(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0004474
(43) 공개일자 2024년01월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F04D 27/00 (2023.01) *F04D 17/12* (2006.01)
F04D 27/02 (2006.01) *F04D 29/30* (2006.01)
(52) CPC특허분류
F04D 27/001 (2013.01)
F04D 17/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7038294
(22) 출원일자(국제) 2022년04월14일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년11월06일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/024727
(87) 국제공개번호 WO 2022/231849
국제공개일자 2022년11월03일
(30) 우선권주장
17/243,787 2021년04월29일 미국(US)

(71) 출원인
코프랜드 엘피
미국 오하이오주 45365-0669 시드니 웨스트 캠벨 로오드1675
(72) 발명자
오크리, 마이클 디.
미국 오하이오주 45365 시드니 웨스트 캠벨 로오드 1675
페레보츠치코프, 마이클 엠.
미국 오하이오주 45365 시드니 웨스트 캠벨 로오드 1675
스웰로우, 매튜 제이.
미국 오하이오주 45365 시드니 웨스트 캠벨 로오드 1675
(74) 대리인
특허법인 무한

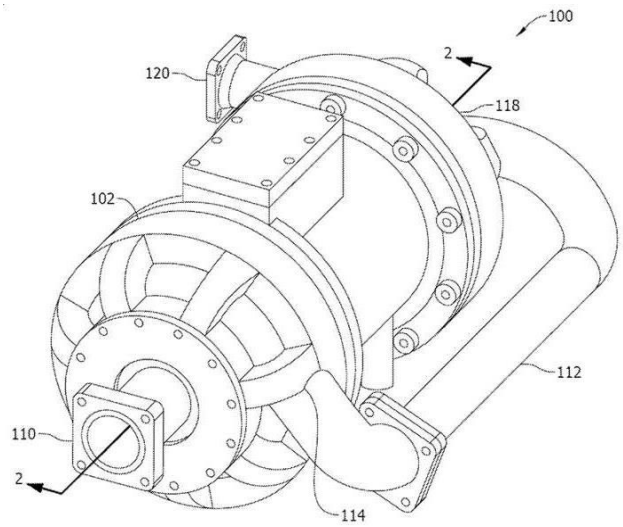
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **동력학적 압축기들을 위한 질량 유량 보간 시스템들 및 방법들**

(57) 요 약

질량 유량 센서를 포함하지 않는 동력학적 압축기의 질량 유량을 상기 압축기가 가공액을 압축하기 위해 작동되는 동안 결정하기 위한 방법은, 프로세서에 의해 압축기의 현재의 동작점을 결정하는 단계를 포함한다. 현재의 동작점이 메모리에 저장된 복수의 미리 결정된 동작점의 맵에 있는 것과 동일한 경우, 그 미리 결정된 동작점의 질량 유량이 현재의 동작점의 질량 유량으로서 검색된다. 그렇지 않다면, 프로세서는, 현재의 동작점에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 현재의 동작점에서의 질량 유량을 계산한다. 본 동력학적 압축기는 현재의 동작점에 대한 계산된 질량 유속(mass flow rate)에 적어도 부분적으로 기초하여 가공액을 압축하기 위해 작동하는 것을 계속한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
F04D 27/02 (2013.01)
F04D 29/30 (2013.01)
F05D 2260/821 (2013.01)
F05D 2270/3011 (2013.01)
F05D 2270/3013 (2013.01)
F05D 2270/3015 (2013.01)
F05D 2270/3061 (2013.01)
Y02B 30/70 (2020.08)

명 세 서

청구범위

청구항 1

시스템으로서,

가공액(working fluid)을 압축하도록 작동가능한 동력학적 압축기(dynamic compressor), 및

상기 동력학적 압축기에 연결되고 프로세서 및 메모리를 포함하는 제어기를 포함하고,

상기 메모리는,

상기 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된 동작점(operating points)의 맵(map) - 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량(mass flow)을 포함함 -, 및

명령어들을 저장하고,

상기 명령어들은,

상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키고,

상기 동력학적 압축기를 작동시키는 동안에 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하고,

상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트(subset)의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하고, 그리고

상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하도록 상기 프로세서를 프로그램하는,

시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트를 식별하고,

상기 현재의 동작점 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트 간의 거리들을 결정하고,

상기 결정된 거리들 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 상기 현재의 동작점의 질량 유량을 계산함으로써,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 압축기는 모터를 포함하고,

각각의 미리 결정된 동작점 및 상기 현재의 동작점은 상기 모터의 속도 및 상기 압축기의 작동 압력비(operating pressure ratio)에 의해 정의되는, 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 압축기는 모터 및 가변 인렛 가이드 베인(VIGV: variable inlet guide vane)을 포함하고,

각각의 미리 결정된 동작점 및 상기 현재의 동작점은 상기 모터의 속도, 작동 압력비 및 VIGV의 위치에 의해 정의되는, 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트를 식별하고 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 적은 동일한 제1 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제1 서브세트에서의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하고,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제1 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제1 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하고,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트를 식별하고 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 큰 동일한 제2 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제2 서브세트의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하고,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제2 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제2 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하고, 그리고

상기 현재의 동작점의 질량 유량을 상기 제1 중간 질량 유량, 상기 제2 중간 질량 유량 및 상기 현재의 VIGV 위치 및 상기 제1 및 제2 VIGV 위치들 간의 거리들의 함수로서 계산함으로써

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 시스템.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 동력학적 압축기는 원심 압축기를 포함하는, 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은 상기 현재의 동작점에 대한 상기 결정된 질량 유량을 상기 동력학적 압축기의 작동을 위한 제어 알고리즘에 입력하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 시스템.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메모리는 복수의 미리 결정된 서지점(surge points), 각각의 미리 결정된 서지점에 대한 서지점 질량 유량. 복수의 미리 결정된 초크점(choke points) 및 각각의 미리 결정된 초크점에 대한 초크점 질량 유량의 맵을 더 저장하고,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 복수의 미리 결정된 서지점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 서지점을 결정하고,

상기 복수의 미리 결정된 초크점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 초크점을 결정하고,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 서지점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 초크점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 서지점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 서지점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 서지점에 대한 서지점 질량 유량을 계산하고,

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 초크점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 초크점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 초크점에 대한 초크점 질량 유량을 계산하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 시스템.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 동력학적 압축기는 질량 유량 센서를 포함하지 않는, 시스템.

청구항 10

질량 유량 센서가 없는 동력학적 압축기를 위한 제어기로서,

프로세서, 및

메모리를 포함하고,

상기 메모리는,

상기 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된 동작점의 맵 - 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량을 포함함 -, 및

명령어들을 저장하고,

상기 명령어들은,

상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키고,

상기 동력학적 압축기를 작동시키는 동안에 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하고,

상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하고, 그리고

상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하도록 상기 프로세서를 프로그램하는,

제어기.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트를 식별하고,

상기 현재의 동작점 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트 간의 거리들을 결정하고,

상기 결정된 거리들 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 상기 현재의 동작점의 질량 유량을 계산함으로써,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 제어기.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 압축기는 모터를 포함하고,

각각의 미리 결정된 동작점 및 상기 현재의 동작점은 상기 모터의 속도 및 작동 압력비에 의해 정의되는, 제어기.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 압축기는 모터 및 가변 인렛 가이드 베인(VIGV)을 포함하고,

각각의 미리 결정된 동작점 및 상기 현재의 동작점은 상기 모터의 속도, 작동 압력비 및 VIGV의 위치에 의해 정의되는, 제어기.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트를 식별하고 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 적은 동일한 제1 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제1 서브세트에서의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하고,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제1 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제1 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하고,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트를 식별하고 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 큰 동일한 제2 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제2 서브세트의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하고,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제2 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제2 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하고, 그리고

상기 현재의 동작점의 질량 유량을 상기 제1 중간 질량 유량, 상기 제2 중간 질량 유량 및 상기 현재의 VIGV 위치 및 상기 제1 및 제2 VIGV 위치들 간의 거리들의 함수로서 계산함으로써

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 제어기.

청구항 15

제10항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메모리에 저장된 명령어들은 상기 현재의 동작점에 대한 상기 결정된 질량 유량을 상기 동력학적 압축기의

작동을 위한 제어 알고리즘에 입력하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 제어기.

청구항 16

제10항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메모리는 복수의 미리 결정된 서지점(surge points), 각각의 미리 결정된 서지점에 대한 서지점 질량 유량. 복수의 미리 결정된 초크점(choke points) 및 각각의 미리 결정된 초크점에 대한 초크점 질량 유량의 맵을 더 저장하고,

상기 메모리에 저장된 명령어들은,

상기 복수의 미리 결정된 서지점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 서지점을 결정하고,

상기 복수의 미리 결정된 초크점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 초크점을 결정하고,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 서지점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 초크점에 대한 질량 유량을 검색하고,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 서지점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 서지점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 서지점에 대한 서지점 질량 유량을 계산하고,

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 초크점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 초크점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 초크점에 대한 초크점 질량 유량을 계산하도록 상기 프로세서를 프로그램하는, 제어기.

청구항 17

가공액을 압축하고 질량 유량 센서를 포함하지 않는 동력학적 압축기의 질량 유량을 결정하는 방법으로서,

가공액을 압축하도록 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 단계,

상기 동력학적 압축기를 작동시키는 동안에 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하는 단계,

메모리에 저장된 미리 결정된 동작점들의 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하는 단계 - 상기 검색하는 단계는 상기 현재의 동작점이 상기 맵에서의 상기 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된 동작점 중의 하나인 경우 수행되고, 상기 맵에서의 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량을 포함함 -,

상기 현재의 동작점이 상기 맵에서의 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하는 단계, 및

상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하는 단계를 포함하는

방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하는 단계는,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트를 식별하는 단계,

상기 현재의 동작점 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트 간의 거리들을 결정하는 단계,

상기 결정된 거리들 및 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 상기 현재의 동작점의 질량 유량을 계산하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 압축기는 모터 및 가변 인렛 가이드 베인(VIGV)을 포함하고,

각각의 미리 결정된 동작점 및 상기 현재의 동작점은 상기 모터의 속도, 작동 압력비 및 VIGV의 위치에 의해 정의되고,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 결정하는 단계는,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트를 식별하는 단계 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 적은 동일한 제1 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제1 서브세트에서의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하는 단계,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제1 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제1 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제1 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하는 단계,

상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트를 식별하는 단계 - 상기 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트는 상기 현재의 동작점의 현재의 VIGV 위치보다 더 큰 동일한 제2 VIGV 위치를 가짐 -,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점 및 상기 제2 서브세트의 상기 미리 결정된 동작점들 간의 거리들을 결정하는 단계,

상기 현재의 VIGV 위치가 상기 제2 VIGV 위치로 대체된 상기 현재의 동작점의 제2 중간 질량 유량을 상기 결정된 거리들 및 상기 제2 서브세트의 각각의 미리 결정된 동작점의 질량 유량의 함수로서 계산하는 단계,

상기 현재의 동작점의 질량 유량을 상기 제1 중간 질량 유량, 상기 제2 중간 질량 유량 및 상기 현재의 VIGV 위치 및 상기 제1 및 제2 VIGV 위치들 간의 거리들의 함수로서 계산하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 20

제17항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서,

복수의 미리 결정된 서지점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 서지점을 결정하는 단계 - 상기 맵은 각각의 미리 결정된 서지점에 대한 서지점 질량 유량을 포함함 -,

상기 복수의 미리 결정된 초크점의 맵에 기초하여 상기 현재의 동작점에 대한 현재의 초크점을 결정하는 단계 - 상기 맵은 각각의 미리 결정된 초크점에 대한 초크점 질량 유량을 포함함 -,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 서지점에 대한 질량 유량을 검색하는 단계,

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나인 경우 상기 맵으로부터 상기 현재의 초크점에 대한 질량 유량을 검색하는 단계,

상기 현재의 서지점이 상기 미리 결정된 서지점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 서지점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 서지점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 서지점에 대한 서지점 질량 유량을 계산하는 단계, 및

상기 현재의 초크점이 상기 미리 결정된 초크점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 초크점에 가장 가까운 상기 복수의 미리 결정된 초크점의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 초크점에 대한 초크점 질량 유량을 계산하는 단계를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 출원은 2021년 4월 29일자로 출원된 미국특허출원 제17/243,787호에 대한 우선권을 주장하며, 상기 출원의 전체 개시 내용이 본 명세서에 전적으로 참조로 병합된다.

