

# 14톤급 휠 굴삭기 차축용 습식 다판 디스크 브레이크의 마찰특성 평가

조연상<sup>†</sup> · 박흥식 · 홍성진\* · 최병운\*\* · 배명호\*\*\*<sup>‡</sup>

동아대학교 기계공학과, \*(주)진명프리트, \*\*성보P&T(주), \*\*\*창원전문대학 자동차기계학부

## Estimation of Friction Characteristics of Wet-type Multiple Disc Brakes for Axle of 14 Ton Class Wheel Excavator

Yonsnag Cho<sup>†</sup>, Heungsik Park, Sungjin Hong\*, Byeungwoon Choi\*\* and Myungho Bae\*\*\*<sup>‡</sup>

*Dept. of Mechanical Engineering, DongA University,*

*\*JMFT CO.,LTD,*

*\*\*SUNGBO P & T. CO.,LTD,*

*\*\*\*Auto & Mech Eng. Dept., Changwon College*

**Abstract** – In general, a brake system of axle for heavy duty machine as a wheel excavator makes use of wet-type multiple disk brakes. These disk brakes are very important parts of heavy duty machine because they are advanced in durability and braking power, and can be designed compactly. Thus, we designed and made wet-type multiple disk brakes of axle for the 14ton class wheel excavator to be localization of these imported all. These disk brakes were made a comparative test with the existing disk brakes by the SAE No.2 dynamometer, and the friction characteristics as dynamic and static friction coefficient and wear depth of friction paper were measured.

**Key words** – wet-type multiple disk brakes, wheel excavator, axle, dynamic friction coefficient, static friction coefficient, wear depth.

### 1. 서 론

일반적으로 휠 굴삭기와 같은 중장비의 차축에 사용되는 주행 브레이크 시스템은 습식 다판형 유압 브레이크[1-3]를 사용한다. 습식 다판형 유압 브레이크는 장비를 제동시키는 장치로서 밀폐된 공간의 OIL 속에서 작동되며 여러 장의 마찰판으로 구성할 수 있으므로 구성 매수를 증가시켜 제동력을 향상 시킬 수 있다. 그리고 외부 환경으로부터의 영향 없이 OIL에 잠겨 마찰이 일어나므로 내구 수명이 우수하고 컴팩트한 설계가 가능하다.

Fig. 1은 일반적인 습식 다판형 유압 브레이크 시스템의 구조를 나타낸 것으로 구동축의 스플라인에 조립되어 구동시 항상 구동축의 회전속도로 회전하는 마찰판(friction disk)과 하우징에 고정되어 있는 금속판(steel plate)이 서로 마찰쌍을 이루고 있다. 장비의 제동이 필요하여 브레이크 페달을 밟으면 브레이크 하우징의 O-RING 및 BACK UP RING으로 기밀이 유지된 피스톤의 수압부에 압력을 가한다. 이때 압력을 받은 피스톤은 하우징에 고정된 금속판의 축방향으로 힘을 가하게 되고 이러한 힘은 브레이크의 유격거리만큼 이동하여 회전하는 마찰판에 가해져 마찰이 일어난다. 마찰하는 동안 운동에너지가 열에너지로 전환되고, 이때 발생된 열에너지를 마찰판과 금속판이 흡수하여 제동을 하게 된다.

이와 같이 습식 다판형 주행 브레이크는 휠 굴삭기 등의 중장비에서는 제동을 위하여 매우 중요한 역할을

<sup>†</sup>주저자 : bluecys@nate.com

<sup>‡</sup>교신저자 : mhbae@cw.ac.kr

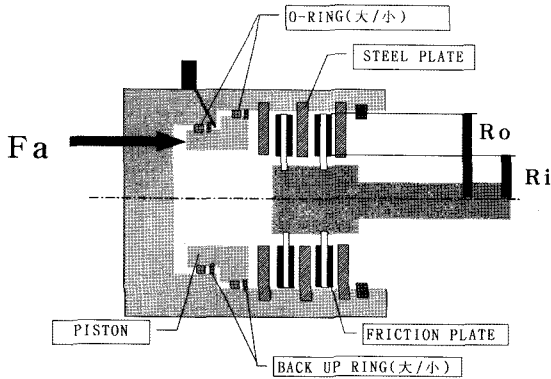


Fig. 1. Typical multiple disk brake system.

