

# 굴삭기용 주차 브레이크의 마찰 판 제작방법에 따른 마찰특성 분석 Analysis of the Friction Characteristics of Parking Brake for Excavator According to Manufacturing Methods of Friction Disc

이용범\*† · 성백주\*\* · 박종원\*\* · 김광민\*\*\*

Y. B. Lee\*† , B. J. Sung\*\* , J. W. Park\*\* and K. M. Kim\*\*\*

(접수일 : 2012년 08월 17일, 수정일 : 2012년 10월 04일, 채택확정 : 2012년 10월 08일)

**Key Words** : Excavator(굴삭기), Parking Brake(주차 브레이크), Coefficient of Friction(마찰 계수), Multi-friction Discs(다중 마찰 판), Paper Friction Material(종이 마찰재)

**Abstract** : The parking brake embedded in track driving motor for driving an excavator is composed of wet type multi-friction discs. This type parking brake can be designed more compact because the combination of some sheets of friction discs generate great braking power, and also it has good braking characteristic and long life time because it works in the oil. In this study, we analyzed torque characteristic of the parking brake through simulations and performed experiments by use of 3-kinds of paper friction sheet manufactured by different pressing methods. And, we compared the maximum static friction coefficient and torque characteristic with the simulation results and confirmed the optimal manufacturing process through this result.

## 기호설명

- $D_a$  : Coil PCD ( $mm$ )
- $d$  : Wire Diameter ( $mm$ )
- $F_s$  : Axial Force ( $N$ )
- $G$  : Module of Elasticity ( $N/mm^2$ )
- $k$  : Spring Constant ( $N/mm$ )
- $N_a$  : The number of Active Coil Turns
- $n$  : The number of Friction Surface
- $n_s$  : The number of Spring
- $r_m$  : Effective Radius ( $mm$ )
- $T_B$  : Brake Torque ( $N \cdot m$ )
- $\delta$  : Displacement of Spring ( $mm$ )
- $\mu$  : Coefficient of Friction

## 1. 서론

굴삭기를 구동하는 주행구동유닛에 내장된 주차브레이크(parking brake)는 습식 다중 마찰 판 형식으로 구성되어 있다. 이는 여러 장의 마찰 판을 조합하여 큰 제동력을 확보 할 수 있어 콤팩트(compact)한 구조로 설계가 가능하고 오일에 잠겨서 습식으로 작동하여 우수한 제동 특성을 지니며, 내구 수명이 길다.

굴삭기에 사용되는 다중 마찰 판 형식의 주차 브레이크는 마찰 판과 분리 판을 실린더 블록과 유압 모터 하우징 사이에 설치된다.

마찰 판은 실린더 블록과 스플라인으로 연결하고, 분리 판은 유압모터 하우징과 반달형 돌기형태로 연결하여 큰 제동력을 전달하며, 오링과 백업링으로 기밀을 유지하는 주차브레이크 실린더와 여러 개(14개)의 코일스프링을 사용하여 결합한다.

\*† 이용범(교신저자) : 한국기계연구원 시스템신뢰성 연구실  
E-mail : lyb662@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7151

\*\*성백주, 박종원 : 한국기계연구원 시스템신뢰성 연구실

\*\*\*김광민 : 우림기계(주)

\*† Y. B. Lee(corresponding author) : Department of System Reliability, Korea Institute of Machinery and Marterials.  
E-mail : lyb662@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7151

\*\*B. J. Sung and J. W. Park : Department of System Reliability, Korea Institute of Machinery and Marterials

\*\*\*K. M. Kim : WooRim Machinery Co. Ltd.

이 스프링 힘으로 주차브레이크 실린더가 분리 판과 마찰 판을 밀착시켜 브레이크가 작동하고, 주행모터를 회전시키기 위해서 고압의 유압유를 공급하게 되면 카운터 밸런스밸브 스펴에 파일럿(pilot)압력이 공급되어 스펴을 전환하게 되는데 이때 중앙부분에 있는 주차 브레이크 파일럿 관로를 통해 주차 브레이크 실린더에 압력이 공급되어 실린더가 스프링의 힘을 상쇄시켜 다중 마찰 판 사이에 간격을 발생시킴으로서 브레이크가 해제된다.<sup>(1)</sup>

Fig. 1은 유압모터 모델링을 통한 주차브레이크의 구조도를 나타냈으며, Fig. 2는 차체중량이 85톤인 초대형 굴삭기용 주차 브레이크의 실제 모습을 나타낸 것이다.

