



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월22일
(11) 등록번호 10-1615063
(24) 등록일자 2016년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F15D 1/08 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7029372
(22) 출원일자(국제) 2013년04월04일
심사청구일자 2016년02월23일
(85) 번역문제출일자 2014년10월20일
(65) 공개번호 10-2014-0142300
(43) 공개일자 2014년12월11일
(86) 국제출원번호 PCT/CA2013/050272
(87) 국제공개번호 WO 2013/149345
국제공개일자 2013년10월10일
(30) 우선권주장
61/620,326 2012년04월04일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US05060867 A
US06056204 A
JP2011117033 A
KR1020030090745 A

(73) 특허권자
제너럴 퓨전 아이엔씨.
캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이3엔 4티5,
버나비, 본빌 플레이스 108-3680
(72) 발명자
수포니트스키, 빅토리아
캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이3이 2엑스7, 코퀴
틀람, 세드지 코트 2870
바스키, 산드라 저스틴
캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이6이 1엘6,
밴쿠버, 펜드렐 스트리트 304-1234
(74) 대리인
강명구, 김현석

전체 청구항 수 : 총 26 항

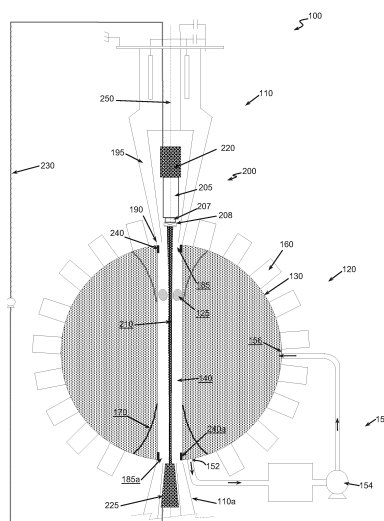
심사관 : 박재우

(54) 발명의 명칭 제트 컨트롤 장치 및 방법

(57) 요약

제트 컨트롤 장치의 예가 설명된다. 제트 컨트롤 장치는 제트 형성 위치로부터 출현하는 고속 제트를 방해하거나 충돌하도록 구성된 제트 편향 멤버를 포함할 수 있다. 상기 제트 편향 멤버와 제트의 상호 작용은 고속의 제트가 다수의 흐름 방향을 갖는 다수의 제트로 분산되도록 하며, 상기 다수의 흐름 방향은 고속 제트의 초기 방향 사이드웨이로 될 수 있다. 한 실시 예에서 상기 편향 멤버는 출구 노즐로부터 유체를 분사함에 의해 형성된 액체 가이드를 포함하며, 상기 액체 가이드가 상기 출구 노즐로부터 수직으로 연장되도록 한다. 또 다른 실시 예에서, 상기 편향 멤버는 출현하는 고속 제트의 방향으로 출구를 통해 주입되며, 출현하는 제트와 충돌하도록 구성된 솔리드 펠릿 배열을 포함하며 이에 의해 초기 방향을 편향하도록 한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

라버즈, 제이. 미셸 지.

캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이7더블유 1더블유5,
웨스트 밴쿠버, 펠콘 로드 5925

리차드슨, 더글라스 하비

캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이3에이취 5지9, 앤
모어, 이스트 로드 2305

코스트카, 피터 레스젠

캐나다, 브리티쉬 콜럼비아 브이6이 1더블유5, 밴
쿠버, 써로우 스트리트 305 - 955

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마를 발생시키도록 구성되며 상기 발생된 플라즈마를 방출시키기 위한 방출 출구를 갖는 플라즈마 발생기; 챔버의 내측 공동을 정하는 외측 벽을 가지며 오프닝을 갖는 플라즈마 압축 챔버를 포함하며, 상기 챔버의 내측 공동이 액체 매체로 부분적으로 채워지고, 상기 플라즈마 발생기의 방출 출구가 상기 오프닝을 통해 압축 챔버의 내측 공동과 통하며, 이와 같이 발생된 플라즈마가 상기 플라즈마 압축 챔버 내로 방출될 수 있도록 하고;

챔버 주변에 배치된 다수의 피스톤을 포함하는 압력 파 발생기를 포함하며, 상기 피스톤은 액체 매체 내로 수렴 압력 파를 발생시키도록 구성되고; 상기 액체 매체 내로 긴 빈 공동을 발생시키기 위한 공동 발생 수단을 포함하며, 상기 공동이 제1 엔드 그리고 제2 엔드를 갖고, 제1 엔드는 플라즈마 발생기의 방출 출구와 적어도 부분적으로 정렬되어 플라즈마 발생기에 의해 방출된 플라즈마가 상기 긴 공동으로 들어가도록 하며, 공동 인터페이스에 도달하는 수렴하는 압력 파가 공동을 붕괴시키고 이에 의해 플라즈마를 에워싸며; 그리고

제트 제어 장치가 제트 편향기 물질 소스와 통하며, 공동 내 제트 형성 위치를 향하는 방출 엔드를 갖는 제트 편향기 물질을 주입시키는 수단, 공동 내로 제트 편향기 물질을 주입시키도록 구성되어 제트 형성 위치에 형성된 유체 제트가 플라즈마 발생기로부터 멀어져 편향되고 방해를 받도록 하는 주입 수단을 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 제트 편향기 물질이 액체 상태이며, 주입 수단이 방출 엔드에서 주입 노즐을 갖는 액체 도관을 포함하는 액체 주입기임을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 주입 수단이 노즐로부터 액체 제트 편향기의 흐름을 컨트롤하기 위한 컨트롤 밸브를 더욱 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 주입기가 도관에 연결되고 제트 형성 위치로 액체 제트 편향기 물질의 연속 스트림을 향하도록 할 충분한 압력을 공급하도록 구성된 가압 수단을 더욱 포함하며, 상기 스트림이 균일한 직경을 가짐을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 가압 수단이 펌프 그리고 가압 가스 소스로 구성된 그룹으로부터 선택됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제트 편향기가 고체 상태이며, 주입 수단이 제트 편향기 물질을 긴 로드 형태로 압출기로부터 압출하도록 구성된 램과 다이를 포함하는 압출기임을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 압출기가 압출기 방출 엔드로부터 제트 형성 위치로 연장되는 길이를 갖는 긴 로드 형태의 제트 편향기 물질을 압출하도록 더욱 구성됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 제트 편향기가 이산 펠릿(discrete pellets) 형태의 고체 상태이며, 주입 수단이 제트 형성 위

치에서 하나 이상의 고체 상태 제트 편향기 펄스의 주입을 컨트롤하기 위한 이동 가능 게이트 및 브리치(breach)를 갖는 펄트 드라이버임을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 펄트 드라이버가 레일 건(rail gun) 그리고 압축된 가스 건으로 구성된 그룹으로부터 선택됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 10

제8항에 있어서, 펄트 각각이 오목 형상의 페이스 표면(face surface)을 가짐을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 11

제2항 또는 6항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질의 긴 고체 로드 또는 연속 액체 스트림이 공동의 붕괴가 상기 긴 고체 로드 또는 연속 액체 스트림 표면에서 발생하도록 하는 크기를 가짐을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서, 플라즈마 압축 챔버 오프닝 가까이에 배치되고, 그리고 액체 매체 방울이 플라즈마 압축 챔버를 탈출하거나 플라즈마 발생기로 들어가는 것을 막는 환상형 구조로 된 쉴드(shield)를 더욱 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 쉴드가 상기 오프닝을 둘러싸는 챔버의 내부 공동내로 아래를 향하여 돌출하는 벽(wall)임을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 쉴드가 상기 오프닝의 가장자리(edge)에서 형성되며 상기 공동의 중심을 향하여 반경 방향으로 돌출된 립 형상 수축(lip shaped constriction)부인 것을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질이 상기 액체 매체와 동일한 조성을 가지며, 상기 시스템이 상기 챔버와 유체가 통하는 액체 매체 수집 탱크 그리고 상기 수집 탱크와 제트 편향기 물질 소스를 유체가 통하도록 연결시키는 유체 도관을 더욱 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 16

제8항에 있어서, 상기 공동이 붕괴하는 때 상기 펄트가 붕괴 포인트 가까이에 있도록, 상기 공동 내로의 하나 이상의 고체 상태 편향기 펄트 주입 타이밍을 컨트롤하도록 프로그램된 컨트롤러를 더욱 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 17

제2항에 있어서, 상기 공동이 연속 액체 스트림의 표면에서 붕괴하도록, 상기 공동 내로 제트 편향기 물질의 연속 액체 스트림 주입 타이밍을 컨트롤하도록 프로그램된 컨트롤러를 더욱 포함함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템.

청구항 18

플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기를 플라즈마 압축 시스템의 압축 챔버내에 형성된 유체 제트로부터 보호하기 위한 방법으로서, 유체 제트가 형성된 제트 형성 위치로 제트 편향기 물질을 향하도록 하여, 상기 유체 제트가 상기 플라즈마 발생기로부터 떨어져 편향되거나 방해받도록 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 압축 챔버가 액체 매체를 포함하고, 한 공동이 액체 매체 내에서 발생되며, 액체 매체 속으로 플라즈마가 플라즈마 발생기에 의해 주입되고, 그리고 상기 제트 편향기 물질이 공동을 향하게 됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 한 수렴 압력 파가 상기 액체 매체 내로 발생되어, 상기 수렴 압력 파가 인터페이스에 도달하는 때 공동의 인터페이스가 붕괴하도록 하며, 그리고 상기 제트 편향기 물질이 제트 편향기 물질의 표면에서 상기 공동이 붕괴하도록 주입됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 21

제19항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질을 담고 있는 제트 컨트롤 장치에서 보다 상기 압축 챔버 내측에서 더욱 낮은 압력을 유지시키어, 상기 제트 편향기 물질이 압축 챔버 내로 흡입되고 상기 제트 형성 위치로 향하도록 됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 22

제19항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질이 압력을 받는 제트 편향기 물질을 공동 내로 주입시킴에 의해 제트 형성 위치를 향하도록 함을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 23

제19항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질을 담고 있는 제트 컨트롤 장치가 위에 위치하고 상기 압축 챔버와 통하도록 되어, 상기 제트 편향기 물질이 중력에 의해 상기 제트 형성 위치를 향하도록 됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 24

제18항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질이 액체 상태이며, 상기 플라즈마 발생기로부터 멀어져서 액체 제트를 방해하거나 편향시키기에 충분한 질량 흐름률(mass flow rate)로 제트 형성 위치를 향하도록 됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 25

제18항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질이 긴 로드 형태의 고체 상태이고, 제트 형성 위치로 향하도록 되어, 상기 긴 로드가 제트 컨트롤 장치로부터 제트 형성 위치로 연장되고 유체 제트를 상기 플라즈마 발생기로부터 멀어지도록 편향시키거나 방해하기에 충분한 크기를 가짐을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 26

제18항에 있어서, 상기 제트 편향기 물질이 하나 이상의 펠릿 형태의 고체 상태이고, 액체 제트가 상기 플라즈마 발생기로부터 멀어지도록 편향시키거나 방해하기에 충분한 질량 흐름률로 상기 제트 형성 위치로 향하도록 됨을 특징으로 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법.

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2012년 4월 4일 출원된 "제트 컨트롤 장치 및 방법"에 대한 미국 가 특허출원 번호 61/620,326의 35 U.S.C. § 119(e)에 따른 우선권 주장 출원이다.

[0002] 본 발명은 유체 제트 컨트롤 장치 및 그 사용 방법에 대한 것이며, 특히 제트 형성 위치로부터 만들어지는(출현하는) 높은 속도 유체 제트의 흐름을 제거하고, 줄이며 및/또는 편향시키기 위해 사용된 유체 제트 컨트롤 장치에 대한 것이다.

배경 기술

[0003] 유체가 작동 매체로 사용되는 시스템에서, 고속 유체 제트가 발생될 수 있다. 고속 유체 제트의 발생은 에너지 손실, 작동 매체의 에너지, 질량 또는 모멘텀 손실과 같은 다수의 단점을 제공할 수 있다. 또한, 유체 제트가 컨트롤 공간으로부터 탈출하여 장비 또는 주변 시스템에 손상을 일으킬 수 있다. 예를 들면, 플라즈마 컴프레션 시스템에서, 고속 유체 제트가 그와 같은 플라즈마를 둘러싸고 압축하는 공동의 붕괴에 의해 발생될 수 있다. 이 같은 고속 유체 제트는 상기 플라즈마 컴프레션 시스템을 탈출하고 이웃하는 시스템으로 들어가서 장비 또는 그 같은 시스템의 성능에 손상을 일으킨다.

[0004] 따라서, 고속 유체 제트의 세기 및/또는 방향을 조정하여 유체 제트가 선택된 위치에 도달하지 않고 그 같은 위치에 손상을 일으키지 않도록 할 필요가 있다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 한 특징에 따라, 유체 제트가 정해진 위치에 도달하는 것을 방해하거나 편향하기 위한 제트 컨트롤 장치가 제공된다. 상기 장치는 유체 제트가 형성되는 제트 형성 위치를 포함하는 공간으로 제트 편향기 물질을 주입시키기 위한 수단을 포함한다. 상기 주입 수단은 제트 편향기 물질 소스와 통하도록 되며, 상기 제트 형성 위치로 향하는 방출 엔드를 갖고, 제트 형성 위치에서 형성되는 유체 제트가 상기 정해진 위치로부터 벗어나도록 방해를 받거나 편향 되도록 제트 편향기 물질을 주입하도록 구성된다.