하고 있지만 현재 국내에서는 이탈리아의 DANA社 또는 독일의 ZF社 등과 같은 외국 기업의 브레이크 시스템을 전량 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 따라서 휠 굴삭기에 사용되는 핵심 부품인 고신뢰성을 확보한 습식 다판형 유압식 주행브레이크의 핵심기술의 개발을 통해 국내에서 생산되는 휠 굴삭기의 성능, 품질, 상품성 및 가격경쟁력을 확보하는 것이 매우 필요하다.

본 연구는 국내 대기업에서 주도하고 있는 14톤급 휠 굴삭기의 국산화에 동참하여 개발 및 제작한 14톤급 습식 다판형 브레이크 시제품의 성능, 신뢰성 및 내구성을 기존의 상용 제품과 비교 평가함으로써 이를 실제 상용화하여 14톤급 휠 굴삭기에 사용을 하더라도 그 성능과 안정성을 신뢰할 수 있는지를 살펴보고자 하였다. 따라서 이를 위하여 표준화된 SAE No.2 시험설비인 관성차찰시험기를 사용하여 브레이크의 마찰 디스크와 플레이트의 마찰 시험을 행하였고, 이를 통해 동마찰계수, 정마찰계수 및 마멸계의 마멸깊이 등을 측정하여 시제품의 마찰특성을 비교평가 하였다.

## 2. 시험장치 및 시험방법

### 2-1. 관성식 마찰시험

본 연구에 사용된 시험설비는 SAE Friction Subcommittee에서 규정된 관성식 마찰시험기(dynamometer)로서 표준화된 SAE No.2 시험설비[1]이다. Fig. 2는 관성식 마찰시험기의 개략도를 나타낸 것으로 구동축과 연결된 (1) 관성체(fly wheel)를 (2) 전기구동 모터에 의해 설정된 일정속도로 회전시킨 후, 전기구동 모터를 정지하고 관성체에 의하여 일정속도로 자유회전하는 (9) 디스크(disk) 시험편에 (10) 플레이트

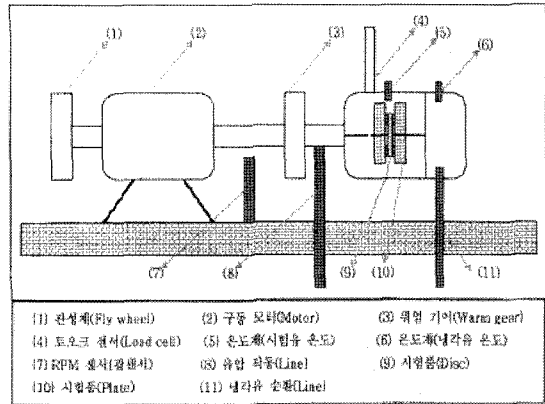


Fig. 2. Schematic diagram of SAE No.2 dynamometer.

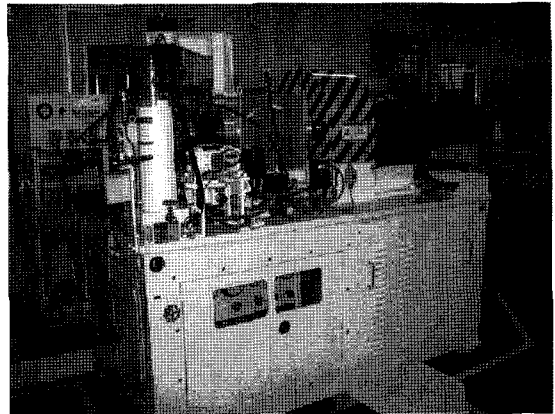


Fig. 3. Photograph of SAE No.2 dynamometer.

(plate) 시험편으로 압력을 가하여 제동시킨다. 이때 피구동축에 발생되는 토크를 (4) 로드셀(load cell)로 측정하여 동마찰계수를 계산한다. 시험기는 기본적으로 브레이크 하우징과 구동모터, 구동모터 축의 한쪽 끝에 달려있는 관성체로 구성되어 있으며 이의 사진을 Fig. 3에 나타내었다. 시험기는 최대 외경  $\phi 220$  mm인 시험편을 장착하여 다양한 관성량과 회전속도 조건을 가하여 시험할 수 있다. 그리고 브레이크 플레이트 1장 또는 전체크기의 브레이크에 대하여 시험이 가능하고, 사용오일/온도에 따른 습식 다판 브레이크 및 자동변속기 습식 마찰클러치 등의 다양한 마찰거동(정, 동마찰계수, 마모율 등)을 평가할 수 있다.