[0002] 본 개시의 분야는 일반적으로 제어 시스템들에 관한 것이고, 더욱 구체적으로는 동력학적 압축기들을 포함하는 기계장치들을 위한 제어 시스템들에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 원심(centrifugal) 압축기들을 포함하는 동력학적 압축기들은 HVAC 시스템들에서 흔히 사용된다. 압축기는 다수의 압축 메커니즘들 또는 임펠러 단들(impeller stages)을 지지하는 구동축(driveshaft)을 통해 모터에 연동되어 연결된다. 모터는 지정된 요구에 따라 냉매를 압축하기 위한 회전 속도와 로딩 상태(loading condition)에서 임펠러를 회전시킨다. 모터 속도와 부하(로드: load)는 넓은 범위의 동작 상태들 하에서 압축기를 동작시키기 위해 제어될 수 있다. 압축기의 정확한 동작점(operating point)을 아는 것은 비효율(예를 들어, 초크 유동(choked flow)) 또는 불안정(예를 들어, 서지(surge))의 영역들에서 동작하는 것을 피할 수 있게 도와줄 수 있다.

[0004] 초크 유동은, 특정 속도에서의 압축기의 부하가 충분히 낮아서 가공액(working fluid)이 기계를 통한 최소한의 압력 상승을 성취할 때 일어난다. 압축기는 연장된 시간 기간 동안 초크에서(at choke) 안전하게 가동될 수 있지만, 이는 비효율적이고 바람직하지 못한 동작 모드이다. 서지는, 압축기가 내는 양정(head)이 압축기의 토출(discharge) 시의 압력을 극복하기에 불충분하여 임펠러를 통한 흐름 역행(flow reversal)을 일으킬 때 일어나는, 극히 불안정한 흐름 영역(regime)이다. 이 불안정한 흐름 영역에서 짧은 시간 동안이라도 동작시키는 것은 베어링들 및 기계의 다른 부품들에 손상을 줄 수 있고 그리하여 압축기의 내용연수를 줄인다.

[0005] 바람직하지 못한 흐름 영역에서 동작하는 것을 피하기 위해, 압축기의 동작점, 회전 속도, 압력 상승 및 질량 유속(mass flow rate)을 정의하는 중요한 파라미터들에 관한 실시간 데이터를 가지는 것이 바람직하다. 압축기의 제어 계획에 이러한 파라미터들을 포함시킴으로써, 다른 동작 파라미터들이 조정될 수 있어서 압축기가 특정의 동작 범위에 머무르는 것을 보장하게 된다. 압축기의 입구 및 출구에서의 모터 속도 및 압력들은 표준 기계계측(instrumentation)를 이용하여 쉽게 측정될 수 있다. 그러나, 질량 유속을 측정하는 센서들은 종종 비용부담이 크다. 따라서, 추가의 기계 계측의 비용을 지불하지 않고 압축기의 질량 유속을 결정하는 것이 바람직하다.

[0006] 본 배경기술 단원은, 독자에게, 이하에서 기술되고 및/또는 청구되는 본 개시의 다양한 측면들에 관련될 수 있는 다양한 기술 측면들을 소개하고자 함이다. 이러한 논의는, 독자에게, 본 개시의 다양한 측면들의 보다 나은 이해를 촉진하기 위한 배경 정보를 제공하는데 도움이 될 것으로 믿어진다. 따라서, 이러한 설명들은 이에 비추어 읽혀져야 하고 종래기술로서 인정하는 것으로서 읽혀져서는 아니됨을 이해하여야 한다.

발명의 내용

[0007] 본 개시의 한 측면은, 가공액(working fluid)을 압축하도록 작동가능한 동력학적 압축기(dynamic compressor) 및 제어기를 포함하는 시스템에 관한 것이다. 상기 제어기는 상기 동력학적 압축기에 연결되고 프로세서 및 메모리를 포함한다. 상기 메모리는, 상기 동력학적 압축기의 미리 결정된 동작점들(operating points)의 맵(map) - 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량(mass flow)을 포함함 - 을 저장한다. 상기 메모리는 명령어들을 더 저장하는데, 상기 명령어들은, 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키고 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 동안에 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나인 경우, 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은 상기 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우, 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트(subset)의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은, 상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적

어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하도록 상기 프로세서를 더 프로그램한다.

[0008] 본 개시의 다른 측면은 질량 유량 센서가 없는 동력학적 압축기를 위한 제어기에 관한 것이다. 제어기는 프로세서 및 메모리를 포함한다.

[0009] 상기 메모리는, 상기 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된 동작점의 맵 - 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량을 포함함 - 을 저장한다. 상기 메모리는 명령어들을 더 저장하는데, 상기 명령어들은 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키고 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 동안에 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나인 경우, 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은 상기 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 현재의 동작점이 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우, 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하도록 상기 프로세서를 프로그램한다. 상기 메모리에 저장된 상기 명령어들은 상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하도록 상기 프로세서를 더 프로그램한다.

[0010] 본 개시의 다른 측면은 가공액을 압축하고 질량 센서를 포함하지 않는 동력학적 압축기의 질량 유량을 결정하는 방법에 관한 것이다. 본 방법은, 가공액을 압축하도록 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 단계, 상기 압축기의 현재의 동작점을 결정하는 단계, 메모리에 저장된 미리 결정된 동작점들의 맵으로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색하는 단계 - 상기 검색하는 단계는 상기 현재의 동작점이 상기 맵에서의 상기 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된 동작점 중의 하나인 경우 수행되고, 상기 맵에서의 각각의 미리 결정된 동작점은 그 미리 결정된 동작점에서의 상기 동력학적 압축기의 질량 유량을 포함함 -, 상기 현재의 동작점이 상기 맵에서의 상기 미리 결정된 동작점들 중의 하나가 아닌 경우 상기 현재의 동작점에 가장 가까운 상기 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 질량 유량들로부터 상기 현재의 동작점에 대한 질량 유량을 계산하는 단계, 및 상기 현재의 동작점에 대한 상기 계산된 질량 유량에 적어도 부분적으로 기초하여 상기 가공액을 압축하기 위해 상기 동력학적 압축기를 작동시키는 것을 계속하는 단계를 포함한다.

[0011] 전술한 측면들과 관련하여 기술된 특징들의 다양한 개선들이 존재한다. 추가의 특징들이 전술한 측면들에 또한 병합될 수 있다. 이러한 개선들과 추가의 특징들은 개별적으로 또는 임의로 조합되어 존재할 수 있다. 예를 들어, 예시된 실시예들의 임의의 것과 관련하여 이하에서 논의되는 다양한 특징들은 전술한 측면들의 임의의 것에 단독으로 또는 임의로 조합되어 병합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 이하의 도면들은 본 개시의 다양한 측면들을 예시한다.

도 1은 조립된 동력학적 압축기의 사시도이다.

도 2는 외부 도관이 제거된 도 1의 압축기를 선 2-2를 따라 절취하여 도시한 단면도이다.

도 3은 동력학적 압축기를 위한 제어 시스템의 블록도이다.

도 4는 동력학적 압축기의 동작 맵(operating map)이다.

도 5는 동력학적 압축기의 미리 결정된 동작점들 및 예시적인 현재의 동작점들의 맵이다.

도 6은 가공액을 압축하는 동력학적 압축기의 질량 유량을 결정하는 방법의 흐름도이다.

도 7a는 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제1 그래픽 표현이다.

도 7b는 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제2 그래픽 표현이다.

도 8은 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제3 그래픽 표현이다.

도 9는 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제4 그래픽 표현이다.

도 10은 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제5 그래픽 표현이다.

도 11은 현재의 동작점 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트의 제6 그래픽 표현이다.

도 12는 제1 및 제2 VIGV 위치에서의 미리 결정된 동작점들의 두개의 서브세트들을 이용하여 현재의 동작점에서의 입구(inlet) 질량 유속을 계산하는 방법의 흐름도이다.

도 13은 현재의 동작점, 두개의 중간(intermediate) 질량 유량들 및 미리 결정된 동작점들의 두개의 서브세트들의 그래픽 표현이다.

도 14는 입구 질량 유속을 입력으로서 사용하는 동력학적 압축기의 동작을 위한 예시적인 제어 알고리즘의 흐름도이다.

도면들을 통해서 대응되는 참조 문자들은 대응되는 부품들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 간결함을 위해, 원심 압축기와 관련한 예들이 기술될 것이다. 그러나, 본 명세서에서 기술되는 방법들 및 시스템들은 임의의 적합한 동력학적 압축기에 적용될 수 있다. 동력학적 압축기의 성능 및 수명은, 속도, 압력비 및 입구 질량 유속을 포함하는 중요한 동작 파라미터들의 실시간 측정들로써 개선될 수 있다. 그러한 측정들은, 압축기가 서지(surge) 또는 초크(choke)와 같은 바람직하지 못한 동작 상태들로 빠질 가능성(likelihood)을 제한하기 위한 제어 알고리즘에서 입력들로서 사용될 수 있다. 추가의 계측에 비용을 들이지 않고 동작중에 질량 유량 정보를 얻기 위해, 이전의 데이터 포인트들(prior data points)의 세트가 현재의 동작점에서의 질량 유량의 값을 보간하기(interpolate) 위해 사용될 수 있다. 이전의 데이터 포인트들은 시뮬레이션들, 실험들, 이들의 조합 또는 임의의 다른 적합한 수단으로부터 획득될 수 있다.

[0014] 도 1을 참조하면, 2단 냉매 압축기가 일반적으로 100으로 지시되어 있다. 압축기(100)는 압축기 하우징(102)을 포함하는데, 압축기 하우징(102)은 적어도 하나의 밀봉된 캐비티(sealed cavity)를 형성하고, 이 적어도 하나의 밀봉된 캐비티 내에서 냉매 압축의 각각의 단이 성취된다. 압축기(100)는 냉매 증기를 제1 압축단(도 1에 레이블되는 않음)에 도입하기 위한 제1 냉매 입구(110), 제1 냉매 출구(114), 압축된 냉매를 제1 압축단으로부터 제2 압축단으로 이송하기 위한 냉매 이송 도관(112), 냉매 증기를 제2 압축단(도 1에 레이블되는 않음)에 도입하기 위한 제2 냉매 입구(118) 및 제2 냉매 출구(120)를 포함한다. 냉매 이송 도관(112)은 대향하는 단부들에서 제1 냉매 출구(114) 및 제2 냉매 출구(118)에 각각 연동되어 연결된다. 제2 냉매 출구(120)는 압축된 냉매를 제2 압축단으로부터 압축기(100)가 포함되어 있는 냉각 시스템으로 전달한다.

[0015] 도 2를 참조하면, 압축기 하우징(102)은 압축기(100)의 대향하는 단부들에서 제1 압축단(124) 및 제2 압축단(126)을 수용한다. 제1 압축단(124)은 제1 냉매 입구(110)를 통해 들어가는 냉매에 운동 에너지를 부가하도록 구성된 제1 압축 메커니즘(106)을 포함한다. 몇몇 실시예들에서, 제1 압축 메커니즘(106)은 임펠러이다. 제1 압축 메커니즘(106)에 의해 냉매에 전달된 운동 에너지는 증가된 냉매 압력으로 변환되는데, 이는 불류트(volute)(132) 내에 형성된 밀봉된 캐비티(예를 들어, 디퓨져(diffuser))로 이송 시 냉매 속도가 느려지기 때문이다. 유사하게, 제2 압축단(126)은 제2 냉매 입구(118)를 통해 들어가는, 제1 압축단(124)으로부터 이송되는 냉매에 운동 에너지를 부가하도록 구성된 제2 압축 메커니즘(116)을 포함한다. 몇몇 실시예들에서, 제2 압축 메커니즘(116)은 임펠러이다. 제2 압축 메커니즘(116)에 의해 냉매에 전달되는 운동 에너지는 증가된 냉매 압력으로 변환되는데, 이는 불류트(132) 내에 형성된 밀봉된 캐비티(예를 들어, 디퓨져)로 이송 시 냉매 속도가 느려지기 때문이다. 압축된 냉매는 제2 냉매 출구(120)(도 2에 도시되지 않음)를 통해 제2 압축단(126)을 빠져나간다.

[0016] 제1 단의 압축 메커니즘(106) 및 제2 단의 압축 메커니즘(116)은 구동축(104)의 대향하는 단부들에서 연결되어 있다. 구동축(104)은, 제1 단의 압축 메커니즘(106) 및 제2 단의 압축 메커니즘(116)이 제2 냉매 출구(120)(도 2에 도시되지 않음)를 빠져 나가는 냉매를 미리 선택된 압력으로 압축하기 위해 선택된 회전 속도로 회전하도록, 제1 단의 압축 메커니즘(106) 및 제2 단의 압축 메커니즘(116) 간에 위치해 있는 모터(108)에 연동적으로 연결된다.

