

2가지 작동모드를 가진 MR 다판 클러치 자기장 해석

정준홍*, 김영춘**, 김홍배***, 김옥환**, 이동석****

*공주대학교 기계공학과

**공주대학교 기계자동차공학부

***전남도립대학교 기계융합학과

****공주대학교 산업디자인

e-mail:yckim59@konju.ac.kr

MR multi-plate clutch magnetic field analysis with two operating modes

Jun-Hong Jeong*, Young-Choon Kim**, Hong-Bae Kim***,

Ok-Hwan Kim**, Dong-Sug Lee****

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Future Automotive Engineering, Kongju National University

***Dept. of Automotive Engineering, Jeonnam State University

****Div. of Industrial Design Engineering, Kongju National University

차량 기술이 발전함에 따라 소비자들의 차량에 대한 요구도 높아지고 있다. 이를 위해 지능 유체를 차량에 접목하여 성능을 개선하는 연구가 많이 진행되고 있다. 현재 MR 유체 클러치는 자기장 패스 형성을 위하여 단판으로 제작되어 왔지만 판의 수가 적어 한계가 있다. 그런 문제를 해결하기 위해 MR 유체 다판 클러치에 대한 연구도 많이 진행되었지만 yield stress를 통한 동력전달 특성상 슬립이 발생하는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 저 토크에서는 yield stress를 이용하여 유체모드로 동작하다가 고 토크에 도달하게 되면 클러치를 체결하여 동작하는 동작모드를 나눈 클러치를 설계하여 발생하는 진동을 줄이고 슬립에 대한 문제도 해결하고자 한다. 클러치에 자기장이 인가되어 있을 때 간극이 변화함에 따라 동력전달을 담당하는 Disk와 Plate 사이의 MR유체에 대한 자기장 세기를 확인 및 분석할 예정이며, Disk와 Plate의 간극은 2~0.2mm에 대한 해석을 진행하였다. Coil 턴 수는 1000턴으로 하였고, 전류는 2A를 인가하도록 하였으며, 해석 프로그램은 Ansys Maxwell 프로그램을 사용하였다.

1. 서론

자동차 산업이 발달함에 따라 소비자들의 차량에 대한 눈높이도 높아지고 있다. 이에 따라 차량의 승차감, 안정성, 소음을 개선하기 위한 기술 개발에 초점을 맞추고 있으며, 지능 유체를 클러치, 댐퍼, 브레이크에 접목하여 차량의 성능을 개선하는 연구가 많이 진행되고 있다.[1-4]

MR유체 클러치는 자기장 패스의 효율적인 형성을 위하여 단판으로 제작되어 왔다. 하지만 다판 특성상 동력전달을 할 수 있는 판의 수가 적어 고 토크에서 크기가 커지는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 MR 다판 클러치에 대한 연구 또한 활발하게 진행되고 있다. 그러나 현재 연구되고 있는 MR유체 다판 클러치는 MR유체에 자기장을 인가하여 발생하는 yield stress를 통해 동력을 전달하는 방식을 사용하

고 있으며, 이러한 동작방식은 고 토크에서 유체 특성상 슬립이 발생하는 문제가 있다.[5-8]

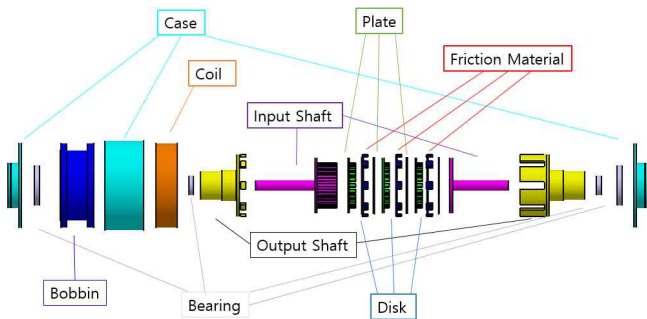
본 논문에서는 저 토크에서는 MR 유체에 자기장을 인가하여 yield stress를 이용하는 유체모드로 동작하다가 일정 토크에 도달하게 되면 클러치를 기계적으로 체결하여 토크를 전달하는 압착모드로 나누어 클러치의 크기가 작으면서도 저 토크 및 고 토크에서 모두 사용 가능한 기계적 마찰모드를 적용한 MR 다판 클러치를 구상하여 설계할 예정이다. 또한 전자기장 해석을 통해 클러치의 간극변화에 따라 MR유체에 인가되는 자기장 세기를 분석하고자 한다.[9]

