

## 자동차용 클러치 마찰재의 미끄럼마찰마모특성 해석 (제2보 마찰특성)

이한영<sup>†</sup> · 김근영\* · 허만대\*\*

계명대학교 재료공학과, \*계명대학교 대학원, \*\*평화발레오 기술연구소

### Analysis of Sliding Friction and Wear Properties of Clutch Facing for Automobile (Part 2)

Han-young Lee<sup>†</sup>, Geon-young Kim\* and Man-Dae Hur\*\*

Keimyung University, Department of Materials Engineering, Daegu 704-701, Korea  
Valeo Pyeong Hwa Co., R&D center, Daegu 704-190, Korea

**Abstract** – In previous paper, the wear properties of clutch facing materials with two different copper amounts against fly-wheel materials used in the clutch system were investigated by sliding wear tests at different applied loads and speeds. This paper have been aimed to evaluate the friction properties for clutch facing materials at the same test conditions as the previous paper. The experimental results indicated that the friction properties of clutch facing materials are influenced from the thermal conductivities of the clutch facing material and the counter material. The clutch facing material with the lower thermal conductivity and the fly-wheel material with the higher thermal conductivity showed the low and stable friction coefficient in the range of high sliding speed. This appears to be due to the formation of a film on the surface of the fly-wheel material.

**Key words** – clutch facing, counter material, copper, friction property, thermal conductivity, film.

#### 1. 서 론

자동차의 클러치 마찰재(clutch facing)는 플라이휠과 클러치 커버의 압축판 사이에서 압착될 때 생기는 마찰력으로 엔진의 동력을 미션에 전달하거나 차단하는 역할을 하는 부품이다[1].

지난 보고에서 저자들은 기존의 자동차 클러치 마찰재(clutch facing)의 마찰마모특성을 조사하는 일환으로 Cu함량이 상이한 두 종류의 마찰재를 2종류의 플라이휠 소재와의 조합에 따른 마모특성을 조사하였다[2]. 그 결과, 클러치 마찰재의 마모특성은 Cu함유량이 많을수록 좋은 것으로 밝혀졌다. 또한 상대재의 영향은 현저하지는 않으나 전반적으로 구상흑연주철을 사용했을 때 마모율이 증가하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 경

향은 재료의 열전도율과관계된 마찰면의 온도상승 정도와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되었다[2].

실제 클러치 마찰재의 수명은 이러한 마모에 의해 결정되나 마찰재의 성능은 마찰계수에 좌우된다. 일반적으로 클러치 마찰재의 마찰계수는 브레이크 마찰재의 경우와 달리 가급적 높고 안정적인 것이 요구된다. 이러한 측면에서 마찰계수의 크기, 안정성 그리고 변화의 진폭 등은 마찰재의 성능평가에 있어 필수 불가결한 사항이라 할 수 있다[1].

본 연구에서는 지난 보고에서 행해진 2종류의 마찰재와 2종류의 상대재의 조합에 따른 미끄럼 마찰마모 시험 결과 얻어진 마찰특성을 해석하였다.

#### 2. 실험 방법

시험편은 지난 보고[2]와 동일하게 시판되는 마찰재

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : lhy@knu.ac.kr

중 밀도가 약 1.6174 g/cm<sup>3</sup>인 P1재와 이에 비해 동의 함량이 다소 많아 약 2.2033 g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 가진 P2 재를 사용하였으며 상대재로는 회주철(이하 GC)과 구상흑연주철(이하 GCD) 두 종류를 사용하였다. 시험조건도 지난 보고[2]와 동일하다.

속도특성 시험시의 마찰계수는 plate-on-disc형 마찰 마모시험기[2]의 상대재 하부에 부착되어 있는 torque meter를 통해 상대재에 작용하는 torque를 계측하여 마찰계수를 산출하였다. 그리고 마찰계수 산출시 시험전 상대재를 무하중에서 회전시켜 상대재의 관성모우멘트를 측정, 시험결과에 반영하였다. 본 연구에서의 마찰계수 측정은 소정의 거리마다 시험을 중단하고 재개하는 간헐적인 시험의 구간별 마찰계수를 산출하고 해석하였다. 자료는 초당 30개를 측정하였다.

