



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0082826
(43) 공개일자 2011년07월20일

(51) Int. Cl.

F16D 57/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0002734

(22) 출원일자 2010년01월12일

심사청구일자 2010년08월18일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산 남구 무거2동 산29

(72) 발명자

안경관

울산광역시 남구 신정동 대공원 월드메르디앙 10
2동 402호

트란하이남

울산광역시 남구 무거2동 울산대학교 기린학사
103호

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 6 항

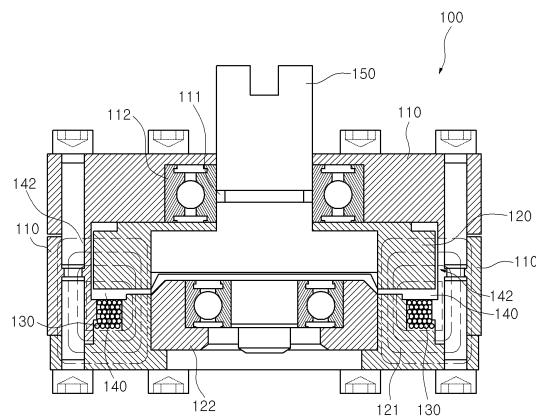
(54) 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치

(57) 요약

본 발명은, 하우징, 하우징 내부에서 회전가능하게 배치되는 로터리 디스크 및 하우징과 로터리 디스크 사이에 형성된 공간에 충전되는 자기유변유체를 포함하며, 로터리 디스크의 외주면을 따라 자계집중부가 반복적으로 형성된 브레이크 장치를 제공한다.

따라서, 로터리 디스크에 자계집중부를 형성하여 자기유변유체에 의한 제동효과를 향상시킬 수 있으며, 마그네틱 코일이 로터리 디스크의 하부에 위치하는 구조이기 때문에 컴팩트한 구성을 이룰 수 있다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

하우징;

하우징 내부에서 회전가능하게 배치되는 로터리 디스크; 및

상기 하우징과 상기 로터리 디스크 사이에 형성된 공간에 충전되는 자기유변유체를 포함하며,

상기 로터리 디스크의 외주면을 따라 자계집중부가 반복적으로 형성된 브레이크 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 자계집중부는,

상기 하우징의 내부면과 상기 로터리 디스크의 외주면 사이에 형성된 MR갭(gap)이, 상기 로터리 디스크의 원주 방향을 따라 반복적으로 증감되어 형성된 브레이크 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 하우징의 내부면은 설정 직경의 원주면을 형성하고,

상기 로터리 디스크의 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부가 반복적으로 형성되어 있는 브레이크 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 돌출부는 아크 형상을 가지는 브레이크 장치.

청구항 5

하우징;

하우징 내부에서 회전가능하게 배치되는 로터리 디스크;

상기 로터리 디스크에 축결합되며, 구동력을 전달받아 회전하는 회전축;

상기 하우징과 상기 로터리 디스크 사이에 형성된 공간에 충전되는 자기유변유체; 및

상기 로터리 디스크의 반경 방향으로 자기장을 형성하여, 상기 자기유변유체에 상기 자기장을 가하는 마그네틱 코일을 포함하고,

상기 로터리 디스크의 외주면을 따라 자계집중부가 반복적으로 형성된 브레이크 장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 마그네틱 코일은 상기 회전축의 길이 방향에 대하여 상기 로터리 디스크의 후방에 배치되어, 상기 회전축을 둘러싸도록 형성되어 있는 브레이크 장치.

명세서

기술분야

본 발명은 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 제동효율을 향상시킬 수 있는 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 일반적으로, 자기유변유체(Magneto-Rheological Fluid; MR Fluid; 자기유변유체)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.
- [0003] 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.
- [0004] 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; C)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.
- [0005] 이 때문에, 상기한 자기유변유체는 상기한 특성에 의하여 클러치, 브레이크 장치(Brake device), 척(chucking) 및 잠금장치(locking device) 등 다양한 분야에서 적용되고 있다.
- [0006] 도 2는 상기 자기유변유체를 이용한 종래의 MR 브레이크(MR Brake; 10)의 단면도이다. 도면을 참조하면, 종래의 MR 브레이크(10)는, 회전축(11)과 연결되고 하우징(14)의 내부에 회전가능하게 배치된 로터리 디스크(12)와, 하우징(14)의 내부측면과 로터리 디스크(12)의 외측면 사이에 형성된 좁은 유체 통로(16; MR gap)에 충전된 자기유변유체(15)와, 상기 로터리 디스크(12)의 외주면에 대면하도록 설치된 마그네틱 코일(13)을 포함하며, 이러한 구성의 MR 브레이크(10)는 상기 마그네틱 코일(13)에 전류를 인가하면 자기장이 형성되어 상기 유체 통로(16)의 자기유변유체(15)의 흐름을 방해함으로써 브레이크로서의 작동을 한다. 도 3은 도 2의 종래의 MR 브레이크(10)에서 자기장이 형성된 상태에서 상기 로터리 디스크(12)가 회전할 경우의 로터리 디스크(12)와 하우징(14) 내부측면 사이에 형성되는 클러스터(C)를 나타내는 도면이다.
- [0007] 한편, 상기 MR 브레이크(10)에 작용하는 제동 토크는 자기유변유체(15)가 흐르는 유체 통로(16)의 크기에 반비례하는 특성을 가지고 있다. 이 때문에 MR 브레이크(10)의 제동력을 향상시키기 위하여는 상기 자기유변유체(15)가 흐르는 상기 유체 통로(16)를 최대한 작게 형성시키는 것이 좋다.
- [0008] 하지만, 종래의 MR 브레이크(10)는 제동력을 향상시키기 위하여 상기한 유체 통로(16)를 작게 형성시키는 것이 좋다고는 하나, 상기 유체 통로(16)를 작게 하는 것은 구조적으로나 가공면에서 한계가 있기 때문에, 실제로 MR 브레이크(10)의 제동토크를 향상시키는 것은 어려운 문제점이 있었다.
- [0009] 또한, 종래의 MR 브레이크(10)는, 상기 자기유변유체(15)에 자기장을 부여하는 마그네틱 코일(13)이 상기 로터리 디스크(12)의 외주면에 설치되어 있기 때문에, 로터리 디스크(12)의 반경방향으로의 너비가 길어져 전체 크기가 커지는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은, 브레이크의 디스크 외주면에 자계집중부를 형성하여 제동효율을 향상시킬 수 있고, 콤팩트(compact)한 구성을 이룰 수 있는 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 하우징, 하우징 내부에서 회전가능하게 배치되는 로터리 디스크 및 상기 하우징과 상기 로터리 디스크 사이에 형성된 공간에 충전되는 자기유변유체를 포함하며, 상기 로터리 디스크의 외주면을 따라 자계집중부가 반복적으로 형성된 브레이크 장치를 제공한다.
- [0012] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 하우징, 하우징 내부에서 회전가능하게 배치되는 로터리 디스크, 상기 로터리 디스크에 축결합되며, 구동력을 전달받아 회전하는 회전축, 상기 하우징과 상기 로터리 디스크 사이에

형성된 공간에 충전되는 자기유변유체 및 상기 로터리 디스크의 반경 방향으로 자기장을 형성하여, 상기 자기유변유체에 상기 자기장을 가하는 마그네틱 코일을 포함하고, 상기 로터리 디스크의 외주면을 따라 자계집중부가 반복적으로 형성될 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 자계집중부는, 상기 하우징의 내부면과 상기 로터리 디스크의 외주면 사이에 형성된 MR갭(gap)이, 상기 로터리 디스크의 원주 방향을 따라 반복적으로 증감되도록 형성될 수 있다. 이때, 상기 하우징의 내부면은 설정 직경의 원주면을 형성하고, 상기 로터리 디스크의 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부가 반복적으로 형성될 수 있으며, 여기서 상기 돌출부는 아크 형상을 가질 수 있다.

[0014] 또한, 상기 마그네틱 코일은 상기 회전축의 길이 방향에 대하여 상기 로터리 디스크의 전방 또는 후방에 배치되어, 상기 회전축을 둘러싸도록 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치는, 로터리 디스크에 자계집중부를 형성하여 자기유변유체에 의한 제동효과를 향상시킬 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치는, 마그네틱 코일이 로터리 디스크의 하부에 위치하는 구조이기 때문에 컴팩트한 구성을 이룰 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 1a 내지 도 1c는 자기유변유체의 원리를 나타내는 도면이다.
 도 2는 종래의 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치를 나타내는 단면도이다.
 도 3은 도 2에 도시된 브레이크 장치에서 MR 갭에 형성되는 클러스터를 나타내는 도면이다.
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치를 나타내는 단면도이다.
 도 5a 및 도 5b는 도 4에 도시된 로터리 디스크를 나타내는 평면도와 사시도이다.
 도 6은 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 MR 갭에 형성되는 클러스터를 나타내는 도면이다.
 도 7a 내지 도 7d는 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 자계집중부를 형성시키는 패턴형상의 다양한 실시예를 나타낸 도면이다.
 도 8은 도 2 및 도 4에 도시된 브레이크 장치의 마그네틱 플럭스 밀도와 자기장의 세기에 따른 변화를 나타내는 도면이다.
 도 9는 도 4에 도시된 브레이크 장치의 수학적 모델을 보여주는 도면이다.
 도 10 및 도 11은 도 4에 도시된 브레이크 장치의 구조적인 파라미터들과 MR갭(g_1)의 구조적인 파라미터들을 보여주는 도면이다.
 도 12는 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 MR 갭에서의 자기여자와 자기영역과의 상관관계를 보여주는 그래프이다.
 도 13 및 도 14는 도 4에 도시된 브레이크 장치의 아크반경과 MR 갭과 출력토크와의 상관관계를 보여주는 그래프들이다.
 도 15는 도 4에 도시된 브레이크 장치의 히스테리시스 특성의 시뮬레이션 결과치를 나타내는 그래프들이다.
 도 16은 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 각각의 아크반경에 따른 제로 자기영역에서의 토크응답을 보여주는 그래프이다.
 도 17은 제작된 본 실시예의 브레이크 장치를 나타내는 사진이다.
 도 18 및 도 19는 본 실시예를 실험하기 위한 실험장치의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도와, 사진이다.
 도 20은 도 19의 실험장치에서 입력전압에 따른 출력전류를 나타내는 그래프이다.
 도 21은 본 실시예를 검증하기 위한 실험에서 각 전류에 따른 스텝반응을 나타내는 그래프들이다.

도 22는 입력전압에 따른 출력토크의 히스테리시스 특성 다이어그램을 나타내는 그래프이다.

도 23은 출력 토크들의 개방회로 주파수 응답들을 나타낸 그래프이다.

도 24는 본 실시예의 실험 및 시뮬레이션에 의한 히스테리시스 특성을 나타내는 그래프이다.