Fig. 4는 1차 시제품으로 개발한 습식다판형 유압브레이크의 (a) 디스크 시험편과 (b) 플레이트 시험편의 도면을 나타낸 것으로 (c)에 실제 제작한 시제품의 사진을 나타내었다. (a) 디스크 시험편의 마찰재는 외경



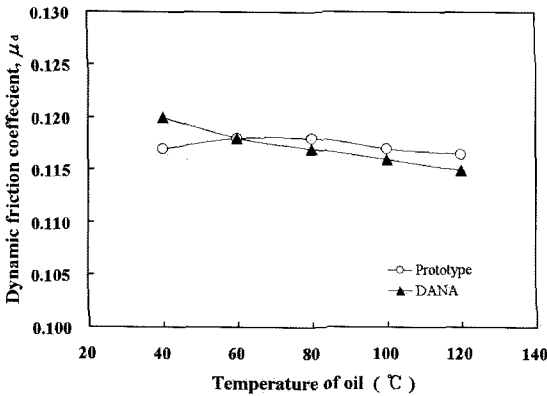


Fig. 5. Variation of dynamic friction coefficient on temperature of oil.

에 따른 동마찰계수와 정마찰계수의 마찰 특성은 윤활유의 온도를 40, 60, 80, 100 그리고 120°C가 되도록 설정하여 각 3회씩 측정하여 평균을 구하였으며, 시험 횟수에 따른 마찰특성은 90°C의 윤활유 내에서 10,000 회 동안 측정하여 변화를 살펴보았다. 여기서 동마찰계수의 시험횟수는 28,000 rpm의 속도로 관성회전하는 디스크시험편에 압력을 가하여 완전히 정지시켰을 때를 1회로 정의하였고, 정마찰계수는 압력을 가한 상태에서 워기어를 5초간 0.72 rpm 회전시키고 정지하였을 때를 1회로 정의하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

Fig. 5는 윤활유의 온도에 대한 동마찰계수의 변화를 나타낸 것으로 두 제품 모두 온도에 관계없이 습식 다판형 유압브레이크의 설계안전 영역인 0.1 이상의 동마찰계수를 나타내고 있다. 그리고 D社의 제품은 윤활유 온도가 증가함에 따라서 동마찰계수가 약간 감소하는 경향을 보이지만 자체 개발한 시제품은 비교적 일정한 동마찰계수를 보여주고 있다. 이는 본 연구에서 사용한 시제품이 마찰을 위한 윤활유의 온도 분위기가 다르더라도 D社의 제품에 비해 비교적 안정적인 마찰 특성을 보여준다고 생각하며 실제 상용화하여 사용하더라도 기존의 제품과 비슷한 성능을 보여줄 것이라고 판단할 수 있다.

Fig. 6은 윤활유의 온도에 대한 정마찰계수의 변화를 나타낸 것으로 두 제품 모두 동마찰계수보다는 작은 값을 나타내고 있으며, 온도가 높아짐에 따라서 정마찰계수는 감소하고 있다. 일반적으로 습식 다판형 브레이크의 마찰재와 금속 플레이트 사이의 정마찰계수

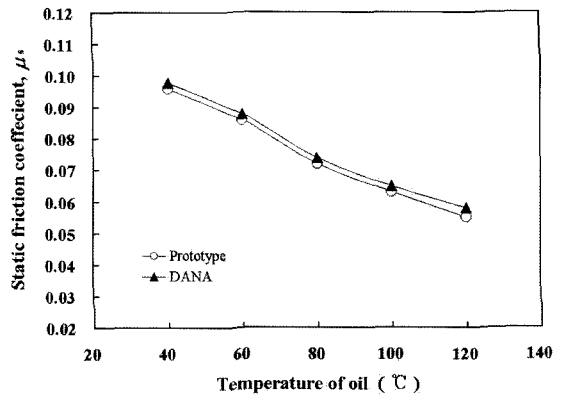


Fig. 6. Variation of static friction coefficient on temperature of oil.