하중특성 시험시의 마찰계수는 plate-on-disc형 마찰 마모시험기(PLINT사 TE88)[2]의 arm의 선단에 부착되어 있는 sensor가 마찰력에 의해 좌우로 이동되는 힘을 계측한 후 계산하였으며 초당 1개의 값을 얻도록 하였다. 그리고 마찰계수는 속도특성과 마찰거리로 소정의 거리 마다 시험을 중단하는 간헐적인 시험의 구간별 마찰계수를 구해, 변화의 진폭, 편차 등을 해석하였다. 이때 초기마모영역에 해당하는 처음 마찰거리 200 m까지의 구간의 값은 계산에서 제외하고 각 거리 구간에서도 소정의 속도에 도달할 때까지의 20초간의 자료는 생략하였다.

마찰열의 측정은 pyrometer를 이용하여 상대재의 측면의 온도를 측정하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3-1. 속도변화에 따른 마찰계수

Fig. 1은 마찰계수 변화의 일례를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 마찰계수는 (+)값에서 (-)값으로 변화를 하고 있다. 이것은 회전축에 작용하는

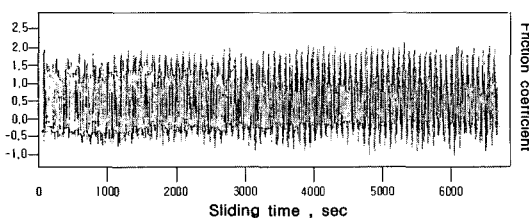


Fig. 1. An Example of friction coefficient change measured by torque meter.

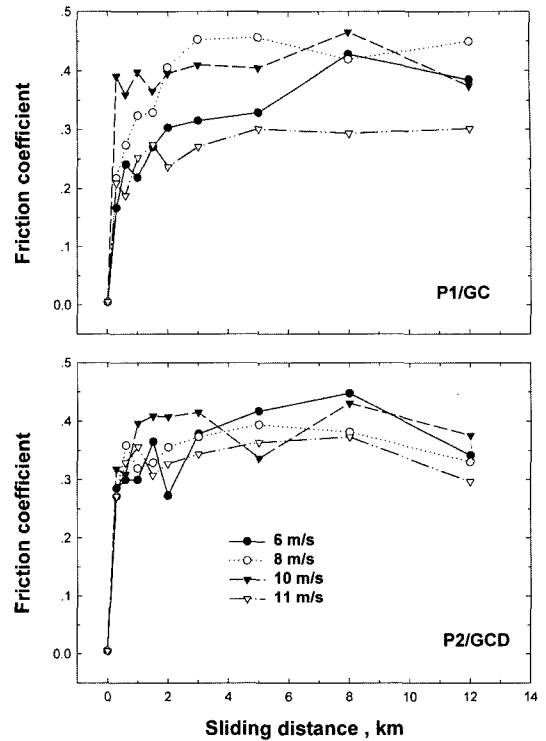


Fig. 2. An examples of the change of friction coefficient with the sliding distance at various sliding speeds (under 6N).

torque가 stick-slip현상에 의해 양의 torque에서 음의 torque로 변화하기 때문으로 생각된다.

Fig. 2는 각 구간에서의 전 마찰계수를 평균한 평균 마찰계수를 미끄럼거리에 대해 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 마찰계수는 초기에 급증한 후 2 km까지

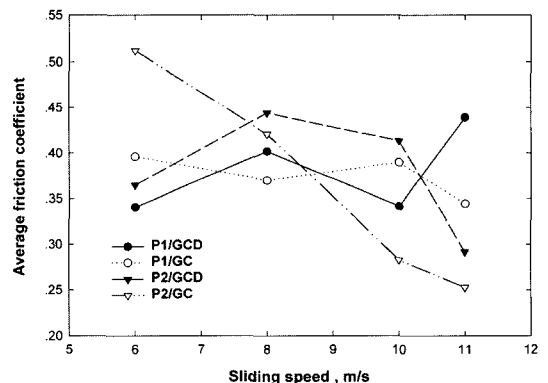


Fig. 3. Change of average friction coefficient with sliding speed (under 6N).

