

## 마찰재 그루브에 따른 습식 클러치 드래그 토크 변화 연구

류진석<sup>1</sup> · 성인하<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한남대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>한남대학교 기계공학과

### Effect of Angle and Density of Grooves between Friction Plate Segments on Drag Torque in Wet Clutch of Automatic Transmission

Jin Seok Ryu<sup>1</sup> and In-Ha Sung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, Hannam University

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Hannam University

(Received January 3, 2014 ; Revised February 4, 2014 ; Accepted February 5, 2014)

**Abstract** – As the importance of transmission efficiency to reducing fuel consumption and conserving the environment rapidly increases, reducing the drag torque in an automotive wet clutch is emerging as an important issue in the automotive industry. The drag torque in a clutch occurs from viscous drag generated by automatic transmission fluid in the narrow gap between separate friction plates. In this study, the drag torques in an automotive wet clutch are investigated with respect to the angle and density of the grooves between separate friction plates by three-dimensional finite element simulation of a single set of wet clutch disks considering the two-phase flow of air and oil. The simulation results shows that the drag torque generally increases with the rotational speed to a critical point and then decreases at the high-speed regime. The grooves between the plates plays an important role in reducing the drag peak, and the inclined angle of the grooves affects the oil flow. The grooves with an angle of 50° shows the lowest drag torques at both low and high speeds. The flow vectors inside the 50° grooves shows clear evidence that the fluid flows out more easily from the grooves compared with the flow vectors inside grooves with lower angles. The simulation results shows that increasing the number of grooves (density of grooves) decreases the drag torque.

**Key words:** computational fluid dynamics (전산유체역학), drag torque (드래그 토크), two-phase flow (이상 유동), volume of fluid method (유체 체적법), wet clutch (습식 클러치)

#### Nomenclature

- $R_1$  : Inner radius (m) (내경)  
 $R_2$  : Outer radius (m) (외경)  
 $h$  : Clearance (mm) (간격)  
 $\theta$  : Angle of grooves (deg.) (그루브각도)  
 $\omega$  : Rotational speed (rpm) (회전속도)

#### 1. 서 론

최근 들어, 국제적으로 환경 보호 및 보존에 대한 관심이 커짐에 따라 자동차 업계에서도 차량 연비 상승과 배기가스 배출을 줄이기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 드래그 토크는 자동변속기 차량의 습식 클러치 내부에서 friction plate와 separate plate 사이에서 자동변속기 오일(automatic transmission fluid, ATF)의 유동에 의해 발생된다고 알려져 있으며, 이는 클러치

\*Corresponding author : [isung@hnu.ac.kr](mailto:isung@hnu.ac.kr)  
Tel: +82-42-639-8316, Fax: +82-42-629-8293

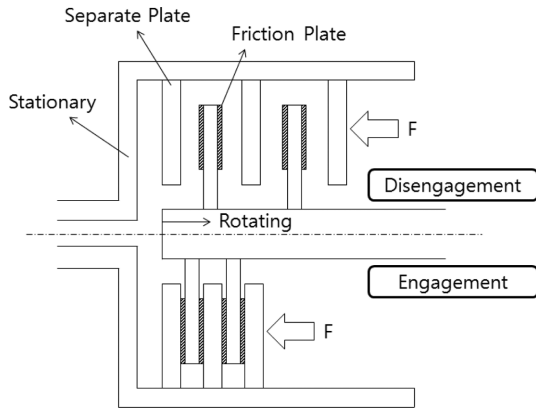


Fig. 1. Schematic of clutch engagement and disengagement.

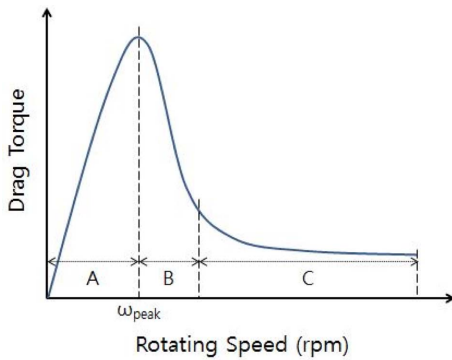


Fig. 2. Typical drag torque curve with respect to rotational speed.