[0017] 구동축(104)은 각각의 베어링 하우징(200/200a)의 슬리브(sleeve)(202) 내에 위치한 개스 포일 베어링 조립체들(gas foil bearing assemblies)(300)에 의해 지지된다. 각각의 베어링 하우징(200/200a)은, 도 2에 예시된 바와 같이 각각의 베어링 하우징(200/200a)을 압축기 하우징(102)에 연결하기 위한 장착 구조체(도시되지 않음)를 포함한다. 베어링 하우징들(200/200a)은, 전술한 개스 포일 베어링 조립체(300)와 같은 레이디얼 베어링들(radial bearings), 쓰러스트 베어링(thrust bearing), 근접 프로브들(proximity probes), 압력 트랜스듀서들(pressure transducers), 써모커플들(thermocouples), 키 페이져들(key phasers) 및 이와 유사한 것과 같은 수동 또는 능동 제어 계획들을 위한 피드백으로서 사용되는 센싱 장치들(도시되지 않음)을 포함하나 이에 제한되

지 않는 다양한 요소들을 위한 장착 구조체로서 더욱 기능할 수 있다.

[0018] 도 3을 참조하면, 시스템(350)의 예시적인 실시예는 가공액(working fluid)을 압축하기 위해 작동가능한 동력학적 압축기(dynamic compressor)(304)를 포함한다. 압축기(304)는 압축기 하우징(305), 압축 메커니즘(307), 모터(306), 속도 센서(317), 압력 센서들(309) 및 제어기(310)를 포함한다. 본 실시예에서, 동력학적 압축기(304)는 원심 압축기이고, 압축 메커니즘은 임펠러이다. 다른 실시예들에서, 동력학적 압축기(304)는 축류 압축기(axial compressor)일 수 있고, 압축 메커니즘(307)은 축류 회전자(axial rotor)일 수 있다. 속도 센서(317)는 압축기의 회전 속도를 측정하고, 압축 센서들(309)은, 냉매 입구 및 냉매 출구에서의 것들을 포함하는, 압축기 유로를 따라서의 다양한 포인트들에서의 압력을 측정한다. 온도 센서들, 유량 센서들, 전류 센서들(308), 전압 센서들, 회전 속도 센서들 및 임의의 다른 적절한 센서들을 포함하나 그에 제한되지 않는 추가의 센서들이 그 동작에 관한 데이터를 제공하기 위해 압축기(304)에 설치될 수 있다. 압축기(304)는 시스템(350)에서 특정의 구조로 제한되지 않으며, 도 1 및 도 2에 기술된 압축기(100)에 유사하게 구축될 수 있거나 다른 방식으로 구축될 수도 있다. 시스템(350)은 언로딩 장치(unloading device)(301), 가변 주파수 구동기(variable frequency drive)(316) 및 사용자 인터페이스(315)를 더 포함한다.

[0019] 제어기(310)는, 전술한 측정된 파라미터들에 부분적으로 기초하여 압축기의 동작을 제어하기 위해 압축기(304)에 연동적으로 연결된다. 제어기(310)는 프로세서(311), 메모리(312) 및 언로딩 인터페이스(314)를 포함한다. 메모리(312)는, 테이블, 매트릭스 및 이와 유사한 것과 같은 임의의 적절한 데이터 구조로 저장될 수 있는 압축기(304)의 복수의 동작점의 맵(500)(도 5)을 저장한다. 메모리(312)는, 가공액을 압축하기 위해 압축기(304)를 작동시키고 질량 유량 해석의 방법들을 수행하도록 프로세서(311)에 의해 실행되는 명령어들을 추가적으로 저장한다. 맵(500) 및 질량 유량 해석의 방법이 이하에서 더욱 상세히 논의된다.

[0020] 시스템(350)은 제어기(310)를 VFD(316)에 접속하기 위한 인터페이스 및 VFD(316)를 모터(306)에 접속하기 위한 모터 인터페이스(313)를 포함한다. 어떤 실시예들에서, VFD(316)는 제어기(310)의 제어 하에 작동된다. 추가의 실시예들에서, VFD(316)는 제어기(310)의 일부이다. 시스템(350)은 제어기(310)를 언로딩 장치(301)에 접속하기 위한 언로딩 인터페이스(314)를 더 포함한다.

[0021] 제어기(310)는, 스타트업 및 셧다운 루틴들 동안에 그리고 서지 이벤트들의 심각도를 제한하기 위한 검출된 서지 이벤트들 동안에 압축기에 걸리는 부하(로드)를 제거하고 및/또는 감소시키는, 언로딩 인터페이스(314)를 통해 언로딩 장치(301)에 연동되어 결합된다. 예시적인 실시예에서, 언로딩 장치(301)는 가변 디퓨져 또는 가변 인렛 가이드 베인들(variable inlet guide vanes: VIGV)이다. 제어기(310)는, VIGV의 위치와 같은, 언로딩 장치(301)의 적어도 하나의 동작 파라미터를 제어하도록 구성된다. 다른 실시예들에서, 언로딩 장치(301)는 바이패스 밸브이다. 냉매 바이패스 밸브들과 같은 바이패스 밸브들은 개스에 대한 대안적인 경로를 제공하여, 압축기 모터(306)가 스타트업 동안에 아무리 천천히 가속하거나 셧다운 동안에 아무리 천천히 감속하더라도 압축기(304)의 압력 상승을 멈추고 임의의 잠재적인 서징(potential surging)을 제한한다. 다른 실시예들에서, 언로딩 장치(301)는 팽창 밸브(expansion valve)이다. 여전히 다른 실시예들에서, 언로딩 장치(301)는, 서보 밸브와 같은 가변 오리피스 또는 다이어미터 밸브 및 솔레노이드 밸브 또는 듀티 싸이클에 따라 개폐를 제어하도록 구성된 펄스 폭 변조(PWM) 밸브와 같은 고정식 오리피스 또는 다이어미터 밸브일 수 있다. 많은 유형들의 언로딩 장치들이 여기서 기술되지만, 언로딩 장치(301)는, 압축기(304)에 걸리는 부하를 줄이는 임의의 적합한 장치 또는 장치들의 조합일 수 있다.

[0022] 시스템(350)은 시스템(350)과 연관된 정보(예를 들어, 사용자로부터)를 출력하고(예를 들어, 디스플레이) 및/또는 수신하도록 구성된 사용자 인터페이스(315)를 더 포함한다. 몇몇의 실시예들에서, 사용자 인터페이스(315)는, 시스템(350)의 동작을 활성화시키고 비활성화시키거나(즉, 턴온 및 턴오프) 또는 인에이블시키도록 사용자로부터의 활성화 및/또는 비활성화 입력을 수신하도록 구성된다. 더욱이, 몇몇 실시예들에서, 사용자 인터페이스(315)는, 심각도 경보들(severity alerts), 발생 경보들(occurrence alerts), 장애 경보들(fault alerts), 모터 속도 경보들 및 임의의 다른 적절한 정보와 같은 경고 표시자들(warning indicators)을 예를 들어 그리고 제한 없이 포함하는, 시스템(350)의 하나 이상의 동작 특성들과 연관된 정보를 출력하도록 구성된다.

[0023] 사용자 인터페이스(315)는 사용자 인터페이스(315)가 본 명세서에 기술된 대로 기능하도록 하게 하는 임의의 적절한 입력 장치들 및 출력 장치들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 사용자 인터페이스(315)는, 키보드, 마우스, 터치스크린, 조이스틱(들), 쓰로틀(들), 버튼들, 스위치들 및/또는 다른 입력 장치들을 포함하나 이에 제한되지 않는 입력 장치들을 포함할 수 있다. 더욱이, 사용자 인터페이스(315)는, 디스플레이(예를 들어, 액정 디스플레이(LCD) 또는 유기 발광 다이오드(OLED) 디스플레이), 스피커들, 표시 광원들, 기기들 및/또는 다른 출력 장

치들을 예를 들어 그리고 제한없이 포함하는 출력 장치들을 포함할 수 있다. 더욱이, 사용자 인터페이스(315)는, 시스템 제어기(도시되지 않음)와 같은 다른 소자의 일부일 수 있다. 다른 실시예들은 사용자 인터페이스(315)를 포함하지 않는다.

[0024] 제어기(310)는 일반적으로 압축기(304)의 동작을 제어하도록 구성된다. 제어기(310)는 프로그래밍 및 다른 장치 또는 제어기로부터의 명령어들을 통해 동작을 제어하거나 시스템 제어기를 통해 시스템(350)과 통합된다. 몇몇 실시예들에서, 예를 들어, 제어기(310)는 사용자 인터페이스(315)로부터 사용자 입력을 수신하고 그러한 사용자 입력들에 응답하여 시스템(350)의 하나 이상의 소자들을 제어한다. 예를 들어, 제어기(310)는 사용자 인터페이스(315)로부터 수신된 사용자 입력에 기초하여 모터(306)를 제어할 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 시스템(350)은 원격 제어 인터페이스에 의해 제어될 수 있다. 예를 들어, 시스템(350)은, 시스템(350)의 원격 제어 및 활성화를 가능하게 하는 무선 제어 인터페이스에의 접속을 위해 구성된 통신 인터페이스(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 무선 제어 인터페이스는, 태블릿 또는 스마트폰과 같은 휴대용 컴퓨팅 장치 상에서 구현될 수 있다.

[0025] 제어기(310)는, 서로서로에 통신가능하게 결합될 수 있고 독립적으로 또는 서로서로와 관련하여 작동될 수 있는, 컴퓨터들, 프로세싱 유니트들 및/또는 그와 유사한 것의 임의의 적절한 조합을 포함하는, 임의의 적절한 컴퓨터 및/또는 다른 프로세싱 유니트를 일반적으로 포함할 수 있다(예를 들어, 제어기(310)는 제어기 네트워크의 전부 또는 일부를 구성할 수 있다). 제어기(310)는 하나 이상의 모듈들 또는 장치들을 포함할 수 있는데, 이들의 하나 이상은 시스템(350) 내에 수용되거나 시스템(350)으로부터 원격에 위치할 수 있다. 제어기(310)는 압축기(304)의 일부이거나 그와 별도의 것일 수 있고 HVAC 시스템에서의 시스템 제어기의 일부일 수 있다. 제어기(310) 및/또는 제어기(310)의 소자들은 통합될 수 있거나 시스템(350)의 다른 소자들 내에 병합될 수 있다. 제어기(310)는, 다양한 컴퓨터 구현 기능들을 수행하도록 구성된(예를 들어, 본 명세서에 개시된 계산들, 결정들 및 기능들을 수행하는) 하나 이상의 프로세서(들)(311) 및 연관된 메모리 장치(들)(312)를 포함할 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 경우, '프로세서'라는 용어는 집적 회로들뿐만 아니라 제어기, 마이크로컨트롤러, 마이크로컴퓨터, 프로그램가능한 논리 제어기(PLC), ASIC(application-specific integrated circuit) 및 다른 프로그램가능한 회로들을 가리킨다. 추가적으로, 제어기(310)의 메모리 장치(들)(312)은, 일반적으로 컴퓨터 판독가능한 매체(예를 들어, 랜덤 액세스 메모리(RAM)), 컴퓨터 판독가능한 비휘발성 매체(예를 들어, 플래시 메모리), 플로피 디스크, 컴팩트 디스크 판독 전용 메모리(CD-ROM), 광자기 디스크(magneto-optical disk: MOD), DVD(digital versatile disc) 및/또는 다른 적절한 메모리 소자들을 포함하나 이에 제한되지 않는 메모리 소자(들)일 수 있거나 이들을 포함할 수 있다. 그러한 메모리 장치(들)(312)는, 프로세서(들)(311)에 의해 구현되는 경우, 제어기(310)를, 시스템(350)을 제어하는 것, 모터(306)의 동작을 제어하는 것, 사용자 인터페이스(315)로부터 입력들을 수신하는 것, 사용자 인터페이스(315)를 통해 운용자에게 출력을 제공하는 것, 언로딩 장치(301)를 제어하는 것 및/또는 다양한 다른 적절한 컴퓨터 구현 기능들을 포함하나 이에 제한되지 않는, 본 명세서에 기술된 다양한 기능들을 수행하도록 구성하거나 그렇게 하도록 야기하는, 적절한 컴퓨터 판독가능한 명령어들을 저장하도록 일반적으로 구성될 수 있다.

[0026] 도 4를 참조하면, 예시적인 동력학적 원심 압축기(304)의 동작 엔벌로프(operating envelope) 또는 동작 맵(400)이 도시되어 있다. 이 동작 맵(400)은 메모리(312)에 의해 저장되는 복수의 미리 결정된 동작점의 맵의 하나의 그래픽 표현이다. 동작 맵(400)은 압축기의 성능을 유량들, 양정들 및 속도들의 면에서 그래픽하게 표시한다. 이 맵은 양정 대 입구 질량 유속(head vs. inlet mass flow rate)을 압축기(304)의 설계점(design point)에서의 그들의 값들의 퍼센트로서 나타낸다. 양정은 출구 압력 대 입구 압력의 총 압력비이다. 입구 질량 유속은, 압축 메커니즘(307)을 통해 흐르는, 냉매와 같은 가공액의 양의 척도이다. 동작 맵(400)은 복수의 압축기 속도 라인(407)을 나타낸다. 이 예에서, 70퍼센트의 설계 속도로부터 110퍼센트의 설계 속도까지의 범위에 있는 5개의 속도 라인들(407)이 있는데, 여기서 각각의 라인은 10퍼센트의 차이만큼 분리되어 있다. 이러한 특정한 속도 라인들을 이 예에서 나타내었지만, 압축기 설계 속도의 임의의 서로 다른 퍼센트들에서의 임의의 개수의 속도 라인들을 임의의 유형의 압축기에 대해 나타낼 수 있다.

