



등록특허 10-2029890



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년10월08일

(11) 등록번호 10-2029890

(24) 등록일자 2019년10월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F16F 9/53 (2006.01) **F16F 9/32** (2006.01)

(52) CPC특허분류

F16F 9/535 (2013.01)

F16F 9/3214 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0040554

(22) 출원일자 2018년04월06일

심사청구일자 2018년04월06일

(56) 선행기술조사문헌

KR101679244 B1

KR100697014 B1

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

최승복

인천광역시 남구 인하로298번길 33, 102동 1304호
(주안동, 진흥아파트)

이태훈

인천광역시 남구 용정공원로 33, 124동 1905호(용현동)

(74) 대리인

특허법인세신

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 지항재

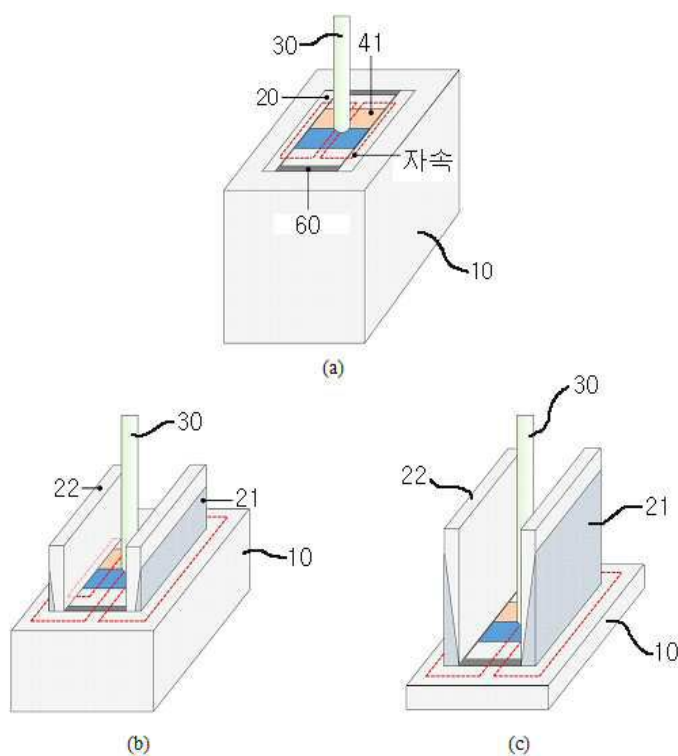
(54) 발명의 명칭 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼

(57) 요약

본 발명은 실린더 내부가 MR 유체로 채워져 MR 유체의 사이를 상하 왕복하는 피스톤 운동으로 작동되는 MR 유체 댐퍼에 관한 것으로, 실린더의 내벽 면을 따라 측벽들이 설치되고, 상기 측벽들은 적어도 상하 단면이 상자성체와 강자성체의 복합 구조로 이루어지고, 상기 피스톤은 피스톤 축이 연결되는 피스톤 헤드의 중심 부분이 영구자

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



적으로 이루어지고 그 외측 부분은 자석이 아니거나 비자성 소재로 이루어지며, 상기 측벽들은 종방향 단면이 내,외측 대각선 방향으로 상자성체와 강자성체의 이분위(二分委) 대칭 구조를 갖되, 내측면의 일측 끝단으로부터 적어도 일부가 상자성체로 구성됨에 반해, 내측면의 타측 끝단으로부터 적어도 일부가 상기 상자성체에 대응하여 강자성체로 구성되어, 상기 측벽의 내측면의 강자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구 자석의 자기장 회로가 MR 유체에 이르지 않고 오직 강자성체 방향으로만 형성되고, 상기 측벽의 내측면의 상자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구자석의 자기장 회로가 MR 유체를 지나 외측까지 확장된다.

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

실린더 내부가 MR 유체로 채워져 MR 유체의 사이를 상하 왕복하는 피스톤의 운동으로 작동되는 MR 유체 댐퍼로서,

실린더의 내벽 면을 따라 측벽들이 설치되고, 상기 측벽들은 적어도 상하 단면이 상자성체와 강자성체의 복합 구조로 이루어지고, 상기 피스톤은 피스톤 헤드의 적어도 일부가 영구자석으로 이루어져, 상기 영구자석과 상기 상자성체 및 강자성체의 상호 작용에 따른 자속 확산에 의해 작동되며,

상기 측벽들은 종방향 단면이 내,외측 대각선 방향으로 상자성체와 강자성체의 이분위(二分委) 대칭 구조를 갖되, 내측면의 일측 끝단으로부터 적어도 일부가 상자성체로 구성됨에 반해, 내측면의 타측 끝단으로부터 적어도 일부가 상기 상자성체에 대응하여 강자성체로 구성되는 것을 특징으로 하는 MR 유체 댐퍼.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 피스톤은 피스톤 축이 연결되는 피스톤 헤드의 중심 부분이 영구자석으로 이루어지고, 상기 영구자석의 외측으로 상기 피스톤 헤드의 외측 부분은 자석이 아니거나 비자성 소재로 구성되는 것을 특징으로 하는 MR 유체 댐퍼.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 측벽의 내측면의 강자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구자석의 자기장 회로가 MR 유체에 이르지 않고 오직 강자성체 방향으로만 형성되고, 상기 측벽의 내측면의 상자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구자석의 자기장 회로가 MR 유체를 지나 외측까지 확장되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 MR 유체 댐퍼.

청구항 4

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MR 유체 댐퍼에 관한 것으로, 보다 상세하게는 영구자석 자속 확산에 의해 작동되는 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 유압 댐퍼는 유체의 난류 저항을 감쇠력으로 이용하는 댐퍼로서, 자동차, 철도 차량, 항공기의 바퀴 장치, 세탁기, 배관 계통 등의 완충이나 도어 개폐시의 충격 방지에 사용된다. 이러한 유압 댐퍼는 피스톤 헤드와 피스톤 로드로 이루어진 피스톤이 상부 챔버와 하부 챔버로 이루어진 실린더 내에서 상하 방향으로 이동하도록 구성되고, 피스톤의 이동에 따라 실린더 내에 충전되어 있는 유체가 상부 챔버 또는 하부 챔버 방향으로 유동됨으로써 상부 챔버와 하부 챔버 사이에 압력차가 발생되어 유압 댐퍼 내에 감쇠력이 생성된다.

[0003] 한편, 근래에 들어서는 실린더 내에 자기 유변 유체, 즉 MR 유체를 충전한 MR 댐퍼가 유압 댐퍼로서 사용되는 경향이 있다. 자기유변(MR) 유체는 유변학적 특성이 자기 자극을 통해 변경될 수 있는 잠재적인 스마트 물질 중 하나임이 잘 알려져 있다. 지난 20년 동안 MR 유체의 빠른 반응성과 높은 항복 응력 측면에서의 용이한 제어가능성 등의 MR 유체의 중요한 장점은 댐퍼, 밸브, 브레이크, 클러치, 마운트 및 의료기기를 포함한 다양한

장치에 활용되었다.

[0004] 이와 같은 MR 유체를 이용한 MR 댐퍼의 일 예가 대한민국 등록특허공보 제10-1257346호에 개시되어 있다. 이 특허에 따르면, 가변 유로를 구비한 유압 댐퍼는 실린더 내부에 작동 유체로서 MR 유체가 충전되고 피스톤 헤드에 자기 유도 코일을 구비하며, 자기 유도 코일의 자기장 세기를 변화시켜 MR 유체의 항복 응력을 변화시킴으로써 원하는 댐핑 성능을 얻도록 구성된다.

[0005] 그러나, 이 MR 댐퍼의 경우, 전자기 유도를 통해 자기장을 생성해야 하므로 자기 유도 코일을 별도로 구비해야 하고, 아울러 자기 유도 코일에 전류를 인가할 필요가 있었다. 이를 위해서는 피스톤 내부에 자기 유도 코일이 설치되어야 하며, 댐퍼 내부의 전기 회로에 MR 유체가 간섭하지 않도록 해야 하는 복잡한 설계 절차가 추가로 필요하다. 따라서, 위 특허는 외부 전원으로부터의 전류 입력에 대한 필요성과 복잡한 구조적 설계 문제로 인한 시간과 비용 소모를 초래하는 단점이 있다.

