습식클러치 패드의 Groove 패턴에 의한 변속기유의 동적 거동

김해용¹ · 장시열^{2*} · 김우정³ · 신순철⁴

¹국민대학교 자동차공학전문대학원, ²국민대학교 자동차공학과
³현대파워텍(주), ⁴한국파워트레인(주)

Analysis of Dynamic Behaviors of Transmission Fluid Film in Wet Clutch Pad according to Patterned Grooves

Hae Yong Kim¹, Siyoul Jang^{2*}, WooJung Kim³ and Soon Cheol Shin⁴

¹Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, 77 Jeongneung-dong,
Sungbuk-gu, Seoul, Korea

²School of Automotive Engineering, Kookmin University,

³Hyundai Powertech, Co., Namyang, Korea

⁴Korea Powertrain, Co., Daegu, Korea

(Received December 27, 2013 ; Revised February 25, 2014 ; Accepted February 28, 2014)

Abstract – Transmission fluid film behaviors in the gap between the wet clutch pad and separator plate are analyzed using the CFD software ADINA. Three pattern groove designs are selected and are used to validate the fluid film behaviors based on the outlet flow in the gap when the wet clutch pad and separator plate are engaged. The main design goal for pattern grooves is faster engagement. In most cases, much of the outlet flow of transmission fluid in the gap occurs on the outer radius boundary due to the centrifugal force generated by the clutch pad circular motion. Groove patterns are created to ensure faster transmission fluid outlet flow in the direction of the inner radius boundary. Computational results of the selected groove patterns are compared.

Keywords – clutch engagement (클러치 체결), friction pad (마찰패드), groove pattern (그루브 패턴), transmission fluid (TF, 변속기 오일), wet clutch (습식클러치)

1. 서 론

자동차용 변속기의 주요 기능은 엔진의 동력을 차량의 원활한 운행을 위한 크기와 속도의 형태로 전달하는 것이다. 이러한 변속기는 수동변속기, 자동변속기, 무단변속기, 자동화 수동변속기, DCT(dual clutch transmission)등이 있으며, 자동차의 기술 개발에서 엔진 기술과 함께 변속기 기술 개발은 가장 중요한 기술로

고려되고 있다. 그 이유는 높은 고정밀 설계 및 내구성 기술을 요구하고, 많은 연구 투자와 시간이 필요로 하며, 자동차 제품의 경쟁력을 위해 필수적으로 개발해야 하기 때문이다. 또한 지구온난화에 대한 각종 환경규제가 강화되고, 차량의 연비와 주행성능 향상을 위한 방향에서 이러한 연구는 자동차 생산품의 경쟁력을 위한 중요한 기술 개발로 인식되고 있다[1, 2].

오늘날 변속기의 기술 개발 방향은 변속단수의 다단화와 다운사이징에 초점을 맞추고 있다. 이러한 기술을 완성하기 위한 변속기 기술개발은 접촉 구동요소의 내구성 및 성능을 향상시키는 기술을 필수적으로 필요로 하며, 이중에서도 습식 클러치(wet clutch)의 접촉 구동

*Corresponding author : jangs@kookmin.ac.kr

Te: +82-2-910-4831, Fax: +82-2-910-4718

© 이 논문은 한국윤활학회 2013년도 추계학술대회 (2013. 10. 16.~18/여수 히든베이호텔) 발표논문임.

규명은 변속기의 성능 및 내구성 증진에 고출력화를 위해 절대적으로 필요하다[3].

본 연구는 자동 변속기 및 DCT에서 내구성 및 성능에 중요한 역할을 하는 습식클러치의 접촉면에서 변속기유 유막(transmission fluid)의 유동현상에 대한 연구를 진행하였다. 구체적 설계 변수인자는 습식클러치의 마찰면의 그루브(groove) 패턴에 대한 설계형상으로 체결과정 중에 나타나는 변속기유의 유막에 대한 유동현상을 규명하며, 해석결과는 습식클러치의 체결제어를 위한 마찰패드의 설계에 적용할 수 있도록 하였다.

2. 해석방법 및 해석 조건

2-1. 해석 방법

Fig. 1은 서로 다른 상대 속도를 갖는 세파레이터 플레이트(separator plate)와 습식클러치 패드(friction plate)의 체결과정을 나타내고 있다. 비동기화 상태의 세파레이터 플레이트와 습식클러치 패드의 회전속도가 체결과정을 통해 동기화(synchronization)되는 과정을 나타내고 있다.

