



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0008825
(43) 공개일자 2020년01월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F16D 57/00 (2006.01) F16D 121/28 (2012.01)
F16D 65/12 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F16D 57/002 (2013.01)
F16D 65/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0082965
(22) 출원일자 2018년07월17일
심사청구일자 2018년07월17일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
안경관
울산광역시 남구 대공원로 207, 102동 402호(신정동, 대공원 월드메르디앙)
옹우엔 민찌
울산광역시 남구 대학로1번길 66, 202호(무거동)
(74) 대리인
김정수

전체 청구항 수 : 총 7 항

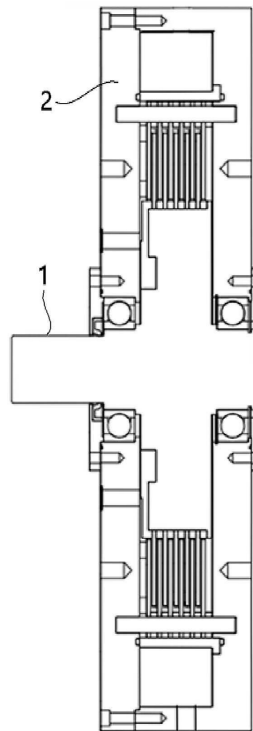
(54) 발명의 명칭 MR 브레이크 장치

(57) 요약

본 발명은 MR 브레이크 장치에 관한 것으로, 하우징(2)과; 상기 하우징(2)의 내부면 측으로 공간을 가지도록 이격 배치된 원판 형상으로 상기 하우징(2)에 결합된 입력축(3)에 일체로 회전 및 탈착 가능하도록 스플라인 방식으로 설치되며, 상기 내부면과 대응되는 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부(34)가 반복적으로 형성된 로터리디

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



스크(36)와; 상기 하우징(2)의 내부면과 상기 로터리디스크(36)의 외주면 사이의 공간에 충전된 자기유변유체와; 상기 하우징(2)의 어느 한 부분에 구비되어 상기 자기유변유체에 자기력을 가하는 자기코일(22)을 포함하며, 상기 로터리디스크(36)는 상기 입력축(3)의 길이 방향을 따라 간격을 두고 복수개 적층 구비되는 것을 특징으로 하고, 상기 돌출부(34)는 파형(waveform) 형상을 가지는 것을 특징으로 하고, 상기 로터리디스크(36)는 직경이 서로 다른 메인디스크(6)와 서브디스크(7)가 번갈아 적층되는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치를 제공함으로써, 높은 브레이킹 토크를 제공하면서도 제작 및 조립이 용이하고 효율이 높은 MR 브레이크 장치를 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류

F16D 2121/28 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017-0246

부처명 외부민간업체(중소기업)

연구관리전문기관 (주)삼미정공

연구사업명 기타사업

연구과제명 능동형 자이로 스테빌라이즈용 MR 댐퍼 구조해석

기 여 율 1/1

주관기관 (주)삼미정공

연구기간 2017.03.02 ~ 2017.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

하우징(2)과;

상기 하우징(2)의 내부면 측으로 공간을 가지도록 이격 배치된 원판 형상으로 상기 하우징(2)에 결합된 입력축(3)에 일체로 회전 및 탈착 가능하도록 설치되며, 상기 내부면과 대응되는 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부(34)가 형성된 로터리디스크(36)와;

상기 하우징(2)의 내부면과 상기 로터리디스크(36)의 외주면 사이의 공간에 충전된 자기유변유체와;

상기 하우징(2)의 내부에 구비되어 상기 자기유변유체에 자기력을 가하는 자기코일(22)을 포함하며,

상기 로터리디스크(36)는 상기 입력축(3)의 길이 방향을 따라 간격을 두고 복수개 적층 구비되는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 돌출부(34)는 반복된 파형(waveform) 형상을 가지는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 로터리디스크(36)는 직경이 서로 다른 메인디스크(6)와 서브디스크(7)가 번갈아 적층되는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 서브디스크(7)의 외주면에는 상기 자기유변유체가 유입될 수 있는 유입홈(35)이 원주방향을 따라 반복적으로 형성된 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 로터리디스크(36)는 규소강(silicon steel)으로 이루어진 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

복수개로 적층 구비되는 상기 로터리디스크(36) 사이에는 각각 브레이크스테이터(27)가 구비되는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 로터리디스크(36)가 N개일 때 상기 브레이크스테이터(27)는 N-1개로 이루어진 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MR 브레이크 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 제어 가능한 높은 브레이크 토크를 제공하는 MR 브레이크 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 일반적으로, 자기유변유체(Magneto-Rheological Fluid; MR Fluid)는 외부 자기장에 의해 유체가 가지는 항복응력을 변화시킬 수 있는 기능성유체로 알려져 있으며, 자화될 수 있는 직경 1~수십 μm 의 작은 입자들을 포함한 비콜로이드 용액(Non Colloidal Solution)으로 되어 있다.

