

소형 MR 다판 클러치 모델링에 따른 전자기장해석 및 수치해석에 관한 연구

박진영*, 유현욱*, 오종석**, 김영춘**

*공주대학교 기계공학과

**공주대학교 기계자동차공학부

e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

A Study on Electromagnetic Field Analysis and Numerical Analysis by Modeling a Small MR Multi-Plate Clutch

Jin-Young Park*, Hyeon-Wook Yoo*, Jong-Seok Oh**, Young-Choon Kim**

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요 약

4차 산업혁명에 진입하면서 소비자들이 감성적인 품질을 요구하기 시작하였다. 이와 같은 변화는 이동수단에도 영향을 주고 있다. 감성 품질을 향상시키기 위해 클러치, 댐퍼, 브레이크에 대한 연구개발이 진행되었지만, 현재 기술의 한계가 도달하여 최근 지능형 유체 중 하나인 MR 유체를 댐퍼, 클러치 등에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 MR 유체를 사용한 다판 클러치를 설계하고, 코일에 흘려주는 전류의 세기에 따른 클러치 플레이트 사이의 MR 유체에 작용하는 자기장의 세기를 확인하기 위해 AnsysMaxwell을 이용하여 전자기장 해석을 진행하고 자기장 해석 결과를 기반으로 MR 유체 다판 클러치의 토크 전달용량을 수치해석을 통해 확인하고자 한다.

1. 서론

2. 본론

마찰클러치는 동력전달 초기에 고속으로 회전하는 마찰 면과 순간적으로 붙어 동력전달을 하기에 충격이 발생하며, 그로 인해 진동 및 소음이 발생하게 되어 승차감 및 주행 품질에 영향을 주게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 습식클러치가 개발되어 유체가 플레이트의 충격을 흡수하여 마찰클러치보다 진동과 소음이 많이 줄어들었지만, 그마저도 무시할 수 없을 정도로 상당히 크게 작용하고 있다. 하지만 마찰클러치나 습식클러치와는 다르게 유체의 점도에 의해 동력 전달을 하는 유체커플러는 이와 같은 문제는 없지만, 동력 손실이 크다는 단점이 있다. 따라서 유체커플러에 지능형 유체인 MR 유체를 이용한 MR 클러치에 대한 연구가 필요하여 많은 연구자들이 MR 클러치에 대한 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, K & P는 MR 클러치의 디스크의 수에 따른 토크, 직경, 외부길이 및 비율의 관점에서 총 부피당 클러치 토크를 비교하는 연구를 진행하였다. [1-4]

본 연구에서는 기존에 설계된 MR 다판 클러치의 축의 처짐으로 인해 입력 및 출력축 플레이트가 접촉되어 토크 리플이 발생하는 문제점을 해결하고자 새로운 소형 MR 다판 클러치를 모델링하고 전자기장해석을 통해 자기장의 세기를 확인하였으며, 이를 토대로 전류의 세기에 따른 클러치의 전달 토크를 확인하고자 한다.

2.1 MR 유체 토크 모델링

클러치의 입력 및 출력축 마찰 면 사이에서 MR 유체에 의한 토크 전달은 자기장이 가해졌을 때 전달과 자기장이 제거되었을 때 점성에 의한 전달되는 토크이다.

일반적으로 MR 유체의 항복응력 τ_y 는 자기장 H 에 다항함수적인 비례 관계를 가지고 있으며, 항복응력을 나타내는 수식은 다음과 같다.

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \dot{\gamma}, \quad \tau_y(H) = x_3 H^3 - x_2 H^2 + x_1 H - x_0 \quad (1)$$

여기서 τ 는 MR 유체의 전단응력이며, η 는 MR 유체의 기본 점성계수이고, $\dot{\gamma}$ 는 전단비 이다.

MR 다판 클러치의 전달 토크 T 는 τ_y 와 디스크의 마찰면적, 디스크의 수에 의해 정해지며 식 1과 같다.[5]

$$T = \int_{R_i}^{R_o} 2\pi r^2 \tau_y N dr = \frac{2\pi \tau_y}{3} (R_o^3 - R_i^3) N \quad (2)$$