[0027] 서지 한계 라인(404)은, 서지 영역(406)(즉, 서지 한계 라인(404)의 좌측으로의)에서 서지가 일어나기 전의 최대 로딩 상태를 나타낸다. 서지 제어 라인(403)은, 압축기(304)가 서지에 빠질 위험없이 안전하게 작동할 수 있는 최대 로딩 상태를 대략적으로 나타낸다. 서지 제어 라인(403)은 서지 한계 라인(404)으로부터의 서지 마진(405)에 의해 정의된다. 서지 제어 라인(403)의 우측으로 작동시킴으로써, 압축기는 서징(surging)을 피할 수 있게 된다. 초크 라인(401)은, 그 우측으로의 작동이 압축기가 초크 상태에서 작동되게 할 것이라는 것을 나타낸다. 압축기(304)에 대한 동작 맵(400)의 동작점(409)이 속도 라인, 입구 질량 유속 및 총 압축비의 교점

으로서 도시된다. 임의의 개수의 동작점들이 임의의 유형의 압축기에 대해 도시될 수 있지만, 예를 들어, 동작 맵(400)에 도시된 동작점(409)은 80퍼센트 입구 질량 유속, 108퍼센트 양정 및 100퍼센트 속도이다. 동작점은 압축기의 현재의 동작 파라미터들을 정의하고, 동작 맵(400)은 현재의 동작점이 불안정한 상태(즉, 서지) 또는 비효율적인 상태(즉, 초크)에서 작동되는 것에 얼마나 가까운지를 나타낸다.

[0028] 도 5는 미리 결정된 동작점들(50)의 맵(500)을 도시한다. 맵(500)은 메모리(312)에 저장된 미리 결정된 동작점들의 맵의 다른 대표적 예시이다. 각각의 미리 결정된 동작점(50)은 압축기 속도 값 및 압축기 압력비 값의 교점으로서 도시된다. 맵(500)에서의 미리 결정된 동작점들의 모두는 동일한 VIGV 위치를 가진다. 유사한 맵들이 서로 다른 VIGV 위치들에 대해 메모리(312)에 저장되고 맵(500)과 동일한 속도 및 압력비의 조합들에 대한 미리 결정된 동작점들을 포함할 수 있다. 입구 질량 유속은 각각의 미리 결정된 동작점(50)에 대해 정의된다. 서지(522) 및 초크(532)에서의 속도 및 서지(524) 및 초크(534)에서의 압력비가 또한 각각의 미리 결정된 동작점(50)에 대해 정의된다. 맵(500)은 서지 라인(520) 및 초크 라인(530)을 따르는 점들까지의 그리고 이 점들을 포함하는 범위에 있는 동작점들(50)을 포함한다. 메모리(312)는 각각의 미리 결정된 서지점(surge point)에 대한 서지점 질량 유량 및 모든 미리 결정된 초크점에 대한 초크점 질량 유량을 저장한다. 맵(500)은 서지 라인(520) 위로 또는 초크 라인(530) 아래로 어떠한 점들(포인트들)도 포함하지 않는데, 이는 서지 라인(520) 위의 또는 초크 라인(530) 아래의 점들은 회피되어야 하고 따라서 '동작점들'이 아니기 때문이다. 다른 실시예들에서, 서지 라인(520) 위의 또는 초크 라인(530) 아래의 점들의 입구 질량 유속이 포함될 수 있다. 이 맵(500)에서, 미리 결정된 동작점들(50)은 10퍼센트 및 35퍼센트의 속도 사이에서 그리고 5퍼센트의 압력비 및 50퍼센트의 압력비 사이에서 변동되고, 여기서 각각의 점은 두 축들 상에서 5퍼센트만큼 분리되어 있다. 이러한 특정 동작점들이 이 예에서 도시되어 있지만, 임의의 값들에서의 그리고 임의의 분해능을 가진 임의의 개수의 동작점들이 임의의 유형의 압축기에 대해 도시될 수 있다. 각각의 미리 결정된 동작점(50)의 속도, 압력비, 입구 질량 유속 및 VIGV 위치 값들은 컴퓨터 상에서 동력학적 압축기의 동작을 시뮬레이션하거나 제어된 환경에서 동력학적 압축기를 테스트하거나, 시뮬레이션과 테스트를 조합함으로써 또는 각각의 미리 결정된 동작점(50)의 속도, 압력비, 입구 질량 유속 및 VIGV 위치 값들을 미리 결정하기 위한 임의의 다른 적절한 방법에 의해 생성될 수 있다.

[0029] 메모리(312)는, 압축기의 질량 유량을 결정하도록 프로세서(311)를 프로그램하는 명령어들을 추가로 저장하는데, 그 방법(600)은 도 6에 도시되어 있다. 가공액을 압축하도록 동력학적 압축기를 작동시키는 동안(602), 프로세서(311)는 압축기(304)의 현재의 동작점을 결정한다(604). 현재의 동작점은 측정된 속도, 압력비 및 압축기(304)가 주어진 시간에 작동되는 VIGV 위치에 의해 정의된다. 예를 들어, 맵(500)에 도시된 현재의 동작점(710)은 22퍼센트의 속도, 28퍼센트의 압력비 및 맵(500)에서의 모든 점들의 VIGV 위치인 VIGV 위치에서의 현재의 동작을 나타낸다. 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들(50) 중의 하나와 같은, 속도, 압력비 및 VIGV 위치의 값들을 가진다면, 프로세서는, 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들(50) 중의 하나라고 결정할 것이다(606). 그러한 경우에, 메모리(312)는, 그 미리 결정된 동작점(50)에 대한 입구 질량 유속의 값을 검색하고(608) 이를 현재의 동작점에서의 입구 질량 유속의 값으로서 반환하도록 프로세서(311)를 프로그램하는 명령어들을 저장한다.

[0030] 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들(50)의 어느 하나와 동일한 속도, 압력비 및 VIGV 위치를 가지지 않는다면, 프로세서는, 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들(50) 중의 하나가 아니라고 결정할 것이다(606). 그러한 경우들에서, 메모리(312)는, 현재의 동작점에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(50)의 서브세트를 결정하도록 프로세서(311)를 프로그램하는 명령어들을 포함한다. 그러면, 프로세서(311)는 현재의 동작점에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(50)의 서브세트의 질량 유량 값들로부터 현재의 동작점에서의 질량 유량을 계산하기 위해(610) 선형 또는 엔벌로프 보간(linear or envelope interpolation)을 수행한다. 서브세트를 포함하는 점들을 결정하고 엔벌로프 보간을 수행하는 절차는 이하에서 상세히 논의된다.

[0031] 엔벌로프 보간이 도 7a를 참조하여 설명될 것이다. 도 7a는 현재의 동작점(710) 및 현재의 동작점(710)에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(701, 702, 703, 704)의 서브세트(700)의 제1 그래픽 표현이다. 현재의 동작점(710)은 미리 결정된 동작점들(701-704)의 어느 하나와 동일한 속도 또는 압력비 값들을 가지지 않고, 이는 서지 라인(520) 또는 초크 라인(530)에 인접하지 않다. 따라서, 메모리(312)에 저장된 명령어들은, 현재의 동작점(710)에 가장 가까운 4개의 미리 결정된 동작점들을 식별함으로써 서브세트(700)를 형성하도록 프로세서(311)를 프로그램한다. 서브세트(700)는 좌표들 (x_1, y_1), (x_2, y_1), (x_1, y_2) 및 (x_2, y_2)에 도시된 4개의 미리 결정된 점들(701-704)을 포함하는데, 여기서 x는 압축기 속도이고 y는 그 동작점에서의 압축기

압력비이다. 4개의 미리 결정된 점들(701-704)의 각각은 K_{11}, K_{21}, K_{12} 및 K_{22}로서 각각 나타낸, 그 입구 질량 유속으로 추가로 레이블되어 있다. 추가의 실시예들에서, 이 서브세트는 4개의 미리 결정된 동작점들 보다 적은 개수의 동작점들을 포함할 수 있다.

[0032] 현재의 동작점(710)에서의 질량 유량 J는 엔벌로프 보간의 과정을 이용하여 계산된다. 현재의 동작점(710)과 동일한 속도에서 정의된 제1의 중간(interim) 질량 유량 L_1은 제1의 미리 결정된 동작점(701)의 질량 유량 K_{11} 및 현재의 동작점(710) 및 제1의 미리 결정된 동작점(701)에서의 속도들 간의 차이 $(x - x_1)$ 및 제2의 미리 결정된 동작점(702) 및 제1의 미리 결정된 동작점(701)에서의 속도들 간의 차이 $(x_2 - x_1)$의 비에 의해 스케일된, 제2 및 제1의 미리 결정된 동작점들(702, 701)에서의 질량 유량들 간의 차이 $(K_{21} - K_{11})$의 합으로서 계산된다. 따라서, L_1은 다음과 같이 결정된다.

[0033] $$L_1 = K_{11} + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} * (K_{21} - K_{11}) \quad (1)$$

[0034] 다른 실시예들에서, 제1의 중간 질량 유량 L_1의 계산은 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 계산될 수 있다.

[0035] 유사하게, 현재의 동작점(710)과 동일한 속도에서 정의된 제2의 중간 질량 유량 L_2는 제3의 미리 결정된 동작점(703)의 질량 유량 K_{12} 및 현재의 동작점(710) 및 제3의 미리 결정된 동작점(703)에서의 속도들 간의 차이 $(x - x_1)$ 및 제4의 미리 결정된 동작점(704) 및 제3의 미리 결정된 동작점(703)에서의 속도들 간의 차이 $(x_2 - x_1)$의 비에 의해 스케일된, 제3 및 제4의 미리 결정된 동작점들(703, 704)에서의 질량 유량들 간의 차이 $(K_{22} - K_{12})$의 합으로서 계산된다. 따라서, L_2는 다음과 같이 결정된다.

[0036] $$L_2 = K_{12} + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} * (K_{22} - K_{12}) \quad (2)$$

[0037] 다른 실시예들에서, 제2의 중간 질량 유량 L_2의 계산은 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 계산될 수 있다.

[0038] 마지막으로, 질량 유량 J는 제1의 중간 질량 유량 L_1 및 현재의 동작점(710)에서의 압력비 및 제1 및 제2의 미리 결정된 동작점에서의 압력비 간의 차이 $(y - y_1)$ 및 제3 및 제4의 미리 결정된 동작점(703, 704)에서의 압력비 및 제1 및 제2의 미리 결정된 동작점(701, 702)에서의 압력비 간의 차이 $(y_2 - y_1)$의 비에 의해 스케일된, 제2 및 제1의 중간 질량 유량들 간의 차이 (L_2 - L_1)의 합으로서 계산될 수 있다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0039] $$J = L_1 + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} * (L_2 - L_1) \quad (3)$$

[0040] 다른 실시예들에서, 질량 유량 J는 유사한 계산들을 이용하여 제2의 중간 질량 유량 L_2로부터 계산될 수 있다.

[0041] 도 7b는 현재의 동작점(710) 및 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(701-704)의 서브세트(700)의 제2의 그래픽 표현을 도시한다. 전술한 엔벌로프 보간 과정은, 동일한 속도에서라기 보다는 현재의 동작점(710)과 동일한 압력비에서의 제1 및 제2의 중간 질량 유량 값들 L_1, L_2를 정의함으로써 대안적으로 수행될 수 있다. 그러한 경우에, 중간 질량 유량 값들 L_1, L_2의 계산은 스케일 인자로서의 압력비 차이들의 비를 이용할 것이다. 따라서, L_1은 다음과 같이 결정된다.

[0042] $$L_1 = K_{11} + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} * (K_{12} - K_{11}) \quad (4)$$

[0043] 다른 실시예들에서, 제1의 중간 질량 유량 L은 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 결정될 수 있다.

[0044] 유사하게, L_2는 다음과 같이 결정된다.