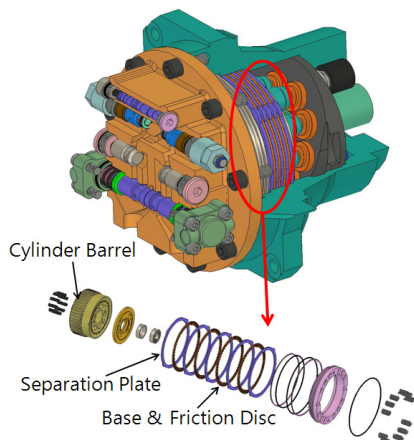


Fig. 1 Modeling of parking brake

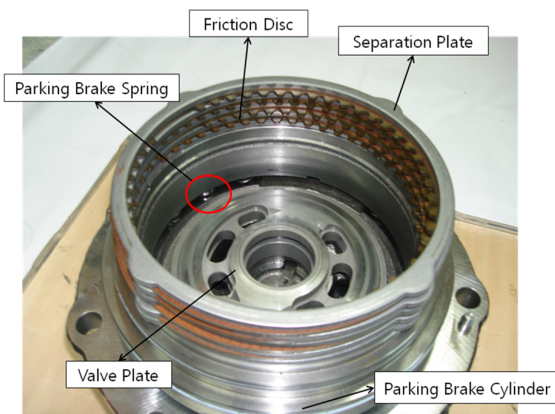


Fig. 2 Components of parking brake

현재까지 브레이크 시스템에 관한 연구는 H. J. Suh<sup>(2)</sup>가 차량 휠 브레이크용 습식마찰재의 성능 시험에 관해 연구 하였으며, J. I. Kang<sup>(3)</sup>등은 습식클러치용 마찰재의 조성별 마찰특성에 관한 연구를 하였으나, 대형 굴삭기의 주차브레이크에 관한 연구는 진

행 되지 않았다.

본 연구에서는 대형굴삭기의 주차브레이크에 사용되는 마찰 판에 각각 다른 압착 방법으로 3종(Model 1: normal 20°C 상온압착, Model 2: 70°C 가열 압착, Model 3: 150°C 고온가열 압착)의 종이 마찰재를 제작하여 실험을 통해 최대 정지 마찰계수 및 마찰 특성을 분석하여 최적 공정을 확인하였다.

## 2. 마찰재선정 및 마찰 판 제작 공정

### 2.1 마찰재선정

마찰재는 각기 상이한 마찰 특성을 지니고 있으므로 사용하고자 하는 부위에 적합한 재질을 선택하는 것이 바람직하다.<sup>(4)</sup> 이것은 내구성, 전달 토크 등을 고려하여 선택하여야 하며, 또한 소음, 진동등도 종합적으로 고려하여 선택을 하여야 한다. 마찰 판은 동력 전달, 동력 차단 작용을 목적으로 하므로 사용 조건이나 요구 특성에 따라 적당한 재질의 마찰재를 선택하여야 한다. 마찰재의 경우 적당한 사용상 면압이 규정되어 있다. 일반적으로 종이 마찰재의 경우 소재의 특성상 0.3~3[MPa]의 면압을 허용하며, 특수한 경우에는 6[MPa]까지 사용이 가능하나 면압이 높으면 높을수록 고밀도의 재질을 사용하여야 하며, 반대로 면압이 0.3[MPa]이하의 경우에는 분리 판의

Table 1 Characteristics of friction material<sup>(5)</sup>

Material Type	Dynamic Friction	Static Friction	Static/Dynamic Ratio	Relative Cost	Durability
Sintered Bronze	0.05/0.09	0.11/0.18	High	High	Good to Very Good
Low Static Paper	0.14	0.14	Low	Low	Good
High Durability Paper	0.11	0.14	Moderate	Low	Very Good
High Static Paper	0.10	0.18	High	Low	Fair to Good
Graphitic	0.12	0.15	Moderate	Moderate to High	Very Good
Polymeric	0.11	0.15	Moderate	High	Excellent
Millboard/Molded	0.06/0.09	0.15	Moderate to High	Moderate	Fair to Good
Woven	0.10	0.16	Moderate	high	Very Good

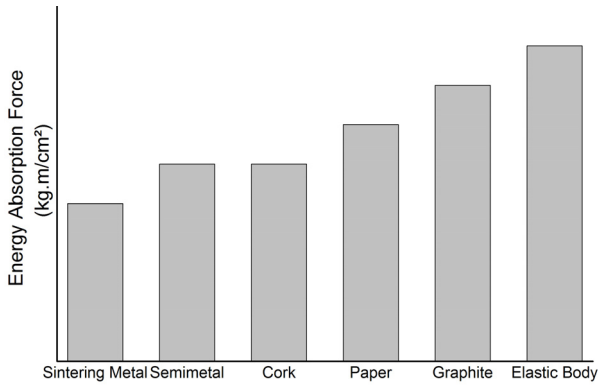


Fig. 3 Comparison of energy absorption capacity of various wet friction materials<sup>(5)</sup>

평균도등 정도상의 문제로 인해 마찰특성에 문제가 발생된다. Table 1은 현재 일반적으로 사용되고 있는 마찰재에 특성을 나타내었다.

