



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0131247
(43) 공개일자 2015년11월24일

(51) 국제특허분류(Int. C1.)

F01D 9/04 (2006.01) *F01D 5/14* (2006.01)
F01D 5/16 (2006.01) *F04D 29/42* (2006.01)
F04D 29/44 (2006.01) *F04D 29/54* (2006.01)
F04D 29/68 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F01D 9/041 (2013.01)
F01D 5/142 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-7029103

(22) 출원일자(국제) 2014년01월29일
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2015년10월13일

(86) 국제출원번호 PCT/US2014/013579

(87) 국제공개번호 WO 2014/143426

국제공개일자 2014년09월18일

(30) 우선권주장

13/804,179 2013년03월14일 미국(US)

(71) 출원인

엘리오트 컴퍼니
미합중국 펜실베니아 샐리나 노스 포스 스트리트
901

(72) 발명자

쿠쉬너, 프란시스
미합중국 펜실베니아 15626 텔몬트 써클 드라이브
55

페티나토, 브라이언, 크리스토퍼

미합중국 펜실베니아 15601 그린스버그 사우스필드 드라이브 301

(74) 대리인

특허법인충정

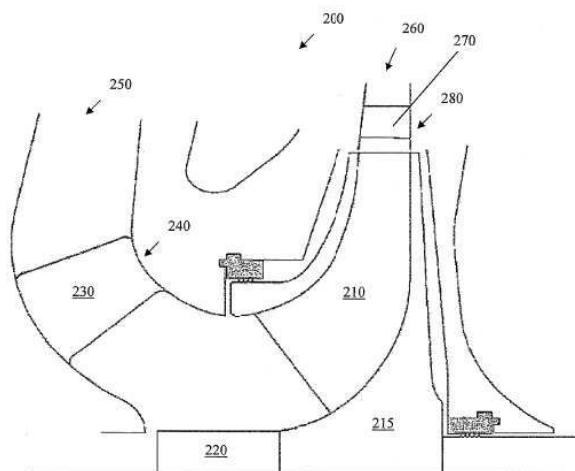
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 상이한 후행 에지 프로파일을 갖는 교호하는 베인을 갖는 베인 장치

(57) 요 약

작동 유체를 터보기계의 입구단으로부터 출구단으로 안내하는 정지형 베인 장치에 있어서, 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 정지형 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인(230)으로서, 각 정지형 베인(230)은 후행 에지(310)에 반대되는 선행 에지(320)와, 선행 에지 및 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)을 갖는, 복수의 정지형 베인(230)을 포함하고, 정지형 베인의 제1 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일(340)을 갖고, 정지형 베인의 제2 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일(330)을 가지며, 후행 에지의 하류측에서의 근본적인 후류 통과 진동수를 최소화하기 위해, 제1 단 프로파일을 갖는 각 정지형 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 정지형 베인 사이에 위치되도록, 정지형 베인이 배치되는, 정지형 베인 장치.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류

F01D 5/145 (2013.01)
F01D 5/16 (2013.01)
F04D 29/4213 (2013.01)
F04D 29/444 (2013.01)
F04D 29/544 (2013.01)
F04D 29/681 (2013.01)
F05D 2240/122 (2013.01)
F05D 2260/961 (2013.01)
Y02T 50/671 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

작동 유체를 터보기계의 입구단으로부터 출구단으로 안내하는 정지형 베인 장치에 있어서,
 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 정지형 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의
 열의 복수의 정지형 베인으로서, 각 정지형 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 상기 선행 에지 및 상기
 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 갖는, 복수의 정지형 베인을 포함하고,
 상기 정지형 베인의 제1 부의 상기 후행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 정지형 베인의 제2 부의 상기 후
 행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며,
 상기 후행 에지의 하류측에서의 근본적인 후류 통과 진동수를 최소화하기 위해, 상기 제1 단 프로파일을 갖는
 각 정지형 베인이 상기 제2 단 프로파일을 갖는 정지형 베인 사이에 위치되도록, 상기 정지형 베인이 배치되는,
 정지형 베인 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 단 프로파일은 실질적으로 둑근 에지를 포함하며, 상기 제2 단 프로파일은 상기 정지형 베인의 상기
 대향하는 종방향 표면에 대하여 각이 진 테이퍼진 끝단을 포함하는, 정지형 베인 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제1 단 프로파일은 상기 스트럿의 상기 대향하는 종방향 표면에 대하여 제1 방향으로 각이 진 테이퍼진 끝
 단을 포함하며, 상기 제2 단 프로파일은 상기 대향하는 종방향 표면에 대하여 제2 방향으로 각이 진 테이퍼진
 끝단을 포함하는, 정지형 베인 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 터보기계의 입구단에 구비되며, 작동 유체를 상기 복수의 정지형 베인으로부터 하류
 측의 회전 블레이드의 열로 향하게 하도록 구성되는, 정지형 베인 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 상기 케이싱을 통하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 등거리로 상기 케
 이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격되는, 정지형 베인 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인의 상기 제1 부는 상기 복수의 정지형 베인의 상기 제2 부에 대하여 상기 케이싱을 통
 과하여 연장되는 종축에 대하여 오프셋되는, 정지형 베인 장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 선형 프로파일을 갖는, 정지형 베인 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 유선형 프로파일을 갖는, 정지형 베인 장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인으로부터 하류측에 구비되는 복수의 회전 블레이드를 갖는 로터를 더 포함하며, 상기 복수의 정지형 베인은 작동 유체를 상기 복수의 회전 블레이드로 향하게 하도록 구성되는, 정지형 베인 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 복수의 회전 블레이드의 하류측에 구비되며 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 상기 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 복수의 디퓨저 베인을 선택적으로 갖는 디퓨저를 더 포함하고, 각 디퓨저 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 상기 선행 에지 및 상기 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 가지며, 상기 디퓨저 베인의 제1 부의 상기 선행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 디퓨저 베인의 제2 부의 상기 선행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며, 상기 디퓨저 베인은 제1 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 인접하게 구비되도록 배치되는, 정지형 베인 장치.

청구항 11

청구항 4에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 상기 케이싱을 통과하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 동일하지 않은 거리로 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격되는, 정지형 베인 장치.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

상기 복수의 디퓨저 베인은 상기 케이싱을 통과하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 동일하지 않은 거리로 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격되는, 정지형 베인 장치.

청구항 13

케이싱의 종축을 따라 출구단에 반대되는 입구단을 갖는 케이싱;

상기 케이싱 내에 구비되며 상기 입구단 및 상기 출구단 사이에서 연장되는 샤프트 조립체;

상기 샤프트 조립체로부터 반경방향 외측으로 연장되는 복수의 회전 블레이드를 갖는 로터;

상기 로터의 상류측에 구비되는 정지형 베인 장치를 포함하고,

상기 정지형 베인 장치는:

상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 상기 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인으로서, 각 정지형 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 상기 선행 에지 및 상기 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 갖는, 복수의 정지형 베인을 포함하고,

상기 정지형 베인의 제1 부의 상기 후행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 정지형 베인의 제2 부의 상기 후행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며,

상기 정지형 베인은 상기 제1 단 프로파일을 갖는 정지형 베인이 상기 제2 단 프로파일을 갖는 스트럿에 인접하게 구비되도록 배치되는, 터보기계.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 상기 터보기계의 입구단에 구비되며, 작동 유체를 상기 복수의 정지형 베인으로부터 하류측의 회전 블레이드의 열로 향하게 하도록 구성되는, 터보기계.

청구항 15

청구항 13에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 상기 케이싱을 통과하여 연장되는 종축에 대하여 동일한 각도 위치에서 배향되는, 터보기계.

청구항 16

청구항 13에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 선형 프로파일을 갖는, 터보기계.

