(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월16일
(11) 등록번호 10-2067300
(24) 등록일자 2020년01월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H02K 7/18 (2006.01) *F02B 63/04* (2006.01)
F02B 71/04 (2006.01) *H02K 1/18* (2006.01)
H02K 15/02 (2006.01) *H02K 35/00* (2014.01)
H02K 5/04 (2014.01) *H02K 5/18* (2006.01)
H02K 5/20 (2006.01) *H02K 9/20* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7022725
(22) 출원일자(국제) 2013년01월18일
심사청구일자 2017년11월14일
(85) 번역문제출일자 2014년08월13일
(65) 공개번호 10-2014-0114877
(43) 공개일자 2014년09월29일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2013/050106
(87) 국제공개번호 WO 2013/108034
국제공개일자 2013년07월25일
(30) 우선권주장
1200889.2 2012년01월19일 영국(GB)
(56) 선행기술조사문헌
JP2003518358 A*
JP2009189185 A*
JP60155666 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
리버튼 에프피이 엘티디
영국 요크셔 와이오19 4에스큐, 요크, 크로키 힐, 웰드레이크 래인, 링크 홀
(72) 발명자
코커릴, 샘
영국, 요크셔 와이오19 4에스큐, 요크, 웰드레이크 래인, 링크홀
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

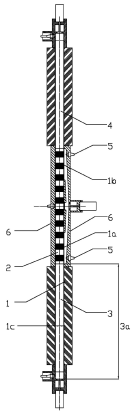
전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 심영도

(54) 발명의 명칭 **선형 전기 기계**

(57) 요 약

유동식 피스톤, 이것을 통해서 구멍으로 정의되고 동축에 구성되어 상기 구멍 안으로 상기 피스톤이 움직이도록 하는 적어도 하나의 자기 투과성 세그먼트를 포함하는 축 방향 분할 실린더, 상기 분할 실린더를 받아들이는 구멍을 갖는 실린더 하우징, 및 제자리에서 상기 분할 실린더를 고정하기 위한 수단들을 포함하는 선형 전기 기계. 이러한 배열은 개선된 피스톤 위치 제어, 보다 일관된 연소, 개선된 전기 변환 효율을 가진 자유 피스톤 엔진 선행의 구성을 허용한다.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

피스톤 샤프트를 따라서 동축으로 배치된 하나 이상의 요소들을 포함하는 유동식 피스톤,

이를 통한 구멍으로 정의되고 동축에 구성되어 상기 구멍 안으로 상기 피스톤이 움직이도록 하는 적어도 하나의 자기 투과성 세그먼트와 복수의 코일을 포함하는 축 방향 분할 실린더 고정자로서, 상기 자기 투과성 세그먼트는 상기 피스톤이 상기 구멍 내를 왕복 운동하도록 상기 동축에 구성되고, 상기 복수의 코일이 상기 피스톤에 근접하게 배치되어 상기 피스톤의 왕복 운동은 상기 코일 내에 자속의 변화를 일으키는, 축 방향 분할 실린더 고정자,

상기 분할 실린더 고정자를 받아들이는 구멍을 갖는 실린더 하우징, 및

상기 실린더 하우징 내에 축 방향으로 분할된 실린더형 고정자를 고정하기 위한 수단들을 포함하고,

상기 자기 투과성 세그먼트들 중 적어도 하나는 모든 방향에서 5.0×10^{-6} Ω·m 보다 큰 등방성 전기 저항률를 갖는 자기 투과성 복합 물질로 형성되는

선형 전기 기계.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 축방향 분할 실린더 고정자를 고정하기 위한 상기 수단들은 상기 실린더 하우징에 부착된 적어도 하나의 클램핑 플레이트를 포함하고, 사용 중에, 축 방향 압축은 상기 축 방향 분할 실린더에 적용이 가능한 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 실린더 구멍은 연강(mild steel)보다 높은 경도 값을 갖는 물질로 코팅되거나 또는 형성되는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 실린더 하우징은 균일한 단면을 갖는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 실린더 세크먼트들은 10GPa (10×10^{9} N/m^{2}) 미만의 탄성계수(elasticity modulus)를 갖는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 7

삭제

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 피스톤의 길이는 이의 최대 직경의 적어도 5배에 해당하는 선형 전기 기계.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 선형 전기 기계가 또한 스위칭 수단들을 포함하여, 이에 의해 상기 코일들에 적용되는 상기 자속은 적어도 100 Hz의 주파수에서 변화될 수 있는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서,

냉각제 및/또는 윤활 액체가 상기 피스톤 표면 쪽으로 직접 분사되는 액체 분사 수단들을 갖는 자유 피스톤 엔진 내에 배치된 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 상기 피스톤 요소들은 비-자화(non-magnetising) 물질로 형성되고, 각 요소들이 고정되어 이웃한 요소들 사이에 컨택트가 유지되는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 14

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 피스톤의 한 말단 또는 양 말단에 제공된 피스톤 크라운을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 피스톤 크라운은 세라믹인 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 피스톤 크라운은 오목한 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 피스톤 크라운의 노출된 면은 상기 피스톤의 단면적의 적어도 2배이고,

상기 노출된 면의 물질은 연소 챔버 내용물들의 산화를 촉진하는 촉매로 작용하는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 피스톤 샤프트는 속이 비어 있는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 피스톤 샤프트 상에 동축으로 배치된 요소들은 동일한 외경을 갖는 고리형 링으로 형성된 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계.

청구항 20

축 방향 분할 실린더형 고정자의 내부 구멍을 연마하거나 또는 그렇지 않으면 그 자리에 축 방향 분할 실린더가 고정된 후 마감하는 것을 특징으로 하는 청구항 1 또는 2에 따른 선형 전기 기계의 제조 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 축 방향 분할 실린더가, 상기 실린더 하우징에 축 방향 인장 하중이 적용되어 만들어진 축 방향 압축 하중 하에서 제자리에 고정되는 것을 특징으로 하는 선형 전기 기계의 제조 방법.

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 선형 전기 기계 및 특히 자유 피스톤 엔진 발전기에 대한 선형 전기 발전기에 대한 것이다.

발명의 내용

[0002] 보통의 연소 엔진에서, 피스톤은 실린더 내부의 피스톤의 왕복 선형 운동 결과 회전 구동되는, 크랭크축에 연결되어 있어 실린더 내부에서 기계적으로 제한된다. 그러나, 프리 피스톤 엔진에서는, 비록 미국특허공보 US-A-7383796에 교시된 바와 같이 외부 기계적 결합을 포함하는 이러한 종류의 엔진 내부에 피스톤이 제공될 수도 있을지라도, 피스톤은 크랭크축에 연결되지 않는다.

[0003] 더욱이, 미국특허공보 US-A-7318506의 예와 같이, 자속 변화를 발생시키기 위하여 하나 이상의 전기 코일을 통하여 자유 피스톤 엔진 내에서 왕복하는 피스톤의 운동에 의해 전력이 발생될 수 있다는 것이 알려져 있다. 이러한 배치에서 피스톤은 제1 코일을 지지하고 실린더 내부에서 왕복 운동하여 실린더를 둘러싸는 제2 코일 내에 전류를 발생시킨다. 그러나, 피스톤은 자기적으로 투과할 수 있는 단단한 물질로 제작되고 실린더 길이에 비하여 항상 매우 짧아 제2 코일을 통과하여 자속 변화를 유도할 수 있다.

[0004] 종래의 프리 피스톤 엔진에서, 피스톤의 길이는 전형적으로 연소 챔버의 실린더 내경 지름의 5배 미만이다. 프리 피스톤 엔진 내 전기 기기의 파워 출력(power output)은 에어 갭 면적(area)에 의해 결정되고, 또한 직경 및 배기량에 의해 결정되는, 주어진 연소 챔버 구조에 대해 충분한 에어 갭 면적을 확보하기 위하여, 전기 기기의 직경은 일반적으로 연소 챔버의 직경보다 크다. 직경에서 이러한 변화는 각 연소 챔버를 밀폐시키고, 이러한 것들을 서로 및 개재된 전기 기기의 축과 동축으로 확실히 배열시키기 위하여 복잡하고 고가의 기계적 해결책을 필요로 한다.

[0005] 프리 피스톤 엔진 발전기에 대한 3가지 근본적인 디자인 도전은 다음과 같다:

[0006] - 첫째로, 엔진의 연소 파워 출력에 적절한 크기를 갖는, 전기 기기에서 높은 전기적 효율을 달성

[0007] - 둘째로, 연소 프로세스 효율 및 완성도가 보장될 수 있도록 양호한 피스톤 운동 제어 및 연소 챔버 디자인 달성

[0008] - 셋째로, 가능한 최저 비용으로 처음 2가지 도전을 해결

[0009] 본 발명은 함께 고효율 연소 프로세스를 제공하고, 연소 파워 출력의 고효율 전력 변환을 가능케 하며, 더욱 일정한 연소 프로세스 제어를 위해 낮은 피스톤 질량(mass)에 작용하는 높은 전기 기기 제어력을 제공하는, 피스톤, 연소 챔버 및 전기 기기의 디자인에 관련된 특징들의 유리한 조합을 제공하고, 피스톤 내 고가의 희토류 자성 재료의 사용 및 엔진 내 전력 발생 장치와 연소 사이의 복잡한 디자인 인터페이스를 억제한다. 따라서 본 발명은 각각의 특징적인 디자인 도전을 다룬다.

[0010] 본 발명에 따르면, 유동식 피스톤, 이것을 통해서 구멍으로 정의되고 동축에 구성되어 상기 구멍 안으로 상기 피스톤이 움직이도록 하는 적어도 하나의 자기 투과성 세그먼트를 포함하는 축 방향 분할 실린더, 상기 분할 실린더를 받아들이는 구멍을 갖는 실린더 하우징, 및 제자리에서 상기 분할 실린더를 고정하기 위한 수단들을 포함하는 선형 전기 기계가 제공된다.

[0011] 바람직하게는 하나 또는 그 이상의 축 방향 세그먼트들이 등방성 자기 투과성 물질, 예로서 모든 방향에서 5.0 x 10^{-6} Ω·m 보다 큰 등방성 전기 저항률을 갖는 소프트 자기 혼합물(SMC)로 형성된다.

[0012] 바람직하게는, 상기 실린더형 고정자는 클램핑, 접착 본딩, 죔쇠 끼워맞춤(interference fitting) 또는 다른 고정 수단들에 의해 실린더 하우징 내에 고정된다. 상기 실린더 하우징은 실린더형 고정자에 대한 구조적 지지(structural support) 및 냉각 수단들을 제공하고, 고정자의 외부 직경과 비슷한 차원의 내부 구멍을 가짐으로써 상기 실린더 하우징은 또한 상기 실린더형 고정자의 분할 요소들의 동축 얼라이먼트를 제공한다.

[0013] 바람직하게는, 상기 실린더 하우징 내에 고정된 고정자 요소들의 적어도 하나는 10GPa (10 x 10^{9} N/m^{2}) 보다 크지 않은 적은 영률을 가짐으로써 실린더형 고정자 요소의 외각 직경과 실린더 하우징 구멍 사이의 간격은 축 방

향 클램프 하중의 작용하에 고정자 요소의 반경 방향 확장에 의해 감소된다.

[0014] 바람직하게는, 상기 실린더 하우징은 그 길이의 적어도 일부에 따라 및 일반적으로 그 길이의 세배에 따라 균일한 단면적을 가짐으로써, 냉각 채널들 및 냉각 핀 기능이 실린더 하우징의 내부의 실린더형 고정자 요소들로부터 열전달을 증가시키기 위해 설치될 수 있다.