클러치의 체결과정에 대한 해석은 세파레이터 플레이트와 클러치 패드의 체결과정을 상대회전속도 개념을 이용하여 해석하였다. 엔진 측 회전속도를 정지상태로 고정하고 클러치 측 회전속도를 변화시키는 방법을 적용한다. 상대회전속도는 자동 변속기 및 DCT에서 나타날 수 있는 대표적인 값으로 설정하였으며, 각각 500 rpm과 1500 rpm으로 조건으로 한다.

체결과정중에 습식클러치의 그루브 내부 및 틈새 사이에서 일어나는 변속기유의 유막에 대한 유동현상은 ADINA 소프트웨어를 이용하여 해석하였다. 해석의 주요 목적은 습식클러치의 빠른 체결과정과 마찰열 발생

을 억제하기 위한 습식클러치 패드의 그루브 패턴에 대한 설계 형상의 정보를 얻기 위함이다[4-6].

Fig. 2는 해석에 사용된 3개의 클러치 패드 모델들에 대한 형상과 유동해석을 위한 유한요소해석 모델링을 나타내고 있다. 습식 클러치의 체결과정에서 변속기 오일에 의해 발생하는 여러 가지 유동 손실을 줄이기 위해 체결과정중 변속기 오일의 원활한 배출성능을 증진하는 것이 중요하다. 따라서 클러치 패드의 패턴 그루브 형태를 내경방향에 추가하는 방향으로 클러치 패드의 그루브 패턴에 대한 설계의 변화를 도모한다.

특히 원형 습식클러치는 체결과정 중에 회전에 의한 원심력을 받기 때문에 변속기유의 배출은 외경 방향으로 집중되며, 빠른 체결을 위해 내경 부분에도 그루브 패턴을 설계하여 배출 유동을 규명할 필요가 있다. 이를 위한 방법으로 체결과정중 클러치 패드와 세파레이터 사이의 틈새에서 신속하게 변속기유의 배출 유량을 최대화하기 위해 플레이트의 내경과 외경에 곡선형태의 그루브 형태를 다양하게 적용한다. 또한 대상 모델의 해석 결과를 통해 마찰재의 내경 및 외경에 형성된 그루브가 변속기 오일의 유동에 미치는 영향을 규명한다.

해석대상이 되는 모델 A, B, C의 그루브 패턴에 대한 주요 차이점은 외경의 그루브 패턴의 형태를 고정하고 틈새내의 변속기 방출을 통한 체결의 원활함에 대한 분석을 위해 내경 부분에 그루브 패턴을 추가 구성하였다. Type A는 내경방향 그루브가 형성되지 않고, 외경방향으로 형성된 그루브는 Type A, B, C 모델에서 공통적으로 형성되어 있다. Type B는 외경방향 그루브와 대칭적으로 내경방향 그루브가 형성되어 있는 모델이다. Type B처럼 플레이트의 내외경 방향으로 그루브를 형성함으로써 유체의 원활한 유동을 기대할 수 있다. Type C는 Type B에서 형성된 플레이트 내경방향 그루브의 수를 증가시킨 모델이다.

2-2. 해석 조건

Fig. 3은 클러치 패드와 세파레이터 틈새내의 변속기 유막에 대한 유동해석에 적용된 해석 조건을 나타내고 있다. 엔진 측 회전속도에 변화를 주고 클러치 측 회전속도를 '0'으로 하였다. 플레이트의 내경방향 압력은 1.0 bar로 고정하고, 외경방향 압력을 1.0 bar 및 6.0 bar로 설정하여 해석을 수행하였다. 이때의 압력경계조건 값은 변속기 오일펌프에 의해 변속기 내부 구성 모듈에 공급되는 공급압력을 고려한 값이다. 플레이트의 두께는 0.5 mm이며, 변속기 오일의 유막 두

Fig. 1. Wet clutch engagement mechanism with separator plate of different contact speed.

Fig. 2. Schematics of the simulation models (left) and grid patterns for FEM modeling (right) for the clutch pad.

Fig. 3. Geometrical and operational contact conditions in wet clutch pad and separator plate.

께는 10 μm 로 설정하였다. 수치해석을 위한 이러한 입력 조건은 습식 클러치의 체결 과정 중에 나타나는 대표적 접촉 조건이며, 그루브 패턴의 형태가 본 연구의 대상처럼 복잡하면 CFD의 상용 소프트웨어를 이용한 해석으로 클러치 패드의 설계 변경에 빠르게 대응할 수 있는 장점이 있다. 그루브 패턴에서의 유동 형태를 비교하기 위하여 습식클러치판과 세파레이터 플레이트 사이의 유막에 대한 유체요소를 사각형의 유한요소 격자를 생성하여 유동 현상을 비교한다.