도 25 및 도 26은 두 개의 로터리 디스크를 갖는 브레이크 장치의 구조 및 MR갭에서의 자기영역을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

1. 실시예의 설명

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치를 나타내는 단면도이고, 도 5a 및 도 5b는 도 4에 도시된 로터리 디스크를 나타내는 평면도와 사시도이며, 도 6은 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 MR갭에 형성되는 클러스터를 나타내는 도면이다. 도 7a 내지 도 7d는 도 4에 도시된 브레이크 장치에서 자계집중부를 형성시키는 패턴형상의 다양한 실시예를 나타낸 도면이다.

먼저, 도 4를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 브레이크 장치(100)는, 하우징(110)과, 자계집중부(160)를 형성시키는 로터리 디스크(120)와, 회전축(150)과, 마그네틱 코일(130)과, 자기유변유체(140)를 포함한다.

상기 하우징(110)은, 상기 로터리 디스크(120)와, 상기 회전축(150)을 포함한 각 구성들을 수용하며, 상기한 하우징(110)은 일반적인 브레이크 장치(100)에서 하우징(110)으로서의 목적을 달성할 수 있는 범위에서 그 형상 및 구조를 변경될 수 있다.

상기 회전축(150)은 상기 로터리 디스크(120)와 축결합되며 외부로부터 구동력을 전달받아 회전한다.

상기 하우징(110)의 내부측면과 상기 로터리 디스크(120)의 외주면 사이에 형성된 공간(이하 MR갭(MR gap)이라고 한다; 142)에는 자기유변유체(140)가 충전되어 있으며, 상기 자기유변유체(140)는 상기 마그네틱 코일(130)에 의하여 생성된 자기장에 의하여 다수의 클러스터(C; 도 6참조)를 생성하여 상기 MR갭(142)에서의 자기유변유체(140)의 흐름을 방해함으로써 상기 로터리 디스크(120)의 브레이크로서의 역할을 한다. 여기서, 상기 자기유변유체(140)의 특성 및 작동에 관한 상세한 설명은 전술한 바와 같으므로 생략하기로 한다.

상기 로터리 디스크(120)는 원판형상으로 상기 하우징(110)의 내부에서 회전가능하게 배치되어 있으며, 외주면에는 자계집중부(160)를 형성시키는 형상으로 되어 있다. 여기서, 상기 자계집중부(125)는 상기 로터리 디스크(120)의 제동 시 상기 자기유변유체(140)와의 전단응력을 증대시켜 상기 로터리 디스크(120)의 제동효율을 향상시키는 역할을 한다.

상기 자계집중부(125)에 대하여 도 5a 내지 도 6을 참조하여 상세히 살펴보면, 상기 자계집중부(125)는 상기 로터리 디스크(120)의 외주면을 따라 반복적으로 이어져 형성되어 있으며, 상기 하우징(110)의 내부면과 상기 로터리 디스크(120)의 외주면 사이에 형성된 MR갭(142)이 상기 로터리 디스크(120)의 원주 방향을 따라 반복적으로 증감되어 형성되어 있다. 즉, 상기 자계집중부(160)는 상기 로터리 디스크(120)의 원주 방향을 따라 일정 형상으로 반복적으로 이어진 패턴에 의하여 형성된다.

상기 하우징(110)의 내부면은 설정 직경의 원주면을 형성하고, 상기 로터리 디스크(120)의 외주면에는 원주 방향을 따라 돌출부가 반복적으로 형성되어 있으며, 상기 돌출부의 패턴 형상은 아크(Arc)가 볼록하게 연이어 형성된 웨이브(wave)형상으로 할 수 있다.

여기서, 상기 로터리 디스크(120)의 외주면(125)이 상기 웨이브형상일 경우 MR갭(142)에서는, 자계방향을 따라 도 6에 나타난 바와 같이 클러스터(C)가 생성된다. 상기 클러스터(c)를 상세히 살펴보면, 본 실시예의 MR갭(142)에서 생성되는 클러스터(c)는, 상기 외주면(125)의 아크형상에서 볼록한 부분에 자기력선이 밀집되어 자계가 집중되는 자계집중부(160)가 형성되고, 이에 따라 상기 자계집중부(160)에서 생성되는 클러스터(c) 또한 그 당김력(drawing force)이 크게 된다. 이는, 도 3에 도시된 종래의 MR갭(142)에서 생성된 클러스터(c)와는 확연히 대비되는 생성형태 및 당김력으로서, 본 실시예의 자계집중부(125)를 형성시키는 로터리 디스크(120)를 포함하는 브레이크 장치(100)는 그 제동효과를 더욱 향상시킬 수 있다.

또한, 본 실시예는 상기 로터리 디스크(120)의 외주면(125) 형상이 웨이브 형상으로 외주면(125)과 하우징(110)의 내부면 사이의 간격(유로)이 증감하는 형태이기 때문에, 상기 로터리 디스크(120)가 회전할 시 자계집중부

(160)에서의 자기유변유체(140)의 유체흐름 저항을 높일 수 있어 향상된 제동력을 얻을 수 있다.

- [0029] 도 7a 내지 도 7d는 상기 자계집중부를 형성시키는 로터리 디스크(120)의 외주면에 형성된 패턴형상의 다양한 실시예를 나타낸 것으로서, 도면을 참조하면 상기 로터리 디스크(120)의 외주면(125)은, 도 5a 및 도 5b에 나타난 다수의 아크를 연이은 형상 외에 도 7a의 삼각형의 홈이 다수 형성된 패턴형상을 갖는 외주면(125a)과, 도 7b의 물결무늬의 웨이브 형상을 갖는 외주면(125b)과, 도 7c의 사다리꼴형의 홈이 다수 형성된 패턴형상을 갖는 외주면(125c), 도 7d와 같이 반원형의 홈이 다수 형성된 패턴형상을 갖는 외주면(125d)으로 할 수 있으며, 이는 일 실시예로서 이 외에도 상기 MR갭(142)의 크기가 변화되는 패턴형상이면 모두 가능하다.
- [0030] 한편, 본 실시예는 상기 자계집중부(125)가 디스크(120) 외주면을 따라 형성되어 있기 때문에 가공성이 용이하고 정밀도를 향상시킬 수 있다. 이러한 이유는, 로터리 디스크(120)의 형상가공에 있어서, 예를 들어 로터리 디스크(120)의 상면 또는 하면을 가공하는 경우에는 그 가공면적이 넓고 일정 패턴으로의 형상가공이 까다로울 뿐만 아니라, 또한 20 μ m 갭(gap)의 정밀도를 요하는 가공이 어려운 반면, 본 실시예와 같이 로터리 디스크(120)의 외주면을 가공하는 경우는 밀링 등을 이용하여 용이하게 형상가공을 할 수 있고, 향상된 정밀도를 이룰 수 있기 때문이다.
- [0031] 상기 마그네틱 코일(130)은, 외부로부터 전류를 인가받으면 상기 로터리 디스크(120)의 반경 방향으로 자기장을 형성하여, 상기 자기가변유체(140)에 자기장을 가하여 클러스터(c)를 형성하도록 하여 상기 로터리 디스크(120)의 제동력을 발생시키는 역할을 한다.
- [0032] 상기 마그네틱 코일(130)은, 상기 회전축(150)의 길이방향에 대하여 상기 로터리 디스크(120)의 후방에 배치되어, 상기 회전축(150)을 둘러싸도록 형성되어 있다(도 4참조). 여기서, 상기 마그네틱 코일(130)이 상기 로터리 디스크(120)의 후방에 위치하는 것은, 상기 자계집중부(125)가 상기 로터리 디스크(120)의 외주면을 따라 형성되도록 하기 위함이다. 즉, 상기 마그네틱 코일(130)이 상기 로터리 디스크(120)의 후방에 위치시킴으로써, 상기 위치의 마그네틱 코일(130)에 의하여 생성되는 자기장이 도 4에 나타난 바와 같이 형성되도록 하여 상기 로터리 디스크(120)의 외주면을 따라 형성된 상기 자계집중부(125)의 클러스터(c)를 도 6에 나타난 바와 같이 생성되도록 하기 위함이다.
- [0033] 이와 같이, 본 실시예에 따른 브레이크 장치(100)는, 마그네틱 코일(130)이 로터리 디스크(120)의 후방에 위치하고 있기 때문에, 전체 브레이크 장치(100)의 폭을 줄일 수 있어 컴팩트한 구조를 이룰 수 있다. 한편, 본 실시예에서는 상기 마그네틱 코일(130)을 로터리 디스크(120)의 후방에 위치하도록 하였으나 이는 일 실시예로서 형성되는 자기장의 방향이 상기 자계집중부(125)가 형성된 상기 로터리 디스크(120)의 외주면을 따라 형성될 수 있다면, 상기 로터리 디스크(120)의 전방에도 위치할 수 있다.
- [0034] 상기한 바와 같이, 본 실시예에 따른 브레이크 장치(100)는, 로터리 디스크(120)의 외주면에 웨이브 형상의 패턴을 형성하여 상기 자계집중부(125)를 형성함으로써, 자기유변유체(140)에 의한 제동효과를 더욱 향상시킬 수 있어 브레이크 장치(100)로서의 제동력을 향상시킬 수 있으며, 마그네틱 코일(130)을 로터리 디스크(120)의 후방에 위치하도록 하여 전체적인 구조를 컴팩트하게 할 수 있다.
- [0035] 한편, 미설명부호 111은 실링부재, 112는 볼베어링, 121은 자기부재, 122는 알루미늄으로 형성된 지지부재를 각각 나타낸다.
- [0036] 이하에서는 상기한 본 실시예에 따른 자기유변유체를 이용한 브레이크 장치를 시뮬레이션 및 실험을 실시하여, 상기 자계집중부의 효과를 검증해보았으며, 이에 대하여 도 8 내지 도 26를 참조하여 상세하게 살펴보기로 한다.
- [0037] 2. 시뮬레이션 및 실험을 통한 검증
- [0038] 2.1 기본 원리
- [0039] (1) 도입부
- [0040] 로터리 디스크(rotary disk)의 물결무늬(waveform) 경계면(boundary)이 도 6에 제안되고, 제작되었다. 상기 경계면은 실린더 형상으로부터의 동적 효과 등의 효과들을 가질 뿐만 아니라, MR 블록을 많은 개수의 국소 MR 존들(local MR zones)로 분리한다. 상기 존들은 마그네틱 폴(magnetic poles) 및 로터리 디스크의 물결무늬의

경계면에 의하여 둘러싸이고, MR 유체에 의하여 채워진다. 상기 경계면은 마그네틱 피브릴들(fibrils)의 방향을 변화시킨다. 다만, 상기 경계면은 시스템의 움직임을 방해하거나, 상기 시스템의 마그네틱 플럭스를 감소시키지 않는다. 도 8의 (b) 및 (d)를 참조하면, 상기 마그네틱 플럭스는 MR 존들에 재분배되고, 집중된다. 상기 존들에서, 자기장의 세기(magnetic field intensity, H) 및 마그네틱 플럭스 밀도(magnetic flux density)(B)는 증가하고, 방향이 변화한다. 동일한 여진기(exciter)를 이용할 경우, 상기 제안된 케이스의 자기장의 세기가 일반적인 케이스 보다 크다. 자기 효과의 도움으로 MR 존에서의 MR 유체는, 도 8의 (a) 및 (c)에 도시된 다른 케이스들보다 메인 작동 존(main working zone)에서 더 강한 장애물로서 기능한다.