는 금속과 금속의 마찰과는 달리 동마찰

계수에 비해 정마찰계수가 낮게 나타난다. 이는 Fig. 7의 회전수에 따른 페이퍼 재질인 마찰재와 금속재질인 플레이트 사이의 마찰특성[4]에 나타낸 바와 같이 일반 동합금 계열을 마찰재로 사용했을 때에는 다르게 빠른 회전수에서도 높은 마찰계수를 유지할 수 있는 특성[4,5] 때문이라고 생각한다. 그리고 시제품의 경우 D社의 제품에 비하여 전반적으로 정마찰계수가 약간 낮게 나타나고 있다. 이는 시제품에 비해 저회전수에서의 스틱 슬립(stick-slip)현상[4]이 D社의 제품에서 더 많이 발생된 결과라고 생각한다. 스틱 슬립 현상은 마찰표면의 응착과 탈락이 반복하면서 체터 진동을 수반하는 마찰현상으로 소음과 파손 발생의 원인이 된다. 또한 온도가 높아짐에 따라 정마찰계수가 감소하는 것은 윤활유 온도 상승에 따른 점도 감소로 인하여 윤활유와 마찰재 사이의 접촉력이 저하된 결과라고 생각한

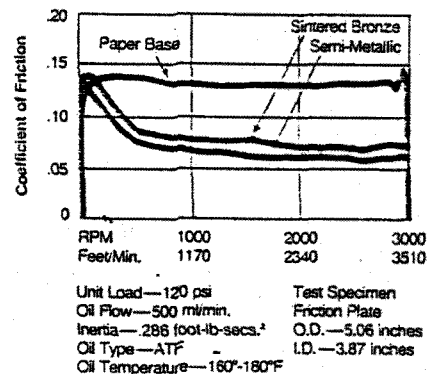


Fig. 7. Variation of friction coefficient of disk and plate on the number of revolution [4].

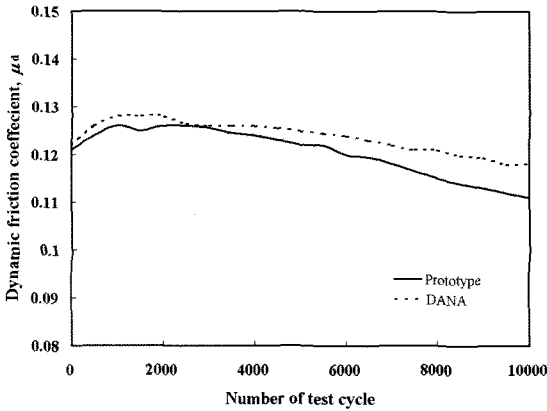


Fig. 8. Variation of dynamic friction coefficient on the number of test cycle.

다. 실제로 정마찰계수의 경우는 마찰재 보다는 윤활유의 영향을 더 크게 받고 있는 것으로 알려져 있고, 마찰재의 성능 평가 보다는 윤활유의 특성 평가 요소로 활용되고 있다. 그리고 이는 윤활유의 온도 분위기가 높은 상태일 때 스틱 슬립 현상이 더 적게 일어난다고 있다는 것을 보여주고 있으며, 브레이크가 작동하여 제동할 때 윤활유의 온도가 높을수록 부드럽게 정지가 가능하다는 것을 나타내 준다고 생각한다.

Fig. 8은 윤활유의 온도 90°C에서 10,000회 시험을 하였을 때 동마찰계수의 변화를 나타낸 것으로 시험횟수가 증가하여 5,000회 이상이 되면 두 시험편 모두 동마찰계수는 감소하고 있다. 그리고 시제품은 D社의 제품에 비해 조금 더 많이 감소하고 있다. 이는 시험횟수가 증가함에 따라 높은 마찰계수 상태에서의 고속 회전하는 마찰면의 온도 상승과 함께 윤활유의 점도가 저하된 결과라고 생각한다. 그리고 두 제품의 동마찰계수 변화에서 D社의 제품은 사용시간이 길더라도 마찰 특성이 다소 우수하다는 것을 알 수 있다. 그러나 습식 다판 브레이크의 설계안정 영역은 0.1 이상으로 보기 때문에 개발한 시제품 역시 사용횟수가 많더라도 우수한 마찰특성을 보여 준다고 생각하며, 실제 차량에서 장시간 사용하더라도 충분히 브레이크의 성능을 유지할 수 있다고 생각한다.