는 불안정한 마찰상태를 보인 후 서서히 안정되어 감을 알 수 있다. 그래서 3 km 이후를 정상 마찰영역으로 간주하고 이후의 마찰계수의 평균값을 Fig. 3에 나타내었다. 그러나 그림에서도 알 수 있듯이 시편/상대재 조합에 따른 마찰계수의 경향은 전혀 관찰되지 않고 있다. 또한 마찰안정성의 척도로 사용되는 이들 평균값에 대한 표준편차 그리고 judder 현상과 관계되는 진폭 등도 경향이 없는 것으로 밝혀졌다.

이와 같은 마찰계수의 변화에서 시편/상대재의 조합에 따른 경향차이가 없는 것은 결국 지난 보고에서 언급한대로 마모가 극히 적었고 마찰재의 경한 표면층의 영향이 잔존해 있기 때문으로 생각된다.

**3-2. 하중에 따른 마찰계수변화**

Fig. 4는 GCD를 상대재로 90N에서 시험한 P2와 147N에서 시험한 P1의 경우에 대해 12 km의 전 구간의 구간별 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다.

전반적으로 마찰거리가 짧은 구간에서는 마찰계수의 변화가 연속적이지 않으나 마찰거리가 길어질수록 안정된 마찰상태를 나타내고 있다. 짧은 마찰거리에서의 이러한 오차는 초기마모단계에서 간헐적인 시험에 따른 접촉상태 변화와 시편/상대재 마찰면의 온도상승정도 차이 때문인 것으로 생각되어 진다.

Fig. 5는 각 구간 별 평균마찰계수의 변화를 나타낸 것이다.

마찰계수는 Fig. 2와 유사하게 대부분 초기에 급증을 한 뒤 불안정한 상태를 보이다가 3 km 이후에 안

정된 상태로 변화하는 경향임을 알 수 있다. 이와 같이 안정되는 영역에서의 경향은 저하중일 때는 거리증대에 따라 마찰계수가 증가하여 소위 anti-fading 현상이 발생하나 하중증대에 따라 기온기가 점차 감소하여 고하중에서는 fading 현상으로 천이되는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 하중증대에 따라 마찰면의 온도상승이 현저하기 때문으로 추정된다.

지난 보고[2]에서 언급한대로 이들의 마모특성이 마모면의 온도상승에 따른 마모율의 변화곡선의 형태와 유사[3, 4]한 것으로 밝혀져 하중증대에 따라 마모면의 온도가 현저히 증가하는 것으로 예측되었다. 결국 하중의 증가효과는 온도상승효과와 동일하므로 고하중시에는 온도상승이 커서 film막이 다량으로 생성되므로 마찰계수가 감소하는 것으로 추정된다[5]. 실제 상대재의 측면에서 측정된 온도는 63N일 때 33도, 147N일 때 43도 정도로 고하중시 온도상승이 확인 되었으나 실제 고하중에서의 상대재 마모면 부근은 과열되어 변색된 것이 확인되어 접촉부의 온도는 훨씬 높았을 것으로 예상된다.

Fig. 6은 GCD를 상대재로 63N과 147N에서 시험한 P1의 구간별 마찰계수를 box plot한 것이다. 각 plot의 하단 whiskers는 10th, box의 하단은 25th, box의 상단은 75th, 상단whisker는 90th percentile을 나타내고 있다. 그리고 box의 폭은 자료의 크기에 대응한다. 그림에서도 알 수 있듯이 동일한 시험조건 하에서도 마찰계수 percentile의 폭이 변화하고 있음을 알 수 있다. 이것은 전술한대로 간헐적인 시험에 의해 접촉

