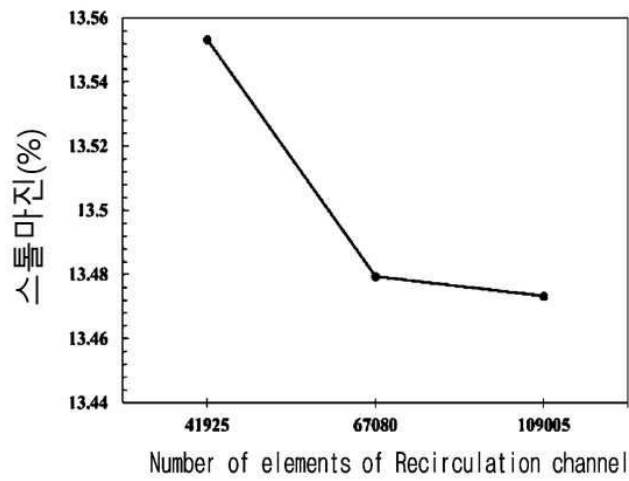
도면5



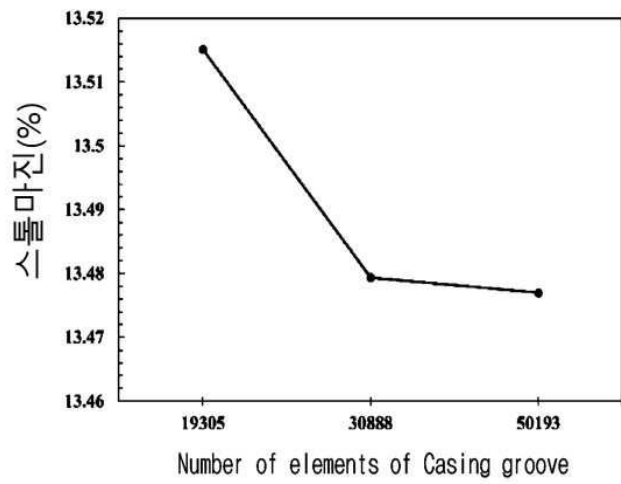
도면6



도면7

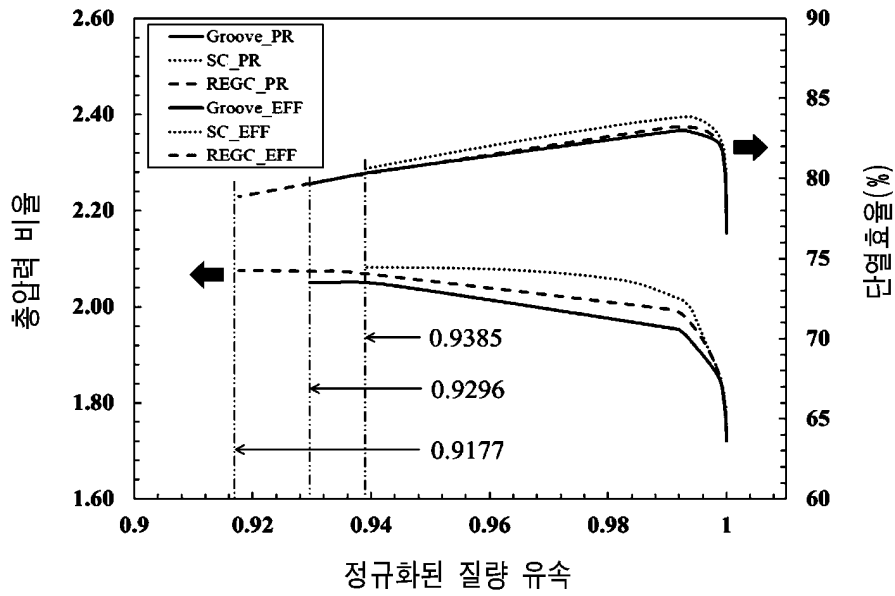


(a) 재순환채널 그리드

