

마찰모드와 유체모드를 결합한 MR 다판 클러치 제어 성능 향상에 관한 연구

정준홍*, 김영춘**, 김홍배***

*공주대학교 기계공학과

**공주대학교 지능형모빌리티공학과

***전남도립대학교 기계융합학과

e-mail:yckim59@konju.ac.kr

A Study on the Improvement of MR Multi-plate Clutch Control Performance Combining Friction Mode and Fluid Mode

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

*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Intelligent Mobility Engineering., Kongju National University

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

요 약

일반적으로 마찰 클러치는 건식클러치와 습식클러치로 구분되며 모두 체결 시 진동과 소음이 발생하는 문제가 있다. 클러치의 체결 시 진동을 감쇠하기 위하여 MR유체를 접목한 클러치에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 진동과 소음 감소에 탁월한 성능을 보여주고 있다. 하지만 현재 연구되는 MR 클러치는 MR유체의 Yield Stress만을 이용하여 고 토크에서 사용하기 위해서는 크기가 커지는 단점이 있다. 본 논문에서는 MR 클러치의 모드를 나누어 저 토크에서는 유체만으로 동작하다가 고 토크에서는 체결하여 마찰모드로 동작하는 클러치를 설계하였으며, 동작 알고리즘의 동력전달 성능을 비교 분석하고자 한다. MR 클러치 설계 시 고 토크에서 사용하기 위하여 다판으로 설계하였으며, 높은 자기장 세기를 형성하기 위하여 Coil을 약 900턴 권선하였다. MR유체는 MRF-132DG 모델을 사용하였으며, 클러치 성능 실험을 위하여 토크 실험기를 사용하였다. 제어 알고리즘은 마찰모드로만 동작하는 모드와 유체모드, 마찰모드 2가지를 결합한 혼합모드에 대한 동력전달 성능평가를 진행하였다. 실험 방법으로는 같은 파형의 입력 토크를 주었을 때 추종 소요 시간 및 평균제곱근 편차(RMSE)를 이용한 토크 추종 성능 평가를 진행하였다.

체의 Yield Stress만을 이용하여 동력전달을 하여왔다. 하지만 자기장을 인가하여 형성할 수 있는 Yield Stress에는 한계가 있으며, 고 토크에서는 클러치의 크기가 커지는 단점이 있다.[6-7]

1. 서론

일반적인 클러치는 Disk와 Plate에 부착되어 있는 마찰패드의 체결에 의해 동력전달이 이루어지며, 체결 시 소음과 진동이 발생하게 된다. 진동을 저감하기 위하여 오일을 이용한 습식 클러치를 사용하고 있지만, 진동 저감에 한계가 있는 실정이다.[1-3]

이러한 단점을 보완하기 위하여 MR(Magneto-rheological) 유체와 같은 지능형 유체를 접목한 클러치가 개발되어 왔다. 여기서 MR 유체는 비전도성 용매에 수 마이크로 크기의 자성 입자를 분사시킨 현탁액으로 Coil에서 발생하는 자기장의 세기에 따라 유체의 점성이 변화하게 된다. 이와 같은 특성을 통해 MR 클러치의 동력전달을 제어할 수 있게 되며, 유체에 의한 동력전달 특성상 진동과 소음이 적다는 장점이 있다.[4-5]

기존 MR 클러치는 MR 유체에 자기장을 인가하여 MR 유

체의 Yield Stress만을 이용하여 동력전달을 하여왔다. 하지만 자기장을 인가하여 형성할 수 있는 Yield Stress에는 한계가 있으며, 고 토크에서는 클러치의 크기가 커지는 단점이 있다.[6-7]

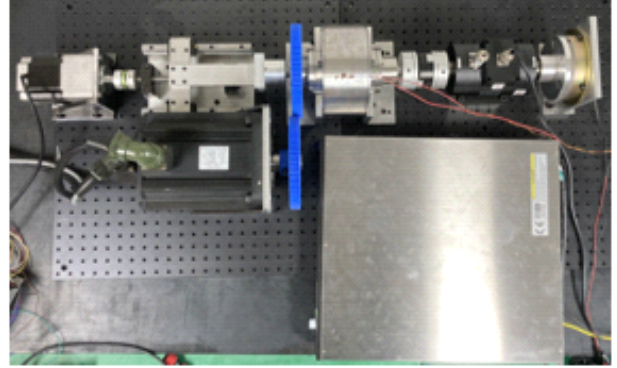
본 논문에서는 마찰 클러치와 기존 MR 유체 클러치의 장점을 결합한 MR 유체 모드와 마찰모드를 가진 클러치의 제어 알고리즘을 제안하고자 한다. 저 토크에서는 MR 유체를 이용하여 동력전달을 하게 되며, 일정 토크 이상에서는 클러치가 체결하여 동력전달이 되도록 알고리즘을 설계하였다. 이렇게 설계한 클러치의 마찰모드와 유체, 마찰 혼합모드의 동력전달 성능을 비교 분석하고자 한다.