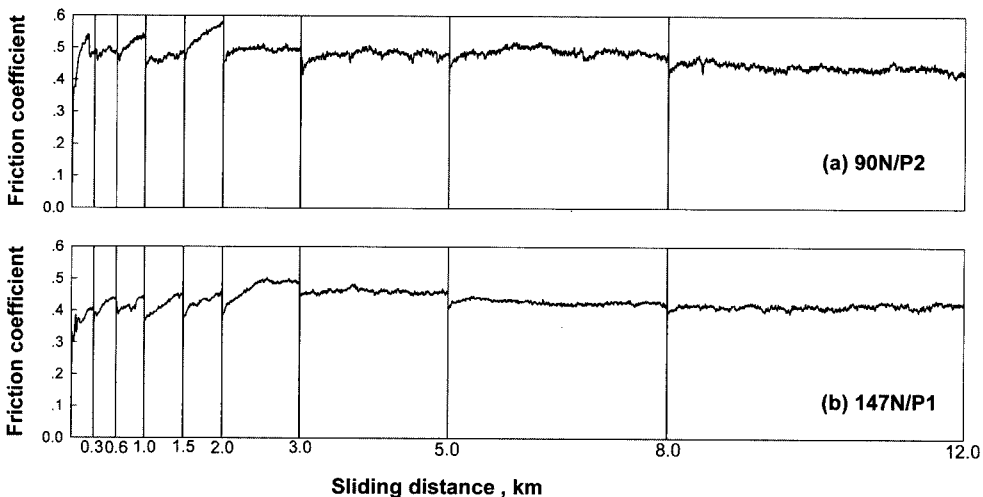


Fig. 4. Examples of friction coefficient variation with sliding distance.

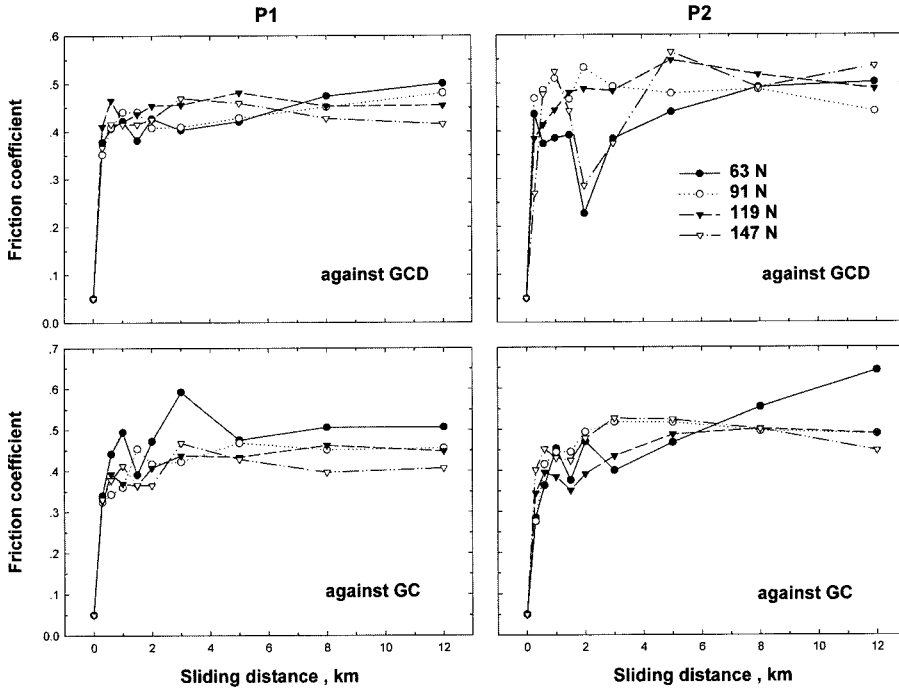


Fig. 5. The Change of friction coefficient with the sliding distance at various applied loads.

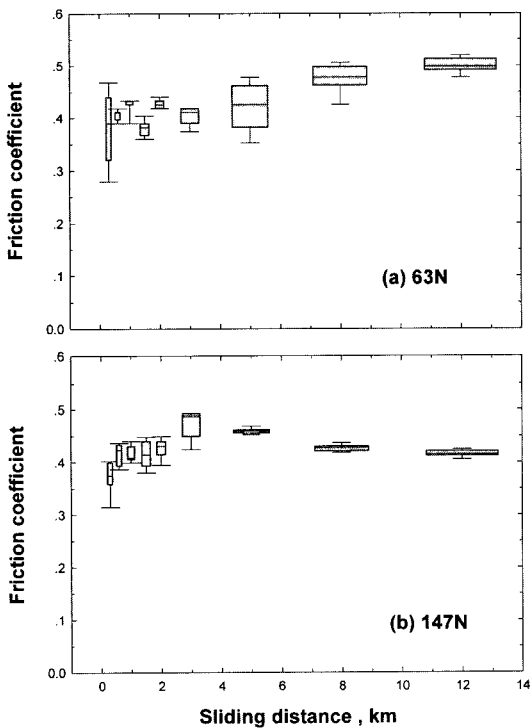


Fig. 6. Examples of the box plot of friction coefficient variation with the sliding distance (P1/GCD).