[0004] 즉, 자기유변유체는 입자의 분극화 또는 정착에 저항하는 현탁액 구조의 안정화에 영향을 주는 소량의 첨가제를 포함하는 것으로, 자기유변유체가 유동할 때 전단 트레인이 유체에서 발생하고 전단 응력 분포가 유체를 가로질러 발생하게 되며, 이 응력 분포는 기본 유체 역학의 점성 유동 방정식을 사용하여 계산할 수 있다.

[0005] 이러한 자기유변유체는 외부에서 자장을 부가하면 자기유변유체 내부의 입자(Magnetic particles)가 인가하는 자기장의 크기에 비례하여 다수의 클러스터(cluster)가 형성되어 유체의 유동저항이 증가되고, 이에 유체의 걸보기 점도를 증가시켜 유체의 흐름을 어렵게 한다.

[0006] 도 1a 내지 도 1c는 상기한 자기유변유체의 원리를 나타낸 도면으로서, 도 1a는 자기장을 부가하지 않았을 때 자기유변유체 내부의 입자(P)들이 불규칙적으로 분산되어 있는 상태를 나타내는 도면이고, 도 1b는 외부에서 자기장을 부가하였을 경우 입자들이 자계방향으로 다수의 클러스터(cluster)를 형성한 상태를 나타낸 도면이고, 도 1c는 상기한 자기장이 부여된 상태에서 두 개의 자극 중 어느 하나의 자극(magnetic pole)은 고정하고 다른 하나를 회전(rotational shear mode) 또는 이동(shear mode)을 한 경우의 자기유변유체를 나타낸 도면으로서, 도 1b 및 도 1c에 나타난 바와 같이 자기유변유체는 외부에서 자기장이 부가되었을 경우 다수의 클러스터(C)에 의하여 유체의 걸보기 점도를 증가시켜 유체의 흐름을 어렵게 한다.

[0007] 이 때문에, 상기한 자기유변유체는 상기한 특성에 의하여 클러치, MR 브레이크 장치(Brake device), 척(chucking) 및 잠금장치(locking device) 등 다양한 분야에서 적용되고 있다.

[0008] 도 2는 상기 자기유변유체를 이용한 종래의 MR 브레이크 장치(MR Brake; 10)의 단면도이다. 도면을 참조하면, 종래의 MR 브레이크 장치(10)는, 회전축(11)과 연결되고 하우징(14)의 내부에 회전 가능하게 배치된 로터리디스크(12)와, 하우징(14)의 내부측면과 로터리디스크(12)의 외측면 사이에 형성된 좁은 유체 통로(16; MR gap)에 충전된 자기유변유체(15)와, 상기 로터리디스크(12)의 외주면에 대면하도록 설치된 마그네틱코일(13)을 포함하며, 이러한 구성의 MR 브레이크 장치(10)는 상기 마그네틱코일(13)에 전류를 인가하면 자기장이 형성되어 상기 유체통로(16)의 자기유변유체(15)의 흐름을 방해함으로써 브레이크로서의 작동을 한다. 도 3은 도 2의 종래의 MR 브레이크 장치(10)에서 자기장이 형성된 상태에서 상기 로터리디스크(12)가 회전할 경우의 로터리디스크(12)와 하우징(14) 내부 측면 사이에 형성되는 클러스터(C)를 나타내는 도면이다.

[0009] 한편, 상기 MR 브레이크 장치(10)에 작용하는 제동 토크는 자기유변유체(15)가 흐르는 유체통로(16)의 크기에 반비례하는 특성을 가지고 있다. 이 때문에 MR 브레이크 장치(10)의 제동력을 향상시키기 위하여는 상기 자기유변유체(15)가 흐르는 상기 유체통로(16)를 최대한 작게 형성시키는 것이 좋다.

[0010] 하지만, 종래의 MR 브레이크 장치(10)는 제동력을 향상시키기 위하여 상기한 유체통로(16)를 작게 형성시키는 것이 좋다고는 하나, 상기 유체통로(16)를 작게 하는 것은 구조적으로나 가공면에서 한계가 있기 때문에, 실제로 MR 브레이크 장치(10)의 제동토크를 크게 향상시키는 것은 어려운 문제점이 있었다.