3. 결 과

3-1. 습식클러치 패드 패턴에서의 유막 유동

습식클러치 패드에서 그루브 패턴의 기능은 접촉 마

Fig. 4. Velocity fields of transmission fluid film in the pattern groove of each clutch pad model [mm/s].

찰면에서의 틈새에 존재하는 변속기유의 빠른 분출을 유도하는 기능을 한다. 따라서 습식클러치와 세파레이터의 접촉에서 이러한 패턴 그루브 내부에서의 변속기유막 거동이 어떤 형태로 나타나는지와 클러치 접촉면의 내경과 외경 부분에서 변속기유 배출량에 대한 규명이 필요하다. 특히 습식클러치의 접촉 운동은 회전에 의한 원심력으로 외경 방향에서 많은 유출이 예상되고 있으나, 내경 방향으로도 변속기유 배출이 일어난다면 클러치와 세파레이터 사이의 틈새에서 존재하는 변속기유의 빠른 배출로 체결 동작을 빠르게 제어할 수 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 모델링한 습식클러치에서 체결 과정 중에 나타날 수 있는 패턴 그루브 내부에서 변속기유의 유막 거동 형태를 속도장의 크기에 따라 나타내었다. 원심력과 상대 접촉면의 회전운동에 따라 유동이 일어나는 형태를 볼 수 있으며, 모델 C의 경우 내경 방향에서의 유동이 활발함을 볼 수 있다. 모델 B의 경우는 유동 방향과 그루브 패턴 방향이 비슷하게 형성되어 있어, 모델 A의 경우 보다 원활한 분출 유도된다.

Fig. 5는 모델 C의 경우에서 500 rpm의 회전 접촉 조건에서 내경부분에 1.0 bar, 외경의 압력 경계조건을 1.0 bar 및 6.0 bar로 설정하였을 때 유막의 속도장에 대한 해석결과이다. 외경 부분에 더 높은 압력이 형성되었을 때 외경 방향으로 변속기유가 배출되려는 유동은 저항을 받는 것을 보여주며, 결과적으로 외경 방향으로의 유량의 크기는 작게 된다. 이러한 경우는 변속기 내부의 변속단수에 따라 상시적으로 나타날 수 있는 작동 조건이다.

Fig. 5. Velocity field of fluid film flows on the clutch pad of model C [mm/s].

Fig. 6. Result of the fluid film velocity at 500 rpm of model C [mm/s].

Fig. 7. Result of the fluid film velocity at 1500 rpm of model C [mm/s].

Fig. 6과 Fig. 7은 Model C의 클러치 패드면의 유막에 대하여 상대회전속도(500, 1500 rpm)와 압력 경계 조건의 변화(1.0, 6.0 bar)에 따른 변속기 유막의 유속 크기에 대한 해석결과를 나타내고 있다. 회전 속도가 크면 외경 방향 부근에 큰 유속을 볼 수 있으며, 이것은 외경 방향으로의 많은 유량 분출을 일으킨다. 그러나 외경 방향에 상대적으로 큰 압력이 형성될 때 회전 속도에 의한 유속이 외경 방향으로 커지고 있더라도 유동 저항을 발생시켜 외경방향의 압력경계조건이 낮을 때 보다 유속이 상대적으로 크게 감소한다.

Fig. 8에서 Fig. 13는 그루브 패턴 A, B, C의 상대회전속도와 외경 방향의 압력 경계조건에 따라 내경방향과 외경방향으로의 유량을 계산한 결과를 나타낸 것이다.

회전속도 500 rpm와 외경방향에서의 압력경계조건이 1 bar일 때 Type A(Fig. 8)보다는 Type B(Fig. 9)의 그루브 패턴 형태가 체결시 클러치 패드와 세파레이터 틈새사이에서의 변속기 유출이 더 많이 되며, 이러한 경향은 Type C(Fig. 10)의 그루브 패턴에서 가장 많이 일어난다. 회전속도 1500 rpm와 외경방향에서의 압력경계조건이 1 bar일 때 변속기유 유출 형태도 같은 경향을 보여주고 있다.

회전속도가 빠름에도 불구하고 Type C의 경우는 500 rpm과 1500 rpm 모두에서 Type A와 B의 경우

Fig. 8. Flow rates of Type A at inner and outer radius locations under 1 bar of outer radius boundary.

Fig. 10. Flow rates of Type C at inner and outer radius locations under 1 bar of outer radius boundary.