[0041] 접촉된 아크 부분(arc)의 실린더 형태로 인하여, 대부분의 브레이킹 토크는 당김 운동(drawing motion) 상태에서 MR 유체의 변형 프로세스의 결과이다. 저항력은, 변형된 소재의 항복 응력과 변형 프로세스에 요구되는 외부 힘 사이의 관계를 설명하는 소성 이론(theory of plasticity)에 의하여 해석될 수 있다. 소재의 모든 변형 프로세스들의 이론은 소성 이론(J. Chakrabarty 1988, Theory of plasticity, McGraw-Hill, pp.574-587)에 상세하게 설명되어 있다.

[0042] 도 6을 참조하면, 상기 아크 부분이 상기 국소 마그네틱 존으로 이동하려면, 상기 아크 부분은 마그네틱 입자들의 연결을 끊어야 한다. 인가된 자기력장 하에서는, MR 유체의 항복 응력 및 강성 조정이 조절될 수 있다. 그러므로, MR 유체의 고체 상태를 깨는 변형 프로세스는, 브레이킹 토크가 가해진 자기장에 비례하는 동작부에서 변화 가능한 외력을 필요로 한다. 상기 아크 부분의 원통 형상 때문에, 상기 아크 부분의 표면과 동작부의 슬라이딩 면 사이의 접촉은, 동작 시 기하학적인 관계에 의하여 변화하지 않는다.

[0043] 전술한 모델을 세우기 위하여, MR 유체는 변화 가능한 항복 응력을 가지는 고체 소재로 간주된다. 상기 항복 응력은 가해진 자기장에 영향을 받으며, 변형률을 증가시키기 위해서는 에너지를 필요로 한다. 자기장이 가해지면, 당김력(drawing force)은 움직임을 생성하기 위한 임계값에 도달해야 한다. 상기 값은 단단해진 MR 존을 깨기 위해 요구되는 최소의 임계적인 힘이다. 상기 프로세스가 일어나면, 변형 응력은 상기 항복 응력에 도달하는데, 상기 항복 응력은 MR 유체의 전단 응력이다. 그러므로, 상기 프로세스의 저항력은 상기 가해진 자기장에 의하여 조절된다.

[0044] 도 9를 참조하면, 제안된 모델이 도시되어 있다. 상기 제안된 모델은 2개의 서브 모델들을 포함한다. 도 9의 (a)를 참조하면, 첫번째 서브 모델로서 변형 모델이 도시되어 있고, 도 9의 (b)를 참조하면, 두번째 서브 모델로서 유체 역학적인 모델이 도시되어 있다. 여기에서, α 는 로터리 디스크의 슬릿 각도이고, R_{arc} 는 접촉된 아크 부분의 반지름이고, ω 는 상기 디스크의 로터리 속력이고, $p(L)=0$, $P(0)=0$ 은 작동 존에서 MR 유체의 입력 및 출력 게이트이다. U_1 , U_2 는 접촉된 아크 부분과 하우징 사이의 슬라이딩 운동에서 관련된 속력이고, 2개의 서브 모델들 사이의 관련식은, $h_{min}=h_2/2$, $h_{max}=h_1/2$, $H_i=h/2$ 이다.

[0045] 도 9의 (a)를 참조하면, 첫째 서브 모델이 쉽게 세우기 위하여, 도 9의 (c)에 도시된 이중 모델이 대칭 구조로서 고려된다. 상기 축은 하우징의 마그네틱 홀로 가정되며, MR 유체는 매우 작은 탄성 뒤틀림을 가지면서 하우징과 함께 움직인다. 첫 번째 서브 모델을 생성하기 위한 이러한 프로세스는, 당김력 하에서 금속 물질의 고온 변형 프로세스에 적합하다. 도 9의 (a)에 제안된 모델은, 이 모델에서 무시된 부분들과 종합적인 가정이 제안된 모델에는 큰 영향을 줄 것이므로, 상기 소성 이론(Theory of plasticity)에서 보여지는 롤링 프로세스에 적용되는 모델에는 완전히 적합하지 않다. 그러므로, 슬랩 법(slab method, William F.Hosford, Robert M.Caddell 2007, Metal forming, Cambridge University Press, pp.85)이, 수학적 1 및 도 9의 (b)에 보이는 제안된 모델의 계산을 시작하는데 이용된다.

[0046] LM을 로터리 디스크의 아크 형태에 수직한 원형 아크라고 하고, LM을 가로지르는 중간 수평 압력(mean horizontal pressure)은 $p(N/mm^2)$ 이며, $q(N/mm^2)$ 는 L, M, $k(N/mm^2)$ 는 상기 아크 부분의 표면에서의 전단 응력이다.

[0047] 수학적 1

[0048]
$$ph + 2q(R_{arc}d\phi)\sin\phi + 2k(R_{arc}d\phi)\cos\phi = ph + d(ph)$$

[0049] 기하학적인 관계식인 $dh = 2R_{arc}\sin\phi d\phi$, 항복 조건 $q - p = (\pi/2)k$, $constant\ c = (h_2 / 2R_{arc} + 1)$ 을 이용하며, 수학적 1은 수학적 2와 같이 표현된다.

[0050] 수학식 2

$$\frac{dq}{k} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{dk}{k} + \frac{dh}{h} \right) + \frac{2R_{arc} \cos \phi d\phi}{h_2 + 2R_{arc} (1 - \cos \phi)}$$

[0052] 수학식 2는 수학식 3으로 적분되며, 여기에서 k 가 순수 전단 $\bar{k} = \tau_y(B)$ 에서의 항복 응력인 중간 값($\bar{k}(N/mm^2)$)을 가지는 것으로 가정되면, α (rad)은 유효하게 단단해진 MR 존의 각도이다.

[0053] 수학식 3

$$\begin{aligned} \frac{q}{k} = & \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \\ & + \frac{\pi}{2} \ln \left(\frac{2R_{arc}(c - \cos \alpha)}{h_2} \right) \\ & + \frac{2c}{\sqrt{(c-1)(c+1)}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{c+1}{c-1}} \tan \frac{\alpha}{2} \right) \end{aligned}$$

[0055] $T_{pro}(N/mm)$ 는, 로터리 디스크를 통하여 외력으로부터 전달되며 단위 폭 당 수평력이며, MR 존에 작용한다. 그리고, 이는 수학식 4로 표현되며, 수학식 5로 계산된다.

[0056] 수학식 4

$$T_{pro} = 2 \left(\int_0^\alpha R_{arc} q \sin \phi d\phi + \int_0^\alpha R_{arc} k \cos \phi d\phi \right)$$

[0058] 수학식 5

$$\begin{aligned} \frac{T_{pro}}{2R_{arc}k} = & \frac{q}{k} (1 - \cos \alpha) \\ & + \frac{\pi}{2} (\cos \alpha - 1) - c\alpha \\ & + \frac{\pi}{2} c \ln \left(\frac{c - \cos \alpha}{c - 1} \right) \\ & + \frac{2c^2}{\sqrt{(c-1)(c+1)}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{c+1}{c-1}} \tan \frac{\alpha}{2} \right) \end{aligned}$$

[0060] 단일 모델의 로터리 디스크에 작용하는 단위 폭 당 저항력($F_{drawing}(N/mm)$)은, T_{pro} 와 반대 방향을 가지며, 그 크기는 수학식 6과 같다.

[0061] 수학식 6

$$F_{drawing} = \frac{1}{2} T_{pro}$$

[0063] 도 9의 (d)의 둘째 서브 모델에서, 저항력의 나머지 부분은 마찰력이며, 상기 마찰력은 MR 유체가 상기 접촉된 아크 부분과의 사이에서 일어난다. 이 모델은, 상기 접촉된 아크의 단일 모델로부터 계산된다. 이러한 힘은 유체역학적인 윤활 이론(Oscar Pinkus and Beno Sternlicht 1961, Theory of hydrodynamic lubrication, McGraw-Hill, pp.5-14)으로부터 계산된다. 유체역학적인 마찰력을 계산하기 위하여, 수학적 모델이 고정 좌표 시스템 O_{1xy} 를 가지는 도 9의 (d)에 제시되어 있다. 상기 좌표 시스템은 하우징 벽에 고정되는 것으로 간주된다. 저항력 부분은 수학식 7의 일반화된 레이놀즈 방정식으로부터 시작된다.

[0064] 수학식 7

$$\nabla \cdot \left[\left(\frac{\rho y^3}{\eta} \right) \nabla p \right] = 12 \frac{\partial (\rho y)}{\partial t} + 6 \nabla \cdot (\rho y U)$$

[0065]

[0066] 슬라이더(slinder)가 일정 속력(U)을 가지고, 슬라이더 아크 모델(slinder arc model)에서 우측 방향으로 움직이는 고정된 기하학적 파라미터들(H_i, x)은 시간에 대하여 독립 변수들이다. 일정 속도 조건 및 고정 좌표 조건을 가지는 비압축성 윤활유에 대하여, 수학식 7이 수학식 8로부터 유도된다.

[0067] 수학식 8

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{H_i^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = -6U \frac{\partial H_i}{\partial x}$$

[0068]

[0069] 상기 유체역학적인 윤활 이론의 전단 윤활 이론에 근거하여, 유체 필름(fluid film) 내 속도 분포는 점성(η), 필름 형태(H_i), MR 유체 필름의 속도 및 압력 구배에 영향을 받으며, 수학식 9에 보여 진다.

[0070] 수학식 9

$$u = \frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} y(y - H_i) + \frac{y - H_i}{H_i} U$$

[0071]

[0072] 수학식 10

$$\tau = \tau_y(B) + \eta \gamma^s$$

[0073]

[0074] 여기서, B는 자기영역(magnetic field), η 는 동적 점도(dynamic viscosity), $\gamma^s = B u / B_y$ 는 변형률을 나타낸다.

[0075] 수학식 1 및 수학식 10으로부터, MR 유체 내의 전단 응력은 수학식 11과 같다. 수학식 11에는 고정 좌표 시스템($O_i x y$)이며, $U_1=0$, $U_2=U$ 이다.