[0045] $$L_2 = K_{21} + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} * (K_{22} - K_{21}) \quad (5)$$

[0046] 다른 실시예들에서, L_2는 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 결정될 수 있다. 현재의 동작점(710)에서의 질량 유량 J의 계산은 스케일 인자로서의 속도 차이들의 비를 이용할 것이다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0047] $$J = L_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} * (L_2 - L_1) \quad (6)$$

[0048] 다른 실시예들에서, J는 유사한 방정식들을 이용하여 제2의 중간 질량 유량 L_2로부터 계산될 수 있다.

[0049] 도 8은 현재의 동작점(810) 및 현재의 동작점(810)에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트(800)의 제3의 그래픽 표현을 도시한다. 현재의 동작점(810)은 두개의 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(801, 802)과 동일한 압력비 값 y_1를 가지나 그와 다른 속도 값 x를 가지며, 이는 서지 라인(520) 또는 초크 라인(530)에 인접하지 않다. 따라서, 가장 가까운 점들의 서브세트(800)는 동일한 압력비 값을 가지는 두개의 가장 가까운 점들 - 예를 들어, 좌표들 (x_1, y_1), (x_2, y_1)에서 K_{11} 및 K_{21}의 질량 유량 값들을 가진 것으로 각각 나타낸 것들 - 로부터 형성된다.

[0050] 현재의 동작점(810)에서의 질량 유량 J는 제1의 미리 결정된 동작점(801)의 질량 유량 K_{11} 및 현재의 동작점(810) 및 제1의 미리 결정된 동작점(801)에서의 속도들 간의 차이 $(x - x_1)$ 및 제2의 미리 결정된 동작점(802) 및 제1의 미리 결정된 동작점(801)에서의 속도들 간의 차이 $(x_2 - x_1)$의 비에 의해 스케일된, 제1 및 제2의 미리 결정된 동작점들(801, 802)에서의 질량 유량들 간의 차이 $(K_{21} - K_{11})$의 합으로서 계산된다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0051] $$J = K_{11} + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} * (K_{21} - K_{11}) \quad (7)$$

[0052] 다른 실시예들에서, J는 또한 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 계산될 수 있다.

[0053] 도 9는 현재의 동작점(910) 및 현재의 동작점(910)에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트(900)의 제4의 그래픽 표현을 도시한다. 현재의 동작점(910)은 두개의 가장 가까운 미리 결정된 동작점들(901, 902)과 동일한 속도 값 x_1을 가지나 그와 다른 압력비 값 y를 가지며, 이는 서지 라인(520) 또는 초크 라인(530)에 인접하지 않다. 따라서, 가장 가까운 점들의 서브세트(900)는 동일한 속도 값을 가지는 두개의 가장 가까운 점들 - 예를 들어, 좌표들 (x_1, y_1), (x_1, y_2)에서 K_{11} 및 K_{12}의 질량 유량 값들을 가진 것으로 각각 나타낸 것들 - 로부터 형성된다.

[0054] 현재의 동작점(910)에서의 질량 유량 J는 제1의 미리 결정된 동작점(901)의 질량 유량 K_{11} 및 현재의 동작점(910) 및 제1의 미리 결정된 동작점(901)에서의 압력비들 간의 차이 $(y - y_1)$ 및 제2의 미리 결정된 동작점(902) 및 제1의 미리 결정된 동작점(901)에서의 압력비들 간의 차이 $(y_2 - y_1)$의 비에 의해 스케일된, 제1 및 제2의 미리 결정된 동작점들(902, 901)에서의 질량 유량들 간의 차이 $(K_{12} - K_{11})$의 합으로서 계산된다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0055] $$J = K_{11} + \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} * (K_{12} - K_{11}) \quad (8)$$

[0056] 다른 실시예들에서, J는 또한 유사한 계산들을 이용하여 임의의 다른 미리 결정된 점들로부터 계산될 수 있다.

[0057] 도 10은 현재의 동작점(1010) 및 현재의 동작점(1010)에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트(1000)의 제5의 그래픽 표현을 도시한다. 현재의 동작점(1010)이 서지 라인(520)에 인접하고 미리 결정된 동작점들의 맵이 서지 라인(520) 위로는 정의되어 있지 않기 때문에, 가장 가까운 점들의 서브세트(1000)는 현재의 동작점(1010)에 가장 가까운 세개의 미리 결정된 동작점들(1001, 1002, 1003)로 형성된다. 이 예에서, 서브세트(1000)는 좌표들 (x_1, y_1), (x_2, y_1) 및 (x_2, y_2) 에서 K_{11}, K_{21} 및 K_{22}의 질량 유량 값들을 가진 것으로 각각 나타낸 점들을 포함한다.

[0058] 현재의 동작점(1010)에서의 질량 유량은, 미리 결정된 동작점들(1001, 1002, 1003)의 각각에서의 알려진 질량 유량들 K_{11}, K_{21} 및 K_{22}가 현재의 동작점(1010)에 기여하는 기여도(contribution)를 현재의 동작점(1010)으로부터의 그들의 거리에 기초하여 계산함으로써 결정될 수 있다. 가중 인자들 W_{K11}, W_{K21}, W_{K22}은, 다음의 세개의 방정식들을 만족하는, 각각의 미리 결정된 동작점(1001, 1002, 1003)에서의 질량 유량 K_{11}, K_{21}, K_{22}에 대해 정의된다.

[0059] $$x = W_{K_{11}} x_{K_{11}} + W_{K_{21}} x_{K_{21}} + W_{K_{22}} x_{K_{22}} \quad (9)$$

[0060] $$y = W_{K_{11}} y_{K_{11}} + W_{K_{21}} y_{K_{21}} + W_{K_{22}} y_{K_{22}} \quad (10)$$

[0061] $$W_{K_{11}} + W_{K_{21}} + W_{K_{22}} = 1 \quad (11)$$

[0062] 값들 x_{K11}, x_{K21} 및 x_{K22}는 각각의 미리 결정된 동작점의 x 좌표를 나타내고, 값들 y_{K11}, y_{K21} 및 y_{K22}는 각각의 미리 결정된 동작점의 y 좌표를 나타낸다. 각각의 미리 결정된 동작점들(1001, 1002, 1003)의 좌표들 (x_1, y_1), (x_2, y_1), (x_2, y_2)는 방정식들 (9) 및 (10)에 대입된다. 그러면 이 연립방정식은 단순화될 수 있고 각각의 가중 인자에 대해 풀이될 수 있다. 따라서, 가중 인자들 W_{K11}, W_{K21}, W_{K22}은 다음과 같이 결정된다.

[0063] $$W_{K_{11}} = \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} \quad (12)$$

[0064] $$W_{K_{21}} = \frac{x_2 - x}{x_1 - x_2} + \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \quad (13)$$

[0065] $$W_{K_{22}} = 1 - W_{K_{11}} - W_{K_{21}} \quad (14)$$

[0066] 마지막으로, 현재의 동작점(1010)에서의 질량 유량 J는, 미리 결정된 동작점들의 각각에서의 질량 유량들을 그들 각각의 가중 인자 W_{K11}, W_{K21}, W_{K22}에 의해 스케일하여 합한 합으로서 계산될 수 있다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0067] $$J = W_{Q_{11}} K_{11} + W_{Q_{21}} K_{21} + W_{Q_{22}} K_{22} \quad (15)$$

[0068] 도 11은 현재의 동작점(1110) 및 현재의 동작점(1110)에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의 서브세트(1100)의 제6의 그래픽 표현을 도시한다. 현재의 동작점(1110)이 초크 라인(530)에 인접하고 미리 결정된 동작점들의 맵이 초크 라인(530) 아래로는 정의되어 있지 않기 때문에, 가장 가까운 점들의 서브세트(1100)는 현재의 동작점(1110)에 가장 가까운 세개의 미리 결정된 동작점들(1101, 1102, 1103)로 형성된다. 이 예에서, 서브세트(1100)는 좌표들 (x_1, y_1), (x_1, y_2) 및 (x_2, y_2) 에서 K_{11}, K_{12} 및 K_{22}의 질량 유량 값들을 가진 것으로 각각 나타낸 점들을 포함한다.

[0069] 도 10에 대해 위에서 기술된 절차와 유사하게, 현재의 동작점(1110)에서의 질량 유량은 미리 결정된 동작점들(1101, 1102, 1103)의 각각에서의 알려진 질량 유량들 K_{11}, K_{12} 및 K_{22}가 현재의 동작점(1110)에 기여하는 기여도(contribution)를 현재의 동작점(1110)으로부터의 그들의 거리에 기초하여 계산함으로써 결정될 수 있다. 가중 인자들 W_{K11}, W_{K12}, W_{K22}은, 다음의 세개의 방정식들을 만족하는, 각각의 미리 결정된 동작점(1101, 1102, 1103)에서의 질량 유량 K_{11}, K_{12}, K_{22}에 대해 정의된다.

[0070] $$x = W_{K_{11}} x_{K_{11}} + W_{K_{12}} x_{K_{12}} + W_{K_{22}} x_{K_{22}} \quad (16)$$

[0071] $$y = W_{K_{11}} y_{K_{11}} + W_{K_{12}} y_{K_{12}} + W_{K_{22}} y_{K_{22}} \quad (17)$$

[0072] $$W_{K_{11}} + W_{K_{12}} + W_{K_{22}} = 1 \quad (18)$$

[0073] 값들 x_{K11}, x_{K12} 및 x_{K22}는 각각의 미리 결정된 동작점의 x 좌표를 나타내고, 값들 y_{K11}, y_{K12} 및 y_{K22}는 각각의 미리 결정된 동작점의 y 좌표를 나타낸다. 세개의 미리 결정된 점들(1101, 1102, 1103)의 좌표들 (x_1, y_1), (x_1, y_2) 및 (x_2, y_2)는 방정식들 (16) 및 (17)에 대입된다. 그러면 이 연립방정식은 단순화될 수 있고 각각의 가중 인자에 대해 풀이될 수 있다. 따라서, 가중 인자들 W_{K11}, W_{K12}, W_{K22}은 다음과 같이 결정된다.

[0074] $$W_{K_{11}} = \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \quad (19)$$

[0075] $$W_{K_{12}} = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} + \frac{y_2 - y}{y_1 - y_2} \quad (20)$$

[0076] $$W_{K_{22}} = 1 - W_{K_{11}} - W_{K_{12}} \quad (21)$$

[0077] 마지막으로, 현재의 동작점(1110)에서의 질량 유량 J는, 미리 결정된 동작점들(1101, 1102, 1103)의 각각에서의 질량 유량들을 그들 각각의 가중 인자 W_{K11}, W_{K12}, W_{K22}에 의해 스케일하여 가산함으로써 계산될 수 있다. 따라서, J는 다음과 같이 결정된다.

[0078] $$P = W_{K_{11}} K_{11} + W_{K_{12}} K_{12} + W_{K_{22}} K_{22} \quad (22)$$

[0079] 도 7a 내지 도 11에 기술된 경우들의 모두에 있어서, 현재의 동작점은 미리 결정된 동작점들의 그 대응하는 서브세트와 동일한 VIGV 위치에 있다. 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들의 어느 하나와 동일한 VIGV 위치 값을 가지지 않는다면, 수정된 절차를 따를 수 있는데, 이는 이하에서 상세히 기술된다.

[0080] 도 12는 현재의 동작점이 미리 결정된 동작점들의 어느 하나와 같은 VIGV 위치 값을 가지지 않을 때 현재의 동작점에서의 질량 유량을 결정하는 방법의 흐름도이다. 미리 결정된 동작점들의 제1 서브세트(1210)는 현재의 동작점의 VIGV 위치(1205) 보다 적은 제1 VIGV 위치에서의 미리 결정된 동작점들의 맵으로부터 결정된다. 이 서브세트는 현재의 동작점의 그것들에 가장 가까운 속도 및 압력비의 값들을 가진 미리 결정된 동작점들을 포함한다. 프로세서(311)는, 현재의 동작점과 동일한 속도 및 압력비에서이나 더 낮은 VIGV 위치에서의 동작점에서의 질량 유량을 나타내는 제1 중간 질량 유량 J_A를 계산하기 위해 위에서 기술된 관련된 보간 절차(1215)를 따른다.

[0081] 유사하게, 미리 결정된 동작점들의 제2 서브세트(1220)는 현재의 동작점의 VIGV 위치(1205) 보다 더 큰 제2 VIGV 위치에서의 미리 결정된 동작점들의 맵으로부터 결정된다. 이 서브세트는 현재의 동작점의 그것들에 가장 가까운 속도 및 압력비의 값들을 가진 미리 결정된 동작점들을 포함한다. 프로세서(311)는, 현재의 동작점과 동일한 속도 및 압력비에서이나 더 높은 VIGV 위치에서의 동작점에서의 질량 유량을 나타내는 제2 중간 질량 유량 J_B를 계산하기 위해 위에서 기술된 관련된 보간 절차(1225)를 따른다.