에너지 흡수가 큰 재질은 적은 면압, 작은 동력의 전달에 적합하므로, 사용하고자 하는 목적에 따라 적합한 재질을 사용하는 것이 중요하다. Fig. 3은 마찰재에 따른 에너지 흡수력을 나타내었다.

종이 마찰재는 특수한 펄프와 금속산화물, 무기화합물을 혼합하고 수지(resin)를 이용하여 결합시킨 복합재이다. 이중 수지는 저가이면서도 양호한 내열성을 가진 마찰재의 결합재로서 페놀계의 전형적인 열경화성 수지를 사용하며, 금속 산화물, 무기 화합물이 함량에 따라 마찰특성이 상이한 각종의 종이 마찰재가 생성된다.

종이 마찰재는 주로 습식에 사용하며, 타 습식 마찰재에 비하여 마찰계수가 높으며, 탄성이 뛰어나고 오일흡수 능력이 뛰어나다. 이러한 특성 때문에 Stick Slip으로 인한 파손, 마모의 방지와 소음이 없고 진동에 뛰어난 내구성을 발휘하며, 또한 고 마찰계수를 활용하여 콤팩트한 브레이크 설계를 할 수 있으며, 브레이크 시스템의 경량화를 가능케 하여 비용이 적게 드는 설계를 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

## 2.2 마찰 판 제작 공정

습식용 종이 마찰재는 펄프를 기본으로 무기 충전제 및 열경화성 수지 등의 각종 첨가제를 복합시켜 제작 한다. Fig. 4는 마찰재의 제조공정도를 나타낸 것이다.

마찰재 제조공정의 순서는 다음과 같다. 펄프슬러리, 무기충전제, 열경화성 수지 및 결합제를 첨가하여 균일하게 혼합한 다음 압력을 가하여 성형한다. 성형된 습식용 마찰재를 소정의 치수로 절단하여 에

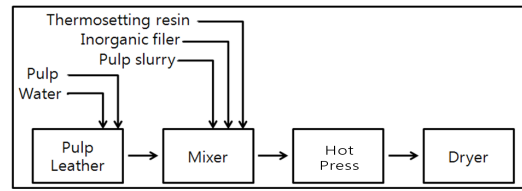


Fig. 4 Flow sheet diagram of friction materials<sup>(2)</sup>

Table 2 Composition ratio of friction materials for parking brake

Materials	Compositions Ratio (%)
linter pulp	41.2
Silica sand	9.2
Bengala	4.0
Calcium carbonate	4.6
Zinc oxide	5.3
Diatomaceous earth	16
Kasolite	2.3
Surfactant	4.3
Adhesive	4.8
Etc.	8.6

폭시 접착제로 철심에 접착시킨 후 각각 압착방법이 다르게 3종을 고온압착에서 성형한 후 24시간 상온에 방치하여 시료를 제작 하였다. 제조공정에 사용된 무기 충전제, 열경화성 수지들의 각 조성은 Table 2와 같다.

