MR유체 다판 클러치의 토크 전달 특성 분석에 관한 연구

박진영*, 김영춘**, 정준홍*
*공주대학교 기계공학과
**공주대학교 미래자동차공학과
e-mail:yckim59@kongju.ac.kr

A Study on the Analysis of Torque Transmission Characteristics of MR Fluid Multi-plate Clutch

Jin-Young Park*, Young-Choon Kim**, Jun-Hong Jeong*
*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University
**Dept. of Future Automotive Engineering, Kongju National University

요 약

소비자들이 차량을 구매할 때 요구하는 needs가 변화함에 따라서 차량의 기술 또한 발전하고 있는 추세이다. 이에 맞추어 차량의 정숙성 및 주행 안정성을 향상시키기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 또한 지능형 유체인 MR 유체를 사용하여 댐퍼, 클러치, 브레이크 등에 적용함으로써 정숙성이 향상된다는 연구결과가 있어 MR 유체에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 같이 주행중 발생되는 진동 및 소음을 저감하고자 본 연구에서는 MR 유체에 대한 특성을 소개하고 유치모드와 압착모드가 모두 가능한 MR 유체 다판 클러치를 설계 및 제작하여 전류의세기 및 간극 변화에 따른 유체에 의한 토크전달 특성을 확인하고자 한다.

1. 서론

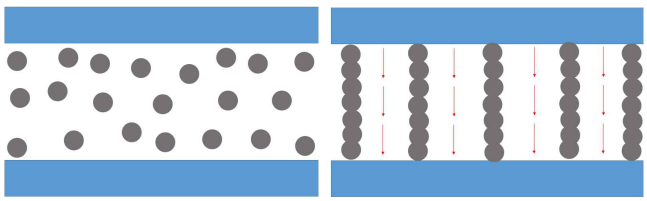
시대의 변화로 인해 대다수의 소비자들은 차량을 구매할 때 인터넷 검색 및 소셜 네트워크를 통해 사전조사를 충분히 하며, 자기가 사고자하는 차량에 대해서는 누구보다 잘 알고 있다. 이와 같이 차량을 구매할 때 차량의 외관과 실내디자인도 많이 고려하지만 고급차량으로 갈수록 차량 구매에 승차감에 더욱 많은 비중을 두고 있는 추세이다. 또한 대다수의 사람들은 엔진의 소리가 커지거나 진동이 느껴지면 엔진오일 교환할 시기가 되었다고 느낄 정도로 소음과 진동에 대해서 매우 민감하다.[1-3]

차량의 승차감 향상 및 소음 진동의 감소를 위해서 현가장치, 클러치, 변속기 등 섀시에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 하지만 클러치는 동력 전달시 회전속도 차이로 인해 진동과 소음이 발생되어 승차감에 영향을 주게 된다.[4-5] 이에 따라 건식 클러치를 MR 유체를 적용한 습식 유체 클러치를 개발하는 연구가 수행되어 왔다. MR 유체를 적용함으로써 진동 및 소음이 감소하였지만 유체에 의해 동력이 전달되어 동력손실이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 유체에 의한 토크전달 및 기계적 마찰에 의한 토크전달이 모두 가능한 MR 다판 클러치를 설계 및 제작하여 하이브리드 MR 다판 클러치의 개발을 위한 기초연구로 유체 토크전달 특성을 확인하고자 한다.

2. 본론

2.1 MR유체

MR유체는 기능성 유체 또는 지능 유체로 불리고 있으며, 자기장을 제어함으로써 Yield stress을 발생시켜 차량의 클러치, 댐퍼, 브레이크 등 많은 분야에서 사용되고 있다. 그림 1과 같이 전기절연성의 액체에 수 μm의 철(Fe)분자를 내포하고 있는 MR유체는 자기장에 반응하여 입자들이 체인구조를 이루어 밀집하게 되고, 이를 통해 발생하는 Yield stress를 통해 클러치에서 토크 전달이 가능하게 된다.[6]