[0015] 바람직하게는, 각 분할 고정자 요소의 상기 실린더형 내부 구멍은 하드 웨어링 물질(hard wearing material), 예로서 실리콘 나이트라이드, 실리콘 카바이드 또는 다른 세라믹 또는 비슷한 하드 물질로 코팅됨으로써, 이것은 연마될 수 있거나 또는 그렇지 않으면 상기 분할 고정자 요소들이 다른 수단들 또는 클램핑에 의해 실린더 하우징 내부 소정 위치에 고정되면 마감될 수 있다.

[0016] 선형 전기 기계의 피스톤 피스톤 변환기는 바람직하게는, 피스톤 샤프트를 따라 배치되고 클램핑 또는 다른 수단들에 의해 고정되는, 등방성 투자율(magnetic permeability) 및 전기 저항성을 갖는, 하나 또는 그 이상의 자속 투과성 요소들을 포함함으로써, 피스톤 길이의 최소 5배 직경인 것을 특징으로 하는, 이웃하는 요소들 사이에 컨택트가 유지된다.

[0017] 피스톤 직경에 대한 피스톤 길이의 이러한 비율은 연소 챔버의 파워 출력과 길쭉한 피스톤의 원통면과 동일한 면적을 갖는 에어 갭의 출력 용량 사이의 더 우수한 조화를 제공한다. 그 결과, 에어 갭과 연소 챔버 직경은 동일할 수 있고 피스톤의 마주보는 단부에서 연소 챔버 사이에 직경 변화는 요구되지 않는다. 그 결과, 이러한 피스톤으로 인해 종래 형태의 프리 피스톤 엔진에 비해 저가로 프리 피스톤 엔진을 제작할 수 있게 된다.

[0018] 더욱이, 본 발명은 피스톤이 왕복 운동하는 실린더를 따라 이격된 복수의 코일을 갖는, 엔진 발전기에서 특히 효과적인 피스톤을 제공하고, 또한 그것의 코일은 환상형 플럭스 회로가 피스톤의 운동 방향과 동축인 축방향 플럭스 전기 기기 토폴로지(topology)를 제공한다. 피스톤 요소의 등방성 도자율(isotropic magnetic permeability) 및 전기 비저항은 피스톤 내 최소 와전류 손실을 갖는 이러한 축방향 플럭스 토폴로지를 가능하게 하고, 다른 프리 피스톤 엔진 전기 기기 개념보다 더 높은 효율 및 제어력을 제공한다. 더욱이, 이러한 축방향 자속 구성 내에서 이동하는 피스톤 질량은 등가의 횡방향 플럭스 구성에서 가능한 것보다 더 작아, 코일에 의해 가해지는 전자기력의 제어 권한을 개선하고, 또한 횡방향 플럭스 구성과 비교하여 개선된 피스톤 동작 제어를 가능케 한다.

[0019] 바람직하게는, 연소 결과로부터 코어 및 스페이서 요소를 보호하기 위하여 피스톤 크라운(crown)이 피스톤의 각 끝 단에 제공된다. 대안적으로 각 피스톤은 연소 챔버를 대면하는 단독 피스톤 크라운(crown)을 가질 수도 있고, 피스톤의 반대편 단부는 각 폭발 행정의 끝에서 피스톤 방향을 반전하도록 하는 바운스 챔버(bounce chamber)를 향한다. 대안적으로 각 피스톤은 완벽하게 균형된 엔진 유닛을 달성하기 위해 서로 반대-위상(counter-phase)으로 이동하는 2개의 반대되는 피스톤 사이에 중앙 연소 챔버를 대면하는 단독의 피스톤 크라운(piston crown)을 가질 수 있다.

[0020] 바람직하게는, 피스톤 크라운은 세라믹 또는 티타늄과 같은 가볍고, 온도에 강하고, 및 절연성인 물질로 제조되고, 및/또는 상사점(top dead centre)에서 열 손실을 낮추기 위하여 오목한 표면을 갖는다. 바람직하게는 피스톤 크라운은 연소 챔버 내에서 연소의 일관성 및 완결성을 증가시키는 산화 촉매 물질로 코팅되거나 또는 제조된다. 바람직하게는 피스톤 크라운의 노출된 표면 면적은 피스톤 단면적의 적어도 2배여서, 연소 촉매의 효율을 증가시킨다.

[0021] 바람직하게는 피스톤 샤프트는 피스톤 질량을 감소시키기 위하여 중공형이고, 피스톤 샤프트에 동축으로 마련된 자기적으로 투과할 수 있는 요소 또는 요소들은 동일한 외경을 갖는 환상형 링으로 형성된다. 바람직하게는, 실린더의 원주면의 부분은 마찰 감소 및 내마모성 물질로 코팅된다.

도면의 간단한 설명

[0022] 본 발명의 실시예는 동반된 도면을 참조하여 여기에서 설명된다:

도 1은 본 발명의 실시예에 따르는 피스톤을 갖는 프리 피스톤 엔진 발전기를 통한 종단면을 나타내며, 피스톤은 양 단부에 피스톤 크라운을 갖는다;

도 2는 도 1의 피스톤을 통한 종단면으로, 중공형 피스톤 샤프트에 동축으로 마련된 구성 요소들로부터의 구조를 나타낸다;

도 3은 피스톤을 통한 수직 단면으로, 샤프트 및 원형 요소의 동심 배치를 나타낸다;

도 4는 피스톤의 대안적인 실시예를 통한 종단면으로, 오직 하나의 단부에 피스톤 크라운을 갖는다;

도 5는 본 발명에 따르는 코일 및 피스톤 운동에 의해 발생되는 스위치드 고정자 요소 내의 자속을 나타내는 도 1의 피스톤 및 실린더의 단면도이다;

도 6은 매우 근접하게 마련된 피스톤 내의 선형 발전기 고정자 및 자속 투과 가능한 구성요소를 나타내는 피스톤 및 실린더를 통한 수직 단면도이다;

도 7은 흡기 조성 배기 소기 단계(intake charge displacement scavenging phase) 동안 흡기 밸브, 흡기 슬라이드 포트 밸브 개구 및 연료 인젝터 배치의 더욱 세부적인 종단면이다;

도 8은 배기 단계 동안 배기 밸브 및 엑추에이터(actuator)를 포함하는 배기 수단의 더욱 세부적인 종단면이다;

도 9는 완전한 엔진 사이클 동안 실린더 내부의 변화하는 피스톤 위치, 및 이 기간 동안 엔진 사이클 이벤트(event)의 타이밍을 나타내는 시간-위치 곡선(plot)이다;

도 10은 완전한 엔진 사이클 동안 전형적인 실린더 압력 곡선을 나타내는 압력-체적 곡선이다;

도 11은 상사점에서, 압축 단계의 끝에서 및 대략 스파크 점화와 제1 챔버 내 연소 이벤트의 개시 시기에서 실린더의 개략적인 종단면이다;

도 12는 제1 챔버의 팽창기를 지나는 동안 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 13은 팽창 단계의 끝에서, 그러나 흡입 및 배기 밸브가 개방되기 이전의 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 14는 제1 챔버를 조성하기 위하여 흡기 밸브의 개방을 뒤따르는 실린더를 통한 개략적인 종단면으로, 흡기 조성 유체 압력으로 제1 챔버 내 더 낮은 실린더 압력을 같게 한다;

도 15는 배기 밸브의 개방을 뒤따르고, 흡기 밸브가 개방된 채로, 제1 챔버를 소기하는 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 16은 흡기 밸브를 잠근 후 제1 챔버로 연료 주입 동안 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 17은 피스톤 외부 표면으로 윤활유 및/또는 냉각제 도포 동안 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 18은 배기 밸브가 개방된 동안, 피스톤 배기량(displacement)에 의해 제1 챔버로부터 배기 가스의 계속적인 방출이 이루어지도록 흡기 밸브 및 슬라이딩 포트 밸브(sliding port valve)가 잠긴 이후, 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 19는 제1 챔버 내 압축 단계를 지나는 동안 실린더를 통한 개략적인 종단면이다;

도 20은 두 개의 클램핑 플레이트 수단에 의해 실린더 하우징 내에 고정된 실린더 어셈블리로 구성된 자유 피스톤 엔진을 통한 개략적인 종단면도이고;

도 21은 실린더 하우징 부분에 내장 냉각 기능을 나타내는, 실린더 하우징 내에 고정된 실린더 어셈블리로 구성되는 자유 피스톤 엔진을 통한 개략적인 수직 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 도 1은 단일 실린더 내에 제공된 자유 피스톤 전기 발전 시스템에 관한 본 발명의 일 예를 나타낸다. 이것은 피스톤(2) 실린더의 길이에 따라 자유롭게 이동하는 것을 알 수 있고, 피스톤은 실린더 구멍(1c)를 갖는 동축 얼라인먼트에 구속되고, 이에 따라 효과적으로 제1연소 챔버(3) 및 제2연소 챔버(4)로 실린더 부피를 나누고, 각 챔버는 실린더 내의 피스톤(2)의 위치에 대해 가변적이다. 피스톤(2)의 일부분은 실린더 구멍(1c)의 밖으로 확장하지 않는다. 예시와 같이 제1챔버(3)의 사용으로, 각 챔버들(3, 4)은 높이(3a)에 가변적이고 및 실린더 구멍(1c)의 직경에 따라 고정된 직경을 갖는다. 흡기 수단들(6) 및 분할된 실린더형 고정자들(9)의 내부 구멍 면은 각각, 예로서, 하드 웨어링 층으로 코팅된다. 이러한 요소들 상에 내부 구멍 코팅을 함께는 인접한 실린더 구멍 표면층(1)을 형성한다. 실린더의 내부면 상에 얇은 표면 층(1) 형상이 도시되어 있으나, 본 발명은 또한 실린더의 내부 표면 층(1)이 하드 웨어링 층에 의한 것이 아니라, 자화 및 비-자화하는 물질 그 자체의 축 방향 세그먼트들에 의해 제공되는 것을 커버한다.

[0024] 실린더 보어(1c)는 바람직하게, 그 축에 대해 회전 대칭적이고 그 축에 수직인 중심 면에 대해 대칭이다. 비록, 예를 들어 정사각형 또는 직사각형 단면 피스톤을 갖는, 다른 기하학적 모양이 본 발명을 실시하는데 잠재적으로 사용될 수 있을지라도, 원형 단면 피스톤을 갖는 배치가 바람직하다. 실린더 보어(1c)는 그 길이를 따라서 그리고 바람직하게는 중심 위치에서, 단부들로 멀어지게, 제공되는 일련의 개구(1a, 1b)를 갖는다. 피스톤(2)의 동작을 통하여, 상응하는 개구(6a)에 배열되는 개구(1a, 1b)는 슬라이딩 포트 흡기 밸브를 형성하고, 아래에 자세히 설명되는 바와 같이, 이는 실린더 보어(1c)의 적어도 일 부분 주위에 제공되는 에어 흡기구(6b)와 함께 작동하도록 마련된다.