[0076] 수학식 11

$$\tau = \tau_o(B) + \eta \left(\frac{1}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} (2y - H_i) + \frac{1}{H_i} (U_2 - U_1) \right)$$

[0077]

[0078] 유체의 최초 운동은 쿨롱 전단 응력($\tau_{y,s} = \tau_o(B)$)을 극복하는 것이 요구된다. 쿨롱 전단 응력은 자주 점성 전단 응력($\tau_{y,d} = \eta(\partial u / \partial y)$)보다 크다. 쿨롱 전단 응력으로부터 발생하는 유체 역학적인 저항력은 수학식 12로 표시된다.

[0079] 수학식 12

$$F_{\tau(B)} = \tau_o(B) l_{max}$$

[0080]

$$\tau_{y,d} = \eta(\partial u / \partial y)$$

[0081] 점성 전단 응력($\tau_{y,d} = \eta(\partial u / \partial y)$)에 의하여 생성된 유체 역학적 저항력은 수학식 13으로 표시된다.

[0082] 수학적식 13

$$F_{\eta} = 16\eta R_{\text{arc}} U \left[\frac{1}{\sqrt{A_1}} \tan^{-1} \left(\frac{l_{\text{max}}}{\sqrt{A_1}} \right) \right] - 12\eta R_{\text{arc}} U A \left[\frac{l_{\text{max}}}{2A_1(A_2)} + \frac{1}{2(A_1)^{3/2}} \tan^{-1} \left(\frac{l_{\text{max}}}{\sqrt{A_1}} \right) \right]$$

where

$$A = \frac{\left[\frac{l_{\text{max}}}{2A_1(A_2)} + \frac{1}{2(A_1)^{3/2}} \tan^{-1} \left(\frac{l_{\text{max}}}{\sqrt{A_1}} \right) \right]}{\left[\frac{3l_{\text{max}}}{8(A_1)^2(A_2)} + \frac{l_{\text{max}}}{4(A_1)(A_2)^2} + \frac{3}{8(A_1)^{5/2}} \tan^{-1} \left(\frac{l_{\text{max}}}{\sqrt{A_1}} \right) \right]}$$

$$A_1 = 2R_{\text{arc}} h_{\text{min}}, A_2 = 2R_{\text{arc}} h_{\text{min}} + l_{\text{max}}^2, c = \left(\frac{h_2}{2R_{\text{arc}}} + 1 \right)$$

$$h_{\text{min}} = \frac{h_2}{2}, h_{\text{max}} = \frac{h_1}{2}, l_{\text{max}} = R_{\text{arc}} \sin \alpha$$

[0083]

[0084] 일반적인 모델에서, 수학적식 14는 하나의 접촉된 아크 부분의 단위 폭 당 일반적인 저항력을 표시하며, 수학적식 14는 수학적식 7, 12 및 13의 저항력들의 합이다. 여기에서는, 실링 마찰, 베어링 마찰 등과 같은 기계적 마찰의 효과가 제외된다.

[0085] 수학적식 14

$$F_{2\text{prop}} = F_{\text{drawing}} + F_{\tau(B)} + F_{\eta}$$

[0086]

[0087] 일반적인 MR 브레이크에서는, 로터리 속력이 ω (rad/s)이고, MR 갭이 g (mm)이고, 로터리 디스크의 반지름이 r 일 경우, 상기 저항력은 수학적식 15에 제시된 전단 응력을 가지는 평행 슬라이딩 플레이트들의 유체역학적 프로세스의 결과이다.

[0088] 수학적식 15

$$\tau = \tau_0(B) + \eta \frac{10\omega}{g}$$

[0089]

[0090] 2-2. 시뮬레이션 및 실험을 위한 MR 브레이크의 설계

[0091] 제안된 모델의 파라미터들을 찾기 위하여, MR 브레이크의 구체적인 구조가 도 4에 도시되어 있다. 이러한 구조에서, 일반적인 로터리 디스크 역시 동일한 MR 갭, 소재 및 마그네틱 여진기를 가진다. 기하학적인 파라미터들은 도 10에 도시되어 있다. 마그네틱 여진기에 대한 허용 응력의 관계는 도 10에 도시되어 있다. 이러한 구조에서는, 제1갭(g_1) 및 제2갭(g_2)에서 2개의 작동 위치들은 MR 유체들을 가진다. 상기 제1갭(g_1) 내의 MR 유체의 작용은, 상기 제2갭(g_2)을 제외하고는 일반적인 MR 브레이크 구조 및 제안된 MR 브레이크 구조에서 모두 동일하다.

[0092] 상기 제1갭(g_1) (mm)에서, 상기 프로세스는 일반적인 MR 존과 같이 작동한다. 일반적인 저항 토크(T_1)는 수학적식 16f로 표현된다. 이 수학적식은 수학적식 1로부터 도출되는데, 요소 힘(dF_1)은 수학적식 16a 내지 수학적식 16f로부터 표현되는 직접 전단(direct-shear) 장치에 의하여 도출된다. 도 11을 참조하면, 상기 요소 힘(dF_1)은 속력 U 의 방향을 가진다. 수학적식 16a의 2개의 서브 요소들은, 갭(g)이 g_1 일 경우, 수학적식 15의 허용 응력의 작용으로부터 도출된다.

[0093] 수학적식 16a

$$dF_1 = dF_{1r} + dF_{1\theta}$$

[0094]

[0095] 수학적식 16b

$$dF_1 = \tau_{y1}(H) dA + \eta \frac{U}{g_1} dA$$

[0096]

[0097] 여기에서, dA는 마그네틱 폴의 면적이고, dA=drdL, dr 및 dL은 각각 마그네틱 폴의 기하학적 단위를 가지며, dL=r dθ 및 U는 반지름 r에서의 점(point)의 속력이고, U=ω r, r은 MR 폴들의 반지름이고, r∈[r₁, r₃]은 도 7에 도시되어 있으며, τ_{y1}(H)은 자기장(H)의 결과로서 제1갭(g₁)에서의 스태틱 일드(static yield)이다.

[0098] 요소 힘(dF₁)에 의하여 생성된 브레이킹 요소 토크(dT₁)는 수학적식 16c 및 수학적식 16d로 표현된다.

[0099] 수학적식 16c

$$dT_1 = r dF_1$$

[0100]

[0101] 수학적식 16d

$$dT_1 = \tau_{y1}(H)(rdr)(rd\theta) + \eta \frac{\omega r}{g_1}(rdr)(rd\theta)$$

[0102]

[0103] 한 쌍의 움직이는 요소들의 계산된 토크는 수학적식 16e로 표현된 상기 요소 토크의 이중 적분값이다. 최종 결과가 수학적식 16f에 나와 있다.

[0104] 수학적식 16e

$$T_1 = \int_{r_1}^{r_3} \int_0^{2\pi} (\tau_{y1}(H) r^2) dr d\theta + \int_{r_1}^{r_3} \int_0^{2\pi} \left(\eta \frac{\omega}{g_1} r^3 \right) dr d\theta$$

[0105]

[0106] 수학적식 16f

$$T_1 = \frac{2\pi}{3} \tau_{y1}(H) (r_3^3 - r_1^3) + \frac{\pi \omega \eta}{2 g_1} (r_3^4 - r_1^4)$$

[0107]

[0108] 이러한 계산된 토크는, 레어스태틱 베어링(rheostatic bearing)의 이론으로부터 문헌 15의 수학적식 (13-23)에도 유사하게 나와 있다.

[0109] 제2갭(g₂)에서, 일반적인 저항 토크는 2가지 방법으로 표현되며, 상기 갭에서 전단 허용 응력(τ_{y2})(H)은 자기장(H)의 결과에 영향 받는다. 제1방법은, 수학적식 17과 같은 일반적인 로터리 디스크의 방법을 이용하는 것이며, 도 7의 T_{2conv}로 표현된다. 제2방법은, 수학적식 18에 표현된 제안된 로터리 디스크의 방법을 이용하는 것이며, 상기 접촉된 아크 부분의 폭(w_{arc}; mm)에 대한 T_{2prop}, 상기 아크 부분의 개수(N_{arc}) 및 상기 아크 부분의 폭의 유효 계수(ξ_{arc})로 표시된다. 상기 아크 부분의 폭의 유효 계수(ξ_{arc})는 자기장 하에서 폭 방향을 따르는 MR 존 내에서 굳은 MR 유체의 백분율이며, 이는 저항력으로 작용한다. 본 실시예에서, 상기 아크 부분의 폭의 유효 계수(ξ_{arc})는 샘플 값으로 한다.

[0110] 수학적식 17

$$T_{2conv} = 2\pi r_7^2 (1_6 - 1_4) \tau_{y2}(H) + 2\pi \frac{\omega \eta}{g_2} r_7^3 (1_6 - 1_4)$$

[0111]

[0112] 수학적식 18

$$T_{2prop} = \frac{1}{2} \mu_0 W_{arc} N_{arc} r_7 F_{2prop}$$

[0114] 일반적인 MR 브레이크 및 제안된 MR 브레이크에서 상기 제안된 구조에 대한 총 출력 토크는 수학적식 19 및 수학적식 20으로 표시된다. 이는, 수학적식 16f와 수학적식 17, 수학적식 16f와 수학적식 18을 함께 풀 결과이다.

[0115] 수학적식 19

$$T_{cor} = T_1 + T_{2cor}$$

[0117] 수학적식 20

$$T_{prop} = T_1 + T_{2prop}$$

[0119] 제1갭(g_1) 및 제2갭(g_2)에서 수학적식 19 및 수학적식 20에 포함된 텀(term)으로 이용된 전단 허용 응력들(τ_{y1} , τ_{y2})(H)을 결정하기 위하여, ANSYS 소프트웨어가 도 4에서 이용되었다. MR 갭에서 마그네틱 여진기(NI) 및 자기장 사이의 관계는 도 9에 보인다.

[0120] 수학적식 19 및 수학적식 20에서의 계산된 토크들은 도 4에 도시된 구조에만 적합하다. 다른 구조를 가지는 로터리 디스크에는 계산 과정이 적합하도록 변화되어야 한다.

[0121] 2-3. 시뮬레이션

[0122] 시뮬레이션을 위하여, 여진기는 2A, 180회전(turns)을 가지며, 상기 접촉된 아크 부분은 4 내지 7mm(R4, R7)로 변화하는 것으로 가정한다. 도 8에서, 제안된 MR 브레이크의 제2갭(g_2)을 통한 자기장의 세기(H)는, 도 8c 및 도 8d에 도시된 동일한 마그네틱 여진기(NI)를 가지는 일반적인 MR 브레이크에 비하여 큰 값을 가진다. 도 8b에서의 자기장(B)의 형태는, 자기 입자들 체인(magnetic particles chain)의 방향이 변화하는 것을 보여준다. 그러므로, 이 갭에서 MR 유체의 작용은 일반적인 MR 갭에서의 작용과 상이하다. 비록 제1갭(g_1)은 일반적인 MR 브레이크와 제안된 MR 브레이크에서 동일하지만, 제안된 구조에서 제1갭(g_1)의 자기장의 세기(H)는 감소한다.