- [0006] 상기 제트 편향기 물질이 액체 상태이며, 주입 수단이 방출 엔드에서 주입 노즐을 갖는 액체 도관을 포함하는 액체 주입기이다. 상기 주입 수단이 노즐로부터 액체 제트 편향기의 흐름을 컨트롤 하기 위한 컨트롤 밸브 및/또는 액체 제트 편향기 물질의 연속 스트림을 제트 형성 위치로 향하게 하기 위해 충분한 압력을 공급하도록 구성되며 도관으로 연결된 가압 수단을 더욱 포함할 수 있으며, 상기 스트림이 균일한 직경을 갖는다. 상기 가압 수단은 펌프 그리고 가압된 가스 소스로 구성될 수 있다.
- [0007] 상기 제트 편향기가 고체 상태이며, 상기 주입 수단이 제트 편향기 물질을 긴 로드(elongated rod) 형태로 압출기로부터 압출시키도록 구성된 다이 그리고 램을 포함하는 압출기일 수 있다. 상기 압출기가 적어도 압출기의 방출 엔드로부터 제트 형성 위치로 연속 연장되는 길이를 갖는 긴 로드 형태의 제트 편향기 물질을 압출시키도록 더욱 구성될 수 있다.
- [0008] 고체 상태 긴 로드 대신, 상기 제트 편향기가 이산 펠릿(discrete pellets)의 형태로 고체 상태이고, 주입 수단이 제트 형성 위치에서 고체 상태 제트 편향기 펠릿의 주입을 컨트롤하기 위한 브리치(breach) 및 이동 가능한 게이트를 갖는 펠릿 드라이버이다. 상기 펠릿 드라이버가 레일 건 또는 압축된 가스 건이다. 펠릿 각각은 오목한 형상을 갖는 페이스 표면(face surface)를 가질 수 있다.
- [0009] 본 발명의 다른 특징에 따라, 플라스마 발생기, 플라스마 압축 챔버, 압력 과 발생기, 공동 발생 수단, 그리고 제트 제어 장치를 포함하는 플라스마 압축 시스템이 제공된다. 상기 플라스마 발생기는 플라스마를 발생시키도록 구성되며 상기 발생된 플라스마를 방출하기 위한 방출 출구를 갖는다. 상기 플라스마 압축 챔버는 챔버의 내측 공동을 정하는 외측 벽 그리고 오프닝을 가지며; 상기 챔버의 내측 공동이 액체 매체로 부분적으로 채워지고, 상기 플라스마 발생기의 방출 출구가 상기 오프닝을 통해 압축 챔버의 내측 공동과 통하며, 이와 같이 발생된 플라스마가 상기 플라스마 압축 챔버 내로 방출될 수 있도록 한다. 상기 압력 과 발생기는 챔버 주변에 배치된 다수의 피스톤을 포함하며, 상기 피스톤은 액체 매체 내로 수렴 압력 과를 발생시키도록 구성된다. 상기 공동 발생 수단은 상기 액체 매체 내로 긴 빈 공동을 발생시키도록 구성되며, 상기 공동이 제1 엔드 그리고 제2 엔드를 갖고, 제1 엔드는 플라스마 발생기의 방출 출구와 적어도 부분적으로 정렬되어 플라스마 발생기에 의해 방출된 플라스마가 상기 긴 공동으로 들어가도록 한다. 수렴하는 압력 과가 공동 인터페이스에 도달하는 때, 공동이 붕괴되며 이에 의해 플라스마를 에워싼다. 제트 제어 장치는 제트 편향기 물질 소스와 통하며, 공동 내 제트 형성 위치를 향하는 방출 엔드를 갖는 제트 편향기 물질을 주입시키는 수단을 포함한다. 주입 수단은 공동 내로 제트 편향기 물질을 주입시키도록 구성되어 제트 형성 위치에 형성된 유체 제트가 플라스마 발생기로부터 멀어져 편향되고 방해를 받도록 한다.
- [0010] 제트 편향기 물질은 액체 상태이며, 주입 수단이 방출 엔드에서 주입 노즐을 갖는 액체 도관을 포함한다. 액체 주입기는 노즐로부터 액체 제트 편향기의 흐름을 컨트롤하기 위한 컨트롤 밸브 및/또는 상기 주입기가 도관에 연결되고 제트 형성 위치로 액체 제트 편향기 물질의 균일한 반경을 갖는 연속 스트림을 향하도록 할 충분한 압력을 공급하도록 구성된 가압 수단을 더욱 포함한다. 상기 가압 수단은 펌프 또는 가압 가스 소스로 구성될 수 있다.
- [0011] 선택적으로 상기 제트 편향기가 고체 상태일 수 있으며, 주입 수단이 제트 편향기 물질을 긴 로드 형태로 압출기로부터 압출하도록 구성된 램과 다이를 포함하는 압출기일 수 있다. 상기 압출기가 적어도 압출기 방출 엔드로부터 제트 형성 위치로 연장되는 길이를 갖는 긴 로드 형태의 제트 편향기 물질을 압출하도록 더욱 구성된다.
- [0012] 고체 상태 긴 로드 대신, 제트 편향기가 이산 펠릿(discrete pellets) 형태의 고체 상태이며, 주입 수단이 제트 형성 위치에서 하나 이상의 고체 상태 제트 편향기 펠릿의 주입을 컨트롤하기 위한 이동 가능 게이트 및 브리치(breach)를 갖는 펠릿 드라이버이다. 상기 펠릿 드라이버는 레일 건(rail gun) 또는 압축된 가스 건이다.
- [0013] 상기 제트 편향기 물질의 긴 고체 로드 또는 연속 액체 스트림은 공동의 붕괴가 상기 긴 고체 로드 또는 연속 액체 스트림 표면에서 발생하도록 하는 크기를 갖는다.
- [0014] 플라스마 압축 시스템은 플라스마 압축 챔버 오프닝 가까이에 배치되고, 그리고 액체 매체 방울이 플라스마 압축 챔버를 탈출하거나 플라스마 발생기로 들어가는 것을 막는 환상형 구조로 된 쉴드(shield)를 더욱 포함할 수 있다. 특히, 상기 쉴드가 상기 오프닝을 둘러싸는 챔버의 내부 공동 내로 아래를 향하여 돌출하는 벽(wall)이다. 상기 쉴드는 상기 오프닝의 가장자리(edge)에서 형성되며 상기 공동의 중심을 향하여 반경 방향으로 돌출된 립 형상 수축(lip shaped constriction)부일 수 있다.
- [0015] 상기 제트 편향기 물질이 상기 액체 매체와 동일한 조성을 가지며, 상기 시스템이 상기 챔버와 유체가 통하는 액체 매체 수집 탱크 그리고 상기 수집 탱크와 제트 편향기 물질 소스를 유체가 통하도록 연결시키는 유체 도관

을 더욱 포함한다.

[0016] 상기 플라즈마 압축 시스템은 상기 공동이 붕괴하는 때 상기 펄릿이 붕괴 포인트 가까이에 있도록, 상기 공동 내로의 하나 이상의 고체 상태 편향기 펄릿 주입 타이밍을 컨트롤하도록 프로그램된 컨트롤러를 더욱 포함할 수 있다. 선택적으로, 상기 컨트롤러는 상기 공동이 상기 연속 액체 스트림의 표면에서 붕괴하도록, 상기 공동 내로 제트 편향기 물질의 연속 액체 스트림 주입 타이밍을 컨트롤하도록 프로그램될 수 있다.

[0017] 본 발명의 또 다른 특징에 따라, 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기를 플라즈마 압축 시스템의 압축 챔버 내에 형성된 유체 제트로부터 보호하기 위한 방법으로서, 유체 제트가 형성된 제트 형성 위치로 제트 편향기 물질을 향하도록 하여, 상기 유체 제트가 상기 플라즈마 발생기로부터 멀어져 편향되거나 방해받도록 하는 플라즈마 압축 시스템의 플라즈마 발생기 보호 방법이 제공된다. 상기 압축 챔버가 액체 매체를 포함하고, 한 공동이 액체 매체 내에서 발생되며, 액체 매체 속으로 플라즈마가 플라즈마 발생기에 의해 주입되고, 그리고 상기 제트 편향기 물질이 공동을 향하게 된다. 한 수렴 압력 과가 상기 액체 매체 내로 발생되어, 상기 수렴 압력 과가 인터페이스에 도달하는 때 공동의 인터페이스가 붕괴하도록 하며; 이 같은 경우 상기 제트 편향기 물질이 제트 편향기 물질의 표면에서 상기 공동이 붕괴하도록 주입된다.

[0018] 상기 방법은 상기 제트 편향기 물질을 담고 있는 제트 컨트롤 장치에서 보다 상기 압축 챔버 내측에서 더욱 낮은 압력을 유지시키어, 상기 제트 편향기 물질이 압축 챔버 내로 흡입되고 상기 제트 형성 위치로 향하도록 한다. 선택적으로 또는 추가로, 상기 제트 편향기 물질은 압력을 받는 제트 편향기 물질을 공동 내로 주입시킴에 의해 제트 형성 위치를 향하도록 될 수 있다. 선택적으로, 또는 추가로, 상기 제트 편향기 물질을 담고 있는 제트 컨트롤 장치가 위에 위치하고 상기 압축 챔버와 통하도록 되어, 상기 제트 편향기 물질이 중력에 의해 상기 제트 형성 위치를 향하도록 된다.

[0019] 상기 설명된 특징과 실시 예에 추가하여, 또 다른 특징과 실시 예가 다음 도면을 참고로 하여 그리고 다음 상세한 설명에서 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도면 중 부품의 상대적인 위치와 크기는 실물과 같은 크기로 도시되지 않는다. 예를 들면, 여러 부품의 형상과 같은 실물과 같은 크기로 도시되지 않으며, 이들 부품 중 일부는 도면을 이해를 높이기 위해 임의로 확대되고 위치가 정해진다.

도 1A는 한 비 제한적인 실시 예에 따라, 액체 제트 편향기를 방출하도록 구성된 제트 조정 장치의 개략적인 단면도.

도 1B는 또 다른 비 제한적 실시 예에 따라, 솔리드 로드 제트 편향기를 방출하도록 구성된 제트 조정 장치의 개략적인 단면도.

도 2는 플라즈마 컴프레션 시스템에 설치된, 도 1A에서 도시된 제트 조정 장치의 실시 예에 대한 개략적인 단면도.

도 3은 또 다른 비 제한적 실시 예에 따라 솔리드 펠레타이징(pelletized) 제트 편향기를 방출하도록 구성된, 그리고 플라즈마 컴프레션 시스템 내에 설치된 제트 조정 장치의 개략적인 단면도.

도 4는 전파의 초기 단계의 한 압력 과면 그리고 한 공동 형상의 예를 설명하는 플라즈마 압축 챔버의 계산 모델 단면도.

도 5는 도 4의 플라즈마 압축 챔버 계산 모델 수평 방향 단면도이며, 도면 하단의 레전드 바아는 유체 압력을 파스칼로 도시하는 도면.

도 6은 챔버의 벽 주변에 배치된 다수 피스톤의 예 그리고 한 공동 내 중앙으로 삽입된 제트 편향기의 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버 계산 모델 부분 도면.

도 7a는 제트 편향기가 와류 공동(와류 공동) 내에 존재하지 않는 때 중앙의 고속 액체 제트와 액체 방울의 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버 계산 모델 부분 단면도이고, 도면의 우측 상단 코너 레전드 바아는 액체 그리고 가스의 체적 부분을 도시하는 도면.

도 7b는 제트 편향기가 공동 내에 존재하는 때 액체 제트와 액체 방울의 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버 계산 모델의 부분 단면도.

도 8a는 중앙의 고속 제트 속도 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버의 계산 모델 부분 단면도.

도 8b는 액체 방울 속도의 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버의 계산 모델 부분 단면도.

도 9a는 제트 편향기가 한 공동 내에 존재하지 않는 때 중앙의 고속 제트 속도 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버 계산 모델의 부분 단면도.

도 9b는 제트 편향기가 공동 내에 존재하는 때 출현하는 제트 속도의 예를 도시하는 플라즈마 압축 챔버 계산 모델의 부분 단면도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 고속 유체 제트의 형성은 공동의 붕괴 중에 자연적인 결과 일 수 있으며, 예를 들면, "Collapse of Nonaxisymmetric Cavities", Phys.에서 Enriquez 등에 의해 관찰되어 왔다. 유체(22)(2010) 091104는 솔리드 바디가 액체 저장소와 충돌함에 의해 형성된 에어 공동이 수압으로 인해 붕괴하는 때 발생 된다. 고속 유체 제트의 형성은 General Fusion, Inc. (Burnaby, Canada)에서 구축 중인 플라즈마 콤프레션 시스템의 프로토타입에 대한 관련된 팩터(factor)일 수 있다. 플라즈마 콤프레션 시스템의 몇 가지 예에서, 한 공동(예를 들면, 와류 공동(vortex cavity))이 플라즈마 압축 챔버의 와류 공동 내에서 플라즈마 발생기를 통하여 주입될 수 있다. 플라즈마 압축 챔버 바깥쪽 표면에 충격을 주도록 시간이 조정된 다수의 공압 피스톤에 의해 한 수렴 압력 파(wave)가 발생될 수 있다. 상기 피스톤의 충격은 수렴 압력 파를 발생시키며 이 파는 압축 챔버의 중앙을 향해 이동한다. 상기 수렴 압력 파는 상기 와류 공동을 붕괴시키며 플라즈마를 감싸서 이를 압축하도록 한다. 상기 와류 공동의 압력 파에 의해 유도된 압력 파의 붕괴는 와류 축을 따라 붕괴 포인트로부터 멀어져 투사할 수 있는 중앙의 고속 액체 제트 형성을 발생시킬 수 있다. 또한, 액체 매체의 "방울(drop)"은 상기 압력 파가 플라즈마 발생기의 노즐로 접근하는 때 발생될 수 있다. 본원 명세서에서 사용된 바와 같이, 액체 방울은 비 제한적으로 압력 파면이 노즐에 접근할 때 형성되는 액체의 매스(덩어리)를 포함할 수 있다. 상기 액체 방울은 중앙의 제트 보다 훨씬 느리게 흐르며 플라즈마 발생기의 노즐 내로 떨어진다. 상기 액체 방울은 방울의 형태(가령, 상대적으로 비정질 덩어리)일 수 있으며, 또는 스프레이, 하나 이상의 물방울, 등등의 형태를 할 수 있다. 한 액체 방울의 예가 도 7a, 7b, 및 8b에서 도시된다. 상기 붕괴 포인트로부터 방출된 중앙의 제트 그리고 액체 매체의 방울이 상기 플라즈마 발생기로 들어가서, 이에 의해 플라즈마 전파 채널을 오염시키거나 상기 발생기 또는 상기 압축 챔버나 플라즈마 발생기에서 사용된 진단 시스템에 어떤 다른 손상을 일으킬 수 있다.