2. 본론

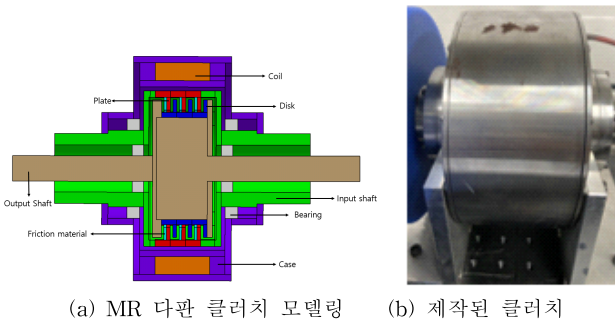
2.1 MR유체 다판 클러치

설계한 MR 클러치는 고 토크 에서도 사용이 가능하도록 다판으로 제작하였으며 그림 1과 같다. 입력축과 체결되는

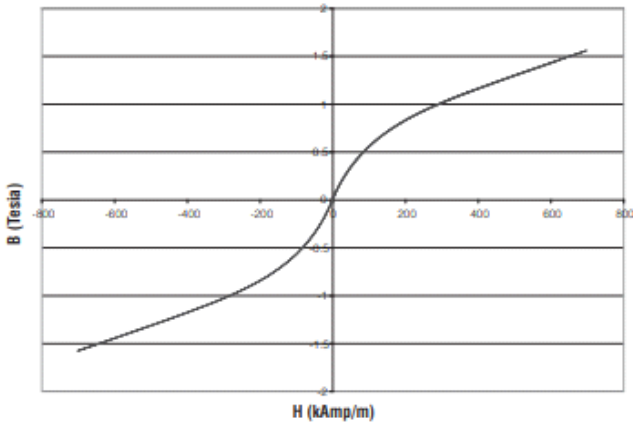
Plate, 출력축과 체결되는 Disk를 각 3판씩 가지고 있으며, 일정한 간극을 가지도록 하였다. 마찰 모드에서 슬립을 방지하기 위하여 Plate에 Friction Material이 부착되어 있으며, MR 유체를 내부에 충전하기 위하여 외부에는 Case가 설계되어 있다. Case에는 자기장을 형성할 Coil이 감아져 있으며, 높은 자기장 세기를 가지기 위하여 약 900Turn 권선하였다. 회전 시 클러치의 하중에 따른 처짐을 방지하기 위하여 축 별로 Bearing이 있으며, 일정한 자기장 세기를 형성하기 위하여 대칭되도록 설계하였다. MR유체는 Load사의 MRF-132DG 모델을 사용하였으며, B-H커브는 그림 2와 같다.



[그림 3] 실험용 토크 시험기



[그림 1] MR 유체 다판 클러치



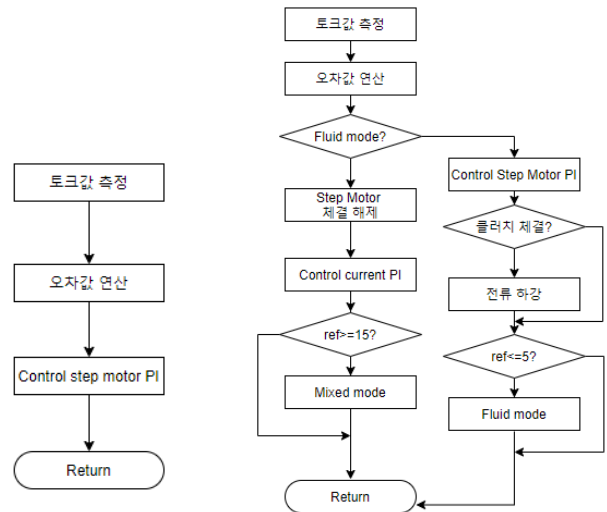
[그림 2] MRF-132DG B-H커브

2.2 토크 시험기

그림 3은 MR유체 다판 클러치의 성능 확인을 위한 토크 시험기이다. 입력축에 동력을 전달하기 위한 AC Motor, 클러치의 압착력을 제어할 Step Motor, 출력축과 체결되어 토크를 측정하기 위한 Torque Sensor, 출력축을 잡아주기 위한 Electronic Brake로 구성된다. 또한 클러치의 자기장을 형성하기 위하여 Power Supply를 사용하였으며, 토크를 계측하기 위한 MCU를 사용하였다.