2. 본론

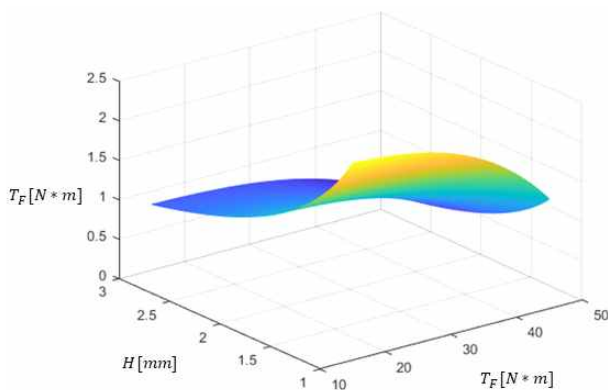
2.1 MR유체 다판 클러치 모델링

그림 1과 같이 기계적 마찰모드를 적용한 MR유체 다

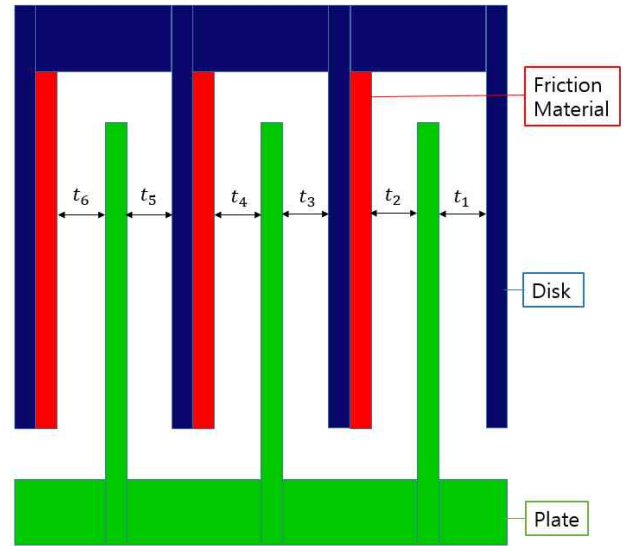
판 클러치를 모델링하기 위하여 소형 건식 다판 클러치를 기반으로 하였으며, MR유체를 충전하기 위하여 외부에 Case를 설계하였다. Bobbin에는 Coil이 감아지며 자기장이 공기영역을 지나지 않도록 외부 케이스를 통해 자기장 패스의 효율을 높였다. 또한 유체의 점성을 고려하여 그림 2와 같이 Disk와 Plate의 간극이 2mm이하가 되면 유체의 점성토크가 커지게 되어 간극은 2mm로 하였으며, 기계적 체결 시 동력 전달을 높이기 위해 Plate에 마찰재를 고려하여 설계하였다. Output Shaft는 Disk와 결합하게 되며, 충돌을 고려하여 Case와 일정한 간격을 가지게 하였다. Input Shaft는 Plate와 결합하게 되며 Input Shaft를 움직여 Disk와 Plate의 간극을 조절하게 된다. 그림 3과 같이 MR클러치의 동력전달 성능을 높이기 위해 앞뒤로 Disk와 Plate는 일정한 간극을 가지게 되며 체결 시 간극 t_1 , t_3 , t_5 은 넓어지게 되며 t_2 , t_4 , t_6 는 좁아지는 구조이다.