[0011] 즉, 자기유변유체는 현재 자동차 충격 흡수 장치, 댐퍼, 클러치, 브레이크, 공기 밸브, 유압 밸브, 의족, 운동

장치, 조향 장치와 같은 많은 액추에이터에서 개발되고 적용되고 있는데, 자기유변유체를 회전식 장치에 적용하는 종래 기술에서는 약한 힘 및 토크라는 미해결 문제가 남아 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) US 6,427,813
- (특허문헌 0002) US 5,842,547
- (특허문헌 0003) US 5,598,908
- (특허문헌 0004) US 2006/0016649
- (특허문헌 0005) US 2010/0300819
- (특허문헌 0006) US 2014/0332331
- (특허문헌 0007) US 2016/0290421

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 상기한 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은 로터리 디스크를 복수개 적층하고 로터리 디스크에 파형 경계를 결합하여 저항력 및 토크를 증가시킨 MR 브레이크 장치를 제공하는데 목적이 있다.
- [0015] 또한 본 발명은 시스템의 브레이킹 토크 성능을 증가하기 위하여, 로터리 디스크에 코어 손실이 적고 자기장 밀도가 높은 소재를 사용함으로써, 브레이크의 효율 및 성능을 높일 수 있는 MR 브레이크 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 하우징(2)과; 상기 하우징(2)의 내부면 측으로 공간을 가지도록 이격 배치된 원판 형상으로 상기 하우징(2)에 결합된 입력축(3)에 일체로 회전 및 탈착 가능하도록 스플라인 방식으로 설치되며, 상기 내부면과 대응되는 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부(34)가 반복적으로 형성된 로터리 디스크(36)와; 상기 하우징(2)의 내부면과 상기 로터리디스크(36)의 외주면 사이의 공간에 충전된 자기유변유체와; 상기 하우징(2)의 내부에 구비되어 상기 자기유변유체에 자기력을 가하는 자기코일(22)을 포함하며, 상기 로터리디스크(36)는 상기 입력축(3)의 길이 방향을 따라 간격을 두고 복수개 적층 구비되는 것을 특징으로 하는 MR 브레이크 장치를 제공한다.
- [0018] 여기서, 상기 돌출부(34)는 파형(waveform) 형상을 가지는 것을 특징으로 하고, 상기 로터리디스크(36)는 직경이 서로 다른 메인디스크(6)와 서브디스크(7)가 번갈아 적층되는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 이때, 상기 서브디스크(7)의 외주면에는 상기 자기유변유체가 유입되는 유입홈(35)이 원주방향을 따라 반복적으로 형성될 수 있고, 상기 로터리디스크(36)는 규소강으로 이루어질 수 있다.
- [0020] 한편, 복수개로 적층 구비되는 상기 로터리디스크(36) 사이에는 각각 브레이크스테이터(27)가 더 구비되고, 상기 로터리디스크(36)가 N개일 때 상기 브레이크스테이터(27)는 N-1개로 이루어진 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0022] 상기와 같이 구성된 본 발명을 제공함으로써, 본 발명의 복수개 적층된 로터리 디스크 및 로터리 디스크에 적용

된 파형 경계는 저항력 및 토크를 1000 N.m 이상으로 종래의 MR 브레이크 장치에 비해 매우 크게 증가시킬 수 있다.

[0023] 또한 본 발명은 시스템의 브레이킹 토크 성능을 증가하기 위하여, 로터리 디스크에 코어 손실이 적고 자기장 밀도가 높은 소재를 사용함으로써, 브레이크의 효율 및 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 1a 내지 도 1c는 자기유변유체의 원리를 나타내는 작동예시도.
 도 2는 종래의 자기유변유체를 이용한 MR 브레이크 장치를 나타내는 단면도.
 도 3은 도 2에 도시된 MR 브레이크 장치에서 자기유변유체에 형성되는 클러스터를 나타내는 예시도.
 도 4는 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치의 조립상태를 나타내는 단면 구성도.
 도 5는 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치의 제동부분을 나타내는 일부 구성도.
 도 6은 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치에서 로터리디스크 및 스테이터의 설치상태를 나타내는 단면 구성도.
 도 7은 도 6의 로터리디스크 및 스테이터를 나타내는 구성예시도.
 도 8 및 도 9는 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치에서 로터리디스크 및 스테이터의 설치상태를 나타내는 도면대용 사진.
 도 10은 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치의 작동원리를 나타내는 예시도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 본 발명에 대하여 동일한 기술분야에 속하는 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 첨부도면을 참조하여 바람직한 실시 예를 상세하게 설명하기로 한다.