Fig. 9는 윤활유의 온도 90°C에서 10,000회 시험을 하였을 때 정마찰계수의 변화를 나타낸 것으로 전반적으로 시제품의 정마찰계수가 D社의 제품에 비해 낮게 나타나고 있으며, 시험횟수가 증가하더라도 정마찰계수는 변화가 거의 없다. 이는 시제품에 비해 저회전수에서의 스틱 슬립현상이 D社의 제품에서 더 많이 발

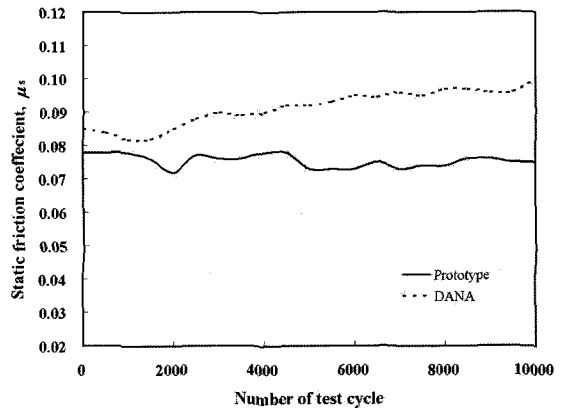


Fig. 9. Variation of static friction coefficient on the number of test cycle.

생된 결과라고 생각하며, 본 연구에서 개발된 시제품은 제동하여 완전히 정지할 때 보다 부드럽게 정지가 가능하다고 예상할 수 있다.

Fig. 10은 10,000회까지 시험하였을 때 마찰재의 마멸깊이를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 두 시험편 모두 2,000회까지는 초기마멸 상태로서 마멸깊이가 급격히 증가하고 있지만 그 이후는 안정된 마찰이 이루어지면서 시험횟수가 증가하더라도 마멸이 천천히 진행되는 것을 볼 수 있다. 그리고 시험횟수 5000회까지는 D社의 제품과 시제품의 마멸깊이가 거의 유사하지만 그 이상에서는 시제품의 마멸깊이가 조금 더 증가한 것을 볼 수 있다. 그러나 마멸깊이는 마찰재의 임의의 3곳을 측정하여 평균을 취하였기 때문에 약 0.01 mm의 차이는 측정오차로서 무시할 수 있다고 볼 수 있으며 전체적으로 거의 유사하게 마멸되고 있다고

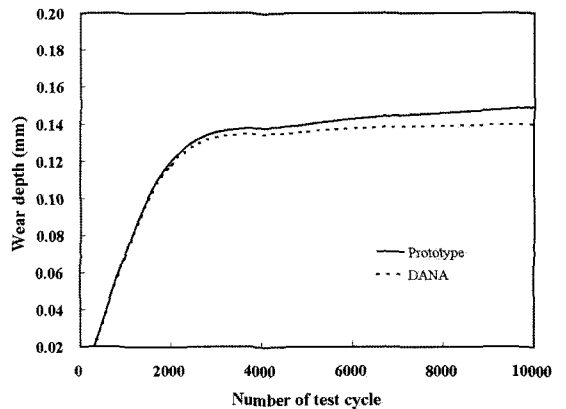
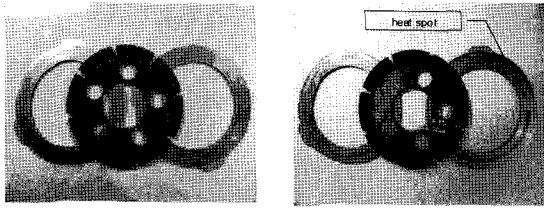


Fig. 10. Variation of wear depth as the number of test cycle.



(a) prototype specimen (b) D社 specimen  
**Fig. 11. Photograph of disk and plate specimen after testing.**

생각한다.

Fig. 11은 두 제품의 디스크와 플레이트의 시험 후 사진을 비교하여 나타낸 것으로 D社의 금속 플레이트의 표면에 산화된 흔적인 적열점(hot spot)[6]을 볼 수 있다. 이는 시제품보다 D社 제품의 마찰재와 플레이트의 표면에 높은 열이 과도하게 발생하여 온도상승에 의한 표면의 산화가 더욱 촉진된 결과라고 생각되며, 마찰디스크 뿐만 아니라 금속 플레이트의 제동력 저하와 함께 손상 및 수명 단축에도 크게 영향을 미칠 것이라고 생각한다.