(a) 자기장 제거 (b)자기장 인가

[그림 1] 자기장 인가 여부에 따른 MR 유체 거동

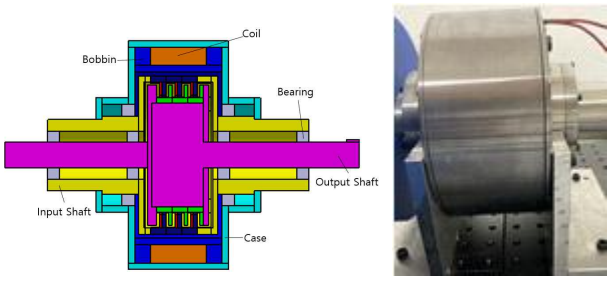
MR유체의 특성은 아래 표에 나타냈으며, 응답성이 빠르고 제어를 통해 원하는 토크 전달이 가능하며, 불순물에 크게 영향을 받지 않아 기계 산업에 적용된다.

[표 1] MR유체의 일반적인 특성

Property	Typical value
maximum Yield Strength	50-100MPa
Maximum Field Strength	~250kAm^{-1}(0.3 Tesla)
Plastic Viscosity	0.1~1.0 Pas
Operable Temperature Range	-40℃~+150℃(limited by a carrier fluid)
Contaminants	Unaffected By Most Impurities
Response Time	<milliseconds
Density	3-4g/cm^3
Maximum energt denisity	0.1J/cm^3
Power Supplay(typical)	2-25V, 1-2A(2-50watts)

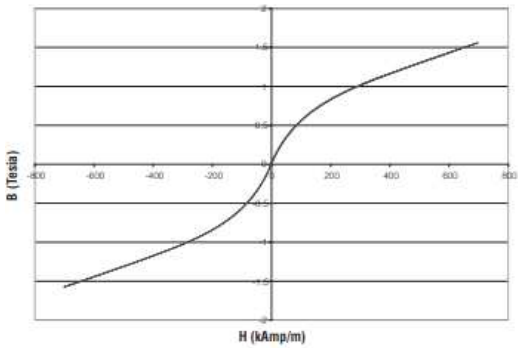
2.2 MR유체 클러치

그림 2와 같이 유체커플링 모드와 기계적 마찰모드를 가진 클러치를 제작하기 위해 소형 건식 다판 클러치를 기초로 제작하였으며, 두 가지 모드로 동작하기 위해 간극을 조절할 수 있도록 설계하였고 Case로 클러치를 외부와 차폐시켰고, 내부에는 MR유체를 충진하였다. 또한 클러치의 처짐을 방지하기 위하여 대칭구조와 Bearing지지대를 설계하여 제작하였다. Output Shaft를 통해 동력을 전달 받으며 Input Shaft가 축방을로 이동하여 클러치를 체결하도록 하였다. 높은 자속밀도를 형성하기 위해 코일 권선 수는 약 1000턴으로 하였으며, 자기장 패스가 나쁜 공기와의 접척을 막기 위해 Case로 차폐시켰다. MR유체의 모델은 Load사의 MRF-132DG를 사용하였으며, B-H커브는 그림 3과 같다.