[0006] 최근에 이러한 문제점을 해결하기 위해, 영구자석을 이용한 새로운 구성의 MR 유체 댐퍼(특허등록공보 제10-1679244호)가 본 출원의 발명자인 최승복 등에 의해 개발되어 영구자석 기반의 MR 댐퍼(Permanent Magnet based MR damper; PMMR 댐퍼)의 감쇠력 제어 실현 가능성을 확인할 수 있었다. 이러한 PMMR 댐퍼는 자기 유도 코일을 포함하지 않으므로 별도의 외부 전원이 필요하지 않고 구조가 간단하므로 제작 비용이나 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있는데, 그 구성은 피스톤 부재의 일단에 영구자석으로 이루어진 자성부재를 구비한 것으로, 피스톤 부재는 상부 피스톤과 이 상부 피스톤에 대하여 수축 또는 연장되도록 구성된 하부 피스톤으로 이루어지고, 자성 부재는 피스톤 부재의 수직 방향 이동에 따라 회전가능하게 구성되어 있다. 도 1에 따르면, 이 특허는 상자성체와 강자성체의 구성을 통해 자기장 회로 내의 자화면적의 변화를 통해 자기장 세기의 변화를 이끌어내는 것으로, 도 2와 같이 자화면적을 줄일수록 자속(magnetic flux)에 대한 밀집도가 증가함으로써 MR 유체의 항복응력에 직접적으로 영향을 주는 자속밀도가 증가하게 된다.

[0007] 그러나, 이 특허는 자기장 세기가 증가하더라도 MR 유체를 응집시키는 면적이 상대적으로 줄어들기 때문에 MR 유체의 항복 응력과 자화 면적의 곱으로 정의되는 감쇠력의 변화가 도 3c에 도시하는 바와 같이 매우 미미한 것을 확인할 수 있다. 즉, 위 특허에서 제안한 영구자석을 이용한 MR 유체 댐퍼는 자화 면적과 자기장 세기가 트레이드 오프(trade-off)되는 특성으로 인해 성능의 효율성이 떨어지는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상술한 바와 같이, MR 유체 특성의 유동 모드가 전단 모드보다 훨씬 더 큰 감쇠 특성을 제공할 수 있다는 것은 본 발명자의 이전 개발을 통해 이미 공지된 바 있다. 그러나, 영구자석 기반의 MR(PMMR) 댐퍼 모델의 불균일 자화 영역으로부터 유로 내에서 부분적으로 MR 유체의 항복 응력이 발생하면, MR 유체가 유로를 따라 자화되지 않은 영역을 향해 흐르기 때문에 감쇠력을 잘 발생시킬 수 없다. 결과적으로, 본 발명자가 이전에 개발한 PMMR 댐퍼 모델의 한계를 해결하기 위하여 자화 영역 대신 자속 분산을 사용하는 새로운 형태의 PMMR 댐퍼 개발이 요구된다.

[0009] 한편, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 개발된 것으로, 영구자석의 자속 확산에 의해 작동되는 것으로서, MR 유체와 강자성체 및 상자성체의 투자율 차이를 통해 자기장 회로를 변화시켜 감쇠력을 향상시키는 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 위와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 한 형태에 따르면, 실린더 내부가 MR 유체로 채워져 MR 유체의 사이를 상하 왕복하는 피스톤 운동으로 작동되는 MR 유체 댐퍼로서, 실린더의 내벽 면을 따라 측벽들이 설치되고, 상기 측벽들은 적어도 상하 단면이 상자성체와 강자성체의 복합 구조로 이루어지고, 상기 피스톤은 피스톤 축이 연결되는 피스톤 헤드의 중심 부분이 영구자석으로 이루어지고 그 외측 부분은 자석이 아니거나 비자성 소재로 이루어지며, 상기 측벽들은 종방향 단면이 내,외측 대각선 방향으로 상자성체와 강자성체의 이분위(二分委) 대칭 구조를 갖되, 내측면의 일측 끝단으로부터 적어도 일부가 상자성체로 구성됨에 반해, 내측면의 타측 끝단으로부터 적어도 일부가 상기 상자성체에 대응하여 강자성체로 구성되어, 상기 측벽의 내측면의 강자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구자석의 자기장 회로가 MR 유체에 이르지 않고 오직 강자성체 방향으로만 형성되고, 상기 측벽의 내측면의 상자성체로 이루어진 부분에 피스톤 헤드가 위치할 경우 상기 영구

자석의 자기장 회로가 MR 유체를 지나 외측까지 확장되는 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼가 제공된다.

[0011] 본 발명에 따른 PMMR 댐퍼의 개발을 위한 첫 번째 단계로서, 위와 같은 PMMR 댐퍼의 새로운 설계 구성이 제시된다. 이 PMMR 댐퍼에서는 재료의 자기 저항 차이와 함께 자속 분산을 관찰할 수 있다. 이어서, 설계 구조 및 자기 분산 원리를 다룬 후에 설계 개념을 검증하기 위해 자기장의 해석 모델을 공식화한다. 계속해서, MR 유체의 자속 밀도 변화를 평가하기 위해 FEM(magnetic finite element method) 분석을 수행하고, 피스톤의 위치가 변경될 때 분석 모델에서 얻은 결과를 비교한다. 다음으로, 설계 구조와 분석 모델을 설명하기 위해 하드웨어 테스트가 수행된다. 이때, 측정, FEM 및 분석 모드 분석에서 얻은 감쇠력의 결과는 일치된 상태로 수용할 수 있다. 본 발명에 따르면, 제안된 PMMR 댐퍼로부터 얻어진 최대 감쇠력은 이전 모델보다 훨씬 높다는 것이 입증된다. 또한, 본 발명에서는 가능한 한 감쇠력의 선형성을 달성하기 위해 곡선 형태의 측벽들(curved sidebars)을 사용하는 변형된 구조의 MR 유체 댐퍼가 제안될 수 있다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 따르면, 새로운 구조의 영구자석을 이용하는 MR 댐퍼를 통해 자화면적의 변화없이 자기장 세기의 변화를 이끌어 내어 감쇠력을 크게 변화시킬 수 있다. 이를 적용한다면 별도의 전원 장치를 필요로 하지 않고, 설계가 간단하여 제조 비용 및 시간을 줄일 수 있는 MR 유체 댐퍼의 상용화를 보다 효과적으로 현실화시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 종래기술에 따른 MR 유체 댐퍼의 피스톤 구조를 도시한 도면,
 도 2는 도 1의 피스톤의 위치 이동에 따른 자화면적 변화를 도시한 도면,
 도 3은 도 2에서의 자속밀도, MR 유체의 항복점, 감쇠력 변화를 도시한 선도,
 도 4는 본 발명에 따른 MR 유체 댐퍼의 개략적인 설계 구조를 나타낸 도면,
 도 5는 본 발명에 따른 MR 유체 댐퍼의 하나의 구성례를 도시한 도면,
 도 6은 도 5의 MR 유체 댐퍼에서 피스톤 헤드의 이동에 따른 영구자석 위치와 자속의 형성을 나타낸 도면,
 도 7은 도 6에서의 영구자석 위치 변화에 따른 작용하는 자속의 상태를 도시한 도면,
 도 8은 도 6에서의 영구자석 위치 변화에 따른 자속의 상태를 촬영 사진,
 도 9는 본 발명에 따른 MR 유체 댐퍼의 작동에 따른 감쇠력 변화를 도시한 선도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본 발명의 추가의 세부 사항 및 이점은 첨부된 도면에 도시된 본 발명의 실시예를 사용하여 설명된다.

[0015] 아래의 실시예에서는 발명을 설명함에 있어서 필연적인 부분들을 제외하고 그 도시와 설명을 생략하였으며, 명세서 전체를 걸쳐 동일 유사한 요소에 대하여는 동일한 부호를 부여하고 그에 대한 상세한 설명은 반복하지 않고 생략하기로 한다.