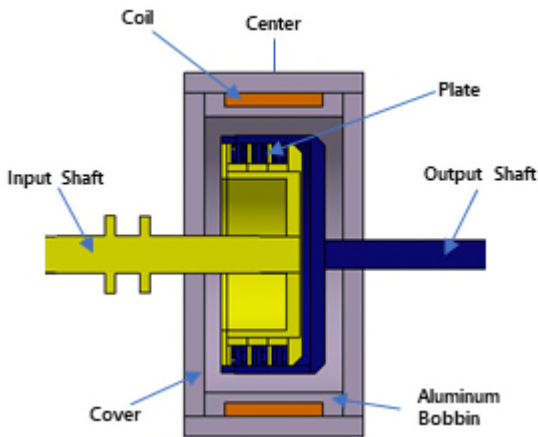
2.2 MR 클러치 모델링

클러치 모델은 기존모델과 개선모델로 총 2가지이며, 기존

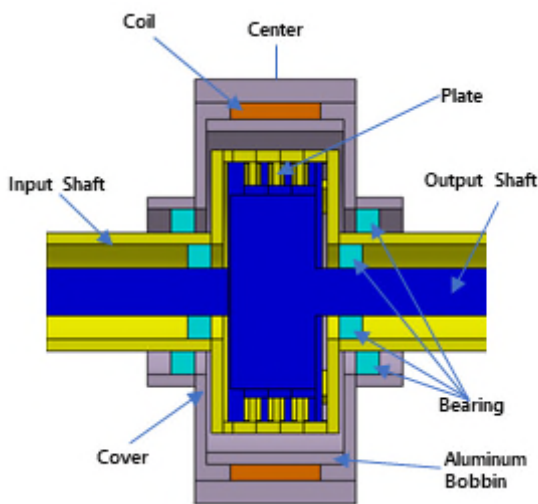
모델은 입력축과 출력축이 각각 한쪽으로부터 나와 있는 모양이다. 즉 한쪽 축이 입력이면 반대쪽은 반드시 출력되는 모델이다. 새로운 모델은 입력축과 출력축이 양쪽으로 나와 있는 모양이다. 이 모양은 어느 쪽을 사용하든 입력과 출력을 선택할 수 있는 형태로 설계되었다. 또한 새로운 모델은 입력 및 출력축의 무게에 의한 처짐을 방지하기 위해 내부에 베어링이 축을 지지하는 모양으로 설계하였다.[5]

MR 다판 클러치의 입력 플레이트와 출력 플레이트의 내경 및 외경에 대한 설계 변수 선정은 문헌 조사를 통해 각각 55mm, 45mm인 것으로 알려져 이 값을 적용하여 클러치 모델을 설계하였다.

클러치 내부에는 입력 플레이트와 출력 플레이트는 각각 3개씩 있으며, 외부에는 MR 유체에 자기장을 인가해주기 위한 코일이 권선되어있다. 또한, 클러치 외부에 두께 5T의 원통 모양 금속을 둘러 자기장이 외부로 새 나가지 않도록 자기장 패스를 만들어 주었다.



a) 기존 클러치 모델

b) 개선된 클러치 모델
[그림 1] MR 다판 클러치 모델링

2.3 Maxwell 해석 조건

코일에 전류를 인가하였을 때 모델링한 클러치 내부에 있

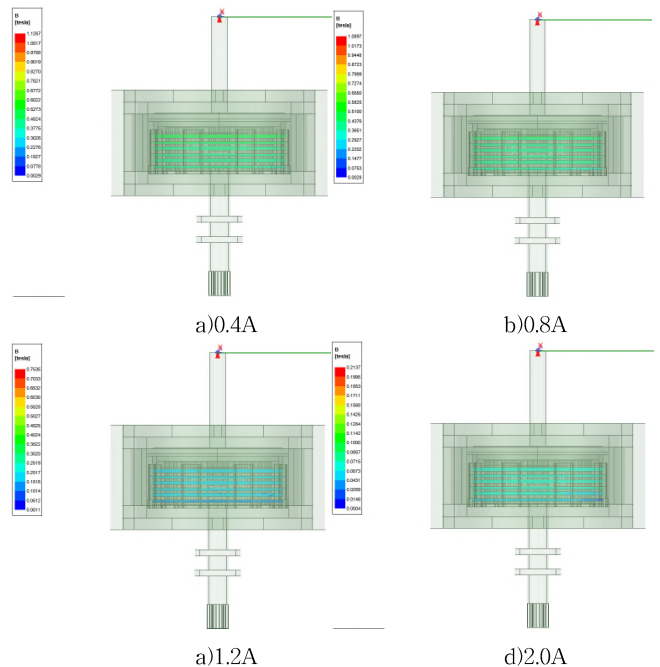
는 MR 유체에 작용하는 자기장의 세기를 확인하기 위해 AnsysMaxwell 프로그램을 이용하여 전자기장 해석을 수행하였으며, 해석조건은 표 1과 같이 설정하였다.