[0026] 본 발명의 MR 브레이크 장치는 도 4 내지 도 9에 도시된 바와 같이, 하우징(2)과; 상기 하우징(2)의 내부면 측으로 공간을 가지도록 이격 배치된 원판 형상으로 상기 하우징(2)에 결합된 입력축(3)에 일체로 회전 및 탈착 가능하도록 설치되며, 상기 내부면과 대응되는 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부(34)가 형성된 로터리디스크(36)를 포함한다.

[0027] 그리고, 상기 하우징(2)의 내부면과 상기 로터리디스크(36)의 외주면 사이의 공간에는 자기유변유체가 충전되고, 상기 하우징(2)의 내부에는 상기 자기유변유체에 자기력을 가하는 자기코일(22)이 구비된다. 일 실시예로서, 상기 자기코일(22) 상기 로터리 디스크(36)의 외주면 바깥쪽 또는 로터리 디스크(36)의 뒤에 구비될 수 있다. 다만 로터리 디스크(36)에 자기장을 인가할 수 있다면, 자기코일(22)의 위치는 실질적으로 매우 다양하게 변경될 수 있다.

[0028] 그리고, 상기 로터리디스크(36)는 상기 입력축(3)의 길이 방향을 따라 간격을 두고 복수개 적층 구비되는 구조이다. 로터리디스크(36)가 복수개 적층되기 때문에, 기존의 MR 브레이크에 비하여 저항력 및 브레이크 토크(1000N.m)를 크게 증가시킬 수 있다. 상기 로터리디스크(36)는 상기 입력축(3)의 회전에 따라 함께 회전할 수 있다.

[0029] 일 실시예로서, 상기 로터리디스크(36)는 입력축(3)과 스플라인 방식으로 결합될 수 있으며, 상기 돌출부(34)는 반복되는 파형(waveform) 형상을 가질 수 있다. 로터리디스크(36)가 복수개 적층되어야 하지만, 로터리디스크(36) 입력축(3)과 스플라인 방식 등에 의하여 착탈가능하게 결합될 수 있으므로, 조립 및 부품의 생산이 용이해져 제작단가 절감이 가능해지고, 한 부품의 불량시 해당 부품만 교환하면 되므로 유지보수도 용이해진다.

[0030] 한편, 상기 로터리디스크(36)는 직경이 서로 다른 메인디스크(6)와 서브디스크(7)가 번갈아 적층되는 구조이다.

[0031] 이때, 상기 서브디스크(7)의 외주면에는 상기 자기유변유체가 유입되는 유입홈(35)이 원주방향을 따라 반복적으로 형성될 수 있다.

[0032] 더욱이, 복수개로 적층 구비되는 상기 로터리디스크(36) 사이에는 각각 브레이크스테이터(27)가 고정된 상태로 구비될 수 있다.

[0033] 일 실시예로서, 상기 로터리디스크(36) 및 브레이크스테이터(27)은 규소강(silicon steel)으로 이루어질 수 있

다. 규소강은 코어 손실을 줄이고 자기 플럭스 밀도를 높일 수 있기 때문에, 전체 시스템의 효율성을 증가시킬 수 있다.