[0016] 본 발명에 따르면, MR 유체와 강자성체 및 상자성체의 투자율 차이를 통해 자기장 회로를 변화시켜 감쇠력을 향상시키는 MR 유체 댐퍼로서, 이러한 MR 유체 댐퍼는 댐퍼의 실린더 내부가 MR 유체로 채워져 이 MR 유체의 사이를 피스톤이 상하 왕복 운동하여 구동되는 기본적인 구성을 갖는다.

[0017] 도 4는 본 발명에 따른 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼(PMMR 댐퍼)의 개략적인 설계 구조를 도시한 것으로, 댐퍼의 실린더(10) 벽면 안쪽에 상자성체(21)와 강자성체(22)의 복합 구조로 된 측벽(side bars;20)들을 설치하고, 이 측벽(20)들 사이에서 피스톤이 실린더(10)의 상하 방향으로 왕복 운동하는 기본 구성이 제안된다. 피스톤은 헤드(40; 피스톤 헤드)의 적어도 일부가 영구자석(41)으로 이루어지고, 실린더(10)의 내부는 MR 유체(60; 도 5 참조)로 채워진다. 일 예로서, 피스톤 축(30)이 연결되는 피스톤 헤드(40)의 중심 부분이 영구자석(41)으로 이루어지고 그 외측 부분(42)은 자석이 아니거나 비자성 소재로 구성될 수 있다. 또 하나의 예로서, 실린더(10)의 내벽면을 따라 설치되는 상기 측벽(20)들은 적어도 상하 단면이, 바람직하게는 종방향 단면이 내외측 대각선 방향으로 상자성체(21)와 강자성체(22)의 이분위(二分委) 대칭 구조로 이루어질 수 있다. 이 경우, 각 측벽(20)들은 적어도 일 끝단의 내측면이 상자성체(21)로 구성됨에 반하여 적어도 타측 끝단의 내측면은 강자성체

(22)로 구성될 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 측벽(20)들은 내측면의 일측 끝단으로부터 적어도 일부가 상자성체(21)로 구성됨에 반해 상기 내측면의 타측 끝단으로부터 적어도 일부가 상기 상자성체(21)에 대응하여 강자성체(22)로 구성되는 것이 바람직하다.

[0018] 한편, 위의 구조에서 강자성체 및 상자성체 재료로 이루어진 측벽(20)들은 자기 플럭스(자속)를 영구자석 위치에 따라 두 개의 서로 다른 자기 회로로 분산시키는데 사용된다. 도면에서 삼각형 기둥으로 형상화된 측벽(20)들, 즉 종방향 단면이 내외측 대각선 방향으로 상자성체(21)와 강자성체(22)의 이분위 대칭 구조로 이루어진 측벽(20)들은 영구자석(41)을 포함하는 피스톤 헤드(40)의 위치를 기반으로 재료의 일부를 조정할 수 있으며, 따라서 자기 회로의 자기 저항(magnetic reluctance)을 변경할 수 있다. 예를 들어, 양 측벽이 자기 저항이 낮은 강자성 물질로 구성되면 하기의 도 6a와 같이 자속이 형성된다. MR 유체의 자기 저항은 강자성체의 자기 저항보다 높기 때문에 자속은 MR 유체를 통과할 수 없다. 그러나, 양 측벽이 강자성 물질과 상자성 물질로 구성되면 하기의 도 6b에서 보듯이 측벽의 자기 저항은 자속 통과에 좁은 영역 때문에 MR 유체와 비슷한 수준으로 증가한다. 따라서, 자속은 MR 유체를 통해 흐를 수 있고, 두 개의 자기 회로가 형성 될 수 있으며, 그 중 하나는 측벽에 생성되고 다른 하나는 MR 유체를 통해 내부 하우징에 생성된다. 마지막으로, 양 측벽이 완전히 상자성 물질로 구성되어 있을 경우, 상자성체의 자기 저항이 MR 유체의 자기 저항보다 훨씬 크기 때문에 하기의 도 6c에서 볼 수 있듯이 모든 자속이 MR 유체로 들어간다. 결과적으로, MR 유체의 자속 변화는 감쇠력을 결정하는 다른 인자의 변화없이 영구자석을 갖는 피스톤의 위치에 기초하여 실현될 수 있다.

[0019] 자속 분산을 검증하기 위해 Kirchhoff의 법칙과 Gauss의 법칙을 사용하여 자기 회로의 해석 모델을 구성한다. 재료의 자기적 특성은 표 1에 제시되어 있다.

표 1

Specification	Symbol	Value
영구자석의 보자력(NdFeB)	H_c	950 kA/m [49]
진공의 투자율	μ_0	$4\pi E-7$ Tm/A
영구자석의 비 투자율(NdFeB)	μ_m	1.05 [50]
MR 유체의 비 투자율(Lord mrf-132DG)	μ_{mr}	4.5 [52]
강의 비 투자율(S45C)	μ_s	1000 [53]

[0020]

[0021] 강자성 재료는 S45C 강으로 정의되고, 상자성 재료는 3003 알루미늄으로 정의되며, 이는 비 투자율이 약 1이다. 또한, 950 kA/m의 보자력(coercive force)을 가진 네오디뮴 자석을 사용하여 강한 자기장을 생성한다. 또한, 로드사(LORD Co.)의 MR 유체 MRF-132DG가 이용될 수 있다. 일반적으로, 영구자석의 기자력(magnetomotive force;Fm)과 릴럭턴스(reluctance;Rm)는 다음과 같다.

$$F_m = H_c l_m \quad (1)$$

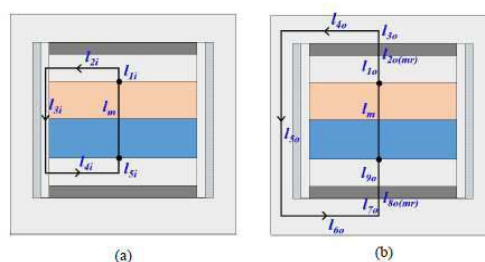
$$R_m = \frac{l_m}{\mu_0 \mu_m A_m} \quad (2)$$

[0022]

[0023] 여기서, A_m 은 단면적이고, l_m 은 영구자석의 길이이다.

[0024] 아래의 표 2는 두 개의 자기 회로의 기하학적 형태를 나타낸 것으로서, (a)는 내측 자기 회로, (b)는 외측 자기 회로이다

표 2



[0025]

[0026] 여기서 두 개의 자기 회로가 정의되었으므로 Kirchhoff의 법칙은 다음과 같이 공식화된다.

$$F_m - R_m \Phi_m = H_i l_i = H_o l_o \quad (3)$$

[0027] 여기서,

$$H_i l_i = H_{1i} l_{1i} + H_{2i} l_{2i} + H_{3i} l_{3i} + H_{4i} l_{4i} + H_{5i} l_{5i},$$

$$H_o l_o = H_{1o} l_{1o} + H_{2o} l_{2o} + H_{3o} l_{3o} + H_{4o} l_{4o} + H_{5o} l_{5o} + H_{6o} l_{6o} + H_{7o} l_{7o} + H_{8o} l_{8o} + H_{9o} l_{9o}, \text{ and}$$

$$H_{2o} l_{2o} = H_{mv} l_{mv}.$$

[0030] 여기서, H_k 및 l_k 는 각 경로의 자기장 세기 및 길이로 각각 정의된다. 한편 가우스의 법칙은 다음과 같이 공식화된다.

$$\Phi_m = \Phi_i + \Phi_o. \quad (4)$$

[0032] 상기에서,

$$\Phi_i = B_{1i} A_{1i} = 2 B_{2i} A_{2i} = 2 B_{3i} A_{3i} = 2 B_{4i} A_{4i} = 2 B_{5i} A_{5i},$$

$$\Phi_o = B_{1o} A_{1o} = B_{2o} A_{2o} = B_{3o} A_{3o} = 2 B_{4o} A_{4o} = 2 B_{5o} A_{5o} = 2 B_{6o} A_{6o} = B_{7o} A_{7o} = B_{8o} A_{8o} = B_{9o} A_{9o}, \text{ and}$$

$$B_{2o} A_{2o} = B_{mv} A_{mv}.$$

[0034] 여기서, Φ_o 와 Φ_i 는 각각 외측 및 내측 자기 회로의 개별 자속이고, Φ_m 은 영구자석의 자속이다. 또한, B_k 및 A_k 는 각각 각 경로의 자속 밀도 및 단면적이다.