팩 내부의 동력 손실 중 약 1/3을 차지할 만큼 중요한 요소이다.

일반적인 자동변속기 차량의 습식 클러치 시스템에서는 ATF는 축으로부터 분사되고, 분사된 ATF는 manifold를 거쳐 여러 장의 friction plate와 separate plate의 틈새로 유입된다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이, 비결속(disengagement) 상태에서도 plate사이의 미세한 간격(clearance) 내의 ATF에 의한 드래그 토크로 인하여, 동력 및 연료 소비가 발생하게 된다.

Fig. 2는 회전속도( $\omega$ )에 따른 일반적인 드래그 토크의 변화 그래프로써, 드래그 토크는 회전속도가 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하다가 최대값에 도달한 후에 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 그림에서 A 영역은 축으로부터 분사된 ATF가 friction plate와 separate plate 사이의 틈새를 가득 채우는 영역이고, B 영역은 plate 사이의 틈새를 가득 채운 ATF가

friction plate의 회전에 의한 원심력 및 중력에 의해 클러치 팩 외부로 빠져나가며 공기가 유입되는 구간이다. C 영역에서는 비교적 안정적인 드래그 토크가 발생됨을 알 수 있는데, 이 영역에서는 ATF와 공기가 틈새 내에 미세한 연무(mist)의 형태로 존재하게 된다.

1970년대 이후, 많은 연구진들에 의해 여러 가지 설계 변수가 드래그 토크에 미치는 영향에 대해 연구되어 오고 있으며 드래그 토크를 발생시키는 가장 중요한 설계 변수는 ATF의 유량, plate 사이의 간격과 접촉면적, friction plate의 회전 속도 등으로 보고되고 있다[1-8]. Takaki의 연구[8]에 따르면, 드래그 토크는 ATF 단일 유동에서 공기가 섞이기 시작하면서 감소된다고 알려져 있으며, friction plate의 그루브는 드래그 토크를 제어하는데 중요한 변수 중 하나라는 것을 밝혀냈다. 그루브의 경우 개수에 무관하게 동일한 면적을 가질 수 있도록 적절한 각도를 유지하며 생생해 실험을 진행했으며, 원주 방향의 그루브를 추가해 경향을 살펴보았다. 연구 결과에 따르면, 그루브의 개수가 증가할수록 드래그 토크가 감소하는 경향을 보였으며, 원주 방향의 그루브는 드래그 토크가 감소하는 것을 방해하는 역할을 함을 밝혀냈다.

이와 같은 기존의 연구들에도 불구하고, 실제 변속기 클러치 내부에서 여러 변수들의 영향이 복합적으로 나타나는 양상을 보이고, 또한 오일 분사 위치와 균등한 분사량 등 잘 제어되기 어려운 변수들로 인하여 현업에서는 드래그 토크에 대해서 구체적인 설계 가이드 라인을 확보하지 못하고 있는 상태이다. 또한 ATF의 점성에 의해 미세한 간격 내에서 발생하는 드래그를 줄이기 위해 friction plate에 다양한 패턴과 그루브(groove)를 적용해 ATF의 원활한 배출을 돕고 있고, 이의 영향 분석과 그에 따른 설계 기준 확보가 현업에서 크게 필요로 되고 있으나, 아직 명확히 규명되어 있지 않아 많은 연구가 필요하다.