[0022] 본원 명세서에서 설명된 본 발명의 실시 예는 유체 제트 형성 위치에서 제트 편향기 물질의 방향을 정하기 위해 유체 제트 조정 장치(10)에 대한 것이며, 유체 제트가 유체 제트 형성 위치에서 형성되는 것을 막거나, 또는 편향되거나 그렇지 않으면 상기 언급된 플라즈마 발생기와 은 선택된 위치에 도달하는 것을 막도록 하는 것에 대한 것이다. 상기 유체 제트 조정 장치는 유체 제트 형성 위치에서 제트 편향기 물질을 주입하기 위한 제트 편향기 물질 컨테이너 및 수단을 포함한다. 상기 제트 편향기 물질은 상기 유체 제트와 동일하거나 다른 상태일 수 있으며 또한 동일하거나 다른 물질 성분일 수 있다. 도 1A 내지 도 1B는 유체 제트 조정 장치에 대한 두 개의 다른 실시 예를 도시하며, 도 2 내지 9는 시스템의 압축 챔버 안쪽 제트 형성 위치에서 형성된 액체 제트가 시스템(100)의 플라즈마 발생기(즉, 상기 선택된 위치)에 도달하는 것을 막기 위하여 플라즈마 콤프레션 시스템 내에 설치된 유체 제트 컨트롤 장치의 실시 예에 대한 것이다. 그러나, 상기 제트 컨트롤 장치는 이 같은 응용만으로 제한되는 것이 제한되지 않으며, 상기 제트 컨트롤 장치는 제트 컨트롤이 요구되는 모든 시스템, 장치 또는 엔진에서 고속 제트를 제거하고, 줄이며 또는 제한하기 위하여 사용될 수 있다.

[0023] 도 1A와 관련된 한 실시 예에서, 제트 컨트롤 장치(10)는 액체 상태 제트 편향기 물질("액체 제트 편향기")(12)을 한 제트 형성 위치(20)로부터 발생되는 유체 제트(18)로 향하도록 구성된다. 상기 제트 편향기 물질은 상기 유체 제트와 동일한 물질 성분을 갖거나 상이한 성분을 가질 수 있으며, 상기 유체 제트는 액체이거나 가스일 수 있다. 상기 제트 편향기 컨테이너는 액체 저장소(11)이며, 상기 주입 수단은 도관(16)의 한 단부에서 액체 저장소(11)에 연결되고 도관의 반대편 단부에서 방출 노즐(17)에 액체가 흐를 수 있도록 연결된 액체 주입기(14)이다. 상기 액체 주입기(16)는 상기 액체 주입기(14)로부터 제트 편향기 액체의 흐름을 조정하기 위한 조정 밸브(도시되지 않음)를 더욱 포함할 수 있다.

[0024] 액체 제트 편향기(12)가 액체 주입기(14)로부터 방출되도록 하기 위해, 상기 액체 주입기(14)와 제트 형성 위치(20)를 포함하는 주변 환경 사이에 압력 차가 제공될 수 있으며; 상기 액체 제트 편향기(12)의 압력 차와 크기가 충분히 커서 적어도 액체 제트(18)가 보호될 위치("선택된 위치")로부터 벗어나도록 하거나 유체 제트(18)를 방해하기에 충분한 덩어리(mass) 흐름 속도로 상기 환경 내로 액체 제트 편향기(12)가 주입(또는 흡입)되

도록 한다. 액체 제트 편향기(12)의 이 같은 압력 차와 크기 선택은 밀도 및 흐름 속도와 같은 유체 제트의 일정 특성에 달려있다. 한 실시 예에서, 상기 액체 주입기(14)는 액체 도관에 결합된 펌프(도시되지 않음)와 같은 가압 수단을 포함하며, 상기 가압 수단은 액체 도관(16)에 연결되며, 요구된 압력차를 제공하기 위해 제트 형성 위치(20)를 포함하는 환경의 압력 이상의 충분한 압력 이상으로 상기 액체 도관(16) 내에서의 상기 액체 제트 편향기(12)를 가압하도록 하며; 이 경우, 상기 액체 제트 편향기(12)는 압력하에서 상기 환경 내로 주입된다. 또 다른 실시 예에서, 상기 제트 컨트롤 장치(10)는 요구된 압력 차("네가티브 압력 차")를 제공하기 위해 제트 컨트롤 장치(10)의 압력보다 충분히 낮은 압력인 제트 형성 위치(20)를 포함하는 환경에서 동작할 수 있다; 이 같은 경우, 상기 액체 제트 편향기(12)는 제어 밸브가 개방되는 때 환경 내로 흡입될 것이다. 또 다른 실시 예에서, 상기 제트 제어 장치(10)는 가압 수단이 제공되며 제트 컨트롤 장치(10)보다 낮은 압력을 갖는 환경에서 동작 되어서, 상기 가압 수단과 낮은 압력의 환경의 조합이 요구된 압력 차를 제공하도록 한다.

[0025] 동작시에, 상기 액체 제트 편향기(12)가 액체 주입기(14)에 의해 제트 형성 위치를 향하도록 되며, 여기서 액체 제트 편향기(12)가 제트 형성 위치로부터 발생된 유체 제트와 충돌한다. 상기 유체 제트(18)가 편향기 유체(12)와 충돌하는 때 유체 제트의 방향이 초기 방향으로부터 오프셋될 수 있으며, 상기 유체 제트가 초기 제트 방향과는 다른 방향으로 그리고 표적 위치로부터 멀어지는 방향으로 다시 방향이 정해질 수 있다. 동시에 유체 제트의 속도가 편향기 액체(12)와의 충돌로 인하여 감소될 수 있다. 또한, 유체 제트(18)와 액체 제트 편향기(12) 사이 충돌로 인해, 고속 제트의 응집성이 제트의 크기를 줄이면서 조각으로 나뉘어질 수 있다. 더욱 작은 제트는 응집성 있는 바디(body)로서 유지될 수 없으며, 제트 스프레이로 더욱 분해되어 그와 같은 고속 제트에 의해 영향을 받는 영역을 둘러싸는 장치와 시스템에 대한 제트 영향을 줄인다.

[0026] 도 1B와 관련한 또 다른 실시 예에서, 제트 컨트롤 장치(10)는 유체 제트(18)에서 기다란 로드(rod) 형태의 솔리드 상태 제트 편향기 물질(12)("솔리드 봉 제트 편향기")을 유체 제트(18)로 향하게 하도록 구성된다. 상기 주입 수단은 솔리드 상태 제트 편향기 물질(12)을 기다란 로드 형태로 압출시키는 압출기(14)이다. 제트 편향기 컨테이너(11)는 솔리드 또는 액체 상태로 제트 편향기 공급 원료를 저장하도록 구성된다. 전자의 경우, 상기 공급 원료는 솔리드 블랭크 형태이고 상기 컨테이너(11)에는 상기 블랭크를 압출기(14)로 전달하기 위한 컨베이어 수단이 제공될 수 있다. 후자의 경우, 상기 제트 편향기 컨테이너는 액체 저장소(11)이며, 압출기(14)에 유체가 흐르도록 연결되어서 원료가 압출기(14) 내로 흐르고 그 속에서 솔리드화되도록 한다. 상기 압출기(14)는 한 단부에서 제트 편향기 컨테이너(11)에 연결되고 반대편 방출 단부(엔드)에서 방출 노즐(17)을 포함한다. 상기 압출기(14)는 고온 또는 상온의 압출 처리를 이용하며, 이 경우 상기 압출기(14)는 다이에 열전달 연결된 히터를 더욱 포함하여 상기 원료를 적절한 압출 온도로 가열하도록 한다. 상기 제트 편향기 물질(12)은 유체 제트(18)와 동일한 물질 성분 또는 상이한 물질 성분을 가질 수 있다. 예를 들면, 상기 제트 편향기 물질은 납 또는 납과 리튬 혼합물일 수 있다.

[0027] 상기 압출기(14)는 물리적으로 아직 압출기(14)에 연결된 동안 제트 형성 위치에 도달하기에 충분한 길이의 긴 로드(rod)로서 솔리드 제트 편향기(12)를 압출시키도록 구성된다. 상기 솔리드 제트 편향기(12)는 유체 제트의 모멘텀이 여전히 낮은 때 상기 형성 위치(20)에서 유체 제트(18)를 만나도록 압출될 수 있으며; 상기 솔리드 제트 편향기는 상기 제트 형성 위치(20)에서 고정되거나 이동할 수 있다. 상기 기다란 로드(12)는 상기 형성 위치(20)에서 유체 제트(18)의 파라미터에 기초하여 그 크기가 정해진다.

[0028] 상기 형성 위치에서 유체 제트의 모멘텀은 다음과 같이 계산된다:

[0029]
$$P = v \times m$$

[0030] 여기서 v 는 상기 형성 위치에서 유체 제트의 속도(초기 속도)이며 m 는 상기 형성 위치에서 유체 제트의 질량(mass)이다.

[0031] 예를 들면, 유체 제트는 약 0.04 - 0.1kg 질량의 용융 납으로 구성되고, 상기 형성 위치에서 제트 속도는 약 400 - 1500 m/s이며, 상기 형성 위치(20)에서 유체 제트(18)의 모멘텀은 약 20-160 kg m/s이다. 솔리드 봉 제트 편향기(12)가 제트 형성 위치(20)에서 고정 위치에 있는 때, 약 2-4 cm의 직경, 약 1-10 m의 길이를 가져서, 상기 유체 제트(18)의 방향을 편향시킬 수 있도록 한다. 만약 긴 로드(12)가 약 10m/s의 속도로 주입된다면, 상기 로드(12)의 길이는 약 2 - 4cm 직경의 로드(12)의 경우 약 0.1 - 3m이다.

[0032] 또 다른 실시 예에서, 상기 제트 편향기는 이산 펠릿 형태로 솔리드 상태일 수 있다. 상기 펠릿은 상기 제트 형성 위치(20)로 제트 편향기 펠릿의 주입을 컨트롤하기 위한 가동 게이트를 갖는 펠릿 드라이버를 사용하여 주입

될 수 있다. 상기 펄릿 드라이버는 레일 건이거나 압축된 가스 건일 수 있다.

[0033] 도 2에서, 도 1A에서 도시된 실시 예에 따른 제트 컨트롤 장치(도면 부호 200)가 플라즈마 콤프레션 시스템 내에 설치되며, 시스템(100)의 압축 챔버(120) 내에 형성된 액체 제트가 시스템(100)의 플라즈마 발생기(110)에 도달하는 것을 막도록 동작되고, 이때 액체 제트는 상기 압축 챔버(120) 내 액체 매체로부터 형성된다. 상기 제트 컨트롤 장치(200)는 압축 챔버(120) 내로 액체 제트 편향기(210)의 스트림을 주입하도록 구성된다. 상기 압축 챔버(120)는 액체 매체로 부분적으로 채워질 수 있으며, 기다란고 빈 공동(140)이 그 속에서 형성된다. 플라즈마(125)가 플라즈마 발생기(110)에 의해 상기 공동(140) 속으로 주입될 수 있다. 상기 플라즈마(125)는 예를 들면 스페로막(spheromak), 플라즈마의 필드-리버스 구성(FRC), 또는 임의의 다른 콤팩트 토로이드 구성 또는 이들의 조합과 같은 자화 토로이드 플라즈마일 수 있다. 한 실시 예에서, 임의의 다른 가스 매체가 상기 공동(140) 내로 주입될 수 있다.

[0034] 상기 압축 챔버(120)는 압축 챔버의 내측 공동을 만드는 벽(130), 플라즈마(125)가 공동(140) 내로 주입될 수 있는 오프닝(185) 그리고 상기 압축 챔버(120) 주위에 배치된 다수의 압력 파 발생기(180)를 포함한다. 챔버(120)의 내측 공동은 부분적으로 액체 매체로 채워진다. 상기 액체 매체는 납, 리튬, 또는 나트륨 또는 이들 금속의 혼합물, 합금, 조합일 수 있다. 한 실시 예에서, 상기 기다란 공동(140)은 압축 챔버(120) 내에 담긴 액체 매체를 회전시킴에 의해 형성되며, 특히, 상기 압축 챔버(120)는 기다란 공동(140)을 발생시키기 위한 방울 발생기(150)를 포함한다. 상기 방울 발생기(150)는 출구 도관(152), 펌프(154) 그리고 입구 도관(156)을 포함한다. 설명된 실시 예에서, 상기 펌프(154)는 챔버(120)의 한 극 가까이 위치한 출구 도관(152)을 통하여 챔버(120)로부터 액체 매체의 일부분을 펌프하도록 동작하며, 상기 입구 도관(156)을 통하여, 챔버(120)의 적도 가까이에서 접선방향으로 액체 매체를 챔버(120) 내로 주입하도록 동작한다. 한 실시 예에서, 상기 출구(152)는 챔버(120)의 적도를 향하여 극으로부터 떨어져 있다. 한 선택적 실시 예(도시되지 않음)에서, 하나 이상의 입구(156) 및/또는 출구(152)가 사용되어 챔버(120) 내 액체 매체를 순환시키도록 한다. 충분히 빠른 회전 속도에서 액체 매체의 흐름은 거의 액체 매체가 없는 공동(140)을 발생시킨다.

[0035] 공동(140)을 발생시키기 위한 당업계에서의 다른 수단이 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한도에서 사용될 수 있다. 예를 들면, 한 실시 예에서, 상기 기다란 공동(140)이 형성될 수 있다. 예를 들면, 압축 챔버(120)의 오프닝(185)에 형성된 환상의 노즐로부터 액체 매체의 제트를 주입시킴에 의해, 또는 고속으로 액체 매체를 통해 형성된 솔리드 물체를 통과시킴에 의해 형성될 수 있다.

[0036] 도 2에서 도시된 실시 예와 관련하여, 상기 압축 챔버(120)는 챔버(120)의 극에 형성된 오프닝(185)을 갖는 구 형상을 갖는다. 그러나, 이는 단지 설명의 목적을 위한 것일 뿐이며 상기 플라즈마 압축 챔버(120)는 본 발명의 범위를 벗어나지 한도에서 다른 적절한 형상(예를 들면 원통형, 구형, 타원형, 원추형 또는 다른 적절한 형상 또는 이들 형상의 조합) 및/또는 크기를 가질 수 있다.

[0037] 상기 기다란 공동(140)은 오프닝(185)으로 적어도 부분적으로 정렬된 제1 단부를 갖는다. 상기 플라즈마 발생기(110)는 오프닝(185)을 통해 공동(140) 내로 플라즈마(125)를 발생시키고 주입시키도록 구성된다. 플라즈마 발생기(110)의 제2 출구 단부(190)는 오프닝(185) 내로 살짝 삽입되어 플라즈마 발생기(110)와 압축 챔버(120) 사이의 유체 소통을 제공하도록 한다. 설명된 실시 예에서, 상기 챔버(120)는 두 개의 환상의 오프닝(185, 185a)을 갖는다. 선택적으로, 상기 시스템(100)은 제1 플라즈마 발생기(110a)(도 2에서 부분적으로만 도시됨)를 포함할 수 있으며, 이는 제1 플라즈마 발생기(110) 대각선 반대편에 위치한다. 두 오프닝(185, 185a) 각각은 두 분리된 플라즈마 발생기(110, 110a)와 소통한다. 시스템(100)에서 사용될 수 있는 다양한 실시 예의 플라즈마 발생기(110)와 관련된 세부 사항이 미국 특허출원 공개공보 No. 2006/0198483, 미국 특허출원 공개공보 US2011/0026657 그리고 미국 특허출원 공개공보 US2011/002665에서 상세히 설명되며, 본원 명세서에서 참고로 인용된다.