[0035] 자기 강도가 낮을 경우, 자속 밀도와 자기장 세기 사이의 관계는 다음과 같이 제시된다.

$$B_k = \mu_0 \mu_k H_k. \quad (5)$$

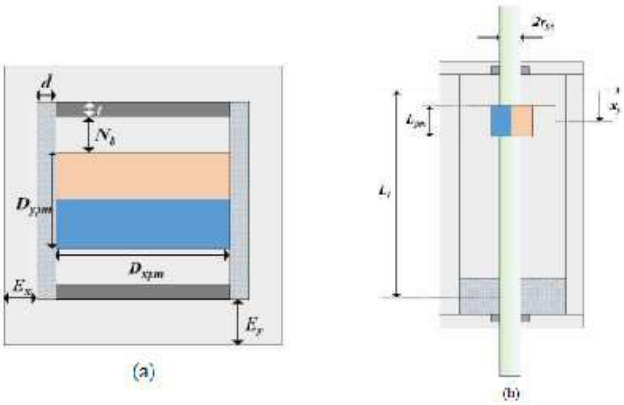
[0037] 여기서, μ_0 와 μ_k 는 각각 진공 상태의 자기 투자율과 각 경로의 재료의 상대 투자율이다. 그러므로, 공식은 두 개의 방정식으로 도출될 수 있다:

$$F_m - R_m \Phi_m = \frac{B_{mv} A_{mv}}{\mu_0} \left(\frac{2 l_{1o}}{\mu_z A_{1o}} + \frac{2 l_{2o}}{\mu_{mv} A_{2o}} + \frac{2 l_{3o}}{\mu_z A_{3o}} + \frac{l_{4o}}{\mu_z A_{4o}} + \frac{l_{5o}}{2 \mu_z A_{5o}} \right), \quad (6)$$

$$F_m - R_m \Phi_m = \frac{\Phi_m - B_{mv} A_{mv}}{\mu_0} \left(\frac{2 l_{1i}}{\mu_z A_{1i}} + \frac{l_{2i}}{\mu_z A_{2i}} + \frac{l_{3i}}{2 \mu_z A_{3i}} \right). \quad (7)$$

[0039] 또한, 제안된 PMMR 댐퍼의 기하학적 단면적 크기는 아래의 표 3과 표 4와 같을 수 있다. 여기서, 표 3의 (a)는 횡방향, (b)는 종방향 단면도이다.

표 3



[0040]

표 4

Specification	Symbol	Value
영구자석의 높이	D_{ypm}	20 mm
영구자석의 폭	D_{xpm}	10 mm
영구자석의 두께	L_{pm}	10 mm
전방 및 후방 블록의 높이	N_b	8 mm
MR 유체 유동을 위한 간극 크기	t	1 mm
축벽의 폭	d	5 mm
내부 하우징 가장자리의 두께	$E_x=E_y$	5 mm
피스톤의 전체 스트로크 길이	L_t	80 mm
피스톤 축의 반경	r_{ps}	5 mm

[0041]

[0042] 따라서, 위 방정식의 파라미터 변수와 기하학적 치수의 관계는 다음과 같이 결정될 수 있다.

$$l_m = D_{xpm} \quad (8)$$

$$l_{1i} = l_{3i} = \frac{N_b}{2} \quad (9)$$

$$l_{2i} = l_{4i} = \frac{D_{xpm} + d(x_p / L_t)}{2}, \text{ where } 0 < x_p < L_t \quad (10)$$

$$l_{3i} = N_b + D_{xpm} \quad (11)$$

$$l_{1o} = l_{3o} = N_b \quad (12)$$

$$l_{2o} = l_{3o} = l_{mr} = N_b \quad (13)$$

$$l_{3o} = l_{7o} = \frac{E_y}{2} \quad (14)$$

$$l_{4o} = l_{6o} = \frac{D_{xpm} + E_x}{2} + d \quad (15)$$

$$l_{5o} = D_{xpm} + 2N_b + 2t + E_y \quad (16)$$

$$A_m = D_{xpm} L_{pm} \quad (17)$$

$$A_{1i} = A_{3i} = D_{xpm} L_{pm} \quad (18)$$

$$A_{2i} = A_{4i} = N_b L_{pm} \quad (19)$$

$$A_{3i} = d(x_p / L_t) L_{pm} \quad (20)$$

$$A_{1o} = A_{3o} = D_{xpm} L_{pm} \quad (21)$$

$$A_{2o} = A_{3o} = A_{mr} = D_{xpm} L_{pm} \quad (22)$$

$$A_{3o} = A_{7o} = D_{xpm} L_{pm} \quad (23)$$

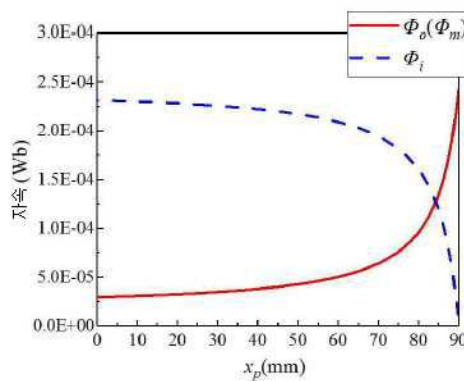
$$A_{4o} = A_{6o} = E_y L_{pm}, \text{ and} \quad (24)$$

$$A_{5o} = E_x L_{pm} \quad (25)$$

[0043]

[0044] 여기서, x_p 는 피스톤의 배치 위치이다. 결과적으로, Φ_m 과 B_{mr} 의 알려지지 않은 변수는 식(6)과 식(7)을 사용하여 풀 수 있다. 결과적으로 두 개의 자기 회로의 개별 자속은 표 5에 도시된 바와 같이 해결될 수 있다. MR 유체 면적을 포함하는 Φ_o 의 자속은 축벽의 상자성체 비율이 피스톤의 위치 x_p 에 기초하여 증가할 때 점차 증가하는 것을 볼 수 있다.

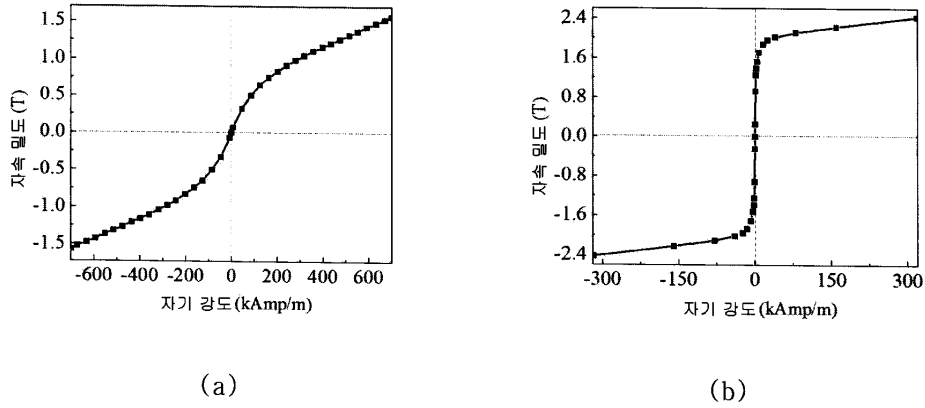
표 5



[0045]

[0046] 분석 모델의 결과를 검증하기 위해, 재료의 B-H 곡선을 사용하여 자기 FEM 분석을 수행했다. 표 6의 (a)는 MR 유체의 B-H 곡선, (b)는 S45C강의 B-H 곡선을 각각 나타낸다.