[표 1] 전자기장 해석 조건

Turn of Coil [EA]	Coil Resistance [Ω]	Applien Current [A]	Mash [EA]
1000	73	0~2	250000

3. 결과 및 고찰

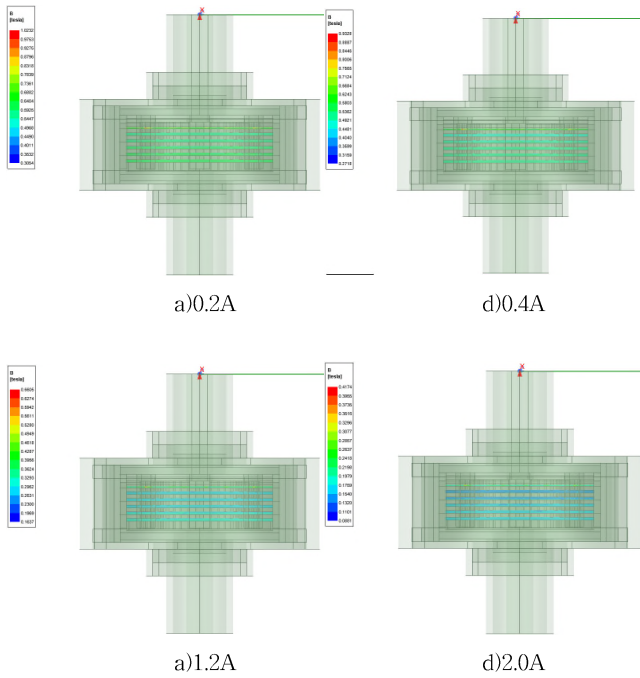
3.1 Maxwell 해석 결과



[그림 2] 기존 클러치 모델 해석결과

그림 2는 기존 모델에 대한 자기장 해석 결과이며, 클러치 플레이트 사이 MR 유체에 작용하는 평균 자속밀도는 0.4A일 때 0.067 [Tesla], 0.8A일 때 0.152 [Tesla], 1.2A일 때 0.243 [Tesla], 1.6A일 때 0.405 [Tesla], 2.0A일 때 0.452 [Tesla]이다.

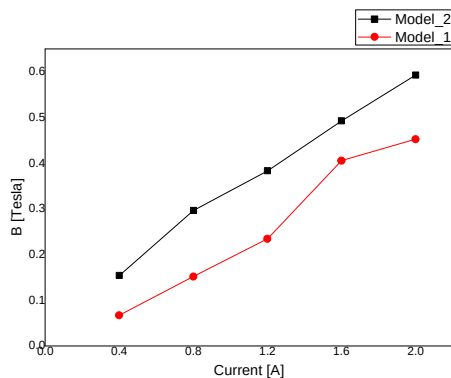
해석 결과 클러치의 입력축 부근에서 가장 높은 자속밀도를 보이고, 출력축 부근에서 가장 낮은 자속밀도를 보인다. 이는 클러치의 형상이 대칭이 아니기 때문에 위치에 대한 자속밀도의 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 또한, 금속과 금속 사이 MR 유체가 차지하고 있는 간격에 따라서 자속밀도는 크게 달라지는 것으로 나타났다.



[그림 3] 개선된 클러치 모델 해석 결과

그림 3은 기존 모델에 대한 자기장 해석 결과이며, 클러치 플레이트 사이 MR 유체에 작용하는 평균 자속밀도는 0.4A일 때 0.067 [Tesla], 0.8A일 때 0.152 [Tesla], 1.2A일 때 0.243 [Tesla], 1.6A일 때 0.405 [Tesla], 2.0A일 때 0.452 [Tesla]이다. 개선된 클러치 모델에서는 양쪽 끝부분에서 가장 높은 자속밀도를 보이며, 클러치의 Center 부근으로 갈수록 자속밀도가 작아지는 것을 보인다. 이는 기존 모델과 다르게 클러치가 Center를 사이에 두고 대칭에 가깝기에 한쪽으로 자속밀도가 집중되지 않은 것으로 판단된다.

기존 클러치 모델과 개선된 클러치 모델에 대한 전자기장 해석 결과를 그림 4 도하였다. 그림 4에서 Model_1은 기존 모델, Model_2는 개선된 모델에 대한 그래프이다.

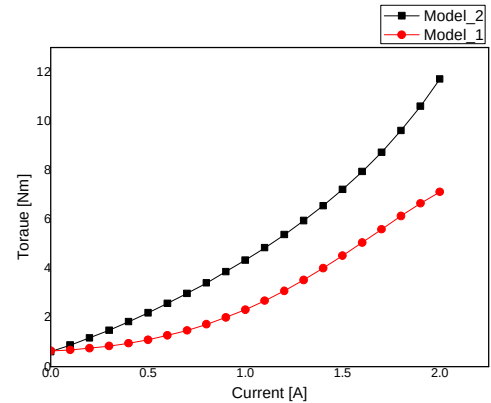


[그림 4] 전류 세기에 따른 자속밀도

개선된 클러치가 기존 클러치보다 모든 구간에서 자속밀도가 약 0.1 Tesla 높게 나타난 것을 확인하였다. 개선된 모델은 클러치 내부가 대칭에 가깝고 간격을 최적화하였기에 이러한 결과가 도출된 것으로 사료된다.