[0025] 도 2는 외부 표면(2a)를 갖고 일련의 원통형 구성 요소가 마운트되는 중심 샤프트(2c)를 포함하는 피스톤(2)을 나타낸다. 이러한 원통형 구성 요소는 중심 샤프트(2c)의 각 단부에 피스톤 크라운(crown)(2d)을 포함할 수도 있으며, 각 피스톤 크라운(2d)은 바람직하게는 세라믹과 같이 온도에 강하고 절연성인 물질로 제조된다. 피스톤 크라운 단부 표면(2b)은 바람직하게, 약간 오목하여, 상사점에서 제1 및 제2 챔버(3, 4)의 표면적 대 체적 비율을 감소시킴으로써 이로 인해 열 손실을 낮춘다. 대안적으로, 피스톤 크라운(2d)은 연소의 완결성을 보장하기 위하여 산화 촉매로 작용하는 물질로 코팅되거나 형성될 수도 있고 이러한 경우에 있어 피스톤 크라운(2b)의 노출된 단부 표면은 피스톤의 단면적보다 실질적으로 더 넓은 면적을 가져, 연소 챔버 체적 내용물(contents)에 촉매 표면 작용이 강화된다. 물론, 만일 실린더가 다른 형상인 경우에도 이러한 구성 요소들의 구성은 그에 맞춰 적용될 수 있다.

[0026] 피스톤 외부 표면(2a)의 부분은 마찰 감소 및 내마모성 물질로 코팅될 수도 있다. 피스톤 크라운(2d)은 엔진 작동 중 실린더 구멍(1c)의 윤활 습윤 정도를 조절하기 위하여 윤활 제어 기구(2e)를 포함할 수도 있다. 이러한 윤활 제어 기구는 일반적인 내연 엔진에서 흔히 사용되는 것과 같은 홈 및 오일 제어 링을 포함할 수 있다.

[0027] 하나 이상의 자기적으로 투과할 수 있는 코어 요소(2f)가 피스톤 샤프트(2c)에 마운트된다. 각 코어 요소(2f)는 엔진 작동 중 와전류 손실을 감소시키기 위하여 등방성 도자율(isotropic magnetic permeability) 및 등방성 전기 비저항을 갖는 자기적으로 투과할 수 있는 물질로 제조된다.

[0028] 스페이서 요소(2g)는 또한 피스톤 샤프트(2c)에 마운트된다. 각 스페이서 요소(2g)는 이상적으로 낮은 도자율을 가지며 바람직하게는 알루미늄 합금 또는 세라믹과 같은 가벼운 물질로 제조된다.

[0029] 바람직하게 자기적으로 투과할 수 있는 코어 요소는 등방성 전기 비저항이 전기 강판(electrical steel)의 등방성 전기 비저항보다 2배 이상 크고 모든 방향에서 5.0×10^{-6} Ω·m 보다 큰 연자성 합성물(Soft Magnetic Composite; SMC)과 같은 전기가 통할 수 있는 복합 재료로 제조된다. 이러한 등방성 특징은 유도된 와전류의 결과로써 높은 철손을 발생시키는 이러한 자속 회로가 없이, 도 5 및 아래에 설명되는 바와 같은 비-평면 자속 회로의 사용을 가능하게 한다. 이러한 와전류는 상당한 전기적 손실을 발생시킬 수 있어 라미레이션(lamination) 면 내 전기 비저항은 일반적으로 매우 낮기 때문에 통상의 강판 라미레이션을 이용하여 이러한 비-평면 자기 회로 토폴로지가 적용된다.

[0030] 자기적으로 투과할 수 있는 코어 요소(2f) 및 비-투과 스페이서 요소(2g)의 디자인은 예를 들어 피스톤이 왕복운동하는 실린더의 길이를 따라 이격된 복수의 코일과 같은 선형 발전기 수단 및 이동하는 피스톤(2)을 포함하는 선형 스위치드 릴럭턴스(switched reluctance) 또는 스위치드 플럭스(linear switched flux) 전기 발전기의 부분과 같은 예에서의 효율적인 동작을 위하여 올바른 피치에 코어 요소(2f)를 위치시킨다.

[0031] 피스톤의 전체 길이는, 바람직하게는, 그 직경의 적어도 5배이고 어느 경우에서는 적어도 슬라이딩 포트 밸브를 완벽히 잠그기에 충분한 길이여서 어느 때에도 흡기 채널(6h)은 연소 챔버(3, 4)가 서로 연결되도록 하지 않는다.

[0032] 피스톤 샤프트 단부(2h)는 기계적으로 변형되거나 그렇지 않으면 피스톤 크라운(2d)에 고정되어 피스톤 샤프트(2c)에 마운트된 요소(2f, 2g)는 피스톤 샤프트(2c) 내에서 유지되는 장력(tension)의 작용 하에 단단히 유지된다.

[0033] 도 3은 코어 요소(2f)를 통과하는 피스톤 샤프트(2c)를 나타내는, 피스톤(2)의 단면도이다.

[0034] 도 4는 피스톤(2)이 오직 한쪽 단부에 피스톤 크라운(2d)을 갖고, 타 단부는 가벼운 피스톤 샤프트 캡 요소(2i)로 밀폐되는, 본 발명의 대안적인 실시예를 나타낸다. 이 실시예는 대향 피스톤 프리 피스톤 엔진, 또는 각 실린더가 일 단부에서 하나의 연소 챔버를 갖고 타 단부는 각 폭발 행정의 끝에서 피스톤의 방향을 반전시키는 것을 돕는 바운스 챔버를 갖는 프리 피스톤 엔진에 사용되기 적합하다.

[0035] 도 5는 자기 투과성 고정자 요소들(9c) 및 코일들(9a)을 갖는 축 방향으로 분할된 실린더형 고정자(9)를 포함하는 선형 전기 기계의 예시를 보여준다. 상기 분할된 실린더형 고정자(9)는 피스톤(2)이 내부에서 움직일 수 있는 통상의 실린더 구멍(1c)을 제공하도록 구성된다. 이러한 배열은 피스톤(2)과 전기 출력 수단(9e) 사이의 에너지의 전달을 용이하게 하고, 피스톤의 위치와 움직임을 제어하기 위한 힘을 제공한다. 분할된 실린더형 고정자(9)는 다수의 코일(9a)과 그 길이를 따라 분포하는 다수의 고정자 요소들(9c)을 포함한다.

[0036] 분할 실린더형 고정자(9)는 예를 들어 선형 스위치드 릴럭턴스 발전기(linear switched reluctance generator) 또는 선형 스위치드 플럭스 발전기(linear switched flux generator) 기기와 같은, 다수의 다양한 전기 기기 형태로서 피스톤(20)과 인접하여 작동하도록 구성될 수 있다. 나타낸 배치에서, 고정자(9c) 및 피스톤 코어 요소(2f) 내에 자기장을 유도하기 위하여 코일(9a)이 스위칭 디바이스(9b)에 의해 스위칭 된다. 이 실시예에서, 스위칭 디바이스(9b)는 적어도 100 Hz의 주파수로 코일(9a) 내 전류를 변동시킨다. 이 스위칭은 피스톤의 운동에 관련하여 정밀하게 타이밍이 맞춰져서 피스톤의 운동은 코일 내 전류에 의해 발생되는 플럭스를 끊고, 피스톤에 힘을 인가하고 피스톤으로부터의 운동에너지를 코일 내 전력으로 변환시킨다.

[0037] 도 5에 나타난 배치에서, 환상형 자속 회로 T1-T4가 코일(9a) 내 스위치드 전류의 작용 하에 피스톤 코어 요소(2f) 및 고정자(9c) 내에 생성된다. 선형 발전기 수단(9)은 선형 스위치드 릴럭턴스 디바이스, 또는 선형 스위치드 플럭스 디바이스로써 기능한다. 피스톤(2)의 동작에 의해 끊기고 그로 인해 코일(9a) 내 전류를 유도하는 자속 회로 T1-T4의 결과로써 전기 출력 수단(9e)에서 전력이 발생된다. 자속 회로의 환상형 토폴로지는 특별히 높은 플럭스 밀도 및 자기적으로 투과할 수 있는 요소(2f)의 단위 질량 당 플럭스 끊김 비율을 제공하여, 이로 인해 피스톤 각 단위 질량에 작용하는 제어력을 증가시키게 되어 피스톤의 위치 및 운동에 대한 전기 기기의 제어 권한을 개선시킨다. 게다가, 이러한 배치는, 내연 엔진 내부의 고온 조건에서 자성을 잃을 수도 있고, 그렇지 않으면 고가의 희토류 금속을 사용하므로 엔진에 매우 높은 비용을 부가시킬 수 있는, 피스톤 내 영구 자석을 사용하지 않고 고효율의 전기 발생을 가능케 한다.

[0038] 부가적으로, 아래에 기술된 바와 같이, 여러 가지의 다양한 제어 수단을 포함하는, 제어 모듈(9d)이 사용될 수도 있다. 압축 비와 비율, 팽창 비와 비율, 및 각 챔버(3, 4)의 상사점에서 피스톤 드웰 시간(piston dwell time)을 포함하며, 피스톤(2)의 소망하는 동작 특성을 만족시키면서 최대 전기 출력을 전하기 위하여 피스톤(2)과 전기 출력 수단(9e) 사이에 에너지 전달의 소망하는 비율을 달성하도록 다양한 제어 수단이 제공된다.

[0039] 밸브 제어 수단은 흡기 밸브(6c) 및 배기 밸브(7b)를 제어하기 위하여 사용될 수도 있다. 배기 밸브(7b)의 잠금을 조절함으로써, 밸브 제어 수단은 압축 단계의 시작을 제어할 수 있다. 유사한 방식으로, 배기 가스 재순환(exhaust gas recirculation; EGR), 흡기 조성 및 압축 비율을 제어하기 위하여 또한 밸브 제어 수단이 사용될 수 있다.

[0040] 전기 기기의 종류에 적합한 압축 비율 제어 수단이 또한 사용될 수도 있다. 예를 들어, 스위치드 릴럭턴스 기기의 경우에, 스위치드 코일(9a)에 인가되는 위상(phase), 주파수 및 전류를 변경시키는 것에 의해 압축 비율 제어가 부분적으로 달성된다. 이것은 유도된 횡방향 플럭스가 피스톤(2)의 동작에 의해 끊기는 비율 변화시키고, 그러므로 피스톤(2)에 인가되는 힘을 변화시킨다. 따라서, 배기 밸브(7b) 잠금 순간 및 피스톤(2)의 그 다음의 감속 동안 모두에서 피스톤의 운동 에너지를 제어하기 위하여 코일(9a)이 사용될 수 있다.

[0041] 아래와 같은, 엔진 배기 가스에 이러한 잔류 가변성(residual variability)의 불리한 영향 및 효율을 확실히 최소화시키도록 압축 비율 내 어떤 잔여 사이클에서 사이클의(cycle-to-cycle) 가변성에 응답하도록 스파크 점화 타이밍 제어 수단이 또한 사용될 수도 있다. 일반적으로, 각 압축 단계의 끝에서 예상되는 압축 비율은 목표 압축 비율과, 마주보는 연소 챔버(3, 4) 내에서 발생되는 연소 이벤트 및 제어 시스템 특성과 같은, 시스템 가변성에 관련되는 에러를 합한 것이다. 스파크 점화 타이밍 제어 수단은 각 압축 단계의 끝에서 예상되는 압축 비율에 대해 연소 이벤트를 최적화하기 위하여 접근하는 피스톤(2)의 측정된 속도 및 가속에 대응하여 스파크 점화 이벤트의 타이밍을 조절할 수도 있다.