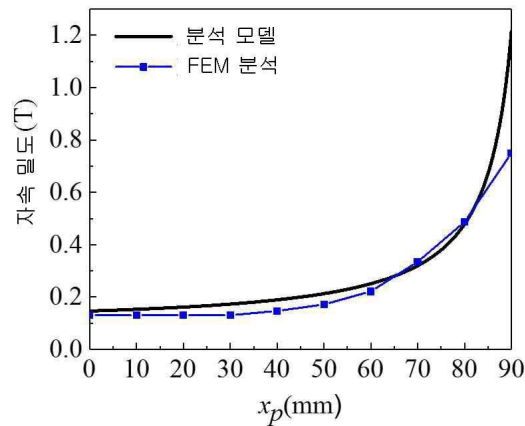
표 6



[0047]

[0048] FEM 분석은 ANSYS 14.5 컴퓨터 프로그램을 사용하여 수행된다(도 8 참조). 따라서 분석 자석 모델과 FEM에서 얻은 자속 밀도 변화의 비교는 표 7에 도시된 바와 같이 정의될 수 있다.

표 7



[0049]

[0050] 분석 모델과 FEM 분석 결과 사이의 작은 차이에는 두 가지 이유가 있다. 왜냐하면, 식(5)는 자기 강도가 높을 때 재료의 B-H 곡선을 나타낼 수 없기 때문에 MR 유체의 자속 밀도가 증가하면 분석 모델의 결과가 더 높은 값을 갖기 때문이다. 또한, 수직 또는 다른 방향의 자기 누설은 분석 모델에서 고려되지 않았기 때문에 FEM의 값은 전체 범위 내에서 분석 모델의 값보다 약간 낮다는 것을 알 수 있다. 위의 이유로 인해 결과에 약간의 오차가 있지만 전체적인 경향은 전체 설계 개념과 잘 일치한다. 위의 자기 분석 결과를 이용하여 감쇠 특성을 평가하기 위하여 다음의 식을 사용할 수 있다.

$$F_d = F_{vis} + F_{MR} \operatorname{sgn}(\dot{x}_p) \quad (26)$$

$$F_{vis} = c_{vis} \dot{x}_p \quad (27)$$

$$F_{MR} = \frac{2cL_{pm}}{t} \tau_y (A_p - A_z), \text{ and} \quad (28)$$

[0051]

[0052] 상기에서

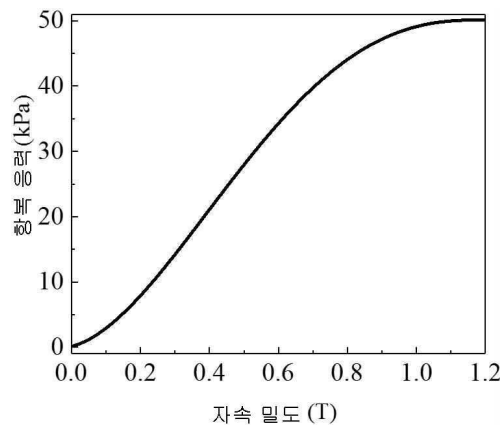
$$c_{vis} = \frac{12\eta L_{pm}}{t^3 D_{xpm}} \left(\frac{A_p - A_s}{2} \right) (A_p - A_s), \text{ and}$$

$$c = 2.07 + \frac{12\dot{x}_p (A_p - A_s)\eta}{12\dot{x}_p (A_p - A_s)\eta + 0.4t^2 D_{xpm} \tau_y}.$$

[0053]

[0054] 여기서, F_{vis} 및 F_{MR} 은 MR 유체의 점도, 및 MR 효과에 의해 유도된 유체의 항복 응력에 기초한 감쇠력이다. 이 연구에서, η 으로 표시된 MR 유체의 점성 계수는 $0.112 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 이고, τ_y 로 표시된 유체의 항복 응력은 MR 유체에 가해지는 자속 밀도에 기초하여 결정된다. 항복 응력과 자속 밀도의 관계는 표 8에 도시된 바와 같다.

표 8



[0055]

[0056] 여기서, A_p 및 A_s 는 각각 피스톤 헤드 어셈블리 및 피스톤 축의 단면적이다.

$$A_p = (2N_c + D_{xpm}) D_{xpm}, \text{ and} \quad (29)$$

$$A_s = r_{ps}^2 \pi. \quad (30)$$

[0057]

[0058] 결과적으로, 피스톤에 구비된 영구자석의 위치에 기초하여 감쇠력 변화가 얻어질 수 있으며, 분석 결과는 본 명세서의 마지막 절에서 실험 결과를 통해 비교하기로 한다.

[0060]

도 5는 본 발명에 따른 영구자석 기반의 MR 유체 댐퍼(PMMR 댐퍼)의 하나의 구성례를 도시한 것으로, 실린더(10) 벽면 안쪽에 설치되는 측벽(20)들은 상하 대각선 방향으로 강자성체(22)와 상자성체(21)의 이분위(二分委) 대칭 구조를 갖는다. 한 예로, 도 5a에 따르면, 이 구조에서의 양 측벽(20)들은 종방향 단면이 내외측 대각선 방향으로 강자성체(22)와 상자성체(21)의 이분위 대칭 구조로 이루어져 내측면의 하단 일부로부터 외측면의 상단 아래 부분까지 상자성체(21)로 구성되고, 또한 외측면의 상단 일부로부터 내측면의 하단 윗 부분까지 강자성체(22)로 구성된 형태를 갖추고 있음을 볼 수 있다. 또한, 이 구성의 MR 유체 댐퍼는, 도 5b 및 5c에 도시된 바와 같이, 피스톤 헤드(40)의 비자성 소재로 이루어진 외측 부분(42)의 바깥 공간으로 MR 유체(60)의 이동이 가능한 구조를 갖출 수 있다.

[0061]

한편, 위와 같은 구성에서 피스톤 운동에 의해 영구자석(41)이, 예를 들어, 도 4b의 A' 지점과 B' 지점에 대응하는 위치들 사이를 왕복하는 동안 수평 방향으로의 자속(magnetic flux:자장)의 단면적 변화를 살펴보면 다음과 같다.

[0062]

도 6은 도 5에 따른 MR 유체 댐퍼에서 피스톤 헤드의 이동에 따른 실린더 내 영구자석 위치와 그에 따른 자속의 형성 상태를 도시한 것이고, 도 7은 도 6에서의 영구자석 위치 변화에 따른 자속의 상태 변화를 도시한 것으로, 먼저 도 6(a)에 따르면, 피스톤 헤드(40)가 실린더(10)의 상단에 위치할 경우에는 각 측벽(20)들의 내측면이 MR 유체(60)보다 투자율이 높은 강자성체(22)로 구성되어 있어 자기장 회로가 MR 유체(60)에 이르지 않고 오직 강

자성체(22) 방향으로만 형성되는 것을 볼 수 있다. 반면, 도 6(c)와 같이 피스톤 헤드(40)가 실린더(10)의 하단에 위치할 경우와 도 6(b)와 같이 중간 지점에 위치할 경우에는 각 측벽(20)들의 내측면의 전체 또는 적어도 일부가 MR 유체(60)보다 투자율이 낮은 상자성체(21)로 구성되어 있어, 자기장 회로는 MR 유체(60)를 지나 그 외측까지 확장되는 것을 볼 수 있다.