[0123] 출력 토크에서의 상기 아크 반지름의 영향이 도 13에 도시되어 있다. 상기 결과는 출력 토크가 상기 아크 반지름이 증가함에 따라 증가한다는 것을 보여준다.

[0124] 출력 토크에서 MR 갭($g_2=h_{min}$)의 영향이 도 14에 도시되어 있다. 출력 토크는 상기 갭의 크기가 증가함에 따라 감소한다. MR 유체가 쉽게 상기 갭(g_2)로 움직일 수 있으며, MR 블록을 압축하는 능력은 감소하며, 상기 갭을 통한 자기장 역시 감소한다.

[0125] 마그네틱 여진기가 0 내지 360 [A turns]로 변화할 때, 도 15는 상기 아크 반지름의 전체 영향, MR 갭의 크기 및 유효 계수 등과 같은 결과를 보여준다. 이러한 시뮬레이션 결과는, 입력 전류에 대한 출력 토크 반응의 형태이다. 이러한 결과들은, 제안된 MR 모델의 저항 토크가 일반적인 MR 브레이크의 저항 토크에 비하여 큰 값을 보여준다. 상기 반지름의 변화[4; 7], MR 갭(g_2)의 변화 [0.15; 0.2] 및 로터리 디스크에 대한 폭의 유효 비율에 대하여, 상기 제안된 케이스에서의 출력 토크는 '-o-'선으로 표시되고, 일반적인 케이스는 '-x-'선으로 표시되는데, 상기 제안된 케이스에서의 값이 더 크다.

[0126] 자기장이 거의 영(0.01A)일 때, 상기 제안된 MR 브레이크에서 생성된 토크는, 도 16에 도시된 바와 같이, 일반적인 MR 브레이크 보다 크다. 이러한 토크는 상기 접촉된 아크의 기하적인 구조뿐만 아니라 MR 유체의 점성 특성의 결과이다. 이러한 특징은 멀티-로터리 디스크(multi-rotary disks)를 사용하는 일반적인 MR 브레이크에서도 유사하다. 많은 로터리 디스크를 사용하기 때문에, 멀티-디스크 구조에서 생성된 토크는 자기장이 없는 최초 구조에서의 토크보다 크다. 이 토크는 로터리 디스크들의 개수에 직접 비례한다. 이러한 종류의 MR 브레이크들은 큰 토크가 요구되는 대형 시스템에서 사용되는데 적합하다. 그러므로, 최초 토크는 무시될 수 있다. 이러한 토크는 상기 접촉된 아크 부분의 반지름에 직접 비례한다. 왜냐하면, 상기 반지름의 크기는, 마그네틱

폴 체인이 잡아당겨진 상태에서부터 압축된 상태로 변화하는데 영향을 주기 때문이다.

[0127] 2-4 실험

[0128] (1) 실험 시스템

[0129] 비교예와 실시예1 및 실시예2의 세가지 타입의 로터리 디스크를 제작하여 실험하였으며, 비교예와 실시예1 및 실시예2에 사용된 로터리디스크와 하부하우징의 재질은 구입 및 제작이 용이한 탄소강(SS400)을 사용하였다.

[0130] 여기서, 비교예의 로터리디스크는 일반적인 로터리디스크를 적용하였고, 실시예1 및 실시예2는 외주측면에 자계 집중부가 형성되어 있는 로터리디스크를 적용하였으며, 상세하게는, 실시예1의 자계집중부의 아크반경은 4mm이고, 실시예2의 자계집중부의 아크반경은 7mm이다.

[0131] 한편, 로터리 로드는 스텐레스 강으로 이루어지고, 로터리디스크와는 아크용접에 의하여 결합된다. 표 1은 본 실시예의 브레이크 장치의 각 구성에 대한 파라미터들을 나타낸 표이다.

표 1

[0132]

	Parameters	Note	Value	Unit
1	Number of arcs	N_{arc}	24	
2	The magnetic exciter		180	turns
3	Copper wire diameter		0.3	mm ²
4	The first gap size the same for both of cases	g_1	0.8	mm
5	The second gap size of conventional case	g_2	0.15	mm
6	The second gap size of proposed case	h_{min}	0.15	mm
7	MR Fluid		MRF132	

[0133] MR 브레이크 여진기(exciter)의 전류를 제어하기 위하여 PCI-1711 다기능 카드를 사용하였고, LORD Wonder Box Device Controller Kit의 전류증폭기를 사용하였다. 기어비 1/20의 AC 서보모터를 통하여 동력을 공급받았으며, 필터와 증폭기로부터 신호를 받은 토크변환의 토크신호는 PCI-1711카드에 저장된다.

[0134] 도 18은 본 실시예에 따른 실험장치의 구성을 개략적으로 나타낸 블록도이고, 도 19는 본 실험시스템의 사진이다.

[0135] (2) 실험

[0136] ① 전류변화에 관한 스텝 반응(step responses)

[0137] 도 21은 0.25, 0.62, 1.0, 1.36, 1.73, 2.0의 각각의 입력토크에 대한 출력토크의 스텝 반응(step responses)을 보여주는 그래프다. 동일한 외부자기영역에서 MR브레이크(실시예1, 실시예2)의 생성토크는 일반적인 MR 브레이크(비교예)에 비하여 약 6배로 상당히 크게 나타났음을 알 수 있다. 나아가, 실시예2의 토크는 실시예1의 토크보다 더 크게 나타났다.

[0138] ② 출력토크 특성

[0139] a. 히스테리시스 특성

[0140] 도22(a)를 참조하면, 출력토크의 히스테리시스 특성을 조사하기 위하여, 입력되는 전압값을 0.0에서 최대값까지 선형적으로 증가 및 감소시켰으며, 이러한 전압값은 0.8, 1.6, 2.5, 3.3, 4.5, 5.0볼트로 각각 적용하였다. 또한, 이때, 전압 제어는 0~2.0A의 컨트롤러 키트에 의해 전류로 변환되었다.

[0141] 도 22(b)는 비교예, 도22(c)는 실시예1, 도22(d)는 실시예2의 입력되는 전압값에 대한 출력토크값을 나타낸 그래프이다. 실시예의 경우, 섹션3의 시뮬레이션 결과치와 그 곡선형상이 유사하게 나왔으며, 그래프 22(c) 및 22(d)를 참조하면 아크의 반경이 증가할 때 증가하는 곡선은 우측으로 이동하였다. 따라서, 설계상에 있어서 중

요한 포인트는 결정되는 아크의 반경이라는 것을 알 수 있다.

[0142] b. 신호응답

[0143] 실시예1 및 실시예2의 토크의 개방회로 주파수 응답을 비교하기 위하여, 입력전압은 수학적 21을 적용하였다. 도 22는 비교예(a), 실험예1(b) 및 실험예2(c)의 각각 다른 주파수에 따른 입력전압값에 따른 출력토크를 나타낸 그래프이다. 그래프에서, 상기한 토크의 진폭들은 신호가 증가함에 따라 빠르게 감소하였다.

[0144] 수학적 21

[0145]
$$V = 2.5 + 2.5 \sin \omega t$$

[0146] (3) 검증

[0147] 시뮬레이션과 실험에서 동일한 입력 여진기들은 0 to 2A까지 다양하게 고려되었다. 시뮬레이션에서는, 여진기들은 NI(Amp Turn)이고, NI는 자기코일의 입력전류와 감김횟수(warp numbers)에 의하여 계산된다. 실험에서는, 동일한 자기코일을 사용하고, 입력전류는 LORD Wonder Boxtm Device Controller Kit(RD-3002-03)을 통하여 컨트롤 신호(볼트)로부터 전환된다(도20 및 도 22(a)참조). 도24의 그래프를 참조하면, 시뮬레이션과 실험에서의 각각 다른 종류의 입력여진자들은 출력토크에 대하여 동일한 작용을 하는 것으로 보인다.

[0148] 도21을 참조하면, 스텝 반응은 응답시간이 거의 같을 때 실험예에 따른 MR브레이크의 출력토크가 비교예에 비하여 6배이상 더 크다는 것을 분명하게 보여준다. 자기영역이 아닐 경우, 출력토크는 로터리디스크의 기하학적인 구조와 자기유변유체의 점성특성에 기인하여 마찬가지로 증가한다.

[0149] 도 24는 실시예1 및 실시예2의 MR 브레이크의 히스테리시스 특성을 나타낸 그래프로서, (a)는 시뮬레이션의 경우이고 (b)의 경우는 실험인 경우이다. 그래프를 참조하면, 시뮬레이션과 실험에서의 히스테리시스 특성 곡선들은 비슷한 형상을 갖고 있다. 도 24(b)를 살펴보면, 실험치는 잔존자기영역(remained magnetic field)이 존재한다는 것을 가리키며, 이것은 실험모델에서는 무시된다. 이러한 잔존 영역(remained field)은 컨트롤러의 설계에 중요한 인자이며, 마그네틱 재질을 결정짓는 중요한 인자이다. 여기서, 상기 마그네틱 재질은 MR 브레이크의 작은 입력 여자(exciter)와 응답시간을 갖는 강한 항복응력을 결정짓는다. 여기서, 실제로는 로터리 디스크 폭의 효과적인 비율은 정확히 알 수는 없으며, 환경에 대한 마그네틱 필드의 손실(lost)도 나타날 수 있다.

[0150] 여기서는, S1010강이 MR갭에서의 항복응력 영역을 알아내기 위한 시뮬레이션에 사용되었고, 실제 적용하는 실험재료는 SS400강이 브레이크 제조에 사용되었다. 때문에, 시뮬레이션결과와 실험결과를 비교했을 때, 도 24(a)와 24(b)에 나타난 바와 같이, 출력토크에 있어서 작은 차이가 존재한다. 이러한 이유는 각각의 재질의 자성(magnetization)을 좌우하는 마그네틱 재질이 다르기 때문이다. 즉, S1010강은 SS400강보다는 연질이기(softer) 때문에, S1010은 SS400보다 쉽게 자기를 띄게 하거나 자기를 없앨 수 있고, 이러한 점은, 동일한 입력전류에 있어서, 시뮬레이션에서의 토크는 실험에서의 토크보다 크게 나타났다. 이러한 이유는 이용된 여진기(exciter)가 동일할 때 S1010의 자기영역이 SS400의 경우보다 더 좋기 때문이다. 어쨌든, 상기한 결과로 나온 형상들은 동일하며, 수학적 모델에 있어서 자기 히스테리시스는 포함되지 않는다.

[0151] 기하학적인 구성으로부터, 자기유변유체의 자성 입자들에 의한 마찰에 따른 마모문제가 나타날 수 있다. 그러나, 미네랄오일 또는 실리콘오일의 윤활환경에서 1~10 μ m의 크기를 가지는 입자들에 의한 마모는 무시할 수 있다.