상태 및 온도가 상이하기 때문으로 생각된다. 그러나 Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 짧은 마찰거리에서는 변화폭이 현저하나 마찰거리가 길었던 3 km 이후의 마찰계수는 안정적으로 변화하고 있다. 그래서 3 km 이후의 마찰계수를 정상의 마찰계수 영역으로 취하여 각 하중에서 이들의 평균 마찰계수를 산출하여 시편/상대재 별로 부하하중에 대한 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 전반적으로 P1재의 마찰계수가 P2재에 비해 적

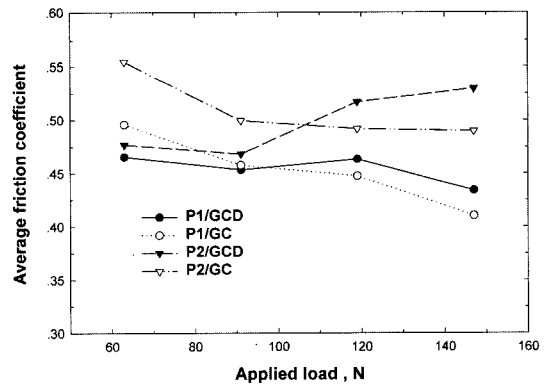


Fig. 7. Change of average friction coefficient with applied load for each pairs.

음을 알 수 있다. 또한 상대재에 따라서는 시편에 관계없이 저하중시는 GCD에 대한 마찰계수가 GC에 대한 마찰계수보다 적으나 고하중에서는 역전되어 GCD에 대한 마찰계수가 큰 것을 알 수 있다. 이러한 경향을 보이는 이유도 지난 보고와 동일하게 시편과 상대재의 열전도율과 관련된 계면의 온도 상승정도와 관계되는 것으로 생각된다. 그림에서 고하중에서는 시편의 열전달 효과가 적을수록 그리고 상대재의 열전도율이 클수록 마찰계수가 적어짐을 알 수 있다. 지난 보고에서 시편 및 상대재의 열전달 효과가 적은 조합에서 마모가 많은 것으로 밝혀졌다. 이러한 측면에서 시편의 열전도율이 낮으면 온도상승이 현저하므로 마모가 증대하고 이들은 상대재로 이착되어 film막 형성을 용이하게 할 것이 분명하다. 결국 이로 인해 마찰계수가 감소한 것으로 생각된다. 한편 상대재의 열전도율이 적을 경우도 동일하게 시편의 온도상승을 유발하여 마모의 증가를 초래, 상대재에 film막 형성이 예상된다. 그러나 상대재의 온도상승은 재료를 열화시켜 film막층의 계면 또는 상대재 내부에서의 전단에 의한 film막층의 탈락을 초래하므로 마찰계수가 상승되는 것으로 추정된다. 이러한 사실은 그림에서 시편의 열전달율이 크고 상대재의 열전달율이 적은 조합인 P2/GCD의 경우 하중증가에 따라 마찰계수가 증가하는 것은 이를 반영하는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 Fig. 5의 정상 마찰영역에서 평균 마찰계수에 대한 표준편차를 나타낸 것이다.

그림에서도 알 수 있듯이 전반적으로 하중이 증가함에 따라 감소한 후 증가하는 형태를 보이고 있다. 이러한 경향은 저하중에서는 온도상승이 현저하지 않아

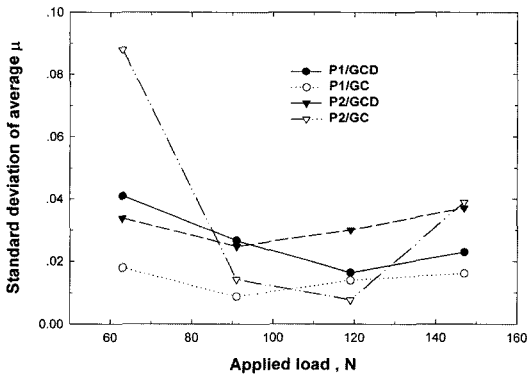


Fig. 8. Change standard deviation of average friction coefficient with applied load for each pairs.