청구항 17

청구항 13에 있어서,

상기 복수의 정지형 베인은 유선형 프로파일을 갖는, 터보기계.

청구항 18

청구항 13에 있어서,

상기 복수의 회전 블레이드의 하류측에 구비되며 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 상기 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 복수의 디퓨저 베인을 선택적으로 갖는 디퓨저를 더 포함하고, 각 디퓨저 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 상기 선행 에지 및 상기 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 가지며, 상기 디퓨저 베인의 제1 부의 상기 선행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 디퓨저 베인의 제2 부의 상기 선행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며, 상기 디퓨저 베인은 제1 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 인접하게 구비되도록 배치되는, 터보기계.

청구항 19

청구항 17에 있어서,

상기 복수의 디퓨저 베인은 상기 케이싱을 통과하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 등거리로 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격되는, 터보기계.

청구항 20

케이싱의 종축을 따라 출구단에 반대되는 입구단을 갖는 케이싱;

상기 케이싱 내에 구비되며 상기 입구단 및 상기 출구단 사이에서 연장되는 샤프트 조립체;

상기 샤프트 조립체로부터 반경방향 외측으로 연장되는 복수의 회전 블레이드를 갖는 적어도 하나의 로터;

상기 적어도 하나의 로터에 대응하는 적어도 하나의 정지형 베인 장치를 포함하고,

상기 적어도 하나의 정지형 베인 장치는,

상기 적어도 하나의 로터의 상류측에 구비되며 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 상기 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인으로서, 각 정지형 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와 상기 선행 에지 및 상기 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 갖고, 상기 정지형 베인의 제1 부의 상기 후행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 정지형 베인의 제2 부의 상기 후행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며, 상기 정지형 베인은 상기 제1 단 프로파일을 갖는 정지형 베인이 상기 제2 단 프로파일을 갖는 정지형 베인에 인접하게 구비되도록 배치되는, 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인; 및

상기 로터의 하류측에 구비되며 상기 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 상기 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 하나의 열의 복수의 디퓨저 베인을 선택적으로 갖는 적어도 하나의 디퓨저로서, 각 디퓨저 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와 상기 선행 에지 및 상기 후행 에지 사이에서 연장되며 대향하는 종방향 표면을 갖고, 상기 디퓨저 베인의 제1 부의 상기 선행 에지는 제1 단 프로파일을 갖고, 상기 디퓨저 베인의 제2 부의 상기 선행 에지는 상기 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가지며, 상기 디퓨저 베인은 상기 제1 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인이 상기 제2 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 인접하게 구비되도록 배치되는, 적어도 하나의 디퓨저를 더 포함하는, 터보기계.

발명의 설명

기술 분야

[관련출원]

[0002] 본 PCT 출원은 그 개시 전체가 본원에 참조로 포함되는 2013년 3월 14일에 출원된 미국 특허 출원 번호 13/804,179의 우선권을 주장한다.

[기술분야]

[0004] 본 발명은 전반적으로 터보기계에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 정지형 베인으로부터 발산되는(shed-off) 와류의 효과를 감소시킬 뿐만 아니라 유동 및 음향 파동 모두에 대한 기체 유동 흐름을 균일화함으로써 로터 블레이드 및/또는 디스크 여기(excitation)를 감소시키도록 구성되는 터보기계용 정지형 베인 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 원심 유동 압축기(centrifugal flow compressor), 축류 압축기(axial flow compressor) 및 터빈과 같은 터보기계가 다양한 산업에 활용될 수 있다. 특히, 원심 유동 압축기 및 터빈은 발전소, 제트 엔진 응용(jet engine applications), 가스 터빈 및 자동차 응용(automotive applications)에서 광범위한 용도를 갖는다. 또한, 원심 유동 압축기 및 터빈은 보통 공기 분리 플랜트(air separation plants) 및 석유 정제 산업(oil refinery industry)에서 사용되는 고온 기체 팽창기(hot gas expanders)와 같은 대형 산업 응용처에서 사용된다. 또한, 원심 압축기는 정제소(refineries) 및 화학 플랜트(chemical plants)와 같은 대형 산업 응용처에 사용된다.

[0006] 도 1을 참조하면, 종래의 디자인에 따른 다중 스테이지 원심 유동 터보기계(centrifugal-flow turbomachine)(10)가 도시된다. 일부 응용에서, 단일 스테이지가 활용될 수 있다. 이러한 터보기계(10)는 전반적으로 한 쌍의 베어링(40)에 의해 하우징(30) 내에 회전 가능하게 지지되는 샤프트(20)를 포함한다. 도 1에 도시된 터보기계(10)는 작동 유체의 유체 압력을 점진적으로 증가시키기 위해 복수의 스테이지를 포함한다. 각 스테이지는 터보기계(10)의 종축(longitudinal axis)을 따라 연속적으로 배치되며, 스테이지 모두는 동일한 원리로 작동하는 유사한 부품을 가질 수 있거나 가지지 않을 수 있다.

[0007] 도 1을 계속 참조하면, 임펠러(impeller)(50)는 결국 샤프트(20)에 부착되는 임펠러 허브(70)에 둘레방향으로 배치되고 부착되는 복수의 회전 블레이드(60)를 포함한다. 블레이드(60)는 커버 디스크(65)에 선택적으로 부착될 수 있다. 복수의 임펠러(50)는 샤프트(20)의 축방향 길이(axial length)를 따라 다중 스테이지 내에서 이격될 수 있다. 회전 블레이드(60)가 임펠러 허브(70)와 함께 샤프트(20)의 회전에 따라 회전하도록, 회전 블레이드(60)가 임펠러 허브(70)에 고정되게 결합된다. 회전 블레이드(60)가 정지형튜브형 케이싱(stationary tubular casing)에 부착된 복수의 정지형 베인(stationary vane) 또는 스테이터(80)의 하류측에서 회전한다. 혼합 기체와 같은 작동 유체는 샤프트(20)의 축방향으로 터보기계(10)로 유입되고 배출된다. 작동 유체로부터의 에너지는 스테이터(80)에 대한 회전 블레이드(60)의 상태 운동을 일으킨다. 원심 압축기에서, 임펠러(50) 내의 회전 블레이드(60) 사이의 단면적이 입구단으로부터 배출단 쪽으로 감소하여, 작동 유체가 임펠러(50)를 횡단하여 통과하면서 압축된다.

[0008] 도 2를 참조하면, 혼합 기체와 같은 작동 유체가 터보기계(10)의 입구단(90)으로부터 출구단(100)으로 이동한다. 입구단(90)에 구비된 하나의 열의 스테이터(a row of stators)(80)가 작동 유체를 터보기계(10)의 출구단(100)에 구비된 하나의 열의 회전 블레이드(60) 내로 전달(channel)한다. 스테이터(80)는 작동 유체를 회전 블레이드(60)로 전달하기 위해 케이싱 내에서 연장된다. 스테이터(80)는 케이싱의 둘레 주위에서 개별 스트럿 사이에서 등간격으로 둘레방향으로 이격된다. 디퓨저(diffuser)(110)는 회전 블레이드(60)로부터 나오는 유체 유동을 균일화하기 위해 회전 블레이드(60)의 출구에 구비된다. 디퓨저(110)는 케이싱 내에서 연장되는 복수의

디퓨저 베인(120)을 선택적으로 갖는다. 디퓨저 블레이드(120)는 디퓨저 케이싱의 둘레 주위에서 개별 디퓨저 블레이드(120) 사이에서 등간격으로 둘레방향으로 이격된다. 다중 스테이지 터보기계(10)에서, 작동 유체를 다음의 연속적인 스테이지의 회전 블레이드(60)로 전달하기 위해, 복수의 리턴 채널 베인(125)이 터보기계(10)의 출구단(100)에 구비된다. 이러한 실시예에서, 리턴 채널 베인(125)은 터보기계(10)의 제1 스테이지로부터 스테이터(80)의 기능을 제공한다. 다중 스테이지 터보기계 내의 최후의 임펠러는 통상적으로 디퓨저 베인을 구비하거나 구비하지 않는 디퓨저만을 갖는다. 최후 디퓨저는 배출관에 연결되는 출구 플랜지를 갖는 배출 케이싱(벌류트(volute))으로 작동 유체의 유동을 전달한다. 단일 스테이지 실시예에서, 터보기계(10)는 입구단(90)에서의 스테이터(80)와, 출구단(100)에서의 디퓨저(110)를 포함한다.