이러한 배경으로부터, 본 연구에서는 유한요소 해석을 이용하여 friction plate의 그루브의 각도와 밀도의 변화가 드래그 토크에 어떤 영향을 미치는지에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 연구방법 및 내용

### 2-1. 연구방법

Fig. 3는 비결속 상태의 그루브가 없는 습식 클러치 단면과 클러치내 유체 채널에서의 유동에 의한 드래그

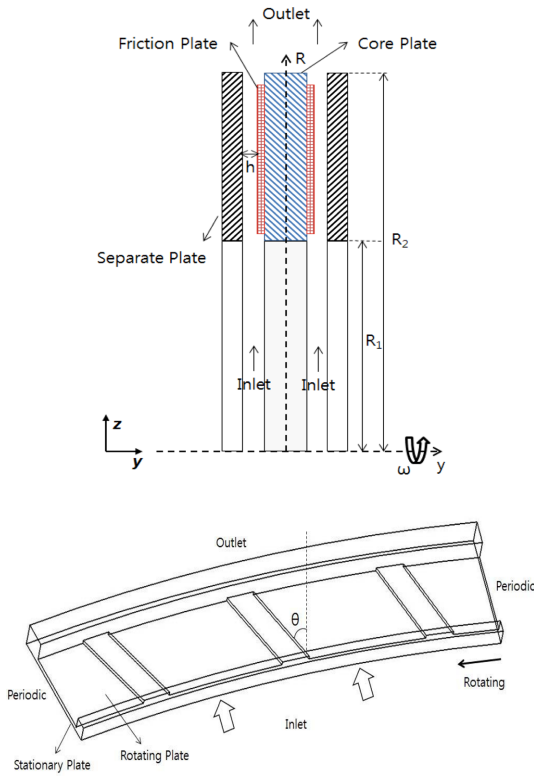


Fig. 3. Schematic of a disengaged wet clutch and the clutch model used for finite element simulation.

토크의 해석 연구를 위해 사용된 유한요소해석 모델을 간략하게 도식화한 것이다.

그림에서  $R_1$ 은 내경,  $R_2$ 는 외경,  $h$ 는 friction plate와 separate plate 사이의 틈새를 의미하며, friction plate는 core plate에 부착되어 있고 해석이 시작되면 정지상태에서 5000 rpm까지 회전속도가 선형적으로 증가하게 된다. Separate plate는 모든 방향에 대해 고정되어 있고, friction plate와 separate plate 사이의 간격(그림에서  $h$ )을 변화를 주어 해석을 수행하였다. 입구와 출구는 열려있으며 입구에서는 일정 유량의 ATF가 분사되며, 분사된 ATF는 friction plate와 separate plate 사이의 간격을 통해 흐르며 원심력에 의해 반경 방향으로 빠져나가게 된다.

Mesh 생성, 해석, 후처리 과정을 진행하는데 상용 소프트웨어인 ADINA가 사용되었으며, 실제와 유사한 연구 결과를 도출하기 위해서 각 plate는 세로 방향으로 세워져 있으며  $-z$ 축 방향으로 중력이 가해진다. 대칭모델의 클러치를 사용함에 따라 본 연구에서는 전체

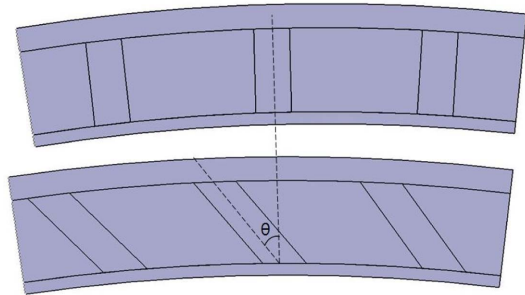


Fig. 4. Definition of angle of grooves.

모델의 1/24만 모델링했으며, 회전 방향의 면에는 주기 경계 조건(periodic boundary condition)이 부여되었다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 그루브 각도 (그림에서  $\theta$ )는 회전축 중심에서부터 plate의 원주에 내린 수직선의 방향을 0도로 정의하였다. 본 연구에서는 그루브가 존재하지 않는 경우 및 0~50도까지 그루브 각도를 변화시키면서 드래그 토크에 미치는 영향을 해석을 통해 고찰하였다.