[0042] 일반적으로 목표 압축 비율은 사용된 연료(5a)에 의존하는 상수일 수 있다. 그러나, 압축 비율 에러는 상사점에서 최종 연소 챔버 높이의 어떤 변이로부터 얻어질 수도 있다. 그러므로 만약 +/- 20%의 챔버 높이 변화가 발생되고, 및 목표 압축 비율이 12:1 이라면, 실제 압축 비율은 10:1 내지 15:1의 범위 내에 있을 수도 있다. 스파크 점화 타이밍 제어 수단에 의한 스파크 점화 이벤트의 선행 또는 지연은 따라서 이러한 에러의 유해한 배기 및 효율 영향을 감소시킬 것이다.

[0043] 게다가, 연료(5a)의 주입 타이밍을 제어하기 위하여 연료 주입 제어 수단이 사용될 수도 있어 소기 동안 탄화수

소(hyfrocarbon; HC)를 감소시키기 위하여 슬라이딩 포트 밸브 개구(6a) 잠금 바로 직전에 연소 챔버(3, 4)로 연료(5a)가 주입된다.

[0044] 더욱이, 냉각제 도포 수단(10)에 의해 제공되는 냉각 유체의 흐름, 및 감지된 온도 변화에 대응하여 컴프레서(compressor) (6e)에 의해 제공되는 냉각 에어의 흐름을 제어하기 위하여, 코일(9a), 전자 디바이스 및 고온에 민감한 기타 구성 요소에 근접하여 위치하는 하나 이상의 온도 센서를 포함하는, 온도 제어 수단이 제공될 수도 있다. 온도 제어 수단은 엔진 손상을 막기 위하여 지속적으로 상승된 온도 측정값이 감지될 때에 엔진 파워 출력을 제한하도록 밸브 제어 수단과 통신될 수도 있다.

[0045] 더 나아가 제어 모듈(9d)에 의해 사용될 수도 있는 센서는 바람직하게는 주어진 연료 종류에 대해, 가해지는 에어 양에 따라서 챔버 속으로 주입되는 연료(5a)의 양을 결정하도록 배기 가스(람다(Lambda)) 센서 및 에어 흐름 센서를 포함한다. 따라서, 사용되는 연료 종류를 구분하기 위하여 연료 센서가 또한 사용될 수도 있다.

[0046] 도 6은 실린더 구멍 표면층(1) 벽 두께에 의해 분리된, 자기적으로 투과할 수 있는 피스톤 요소(2f) 및 고정자 요소(9c)의 근접을 나타내는, 고정자 요소들(9c) 중 하나를 통한 수직 단면을 나타낸다. 게다가, 도 6은 중공형 피스톤 샤프트(2c)를 갖는 자기적으로 투과할 수 있는 요소(2f)의 동축 배치를 나타낸다.

[0047] 도 7은 슬라이딩 포트 밸브 개구들(6a) 및 공기 흡입구(6b)를 포함하는 흡기 수단(6)을 나타낸다. 흡기 수단들(6) 내의 슬라이딩 포트 밸브 개구들(6a)는 흡기 밸브(6c)가 장착된 채널(6h)에 의해 연결된다. 채널(6h)은 팽창 단계 동안 상기 채널(6h) 내의 제어되지 않은 팽창 손실을 최소화하기 위해 짧은 길이, 작은 단면적 또는 이들의 조합, 최소 부피이다. 대안적으로 별도의 분리된 흡기 밸브(6c)는 각 슬라이딩 포트 밸브 개구(6a)에 근접하여 제공될 수 있고, 이는 채널(6h)로 제어되지 dskg는 팽창 손실을 방지한다.

[0048] 흡기 밸브(6c)는 에어 흡기구(6b)의 부분으로써 흡기 매니폴드(manifold)(6f)로부터 채널(6h)을 밀폐한다. 흡기 밸브(6c)는 전기적으로 동작되는 솔레노이드 수단 또는 기타 적절한 전기적 혹은 기계적 수단일 수도 있는, 흡기 밸브 엑추에이터(6d)에 의해 동작된다.

[0049] 제1 또는 제2 챔버(3, 4) 중 하나에 대하여 슬라이딩 포트 흡기 밸브 개구(6a) 및 흡기 밸브(6c) 양쪽이 개방될 때, 흡기 매니폴드(6f)는 채널(6h)를 통하여 그 챔버와 유체 교통된다. 흡기 수단(6)에는 바람직하게는 확실히 유체가 채널(6h)를 통해 자유롭게 흐를 수 있도록 완전히 개방될 때 흡기 밸브(6c)를 수용하기 위해 마련된 리세스(6g)가 제공된다.

[0050] 에어 흡기구(6b)는 또한 전기적으로, 기계적으로, 또는 에어 흡기구(6b)로부터 발생되는 압력파의 작용 하에 동작될 수도 있는 흡기 조성 컴프레서(6e)를 포함한다. 흡기 조성 컴프레서(6e)는 또한 아래에 설명되는 바와 같이, 실린더 구멍(1c)의 각 단부에 제공되는 배기 수단(7)으로부터 발생되는 압력파 또는 압력의 작용 하에 또한 동작될 수 있다. 흡기 조성 컴프레서(6e)는 용적(positive displacement) 디바이스, 원심 디바이스, 축류 디바이스, 압력파 디바이스, 또는 어떤 적절한 압축 디바이스일 수도 있다. 흡기 조성 컴프레서(6e)는 흡기 매니폴드(6f) 내 압력을 높여 에어 흡기구(6b)가 개방될 때, 흡기 매니폴드(6f) 내 압력이 흡기 매니폴드(6f)에 연결되는 챔버(3, 4) 내 압력보다 더 커서, 이로 인해 흡기 조성 유체의 흐름이 가능하게 된다.

[0051] 솔레노이드 인젝터(injector) 또는 피에조(piezo)-인젝터(5)와 같은, 흡기 수단(6) 내에는 또한 연료 주입 수단(5)이 제공된다. 비록 중심에 위치하는 단일 연료 인젝터(5)가 적절하더라도, 슬라이딩 포트 밸브 개구(6a)의 맨 끝에 근접하여 마련되고 흡기 밸브(6c)의 어느(either) 쪽이라도 제공되는 연료 인젝터(5)가 바람직하다. 연료 인젝터(5)는 바람직하게는 흡기 수단(6) 내에 리세스 되어 피스톤(2)이 방해 없이 슬라이딩 포트 흡기 밸브 개구(6a) 및 에어 흡기구(6b)를 지나서 통과할 수도 있다. 연료 인젝터(5)는 슬라이딩 포트 흡기 밸브 개구(6a) 각각을 통하여 각각의 챔버(3, 4) 속으로 연료를 주입하도록 구성된다.

[0052] 윤활유 및 냉각제 도포 수단(10)이 제공되며, 바람직하게는 흡기 수단(6) 내부에 리세스 되고 피스톤(2)이 방해 없이 흡기 수단(6)을 지나서 통과할 수도 있어, 이로 인해 하나 이상의 유체 도포에 의해 피스톤이 윤활되고 냉각되도록 윤활유 및 냉각제 도포 수단이 마련된다. 도포된 유체는 일반적인 윤활유를 포함할 수도 있다. 게다가, 유체는 수분 또는 높은 기화열을 갖는 다른 휘발성 액체를 포함할 수도 있다. 이러한 냉각제 유체가 기화되어, 피스톤 내 열이 유체 속으로 전달되고 그 결과 초래된 가스는 피스톤이 운동함에 따라 연소 챔버 내에서 분출되거나, 또는 연소 챔버가 팽창하여 연소 블로바이(blowby) 가스 누출에 저항한다. 벤팅 냉각 가스(venting coolant gas)는 팽창하는 연소 챔버 내 가스량을 증가시키고 이로 인해 점차적으로 연소 챔버 압력을 증가시킨다. 이러한 방식에서, 자속 변화에 의해 및 연소 챔버로부터 컨덕션에 의해 발생되는 와전류에 기인한 열 축적은 팽창된 연소 챔버 체적에 의해 피스톤에 인가되는 유용한 일로써 만회될 수도 있다. 게다가 벤팅 가

스는 피스톤(2a)의 외부 표면에서 마찰과 마모를 감소시키는, 가스 베어링으로 기능할 수도 있다.

[0053] 도 8은 실린더 구멍(1c)의 각 단부에 제공되는 배기 수단(7)을 나타낸다. 배기 수단(7)은 스크루 수단 또는 이와 유사한 수단에 의해 실린더 하우징(11)의 단부에 탈착 가능하도록 부착되는 실린더 헤드(7a)를 포함한다. 각 실린더 헤드(7a) 내부에는 실린더 구멍(1c) 축과 동축으로 배열되는, 배기 밸브(7b)가 위치한다. 배기 밸브(7b)는 전기적으로 동작하는 솔레노이드 수단 또는 기타 전기적 혹은 기계적 수단일 수도 있는, 배기 밸브 엑추에이터(7c)에 의해 동작된다. 따라서, 제1 또는 제2 연소 챔버(3, 4) 내부에서 흡기 밸브(6c) 및 배기 밸브(7b) 양쪽이 잠길 때, 그 챔버는 효과적으로 밀폐되고 거기에 포함된 동작 유체는 압축되거나 또는 팽창 가능하게 될 수도 있다.

[0054] 배기 수단(7)은 배기 밸브(7b)가 개방될 때 인접한 제1 혹은 제2 챔버(3, 4)와 배기 매니폴드 채널(7d) 내부 유체 사이의 압력 차이의 작용 하에, 배기 가스가 흘러 들어 갈 수도 있는, 실린더 헤드 내부에 제공되는 배기 매니폴드 채널(7d)를 또한 포함한다.

[0055] 스파크 플러그와 같은, 점화 수단(8)이 또한 실린더 구멍(1c)의 각 단부에 제공되며, 점화 수단(8)은 실린더 헤드(7a) 내부에 위치하고, 바람직하게는 엔진의 정상 작동 사이클 동안 피스톤(2)의 방해가 되지 않도록 리세스된다.

[0056] 바람직하게는, 실린더 구멍(1c) 축에 배기 밸브(7b)의 동축 배치는 배기 밸브(7b) 직경을 종래의 내연 엔진 내에서 보다 챔버(3, 4)의 직경에 비례하여 훨씬 크게 할 수 있다.

[0057] 열 방출(heat rejection)을 최소화하고 별도 밸브 시트 컴포넌트의 필요를 방지하기 위하여, 각 실린더 헤드(7a)는 세라믹과 같은, 내구성이 있고 우수한 절연 물질로부터 제조된다.

[0058] 도 9는 완전한 엔진 사이클의 과정에 대한 피스톤(2)의 운동을 설명하는, 본 발명에 따르는 엔진의 시간-위치 곡선을 나타낸다. 비록 엔진 동작이 제1 챔버(3)를 참고로 여기서 설명되어 있으나, 통상의 지식을 가진 자는 제2 챔버(4)의 이벤트 동작 및 순서가 위상이 180도 다를 뿐, 제1 챔버(3)와 정확하게 동일하다는 것을 알 수 있을 것이다. 다시 말해, 피스톤(2)이 제1 챔버(3)에서 상사점에 도달함과 동시에 제2 챔버(4)에서는 하사점에 도달하게 된다.

[0059] 엔진 사이클을 통해 강조되는, 이벤트 A 내지 F는 동일한 엔진 사이클 과정에 대해 연소 챔버(3, 4)에서 전형적인 압력-체적 곡선을 나타내는, 도 10에서 설명된 이벤트 A 내지 F와 대응된다. 도 9 내지 10에 특징된 이벤트들은 도 11 내지 19의 다음 설명에서 언급된다.