[0009] 도 3를 참조하면, 복수의 스테이터(80)의 개략도가 도시된다. 각 스테이터(80)는 실질적으로 서로 평행하게 배향되는 한 쌍의 대향하는 종방향 표면(longitudinal surfaces)(130a, 130b)을 갖는다. 스테이터(80)는 바람직하게는 터보기계(10)의 종축에 대하여 동일한 각도로 배향(orient)된다. 각 스테이터(80)는, 하류측 끝단에 구비되는 후행 애지(trailing edge)(140)와 상류측 끝단에 구비되는 선행 애지(leading edge)(150)를 갖는다. 각 스테이터(80)의 후행 애지(140)는 인접한 스테이터(80)의 후행 애지(140)와 동일한 형상을 갖는다. 예를 들면, 후행 애지(140)는 둥근 지점(rounded point)에서 끝나는 뾰족한 프로파일(pointed profile)을 가질 수 있다. 마찬가지로, 각 스테이터(80)의 선행 애지(150)는 후행 애지(140)에 대응하는 형상을 가질 수 있다. 각 디퓨저 블레이드(120)(미도시)의 선행 애지(150)는 바람직하게는 후행 애지(140)와 동일하게 형성된다. 예를 들면, 스테이터(80)의 후행 애지(140)와 마찬가지로, 디퓨저 블레이드(120)의 선행 애지는 둥근 지점에서 끝나는 뾰족한 프로파일을 가질 수 있다.

[0010] 터보기계를 설계하는 데에 있어 중요한 관심사는 터보기계의 작동 범위 전체에서 회전 블레이드 및 허브의 진동을 제어하는 것이다. 터보기계 내의 회전 블레이드 및 디스크는, a) 상류측 스테이터 스트럿(strut) 및/또는 베인 후류(vane wake) 및 하류측 스트럿 및 베인과의 퍼텐셜 유동(potential flow) 상호 작용, b) 불균일한 둘레 방향 압력 분포에 의해 형성되는 유동 흐름 내의 다른 이질성(inhomogeneities), c) 회전 블레이드 통과 진동수(passing frequency)에서의 음향 파동(acoustic pulsation), 및/또는 d) 정지형 베인으로부터 발산하는 와류에 의해 공진 진동으로 여기되며(excited), 결국, 케이싱 내에서의 기체의 동시 발생적인 음향 공진(acoustic resonance)을 초래한다. 예를 들면, 스핀 모드(spinning mode)를 제공하는 베인으로부터 반사되는 블레이드 통과 진동수를 갖는 음파로 인해 Tyler/Sofrin 모드가 발생할 수 있다(Tyler, J. M., 및 Sofrin, T. G., 1962, "Axial Flow Compressor Noise Studies", SAE Transactions, Vol.70, pp.309-332. 참조). 음향 파동은 임펠러로부터 더 뒤로 설정된 스테이터 스트럿으로부터 상이하게 반사하며, 스핀 모드의 효과적인 진폭을 감소시킨다. 예를 들면, 15개의 회전 블레이드 및 20개의 스테이터 스트럿을 갖는 임펠러에서, 5개 직경 스핀 모드(5-diameter spinning mode)가 존재한다. 5개 직경 구조 모드(5-diameter structural mode)는 회전 속도의 20배와 동일하며, 파의 반사(wave reflection)가 위상 상쇄(phase cancellation)를 유발할 수 있으므로 음파 길이(acoustic wave length)의 약 이분의 일의 하류측에 스테이터 스트럿의 절반부를 설정하는 것에 의해, 블레이드 여기(blade excitation)가 낮아질 수 있다.

[0011] 이러한 여기는 주기적인 응력(cyclic stress)을 초래하여, 회전 블레이드, 허브 또는 커버에서의 임펠러 내의 잠재적인 고 사이클 피로 및 고장(high cycle fatigue and failure)을 유발한다. 블레이드 모드 진동수(blade modal frequency)가 블레이드에 의해 나타나는 유동 이질성(flow inhomogeneity)의 조화수(harmonic number)를 곱한 샤프트 회전 진동수에 대응할 때, 임펠러 부품은 큰 진폭으로 여기될 수 있다. 통상적으로, 고 사이클 피로를 유발하기에 충분히 큰 진폭을 갖는 공진의 수가 제한된다. 재료의 무한한 내구 강도가 깨지는 경우에만 피로로부터의 손상율이 발생하므로, 진동 진폭에서 크지 않은 감소가 종종 블레이드 및 디스크 수명에 대한 제한 요인으로서의 고 사이클 피로를 제거할 수 있다.

[0012] 이러한 문제를 극복하기 위한 하나의 현재의 관행은, 공진에 직면할 때 속도를 신속하게 변경하는 것에 의해 공진 진동수에서의 작동을 방지하여, 작동 중 블레이드에 누적되는 피로 사이클(fatigue cycle)의 수를 최소화하는 것이다. 진동 사이클(vibration cycle)의 수가 최소화된 경우, 하류측 후류, 음향 파동, 유동 불균일성 또는 와류 발산(vortex shedding)이 아닌 메커니즘(mechanism)에 의해 블레이드 고장이 제어된다. 그러나, 이러한 관행은 터보기계의 작동에 바람직하지 않은 제한을 준다.

[0013] 현재의 다른 접근법은 장애물(obstructions) 뒤에서의 저속 후류 내로 공기를 직접 분사하는 것에 의해 유동장(flow field) 내에서의 공간적인 변동(spatial variation)을 감소시키는 것이다(Rao, N. M., Feng, J., Burdisso, R. A, 및 Ng, W. F., "Active Flow Control to Reduce Fan Blade Vibration 및 Noise", 5.sup.th AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference, American Institute of Aeronautics 및 Astronautics, May 10-12,

1999). 이러한 접근법은 상대적으로 큰 양으로 압축기로부터의 공기 또는 추가적인 외부 공기원으로부터의 공기를 사용할 것을 필요로 한다. 압축기 공기의 사용은 성능에 유해한 영향을 미친다. 별도의 공기 공급부를 추가하는 것은 중량을 증가시키고 동력을 필요로 한다. 두 방법은 성능에 유해한 영향을 미친다. 또한, 후류 주입(wake filling)은 유동 장애물(flow obstruction)의 하류측으로부터의 두부파(bow wave)로 인한 모드 여기(modal excitation)를 해결하지 않는다.

[0014] 종래 기술에서, 회전 블레이드의 진동 진폭을 감소시키고/시키거나 소음 감소를 제공하기 위해 다수의 접근법이 제시되었다. Kuhnel 등에게 부여된 미국 출원 공개 번호 2007/0274826는 압축기 임펠러용 디퓨저를 개시한다. Kuhnel 등의 공보의 도 1은, 각각 두 개의 부품 블레이드로 형성되는 가이드 블레이드를 포함하는 디퓨저 구조를 개시한다. 제1 부품 블레이드는 입구 에지를 가지며, 제2 부품 블레이드는 다른 입구 에지로부터 뒤로 단차진(stepped) 입구 에지를 갖는다. 도 2는 제3 부품 블레이드가 부품 블레이드들 사이에 구비되는 다른 실시예를 도시한다. 단차진 입구 에지는 소음 감소를 위해 구비된다.