ATF의 물성은 일반적으로 사용되는 자동변속기 오일의 물성을 사용하였으며, ATF 유동은 좁은 틈새 내에서의 유동이므로 층류로 가정하였고, 해석은 상온에서 수행되어 열전달 및 ATF와 공기 사이의 표면장력은 무시하였다.

공기와 ATF의 2가지 상의 혼합상황에 대한 이상 유동(two-phase flow)을 구현하기 위해 유체 체적법(volume of fluid, VOF)을 사용했으며, 초기 채널 내

Table 1. Properties of various parameters.

| Parameters                                  |                              | Value                 |
|---|------------------------------|-----------------------|
| ATF<br>(at 20°C)                            | Viscosity (Pas)              | $7.04 \times 10^{-2}$ |
|   | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 857                   |
| Air<br>(at 20°C)                            | Viscosity (Pas)              | $1.85 \times 10^{-5}$ |
|   | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | 1.177                 |
| ATF Flow Rate (liter/min.)                  |                              | 0.1                   |
| Rotational Speed (rpm)                      |                              | 0~5000                |
| Angle of Grooves ( $\theta$ )               |                              | 0~50                  |
| Clearance (mm)                              |                              | 0.1, 0.2, 0.3         |
| Number of Grooves (per 1/24 of whole model) |                              | 0, 1, 2, 3            |
| Size of the Model                           |                              | 1/24                  |

부는 공기로 가득 차 있고 해석이 진행되면서 입구를 통해 일정한 유량으로 분사된 ATF가 채널 내부를 가득 채우게 된다. ATF 유량은 일정 속도로 일정 시간 분사되는 것으로 가정하여 조절하였다[9]. 채널 내부를 가득 채운 ATF는 플레이트의 회전에 의한 원심력 및 중력에 의해 출구로 빠져나가게 되고 이에 따라 채널 내부로 공기가 유입된다.

Table 1은 유한요소해석을 위해 사용된 여러 물성치와 해석 범위이다.

## 2-2. 드래그 토크 산출

1970년대부터 많은 연구진들에 의해 클러치 내부의 드래그 토크를 예측하는 수학적 모델들이 개발되었다. 층류 유동과 ATF 단일 유동에 기반을 둔 전통적인 수학적 모델링의 경우 고속 영역에서 공기와의 상호 작용에 의한 드래그 토크의 감소를 예측하는데 한계가 있다. 드래그 토크는 유체의 점성에 의한 전단응력과 friction plate의 내경, 외경으로부터 다음과 같이 계산될 수 있다[10].

$$T = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} r \tau dr \quad (1)$$

여기서,  $T$ 는 드래그 토크,  $R_1$ 은 friction plate의 내경,  $R_2$ 는 friction plate의 외경,  $r$ 은 반경,  $\tau$ 는 유체의 전단응력을 의미한다.

본 연구에서는 식 (1)을 이용해 해석으로부터 얻어진 전단응력을 드래그 토크로 환산하였고, 전단응력은 friction plate와 separate plate 간 간격의 중간 단면에서의 평균값을 취했다.

## 3. 결과 및 고찰

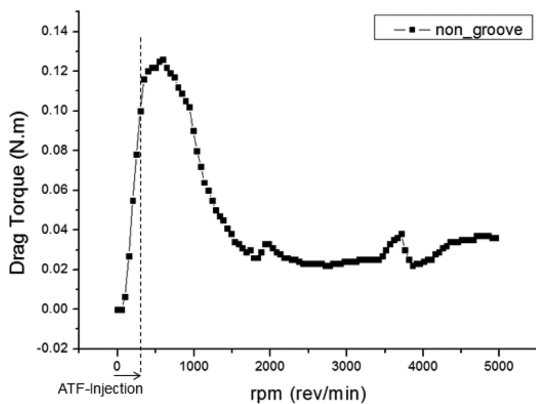


Fig. 5. Drag torque variation of non-groove model.