[0060] 이제 완전한 엔진 사이클을 고려하면, 엔진 사이클의 시작에서, 제1 챔버(3)는 이전 사이클로부터 남겨진 잔여 배기 가스의 최소 비율을 갖는, 미리 혼합된 연료 및 에어로 주로 구성되는 압축 혼합체를 포함한다. 일반적인 스파크 점화 엔진에서 손실의 주요 원인이 되는, 엔진 출력 조절의 수단으로 흡기 조성 스로틀링의 필요를 감소시키거나 또는 제거할 수 있기 때문에, 배기 가스의 제어된 양이 존재하는 것은 엔진의 효율적인 동작에 도움이 되는 것으로 잘 알려져 있다. 게다가, 피크 연소 온도 및 압력이 배기 가스 잔류 없는 엔진에서 보다 낮기 때문에 질소 산화물 오염 가스의 형성이 감소된다. 이것은 연소 반응에 기여하지 않는 배기 가스 부분의 결과이고, 남겨진 가스 내 이산화탄소 및 수분의 높은 열용량 때문이다.

[0061] 도 11은 상사점(A)에서 제1 챔버(3)의 구조를 정의하는, 실린더 구멍(1c)에 상대적인 피스톤의 위치를 나타낸다. 이것은 또한 연소 단계(phase) AB의 개시 시점 근방에 해당한다. 피스톤 상부(2b)와 제1 챔버(3)의 단부 사이의 거리는 제1 챔버(3) 직경의 적어도 반에 해당하여, 종래 내연 엔진 내 연소 챔버와 비교하여 더 작은 표면적 대 체적 비율을 제공하고, 연소 동안 제1 챔버(3)로부터의 열 손실을 감소시킨다. 점화 수단(8)은 실린더 헤드(7a) 내부에 리세스 되어 제어되지 못한 방식으로 피스톤(2)가 상사점에 도달하는 이벤트시 점화 수단(8)과 피스톤 크라운(2d) 사이에 접촉할 가능이 없다. 대신에, 제1 챔버(3) 내 거의 단열 압축으로 인한 압력의 계속적인 증가에 의해 피스톤(2)의 동작이 저지될 때까지 압축이 계속될 것이다. 도 10을 참고하면, 연소 팽창 단계 AB는 점화 이벤트(A)에 의해 개시된다.

[0062] 도 12는 팽창 단계(AB 및 BC)를 지나는 동안에 선형 발전기 수단(9)에 대한 피스톤(2)의 위치를 나타낸다. 제1 챔버(3)와 제2 챔버(4) 사이의 압력 차이의 작용 하에 피스톤(2)이 이동하여 제1 챔버(3)는 팽창한다. 이 시점에서 제2 챔버(4) 내 압력은 흡기 매니폴드(6f) 내 압력과 거의 동등해 진다. 제1 챔버(3)의 팽창은 엔진 성능, 효율 및 배기 목표를 충족시키기 위하여, 소망하는 팽창 비율을 달성하기 위하여 조절될 수도 있는, 선형 발전기 수단(9)의 작용에 의해 제1 챔버(3)의 팽창이 반대된다.

[0063] 도 13은 제1 챔버(3)에 관련되어 하사점에서 피스톤(2)의 위치를 나타낸다. 팽창 단계(C)의 끝에서, 제1 챔버(3)와 제2 챔버(4) 사이의 압력 차이 및 선형 발전기 수단(9)의 작용 하에 피스톤(2)의 동작이 저지된다. 이 시점에서 제2 챔버(4) 내 압력은 그것의 상사점(A)에서 제1 챔버(3) 내 고압과 거의 같다. 바람직하게는, 팽창 비율은 압축 비율의 적어도 2배이고, 이때 압축 비율은 10:1 내지 16:1의 범위 내에 존재한다. 이것은 팽창 비율이 압축 비율과 유사한 종래의 내연 엔진과 비교하여 개선된 열적 효율을 제공한다.

[0064] 도 14는 흡기 평형(intake equalisation) 단계(CD) 동안 하사점 순간에 흡기 가스의 초기 흐름 및 피스톤(2)과 흡기 수단(6)의 배치를 나타낸다. 이러한 배치는 또는 도 7에서 나타날 수 있다. 이 시점에서, 실린더 구멍(1c)의 내벽(1c)을 따라 제공되는 개구(1a, 1b)를 통하고 지나쳐 슬라이딩하는 피스톤(2)로 인하여 슬라이딩 포트 흡기 밸브(6a)가 개방된다. 제1 챔버(3) 내 압력은 제1 챔버(3) 내 유체 압력을 감소시키는 오버-팽창으로 인하여 및 흡기 매니폴드(6h) 내 압력을 올리는 흡기 컴프레서(6e)로 인하여 흡기 매니폴드(6f) 내 압력보다 더 낮다. 이 시점 근방에, 흡기 밸브 엑추에이터(6d)에 의해 흡기 밸브(6c)가 개방되어 압력이 흡기 매니폴드(6f)에서의 압력과 평형에 도달하는 실린더 구멍(1c) 내부 제1 챔버(3)로 흡기 조성을 진입시키게 된다. 흡기 밸브(6c) 개방 후 잠시 뒤에, 배기 밸브(7b)가 또한 개방되어 주위 대기압과 비슷하게 존재하는, 배기 매니폴드 채널(7d)과 제1 챔버(3) 사이의 압력 차이의 작용 하에 제1 챔버(3)로 배기 가스가 빠져 나가게 한다.

[0065] 도 15는 흡기 조성 배기량 소기(intake charge displacement scavenging) 단계(DE) 동안 피스톤(2)의 위치를 나타낸다. 제1 챔버(3)의 피스톤 단부에서 도입되는 신선한 흡기 조성을 갖는 배기 매니폴드 채널(7d)로 제1 챔버(3) 내 배기 가스의 계속된 배기에 의해 배기 가스 소기가 달성된다. 일단 제1 챔버(3)로 의도된 양의 흡기 조성이 들어가면, 흡기 밸브(6c)가 잠기고 아래에 설명되는, 도 17에서 나타난 바와 같이, 피스톤(2)의 운동에 의해 배기 가스의 방출이 계속된다.

[0066] 도 16은 연료 주입(E) 시점에서 피스톤(2)과 흡기 수단(6)의 배치를 나타낸다. 만약 액체 연료가 사용되면, 빠르게 기화하는 연료의 효과를 갖는 접근하는 피스톤 크라운(2d)으로 직접 이 연료(5a)가 도입될 수도 있어, 피스톤 크라운(2d)을 냉각시키고 실린더 구멍(1c)의 내벽(1c)에 습한 필름으로 타지 않은 연료의 배기 및 손실을 최소화시키며, 그렇지 않으면 그것은 팽창 단계 동안 제2 챔버(4) 내에서 기화될 수 있다.

[0067] 도 17은 윤활(E) 동안 피스톤(2)의 위치를 나타내며, 이것에 의해 흡기 슬라이딩 포트 밸브(6a)를 지나가며 윤활유 및 냉각 도포 수단(10)에 의해 적은 양의 윤활유 및/또는 냉각제가 직접적으로 피스톤 외부 표면(2a)에 주기적으로 도입된다. 이러한 배치는 실린더 내벽의 윤활유 습윤과 연관된 탄화수소 배기를 최소화시키고, 실린더 내벽 오일 필름 내 연료의 용해 정도를 또한 감소시킬 수도 있다. 제1 및 제2 챔버(3, 4) 내 윤활 벽 습윤 정도를 더욱 감소시키기 위하여 윤활 제어 링 기구(2e)가 피스톤 크라운(2d) 내에 포함된다.

[0068] 도 18은 피스톤 배기량 소기 단계(EF) 동안 피스톤(2)의 위치를 나타낸다. 흡기 밸브(6c)가 잠기고 피스톤(2) 운동에 의해 배기 가스의 방출이 계속된다. 이 시점에서 피스톤(2)은 배기 수단(7)을 향해 이동하고 제2 챔버(4) 내 연소 이벤트로 인해 제1 챔버(3)의 체적을 감소시킨다.

[0069] 연소 챔버 직경(3b)에 비해 상대적으로 더 큰 배기 밸브 직경의 결과, 밸브 스템을 지나는 배기 흐름 내 제한된 면적이 실린더 내경 단면적의 40%에 근접할 수도 있어, 흡기 조성 배기 소기 단계(DE) 및 피스톤 배기량 소기 단계(EF)의 양쪽 동안 낮은 배기 배압 손실을 발생시키게 된다.

[0070] 도 19는 압축 단계(FA)를 지나는 동안 실린더 구멍(1c) 미드 웨이에 상대적인 피스톤(2) 위치의 종단면을 나타낸다. 충분한 배기 가스 방출이 달성될 때, 제1 챔버(3) 내의 유체 내 이러한 배기 가스의 비율이 목표된 수준에 가깝게 되고, 배기 밸브(7b)가 잠기고 압축 단계(FA)가 시작된다. 제1 챔버(3)와 제2 챔버(4) 사이의 압력 차이의 작용 하에 및 선형 발전기 수단(9)의 작동에 의해 피스톤(2)이 가속되고 감속되는 변화하는 비율로 압축이 계속된다. 이 시점에서 제2 챔버(4) 내 압력은 팽창 단계(AB 및 BC) 동안 내려간다. 엔진 성능, 효율 및 배기 목표를 충족시키기 위한 소망하는 압축 비율을 달성하기 위하여 선형 발전기 능력(force)은 조절될 수도 있다. 제1 챔버(3) 내 체적 압축 비율은 챔버(4) 내 체적 압축 비율과 실질적으로 같고 반대가 된다.

[0071] 도 20은 2개의 클램핑 플레이트(12)에 의해서 실린더 하우징(11) 내부에 고정된 흡기 수단들(6) 및 2개의 분할 실린더형 고정자들(9)로 구성된자유 피스톤 엔진을 통한 종단면도이다. 상기 클램핑 플레이트(12)는 실린더 하우징(11) 내부에 포함된 요소에 축방향 압축 하중을 적용하도록 실린더 하우징(11)에 고정되어 있다.

[0072] 실린더 하우징은 분할 실린더형 고정자(9)를 위해 냉각 수단들을 제공하도록 전달될 수 있는 냉각 유체 또는 공

기를 통해 냉각 채널(11)을 제공한다. 실린더 하우징(11) 분할 실린더형 고정자(9)의 외경과 비슷한 차원의 내부 구멍을 가짐으로써, 실린더 하우징은 또한 실린더형 고정자(9)의 분할 요소의 동축 정렬을 제공한다.

[0073] 도 21은 실린더 하우징(11) 내의 축 방향으로 고정 분할 실린더형 고정자(9)를 갖는 자유 피스톤 엔진을 통해 수직인 단면을 나타낸다. 도시된 실린더 하우징(11), 그 외 다른 형상에서, 전형적으로 실린더 하우징(11)의 전체 길이 중 적어도 세번째, 일반적으로 그 길이의 적어도 일부분을 따라 공통의 단면을 가질 수 있다. 이로써 우리는 압출에 의해 단면부의 윤곽이 균일하다는 것을 의미한다. 그것은 개구 또는 다른 특징들이 공통의 단면을 변경하지 않고 하우징에 형성될 수도 있음을 유의한다. 게다가, 냉각 채널(11a) 및 냉각 핀(1b)은 실린더형 고정자 효소들로부터 열전달을 증가시키기 위해 제공될 수 있다. 각 분할 고정자 요소(9c)의 실린더 구멍(1c)은 피스톤(2)에 하드 웨어링 베어링 표면을 제공하기 위하여 실리콘 나이트라이드, 실리콘 카바이드 또는 다른 세라믹 재료와 같은 하드 재료로 코팅된다.(도 5 참조)

[0074] 바람직하게는, 코팅 물질은 연강보다 경도 값이 크다. 예를 들면, 일반적으로 사용되는 연강(적은 탄소) 스틸 그레이드 ASTM A36은 브린넬 경도 스케일에 따라 180보다 크지 않은 값이 측정되고, 록웰 경도 스케일에 의해서는 약 20이다.