[0015] Barton 등에게 부여된 미국 특허 번호 7,189,059는 임펠러 주위에 위치되는 입구 쉬라우드(shroud)를 갖는 압축기를 개시한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 쉬라우드는 복수의 이격된 베인 또는 스트럿 선단(tip)을 갖는 스트럿을 포함한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 스트렛은 제1 단 및 스트렛 선단 사이의 두께가 다르게 구성된다. 스트렛의 고유 진동수(natural frequency)를 증가시키기 위한 스트렛 제1 단 및 스트렛 선단 사이의 선형 테이퍼(linear taper)로서, 두께의 변화가 구현된다.

[0016] Crall 등에게 부여된 미국 특허 번호 6,439,838는 진동 여기를 감소시키기 위해 축류 터보기계의 베인의 가변 둘레방향 간격의 사용을 개시한다.

[0017] Clark, J., "Design Strategies to Mitigate Unsteady Forcing (Preprint)", AFRL-RZ-WP-TP-2008-2112은 수평 분할 구성을 갖는 기계의 상측 및 하측의 두 개의 절반부에서 상이한 개수의 정지형 베인을 사용하는 것을 포함하는 회전 블레이드에 대한 여기를 감소시키는 데에 사용되는 종래 기술을 제시한다.

[0018] 그러나, 종래 기술 디자인 중 어느 것도, 음압 파동(acoustic pressure pulsation) 및 회전 블레이드로의 직접적인 압력 부하를 감소시킬 뿐만 아니라 유동 흐름 내의 연속적인 후류를 불균일화하고 베인으로부터 발산하는 와류의 효과를 감소시키기는 것에 의해 로터 블레이드 여기를 감소시키도록 구성되는 정지형 베인 장치와 관련되지 않는다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0019] 일 실시예에 따르면, 작동 유체를 터보기계의 입구단으로부터 출구단으로 안내하기 위해 정지형 베인 장치가 구비된다. 정지형 베인 장치는 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인을 포함한다. 각 정지형 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 선행 에지 및 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 갖는다. 정지형 베인의 제1 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일(end profile)을 가질 수 있고, 정지형 베인의 제2 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가질 수 있다. 후행 에지의 하류측에서의 근본적인 후류 통과 진동수를 최소화하기 위해, 제1 단 프로파일을 갖는 정지형 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 정지형 베인 사이에 구비되도록, 정지형 베인이 배치될 수 있다.

[0020] 다른 실시예에 따르면, 제1 단 프로파일은 실질적으로 둥근 끝단(rounded end)을 가질 수 있고, 제2 단 프로파일은 스트렛의 대향하는 종방향 표면에 대하여 각이진 테이퍼진 끝단(tapered end)을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 제1 단 프로파일은 스트렛의 대향하는 종방향 표면에 대하여 제1 방향으로 각이진 테이퍼진 끝단을 가질 수 있으며, 제2 단 프로파일은 대향하는 종방향 표면에 대하여 제2 방향으로 각이진 테이퍼진 끝단을 가질 수 있다.

[0021] 추가적인 실시예에 따르면, 복수의 정지형 베인은 터보기계의 입구단에 구비될 수 있다. 정지형 베인은 복수의 정지형 베인으로부터 하류측의 회전 블레이드의 일 열로 작동 유체를 향하게하도록 구성될 수 있다. 복수의 정지형 베인은 케이싱을 통과하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 등거리로 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격될 수 있다. 정지형 베인은 케이싱을 통과하여 연장되는 종축에 대하여 동일한 각도 위치에서 배향될 수 있다. 일 실시예에서, 복수의 정지형 베인은 선형 프로파일을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 복수의 정지형 베인은 유선형 프로파일(streamlined profile)을 가질 수 있다.

[0022]

또 다른 실시예에서, 복수의 회전 블레이드를 갖는 로터가 복수의 정지형 베인으로부터 하류측에 구비될 수 있어, 복수의 정지형 베인이 작동 유체를 복수의 회전 블레이드로 향하게 하도록 구성된다. 또한, 복수의 디퓨저 베인을 선택적으로 갖는 디퓨저는 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 복수의 회전 블레이드의 하류측에 구비될 수 있다. 각 디퓨저 베인은, 구비될 때, 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 선행 에지 및 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 가질 수 있다. 디퓨저 베인의 제1 부(portion)의 선행 에지는 제1 단 프로파일을 가질 수 있고, 디퓨저 베인의 제2 부의 선행 에지는 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가질 수 있다. 디퓨저 베인은 제1 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 제2 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 인접하게 구비되도록 배치될 수 있다.

[0023]

추가적인 실시예에 따르면, 복수의 디퓨저 베인은 케이싱을 통과하여 연장되는 종축을 중심으로 서로에 대하여 등거리로 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향으로 이격될 수 있다. 디퓨저 베인은 케이싱을 통과하여 연장되는 종축에 대하여 동일한 각도 위치에서 배향될 수 있다. 일 실시예에서, 복수의 디퓨저 베인은 선형 프로파일을 가질 수 있다. 다른 실시예에서, 디퓨저 베인은 유선형 프로파일을 가질 수 있다.

[0024]

다른 실시예에 따르면, 터보기계는 케이싱의 종축을 따라 출구단에 반대되는 입구단을 갖는 케이싱을 가질 수 있다. 샤프트 조립체는 케이싱 내에 구비되며 입구단 및 출구단 사이에서 연장된다. 뿐만 아니라, 복수의 회전 블레이드를 갖는 로터가 샤프트 조립체로부터 반경방향 외측으로 연장될 수 있다. 또한, 정지형 베인 장치가 로터의 상류측에 구비된다. 정지형 베인 장치는 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 적어도 하나의 열의 복수의 정지형 베인을 포함할 수 있다. 각 정지형 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 선행 에지 및 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 가질 수 있다. 정지형 베인의 제1 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일을 가질 수 있고, 정지형 베인의 제2 부의 후행 에지는 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가질 수 있다. 정지형 베인은 제1 단 프로파일을 갖는 정지형 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 정지형 베인에 인접하게 구비되도록 배치될 수 있다.

[0025]

다른 실시예에 따르면, 복수의 정지형 베인은 터보기계의 입구단에 구비될 수 있고, 작동 유체를 복수의 정지형 베인으로부터 하류측의 회전 블레이드의 열로 향하게 하도록 구성될 수 있다. 이 실시예에서, 복수의 정지형 베인은 케이싱을 통과하여 연장되는 종축에 대하여 동일한 각도 위치에서 배향될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 복수의 정지형 베인은 선형 프로파일을 가질 수 있다. 대안적으로, 복수의 정지형 베인은 유선형 프로파일을 가질 수 있다. 또한, 복수의 디퓨저 베인은 케이싱의 둘레 주위에서 둘레방향 간격으로 케이싱으로부터 반경방향 내측으로 연장되는 복수의 회전 블레이드의 하류측에 구비될 수 있다. 각 디퓨저 베인은 후행 에지에 반대되는 선행 에지와, 선행 에지 및 후행 에지 사이에서 연장되는 대향하는 종방향 표면을 가질 수 있다. 디퓨저 베인의 제1 부의 선행 에지는 제1 단 프로파일을 가질 수 있고, 디퓨저 베인의 제2 부의 선행 에지는 제1 단 프로파일과 상이한 제2 단 프로파일을 가질 수 있다. 디퓨저 베인은 제1 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인이 제2 단 프로파일을 갖는 디퓨저 베인에 인접하게 구비되도록 배치될 수 있다.