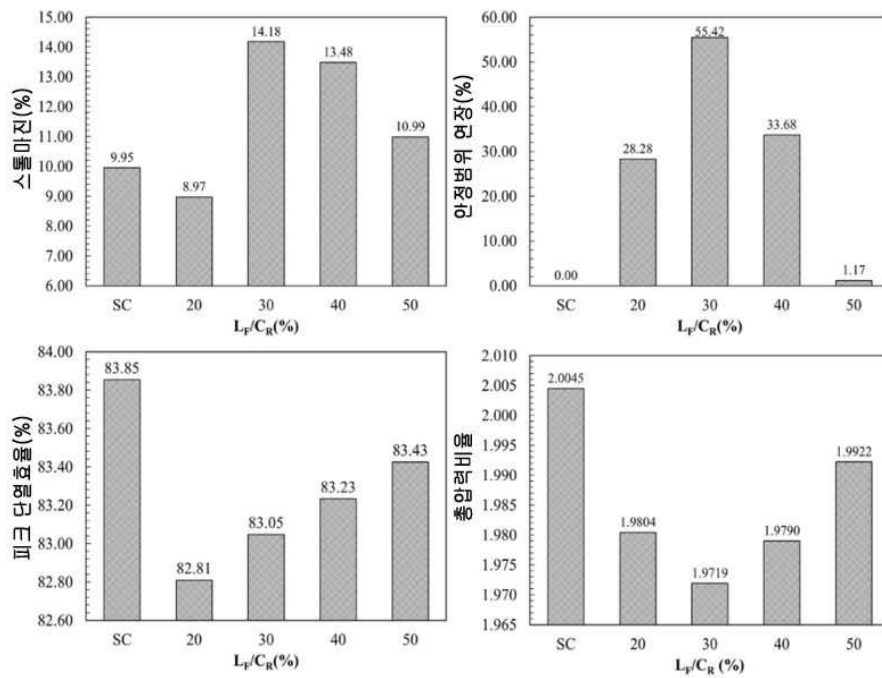


(b) 케이싱그루브 그리드

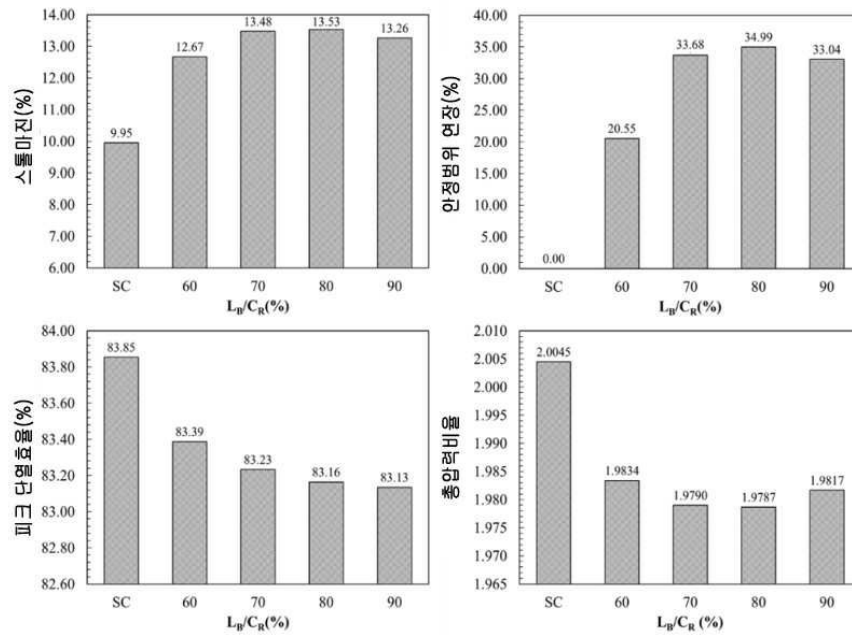
도면8



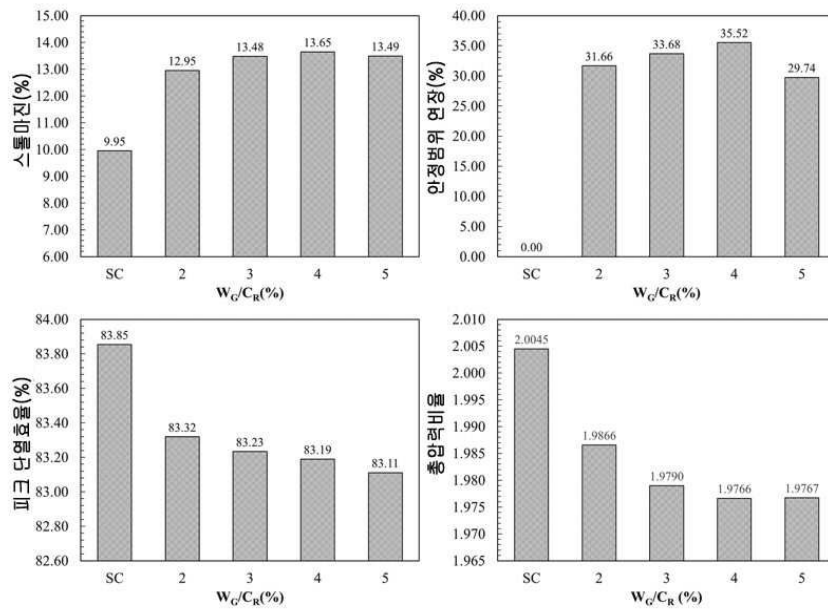
도면9