3.2 수치해석

전자기장 해석 결과로 각 클러치의 전류[A]에 따른 평균자속밀도[B]에 대한 관계식을 사용하였으며, 기존 클러치 모델과 개선된 클러치 모델에 대하여 식 [1], 식 [2]를 이용하여 전달 토크를 수치해석을 통해 계산하여 그림 5에 도시하였다.



[그림 5] 전류 변화에 따른 클러치 전달토크

그림 5에서 Model_1은 기존 모델, Model_2는 개선된 모델에 대한 전달 토크 값이다. 기존 모델은 0.64[Nm]에서 최대 7.12[Nm]까지 토크 전달이 가능하며, 개선된 모델은 0.61[Nm]에서 최대 11.72[Nm]까지 토크 전달이 가능하다. 하지만 두 그래프 모두 전류가 0 [A] 일 때에도 약 0.6[Nm]의 토크 전달이 있는 것으로 보인다. 이는 자기장 B에 대한 자계의 세기 H의 관계가 지수함수적인 관계를 가지고 있어 0으로 수렴하지 않아 수학적으로 발생하는 것이다. 또한 각 클러치의 토크 전달은 낮은 전류 영역에서는 큰 차이가 없지만, 전류가 증가할수록 차이가 커져 2A 일 때 약 4.6[Nm]의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 압착 모드 및 유체커플링 모드를 갖는 MR 다판 클러치의 문제점이 개선된 MR 다판 클러치를 디자인하고 전자기장 해석과 수치해석을 통해 전달 토크를 확인하였으며, 이와 같은 클러치는 동력 전달 시 충격 및 소음에 있어 좋은 성능을 가질 것으로 판단된다.

개선된 MR 다판 클러치 대한 자기장 패스 및 자기장의 세기를 확인한 결과 개선된 MR 다판 클러치는 기존의 클러치보다 최대 4.6[Nm] 높은 전달 토크를 가지면서 기존 클러치의 문제점인 처짐 현상을 해결 할 수 있어 동력손실을 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

향후 개선된 모델링에 대한 결과를 바탕으로 MR 다판 클러치를 제작하여 토크 시험기로 실험을 진행할 예정이며, 기존의 클러치와 개선된 클러치 그리고 일반적인 마찰 클러치

에 대한 소음 및 진동 특성을 비교 평가할 예정이다.

후 기

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.

(No.2018R1D1A3B07050288)

참고문헌

- [1] 송준한, 최득환, 전종균, 권영철, 이태형, “전자기장 해석을 이용한 자기점성 유체 클러치 코일 작동부 설계”, 한국자동차공학회논문집, 제 17권 3호, pp. 22-28, 2009년.
- [2] Krzysztof Kluszczy_ski and Zbigniew Pilch , “Basic features of MR clutches - resulting from different number of discs”, 15th Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), Zakopane, Poland, pp. 1-4, 2019.
- [3] 강성복, 정훈, 신권용, 강경태, 장재덕, “Rotor 형태의 자성 유체 브레이크와 클러치 설계 및 분석”, 한국자동차공학 회 추계학술대회논문집, pp. 1309-1314, 2005년
- [4] 정병환, 황선양, 강구태, “자동변속기의 댐퍼 클러치가 Input Shaft의 비틀림 진동 및 차체 진동에 미치는 영향 연구”, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 344-350, 2009.
- [5] 박진영, 김영춘, 오종석, 전재훈, 정준홍, “MR 유체를 적용한 Multi-Plate Clutch의 최적설계”, 한국산학기술학회 논문집, 제 21권 5호, pp.77-83, 2020년.
- [5] Artur Olszak, Karol Osowski, Zbigniew Keszy and Andrzej Keszy, “Investigation of hydrodynamic clutch with a magnetorheological fluid”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures Vol 30, no. 1, pp. 155-168, 2018.
- [6] V. D'Agostino, N. Cappetti, M. Pisaturo and A. Senatore, “IMPROVING THE ENGAGEMENT SMOOTHNESS THROUGH MULTI-VARIABLE FRICTIONAL MAP IN AUTOMATED DRY CLUTCH CONTROL”, ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition Vol 11, pp. 9-19, 2012.