[0026]

구조의 연관된 요소 및 부품의 조합의 작동 방법 및 기능 및 제조의 경제성뿐만 아니라 터보기계의 이러한 특징 및 특성과 다른 특징 및 특성은, 그 모두가 본 명세서의 일부를 형성하는, 다양한 도면에서 대응하는 부분에 동일한 도면 부호가 지정된 첨부된 도면을 참조한 후술하는 설명 및 첨부된 청구범위를 고려하면, 더 명백해질 것이다. 그러나, 도면은 도시 및 설명만을 위한 것이며 본 발명의 제한을 정의하는 것으로 의도되지 않는다는 것이 명확히 이해될 것이다. 본 명세서 및 청구범위에 사용되는 바와 같이, 단수형 "a", "an", 및 "the"는 문맥이 명확하게 달리 표시하지 않는다면 복수형을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0027]

도 1은 종래 기술 실시예에 따른 다중 스테이지 원심 유동 터보기계의 부분 절개 사시도이다.

도 2는 도 1에 도시된 터보기계의 일 스테이지의 개략적인 단면도이다.

도 3은 종래 기술 실시예에 따른 복수의 스테이터의 개략도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 스테이지 원심 유동 터보기계의 일 스테이지의 종축에 따른 개략적인 단면도이다.

도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 두 실시예에 따른 정지형 베인 장치의 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 설명을 위해, "상측(upper)", "하측(lower)", "우측(right)", "좌측(left)", "수직(vertical)", "수평(horizontal)", "상부(top)", "저부(bottom)", "횡방향(lateral)", "종방향(longitudinal)"이라는 용어 및 그 파생어는, 도면에서 배향된 것과 같이 본 발명에 연관된다. 그러나, 이와 달리 명확히 특정된 경우를 제외하고, 본 발명은 대안적인 변형에 및 단계 순서를 상정할 수 있는 것으로 이해될 것이다. 또한, 첨부된 도면에 도시되고 후술하는 명세서에서 설명되는 구체적인 장치 및 과정은 단순히 본 발명의 예시적인 실시예인 것으로 이해될 것이다. 그러므로, 본원에 개시된 실시예와 연관된 구체적인 치수 및 다른 물리적인 특징은 한정되는 것으로 여겨지지 않는다.

[0029] 상술한 바와 같이, 종래의 터보기계(10) 내의 회전 블레이드(60)는, a) 상류측 스테이터 스트럿 및/또는 베인 후류(wake) 및 하류측 스트럿 및 베인과의 퍼텐셜 유동(potential flow) 상호 작용, b) 불균일한 둘레방향 압력 분포에 의해 형성되는 유동 흐름 내의 다른 이질성, c) 회전 블레이드 통과 진동수(passing frequency)에서의 음향 파동(acoustic pulsation), 및/또는 d) 스트럿 또는 베인으로부터 발산하는 와류에 의해 공진 진동으로 여기되며(excited), 결국, 케이싱 내에서의 기체의 동시 발생적인 음향 공진을 초래한다. 블레이드 모드 진동수가 회전 블레이드(60)에 의해 나타나는 유동 이질성의 조화수(harmonic number)를 곱한 샤프트 회전 진동수에 대응할 때, 회전 블레이드(60)는 큰 진폭으로 여기될 수 있다.

[0030] 종래 기술의 이러한 결함을 극복하기 위해, 본 발명은, 파괴력을 감소시키고 적용 범위를 증가시키도록 회전 블레이드 내로의 유동을 균일화하도록 구성된 정지형 베인 장치를 제공한다. 본 발명은, 정지형 베인으로부터 발산되는(shed-off) 와류의 효과를 감소시킬 뿐만 아니라 유동 및 음향 파동 모두에 대한 기체 유동 흐름을 균일화함으로써 로터 블레이드 및/또는 디스크 여기(excitation)를 감소시키도록 구성되는 정지형 베인 장치를 제공한다.

[0031] 도 4를 참조하면, 터보기계(200)는, 스테이터 스트럿의 후행 에지에서 발산하는 와류로 인한 유동 흐름 내의 이질성에 의해 유발되는 공진 진동을 감소시키거나 제거하도록 구성되는 정지형 베인 장치를 포함한다. 도 4는 터보기계(200)의 단일 스테이지를 도시하고 있으나, 통상의 기술자는 도 4에 도시된 구체적인 부품이 다중 스테이지 원심 유동 압축기와 같은 다중 스테이지 터보기계에서의 사용에 용이하게 적용될 수 있음을 이해할 것이다.

[0032] 도 4를 계속 참조하면, 터보기계(200)는 샤프트(220)와 회전 가능한 디스크(215) 주위에 둘레방향으로 배치되는 복수의 회전 블레이드(210)를 포함한다. 터보기계(200)가 다중 스테이지를 갖는 실시예(미도시)에서, 회전 블레이드(210)는 샤프트(220)의 축방향 길이를 따라 다중 스테이지 내에 배치된다. 다른 실시예에서, 회전 블레이드(210)가 샤프트(220)의 회전과 함께 회전하도록, 회전 블레이드(210)가 샤프트(220)에 고정되게 결합될 수 있다. 회전 블레이드(210)는 정지형 투브형 케이싱(240)에 부착되는 복수의 정지형 베인(230)(즉, 정지형 베인 장치)에 인접하게 회전한다. 혼합 기체와 같은 작동 유체(working fluid)가 터보기계(200)의 입구단(250)으로부터 출구단(260)으로 이동한다. 입구단(250)에 구비된 하나의 열의 정지형 베인(230)이 작동 유체를 터보기계(200)의 출구단(260)에서의 하나의 열의 회전 블레이드(210) 내로 전달한다. 정지형 베인(230)의 개수는 회전 블레이드(210)의 개수에 대응할 수 있다. 대안적으로, 정지형 베인(230)의 개수는 회전 블레이드(210)의 개수에 비하여 많거나 적을 수 있다. 바람직하게는, 블레이드 모두가 원형 라인을 따라 동일 위상에서 진동할 때 원형 및 비틀림 모드(circular and torsional modes)를 제거하기 위해, 회전 블레이드(210)의 개수는 정지형 베인(230)과 동일하지 않다. 정지형 베인(230)은 짹수 개 또는 홀수 개의 개별 베인을 가질 수 있다. 공기역학적 우려로 인하여, 혼합을 향상시키고 베인으로부터 발산하는 와류의 효과를 감소시키기 위해, 정지형 베인(230)은 바람직하게는 회전 블레이드(210)에 근접하게 구비된다. 이러한 배치는 음압 파동 및 회전 블레이드(210)에 가해지는 직접적인 압력 부하를 감소시킨다.

[0033] 디퓨저(280)가, 선택적인 디퓨저 베인(270)과 함께, 회전 블레이드(210)로부터 나오는 유체 유동을 균일화하기 위해 회전 블레이드(210)의 출구에 구비된다. 디퓨저(280)가 바람직하게는 터보기계(200)의 출구단(260)에 구비된다. 각 디퓨저(280)는 선택적으로 그 다음의 연속적인 스테이지의 정지형 베인(230)으로 작동 유체를 전달하기 위해 케이싱을 횡단하여 연장되는 하나 이상의 디퓨저 베인(270)을 갖는다. 디퓨저 베인(270)은 바람직하게는 디퓨저 케이싱의 둘레 주위에서 동등하게 이격된다.

[0034] 정지형 베인(230)은 작동 유체를 회전 블레이드(210)로 향하게 하기 위해 정지형 케이싱(240)의 내부를 횡단하여 연장된다. 정지형 베인(230)은 바람직한 공기역학적 성능을 확보하기 위해 정지형 케이싱(240)의 둘레 주위의 개별 베인 사이에서 동일한 간격으로 둘레방향으로 이격된다. 종래의 스트럿의 후행 에지의 하류측에서의 근본적인 후류 통과 진동수의 생성으로 이어지는 종래 기술 디자인의 결함을 극복하기 위해, 본 발명은 터보기계가 다양한 작동 속도에 걸쳐 작동됨에 따라 회전 블레이드의 하나 이상의 공진 진공 모드의 진동 여기

(vibratory excitation)를 감소시키도록 구성되는 정지형 베인 장치를 포함한다.