2.3 제어 알고리즘

그림 4는 유체모드와 마찰모드를 가진 MR 유체 다판 클러치의 성능을 확인하기 위한 제어 알고리즘이다. 자기장을 이용하지 않고 Step Motor의 압착력을 제어하는 마찰모드만을 이용하는 단일 마찰모드와 저 토크에서는 자기장을 이용하는 유체모드, 고 토크에서는 마찰모드를 이용하는 혼합모드 2가지에 대한 토크 추종 성능을 비교 분석하고자 한다.



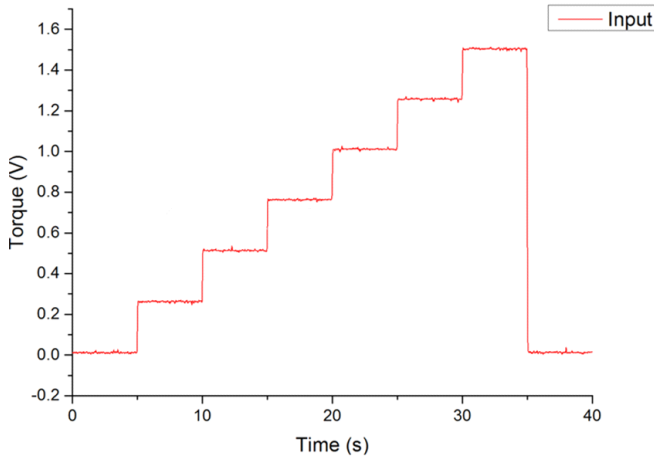
(a) 단일 마찰모드

(b) 혼합모드

[그림 4] 성능 비교를 위한 제어 알고리즘

2.4 실험방법

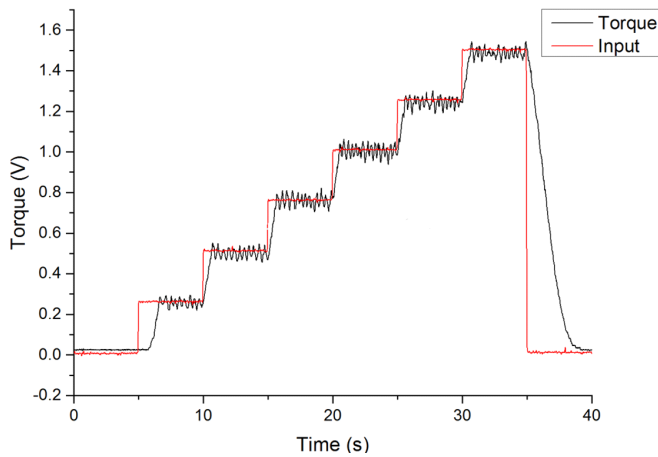
제어 알고리즘의 성능 확인을 위하여 입력 토크에 따른 토크 추종을 보았으며, 평균제곱근 편차(RMSE, Root Mean Square Error)을 이용하여 성능을 평가하였다. 0~30Nm까지 5Nm씩 증가하는 Step 파형의 입력 토크를 주었으며, 5초 단위로 입력 토크를 변화시켰다. 그래프 파형에서 1V는 20Nm를 나타내게 되며, 입력 토크 파형은 그림 5와 같다. AC Motor의 회전속도는 안전을 고려하여 200RPM으로 실험을 진행하였다.



[그림 5] 성능 비교를 위한 입력 토크

3. 결과

그림 6은 단일 마찰모드 알고리즘의 토크 추종을 나타낸 그래프이다. 0~5Nm에서는 토크추종이 가장 느린 경향을 보이며, 각 입력토크 변화에 따른 토크 추종시간과 토크 추종성능을 평가하였으며 표 1과 2에 나타내었다. 토크 추종시간은 입력 토크 지령 후 최대 1550ms 소요되고, 최소 506ms가 소요되었다. 또한 RMSE는 최대 0.115V, 최소 0.057V가 발생하는 것을 확인하였다.