- [0034] 상기 로터리디스크(36)가 N개일때 및 상기 브레이크스테이터(27)는 그 사이에 N-1개가 구비될 수 있으며, 일 실시예로써 상기 로터리디스크(36)가 5개일 때 상기 브레이크스테이터(27)는 4개 구비될 수 있다.
- [0035] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 MR 브레이크 장치는 N 개의 로터리디스크(36)와 N-1개의 브레이크스테이터(27)를 포함하고, 인접한 로터리 디스크(36)와 브레이크스테이터(27)는 서브디스크(7)에 의해 분리되어 그 사이에 소정 폭의 복수 개의 작업 공간을 형성할 수 있다.
- [0036] 상기 작업 공간은 좁을수록 바람직한데, 왜냐하면 자기 저항을 감소시킬 수 있고 이에 따라 상기 작업 공간의 공간의 자기장 세기를 증가시켜 브레이크 토크를 증가시킬 수 있기 때문이다.
- [0037] 일 실시예로써, 제조과정에서 실제적인 제작 가능성 및 자기장 세기 등을 고려하여 작업 공간의 실질적인 폭은 0.5 내지 2.0mm 사이가 될 수 있다.
- [0038] 일 실시예로써, N 개의 메인디스크(6) 및 서브디스크(7)을 갖춘 변속부(1)는 로커(5)에 의해 입력축(3)과 맞물려 설치된다.
- [0039] 일 실시예로써, 상기 로커(5)는 12 개의 체결나사(4)에 의해 입력축(3)과 연결된다.
- [0040] 고정부재는 하우징(2)을 포함하며, 커넥션볼트(18)에 의하여 지지 구조물(미도시)에 고정된다.
- [0041] 입력축(3)의 양측에 형성된 베어링결합부(8,10)에 각각 베어링(15,28)이 설치되고, 입력축(3)과 상기 고정 부재 사이에 구비되며, 베어링결합부(8)에 리테이너링(9)을 결합하여 베어링(28)을 고정한다.
- [0042] 또한, 상기 자기코일(22)은 자기장을 생성하며, 격리링(23)은 자기장 누설을 막고, 상기 자기유변유체가 자기코일 영역으로 이동할 수 없도록 오링(19,24)이 결합되어 구성된다.
- [0043] 일 실시예로서, 2 개의 브레이크스테이터(27) 사이에 스페이서(26)가 구비될 수 있으며, 상기 스페이서(26)의 폭은 4.5mm일 수 있다.
- [0044] 그리고, 제1케이스(21)와 제2케이스(32) 사이의 브레이크스테이터(27)는 롤러(25)에 의해 상기 고정 부재와 결합하여 고정된다.
- [0045] 상기 하우징(2)은 제1케이스(21) 및 제2케이스(32)를 포함할 수 있으며, 상기 제1,2케이스(21,32)를 포함하는 상기 고정부재는 연결볼트(18)에 의해 상기 지지 구조물에 고정될 수 있다.
- [0046] 상기 베어링(15,28)은 입력축(3)이 빠르게 회전 할 때 상기 자기유변유체의 누출을 보호 할 수 있는 탄성중합체 실(14, elastomer seal)을 반경 방향으로 지지하는 실을 포함한다.
- [0047] 상기 실은 제2케이스(32)에 고정된 실커버(12)에 장착되는 것으로 커버볼트(13)에 의해 고정되고, 상기 베어링커버(29)는 베어링(28)을 보호하는 것이며 제1케이스(21)에 장착된다. 오링(16,30)은 상기 자기유변유체의 외부 누출을 방지한다.
- [0048] 한편, 상기 자기유변유체는 제2케이스(32) 내의 유체충전구멍(17)을 통해 브레이크 내로 충전된다.
- [0049] 로터리디스크(36)는 입력축(3)과 함께 회전가능하도록 결합되기 위한 스플라인을 포함할 수 있다.
- [0050] 상기 로터리디스크(36)의 돌출부, 바람직하게는 반복되는 파형의 돌출부는 자기유변유체를 다수의 국지 자기유체 존으로 분리시키며, 상기 국지 자기유체 존에서는 자기장이 종래보다 더 집중되어 결과적으로 더 큰 브레이크 토크를 발생시킬 수 있다.
- [0051] 상기 브레이크스테이터(27)는 고정홈(33)을 통해 롤러(25)에 의해 고정됨으로써 회전하지 않도록 고정된다.
- [0052] 상기 브레이크스테이터(27) 및 로터리 디스크(36)는 규소강으로 제조될 수 있으며 코어 손실을 줄이고 자기장 밀도를 높여 전체 시스템의 효율성을 높이는 데 기여한다.
- [0053] 본 발명에 따른 MR 브레이크 장치는 위와 같은 구성을 통하여 1000Nm 이상의 고토크 MR 브레이크 구현이 가능하다.
- [0054] 일 실시예로써 상기 자기코일(22) 직경 1mm의 구리 와이어가 1600번 권선을 하여 구성될 수 있으며 이 경우 전체 저항은 37.2Ω정도가 된다.

[0055] 본 발명의 작동원리로는 자기코일(22)에 전류가 인가되지 않을때, 자기유변유체는 자유롭게 유동하는 상태에 있다가 일단 입력 전류가 코일에 인가되면, 공간에 자기장이 발생하고, MR 입자는 모여서 자기장 방향으로 많은 입자 체인을 형성한다.

[0056] 한편, 인접한 입자 사슬 사이의 상호 인력은 제어 가능한 항복 응력을 제공하는 주상 또는 망상 구조의 형성을 유도한다.