[0035] 도 5a 내지 도 5c를 참조하면, 정지형 베인 장치의 다양한 구성이 본 발명의 복수의 실시예에 따라 도시된다. 도 5a 내지 도 5c는 각각 복수의 정지형 베인(230)의 개략도를 도시한다. 각 실시예에서, 정지형 베인(230)은 한 쌍의 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)을 갖는다. 도 5a 내지 도 5c에 도시된 바와 같이, 각 정지형 베인(230)의 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)은 실질적으로 선형이며 실질적으로 서로 평행하다. 대안적인 실시예에서, 각 정지형 베인(230)의 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)은 특정 공기역학적 프로파일을 갖도록 유선형일 수 있다.

[0036] 각 정지형 베인(230)은, 하류측 끝단에 구비되는 후행 에지(310)와 상류측 끝단에 구비되는 선행 에지(320)를 갖는다. 각 정지형 베인의 후행 에지가 각 인접하는 후행 에지와 동일한 형상을 갖는 종래 기술 디자인에 대조적으로, 도 5a 내지 도 5c에 도시된 정지형 베인(230)은 회전 블레이드(210)의 하나 이상의 공진 진동 모드의 진동 여기를 감소시키기 위해 스테이터 후류에 의해 발생되는 힘을 감소시키거나 상쇄하는 수정된 디자인을 포함한다.

[0037] 도 5a를 구체적으로 참조하면, 교호하는 패턴의 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는 정지형 베인(230)이 홀수 개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터에 대하여 도시된다. 하나의 바람직한 비한정적 실시예에서, 정지형 베인(230)은 균일화된 후류 패턴을 교대로 만들기 위해 둘 또는 셋의 그룹으로 그룹화된다. 예를 들면, 도 5a에 나타낸 바와 같이 배치되는 21개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터는 세 개의 정지형 베인 세트의 그룹의 반복하는 패턴을 갖는다. 정지형 베인(230)은 바람직하게는 인접하는 베인 사이에서 반경방향으로 동일하게 분리되어 위치된다. 또한, 정지형 베인(230) 모두가 정지형 케이싱(240) 내에서 동일한 종방향 위치에 배치됨으로써, 정지형 베인(230) 모두가 회전 블레이드(210)(도 5a에 도시되지 않음)로부터 동등하게 이격된다. 정지형 베인(230)은, 정지형 베인(230)의 제1 절반부가, 도 3에 도시된 정지형 베인(80)과 유사하게, 실질적으로 등근 끝단(330)에서 종결하는 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖도록, 배치된다. 도 5a에 도시된 정지형 베인 장치의 정지형 베인(230)의 제2 절반부는 테이퍼진 끝단(340)에서 종결하는 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는다. 등근 끝단(330)을 갖는 각 정지형 베인(230)이 테이퍼진 끝단(340)을 갖는 정지형 베인(230) 사이에 위치되도록 두 타입의 정지형 베인(230)이 배치된다. 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)에 대한 각도로 하나의 종방향 표면(300a, 300b)의 일부를 절단하는 것에 의해, 테이퍼진 끝단(340)이 형성된다. 각 정지형 베인(230)의 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)는, 도 5a에 도시된 바와 같이, 동일 방향 또는 반대 방향으로 테이퍼지는 테이퍼진 끝단(340)을 가질 수 있다.

[0038] 각 디퓨저 베인(미도시)의 선행 에지는 바람직하게는 유사한 방식으로 형성된다. 예를 들면, 각 디퓨저 베인의 선행 에지는 일부 디퓨저 베인이 실질적으로 등근 선행 에지를 갖는 한편 나머지 디퓨저 베인은 테이퍼진 선행 에지를 갖는 교호하는 패턴을 가질 수 있다.

[0039] 도 5b를 구체적으로 참조하면, 교호하는 패턴의 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는 정지형 베인(230)이 짹수 개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터에 대하여 도시된다. 도 5a에 도시된 실시예와 마찬가지로, 정지형 베인(230)은 균일화된 후류 패턴을 교대로 만들기 위해 둘 또는 셋의 그룹으로 그룹화된다. 예를 들면, 도 5b에 나타낸 바와 같이 배치되는 20개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터는 두 개의 정지형 베인 쌍의 그룹의 반복하는 패턴을 갖는다. 정지형 베인(230)은 바람직하게는 인접하는 베인 사이에서 반경방향으로 동일하게 분리되어 위치된다. 또한, 정지형 베인(230)이 정지형 케이싱(240) 내에서 교호하는 오프셋 종방향 위치 내에 배치됨으로써, 일부 정지형 베인(230)이 다른 정지형 베인(230)에 비하여 회전 블레이드(210)(도 5a에 도시되지 않음)에 더 가깝다. 정지형 베인(230)은, 정지형 베인(230)의 제1 절반부(first half)가, 도 5a에 도시된 정지형 베인(230)과 유사하게, 실질적으로 등근 끝단(330)에서 종결하는 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖도록, 배치된다. 도 5a에 도시된 정지형 베인 장치와 마찬가지로, 도 5b에 도시된 정지형 베인 장치의 정지형 베인(230)의 제2 절반부는 테이퍼진 끝단(340)에서 종결하는 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는다. 등근 끝단(330)을 갖는 각 정지형 베인(230)이 테이퍼진 끝단(340)을 갖는 정지형 베인(230) 사이에 위치되도록 두 타입의 정지형 베인(230)이 배치된다. 등근 끝단(330)을 갖는 정지형 베인(230)은 테이퍼진 끝단(340)을 갖는 정지형 베인(230)에 대하여 종방향으로 뒤로 설정된다. 이러한 구성에서, 등근 끝단(330)을 갖는 정지형 베인(230)은 테이퍼진 끝단(340)을 갖는 정지형 베인(230)에 비하여 회전 블레이드(210)(도 5b에 도시되지 않음)에 더 가깝게 위치된다. 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)에 대한 각도로 하나의 종방향 표면(300a, 300b)의 일부를 절단하는 것에 의해, 테이퍼진 끝단(340)이 형성된다. 개별 정지형 베인(230)의 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)는, 도 5b에 도시된 바와 같이, 동일 방향 또는 반대 방향으로 테이퍼지는 테이퍼진 끝단(340)을 가질

수 있다.

[0040] 도 5c를 구체적으로 참조하면, 다른 실시예에 따라, 교호하는 패턴의 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는 정지형 베인(230)이 짹수 개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터에 대하여 도시된다. 다른 실시예와 마찬가지로, 정지형 베인(230)은 균일화된 후류 패턴을 교대로 만들기 위해 둘 또는 셋의 그룹으로 그룹화된다. 예를 들면, 도 5c에 나타낸 바와 같이 배치되는 20개의 정지형 베인(230)을 갖는 스테이터는 두 개의 정지형 베인 쌍의 그룹의 반복하는 패턴을 갖는다. 정지형 베인(230)은 바람직하게는 인접하는 베인 사이에서 반경방향으로 동일하게 분리되어 위치된다. 또한, 정지형 베인(230) 모두가 정지형 케이싱(240) 내에서 동일한 종방향 위치에 배치됨으로써, 정지형 베인(230) 모두가 회전 블레이드(210)(도 5c에 도시되지 않음)로부터 동등하게 이격된다. 도 5c에 도시된 정지형 베인 장치의 정지형 베인(230) 모두는 테이퍼진 끝단(340)에서 종결하는 후행 에지(310) 및 선행 에지(320)를 갖는다. 대향하는 종방향 표면(300a, 300b)에 대한 각도로 하나의 종방향 표면(300a, 300b)의 일부를 절단하는 것에 의해, 테이퍼진 끝단(340)이 형성된다. 이 실시예에서, 테이퍼진 끝단(340)은 상호 반대하는 각도로 경사지게 배치된다. 다시 말하면, 정지형 베인(230)은 테이퍼진 끝단(340)이 인접하는 정지형 베인(230) 사이에서 교대로 절단되도록 배치된다. 마찬가지로, 각 디퓨저 베인(미도시)의 선행 에지는 바람직하게는 유사한 방식으로 형성된다. 예를 들면, 각 디퓨저 베인의 선행 에지는 디퓨저 베인이 상호 반대되는 테이퍼진 선행 에지를 갖는 교호하는 패턴을 가질 수 있다.