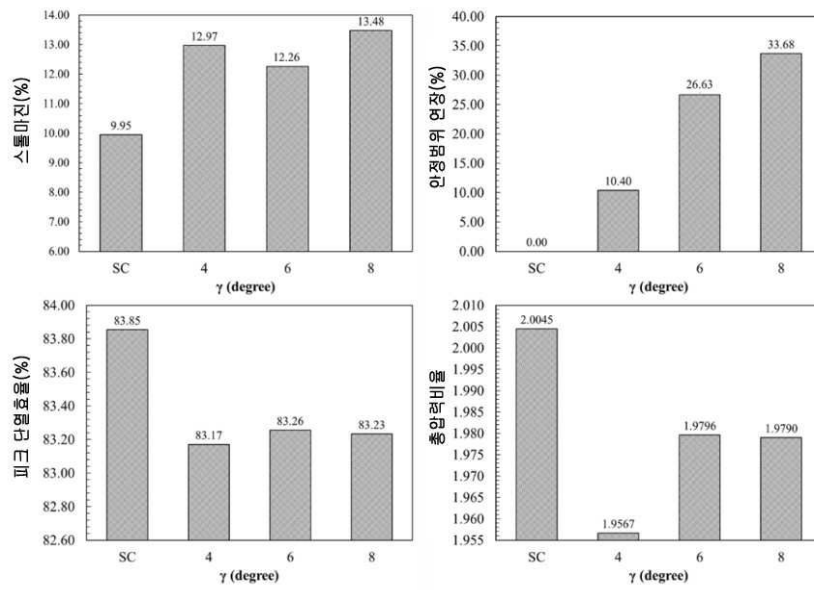
도면10



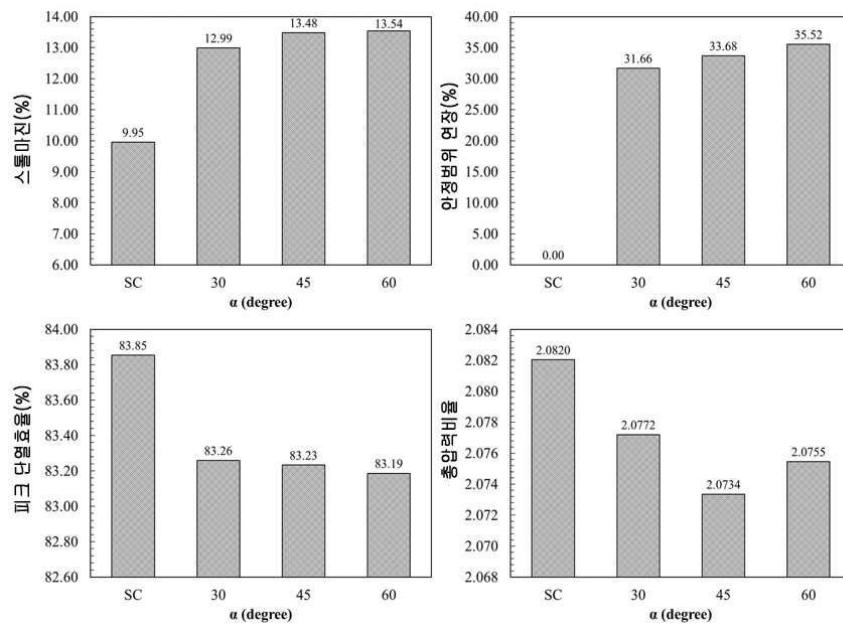
도면11



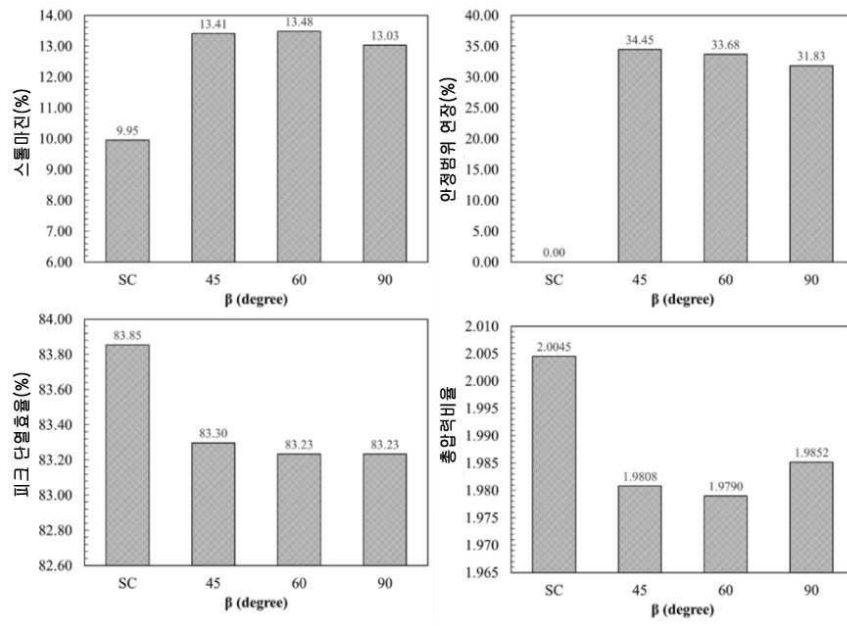
도면12



도면13



도면14



도면15