[0082] 마지막으로, 프로세서는, 현재의 동작점의 질량 유량을 제1 중간 질량 유량, 제2 중간 질량 유량 및 현재의

VIGV 위치, 제1 VIGV 위치 및 제2 VIGV 위치 간의 계산된 거리들의 함수로서 계산하기 위해 선형 보간(1230)을 수행한다. 도 13을 참조하면, 질량 유량 J는, 제1 중간 질량 유량 J_A 및 현재의 VIGV 위치 및 제1 VIGV 위치 간의 치이 $(z - z_A)$ 및 제2 VIGV 위치 및 제1 VIGV 위치 간의 차이 $(z_B - z_A)$의 비에 의해 스케일된, 제2 및 제1 중간 질량 유량들 간의 차이 $(J_B - J_A)$의 합으로서 계산된다. 질량 유량 J는 다음과 같이 결정된다.

[0083]
$$J = J_A + \frac{(z - z_A)}{(z_B - z_A)} * (J_B - J_A) \quad (23)$$

[0084] 다른 실시예들에서, J는 유사한 계산들을 이용하여 J_B로부터 시작하여 결정될 수 있다.

[0085] 프로세서(311)는 현재의 동작점의 계산된 입구 질량 유속 K를 동력학적 압축기(304)의 동작을 위한 제어 알고리즘 - 그 실시예가 도 14에 도시되어 있음 - 을 위한 입력으로서 사용할 수 있다. 다른 실시예들에서, 계산된 입구 질량 유량은 입구 질량 유량을 파라미터로서 사용하는 임의의 다른 제어 알고리즘에서 사용될 수 있다.

[0086] 전술한 방법들은 또한 현재의 동작점에 해당하는 서지점 - 즉 압축기가 현재의 동작점과 동일한 속도를 유지하나 현재의 동작점과 동일하지 않은 압력비를 유지한다면 압축기가 서지하게(surge) 될 점(point) - 에서의 질량 유량 및 압력비를 계산하기 위해 사용될 수 있다. 전술한 방법들은 또한 현재의 동작점에 해당하는 초크점 - 즉 압축기가 현재의 동작점과 동일한 속도를 유지하나 현재의 동작점과 동일하지 않은 압력비를 유지한다면 압축기가 초크 유동(choked flow)을 경험하게 될 점(point) - 에서의 질량 유량 및 압력비를 계산하기 위해 추가적으로 또는 대안적으로 사용될 수 있다. 따라서, 몇몇 실시예들에서, 시스템은 현재의 동작점에서의 입구 질량 유량, 현재의 동작점에 대한 하나 이상의 입구 질량 유량 및 압축비 및 현재의 동작점에 대한 초크점에서의 입구 질량 유량 및 압축비를 계산한다.

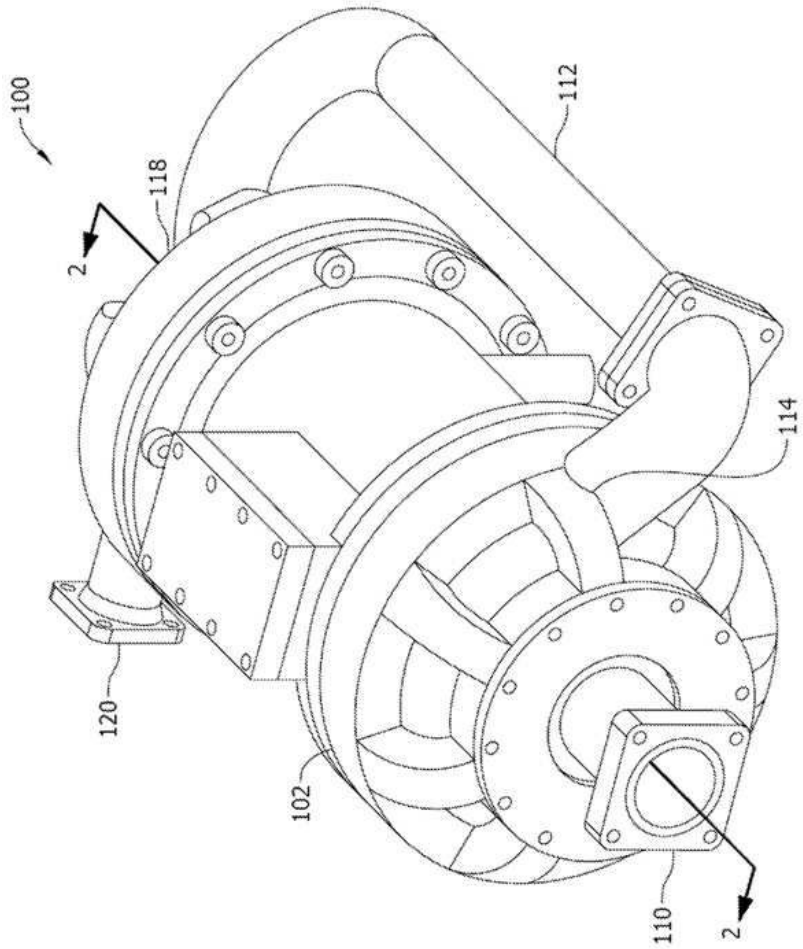
[0087] 본 명세서에 기술된 방법들 및 시스템들의 기술적 이점들은 다음과 같다: (a) 질량 유량 계측의 비용 부담 없이 실시간 질량 유량 데이터를 획득, (b) 압축기의 서지를 방지하기 위해 VIGV와 같은 언로딩 장치의 능동 제어를 위한 입력들을 제공.

[0088] 본 개시 또는 그 실시예(들)의 구성요소들을 소개할 때, 관사들("a", "an") 및 정관사들("the", "said")은, 구성요소들의 하나 이상이 있음을 의미하기 위한 의도에서 사용된다. '포함하는', '포괄하는', '담는', '가지는'과 같은 용어들은 포괄한다는 의도로 사용되는 것이고, 나열된 구성요소들 외에 추가의 구성요소들이 있을 수 있음을 의미한다. 특정의 방향(orientation)(예를 들어, '상부', '하부', '옆' 등)을 나타내는 용어들의 사용은 설명의 편의를 위한 것이고 설명된 아이템의 방향을 임의의 특정 방향으로 한정하는 것이 아니다.

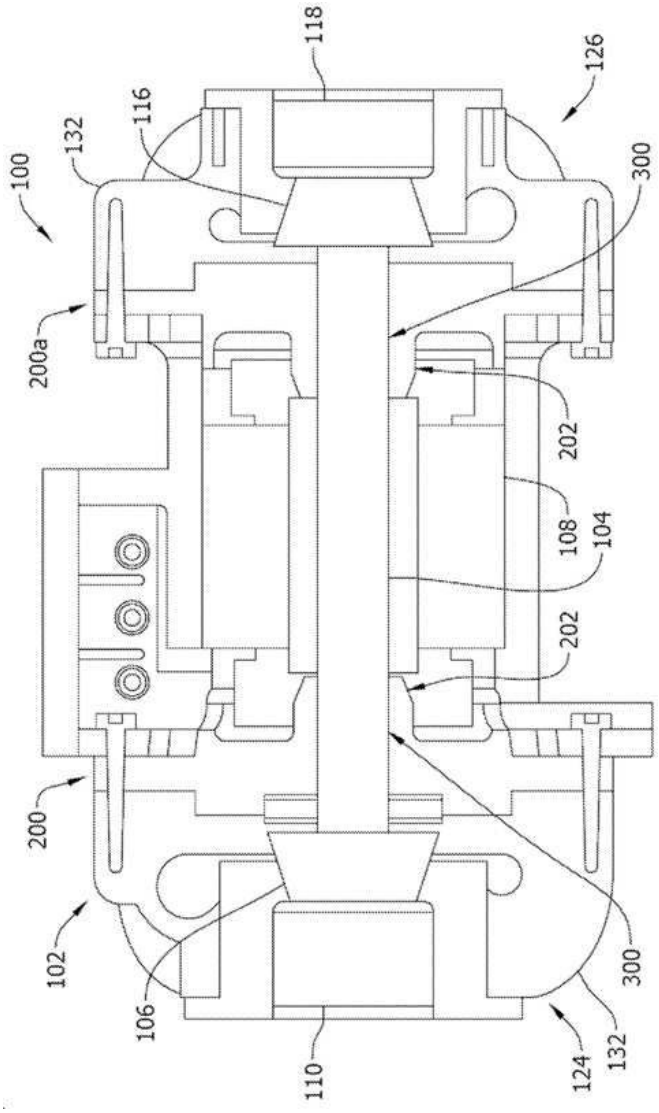
[0089] 전술한 구성들과 방법들에 있어서 본 개시의 정신으로부터 벗어나지 않고 다양한 변경들이 이루어질 수 있기 때문에, 전술한 설명에 포함되고 첨부 도면(들)에 도시된 모든 사항들은 예시적이고 비제한적인 의미로 해석되어야 할 것이다.