[0152] 제안된 구조를 통하여, 자기영역은 갭(gap) g1에서 감소하고 갭(gap) g2에서는 증가하는 변화를 보인다. 이러한 변화는 구조적으로 작고 가벼운 것으로 만들어진 자기코일의 코어 재질에 따라 감소할 수 있다. 요구되는 토크가 클 경우, 로터리 디스크의 직경을 증가시키는 것이 토크를 증가시키기에 가능한 방법이며, 이러한 것은 여자의 디자인에 어려움이 있을 때 비교예에 따른 MR브레이크의 경우에도 고려될 수 있다.

[0153] 실제 설계에서는, 도 25에 나타난 바와 같이, 마그네틱 코일이 양측으로 있고 두 개의 로터리 디스크를 사용했는데, 이러한 이유는 토크는 비슷한 하중을 가졌을 때 싱글 디스크 케이스 보다 더 크게 증가할 수 있기 때문이다. 도 25는 두 개의 제안된 로터리 디스크를 갖는 MR 브레이크의 구조를 개략적으로 나타낸 단면도이고, 도 26은 Maxwell 3D 소프트웨어를 사용하여 도 25의 MR 브레이크의 MR 갭에서의 자기 영역 H를 나타낸 도면이다.

표 2

[0154]

Quantity	Value	Units
l_1	0.8	mm
l_2	0.3	mm
R_{disk}	45	mm
R_{arc}	36.6	mm
N_{arc}	10	
ξ_{arc}	0.8	
w_{arc}	10	mm
NI	300	Amp Turns
Single output torque	80	Nm
Double output torque	160	Nm

[0155]

2-5 결론

[0156]

상기한 바에 의하여, 본 출원인은 로터리 디스크의 웨이브폼 경계를 구체화하여 자계집중부를 형성한 디자인의 MR브레이크를 제안하고 제조하였으며, 동일한 입력조건하에서 비교예와 실시예를 비교해 보았을 때 실시예는 비교예와 비교하여 향상된 결과들을 얻을 수 있었음을 검증할 수 있다. 상세하게는, 본 실시예에 의한 로터리 디스크는, 비교예와 비교하여 발생하는 제동토크가 약 600%정도 향상되었음을 알 수 있다.

[0157]

본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

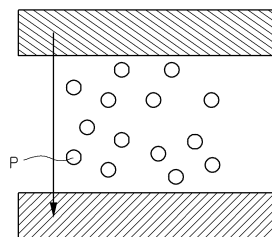
부호의 설명

[0158]

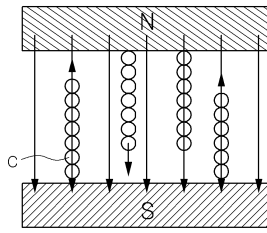
100... 브레이크 장치	110... 하우징
120... 로터리 디스크	130... 마그네틱 코일
140... 자기유변유체	150... 회전축
160... 자계집중부	

도면

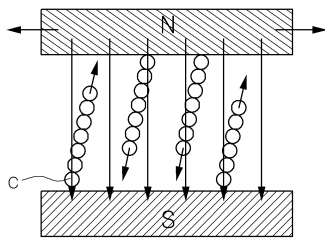
도면1a



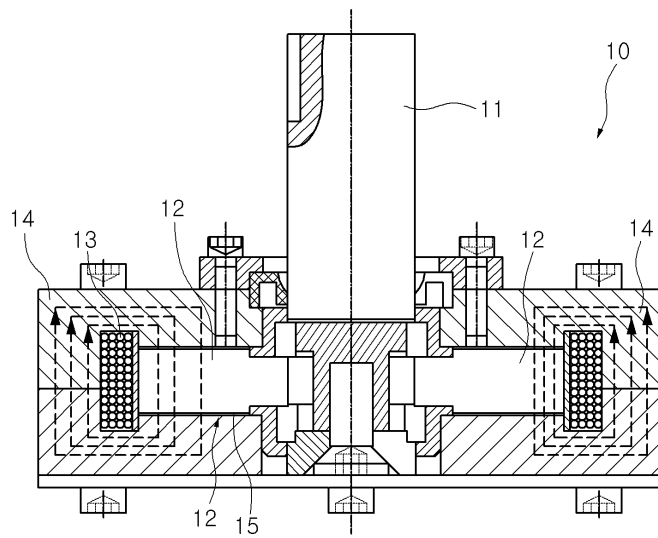
도면1b



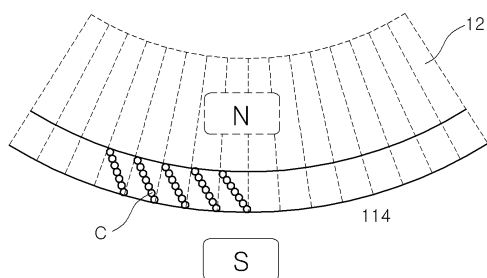
도면1c



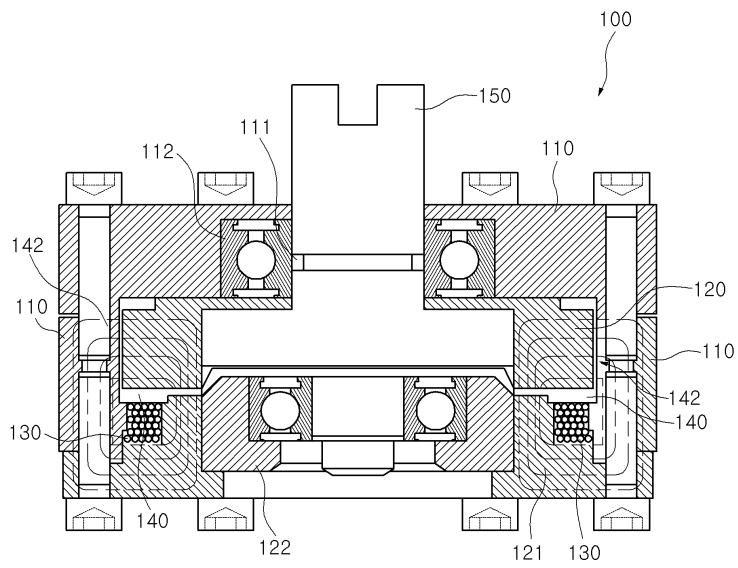
도면2



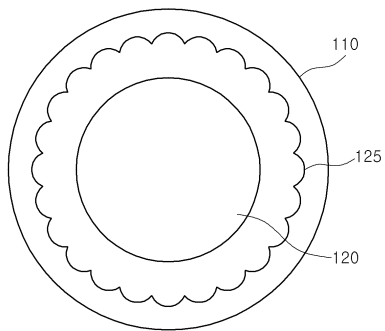
도면3



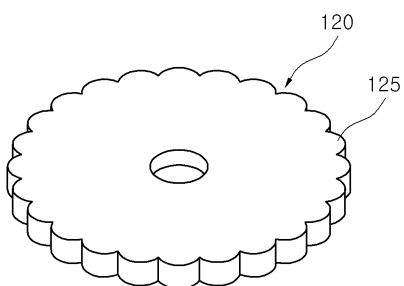
도면4



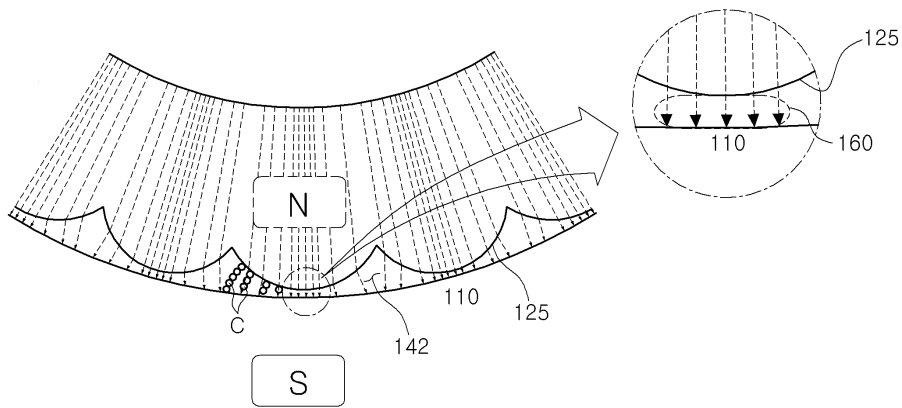
도면5a



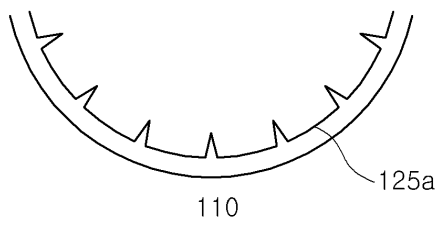
도면5b



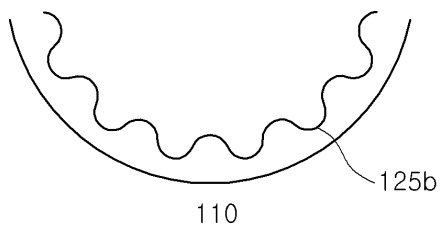
도면6



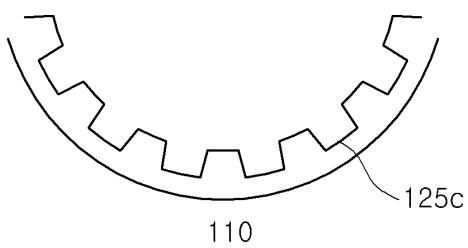
도면7a



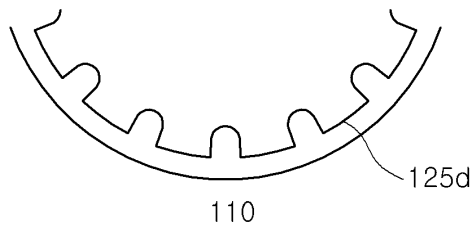
도면7b



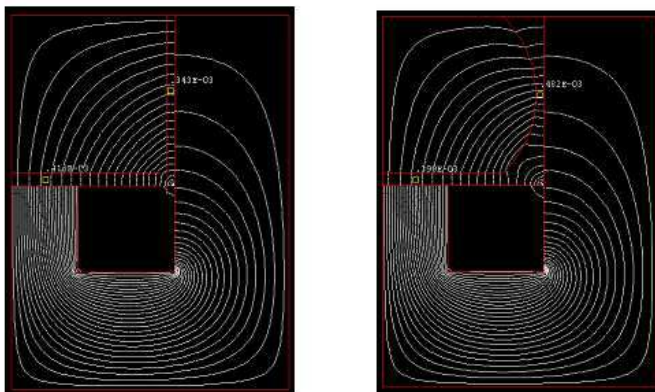
도면7c



도면7d

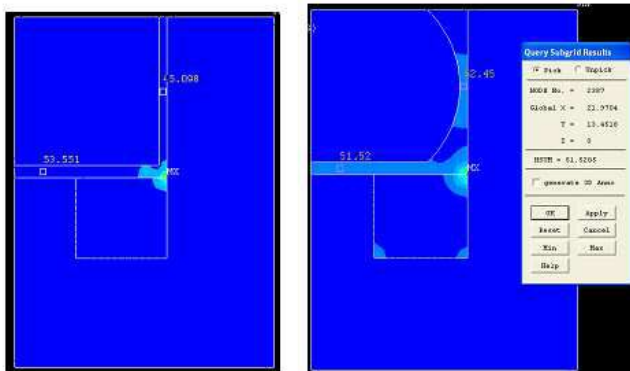


도면8



(a)