(a) MR 다판클러치 모델링 (b) 제작된 MR 다판클러치

[그림 2] MR 유체 다판 클러치

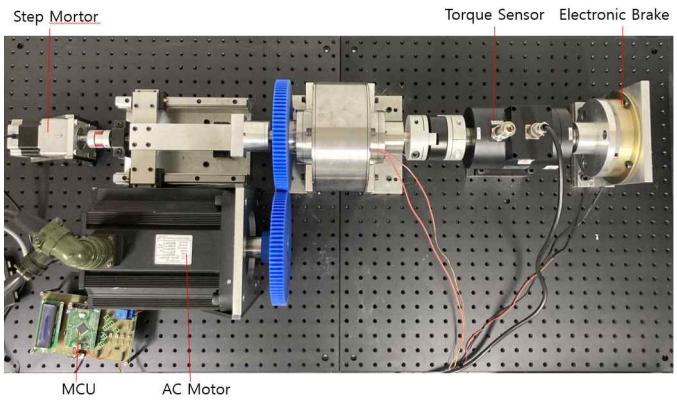


[그림 3] MRF-132DG의 B-H 커브

2.3 실험장치

그림 4는 작동모드를 나눈 클러치를 실험하기 위한 토크시험기이다. 클러치에 동력을 전달시키기 위한 AC Motor, 클러치를 체결시키기 위한 Step Motor, 클러치 토크 측정을 위한 Torque Sensor, 클러치를 잡아주기 위한 Electronic Brake, Motor 제어 및 Torque Senssor 계측을 위한 MCU로 구성되어 있다.

또한 클러치에 전류를 인가해주기 위해 3kw급 전원 공급장치를 사용하였다.



[그림 4] MR 다판 클러치용 토크 시험기

3. 결과

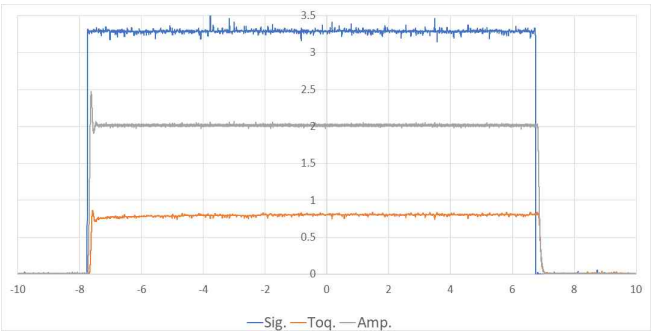
3.1 실험방법

본 연구에서 MR클러치의 유체토크 전달성능을 확인하기 위해 전류는 0~2A까지 0.2A단위로 증가시켰고, 간극은 2mm~0.2mm 까지 0.2mm단위로 감소시키면서 전달 토크를 측정하였다. 간극 변화 및 전류 변화는 1.5초마다 변화하도록 하였으며, 본 실험에서 구동 모터의 회전속도는 안전을 위해 200RPM으로 설정하여 실험을 진행하였다.

3.2 실험결과

모든 실험그래프에서 x축은 시간을 의미하고, y축은 전압을 의미한다. 또한 Sig는 시작과 끝, Toq는 MR 다판 클러치가 전달하는 토크, Amp는 MR 다판 클러치의 인가되는 전류의 크기이며, 토크는 1V당 20Nm이고, 전류는 1V당 1A를 나타낸다.

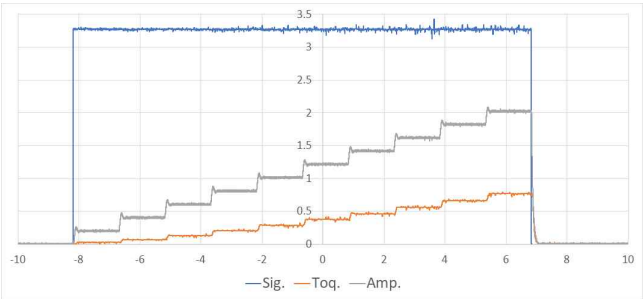
그림 5는 200rpm으로 회전하고 있을 때 2A를 인가하고 0.2mm부터 2mm까지 변화한 그래프이다. 최초 전류가 약 2.5A 까지 상승함에 따라 토크도 동일하게 상승하고 안정되는 것을 확인할 수 있다. 또한 plate와 disc사이 2mm일 때 약 15Nm, 0.2mm일 약 16.2Nm로 간극이 작아질수록 토크가 상승하는 경향을 보인다.