[0041] 상술한 정지형 베인 장치는 유동 흐름 내의 연속적인 후류를 불균일화하고(dehomogenizing) 정지형 베인(230)으로부터 발산되는 음향 파동 및 와류의 효과를 감소시키는 것에 의해 회전 블레이드(210) 및 디스크(215)의 여기를 감소시키도록 구성된다. 정지형 베인(230)의 후행 에지(310)의 하류측에서의 근본적인 후류 통과 진동수로의 여기의 생성이 최소화되며, 이에 의해, 터보기계가 다양한 작동 속도에 걸쳐 작동됨에 따라 회전 블레이드의 하나 이상의 공진 진동 모드의 진동 응답을 감소시킨다. 또한, 음향 여기에 대한 응답이 상술한 정지형 베인 장치에 의해 완화된다.

[0042] 정지형 베인(230)으로부터 나오는 후류에 의해 발생되는 힘이 주어진 작동 속도에서 전체 로터에 대하여 서로 상쇄하는지 여부를 판단하기 위해, 로터 상의 회전 블레이드(210)의 개수가 회전 블레이드(210)와 상호 작용하는 정지형 베인(230)의 개수와 관련하여 고려된다. 예를 들면, 15개 블레이드의 임펠러의 5개 직경 모드와 같은 디스크(215) 또는 결합된 블레이드 구조 모드의 경우, 정지형 베인(230)으로부터 발산하는 여기 힘(exciting force)은, 10개 베인 또는 20개 베인의 스테이터를 제외하고, 정지형 베인 장치 모두에 대하여 상쇄한다. 고유 진동수가 10개 블레이드의 스테이터에서 작동 속도의 10배와 동일하다면, 또는 10개 블레이드 또는 20개 블레이드의 스테이터에서 구조적 진동수가 작동 속도의 20배와 동일하다면, 힘은 상쇄하지 않는다. 위상 상쇄(phase cancellation)가 달성될 수 있는 실시예를 나타내는 매개 변수 수학식이 아래에 제시된다.

[0043] 수학식 (1) 수학식 (2)

[0044] 디스크 임계 속도에 있지 않음 디스크 임계 속도에 있음

$$(a) |y + S| \pm |z + B| = n \quad (a) \text{ For } B > 1$$

$$(b) y + S = h \quad (b) y + S = h = n$$

$$(c) f_r = y + S + \omega \quad (c) fr = n + \omega$$

[0048] 여기에서:

[0049] $B = \text{회전 블레이드의 수}$

[0050] $S = \text{정지형 요소의 수}$

[0051] $f_r = \text{속도에서의 고유 진동수, Hz}$

[0052] $h = \text{속도의 배진동(harmonic)}$

[0053] $n = \text{직경 결절선(nodal line)의 수}$

[0054] $y \& z = \text{정수} > 0$

[0055] $\omega = \text{회전 속도, Hz}$

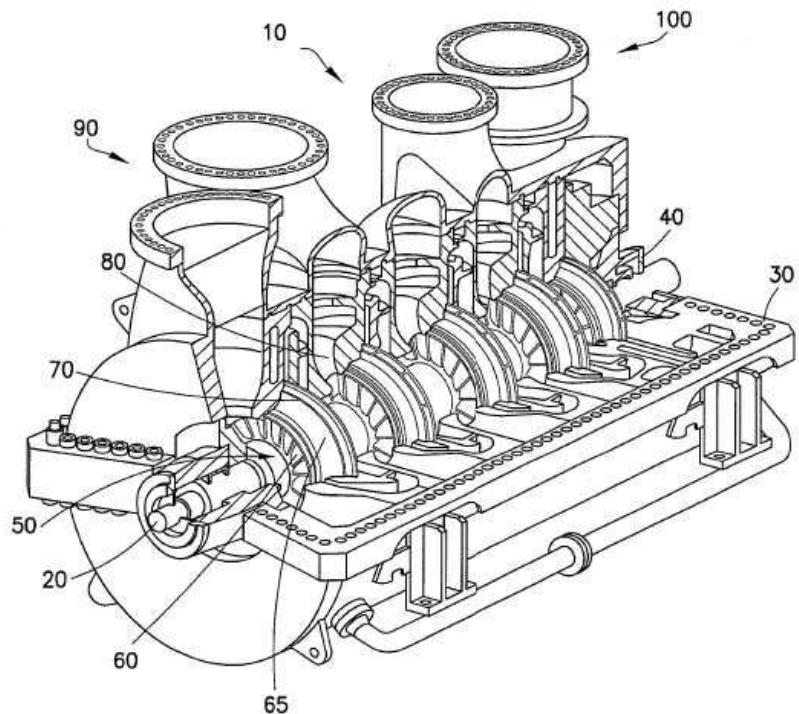
[0056] 회전 블레이드 통과 진동수에서의 음압 파동의 스핀 모드(spinning mode)와 연관되는 복수의 요인에 의해 정지

형 베인 장치의 하류측에서 불균일 유동이 유발될 수 있다. 정지형 베인(230)의 상류측 및 하류측 모두에서의 회전 블레이드(210)의 상호 작용은 회전 블레이드 통과 진동수에서 음향 파동에 영향을 미친다. 일반적으로, 회전 블레이드(210) 및 정지형 베인(230)의 개수 차이의 절대값과 동일한 개수의 직경을 갖는 직경 패턴을 갖는 디스크(215) 내에서 반사 음파가 발생된다. 예를 들면, 15개의 회전 블레이드(210) 및 10개의 상류측 정지형 베인(230)을 갖는 터보기계(200)에는, 5개 직경 스픈 음향 모드($|15 - 10| = 5$)가 존재한다. 마찬가지로, 5개 직경 스픈 음향 모드(5-diameter spinning acoustic mode)가 또한 15개의 회전 블레이드(210) 및 20개의 상류측 정지형 베인(230)을 갖는 터보기계(200)에 존재한다($|15 - 20| = 5$). 회전 속도의 20배가 5개 직경 디스크 또는 블레이드 결합 모드 진동수와 동일한 경우, 여기 진동수는 공진을 일으킨다. 이 두 경우에서, 회전 블레이드(210)에 대한 스픈 모드가 회전 속도의 15배와 동일한 진동수에서 발생한다. 회전 요소에서의 스픈 모드의 공진 속도에서, 기체의 동일한 직경 패턴 음향 모드가 회전 블레이드 통과 진동수와 동시에 일치하는 경우에만, 이러한 음향 상호 작용 여기가 보통 관심 사항이 된다. 기체 모드의 다른 음향 여기가 정지형 베인(230)의 후행 에지로부터 와류 발산 진동수에 의해 유발될 수 있다. 결국, 동일한 모드 형상을 갖는 음향 모드 진동수, 즉, 직경의 수는, 샤프트 속도를 곱한 직경의 수를 더하거나 뺀 디스크 또는 블레이드 결합 모드 진동수와 동일한 경우, 공진 속도에서 존재할 수 있다. 축방향 유동 터보기계는 통상적으로, 상술한 방정식에서 상대적으로 높은 수가 사용되고 회전 블레이드 및 정지형 베인의 개수 사이에 큰 차이가 있기 때문에, 디스크 모드에서 블레이드/베인 상호 작용 공진의 위험이 낮다. 따라서, 작동 속도 미만의 디스크 임계 속도 또는 상호 작용 공진을 갖는 임의의 디자인이 낮은 속도를 획단하면서 제한된 수의 공진 사이클을 갖는다. 그럼에도 불구하고, 본원에 설명된 실시예에 따른 회전 블레이드(210)의 개수 및 정지형 베인(230)의 디자인의 적절한 선택에 의해 이들 세 개의 여기원(source of excitation) 모두가 완화될 수 있다.