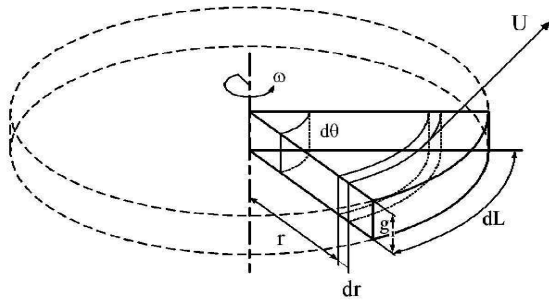
(b)



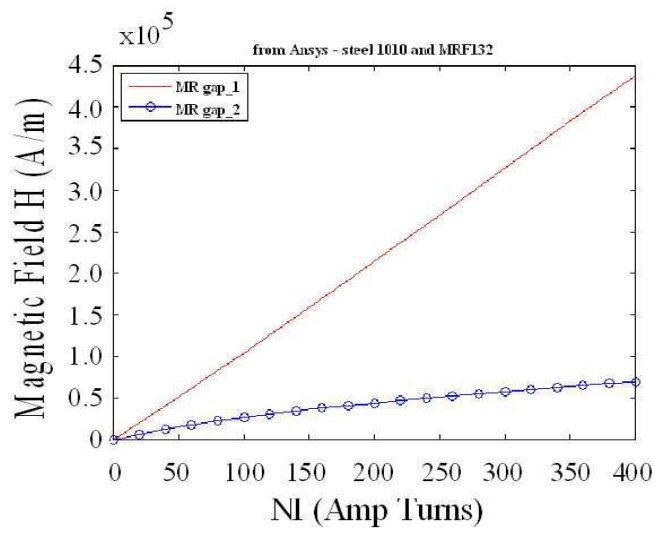
(c)

(d)

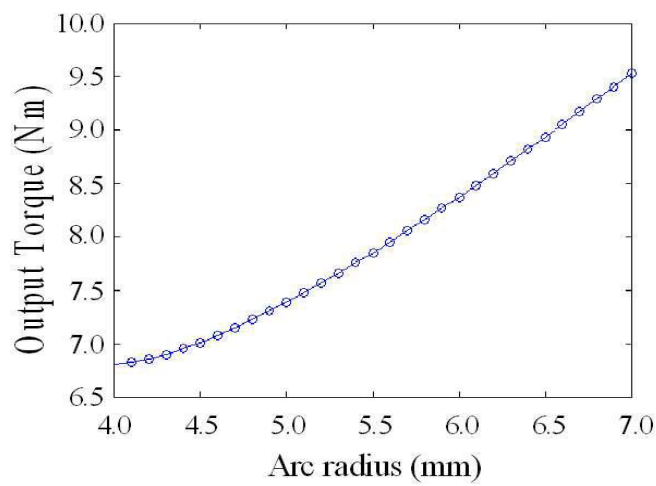
도면11



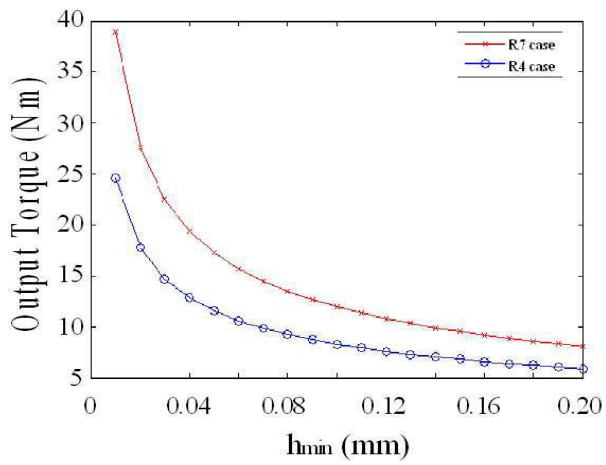
도면12



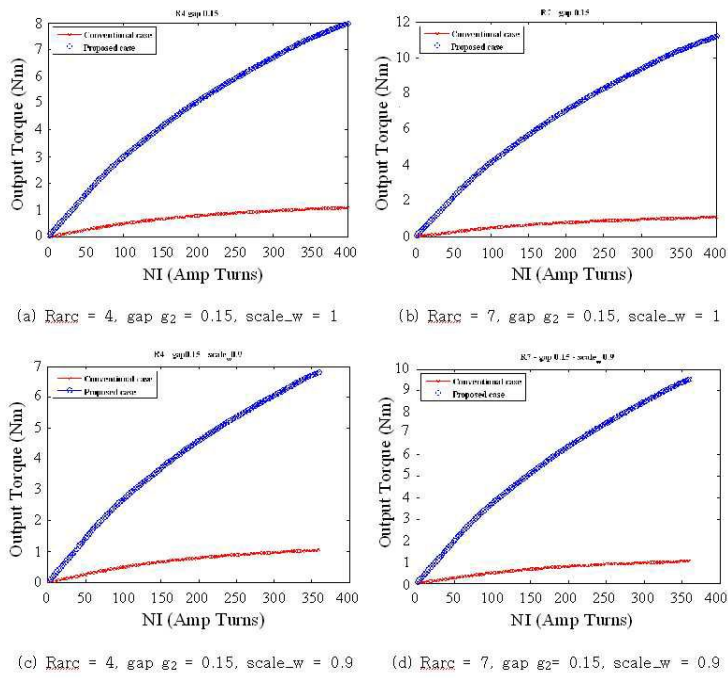
도면13



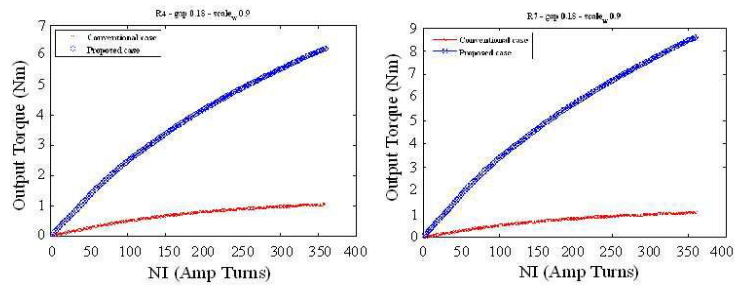
도면14



도면15a

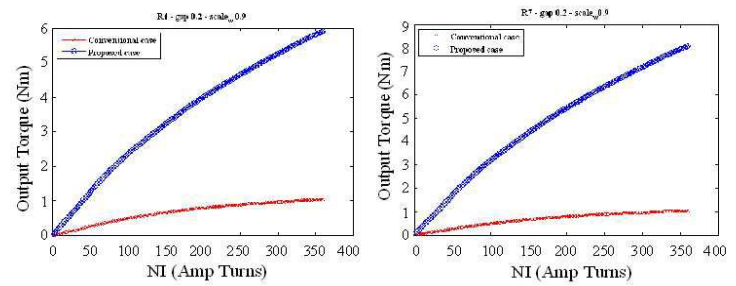


도면15b



(e) $R_{arc} = 4$, gap $g_2 = 0.18$, scale_w = 0.9

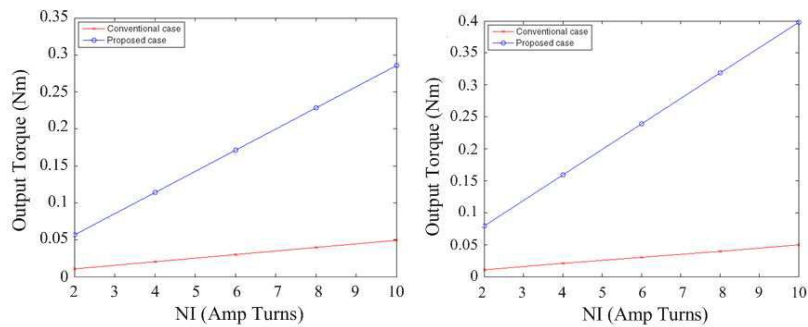
(f) $R_{arc} = 7$, gap $g_2 = 0.18$, scale_w = 0.9



(g) $R_{arc} = 4$, gap $g_2 = 0.2$, scale_w = 0.9

(h) $R_{arc} = 7$, gap $g_2 = 0.2$, scale_w = 0.9

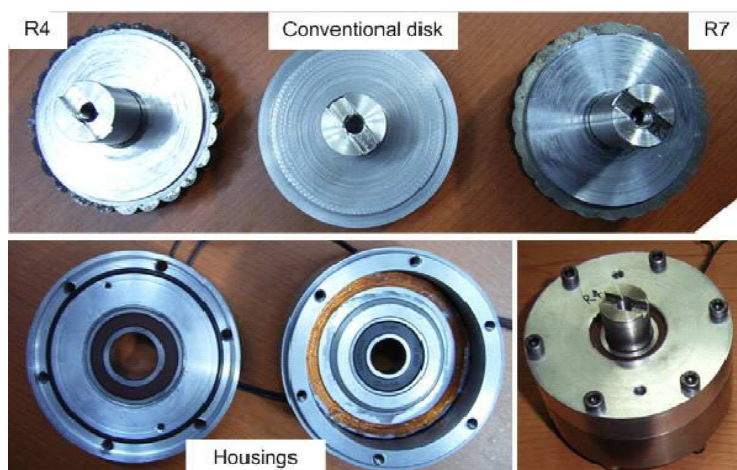
도면16



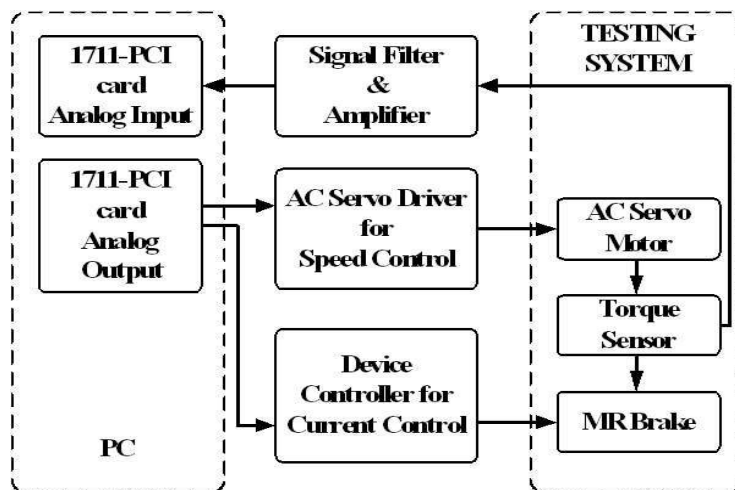
(a)