[0075] 이러한 분할 고정자 요소들의 함께 내부 구멍 코팅층은 인접한 실린더 구멍 표면 층(1)을 형성한다. 이 표면층은 연마될 수 있거나 또는 그렇지 않으면 상기 분할 고정자 요소들이 다른 수단들 또는 클램핑에 의해 실린더 하우징 내부 소정 위치에 고정되면 마감될 수 있다. 클램핑 수단을은 실린더 하우징(11)의 각 단부에 부착되는 클램핑 플레이트(12)에 의해 제공될 수 있다. 대안적으로, 클램핑은 실린더 하우징(11)의 한 단부에 부착된 단일 클램핑 플레이트(12)에 의해 제공될 수 있고, 압축 이음매 또는 조임 나사, 접착 본딩과 같은 다른 고정 수단들 또는 실린더 하우징 특징에 의해 축 방향으로 속박된 분할 실린더 고정자(9)를 통한 압축 하중이 적용된다. 대안적으로 분할된 실린더형 고정자(9)는 접착, 압축 피팅 또는 나사 체결 등의 다른 수단에 의해 클램핑 플레이트 (12)의 사용없이, 실린더 하우징 (11) 내의 제 위치에 고정될 수 있다.

부호의 설명

[0076] 도면 및 명세서에서, 다음의 도면 부호가 사용된다:

1 - 실린더 구멍 표면 층

1a - 제1 흡기 포트 개구

1b - 제2 흡기 포트 개구

2 - 피스톤

2a - 피스톤 외부 표면

2b - 피스톤 단부 표면

2c - 피스톤 샤프트

2d - 피스톤 크라운

2e - 윤활 제어 기구

2f - 자기적으로 투과할 수 있는 피스톤 코어 요소

2g - 비-투과 피스톤 스페이서 요소

2h - 피스톤 샤프트 단부

2i - 피스톤 샤프트 캡

3 - 제1 연소 챔버

3a - 제1 연소 챔버 높이

3b - 제1 연소 챔버 직경

4 - 제2 연소 챔버

5 - 연료 주입 수단

5a - 연료

6 - 흡기 수단

6a - 흡기 슬라이딩 포트 밸브 개구

6b - 에어 흡기구

6c - 흡기 밸브

6d - 흡기 밸브 엑추에이터

6e - 흡기 조성 컴프레서

6f - 흡기 매니폴드

6g - 흡기 밸브 리세스(recess)

6h - 흡기 채널

7 - 배기 수단

7a - 실린더 헤드

7b - 배기 밸브

7c - 배기 밸브 엑추에이터

7d - 배기 매니폴드 채널

8 - 점화 수단

9 - 분할 실린더형 고정자

9a - 코일

9b - 스위칭 장치

9c - 자기 투과성 고정자 요소

9d - 제어 모듈

9e - 전기적 출력 수단

10 - 윤활유 및 냉각수 응용 수단

11 - 실린더 하우징

11a - 실린더 하우징 내에 형성된 냉각 채널

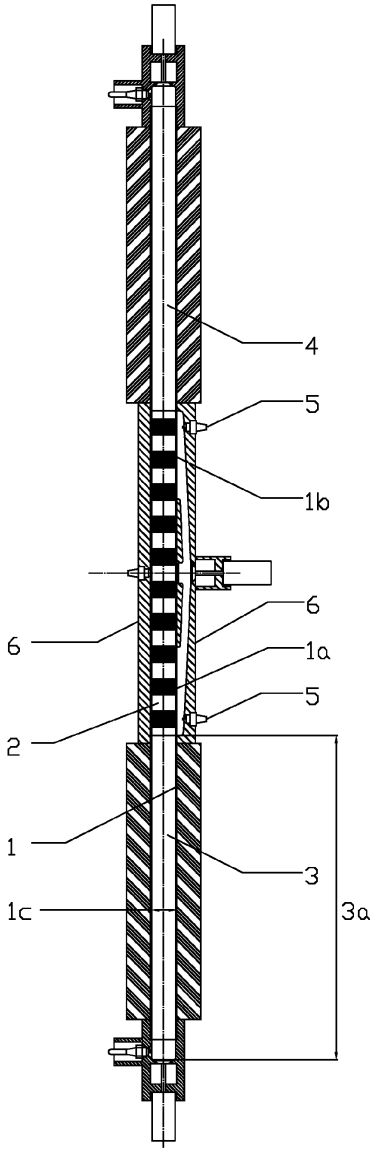
11b - 실린더 하우징 내에 형성된 냉각 핀

12 - 클램핑 플레이트

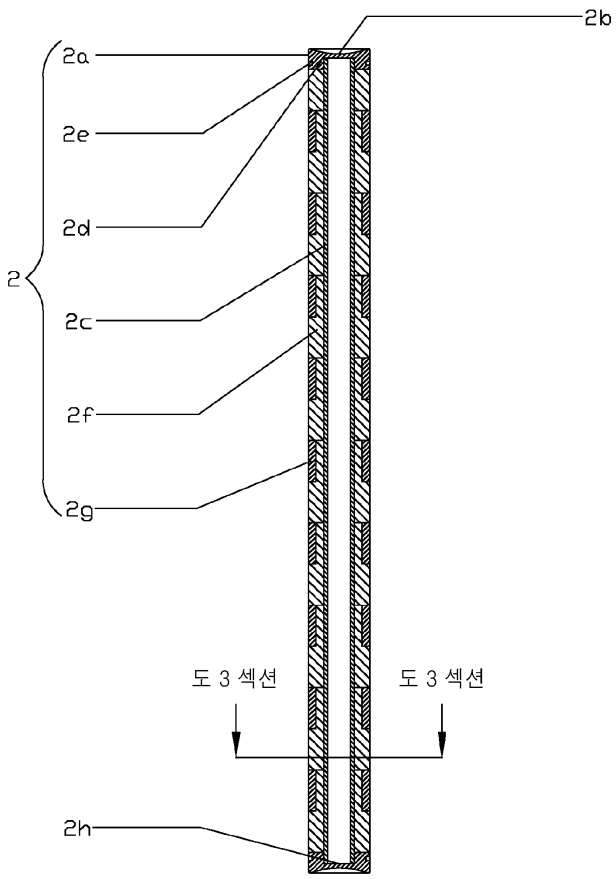
T1, T2, T3 및 T4 - 고정자 및 피스톤 요소 내의 도넛형 플럭스 경로