[0038] 한 실시 예에서, 상기 기다란 공동(140)은 원통형의 형상을 가지며 챔버(120)의 한 극으로부터 반대편 극으로 챔버(120)를 통해 연장된다. 또 다른 실시 예에서, 상기 공동(140)은 원추형 형상을 가질 수 있으며, 이는 챔버(120)의 길이를 통하여 챔버 전장에 걸쳐(극에서 극으로) 연장되거나 또는 챔버의 일부만을 통해 연장된다. 상기 기다란 공동(140)은 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한도에서 상기 챔버(120)에서 수직으로 또는 수평으로 위치할 수 있다. 상기 공동(140)의 적어도 한 단부는 플라즈마 발생기의 오프닝(185) 그리고 제2 단부(190)와 정렬되어서, 상기 플라즈마(125)(또는 다른 가스 매체)가 공동(140) 내로 주입될 수 있도록 할 필요가 있다.

[0039] 다수의 압력과 발생기(160)가 챔버(120)내에 담긴 액체 매체에서 압력 파를 발생시키도록 구성된다. 상기 압력과 발생기(160)는 벽(130)으로부터 방사상으로 외향으로 향한다. 압력 파 발생기(160)는 챔버(120)의 벽(130)에

충격을 줌으로써 액체 매체 내에서 압력 파를 발생시키도록 동작하며, 상기 압력 파 발생기(160)는 챔버(120)의 벽(130)에 충격을 주도록 구동되는 해머 피스톤(hammer piston)을 포함한다. 상기 피스톤 충격으로 인한 운동 에너지는 벽(130)에서 콤프레션 파를 발생시키며, 이는 벽을 통해 액체 매체 내로 이동하며, 따라서 액체 매체 내에서 압력 파를 발생시킨다. 상기 발생된 압력 파는 액체 매체를 통해 전파하여야 하며 챔버(120)의 중앙을 향하여 수렴한다. 또 다른 실시 예에서, 압력 파 발생기(160)는 상기 벽(130)내 상응하는 오프닝 내에 고정되거나 그렇지 않으면 벽(130)에 연결된 변환기를 포함한다. 압력 파는 상응하는 해머 피스톤으로 변환기에 충격을 줌에 의해 발생 된다. 시스템(100)의 다양한 실시 예와 함께 사용될 수 있는 압력 파 발생기(160)의 다양한 실시 예에 대한 상세한 내용이 미국 공보 No. 2010/0163130 그리고 PCT 국제 공보 No. WO 2012/113057에서 제공되며, 본원 명세서에서 그 전체가 원용된다.

[0040] 상기 압력 파 발생기의 수와 위치는 요구된 형상과 진폭을 갖는 압력 파가 액체 매체 내에서 발생될 수 있도록 압력 파 발생기의 수와 위치가 선택될 수 있다. 설명의 편의를 위해서, 도 2는 압력 파 발생기(160)의 일부만을 도시한다.

[0041] 플라즈마는 플라즈마 발생기(110)(그리고 110a, 만약 사용된다면)에 의해 발생되며 가속되고, 출구 단부(190) 그리고 오프닝(185)을 통해 압축 챔버(120) 내로 주입된다. 상기 출구 단부(190)는 챔버(185)의 오프닝(185)과 정렬된다. 상기 발생된 수렴하는 압력 파는 전면 또는 파면(170)을 갖는다. 상기 수렴하는 압력 파는 액체 매체를 통해 이동할 수 있으며 공동 인터페이스(액체/가스 인터페이스)와 충돌할 수 있다. 결과적으로, 상기 인터페이스는 신속한 가속을 받을 수 있으며 챔버(120)의 중앙을 향하여 계속 이동할 수 있고, 공동을 붕괴시키며 그리고 플라즈마(125)를 상기 수렴 공동 내로 압축한다(도 3 참조). 충격의 타이밍 그리고 따라서 수렴하는 압력 파의 발생은 완전하게 컨트롤 되어서 공동이 붕괴 되기 전에 공동 내로 플라즈마가 주입될 수 있도록 한다. 수렴하는 압력 파에 의해 유도된 상기 공동(140)의 붕괴는 챔버(120) 내에 액체의 고속 중앙 제트의 발생을 트리거할 수 있다(도 2에서는 도시되지 않으나, 도 3에서는 180으로 도시된다) 이 같은 액체 제트는 붕괴 포인트로부터 멀어져 중앙으로 향하는 액체의 "스파이크" 형성을 가질 수 있다. 상기 붕괴 포인트로부터 방출된 액체 제트가 플라즈마 발생기(110, 110a)를 향하는 방향으로 이동하는 때, 상기 액체 제트는 상기 발생기(110, 110a)로 들어가서 손상을 입히거나 발생기(110, 110a) 내 플라즈마 전파 채널(195)을 오염시킨다.

[0042] 상기 중앙 제트가 플라즈마 발생기(110, 110a)로 들어가는 개연성을 줄이기 위해, 상기 제트 제어 장치(200)가 사용되어 액체 제트를 방해하거나 편향하여 플라즈마 발생기(110, 110a)에 도달하지 못하도록 한다. 상기 제트 제어 장치(200)는 출구 노즐(207)을 갖는 액체 도관(205)을 포함하는 액체 주입기를 포함한다. 상기 제트 제어 장치(200)는 출구 노즐(207)을 폐쇄하거나 개방하도록 구성된 제어 밸브(208)를 더욱 포함한다. 상기 제트 컨트롤 장치(200)는 액체 제트 편향기(210)가 제트 제어 장치(200)로부터 공동의 축(250)을 따라 공동(140) 내로 주입될 수 있도록 그 방향이 정해진다. 액체 저장 탱크(220)는 도관(205)으로 유체가 통하도록 연결되며 상기 액체 제트 편향기를 도관으로 공급한다. 상기 액체 저장 탱크(220)는 도관(205)로 유체가 통할 수 있도록 결합되며 상기 액체 제트 편향기를 상기 도관으로 공급한다. 상기 액체 저장 탱크(220)는 플라즈마 발생기(110)의 중앙 부분 내에 위치된다. 한 실시 예에서, 저장 탱크(220)는 플라즈마 발생기(110)로부터 전기적으로 절연된다.

[0043] 이 같은 실시 예에서 상기 액체 제트 편향기(210)는 편향기(210) 액체와 챔버(120)의 액체 매체를 용이하게 혼합하는 관점에서, 압축 챔버(120) 내 액체 매체와 동일한 성분을 갖는다. 예를 들면, 액체 제트 편향기(210) 그리고 챔버 내 액체 매체는 납, 리튬 또는 나트륨과 같은 용융 금속이다. 선택적으로, 상기 액체 제트 편향기(210)는 챔버(120) 내 액체 매체와는 상이한 성분을 가질 수 있으며, 다만, 상기 편향기(210)는 동작 조건에서 액체 상태이고 상기 편향기(210)의 상이한 물질을 챔버(120) 내 액체 매체로부터 분리시키기 위한 시스템이 제공된다(도시되지 않음).

[0044] 플라즈마 압축 챔버(120)는 플라즈마 발생기(110) 내 압력보다 낮은 압력으로 유지된다; 따라서 액체 저장 탱크(220)가 상기 플라즈마 발생기(110) 내에 위치하는 때, 네가티브 압력 차가 제트 컨트롤 장치(200)와 제트 형성 위치를 포함하는 공동(140) 사이에 존재할 것이다. 또한, 노즐(207)이 아래 방향을 향하도록 제트 컨트롤 장치(200)가 공동(140) 위에 위치한다. 따라서, 공동 그리고 압력 차에 의해 발생된 흡입력이 액체 제트 편향기(210)가 액체 저장 탱크(220)로부터 액체 도관(205)으로 흐르게 할 것이며, 다음에 컨트롤 밸브(210)가 열렸을 때 출구 노즐(207)로부터 공동(140) 내로 흐르게 할 것이다. 하기에서 상세히 설명하는 바와 같이, 제트 컨트롤 장치(200)와 공동(140) 사이 압력 차는 (중력의 도움으로) 액체 제트가 플라즈마 발생기(110, 110a)에 도달하는 것을 방해하거나 편향시키기 위해 충분한 메스 흐름 속도를 제공하도록 구성될 수 있다. 펌프 또는 가압 가스 공급장치(도시되지 않음)와 같은 가압 장치가 도관(205)으로 연결되어 압력 차를 요구된 수준으로 증가시키도록

한다.

[0045] 액체 제트 편향기(210)의 요구된 메스 흐름 속도를 제공하기 위해 필요한 압력을 결정하기 위해, 액체 제트 편향기(210)에 대한 동작 파라미터가 정해진다. 먼저, 액체 제트 편향기 주입 시스템(200)이 연속적인 액체 스트림이 노즐(207)로부터 공동(140) 내로 연장되는 공동 내로 충분한 액체 제트 편향기 물질을 주입하여야 한다. 또한, 액체 제트 편향기(210) 스트림의 반경이 전장에 걸쳐 가능한 한 균일하여야 하며, 따라서 상기 액체 제트 편향기(210)는 중력으로 인해 공동(140) 아래로 흐르는 때 액체 제트 편향기(210)가 좁아지는 것을 막을 정도로 충분한 초기 속도로 주입될 수 있다. 에너지 밸런스로부터 다음과 같은 식이 알려져 있다:

$$V_{\text{top}}^2 - V_{\text{bottom}}^2 = 2gH,$$

[0047] 여기서 V_{top} 와 V_{bottom} 는 상부(컨트롤 밸브(208) 가까이)에서 그리고 하부(액체 제트 편향기(210) 반대편 단부)에서 액체 제트 편향기(210)의 속도이고; g 는 중력 가속도이며, 그리고 H 는 액체 제트 편향기(210)의 길이이다. 약 3m 높이 압축 챔버(120) 그리고 챔버(120)의 한 극에서 다른 한 극까지 연장되는 공동(140)에 대하여, 액체 제트 편향기는 약 3m의 길이(공동(140)의 전체 길이에 걸쳐 연장되는)를 갖는다. 속도의 변화가 25% 이하라면, 상기 주입 속도는:

$$V_{\text{top}} = \sqrt{\frac{2gH}{1.25^2 - 1}} \approx 10m/s$$

[0049] 상기 주입 속도를 달성하기 위해, 유체는 압력하에서 주입된다.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_{\text{top}}^2.$$

[0051] 밀도 $\rho = 10000 \text{ kg/m}^3$ 이고 $V_{\text{top}} = 10m/s$, 의 용융된 납 편향기의 경우, 상기 액체 제트 편향기(210)에 주입하기 위해 필요한 압력은 약 $P = 500000Pa \approx 5.4atm$ 이고, 용융된 금속을 도관(205) 아래로 밀기 위해 액체 탱크(220) 내 압축된 가스와 같은 가압 수단에 의해 또는 제트 컨트롤 장치(200)와 공동(140) 사이 압력 차를 유지시킴에 의해, 또는 이들 모두에 의해 제공될 수 있다. 이 같은 실시는 설명 목적일 뿐이며, 더욱 높은 초기 속도를 갖는 액체 제트 편향기(210)가 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 한도에서 주입될 수 있으며, 그 길이를 따라 둘 또는 그 이상의 균일한 반경을 갖는 편향기가 제공된다고 가정한다. 상기 액체 제트 편향기(210)($R_{\text{deflector}}$)의 반경은 공동(140)(R_{cavity})의 반경에 의존하며, 상기 공동의 반경의 몇 분지 일이다. 예를 들면, 액체 제트 편향기(210)의 반경은 약 $0.1R_{\text{cavity}} \leq R_{\text{deflector}} \leq 0.2R_{\text{cavity}}$ 이다. 액체 제트 편향기(210)는 압축 챔버(120) 내 액체 매체와 같을 수 있다. 예를 들면, 약 20cm 반경의 공동의 경우 상기 액체 제트 편향기(210)의 반경은 약 2-4cm이다.

[0052] 액체 순환 어셈블리(230)는 수집 탱크(225)로부터의 액체를 재사용을 위해 저장 탱크(225)내로 재순환시키도록 사용될 수 있다; 이 같은 어셈블리(230)는 수집 탱크(225)에 유체가 통과하도록 결합된 유입구 그리고 액체 저장 탱크(220)에 연결된 유출구를 포함한다. 상기 편향기(210)가 소용돌이(vortex)의 전장에서 흐르는 연속 액체인 때, 공동의 붕괴가 한 포인트에서 있지 않고 액체 제트 편향기(210)의 표면에 있기 때문에 고속 액체 제트(180)의 형성이 막아질 수 있다. 따라서, 상기 편향기의 표면에서 공동(140)이 붕괴 되는 동안 발생할 수 있는 하나 또는 둘 이상의 제트가 액체 제트 편향기(210)에 의해 챔버(120) 내 메인 액체 바디(main liquid body)내로 향해야 한다.

[0053] 한 실시 예에서, 상기 액체 제트 편향기(210)는 컨트롤되고 타이밍이 적절하도록 상기 공동(140) 내로 주입된다. 제어 밸브(208)의 오픈링 및/또는 압력 파의 발생을 제어하도록 프로그램된 컨트롤러(도시되지 않음)가 제공되어, 액체 제트 편향기(210)가 주입되고 플라즈마가 공동(140)으로 들어가는 때 공동(140)의 길이

적어도 일부에서 연장됨으로써, 공동(140)의 붕괴가 액체 제트 편향기(210)의 표면에서 발생될 수 있도록 한다. 상기 액체 제트 편향기(210)의 크기는 출현하는 제트의 에너지에 따라 변할 수 있다. 예를 들면, 편향기(210) 스트림의 길이는 압축 챔버(120)의 반경과 동일할 수 있다. 일정 실시 예에서는, 상기 편향기(210) 스트림의 길이는 압축 챔버(120)의 반경보다 짧거나 길 수 있다.