[그림 1] MR 마찰 다판 클러치 전개도



[그림 2] MR 유체 점성 토크 전달 그래프

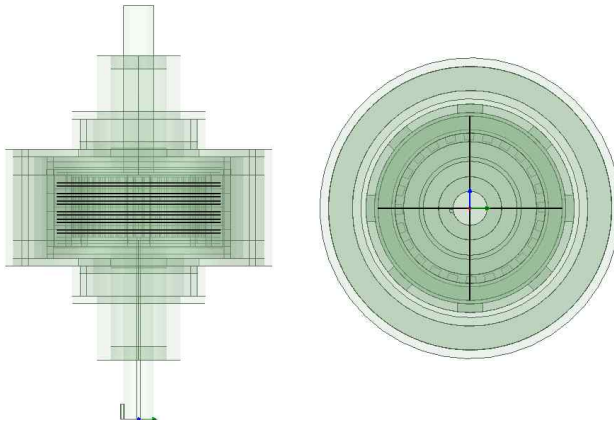


[그림 3] MR 마찰 다판 클러치 세부도

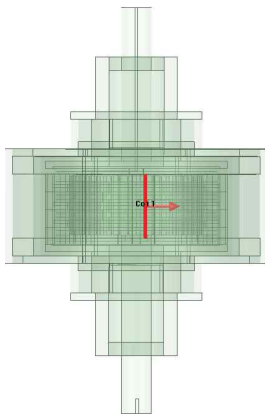
2.2 MR유체 자기장 해석 방법

해석조건은 클러치를 제외한 Case 내부 공간에는 MR 유체가 충전되어 있다고 가정하였다. 동력전달의 역할을 하는 MR유체에 자기장 패스를 높이기 위하여 Coil에서 Disk, Plate까지 경로의 모든 부분은 자기장 패스가 좋은 강철로 하였으며, Coil은 가장 많이 사용되는 재료인 구리로 설정하였다. 또한 마찰재의 성분은 공개되지 않아 마찰재로 많이 사용되는 고무 재질로 하였으며, 자기장 패스를 방해하지 않기 위해 남은 부분은 자기장 패스가 낮은 알루미늄 재질을 사용하였다. Coil 턴 수는 1000턴으로 하였으며, 그림 5와 같이 권선방향을 지정하였다. 전류는 2A를 인가하도록 하였으며, MR유체의 모델은 MRF-132DG를 선정하였다.

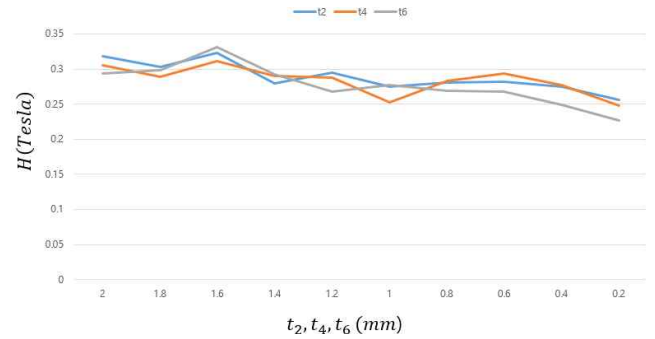
Disk와 Plate의 간극은 2~0.2mm에 대한 해석을 진행하였으며, 그림 3에서 실질적으로 동력전달을 담당하는 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , t_6 중 6부분에 대한 MR유체 자기장 세기의 평균을 확인하였다. 그림 4에 나타낸 Disk와 Plate와 만나는 MR유체 표면에 수평과 수직으로 라인을 생성하여 동력전달을 담당하는 MR유체 부분에 대한 자기장 세기 데이터를 추출해 평균을 확인하였다. 해석 프로그램은 Ansys Maxwell을 이용하여 자기장 해석을 진행하였다.



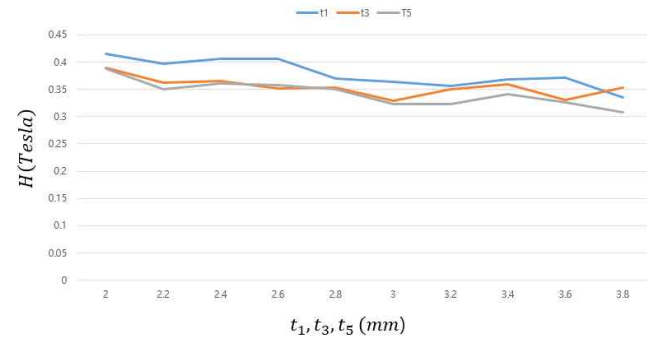
[그림 4] MR 유체 자기장 해석 적용 위치



[그림 5] Coil 권선 방향



간극이 좁아지는 부분



간극이 넓어지는 부분

[그림 6] 간극 변화에 따른 MR 유체 자기장 해석 결과 그래프

[표 1] 각 간극의 평균 자기장 세기

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Magnetic Intensity [Tesla]	0.38	0.29	0.35	0.28	0.34	0.27