Fig. 9. Flow rates of Type B at inner and outer radius locations under 1 bar of outer radius boundary.

Fig. 11. Flow rates of Type A at inner and outer radius locations under 6 bar of outer radius boundary.

와 달리 외경 방향보다 내경 방향에서 더 많은 변속기유 배출량을 나타낸다. Type C의 경우는 내경 방향의 유량이 외경 방향의 유량보다 많은 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향을 나타내는 것은 그루브가 형성된 영역이 외경 방향과 비교하여 내경 방향이 상대적으로 더 많아 유동 단면적이 더 넓기 때문이다. 이러한 결과는 패턴 그루브의 설계에 따라 더 원활한 유체의 배출성능을 유도할 수 있음을 보여주고 있다.

외경에서의 압력 경계조건이 6 bar일 때(Fig. 11-13) 위의 설명과 같은 형태의 유량배출 성능을 보여주

고 있다. 그러나 배출경계지점에서 압력 저항으로 1 bar의 경우보다 배출 유량이 적게 나타난다.

클러치 패드와 세파레이터의 접촉 틈새를 빠져나가는 변속기유의 배출유량의 해석 결과를 통해서 클러치 패드에 형성된 패턴 그루브의 형상이 습식클러치의 체결과정에서 변속기유의 배출에 미치는 커다란 영향에 대해 확인할 수 있다. 신속하고 원활한 습식클러치의 체결과정에서 변속기유의 빠른 배출이 매우 중요하다는 점에서, Type A, B, C의 그루브 패턴 중에서 변속기유의 원활한 배출성능은 습식클러치의 체결과정에

Fig. 12. Flow rates of Type B at inner and outer radius locations under 6 bar of outer radius boundary.

Fig. 13. Flow rates of Type C at inner and outer radius locations under 6 bar of outer radius boundary.

서 변속기유에 의해 발생하는 여러 가지 유체 마찰손실을 방지할 수 있을 것이다. 특히, 향상된 변속기유의 원활한 배출성능은 결과적으로 체결과정에서 발생하는 드래그 토크를 감소시키는데 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 논문에서는 습식클러치를 통해 엔진과 변속기등의 동력전달시스템을 동기화시키는 체결과정에서 습식

클러치 패드 패턴에 따라 클러치 패드와 세파레이터 사이의 틈새에서 변속기유의 유막거동에 대한 해석을 수행하였다.

습식클러치와 세파레이터 사이의 상대회전속도와 내외경 부분의 압력경계 조건의 변화에 따라 습식클러치 패드에 형성된 패턴 그루브를 통해 변속기유의 배출성능이 크게 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한 변속기유의 원활한 배출성능은 습식클러치의 체결성능 향상에 중요한 역할인데, 습식클러치 패드에서의 패턴 그루브 형태에 따라 비교적 많은 양의 변속기 유동을 조절할 수 있다는 것을 확인하였다.

습식클러치의 변속기유 거동 특성에 관한 본 연구의 해석 결과는 클러치 체결 특성을 규명하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

Acknowledgements

본 연구는 2012년도 한국연구재단, 지식경제부 연구지원사업(2012R1A1A2041907, R0001406) 및 한국과워트레인(주)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.

References

- [1] Cho, J., "CFD modeling of squeeze film flow in wet clutch", *SAE Int.*, No. 01-1236, 2011.
- [2] Jang, J., "Three-dimensional thermohydrodynamic analysis of a wet clutch with consideration of grooved friction surfaces", *Trans. ASME J. Tribol.*, Vol. 133, No. 1, pp. 011703, 2010.
- [3] Yuan, Y., "CFD simulation of the flows within disengaged wet clutches of an automatic transmission", *SAE Technical Paper*, No. 01-0320, 2003.
- [4] Zagrodzki, P., "Analysis of temperature and stresses in wet friction disks involving thermally induced changes of contact pressure", *SAE Technical Paper*, No. 982035, 1998.
- [5] Mustafa, R., "Model-based estimation of unknown contact forces acting on a piston in dual clutch transmission", *SAE Int.*, No. 2012-01-0110, 2012.
- [6] Zagrodzki, P., "Generation of Hot Spots in a Wet Multidisk Clutch During Short-Term Engagement", *Wear*, Vol. 254, pp. 474-491, 2003.
- [7] Jang, S., Jeon, J., "Analysis of ATF Behavior Characteristic in Friction Clearance by Friction Plate Modeling of Automatic Transmission Wet clutch", *Proc. Fall Conference of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, pp. 292-299, 2008.