[0054] 상기 설명된 바와 같이, 액체 제트 편향기(210)는 압력 하에서 주입될 수 있으며, 펌프 또는 압축 가스를 사용하여 액체 제트 편향기(210)를 도관(205) 내로 그리고 노즐(207)로부터 밀어 넣을 수 있다. 상기 압력은 액체 제트 편향기(205)가 공동(140) 내로 흐를 수 있도록 그리고 상기 붕괴 포인트에서 출현하는 고속 액체 제트와 충돌하도록 선택될 수 있다. 예를 들면, 상기 붕괴 포인트(collapse point) 또는 붕괴 포인트에 인접하여 액체 제트와 만나는 약 2-4cm 반경과 약 10m/s 또는 그 이상의 흐름 속도를 갖는 액체 제트 편향기(210) 스트림(약 -20 - 160 kg m/s)이 제트의 응집 바디(cohesive body)를 작은 제트로 나눌 수 있으며, 이와 같은 작은 제트는 액체 매체의 메인 바디(main body)로 다시 향하도록 될 수 있다. 액체 제트 편향기(210) 그리고 그 에너지(또는 압력)의 주입은 제트의 에너지 벌크가 줄어 들도록 그리고 제트가 제트 발생기의 출구 엔드(190)에 도달하지 못하도록 상기 공동 붕괴와 동기 될 수 있다.

[0055] 또 다른 실시 예에서, 도 1B에서 도시된 제트 제어 장치는 도 2에서 도시된 것과 같이 플라즈마 압축 시스템(100) 내에 설치될 수 있으며, 시스템(100)의 압축 챔버(120)에 형성된 액체 제트가 시스템(100)의 플라즈마 발생기(110)에 도달하는 것을 막도록 동작 되며, 상기 액체 제트는 압축 챔버(120) 내 액체 매체로부터 형성된다. 상기 제트 제어 장치는 연속 고체 로드 제트 편향기(210)를 압축 챔버(120)로 주입하도록 구성되며; 블랭크(blanks)는 압출기(14)가 충분한 길이를 갖는 고체 로드를 형성하도록 충분한 공급원료 물질을 포함하여서, 고체 로드가 공동(140)의 전체 길이에 걸쳐 압출 노즐(17)로부터 연장되도록 한다. 일정 모드의 동작에서, 고체 로드 제트 편향기(12)는 시스템(100)의 동작 중에 완전히 또는 부분적으로 파괴될 수 있다. 따라서, 상기 고체 로드 제트 편향기(12)가 챔버(120) 내 액체 금속과 같은 금속으로 만들어질 수 있다. 이와 같은 경우, 새로운 고체 로드 제트 편향기(12)가 챔버(120) 내 액체 금속의 일부를 사용하여 압출될 수 있다. 상기 고체 로드 제트 편향기(12)는 공동(140)의 크기 및/또는 챔버(120)의 크기와 형상에 따라 다양한 다른 크기와 형상을 가질 수 있다. 그 크기와 형상은 공동으로 들어가는 플라즈마를 간섭하지 않도록 크기가 정해질 수 있다. 예를 들면, 상기 편향기는 상기 공동(140) 직경의 약 1/5 - 1/10의 직경을 갖는 원통형 형상일 수 있다.

[0056] 한 선택적 실시 예에서, 제트 제어 장치(도시되지 않음)는 고체 로드 제트 편향기 그리고 액체 스트림 제트 편향기를 동시에 주입하도록 구성된다. 상기 제트 제어 장치에는 도 1B에서 도시된 실시 예와 같이 압출기가 제공되며, 또한 압출기 옆에 위치한 도 1A에서 도시된 실시 예와 같은 액체 주입기를 가질 수 있기도 하여서, 액체 스트림이 상기 고체 로드를 따라서 공동 내로 흐르도록 한다. 선택적으로, 상기 압출기는 액체 주입기 내에서 동축을 갖도록 위치하며, 고체 로드 주위로 상기 액체 스트림이 주입되고 상기 로드 길이 주위로 공동 내로 흐르도록 한다. 상기 액체 스트림의 조성은 리튬일 수 있고 고체 로드 제트 편향기 위에서 얇은 층의 리튬을 형성할 수 있으며, 이는 플라즈마-마주하는 표면에서 낮은 Z 물질을 제공하며 따라서 플라즈마 오염으로 인한 방사선 손실을 최소화 한다. 선택적으로, 상기 고체와 액체 제트 편향기 모두는 액체 매체와는 다른 물질로 만들어질 수 있으며, 이때에는 시스템에 편향기(210)의 물질을 액체 매체로부터 분리시키기 위한 수단이 제공된다. 이와 같은 분리가 있는 후에, 액체 매체는 상기 압축 챔버(120) 내로 되보내지며, 상기 제트 편향기 물질은 제트 제어 장치(jet control device)로 되보내 진다.

[0057] 도 1A의 액체 제트 제어 장치(10) 또는 고체 로드 제트 제어 장치(10) 어느 하나를 사용하는 플라즈마 압축 시스템(100)의 경우, 발생기(110)의 압력 파면과 출구 엔드(190)의 상호 작용은 출구(190) 가까이에서 형성되는 액체 매체의 방울을 초래할 수 있다. 이 같은 액체 방울이 플라즈마 발생기(110)(또는 발생기(110a), 만약 사용된다면)로 들어가는 것을 막기 위해서, 상기 제트 컨트롤 장치(200)는 도 2에서 도시한 바와 같은 쉴드(240)를 더욱 포함한다. 상기 쉴드(240)는 액체 매체의 방울이 발생기(110)의 출구 엔드(190)로 들어가는 것을 막을 수 있다. 제2 플라즈마 발생기(110a)가 사용되는 때, 상기 제트 제어 장치(200)는 제2 쉴드(240a)를 포함하며, 이때의 쉴드는 쉴드(240)와 유사하며, 제2 플라즈마 발생기(110a)의 출구 엔드 가까이 위치한다.

[0058] 도 2에서 도시된 실시 예에서, 상기 쉴드(240)는 환상의 오프닝(185)에 근접하여 벽(130)에 연결되며; 선택적으로 상기 쉴드(240)는 벽(130)의 일체 부분을 형성한다. 어느 경우에도, 아래로 향하는 플라즈마 발생기(110)를 위한 쉴드(240)는 벽(130)의 내측 표면으로부터 아래로 연장되는(그리고 상측을 향하는 플라즈마 발생기에 대해서는 상측으로 연장되는) 원통형 바디(가령 스커트)이다. 상기 쉴드(240, 240a)는 액체 방울이 플라즈마 발생기(110)로 들어가는 것을 막을 수 있는 크기이다. 예를 들면, 상기 쉴드(240, 240a)의 길이는 플라즈마 압축 챔버(120) 높이의 약 1/10 내지 1/7 이다 (약 3m 의 높이를 갖는 챔버(120)를 갖는 도 2에서 도시된 플라즈마

압축 시스템(100)의 경우 0.2 - 0.4m). 또 다른 실시 예에서(도시되지 않음), 상기 쉘드(240, 240a)는 플라스마 발생기(110, 110a)의 외측 벽의 출구 엔드(190) 일체 부분을 형성한다. 발생기(110)의 출구 엔드(190)가 오프닝(185, 185a) 내로 삽입되는 때, 발생기(110, 110a)의 외측 벽이 압축 챔버(120) 내에서 더욱 돌출하여 출구 엔드(190) 둘레에서 수직, 환상형 벽을 형성할 수 있다. 상기 쉘드(240, 240a)는 공동 형성 및/또는 공동 발생 시스템을 방해하지 않는 형상 및 크기를 가질 수 있으며, 상기 압축 챔버(120)의 특정 기하구조에 맞도록 조정될 수 있다. 상기 쉘드(240, 240a)의 벽은 축(250)과 평행하거나 이 같은 축(250)에 대하여 다소의 각을 갖도록만 들어질 수 있다.

[0059] 도 3과 관련한 또 다른 실시 예에서, 액체 제트 제어 장치는 제트 편향기(300)를 다수의 고체 상태 펠릿(300) ("고체 펠릿 제트 편향기") 형태로 액체 상태 유체 제트("액체 유체 제트")(180)를 향하도록 구성된다. 주입 수단은 도 3에서 도시된 레일 건(rail gun)과 같은 펠릿 드라이버(320)이다; 그러나, 압축된 가스 건과 같은 다른 펠릿 드라이버가 제공될 수 있기도 하다. 상기 레일 건(rail gun)은 플라스마 발생기(110) 내측에 위치하며 축(350)을 따라 공동(140)이 형성될 것으로 기대되는 챔버(140) 내로 아래를 바라본다.

[0060] 펠릿 드라이버를 대신하여, 주입 수단은 도관의 방출 엔드에서 제어 가능한 게이트(도시되지 않음)를 갖는 아래를 향하고 있는 도관 형태를 하는 패시브 펠릿 주입기일 수 있다. 상기 도관은 단일 라인의 펠릿을 저장하는 크기이며, 상기 게이트는 상기 펠릿(300)이 공동(140) 내로 방출될 수 있도록 개방될 수 있다. 펠릿이 액체 제트 형성 위치로부터 출현하는 액체 제트(180)를 편향시키거나 방해하기에 충분한 속도를 달성하도록 도관으로부터 공동(140)으로 펠릿(300)을 추출하기 위해, 제트 제어 장치(110)와 챔버(120) 사이에 충분한 네가티브 압력 차가 있는 때(중력의 도움으로), 상기 펠릿 주입기가 사용될 수 있다.

[0061] 상기 제트 제어 장치는 펠릿(300)을 저장하는 그리고 상기 펠릿을 펠릿 드라이버(320)로 전달하기 위한 적재 메카니즘을 갖는 펠릿 컨테이너(310)를 더욱 포함한다. 상기 컨테이너(310)는 한 입구(도시되지 않음)를 포함하며, 이를 통하여 추가의 펠릿 충전이 제공되고 한 출구를 포함하며, 이를 통하여 컨테이너(310)로부터 펠릿 드라이버(320) 내로의 펠릿의 조정된 릴리스가 달성될 수 있다. 상기 적재 메카니즘은 펠릿(300)을 레일 건(320)의 브리지 내로 적재하는 컨베이어 벨트일 수 있으며; 상기 레일 건(320)은 축(350)을 따라 상대적으로 신속한 순서로 펠릿(300)을 발사하는 조작자일 수 있다. 일정 경우에, 짧은 시간이 제공되며(1-2 초) 펠릿(300)의 다음 카트리지를 적재하도록 한다.

[0062] 하나 또는 둘 이상의 펠릿(300)은 공동(140) 내로 주입되어 공동(140)의 붕괴에 따라 발생할 수 있는 중앙 액체 제트(180)와 충돌하고 방해하도록 한다. 예를 들면, 펠릿(300)은 이들이 제트(180)를 인터셉트하도록 축(250)을 따라 이동하도록 주입될 수 있다. 상기 펠릿(300)은 상기 붕괴 포인트에서 출현하는 제트(180)의 모멘텀을 상쇄하기 위한 크기를 갖는다. 상기 펠릿(300) 내 흐름 속도는 실시 및 동작 조건에 따라 수십 m/s 에서 수백 m/s일 수 있다. 예를 들면, 약 20 - 160kg m/s의 붕괴 포인트에서 모멘텀 $P = v \times m$ 인 유체 제트 그리고 약 0.08kg (2cm 의 정육면체) 내지 0.64kg (4cm 의 정육면체) 질량을 갖는 납 펠릿의 경우, 펠릿(300)의 속도는 약 30 - 2000 m/s이다. 상기 펠릿(300)은 따라서 공동(140) 내로 들어가는 플라스마를 방해하지 않도록 또는 공동(140) 자체를 방해하지 않도록 하는 크기와 형상을 가질 수 있다(예를 들면, 상기 펠릿의 크기는 상기 공동(140)의 직경 1/5 내지 1/10일 수 있다). 펠릿(300) 각각은 고속 제트(180)와 충돌하여 이 고속 제트를 편향시키도록 하며 이 고속 제트를 다수의 작은 제트로 나뉘어 퍼지게 한다. 특히, 펠릿(300) 각각은 상기 고속 제트(180)의 초기 방향을 바람직한 새로운 방향으로 편향시키는 크기와 형상을 갖도록 전면 표면(301)을 갖는다. 예를 들면, 펠릿(300)은 오목하거나 큰 형상 전면 표면(301)을 가질 수 있다. 펠릿(300) 각각은 챔버(120) 내 액체 매체와 같은 재료로 만들어질 수 있으며, 예를 들면, 구형, 타원형, 원통형, 장방형 또는 다른 적절한 형상과 같은 다양한 다른 형상을 가질 수 있다.

[0063] 제트 제어 장치는 액체 제트(180)의 공동 붕괴 및 형성을 갖는 펠릿(300)의 릴리스 그리고 주입을 조정하도록 구성된 타이밍 시스템(도시되지 않음)을 더욱 포함할 수 있다. 한 실시 예에서, 단일 펠릿(300)은 액체 제트(180)를 인터셉트하거나 방향을 재 조정하도록 주입될 수 있다. 또 다른 실시 예에서, 펠릿(300)의 배열이 공동(140) 내로 주입될 수 있다. 상기 액체 제트(180)는 하나 또는 둘 이상의 펠릿(300)에 의해 인터셉트될 수 있다. 상기 펠릿이 상기 액체 매체와 동일한 조성을 갖는 때, 상기 챔버(120) 내의 액체 매체 부분이 새로운 펠릿(300)을 만들도록 추출된다(도시하지 않은 펠릿을 만들기 위한 수단).

[0064] 상기 제트 제어 장치는 챔버(120)의 환상형 오프닝(185)에 근접하여 형성된 수축(constriction)부(330)와 같은 액체 방울 쉘드를 더욱 포함한다. 상기 수축부(330)는 플라스마가 상기 수축부(330)를 통과하지만 그러나 압력 파(170)가 출구 엔드(190)에 접근하는 때 형성된 액체 방울이 상기 플라스마 발생기(110)로 들어가는 것을 막도

록 한다. 상기 수축부(330)는 상기 발생기(110)의 입구(출구 엔드(190))에 형성된 립(lip)으로 작용할 수 있다. 이는 챔버(120) 안쪽을 향해 다소 안쪽으로 돌출할 수 있으며, 챔버(120) 또는 발생기(110)의 바깥 측 벽의 일체 부분으로 구성될 수 있다. 또한 수축부(330)는 제트(180)가 플라스마 전파 채널로 들어가는 것을 적어도 부분적으로 막을 수 있으며 따라서 제트(180)에 대하여도 쉴드 및/또는 편향기로서 작용할 수 있다. 일정 실시예에서, 상기 수축부(330)와 쉴드(240) 모두는 발생기(110, 110a)로 들어가는 액체 물질의 방출을 막도록 사용될 수 있다.