2.3 간극 변화에 따른 MR 유체 자기장 해석 결과

그림 6은 간극 변화에 따른 MR유체에 작용하는 자기장 해석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 2mm에서 0.2mm로 간극이 좁아짐에 따라 t_2 , t_4 , t_6 의 평균 자기장 세기는 0.31Tesla에서 0.24Tesla로 감소하는 경향을 보였으며 또한 2mm에서 3.8mm로 간극이 넓어지는 부분에서도 t_1 , t_3 , t_5 의 평균 자기장 세기는 0.40Tesla에서 0.33Tesla로 감소하는 경향을 확인하였다. 각 간극의 평균 자기장 세기는 표 1에 나타내었다. 간극이 좁아지는 부분인 t_2 , t_4 , t_6 에서 상단부로 갈수록 평균 Tesla값이 감소하였으며, 간극이 넓어지는 부분인 t_1 , t_3 , t_5 에서도 평균 Tesla값이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 동작 모드를 나눈 MR 유체 다판 클러치를 개발하기 위해 간극 변화에 따라 자기장 해석을 진행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Plate의 위치가 자기장 패스 형성의 주요 변수로 사료되며, 이를 통해 클러치 체결 중 일정한 토크를 전달하기 위해선 전류를 변화하며 체결을 해야 한다고 판단된다.
- 간극이 좁아지는 부분이 간극이 넓어지는 부분보다 전체적으로 평균 0.09Tesla 낮으며, 간극이 좁아지는 부분에 부착되어 있는 마찰재가 자기장 패스에 영향을 준 것으로 사료된다.
- 각 간극에서 t_1 의 평균값이 0.38Tesla로 가장 높았다. 이는 코일 권선 방향으로 인해 가장 하단부에 있는 t_1 이 마찰재의 영향을 가장 적게 받아 자기장 세기가 높게 나타난 것으로 판단된다.

- 2가지 작동모드를 가진 MR 유체 클러치는 코일 권선 방향과 마찰재의 형상 및 부착 위치가 중요한 설계 변수가 될 것으로 예상된다.
- 향후 모델링한 클러치를 제작하여 실험을 진행할 때, 기초적인 데이터로 사용할 수 있을 것이며, 자기장 패스에 영향을 미치는 마찰재의 형상 및 재질, 부착 위치에 따른 자기장 해석 연구를 통해 MR유체 클러치의 성능을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(No.2018R1D1A3B07050288)

참고문헌

- [1] 박중호 외 3인, “MR 유체의 특성 및 응용 사례”, 유공압시스템학회지, 제 5권 3호, pp. 9-14, 9월, 2008년.
- [2] 여문수, “MRF 댐퍼 응용 야지주행차량의 승차감 제어기법에 관한 연구”, 한국기계기술학회지, 제11권 4호, pp. 73-79, 2009년.
- [3] 한창완, “자기장 유한요소해석을 이용한 로터리 MR댐퍼의 설계 및 성능 평가”, 부산대학교 대학원 기계공학부, 석사졸업논문, 2월, 2012년.
- [4] 하성훈 외 3인, “MR 댐퍼의 최적설계 : 이론적 방법 및 유한요소 방법”, 한국소음진동공학회논문집, 제 19권 11호, pp. 1110-1118, 9월, 2009년.
- [5] 강성복 외 4인, “Rotor 형태의 자성유체 브레이크와 클러치 설계 및 분석”, 한국자동차공학회, 추계학술대회논문집, pp. 1309-1314, 11월, 2005년.
- [6] 박진영 외 4인, “MR 유체를 적용한 Multi-Plate Clutch의 최적 설계”, 한국산학기술학회, 제 21권 5호, pp. 77-83, 5월, 2020년.
- [7] 박종덕 외 4인, “고 토크 효율의 소형 MR 유체 브레이크 개발”, 대한기계학회 논문집 A권, 제 43권 7호, pp. 451-457, 7월, 2019년.
- [8] 김형래 외 2인, “모듈러 구조의 다중디스크를 갖는 MR 유체 브레이크 개발”, 한국정밀공학회, 학술발표대회 논문집, pp. 391-392, 12월, 2017년.
- [9] 박진영 외 3인, “Hybrid multi-plate magnetorheological clutch featuring two operating modes: Fluid coupling and mechanical friction”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, pp. 1-13, 2019년.