도면

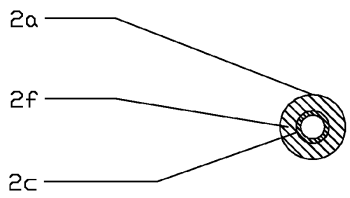
도면1



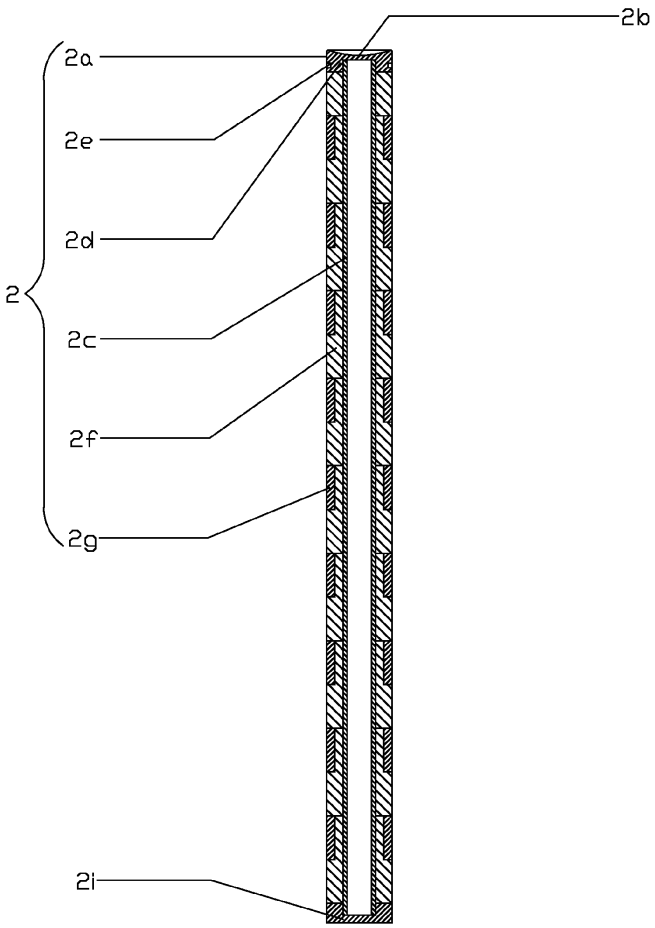
도면2



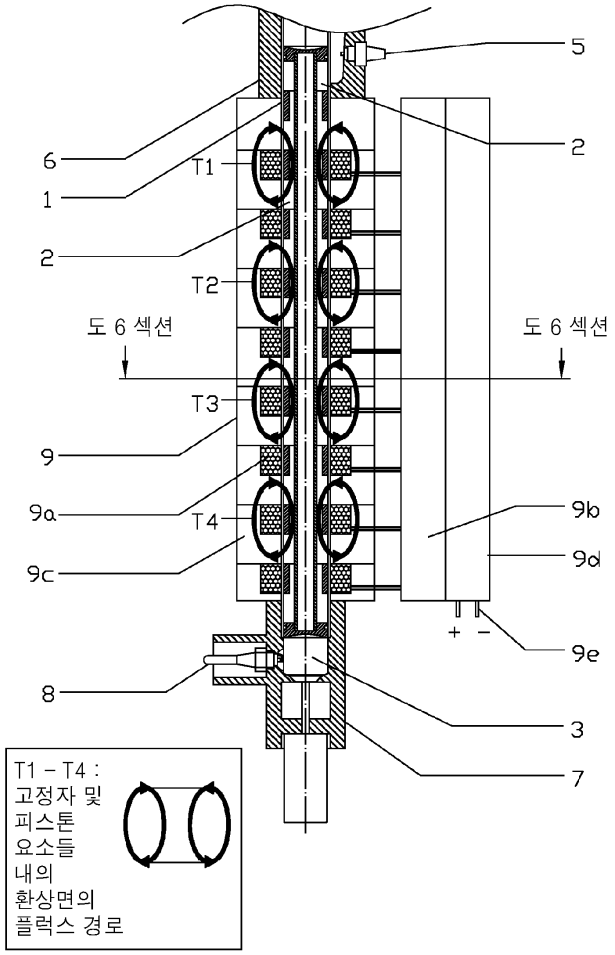
도면3



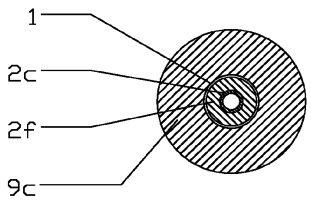
도면4



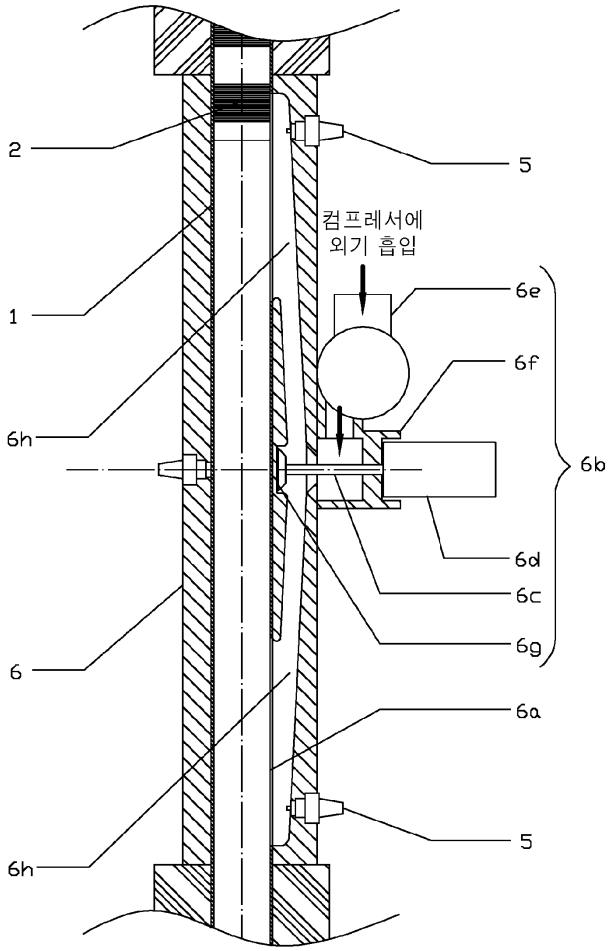
도면5


5
2
6
1
2
T1
T2
도 6 섹션
도 6 섹션
T3
9
9a
T4
9c
9b
9d
+
−
9e
8
3
7
T1 – T4 :
고정자 및
피스톤
요소들
내의
환상면의
플럭스 경로

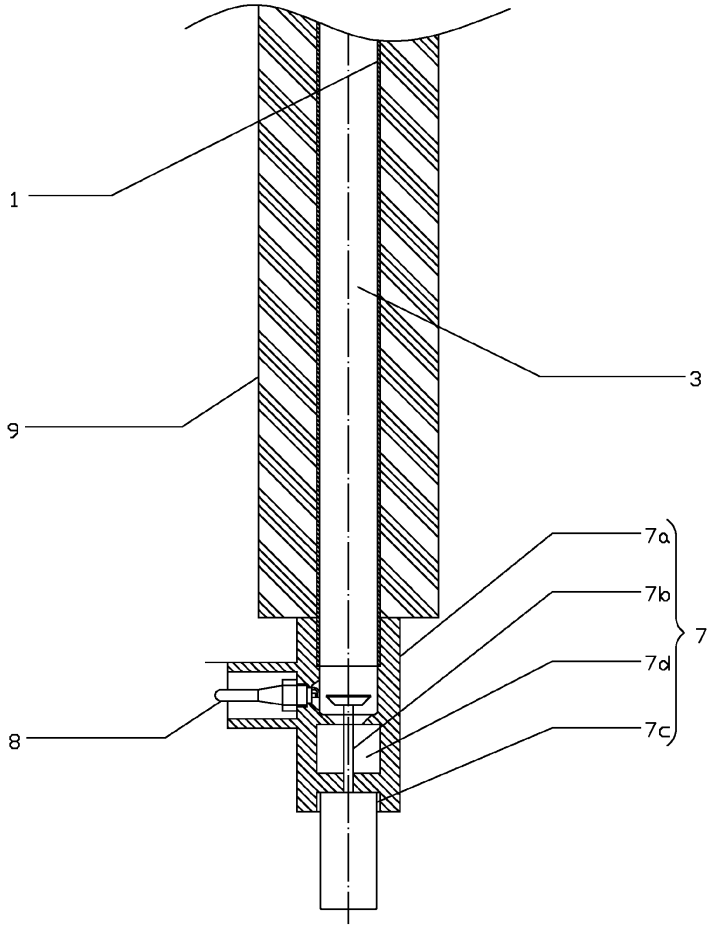
도면6


1
2c
2f
9c

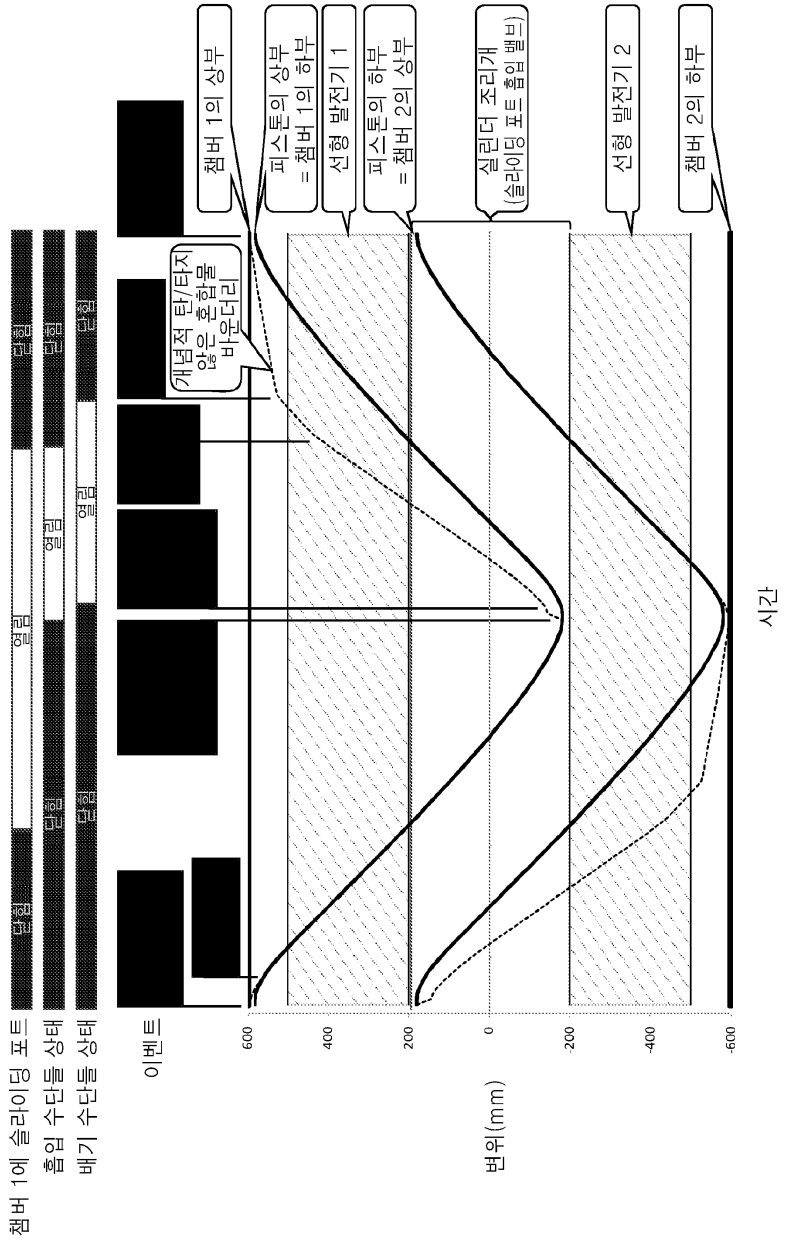
도면7



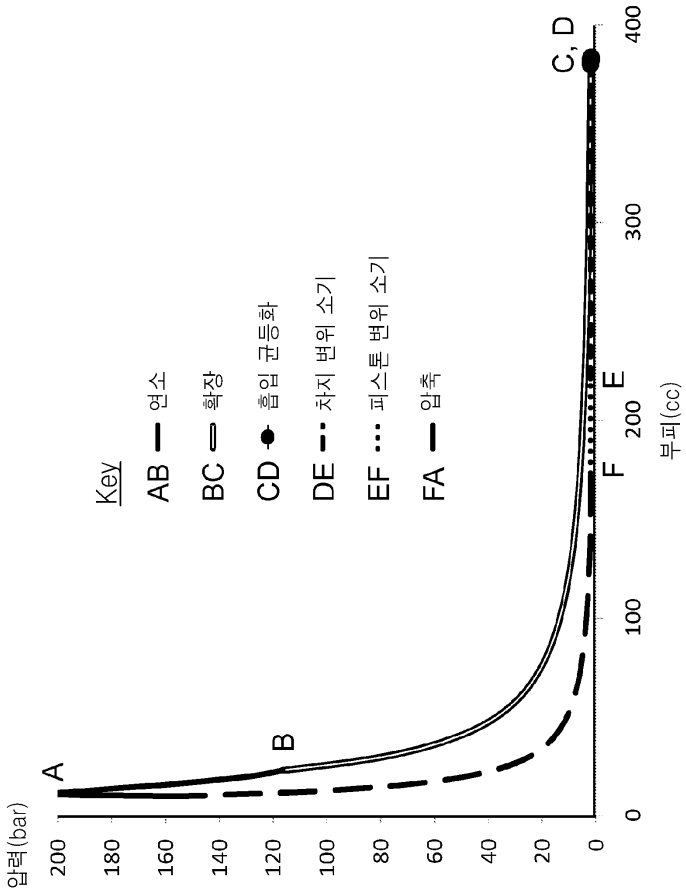
도면8



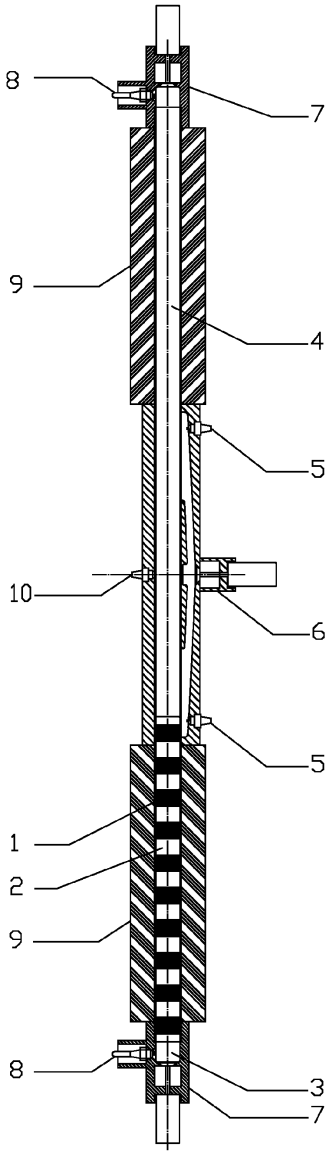
도면9


챔버 1에 슬라이딩 포트
흡입 수단들 상태
배기 수단들 상태
닫힘
열림
닫힘
열림
닫힘
열림
이벤트
개념적 탄/타지 않은 혼합물 바운더리
챔버 1의 상부
피스톤의 상부 = 챔버 1의 하부
선형 발전기 1
피스톤의 하부 = 챔버 2의 상부
실리더 조리개 (슬라이딩 포트 흡입 밸브)
선형 발전기 2
챔버 2의 하부
600
400
200
0
-200
-400
-600
변위(mm)
시간