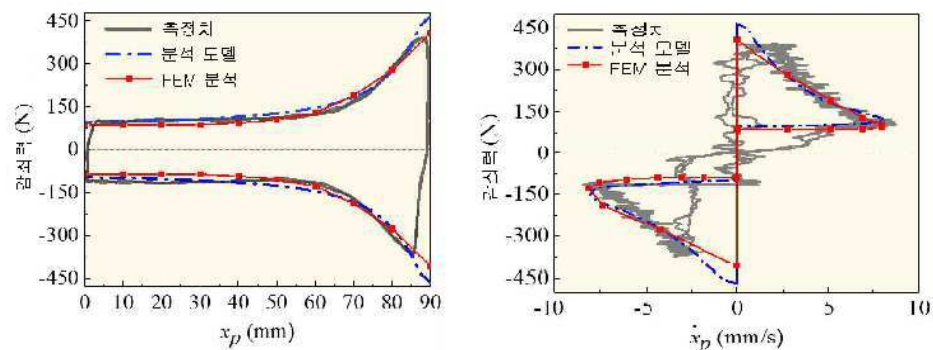
[0063] 도 8은 실린더 단면적 내에서의 자속 상태 변화를 해석하기 위하여 각 상태별로 촬영한 사진으로서, 도 8a는 피스톤 헤드(40)가 실린더(10)의 상단에 위치하는 초기 상태의 자기장 회로를 나타낸다(도 6a에 대응). 여기서는, 실린더 내부의 각 측벽(20)들의 내측면이 MR 유체(60)보다 투자율이 높은 강자성체(22)로 구성되어 있어 자기장 회로가 MR 유체(60)에 이르지 않고 오직 강자성체(22) 방향으로만 형성되는 것을 볼 수 있다. 도 8b 내지 8d는 피스톤 헤드(40)가 실린더(10)의 중간부의 중상점, 중중점 및 중하점에서의 자기장 회로 상태(도 6b에 대응)를 도시한 것으로, 여기서는 각 측벽(20)들의 내측면이 MR 유체(60)보다 투자율이 높은 강자성체(22)로부터 MR 유체(60)보다 투자율이 낮은 상자성체(21)로 면적이 점차 변화되는 형태를 가지며, 자기장 회로가 도 8a의 강자성체(22) 방향으로부터 점차 MR 유체(60)와 그 외측방향으로 확장하는 것을 볼 수 있다. 또한, 도 8e는 피스톤 헤드(40)가 실린더(10)의 하단에 위치하는 최종 상태의 자기장 회로(도 6c에 대응)를 도시한 것으로, 여기서는 각 측벽(20)들의 내측면이 MR 유체(60)보다 투자율이 낮은 상자성체(21)로 구성되어 있어 자기장 회로가 MR 유체(60)를 지나 그 외측까지 확장되는 것을 볼 수 있다.

[0065] 도 9는 본 발명에 따른 MR 유체 댐퍼의 작동에 따른 감쇠력 변화를 도시한 것으로, 피스톤 헤드(40)의 상하 왕복시 실린더(10)의 측벽(20)들의 각 위치에서의 감쇠력 변화를 자기장 해석을 통해 선도로 나타낸 것이다. 도시된 자기장 해석 결과에 따르면, 실린더(10)의 측벽(20)들의 내측면을 구성하는 상자성체(21)와 강자성체(22)의 부피(%)에 따라 자속 밀도(T)가 크게 변화하는 것을 볼 수 있는데, 자속밀도(T)는 상자성체의 부피가 증가할수록 증가하여 상자성체의 부피와 자속밀도가 서로 비례 관계를 형성하는 반면, 강자성체의 부피가 증가할수록 감소하여 강자성체의 부피와 자속밀도는 서로 반비례 관계를 형성하고 있음을 확인할 수 있다.

[0066] 이러한 특징에 따르면 자화 면적의 변화없이 자기장 세기만을 변화시키는 것이 가능한데, 이 경우 감쇠력을 결정하는 두 요소인 자화 면적과 자기장 세기를 트레이드 오프(trade-off)하지 않아도 되고 보다 큰 감쇠력 변화를 제공할 수 있다.

[0067] 한편, 본 발명에 따른 영구자석 기반의 MR 유체(PMMR) 댐퍼의 감쇠 특성은 아래와 같은 실험을 통해 측정될 수 있는데, 본 연구에서는 이 측정을 수행하기 위한 실험 장치로서 여자기는 750W 산업용 모터(효성모터스, 한국)를 이용하였다. 또한, 약 2000N 용량의 로드셀(SensTech, 한국)과 스트링 포트 FDMTA(Celesteo, 미국)의 선형 가변 차동 트랜스듀서를 활용하였다. 실험에서, PMMR 댐퍼는 0.1 Hz의 낮은 주파수로 여기되어 유체의 점도에 따른 감쇠력을 완전히 무시한다. 즉, 여기 주파수가 0.1Hz인 경우, 유체 점도에 따른 감쇠력은 식(27)에 따라 0 ~ 0.5N으로 계산된다. 실험 결과는 표 9에 도시된다. 감쇠력은 피스톤의 위치에 따라 94N에서 390N까지 증가한다. 측정 결과로부터, 피스톤 속도의 채터링(chattering)은 변위를 미분함에 따라 발생한다는 것을 알 수 있다.

표 9



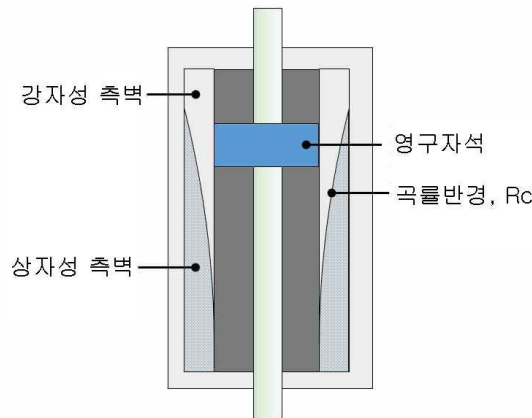
[0068]

[0069] 댐퍼의 마찰력은 영구자석 없이 수행된 하드웨어 테스트에서 약 50N으로 측정된다. 이 마찰력은 피스톤 실(seal)의 마찰과 측벽과 피스톤 어셈블리 사이의 마찰에 의해 유발된다. 따라서, 식(26)과 함께 마찰력을 고려하면, 분석 모델 및 FEM으로부터 유도된 감쇠력은 각각 표 9의 파선과 적색 선으로 표시된다. 세 개의 결과는 매우 유사한 힘 변화를 갖기 때문에 얻어진 결과들은 유효한 것으로 간주될 수 있으며, 따라서 새로운 설계 개

넘이 이 연구의 목표를 달성하는 데 합리적이다. 여기서 약 300N으로 정의되는 새로운 설계의 감쇠력 변화는 이전 PMMR 모델, 즉 1,000%와 비교하여 현저히 더 크다는 것을 알아야 한다. 감쇠력 대 피스톤 위치에서 볼 때, 피스톤 위치가 60 ~ 100mm일 때 감쇠력이 급격히 증가하고 위치가 50mm에 도달할 때까지 변화가 발생하지 않음을 알 수 있다. 이것은 강자성 재료의 비율이 일정 수준 이상 감소하면 축벽의 자기 저항이 급격히 증가하기 때문이다. 이것은 표 5에 도시된 바와 같이 자속과 통로의 단면적 사이의 반비례 관계를 통해 분석적으로 설명될 수 있다. 또한, 50mm에 도달할 때까지의 이 비-변화 문제는 댐퍼 구조의 기하학적 파라미터를 조사함으로써 해결할 수 있다. PMMR 구조의 기하학적 파라미터의 최적화는 감쇠력의 비-변화 피스톤 변위(non-variation piston displacement)를 줄이기 위해 수행된다.

[0070] 또한, 감쇠력의 비선형 변화를 극복하기 위해 표 10에 도시된 바와 같이 변형된 축벽을 사용하는 것이 좋다. 이 경우, 800과 1000mm의 곡률 반경을 사용하여 제작된 축벽을 사용할 수 있다.

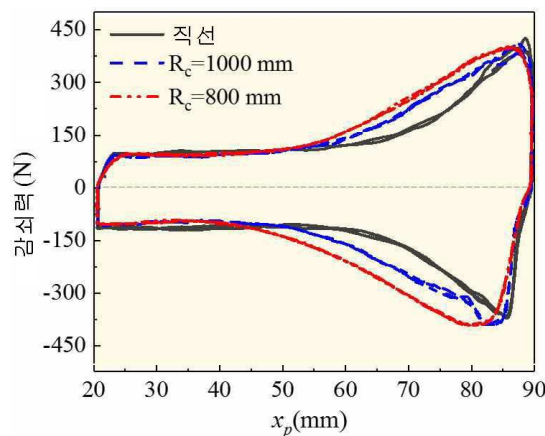
표 10



[0071]

[0072] 이 추가 시험에서, PMMR 댐퍼는 55mm에서 ± 35 mm의 스트로크를 사용하여 여기되었으며, 실험 결과는 표 11과 같다. 감쇠력 변화의 선형성은 곡률이 증가할 때 훨씬 더 넓은 범위 내에서 실현될 수 있다. 여기서, 유체의 압력은 압축 단계 동안 증가하기 때문에, 댐핑력(damping force; 감쇠력)은 전통적인 댐퍼와 유사하게 마이너스 값을 사용하여 표시되는 인장 단계 동안 약간 왼쪽으로 이동한다.