도면

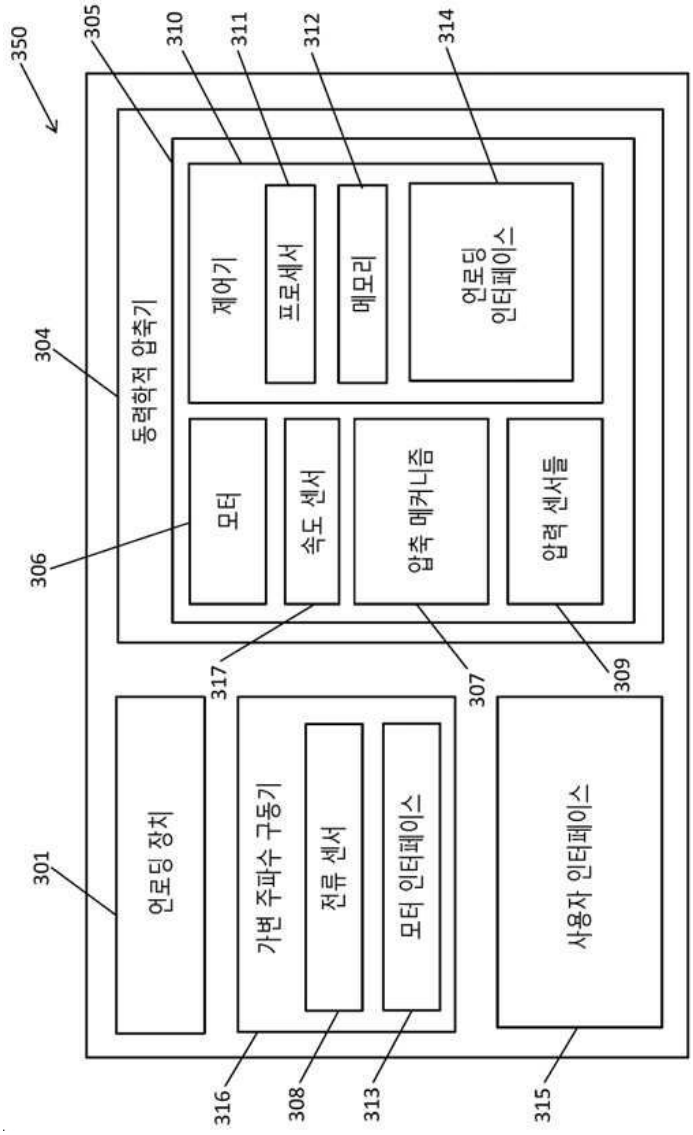
도면1



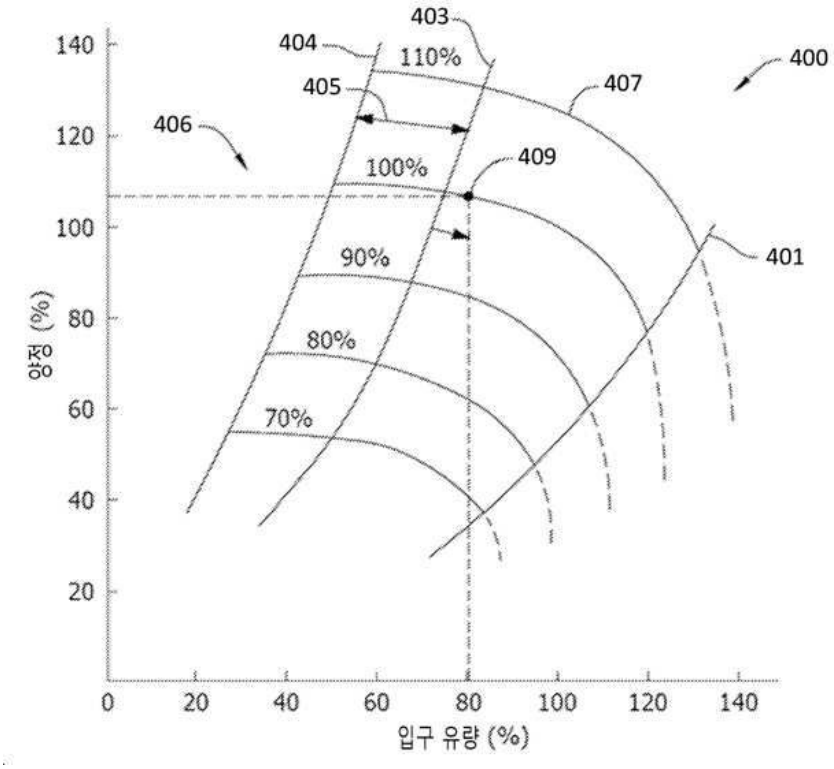
도면2


118
126
116
132
100
300
200a
202
108
104
202
200
102
106
300
110
124
132

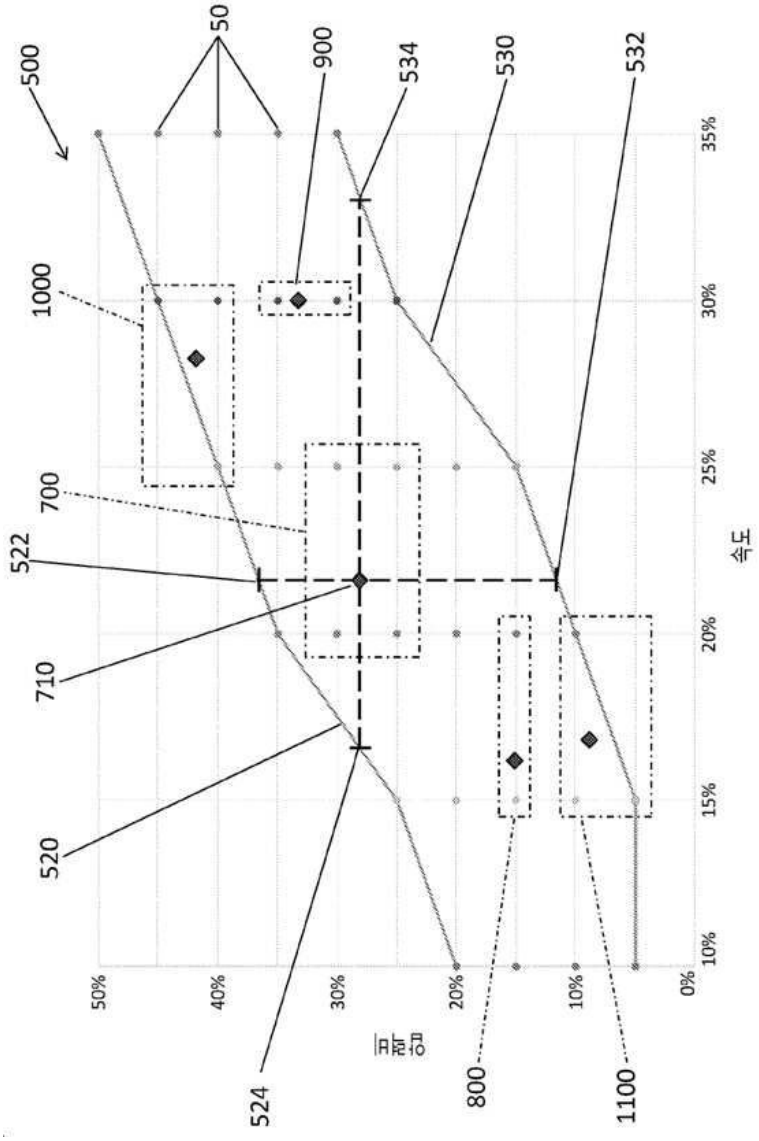
도면3


350
305
310
311
312
314
304
306
301
316
308
313
315
317
307
309
동력학적 압축기
제어기
프로세서
메모리
언로딩 인터페이스
모터
속도 센서
압축 메커니즘
압력 센서들
언로딩 장치
가변 주파수 구동기
전류 센서
모터 인터페이스
사용자 인터페이스

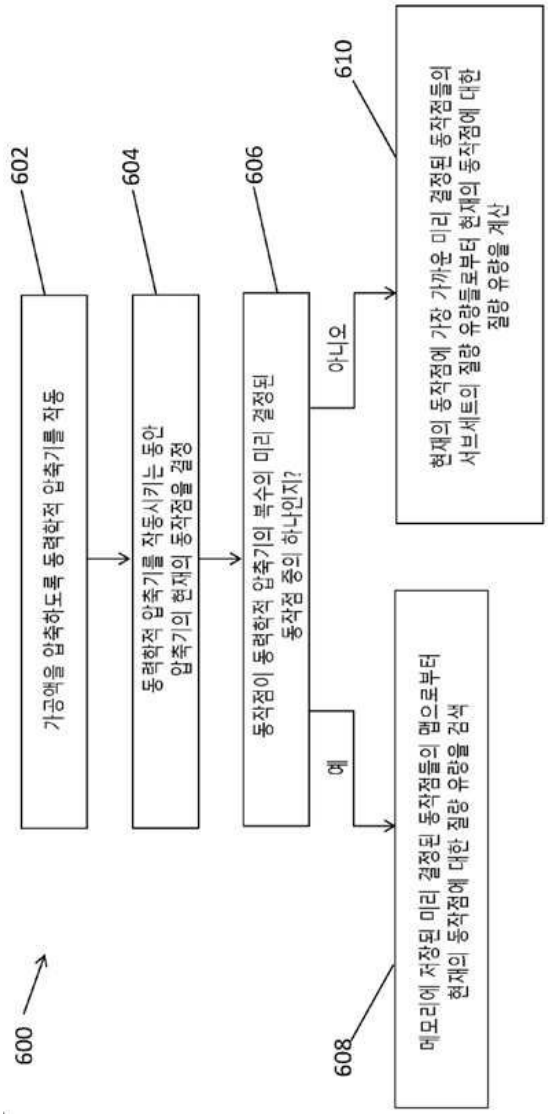
도면4


403
404
110%
405
407
400
406
120
100%
409
100
90%
401
양정 (%)
80
80%
60
70%
40
20
0
20
40
60
80
100
120
140
입구 유량 (%)

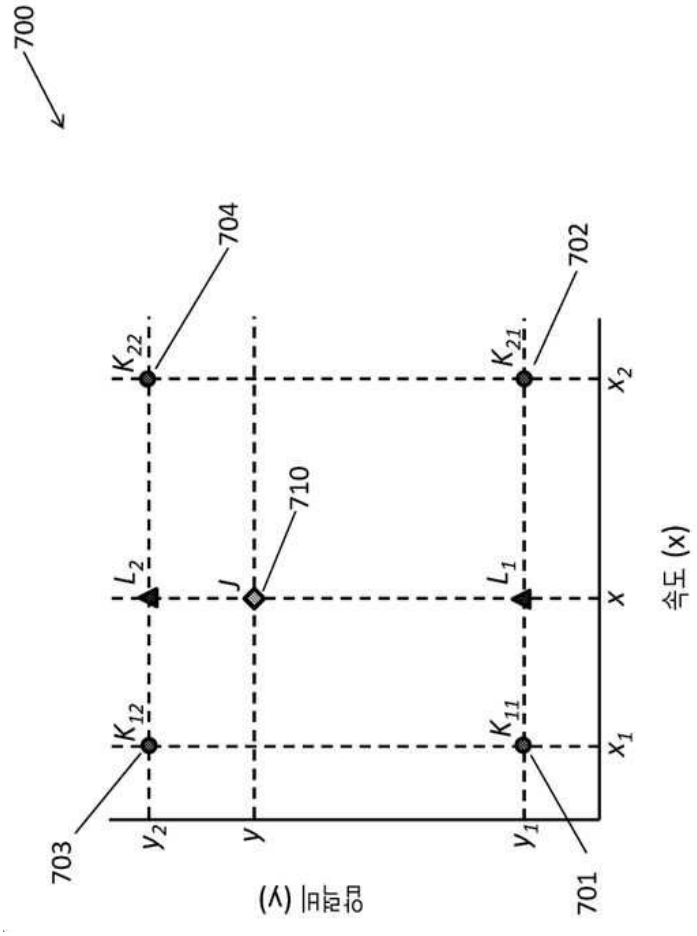
도면5


500
50
900
534
530
532
1000
700
522
710
520
524
800
1100
50%
40%
30%
20%
10%
0%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
속도

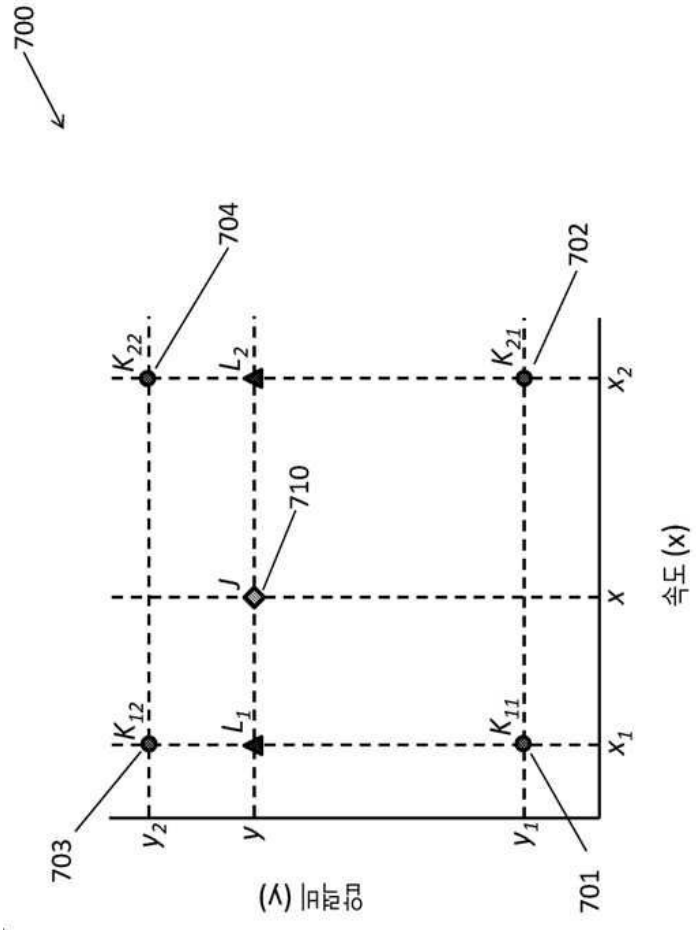
도면6


600
602
가공액을 압축하도록 동력학적 압축기를 작동
604
동력학적 압축기를 작동시키는 동안
압축기의 현재의 동작점을 결정
606
동작점이 동력학적 압축기의 복수의 미리 결정된
동작점 중의 하나인지?
예
아니오
608
메모리에 저장된 미리 결정된 동작점들의 맵으로부터
현재의 동작점에 대한 질량 유량을 검색
610
현재의 동작점에 가장 가까운 미리 결정된 동작점들의
서브세트의 질량 유량들로부터 현재의 동작점에 대한
질량 유량을 계산

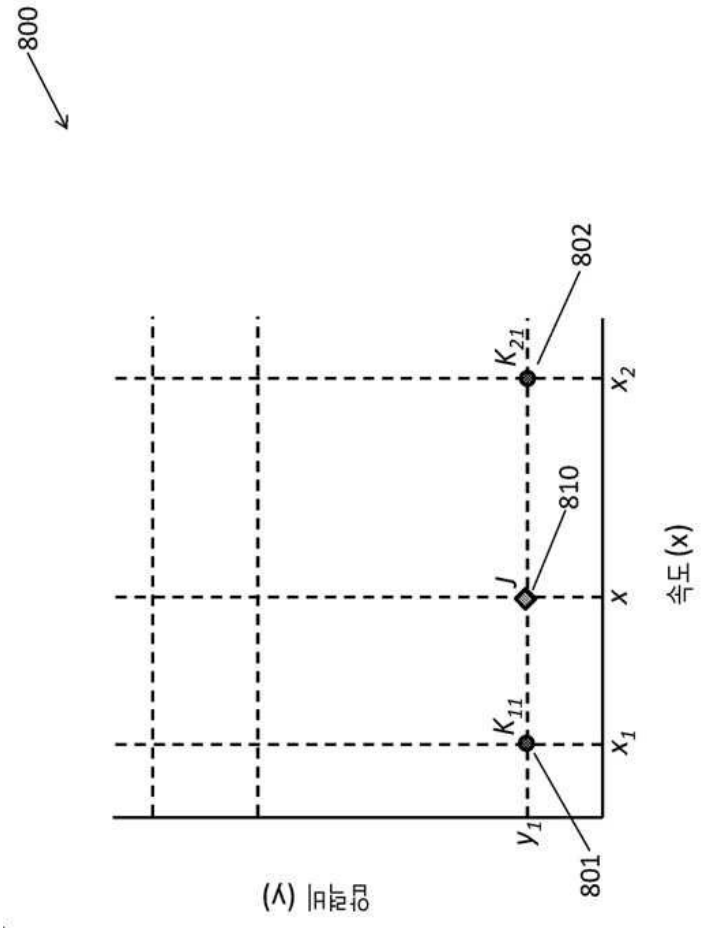
도면7a


700
704
702
K_{22}
K_{21}
x_2
710
L_2
J
L_1
x
속도 (x)
K_{12}
K_{11}
x_1
703
y_2
y
y_1
701
밀도 (y)