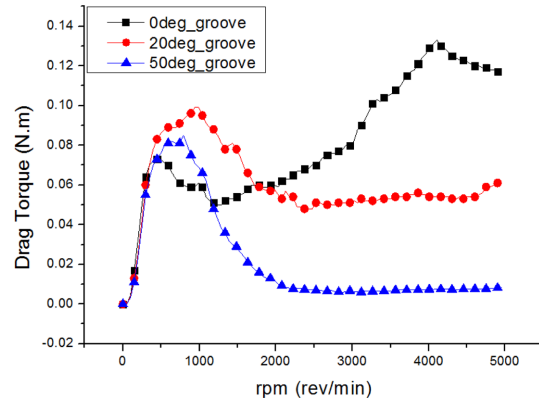


Fig. 6. Drag torque variation with respect to the angle of grooves between friction plate segments.

### 3-1. 그루브 각도의 영향

#### 3-1-1. 그루브가 없는 경우

Fig. 5는 그루브가 없는 모델(non-groove model)에서의 회전속도에 따른 드래그 토크 변화이다. 결과에서 확인할 수 있듯이, 저속영역에서는 ATF가 채널 내부를 채우며 드래그 토크가 거의 선형적으로 급격히 증가하게 되고, 고속영역에서는 ATF가 plate간 간격의 유체 채널에서 빠져나가면서 공기가 유입되고 이에 따라 ATF에 의한 드래그 토크가 급격하게 감소함을 확인할 수 있다.

#### 3-1-2. 그루브 각도(방향)가 변화하는 경우

Fig. 6은 다양한 그루브 각도 0, 20, 50도에 대해 회전 속도에 따른 드래그 토크의 변화를 보여주고 있다. Fig. 5에 제시된 그루브가 없는 모델의 해석조건과 동일한 조건으로 해석된 결과이다.

우선 그루브 각도가 0°인 경우, 회전 속도가 증가함에 따라 드래그 토크가 피크 값에 도달한 후에도 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 해석 결과를 통해, 그루브의 각도에 의해 ATF가 외부로 잘 배출되지 못한다는 것을 예상할 수 있다.

그루브의 각도가 20°인 경우는, 회전속도에 대한 일반적인 드래그 토크의 경향을 따르는데, 그루브가 없는 모델에서 얻어진 Fig. 5의 결과와 비교할 때 고속 영역에서 드래그 토크의 감소량이 크지 않은 것을 볼 수 있다.

고속영역에서 가장 낮은 드래그 토크는 그루브의 방향 각도가 50°인 모델에서 나타났다. ATF가 분사됨에 따라 드래그 토크가 거의 선형적으로 증가하다가 최대

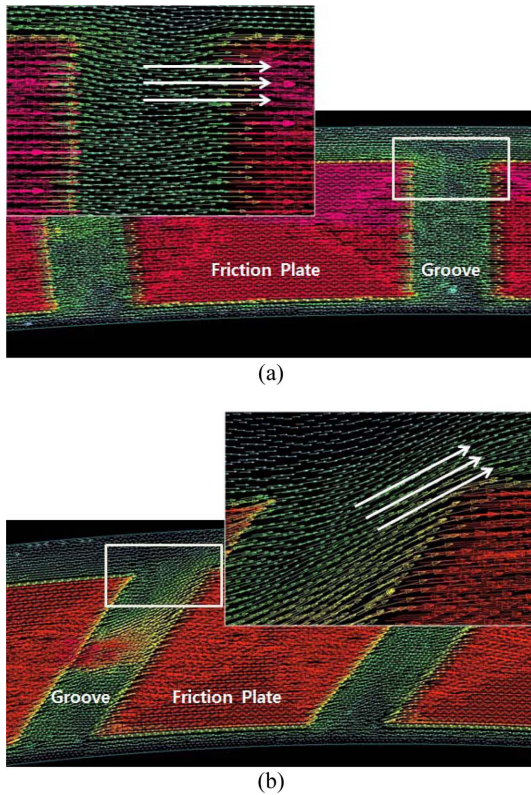


Fig. 7. ATF flow vectors inside the grooves with the angle of (a) 0° and (b) 50°.