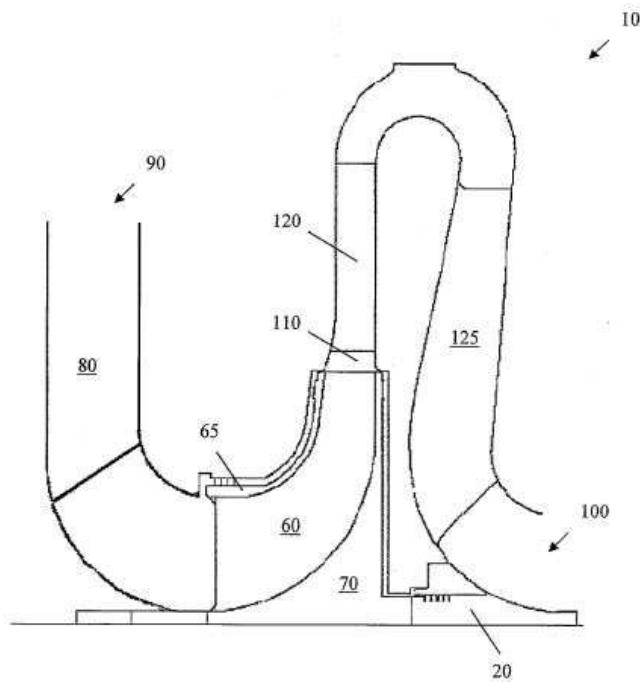
[0057] 상술한 정지형 베인 장치는 압축기와 같은 터보기계를 참조로 설명되었지만, 반경방향 유입 터빈, 팬(fan), 축류 압축기/원심 압축기, 기체 터빈, 제트 엔진, 터보 펌프, 팽창기(expander), 모터 내의 냉각 유동 요소, 및 발전기를 포함하지만 이에 한정되지 않는 블레이드 디스크 구조를 활용하는 임의의 다른 터보기계에 디자인이 동등하게 적용 가능하다. 당업자는 본 발명의 범위 및 사상을 벗어나지 않는 범위에서 이러한 실시예를 수정하고 변경할 수 있다. 예를 들면, 본 발명은, 가능한 범위에서, 임의의 실시예의 하나 이상의 특징부가 임의의 다른 실시예의 하나 이상의 특징부와 조합될 수 있다는 것을 고려하고 있음이 이해될 것이다. 따라서, 전술한 설명은 한정적인 것이 아닌 예시적인 것으로 의도된다. 상기에 설명된 본 발명은 첨부된 청구항들에 의해 정의되며, 청구항들의 균등물의 의미 및 범위에 속하는 본 발명의 모든 변경들은 청구항들의 범위에 포함된다.

도면

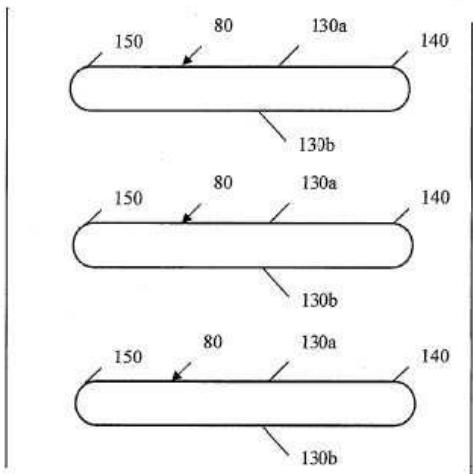
도면1



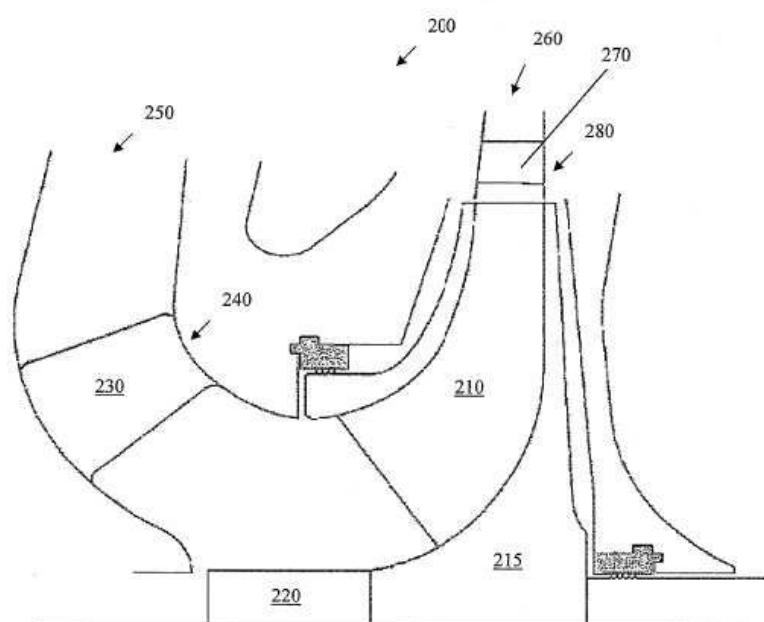
도면2



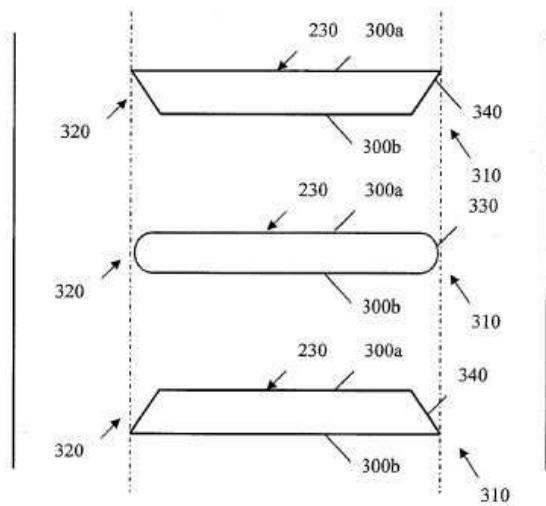
도면3



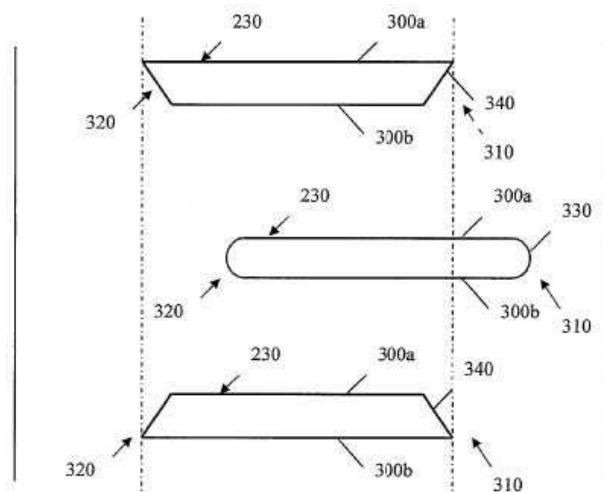
도면4



도면5a



도면5b



도면5c