[0065] 공동 붕괴의 시뮬레이션 그리고 액체 제트의 뒤이은 형성이 계산 유체 다이내믹(CFD) 코드 OpenFOAM (OpenFOAM Foundation, Warrington, United Kingdom에서 구입가능) 그리고 유한 요소 분석(FEA) 코드 LS-DYNA(Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA로부터 구입가능)를 사용하여 수행되었다. 시뮬레이션의 결과가 도 4-9에서 도시된다.

[0066] 1.5m의 반경 그리고 2m의 높이를 갖는 원통형 플라스마 압축 시스템의 CFD 시뮬레이션이 원통형 기하구조를 사용하여 수행되었다. 상기 공동의 반경은 0.2m로 세트되었으며 이 같은 공동이 실린더(원통)의 전장에 걸쳐 연장되도록 세트되었다. 시뮬레이션이 용융된 납 또는 용융된 납과 리튬의 혼합물과 같은 용융된 금속을 유체의 예로서 사용하여 수행되었다. 유체(예를 들면, 납) 내 소리의 속도는 1800m/s로 정해졌다. 시뮬레이션이 3개의 상이한 압력 펄스 진폭에 대하여 수행되었다:

[0067] 1. $P = 1.5 \times 10^{10} \text{Pa}$, 이는 구형상의 수렴 파의 경우 공동 인터페이스 가까이에서 한 프로토타입 플라스마 압축 챔버 내 압력 진폭에 해당한다;

[0068] 2. $P = 2 \times 10^9 \text{Pa}$, 이는 작은 크기 압력 챔버에서 약 50m/s의 피스톤 속도에 대한 초기 압력 진폭에 해당한다;

[0069] 3. $P = 5 \times 10^8 \text{Pa}$, 이는 작은 크기 압력 챔버에서 약 15m/s의 피스톤 속도에 대한 초기 압력 진폭에 해당한다;

[0070] 도 4와 5는 $P = 1.5 \times 10^{10} \text{Pa}$ 의 진폭을 갖는 압력 펄스에 대하여 CFD 계산 모델의 수직 및 수평 단면을 도시한다(이들 단면은 다른 압력 펄스 진폭에서도 유사하게 보인다). 곡선 섹션(410)(도 4 및 5)은 이른 전파 단계에서 압력 파를 도시한다. 도 4의 고체, 수직 블랙 라인(420) 그리고 도 5의 원형 형상 곡선(420)은 각각 수직 방향으로(도 4) 그리고 수평 방향으로(도 5) 공동(140)의 초기 유체/가스 인터페이스를 도시한다.

[0071] $1.5 \times 10^{10} \text{Pa}$ 를 갖는 펄스의 경우, 입자 속도는 약 800m/s(유체로서 납에 대하여)이며 다음 식(I)에 의해 계산된다.

[0072]
$$V_{\text{particle}} = P/(\rho \times c) \quad (1)$$

[0073] 여기서 P는 펄스의 압력이고, ρ 는 유체의 밀도 그리고 c는 유체 내 소리의 속도이다.

[0074] 상기 공동의 붕괴 형상은 압력 펄스가 인터페이스를 가격(hit)하는 시간에 공동 인터페이스를 따라 만들어진 압력 분포에 적어도 부분적으로 의존한다. 상기 인터페이스의 초기 속도는 상기 압력 펄스의 입자 속도에 비례하며, 이 같은 입자 속도는 상기 압력 펄스가 인터페이스에 도달하는 시간에서의 압력에 비례한다. 도 4와 도 5에서 도시된 바와 같이, 압력 펄스(410)는 구 형상을 하여서 챔버 중앙 부분에서의(도 4에서 도시된 원통형 챔버 중앙선 또는 적도를 따라) 펄스는 먼저 공동 인터페이스에 도달한다. 상기 중앙선으로부터 멀어지면서, 상기 압력 펄스는 일정 시간 지연이 있는 후에 공동 인터페이스에 도달할 것이다. 그러므로, 공동의 길이를 따라 압력

펄스의 도달은 일정 시간 간격으로 발생될 것이다. 높은 진폭 압력 펄스(예를 들면, $P = 1.5 \times 10^{10} \text{Pa}$)의 경

우, 유체 내 인터페이스 속도($V_{\text{interface}} = 2 \times V_{\text{particle}}$)는 선형 관계식에 따라 대략 유체 소리 속도 크기와 유사하다. 예를 들면, 납에서 인터페이스 속도는 약 1600m/s이며, 이는 납에서 소리 속도인 1800m/s와 유사하다. 이 같은 예에서, 공동 인터페이스의 길이를 따라 압력 펄스의 도달 시간 지연이 상대적으로 크며 상

기 공동의 핀치 붕괴(pinch collapse)가 챔버의 중앙에서 발생 되도록 한다. 낮은 진폭 펄스의 경우, 상기 인터페이스 속도는 유체 내 소리의 속도 보다 훨씬 느릴 수 있으며 공동의 길이를 따라 압력 펄스 도달의 시간 지연이 무시할 수 있을 정도이도록 하고, 결국 공동 인터페이스의 길이를 따라 더욱 균일한 붕괴를 일으키도록 한다 (높은 진폭 압력 펄스와 비교하여). 수치적인 시뮬레이션은 공동 붕괴(예를 들면, 상기 공동 인터페이스의 핀치 공동 또는 더욱 균일한 공동)의 형상과 관계없이, 그 같은 공동 붕괴가 결국 고속 중앙 제트 및 액체 방울의 발생을 일으킨다(도 7a에서 도시된 예를 참고).

[0075] FEA 코드는 피스톤 시스템, 유체(가령, 납) 그리고 타원형 플라즈마 압축 용기 내 진공/공기를 모델하도록 사용되었다. 이 같은 모델링은 2 차원 축 대칭 형상에 대해 수행되었다. 도 6은 시뮬레이션 모델의 예를 나타낸다. 타원형 용기의 내부 (610)는 유체(가령, 납 또는 납 / 리튬 혼합물)로 부분적으로 채워진 다. 상기 공동은 도면 부호 (620)로 표시되며, 피스톤은 도면 부호 (630)로 표시된다. 상기 용기의 내부 반경은 2m이고 외부 반경은 2.3m이다. 피스톤은 약 40m/s로

[0076] 가속되며 구 형상의 벽을 때리며 뒤이어서 용기 내 유체를 때린다. 도면 부호 (640)은 제트 편향기(12)(도 1A, 1B) 또는 편향기(210)(도 2)에 대응하는 상기 공동 중앙에 삽입된 중앙 축을 표시한다.

[0077] 두 CFD 및 FEA 시뮬레이션 모두의 결과는 공동 붕괴의 결과로서 발생하는 제트가 (i) 공동의 축(가령, 싱글러 붕괴 포인트)에서 실제 공동에 의해 발생된 고속 중앙 제트 그리고 (ii) 유체 방울, 가령 상기 압력 펄스 파면이 발생기의 출구 엔드에 접근하는 때 주입기 노즐 속으로 드리블링하는 유체 매스(fluid mass)로 나뉘어 질 수 있다. 상기 수행된 시뮬레이션에서, 상기 유체 방울은 압력 펄스의 모든 진폭에 대하여 관찰되며 유체 방울의 속도는 고속 중앙 제트 속도보다 훨씬 느리다. 도 8a 및 8b는 고속 제트와 유체 방울 각각의 속도의 예를 도시한다. 도 8a에서 도시한 바와 같이, 중앙 제트는 초당 수 킬로미터의 속도로 발생할 수 있으며, 액체 방울(710)은 초당 수십 미터의 속도로 발생할 수 있다(도 8b). 도 8a 및 도 8b의 시뮬레이션 예는 상기 중앙 제트(720)의 속도가 약 1500m/s 내지 약 2500m/s 범위일 수 있으며, 방울(710)의 속도는 약 50m/s 내지 약 75 m/s 범위일 수 있고, 이는 중앙 제트 속도의 약 3%에 불과함을 보여준다.

[0078] 중앙 축(640)을 갖는 또는 갖지 않는 유체 제트의 비교가 도 7과 도 9에 도시된다. 도 7a 그리고 9a는 편향기(축 640)이 상기 공동 내에 존재하지 않는 때 얇은 유체 필라멘트(720)와 같은 고속 중앙 제트 형성을 도시한다. 도 7a는 상기 챔버의 오프닝 가까이 방울(710)의 형성을 더욱 도시한다. 상기 제트(720)는 상기 공동의 축을 따라 흐르는 고속 제트일 수 있다. 상기 중앙 제트를 제거하거나 줄이기 위해, 축(640)이 공동의 중앙에 삽입된 시뮬레이션이 수행되었다(도 7b, 9b 참조).도 7b 및 9b는 축(640)이 공동 내로 삽입되는 때 형성된 다수의 분산된 제트(730)을 도시한다. 시뮬레이션은 중앙 축이 상기 공동 내에 존재하는 때 중앙의 고속 제트 형성이 피하여 질 수 있고 축(640)의 표면에서 상기 공동의 붕괴에 의해 형성된 제트(730)가 편향되어서 유체의 메인 바디를 타격하도록 하는 경향이 있음을 보여준다. 또한, 상기 시뮬레이션에 '따라, 상기 축이 존재하는 때 형성된 제트(730)의 크기는 축이 존재하지 않는 때 형성된 제트(720) 크기의 약 1/4이다. 도 7b의 예에서, 상기 축(640)의 존재는 비록 액체 방울 크기를 줄이기는 하지만 액체 방울은 완전히 제거하지 않음을 보여준다.

[0079] 도 9a는 중앙 축(640)이 존재하지 않는 때 형성된 제트의 속도를 도시하며, 도 9b는 중앙 축(640)이 공동 내로 삽입되는 때 형성된 제트의 속도를 도시한다. 이 같은 시뮬레이션은 축이 공동 내에 존재하는 때 제트(730)의 속도가 축(640)이 공동에 존재하지 않는 때 제트(720) 속도의 약 60%로 줄어 들 수 있음을 보여준다.

[0080] 도 2의 쉘드(240)에 상응하는 기하학적 쉘드가 또한 시뮬레이트 되었다. 이 시뮬레이션은 상기 쉘드의 사용이 그와 같은 개연성을 줄일 수 있으며 유체 방울이 발생기로 들어가는 것을 막을 수 있음을 보여주었다. 상기 쉘드의 수직 길이는 챔버의 크기에 달려 있으며 시뮬레이트된 예에서 상기 수직 길이는 약 0.25m 이었다. 이와 같은 길이는 설명의 목적인 것이며 상기 쉘드 크기가 다른 것이 다른 실시 예에서 사용될 수 있다.

[0081] 본원 명세서에서 특정 엘리먼트, 실시 예 그리고 적용이 도시되고 설명되었으나, 이들에 대한 수정이 본원 발명의 범위를 벗어나지 않는 한도에서 당업자에 의해 만들어질 수 있으므로 본원 발명의 범위가 이들에 의해 제한되는 것이 아니다. 따라서, 예를 들면, 본원 명세서에서 설명된 방법 또는 처리에서, 방법/처리를 만드는 작용 또는 동작이 적절한 순서로 수행될 수 있으며 어떤 특정 순서로 제한될 필요는 없다. 본원 명세서의 엘리먼트 및 컴포넌트가 다양한 실시 예에서 달리 구성되거나 배열되고, 결합되며, 및/또는 제거될 수 있다. 본원 명세서에서 설명된 다양한 특징 및 처리가 서로 독립적으로 사용될 수 있으며, 혹은 다양한 실시 예에서 결합하여 사용될 수 있기도 하다. 모든 가능 조합 및 하위 조합은 본원 발명의 범위에 속하는 것이다. 본원 명세서에서, "몇몇 실시 예", "한 실시 예" 등은 특정 실시 예와 관련하여 설명된 특정 특징, 구조, 단계, 방법, 또는 특징이 적어도 한 실시 예에서 포함될 수 있음을 의미한다. 따라서, 본원 명세서에서, "몇몇 실시 예", "한 실시

예" 등은 동일한 실시 예를 언급해야 하는 것은 아니며 동일한 또는 다른 실시 예의 하나 또는 둘 이상을 의미하는 것이다. 사실, 본원 명세서에서 설명된 신규한 방법 및 시스템은 다양한 다른 형태로 실시될 수 있으며; 또한 다양한 생략, 추가, 대체, 등가물 대체, 재배치 및 설명된 실시 예 형태 변경이 본원 발명의 사상을 벗어나지 않는 한도에서 가능한 것이다.

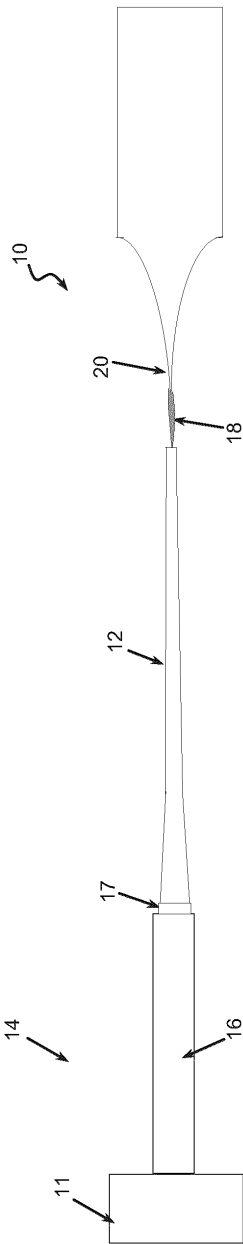
[0082] 실시 예의 다양한 특징과 장점이 적절하게 설명되었다. 특정 실시 예에 따라 그와 같은 모든 특징과 장점이 달성되는 것은 아니다. 따라서, 예를 들면, 본원 명세서에서 설명되거나 암시되는 다른 특징 또는 장점을 달성하지 않고, 한 가지 장점 또는 한 그룹의 장점을 달성하거나 최적하게 하는 방법으로 수행될 수 있기도 하다.