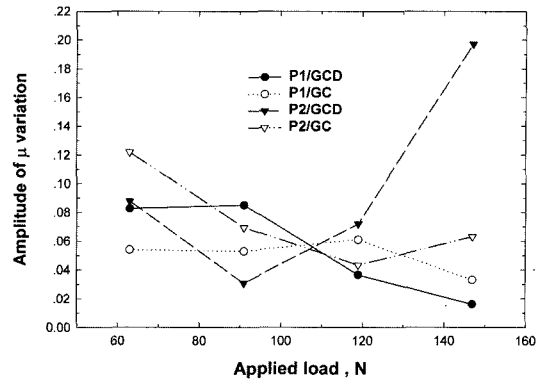


Fig. 9. Change of amplitude of friction coefficient variation with applied load for each pairs.

film막 형성이 적으므로 변화폭이 크나 하중이 증가할수록 film막 형성이 많아지면서 안정되는 것으로 생각된다. 그러나 147N에서는 일부 film막의 탈락되므로 상승하는 것에 대응한다고 생각된다. 그러나 시편/상대재 조합에 따른 경향은 현저하지 않다. 이는 전 하중영역에서 충분한 film막층이 형성되어 이들 막층의 성상이 마찰마모현상에 지배적이기 때문으로 추정된다. 그러나 전반적으로 P1재가 P2재에 비해 안정적인 것으로 생각되어 진다.

Fig. 9는 Fig. 6과 같은 각 시편/상대재 조합의 box plot에서 정상 마찰영역의 10th와 90th percentile 간의 평균진폭을 부하하중 별로 나타낸 것이다.

그림에서도 보듯이 전반적으로 하중증가에 따라 진폭이 감소하고 있다. 이는 온도상승에 따라 상대재에 형성되는 film막층이 두꺼워지고 막층의 열화가 발생하기 때문으로 생각된다. 그러나 147N에서는 시편/상대재의 조합에 따라 상이하여 P1이 P2에 비해 적고 특히 P2의 경우는 상대재에 따라서도 진폭의 차이가 큼을 알 수 있다.

이러한 결과로 미루어 열전달능이 큰 시편은 낮은 온도상승으로 막층의 열화가 적어 stick-slip현상이 발생하기 용이한 상황임이 분명하다. 이때 열전달능이 낮은 상대재와의 조합시에는 상대재의 온도상승이 현저해져 상대재 또는 형성된 막층의 열화가 발생, 막층의 탈락되므로 stick-slip현상이 촉진된 것이 분명하다. 그러나 열전달능이 낮은 시편의 경우는 시편측의 현저한 온도상승으로 주로 시편측에서 전단되므로 상대재와는 무관하게 유사한 진폭을 나타내는 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

Cu함량이 상이한 2종류의 마찰재와 2종류의 플라이 휘일의 소재를 조합하여 각기 미끄럼 마찰 특성을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시편/상대재 조합에 따른 마찰특성의 차이는 접촉부의 온도상승이 현저할 때 나타난다.
- 2) 이때의 마찰계수의 변화는 마찰재/상대재의 열전달능과 밀접한 관계가 있다.
- 3) 평균 마찰계수는 온도상승에 따라 감소하나 시편의 열전달능이 낮을수록 더욱 적어진다. 상대재의 경우는 상대재의 열전달능이 낮으면 다소 증대하나 이는 상대재나 막층의 열화 때문인 것으로 추정된다.
- 4) 또한 시편의 열전달능이 낮을수록 마찰계수의 표준편차, 진폭 등이 감소하여 안정화한다. 상대재의 경우는 열전달능이 높을수록 형성된 막층이 안정화되어 마찰도 안정화 되는 것으로 추정된다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고 문헌

1. 평화발레오 기술연구소 내부자료.
2. 이한영, 김근영, 허만대, “자동차용 클러치 마찰재의 미끄럼 마찰마모특성 해석(제1보 마모특성)”, 윤활학회지, 제20권 제6호, pp. 299-305, 2004.
3. 일본자동차기술회, “自動車のトライボロジ-”, 121, 養賢堂, 일본, 1994.
4. 佐田登志夫, “마모”, 일본윤활학회 제7회 하기 세미나 강의를, 1-12, 1972.
5. N. Odani, M. Kobayashi, K. Kakihara, “Effects of Transferred surface Film on behavior of Disc brake pad in Humidity Environment”, SAE, No. 1999-01-3391, 19-24, 1999.