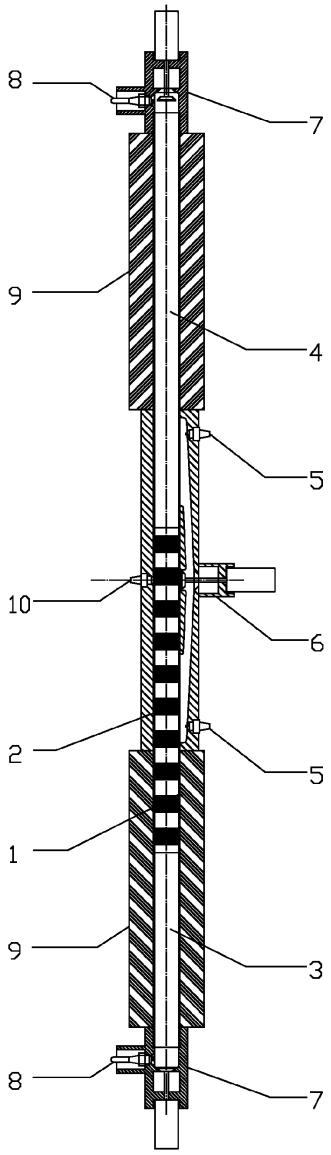
도면10


압력(bar)
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
A
B
C, D
E
F
0
100
200
300
400
부피(cc)
Key
AB 연소
BC 확장
CD 흡입 균등화
DE 차지 변위 소기
EF 피스톤 변위 소기
FA 압축

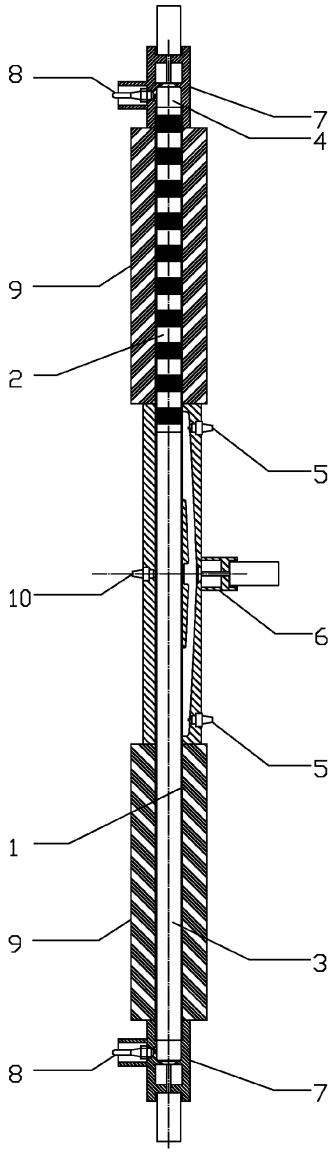
도면11



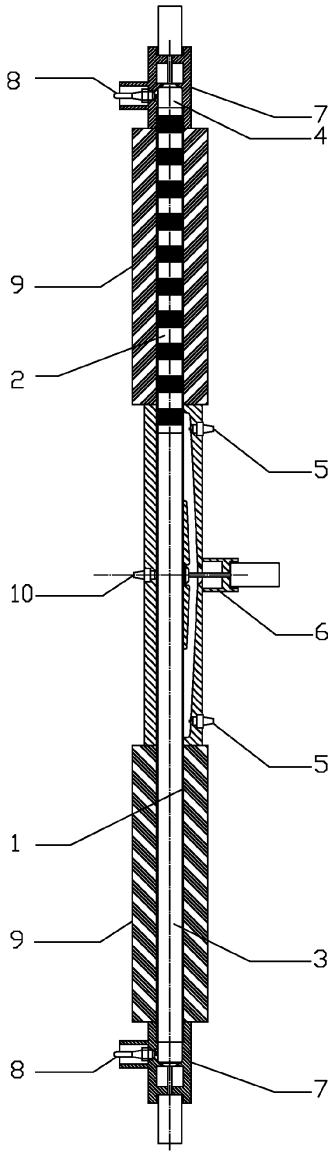
도면12



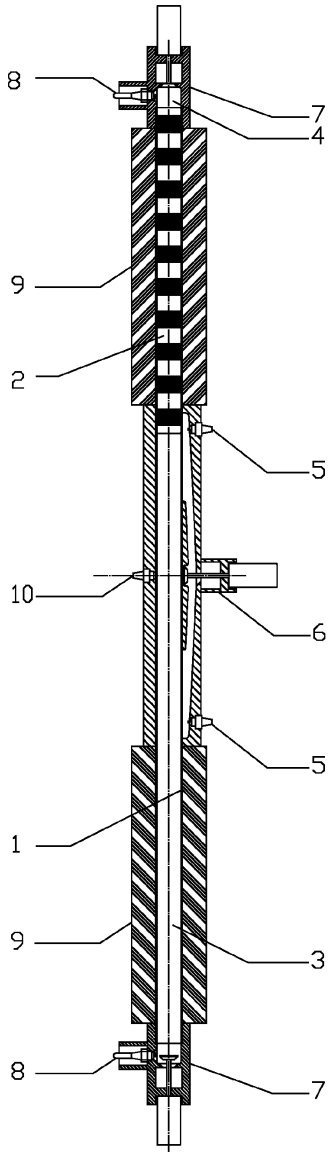
도면13



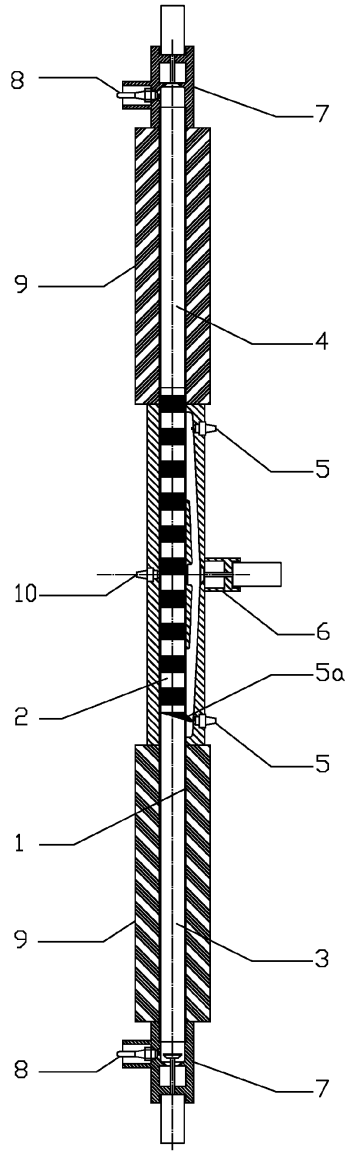
도면14



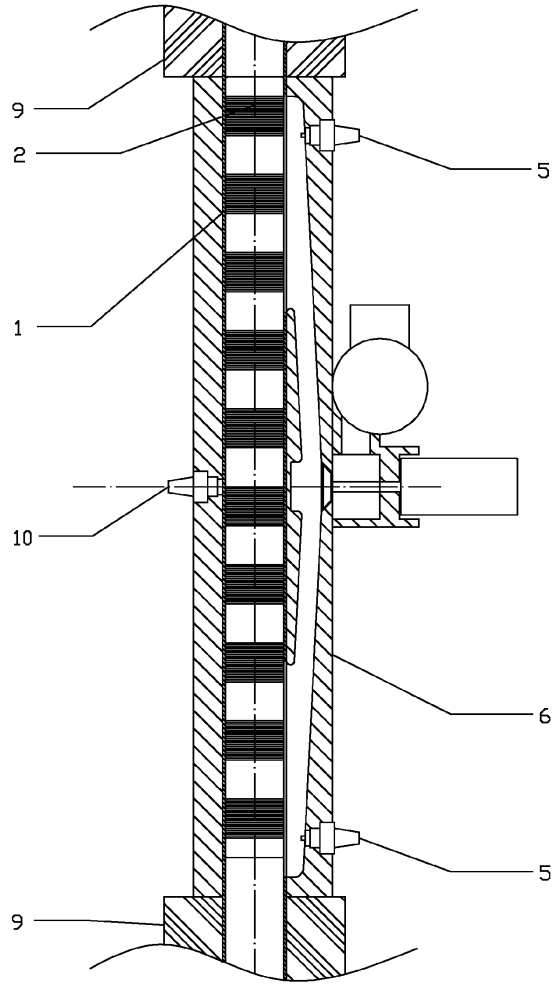
도면15



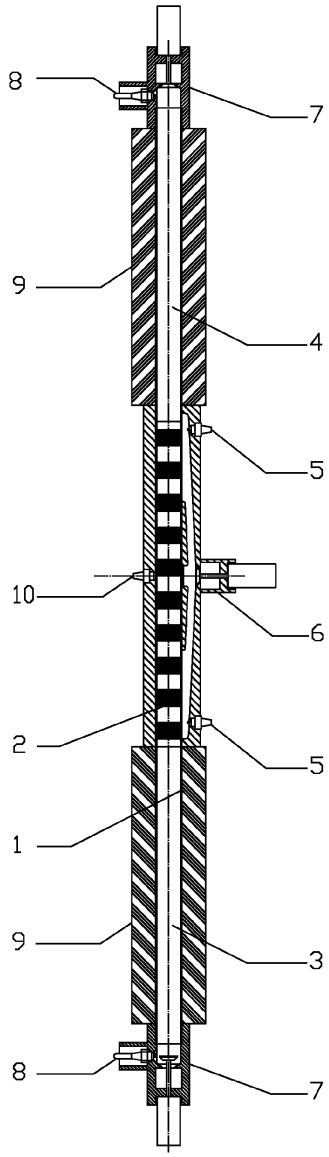
도면16



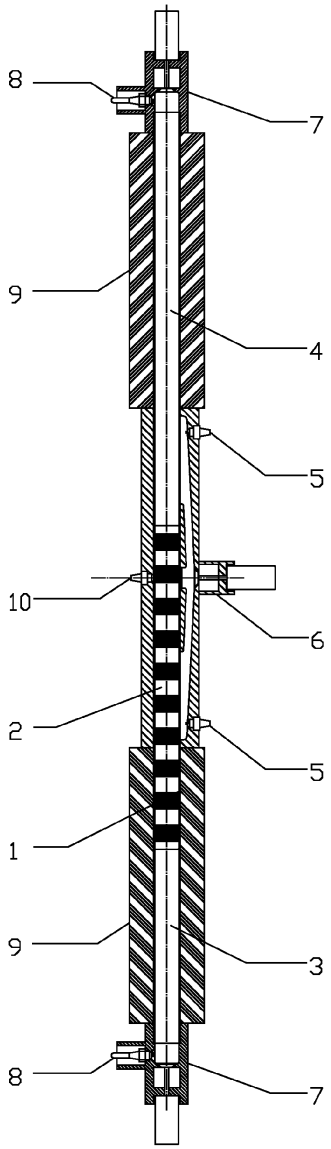
도면17



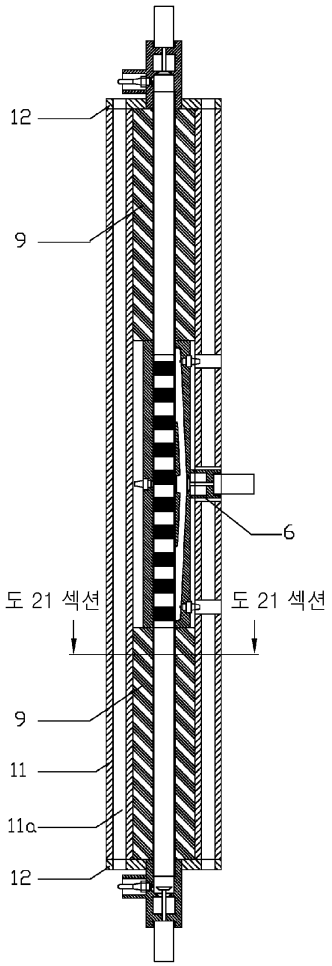
도면18



도면19



도면20



도면21