표 11



[0073]

[0075] 본 발명에서는 이전 모델의 감쇠 성능을 향상시키기 위해 새로운 PMMR 댐퍼 설계가 제안되었다. 서로 대응하는 다른 자속 밀도가 MR 유체에 생성될 수 있고 감쇠 특성은 피스톤의 위치에 기초하여 조정될 수 있다. 그러나, 자화 면적과 자속 밀도는 트레이드 오프 관계를 갖기 때문에, 일반적으로 이 두 요소의 곱셈을 통해 나타나는 감쇠력은 30N 이하의 작은 변화만 갖는다. 따라서, 이전 모델은 자속 밀도와 자화 면적 사이의 트레이드 오프

문제 뿐만 아니라, MR 특성의 유동 모드를 적용하는데 있어 한계점이 있으며, 따라서 본 발명의 연구에서는 자화 면적의 변화 대신 자기 분산을 사용하는 설계 전략이 새로 채택되었다. 새로 제안된 설계에서 자기 분산은 재료의 자기 저항 차이를 기반으로 구현되었으며, 영구자석을 구비한 피스톤의 위치가 변경될 때 이 원리를 사용하여 감쇠력을 조정할 수 있음이 시뮬레이션과 실험을 통해 확인되었다. 본 발명의 연구에서 얻은 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. i) MR 유체의 자속 밀도가 자기 분산을 사용하여 변화될 수 있다는 것이 이론적 분석을 통해 확인되었다. ii) 피스톤의 위치에 따라 새로운 PMMR 댐퍼의 감쇠력이 94에서 390N까지 증가하는 것이 관찰되었다. 따라서, 감쇠력의 변화는 이전 모델과 비교하여 1,000% 이상 향상되었다. iii) 피스톤에서 영구자석의 위치에 대한 이 변화의 비선형성을 줄이기 위해, 측벽의 변형된 구조가 이용되었다. 측벽의 만곡된 모양을 기반으로 감쇠력의 선형 변화를 얻을 수 있다는 것이 실험적으로 입증되었다.

[0076] 지금까지 설명한 바와 같이, 본 발명의 MR 유체 댐퍼는 기존과 다른 새로운 구조의 영구자석을 이용한 MR(PMMR) 댐퍼를 통해 자화 면적의 변화없이 자기장 세기의 변화를 이끌어냄으로써 감쇠력을 크게 변화시킬 수 있다. 이를 적용할 경우, 별도의 전원 장치가 필요하지 않고 설계가 간단하여 제조 비용과 시간을 크게 줄일 수 있으며, 이러한 영구자석을 이용한 MR 유체 댐퍼의 상용화를 더욱 효과적으로 실현할 수 있게 된다.

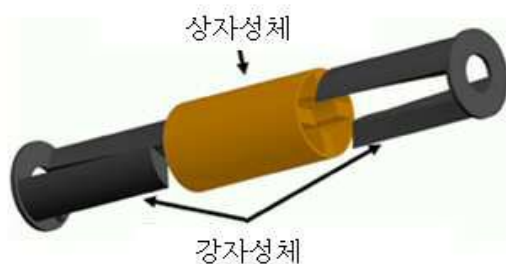
[0077] 이상 본 발명의 다양한 실시예들에 대하여 설명하였으나, 지금까지 설명한 내용들은 본 발명의 바람직한 실시예들 중 그 일부를 예시한 정도에 불과하며, 아래에 첨부된 청구범위에 나타날 수 있는 것을 제외하고는 상술한 내용에 의해 제한되지 않는다. 따라서, 본 발명은 이와 동일한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이하의 청구범위에 기재된 범위 내에서 발명의 기술적 사상과 요지를 벗어나지 않으면서 균등물의 많은 변화, 수정 및 대체가 이루어질 수 있음을 이해하여야 할 것이다.

부호의 설명

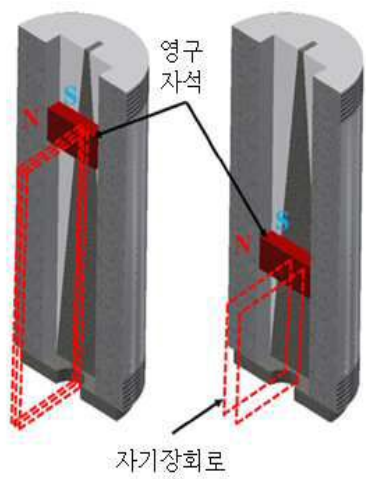
- [0078]
- 10 : 실린더
 - 20 : 측벽
 - 21 : 상자성체
 - 22 : 강자성체
 - 30 : 피스톤 축
 - 40 : 피스톤 헤드
 - 41 : 영구자석
 - 42 : 외측 부분
 - 60 : MR 유체
 - T : 자속 밀도