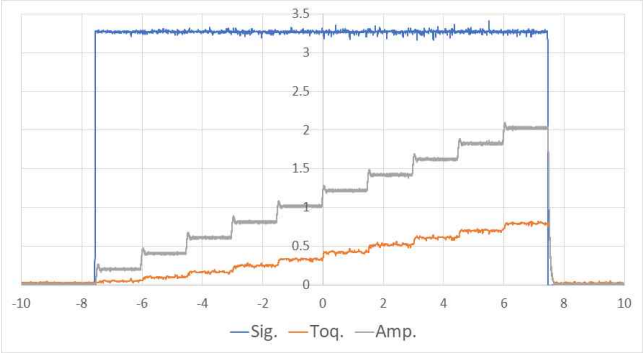
[그림 5] 2A 인가 후 간극 변화[2mm->0.2mm]

그림 6과 그림7은 200rpm으로 회전하고 있을 때 2mm간극 및 0.2mm 간극을 유지하고 0.2A 씩 증가시킨 그래프이다. 2mm 간극일 때 약 0.34Nm부터 약 14.5Nm까지 0.2A 증가 할 때마다 약 1.8Nm씩 증가하는 것을 확인하였다. 또한 0.2mm 간극일 때는 약 0.34Nm부터 약 15.4Nm까지 0.2A마다 1.6~2Nm씩 증가하는 것을 확인하였다.

2mm 간극일 때는 토크의 증가폭이 일정하였으나 간극이 0.2mm 일 때는 증가폭이 불규칙한 경향을 보였다.



[그림 6] 2mm 간극유지 후 전류 변화[0->2A]



[그림 7] 0.2mm 간극유지 후 전류 변화[0->2A]

3. 결론

본 연구에서는 하이브리드 MR 다판 클러치에 간극 및 인가전류를 변화할 때 전달되는 유체 전달토크를 확인하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 전류의 오버슛이 발생하면 토크도 일정량 오버슛이 발생하는 것으로 보이며, 이는 전류를 급격하게 변동할 시 승차감 및 진동 소음에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

- 전류가 일정할 때 간극이 좁아질수록 토크가 증가하는 것으로 보아 유체에 의한 토크전달이 있는 것으로 일정한 토크를 유지하려면 간극이 가까워질수록 전류를 소폭 감소해야하는 것으로 판단된다.

- 간극이 2mm일 때는 전류에 따른 토크제어가 원활히 수행되지만 간극이 0.2mm 일 때는 Disc와 Plate 사이 마찰로 인해 토크가 불안정하여 전류에 따른 토크 곡선이 매끄럽지 않은 것으로 판단된다.

- 본 연구는 향후 마찰모드에 대한 실험 및 체결모드에 대한 제어기를 통한 MR 다판 클러치의 체결 속도를 증가시키는 연구를 수행하는데 기초연구가 될 것으로 예상된다.

후기

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

참고문헌

[1] D. Wang, Z. Tian, Q. Mang, Y. Hou, “Development of a novel two-layer multiplate magnetorheological clutch for high-power applications”, Smart Materials and Structures, Vol.22, No.8 805018, 2013.

[2] T. Kikuchi, K. Ikeda, K. Otsuki, T. Kakehashi, J. Furusho, “Compact MR Fluid Clutch Device for Human-Friendly Actuator”, Journal of Physics: Conference Series, Vol.149, No.1 012059, 2009.
[3] 박진영, 김영춘, 오종석, 전재훈, 정준홍, “MR 유체를 적용한 Multi-Plate Clutch의 최적 설계”, 한국산학기술학회, 제21권 5호, pp. 77-83, 5, 2020.
[4] 박종덕, 김형래, 이순걸, 최명진, 유재관, “고 토크 효율의 소형 MR 유체 브레이크 개발”, 대한기계학회 논문집 A권 43권 7호, pp.451-457, 2019.
[5] 김정석, 이권재, 이기원, 백대성, 권영철, “자기장에 의한 MR 유체의 유동해석 기초연구”, 대한설비공학회 하계학술발표대회 pp.1239-1241, 2011.
[6] 박종호, 함영복, 윤소남, 서우석, “MR 유체의 특성 및 응용사례”, 유공압건설기계학회, 5권 3호, pp.9-14, 9. 2008.