[0057] 상기 로터리디스크(36)와 브레이크스테이터(26)가 결합된 상태에서 MR 브레이크 장치가 작동하므로 인가 된 전류를 조절함으로써 자기장을 변화시킬 수 있고, 브레이크 토크를 지속적으로 조정가능하다.

[0058] 본 발명의 MR 브레이크 장치에 관한 작동 이론으로써, MR 브레이크 장치에서 사용되는 자기유변유체의 기계적 응답은 Bingham 유체 방정식을 사용하여 모델링될 수 있다.

$$[0059] \tau = \tau_{yd} + \eta \frac{\omega r}{h} \tau = \tau_{yd} + \eta \frac{\omega r}{h} \quad (1)$$

[0060] 여기서, τ 는 자기유변유체의 전단 응력, τ_{yd} 는 자기유변유체의 항복 전단 응력, η 는 자기유변유체의 점도, ω 는 디스크 브레이크의 각속도, r 은 브레이크 반경, h 는 하우징과 디스크 사이의 폭을 의미하며,

[0061] MR 브레이크 장치 구성은 h 가 토크 암으로서 작용하게 되고, 이러한 구성을 위해 자기유변유체에 의해 생성된 제동 토크는

$$[0062] T = 2FhT = 2Fh \quad (2)$$

[0063] 여기서, F 는 마찰력 ($F =$ 전단 응력 $\times$ 면적)이고, 상기 마찰력은 아래와 같은데,

$$[0064] F = \int_{r_1}^{r_2} \tau 2\pi r dr \quad F = \int_{r_1}^{r_2} \tau 2\pi r dr \quad (3)$$

[0065] 식 (2)에 식 (3)을 대입하면,

$$[0066] T = 2 \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r h \left(\tau_{yd} + \eta \frac{\omega r}{h} \right) dr \quad T = 2 \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r h \left(\tau_{yd} + \eta \frac{\omega r}{h} \right) dr$$

$$[0067] T = 2\pi h \tau_{yd} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi \omega (r_2^3 - r_1^3)$$

$$[0068] T = 2\pi h \tau_{yd} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi \omega (r_2^3 - r_1^3) \quad (4)$$

[0069] 가 되고, 멀티 디스크의 경우, 디스크가 n 개이면 (마찰면 = $2n$) MR 브레이크 장치의 식은 아래와 같이 된다.

$$[0070] T = 2\pi n h \tau_{yd} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi n \omega (r_2^3 - r_1^3) \quad T = 2\pi n h \tau_{yd} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi n \omega (r_2^3 - r_1^3) \quad (5)$$

[0071] 여기서 항복 응력 (τ_{yd})은 자기장 세기(H)의 함수이며 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$[0072] \tau_{yd} = \alpha_1 H^{1.5} \tau_{yd} = \alpha_1 H^{1.5} \quad (6)$$

[0073] 자기장 세기 $H = 200 \text{ kA} / \text{m}$ 에서 항복 응력의 일반적인 값 = 69 kPa 에 대해, α_1 의 값은,

$$[0074] \alpha_1 = 7.714 \cdot 10^{-4} \alpha_1 = 7.714 \cdot 10^{-4} \text{ Pa (m/A)}^{1.5}$$

[0075] 가 되고, 제어 파라미터 (전류)에 의한 항복 응력을 나타 내기 위해서는 입력 전류 I , 전자기 코일 N 의 권수 및 MR 간격 h 의 관점에서 H 를 표현할 필요가 있다. 이를 적용하면 항복 응력은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$[0076] \tau_{yd} = 7.714 \cdot 10^{-4} \left(\frac{NI}{2h} \right)^{1.5}$$

$$[0077] \tau_{yd} = 7.714 \cdot 10^{-4} \left(\frac{NI}{2h} \right)^{1.5} \quad (7)$$

[0078] 식 (5)에 식 (7)을 대입하면, 토크의 식은 다음과 같이 된다.

[0079]
$$T = 5.454 \cdot 10^{-4} n \pi h \left(\frac{NI}{2h} \right)^{1.5} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi n \omega (r_2^3 - r_1^3)$$

[0080]
$$T = 5.454 \cdot 10^{-4} n \pi h \left(\frac{NI}{2h} \right)^{1.5} (r_2^2 - r_1^2) + \frac{4}{3} \eta \pi n \omega (r_2^3 - r_1^3) \quad (8)$$

[0082] 이상에 설명한 본 명세서 및 청구범위에 사용되는 용어 및 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 본 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