도면

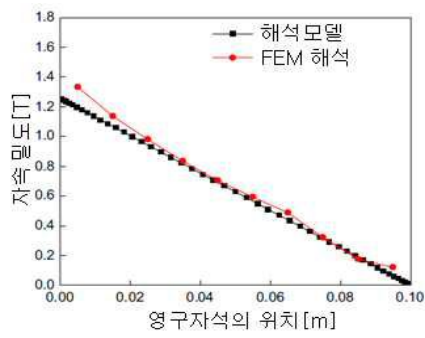
도면1



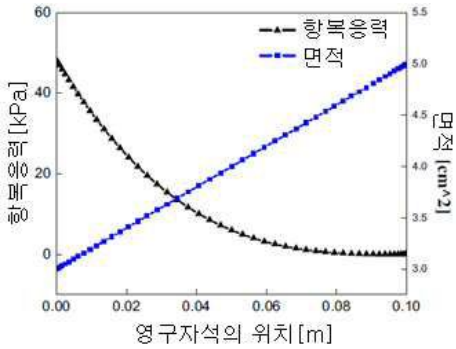
도면2



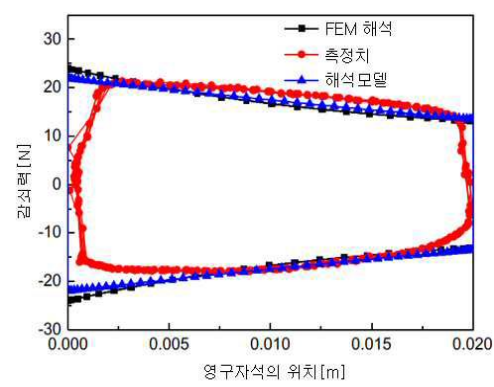
도면3a



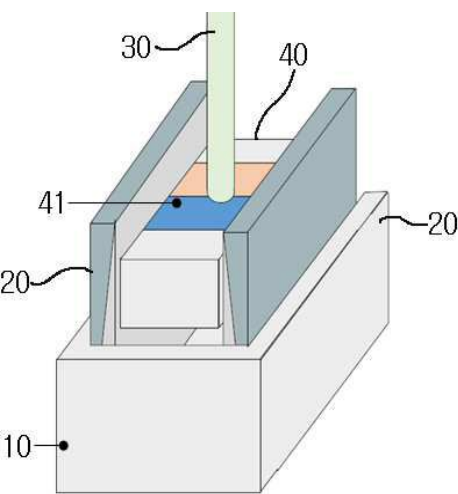
도면3b



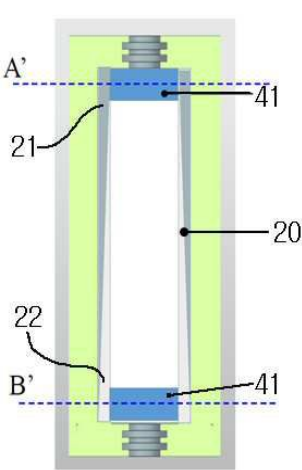
도면3c



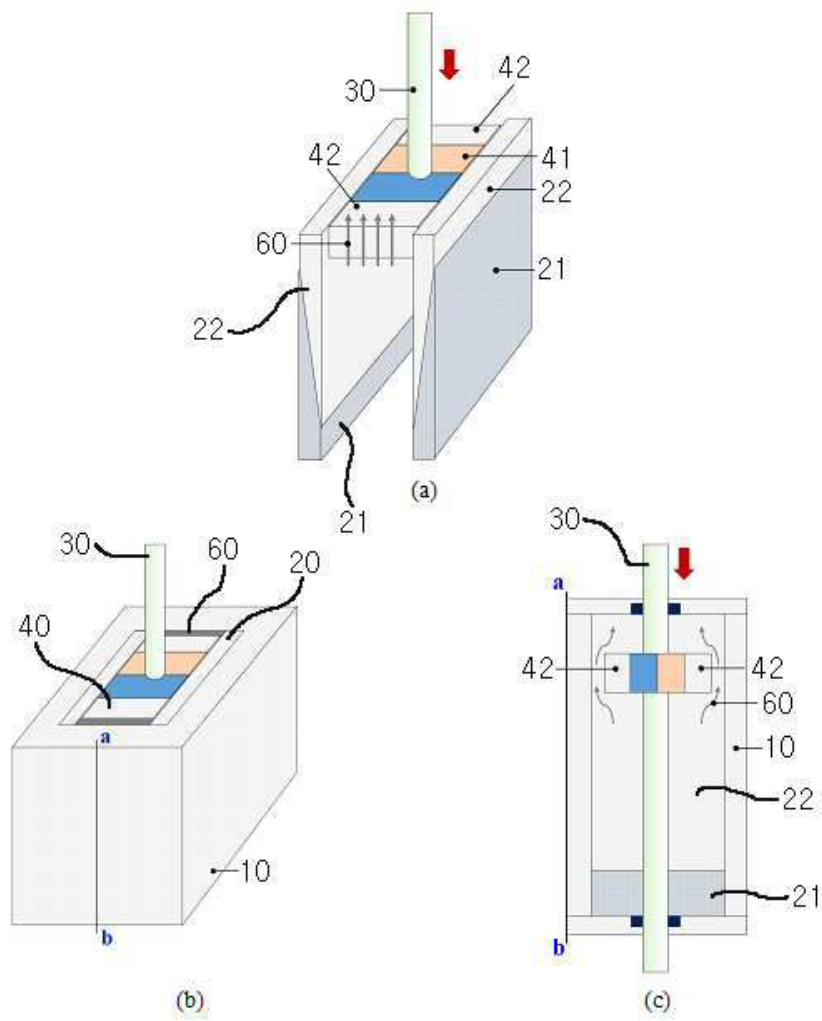
도면4a



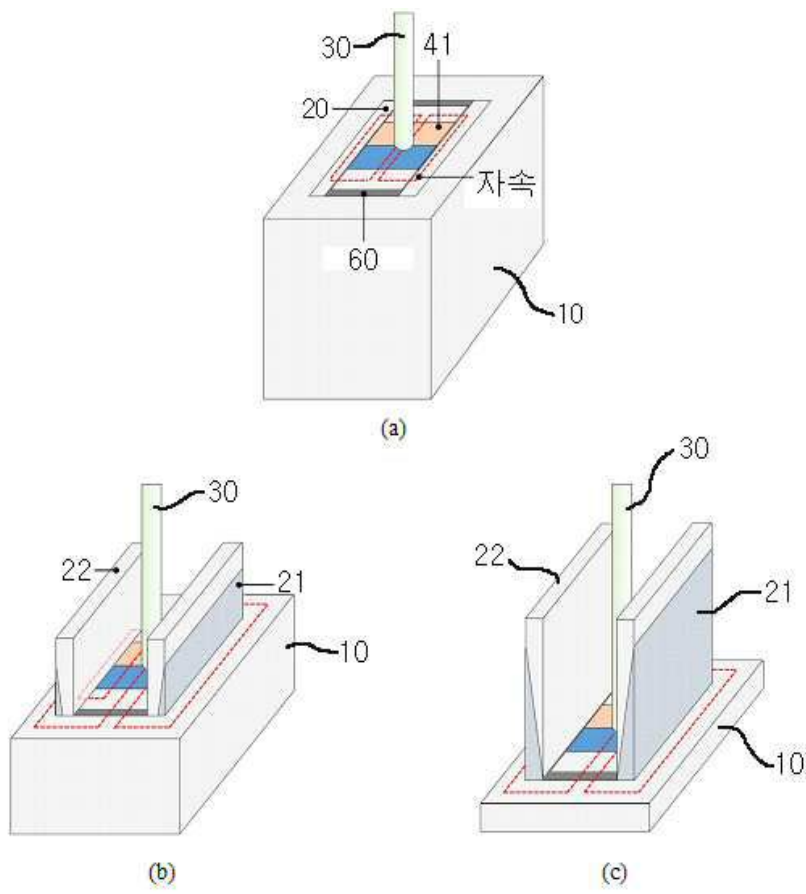
도면4b



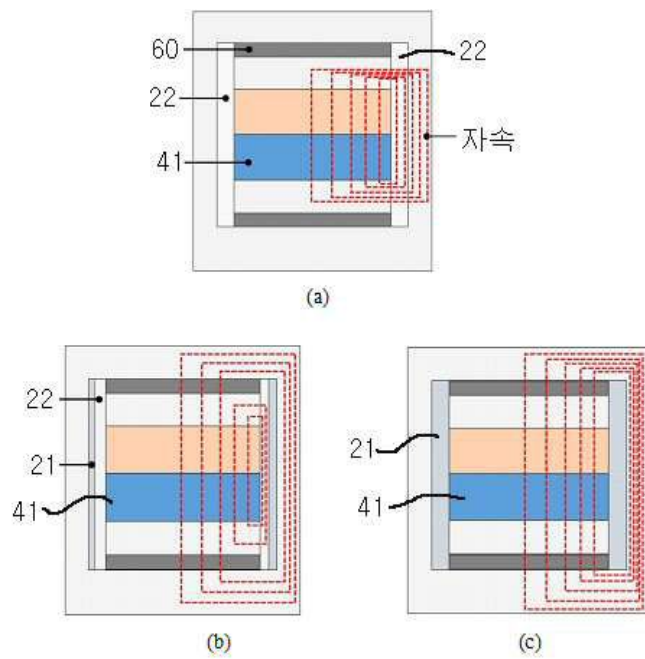
도면5



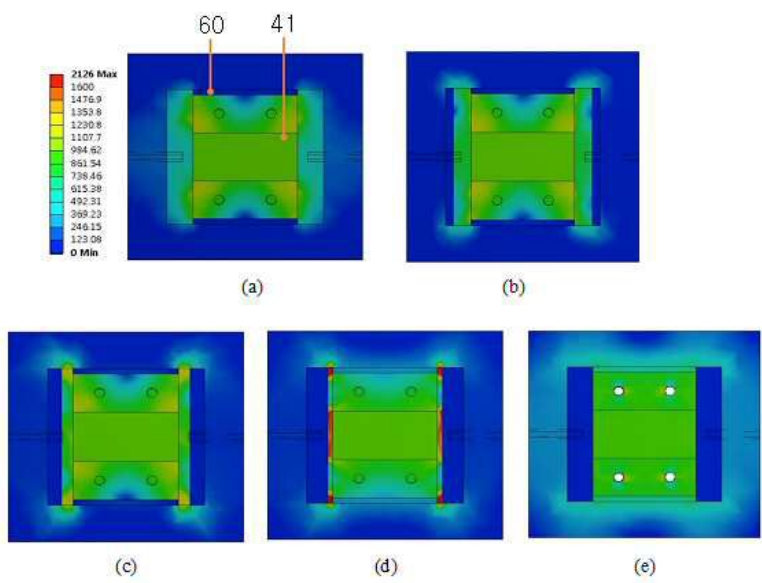
도면6



도면7



도면8



도면9