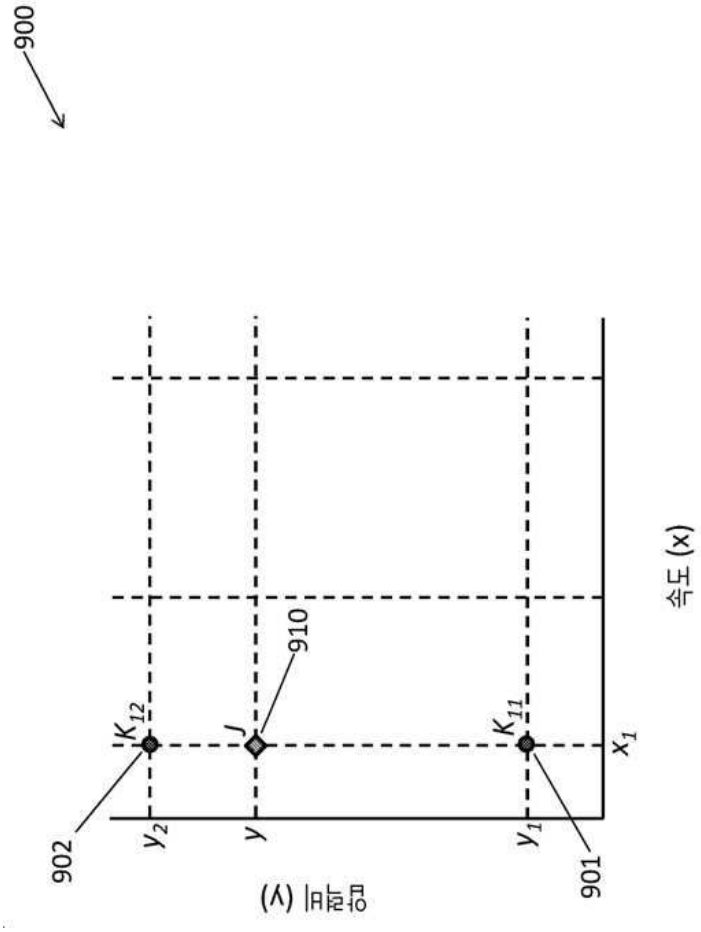
도면7b


700
704
702
K_{22}
L_2
K_{21}
x_2
710
J
x
속도 (x)
K_{12}
L_1
K_{11}
x_1
703
y_2
y
y_1
701
위치 (y)

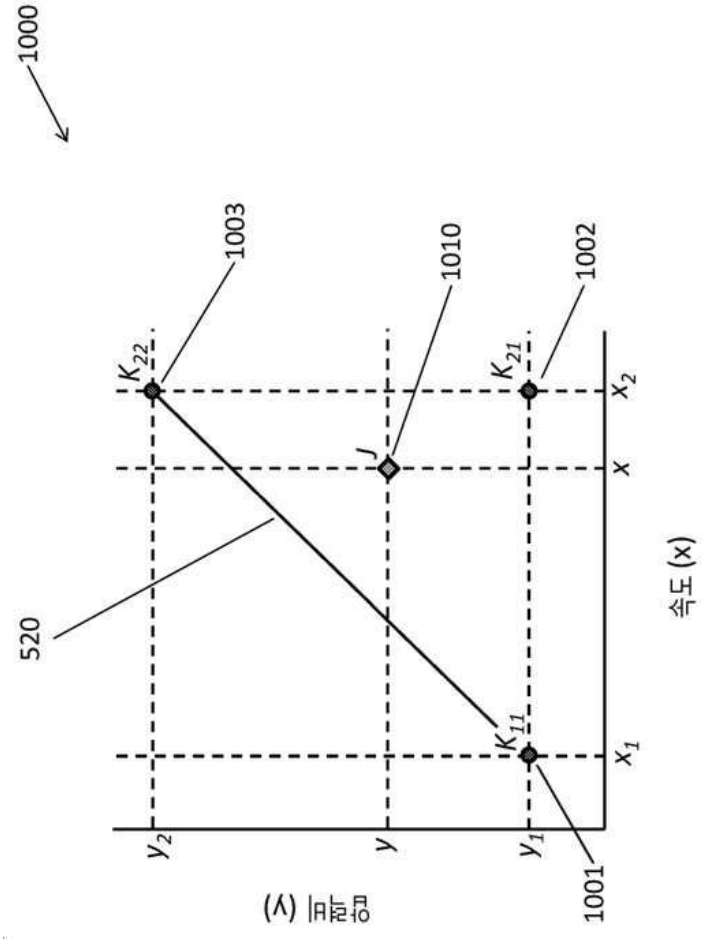
도면8



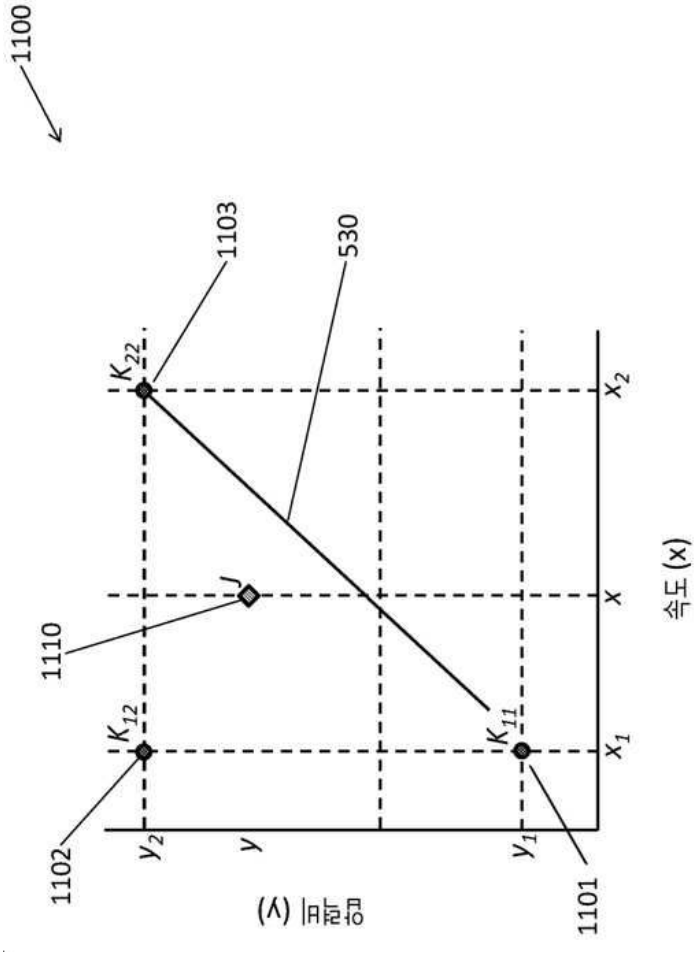
도면9



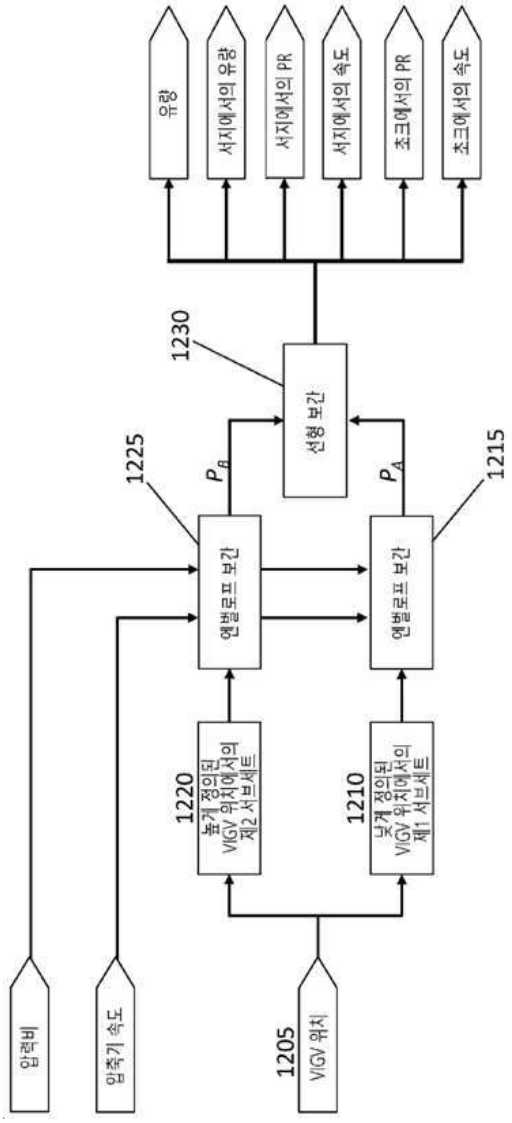
도면10



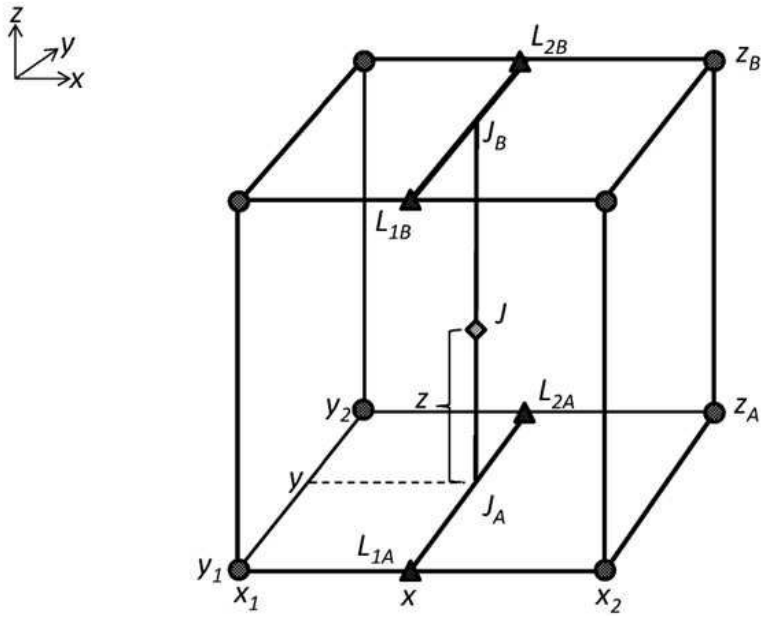
도면11



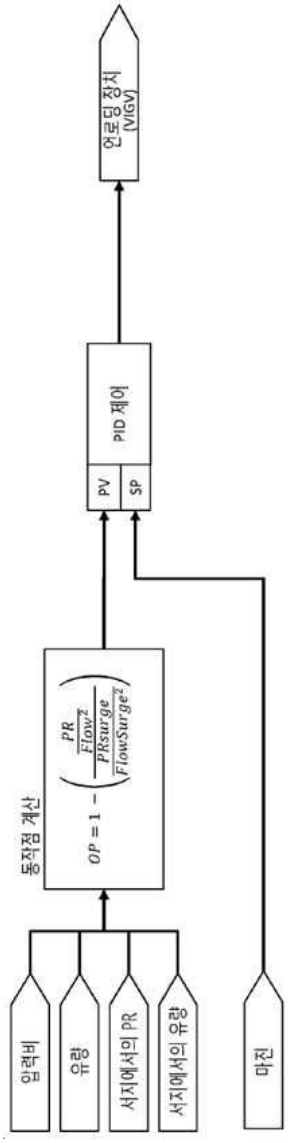
도면12


유량
서지예서의 유량
서지예서의 PR
서지예서의 속도
초크예서의 PR
초크예서의 속도
1230
선형 보간
1225
P_B
P_A
1215
앤벌로프 보간
앤벌로프 보간
1220
높게 정의된 VIGV 위치에서의 제2 서브세트
1210
낮게 정의된 VIGV 위치에서의 제1 서브세트
입력비
입축기 속도
1205
VIGV 위치

도면13



도면14


입력비
유량
서지에서의 PR
서지에서의 유량
마진
동작점 계산
$OP = 1 - \left(\frac{\frac{PR}{Flow^2}}{\frac{PRsurge}{FlowSurge^2}}\right)$
PV
SP
PID 제어
언로딩 장치
(VIGV)