[그림 6] 마찰모드 토크 추종 그래프

[표 1] 마찰모드 토크 추종시간

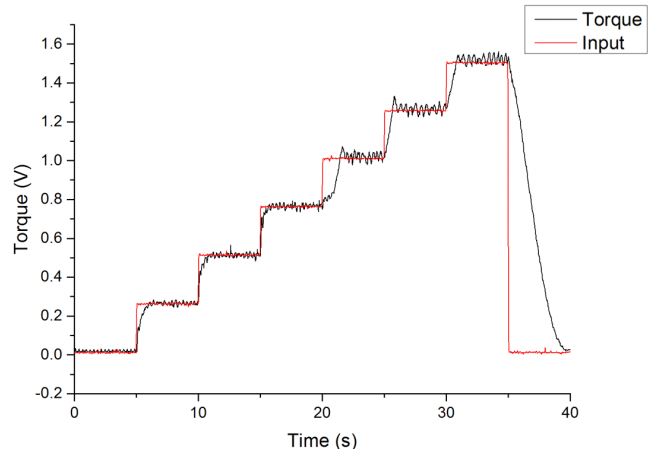
Torque (Nm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
Time (ms)	1550	611	626	506	558	648

[표 2] 마찰모드 토크 RMSE

Torque (Nm)	5	10	15	20	25	30
RMSE (V)	0.115	0.061	0.067	0.057	0.061	0.058

그림 7은 혼합모드 알고리즘의 토크 추종 그래프이다. 혼합모드는 15~20Nm에서 토크추종이 가장 오래 걸렸으며, 각 입력

토크 별 추종시간과 토크 추종성능은 표 3과 4에 나타내었다. 토크 추종시간은 입력 토크 지령 후 최대 1373ms 소요되고, 최소 404ms가 소요되었다. 또한 RMSE는 최대 0.094V, 최소 0.030V가 발생하는 것을 확인하였다.



[그림 7] 혼합모드 토크 추종 그래프

[표 3] 혼합모드 토크 추종시간

Torque (Nm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
Time (ms)	791	512	404	1373	629	750

[표 4] 혼합모드 토크 RMSE

Torque (Nm)	5	10	15	20	25	30
RMSE (V)	0.042	0.032	0.030	0.094	0.057	0.060

4. 결론

본 논문에서는 유체모드와 마찰모드를 결합한 MR 다관 클러치의 제어 알고리즘 성능평가에 대하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 토크 추종 시간은 혼합모드의 유체모드에서 토크 추종시간이 404ms로 가장 짧았다. 응답이 빠른 MR 유체를 이용한 제어모드이기 때문에 사료된다. 또한 각 모드 모두 클러치가 체결하는 구간에서 토크 추종 시간이 가장 느리게 나타났다. 일정한 간극을 가진 클러치가 체결하는 시간이 필요하기 때문으로 예상된다.

- RMSE는 혼합모드의 유체모드에서 가장 좋은 오차 편차를 나타내었다. Step Motor의 물리적인 체결 제어가 아닌 자기장 세기의 제어를 통하여 보다 세밀한 제어가 가능했던 것으로 사료된다. 클러치가 체결 된 시점부터는 두 알고리즘의 성능이 비슷하였으며, 같은 Step motor 압착력 제어를 진행하기 때문으로 예상된다.

- 혼합모드 알고리즘 중 유체모드에서 마찰모드로 넘어 갈 때 마찰모드와 마찬가지로 추종시간이 느린 문제가 발생하였다. 마찰모드에서 유체모드로 넘어가는 적절한 토크값 선정이 중요한 알고리즘 변수일 것으로 예상된다.

- 향후 클러치의 토크 추종성능을 위하여 클러치를 체결 할 Step Motor의 RPM이 중요한 변수가 될 것으로 사료된다. 또한 클러치 체결 속도에 따라 발생하는 진동 및 소음에 대한 연구도 필요할 것으로 예상되며, 이를 통해 유체모드와 마찰모드를 가진 MR 다판 클러치의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

후기

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

참고문헌

- [1] 필계개, “클러치 마모량 수명 예측 Watchdog 알고리즘 개발”, 국내석사학위논문 계명대학교대학원, 9월, 2019년
- [2] 박윤경, “토크 컨버터 다판 록업 클러치의 부하압력에 관한 연구”, 국내석사학위논문 서울과학기술대학교 일반대학원, 1월, 2017년
- [3] 정규홍 외 2인, “자동변속기 클러치 디스크 마찰특성의 실험적 분석”, 유공압건설기계학회, 드라이브컨트롤 15(3), pp. 14-20, 1월, 2018년.
- [4] 김형래 외 2인, “모듈러 구조의 다중디스크를 갖는 MR 유체 브레이크 개발”, 한국정밀공학회, 학술발표대회 논문집, pp. 391-392, 12월, 2017년.
- [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.