이와 같이 본 연구에서 개발한 시제품과 현재 수입하여 사용 중인 D社의 제품을 관성 마찰시험기를 이용하여 전반적인 마찰특성을 시험하고 비교한 결과, 시제품의 마찰특성은 대체적으로 D社의 제품과 유사한 성능을 가진다고 판단할 수 있었으며 이를 상용화하여 실제 차량에서 장시간 동안 사용하더라도 충분히 브레이크의 성능을 유지할 수 있다고 생각한다.

#### 4. 결 론

전량 수입에 의존하고 있는 중소형 굴삭기용 습식 다관형 브레이크의 국산화를 위하여 시제품을 제작하고 이의 성능 평가를 위하여 관성마찰시험을 통해 윤활유 온도 및 시험횟수에 따른 마찰계수를 구하고 마멸깊이를 측정하여 마찰특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 윤활유 온도에 따른 동마찰계수는 두 제품 모두 대체적으로 유사하지만 D社의 제품은 온도가 올라감에 따라서 동마찰계수가 약간 감소하였고, 자체 개발한 시제품은 비교적 일정한 동마찰계수를 나타낸다.
2. 두 제품 모두 정마찰계수는 동마찰계수보다 낮게 나타나고 있으며, 윤활유 온도가 높아짐에 따라서 정마찰계수는 감소한다. 이는 윤활유 온도 상승에 따른 점도 감소로 인하여 윤활유와 마찰재 사이의 접촉력이

저하된 결과라고 생각한다.

3. 시험횟수에 따른 두 제품의 동마찰계수 변화에서 D社의 제품은 사용시간이 길더라도 마찰 특성이 다소 우수하다는 것을 알 수 있다. 그러나 습식 다관 브레이크의 설계안정 영역은 0.1 이상으로 보기 때문에 0.11 이상의 동마찰계수를 가지는 개발한 시제품 역시 사용횟수가 많더라도 우수한 마찰특성을 보여 준다고 생각한다.

4. 시험횟수에 따른 정마찰계수는 전반적으로 시제품이 D社의 제품에 비해 낮게 나타나고 있다. 그리고 시험횟수가 증가하더라도 정마찰계수는 변화가 거의 없다.

5. 시험횟수 2,000회까지는 초기마멸 상태로써 마멸 깊이가 급격히 증가하고 있지만 그 이후는 시험횟수가 증가하더라도 마찰이 안정화되어 마멸이 천천히 진행된다. 그리고 마멸깊이의 변화는 두 제품 모두 유사한 경향을 보여주었다.

6. 시제품의 마찰특성은 대체적으로 D社의 제품과 유사한 성능을 가진다고 판단할 수 있었으며 이를 상용화하여 실제 차량에서 장시간 동안 사용하더라도 충분히 브레이크의 성능을 유지할 수 있다고 생각한다.

#### 후 기

이 논문은 산업자원부, 부품소재기술개발사업의 ‘중형 휠 굴삭기용 전, 후차축 및 조향실린더의 국산화 개발’ 과제(과제번호; 0401DA10-183)와 관련하여 이루어졌으며 지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. Peoria, "Design Considerations for Wet Wheel Brakes," SAE 810696, Illinois April 6-8, 1981.
2. HAROLD A. ROTHBART, "Mechanical Design and Systems Handbook," Second Edition, Friction Brakes pp. 33, 1984
3. A.E. Anderson, "Friction and Wear of Paper Type Wet Friction Elements," SAE-NAE Meeting, Detroit May 22-26, 1972.
4. Borg-Warner Guide to Friction Materials, Spring/Brummer Division, Borg-Warner corp. pp 1-13, 1978.
5. T. Matsumoto, "Paper-Faced Friction Plates," NSK Bearing Journal, No. 638, pp 45-58, 1979.
6. C.K. Kim, S.H. Cho, "Numerical Study of Miro-Contact Surface Induced Hot Spots in Friction Brakes," J. KSTLE, Vol. 19, No. 5, 2003.