점에 이른 후 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

이상의 해석결과들을 종합 분석해보면, 그루브가 없는 경우 그루브가 존재할 경우에 비해 드래그 토크의 최대값이 더 크다는 것을 확인할 수 있으며, 그루브 방향에 따라 ATF의 배출이 크게 영향받아 드래그 토크의 차이를 유발시킴을 알 수 있다.

이상의 해석결과들을 종합 분석해보면, 그루브가 없는 경우 그루브가 존재할 경우에 비해 드래그 토크의 최대값이 더 크다는 것을 확인할 수 있으며, 이는 각도와는 무관하게 그루브의 존재만으로도 ATF의 배출에 도움을 줄 수 있음을 예상할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 그루브 방향에 따라 ATF의 배출이 크게 영향을 받아 드래그 토크의 차이를 유발시킴을 알 수 있다.

그루브내의 유동의 방향 벡터를 나타낸 Fig. 7은 이러한 결과들에 대한 물리적으로 타당하며 명확한 근거를 보여 준다.

Fig. 7은 0°, 50° 그루브에서 friction plate 바로 위를 흐르는 ATF유동의 속도 벡터를 나타낸 것이다. 0°

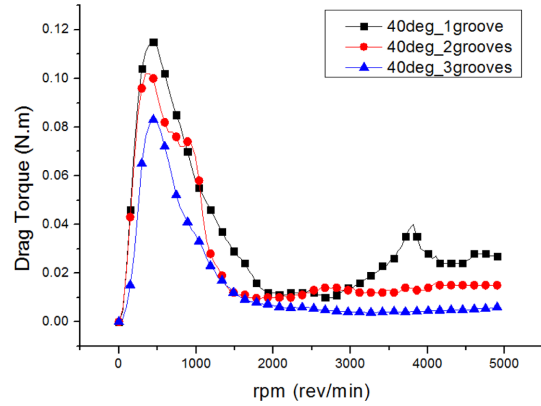


Fig. 8. Drag torque variation with respect to the number of grooves.

그루브 모델의 경우 유동이 그루브의 각도와 거의 수직 방향으로 흐르는 것을 볼 수 있는 반면, 50° 그루브 모델에서는 유동이 그루브의 각도를 따라 형성됨을 확인할 수 있다. 이를 통해, 유동 방향과 유사한 각도의 그루브를 선정했을 때, ATF가 출구 방향으로 잘 흐를 수 있을 뿐 아니라 드래그 토크를 최소화 할 수 있음을 예측할 수 있다.

### 3-2. 그루브 개수(밀도)의 변화에 따른 변화

그루브의 밀도에 따른 드래그 토크의 변화를 살펴보기 위하여 그루브 개수를 1~3개로 변화시켜 해석을 수행하였다.

Fig. 8은 해석결과를 종합하여 나타낸 것으로서, 그루브의 밀도가 커짐에 따라(단위 면적당 개수가 증가함에 따라), 드래그 토크는 저속에서의 최대값 및 고속 영역에서 모두 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 앞서 그루브의 유도에 따른 결과와 동일하게 이해될 수 있는 결과로서, ATF 배출을 용이하게 하는 적절한 각도의 그루브가 존재하면 두 plate간 간격이 증가하게 되고 ATF의 배출이 용이하게 되어 드래그 토크가 감소하게 되므로 그루브 개수의 증가는 드래그의 감소로 이어지게 된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 드래그 토크에 영향을 미치는 다양한 변수들 중 일정한 ATF 분사 조건에서 그루브의 각도와 밀도에 따른 드래그 토크의 변화에 대해 고찰하였다.