(b)

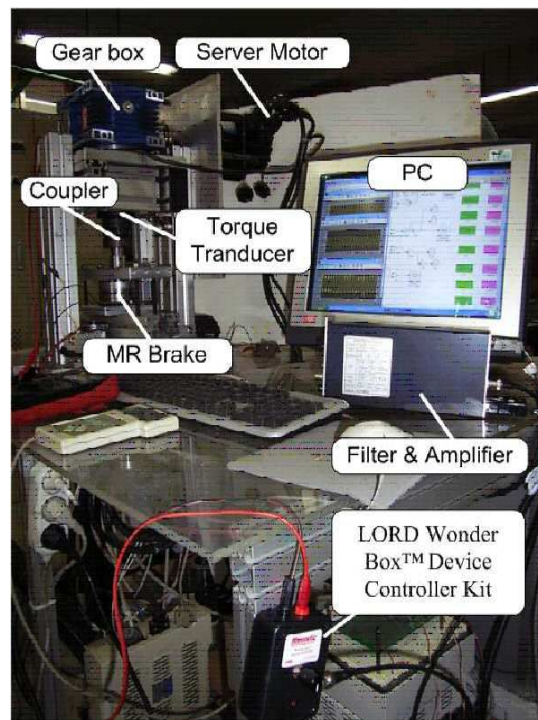
도면17



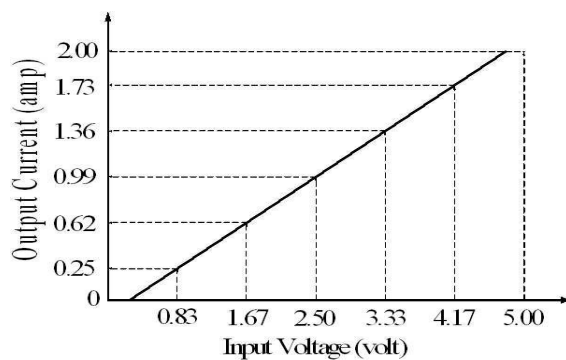
도면18



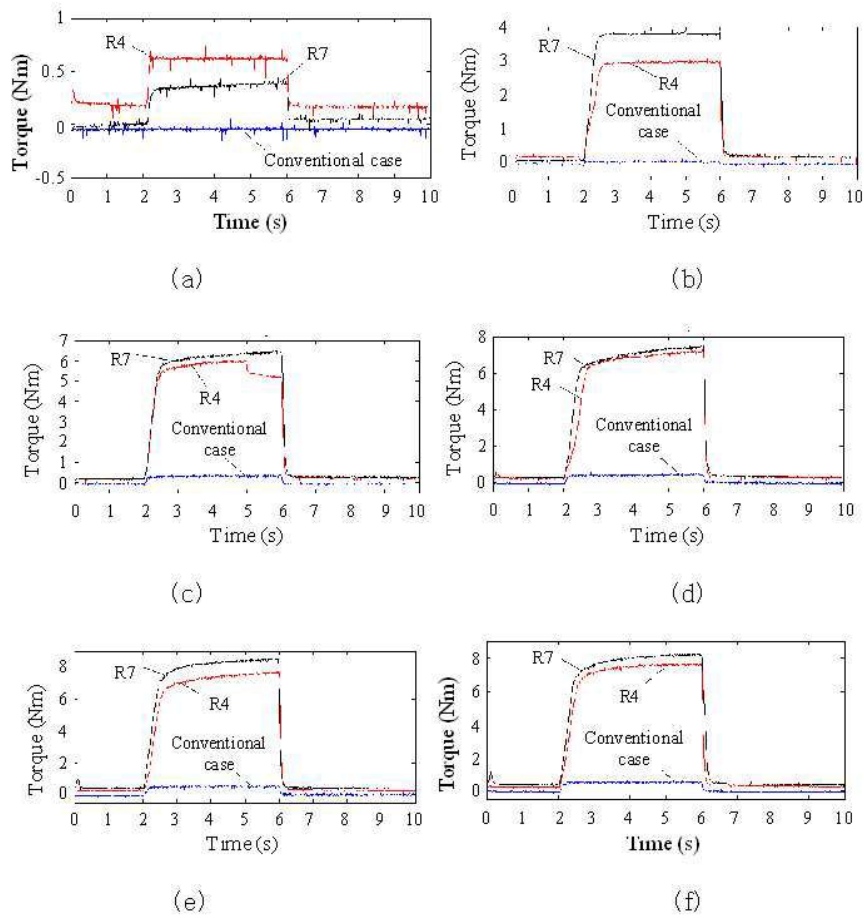
도면19



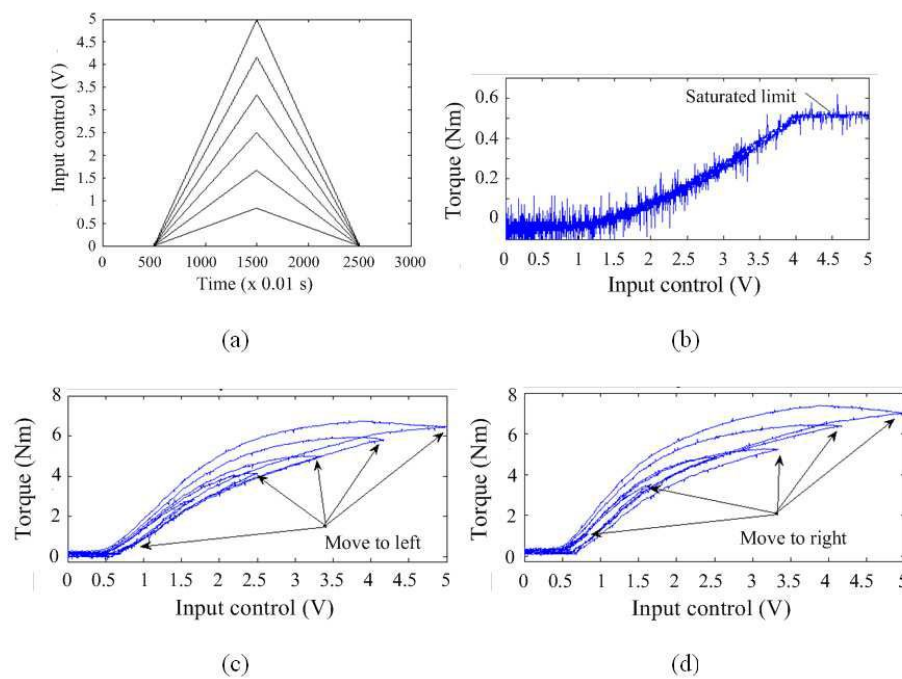
도면20



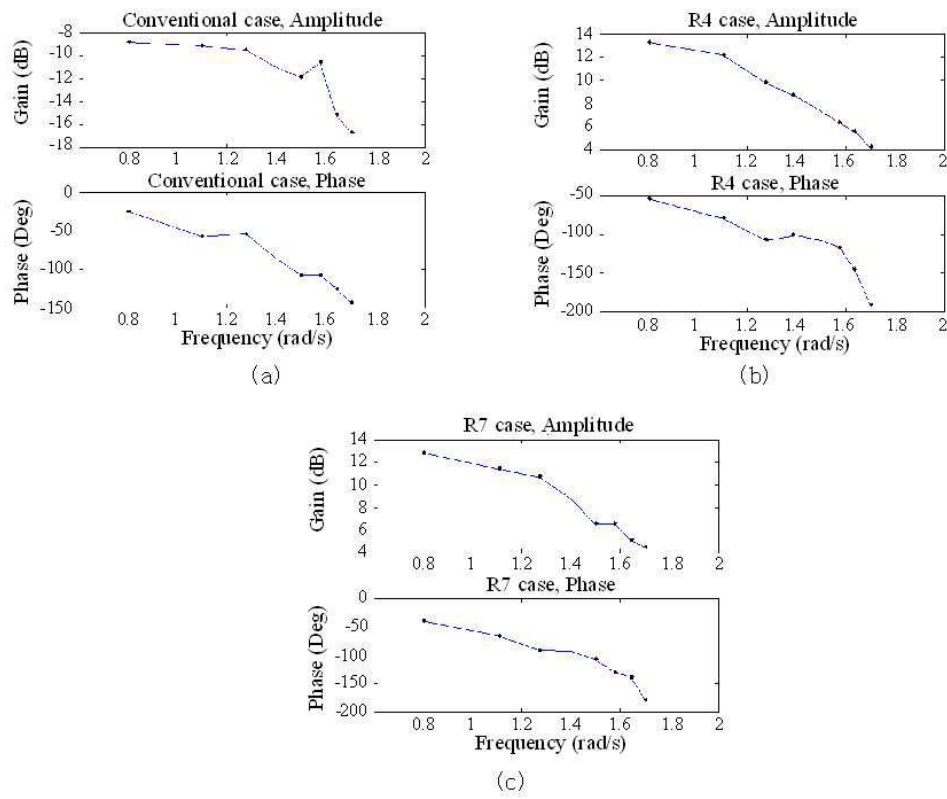
도면21



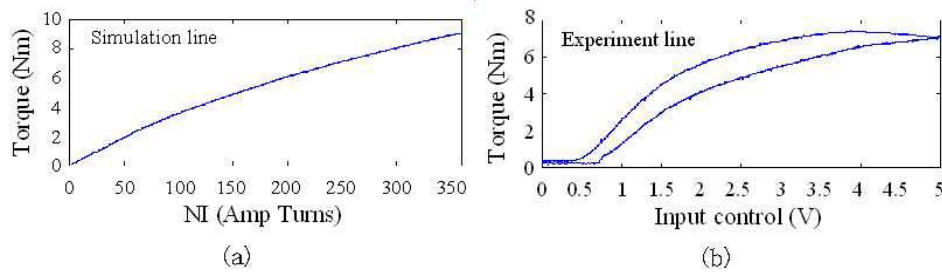
도면22



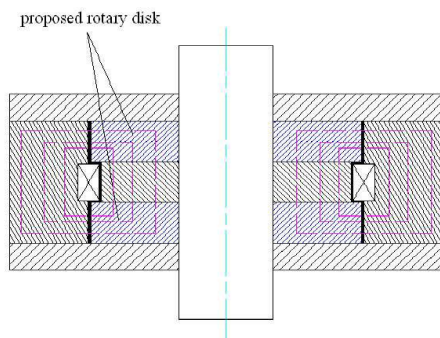
도면23



도면24



도면25



도면26