[0083] 본원 명세서에서 "할 수 있다", "될 수 있다" 등의 조건적인 표현은 달리 명시하지 않거나 문맥상 달리 해석되지 않는다면, 일정 실시가 일정 특징, 엘리먼트 및/또는 단계를 포함할 수 있지만 다른 실시는 포함하지 않음을 의미하는 것이다. 따라서, 이 같은 조건적인 표현은 특징, 엘리먼트 및/또는 단계가 하나 또는 둘 이상의 실시 예에서 요구되거나 하나 또는 둘 이상의 실시가 조작자 입력 또는 프롬프트와 더불어 또는 그와 같은 입력이나 프롬프트 없이 이들 특징, 엘리먼트 및/또는 단계가 어느 특정 실시에서 포함되거나 수행되어야 하는가를 결정하기 위한 논리를 포함함을 암시하는 것이 아니다. 어떠한 단일 특징 또는 한 그룹의 특징도 어느 특정 실시에서 요구되거나 필요불가결한 것이 아니다. 용어 "포함하는", "갖는" 등은 동의어이며, 추가의 엘리먼트, 특징, 단계, 동작 등을 배제하는 것이 아니다. 또한, 용어 "또는"은 포함하는 의미로 사용되며(배타적인 의미로 사용하지 않는다), 예를 들면 일련의 리스트 엘리먼트를 연결시키는 의미로 사용되며, 하나, 일부, 또는 모든 엘리먼트를 의미한다.

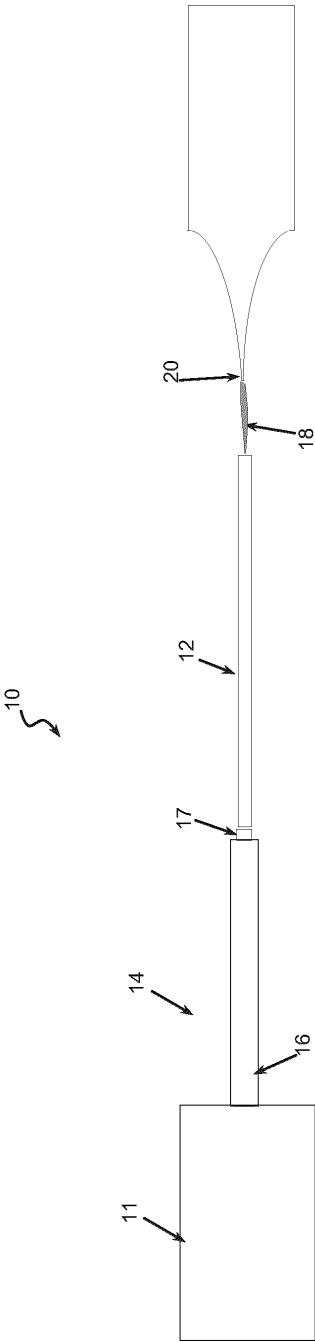
[0084] 본원 명세서에서 설명된 실시 예 계산, 시뮬레이션, 결과, 그래프, 값 및 파라미터는 설명된 실시를 설명하는 것이지 제한하는 것이 아니다. 다른 실시 예는 본원 명세서에서 설명된 실시 예와는 달리 구성되고 동작 될 수 있기도 하다.