연구 결과에 따르면, 드래그 토크는 저속 영역과 고

속 영역에서 다른 양상을 보이는데, 저속 영역에서는 회전속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보이다가 최대값에 도달한 후 급격하게 감소하여 고속영역에서 일정하게 낮은 값을 유지함을 확인할 수 있었다. 고속 영역에서는 클러치 내부를 가득 채웠던 ATF가 빠져나가면서 공기와 섞이게 되고 이에 따라 드래그 토크가 감소하는 경향을 보였다.

그루브 각도의 경우 본 연구에서는 50° 에서 가장 작은 값의 드래그 토크가 발생하며 이러한 결과는 속도 벡터 분석결과 유동의 방향과 그루브의 방향이 잘 일치하여 유동의 배출이 용이하기 때문임을 확인할 수 있었다. 이로부터 적절한 그루브 각도의 선정이 드래그 토크를 저감하는데 큰 역할을 할 수 있을 것이라 예측할 수 있었다. 또한, 그루브의 밀도가 증가함에 따라 두 plate간 간격이 증가하고 유동의 배출이 용이해져 드래그 토크는 감소하게 됨을 확인할 수 있었다. 이러한 해석결과는 마찰재의 그루브 형상 및 방향과 배열 설계의 기초자료가 되므로 설계단계에서 드래그 토크를 제어하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Acknowledgement

이 논문은 2013학년도 한남대학교 학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

### References

[1] Madhavan, J., Pandit, G., Barnholt, M. and Suppiger, R., "Application of simulation based methods in development of wet clutch system", *SAE Technical*

- Paper*, No. 2012-28-0022, 2012.
- [2] Kitabayashi, H., Li, C. Y. and Hiraki, H., "Analysis of the various factors affecting drag torque in multiple-plate wet clutches", *JSAE/SAE International Spring Fuels & Lubricants Meeting*, Yokohama, Japan, 2003.
- [3] Hu, J.-B., Jing, C.-B., Peng, Z.-X. and Wang, B., "Research on drag torque prediction model for the wet clutches", *J. Beijing Inst. Technol.*, Vol. 17, No. 4, 405-409, 2008.
- [4] Yuan, Y., Attibele, P. and Dong, Y., "CFD Simulation of the Flows Within Disengaged Wet Clutches of an Automatic Transmission", *SAE Technical Paper*, No. 2003-01-0320, 2003.
- [5] Yang, Y., Lam, R. C. and Fujii, T., "Prediction of torque response during the engagement of wet friction clutch", *SAE Trans.*, Vol. 107, No. 6, pp. 1625-1635, 1998.
- [6] Lee, H.-Y., Kim, G.-Y. and Hur, M.-D., "Analysis of sliding friction and wear properties of clutch facing for automobile (Part 2)", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 21, No. 2, pp. 77-82, 2005.
- [7] Kim, C. K. and Lee, I. K., "Failure study for tribological characteristic analysis of a clutch system in passenger cars", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 22, No. 4, pp. 196-202, 2006.
- [8] Takagi, Y., Nakata, H., Okano, Y. and Miyagawa, M., Katayama, N., "Effect of two-phase flow on drag torque in a wet clutch", *J. Adv. Res. Phys.*, Vol. 2, No. 2, 021108, 2011.
- [9] Ryu, J. S. and Sung, I.-H., "Change in the drag torque at an automotive clutch with respect to transmission oil flow rate and rotational speed", *Proc. Fall Conference of the Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, October 2013.
- [10] Shihua, Y., Peng, Z.-X. and Jing, C.-B., "Experimental research and mathematical model of drag torque in single-plate wet clutch", *Chin. J. Mech. Eng. (Engl. Ed.)*, Vol. 23, pp. 1-8, 2011.