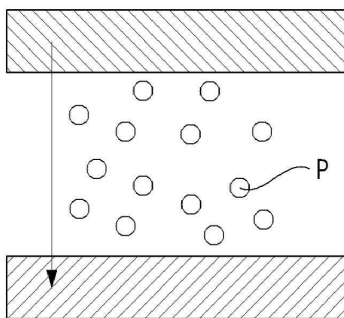
[0083] 따라서, 본 명세서에 기재된 도면 및 실시 예에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 하나의 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것이 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

부호의 설명

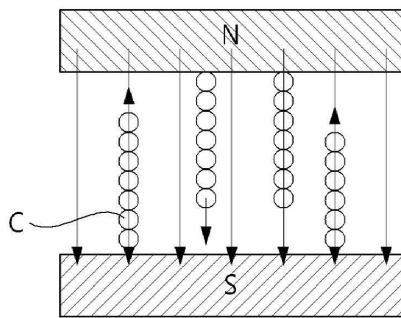
- [0085]
- 2 : 하우징
 - 3 : 입력축
 - 5 : 로커
 - 6 : 메인디스크
 - 7: 서브디스크
 - 22 : 자기코일
 - 27 : 브레이크스레이터
 - 36 : 로터리디스크

도면

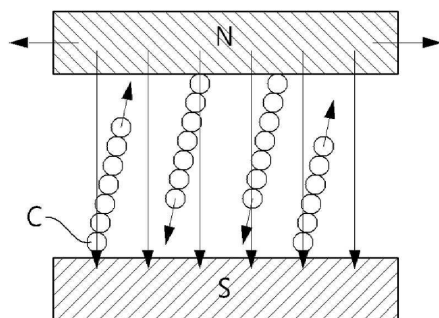
도면1a



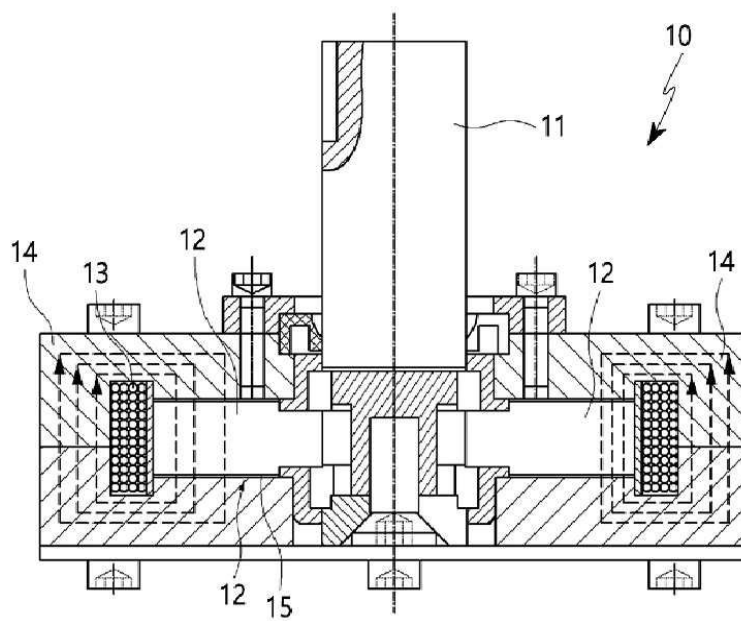
도면1b



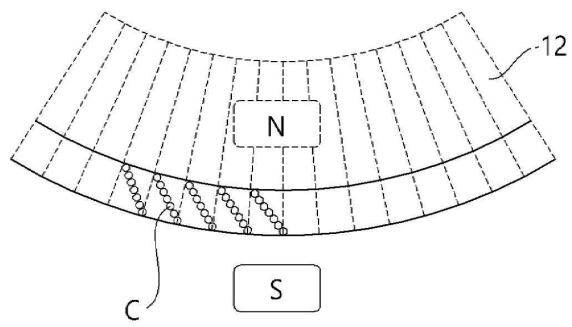
도면1c



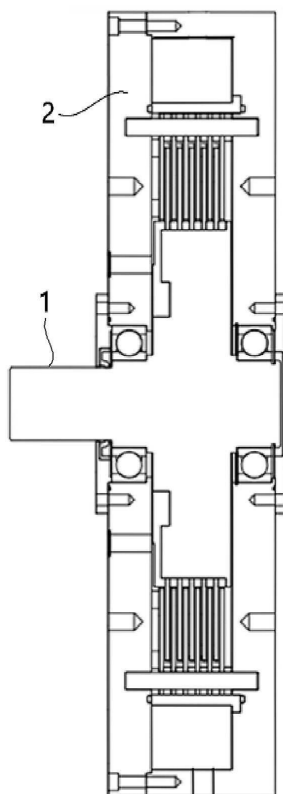
도면2



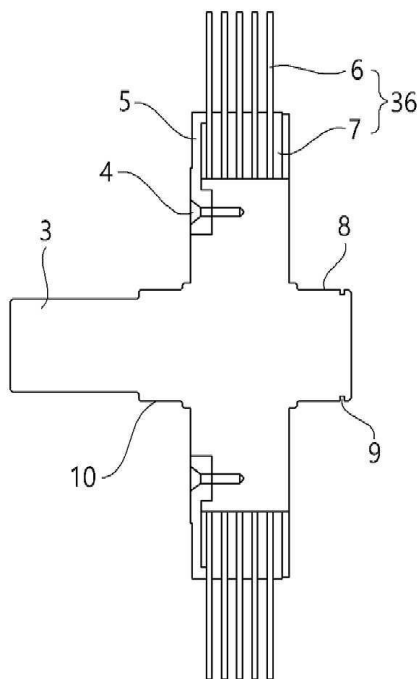
도면3



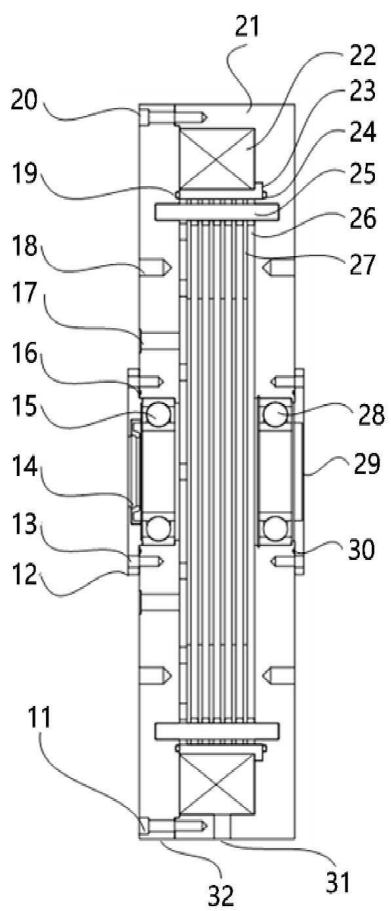
도면4



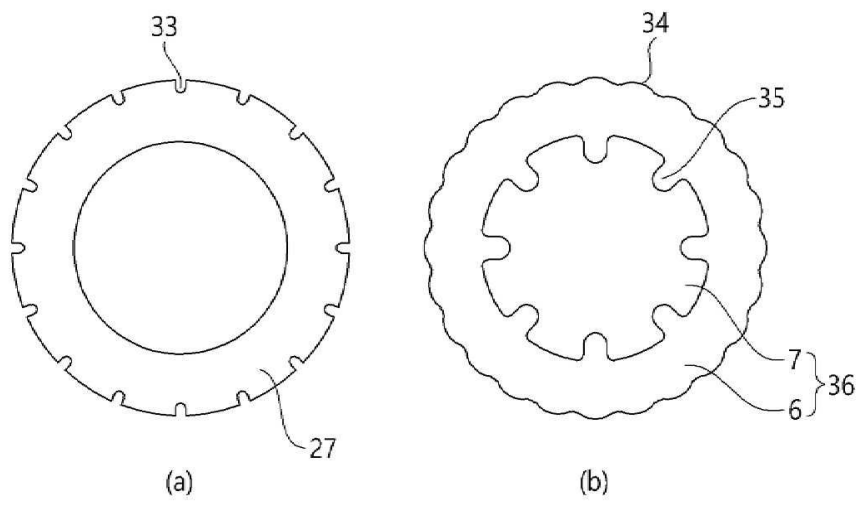
도면5



도면6



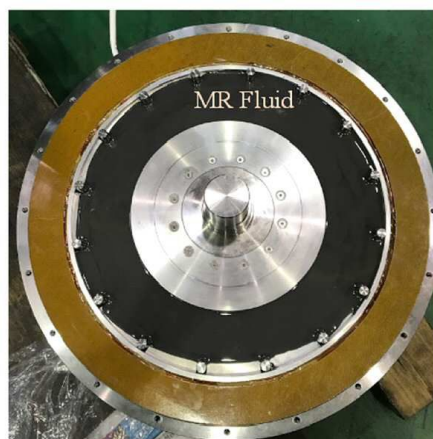
도면7



도면8



도면9



도면10