도면

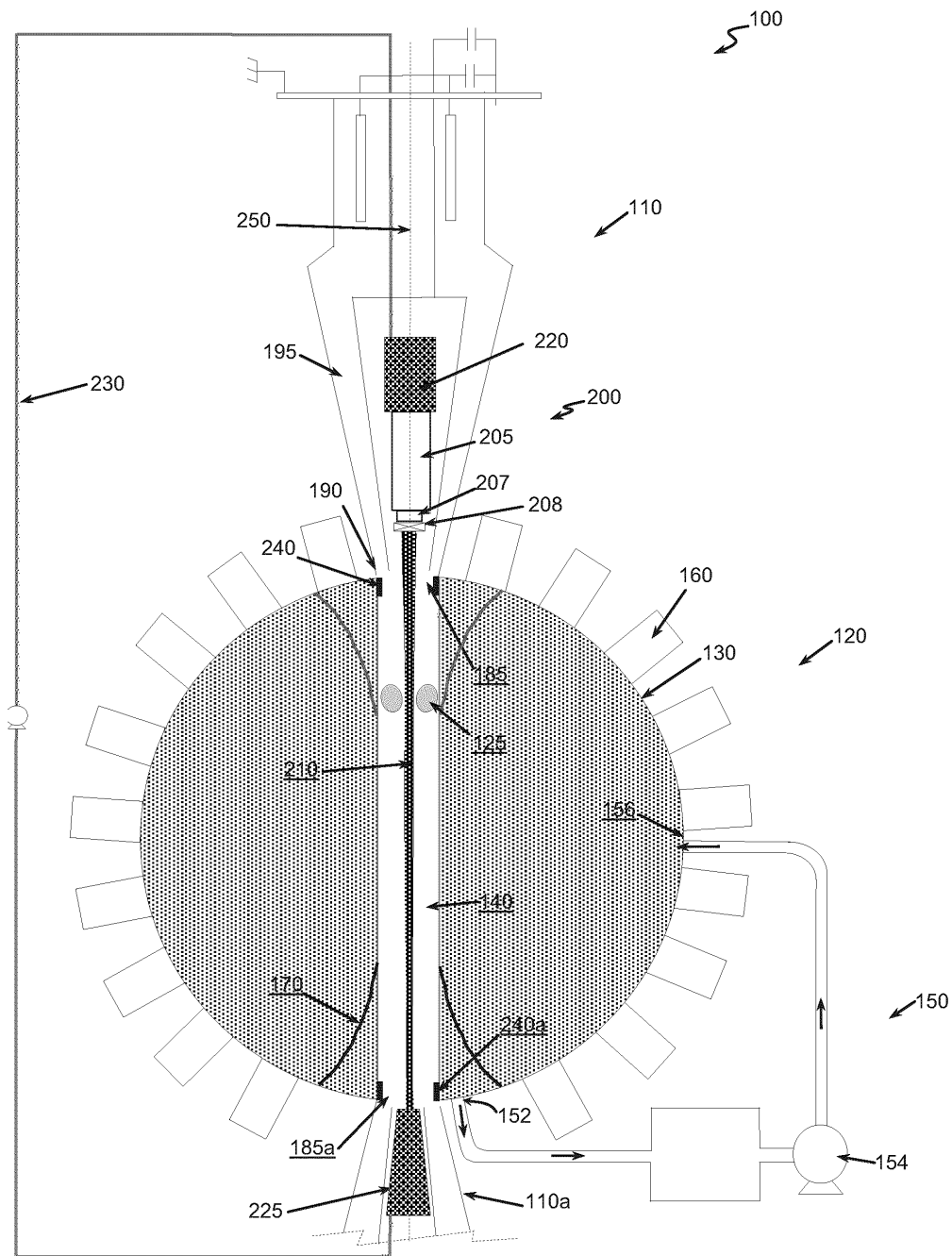
도면1a



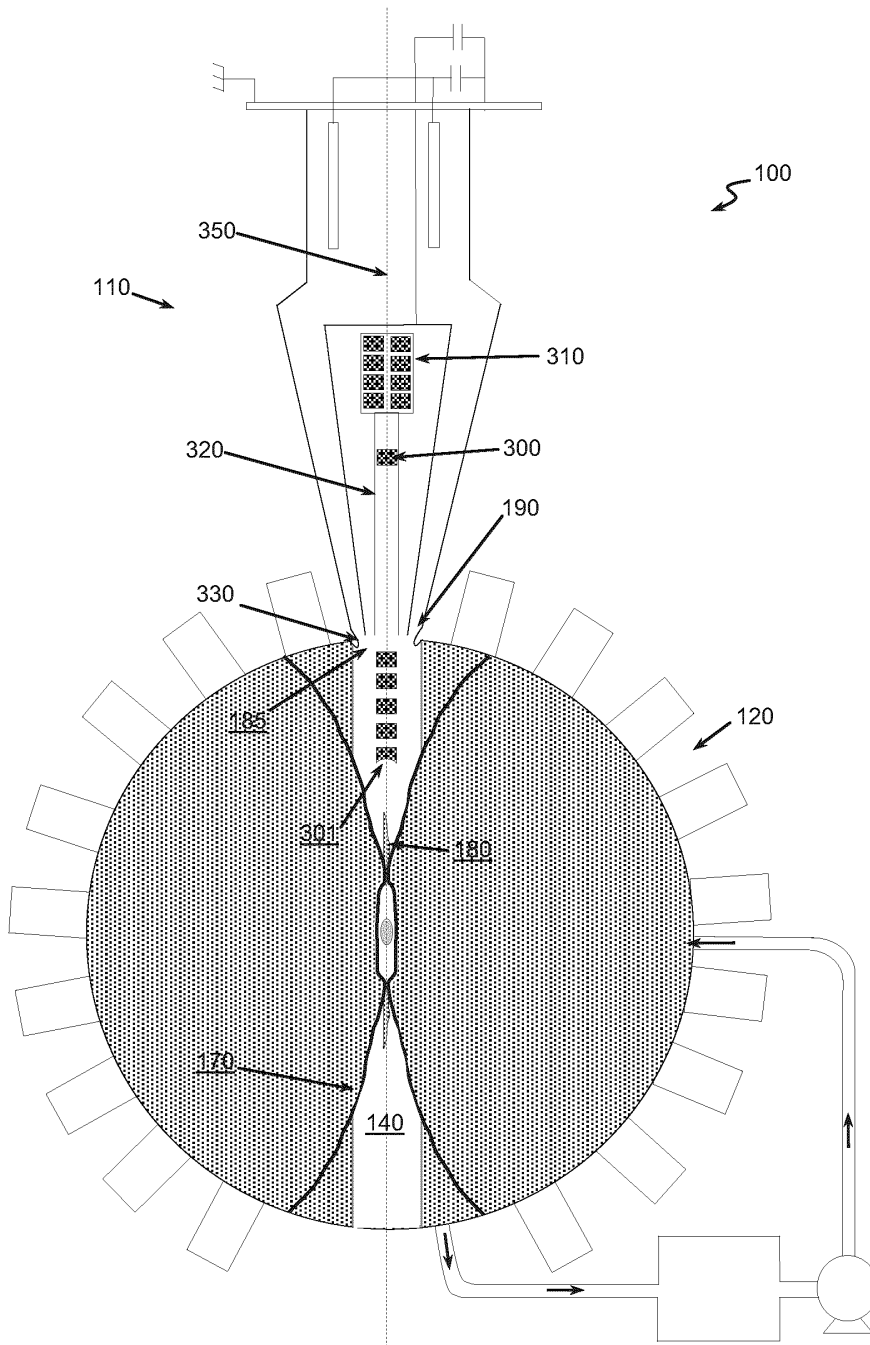
도면1b



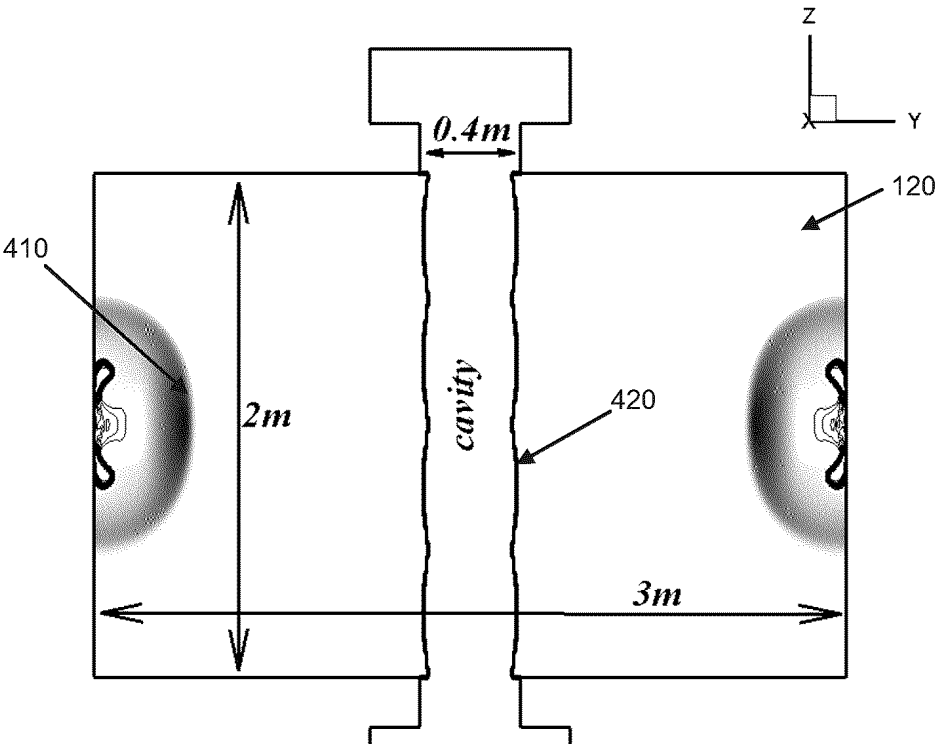
도면2



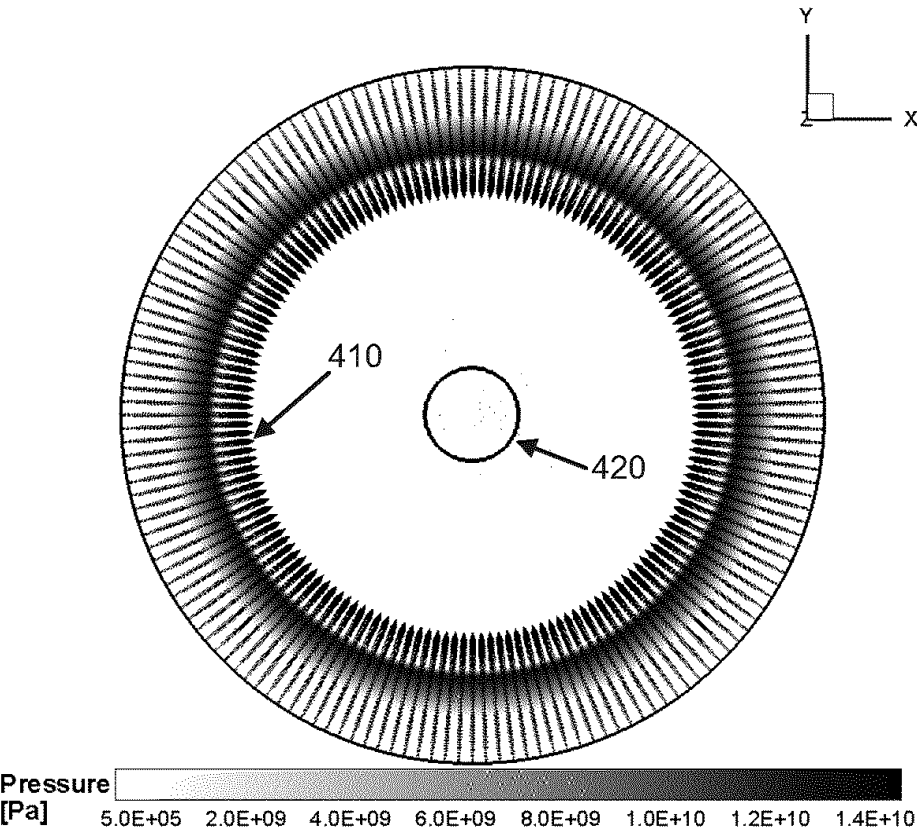
도면3



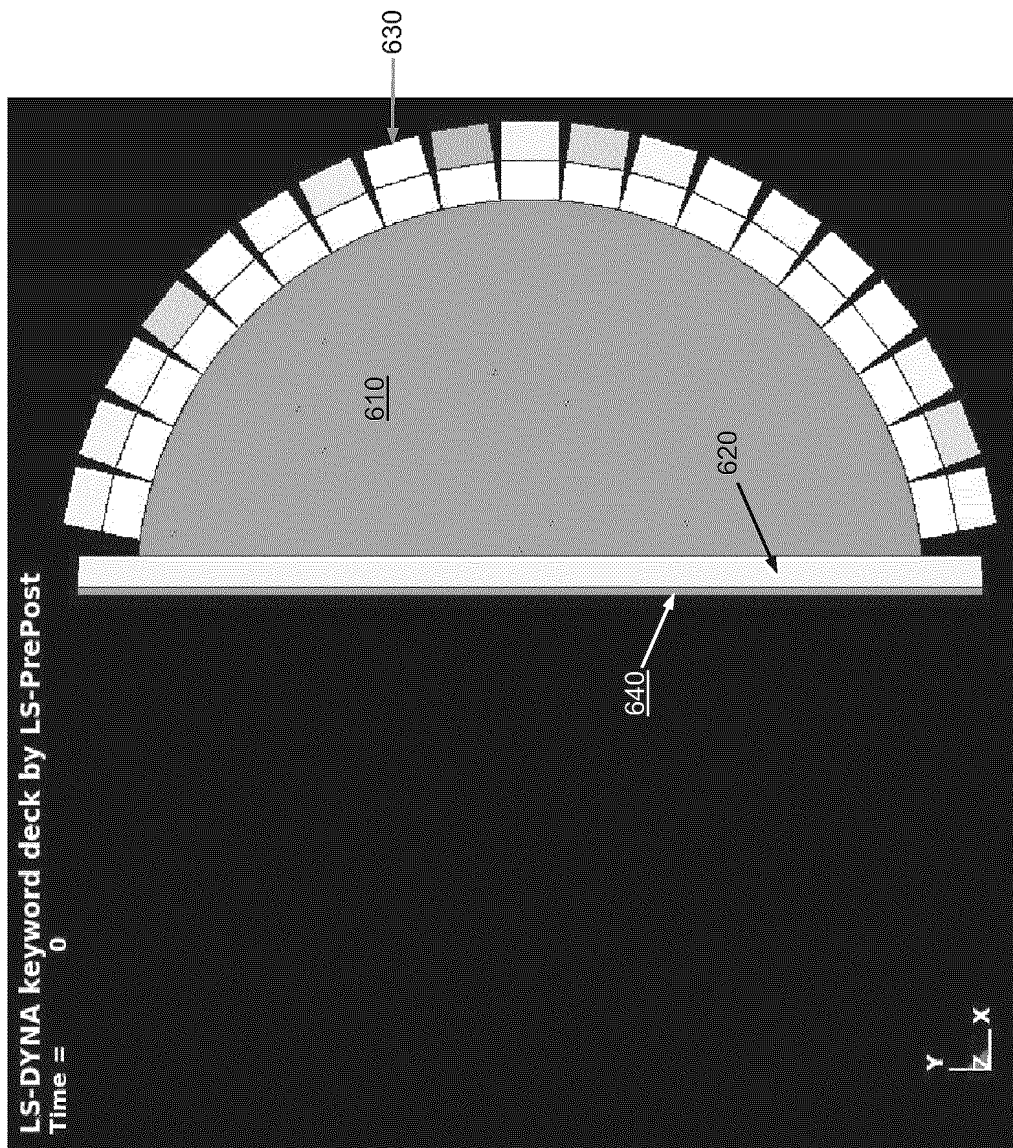
도면4



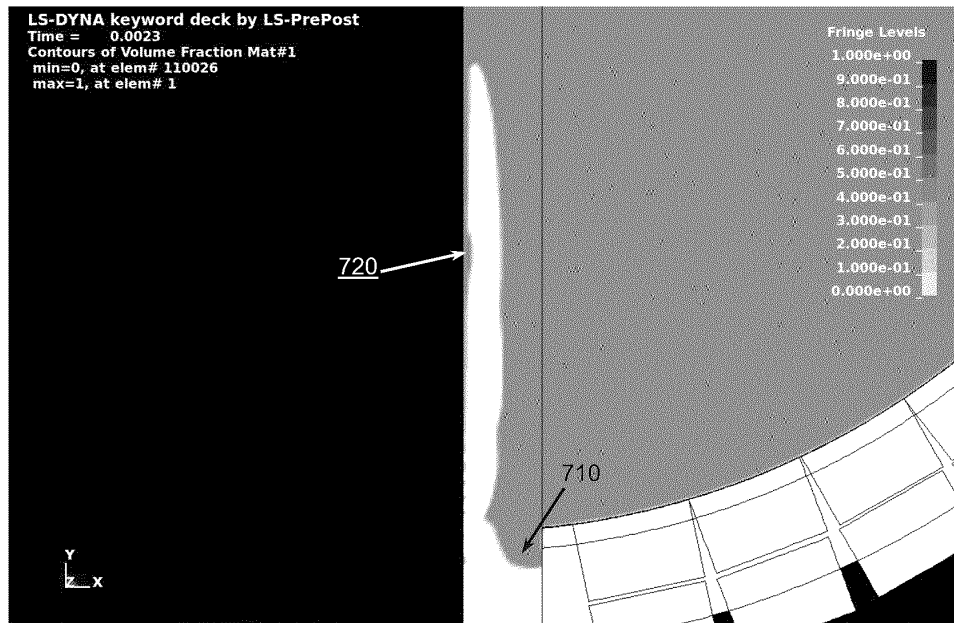
도면5



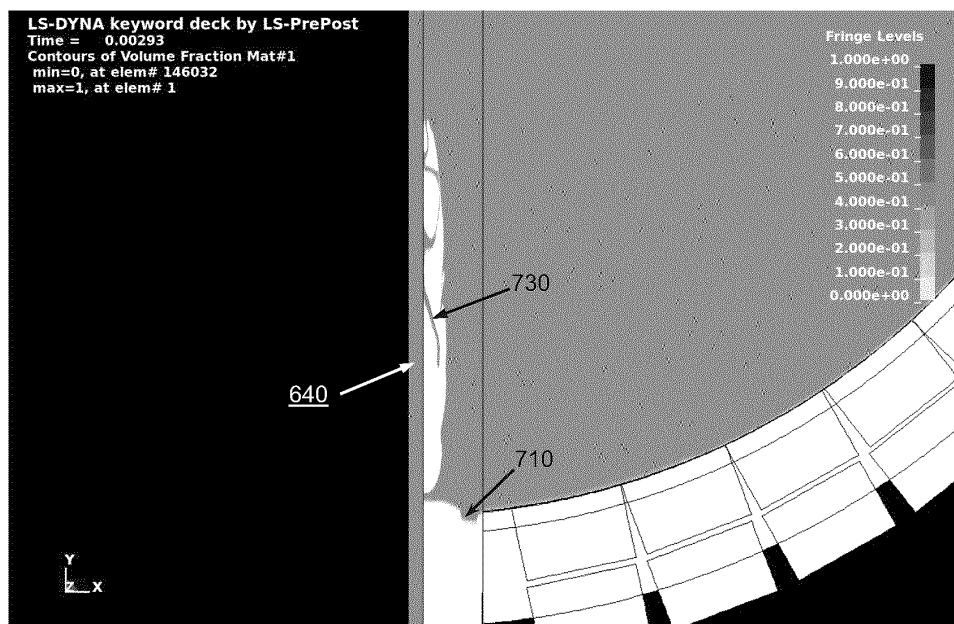
도면6



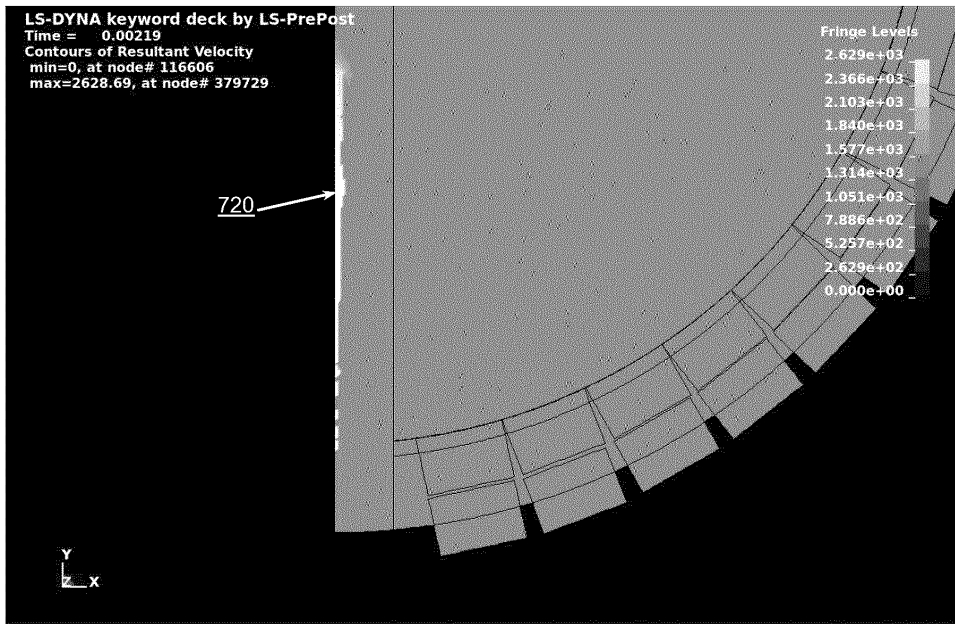
도면7a



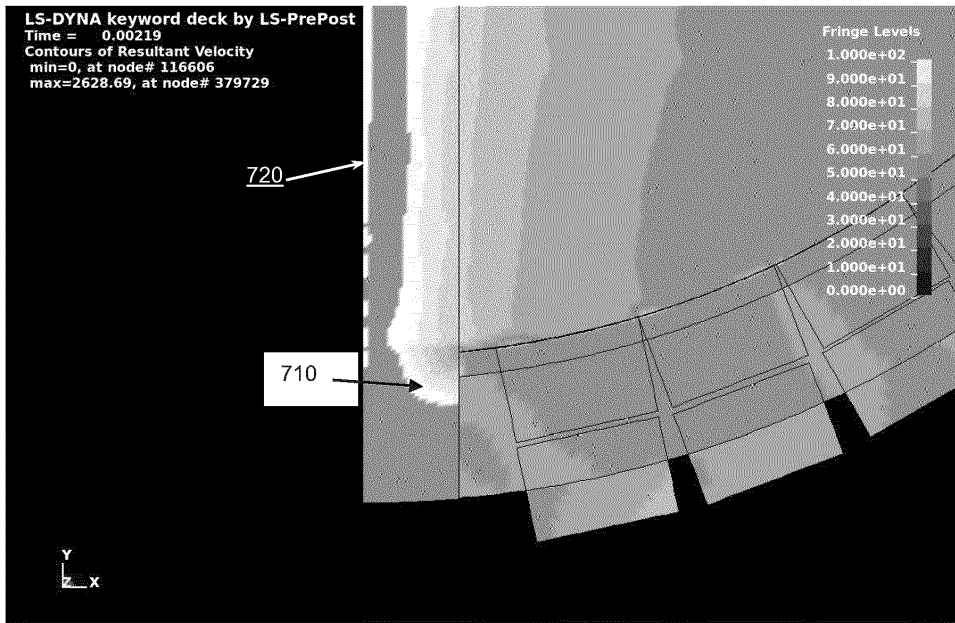
도면7b



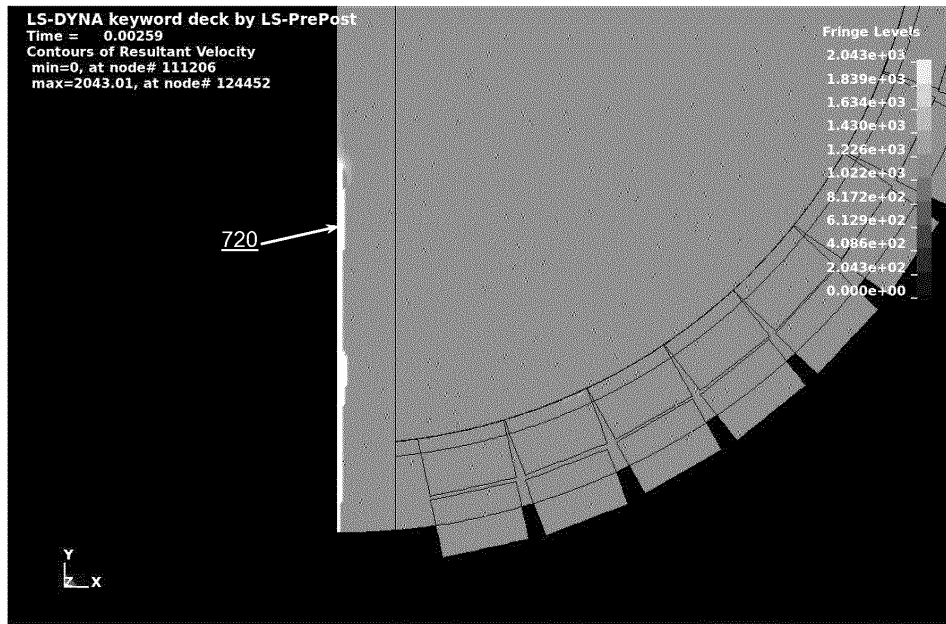
도면8a



도면8b



도면9a



도면9b