## 3. 시뮬레이션 및 시험

### 3.1 Modeling & Simulation

주차브레이크의 M&S는 Fig. 5와 같이 구동모터와 시험 브레이크 사이에 계측용 토크 및 속도센서를

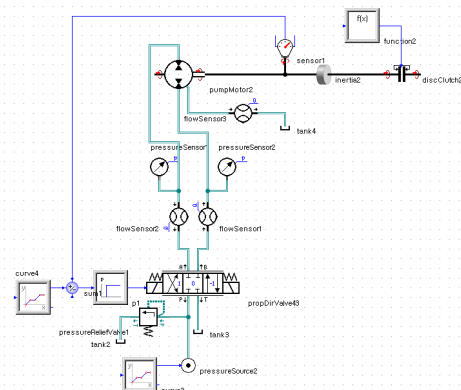


Fig. 5 Simulation model of test mechanism for parking brake

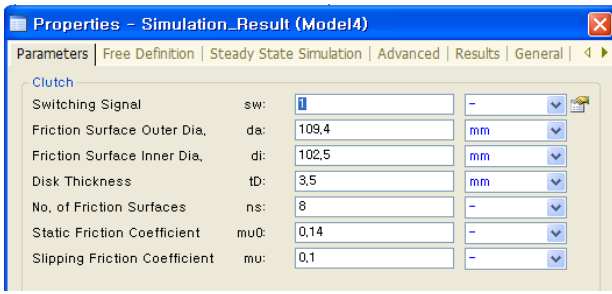


Fig. 6 Model of variable friction disc

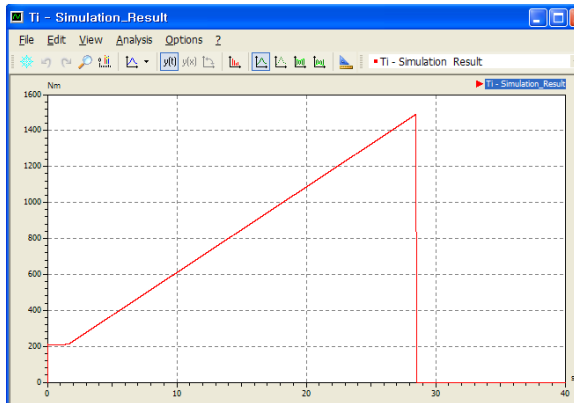


Fig. 7 Simulation results of parking brake

부착하고 실제 시험장비와 같이 구현할 수 있도록 유압모터의 사양은 750 cc/rev의 유압모터를 구현했으며 비례제어 밸브를 이용해 압력을 제어하도록 시뮬레이션을 구현하였다. 구동모터에 압력을 선형적으로 가하여 토크를 증가시키는 모델을 사용하였다.

구동모터와 센서는 시험과 같은 사양으로 설정하였고, 해석모델에서 사용되는 가변과라미터는 Fig. 6과 같이 마찰 판에 작용하는 힘을 시험에 사용된 스프링의 함수모델을 사용하여 입력하였으며 마찰 판의 외경 및 내경 접촉면수 등을 일정한 값을 입력하였다.

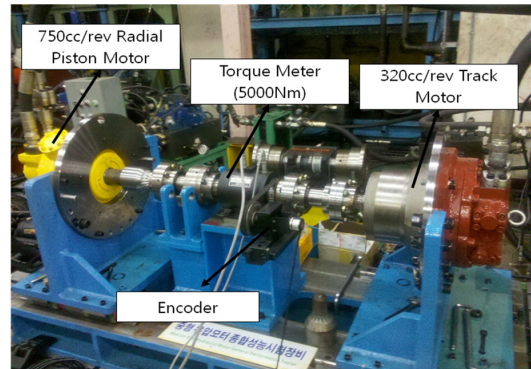
### 3.2 주차브레이크의 시뮬레이션 결과

주차브레이크의 시뮬레이션 결과는 Fig. 7과 같고, 마찰계수는 종이의 일반적인 정 마찰계수 0.14를 사용하였으며, 마찰 판 4장의 마찰면수 8개를 사용하여 시뮬레이션 한 결과 마찰토크는 1487 Nm으로 나타났다.

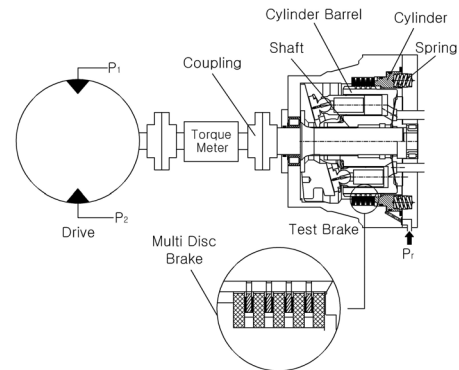
### 3.3 시험장치

주차브레이크 기능과 마찰특성을 측정하기 위하여, Fig. 8과 같이 모터의 입구 및 출구 측에 각각 압력 센서를 장착하고 정확한 시험압력과 유량제어를 위

해 비례제어밸브를 사용하였다. 유압모터의 출력 측에 토크 및 회전수를 측정하기 위해 5000 [Nm]의 토크 미터와 회전 수 측정 센서를 설치하였다.



(a) Photo of test mechanism for parking brake



(b) Simplification of test equipment

Fig. 8 Test equipment for parking brake

Table 3 Specifications of sensors

Sensor.	Item	Specifications
Pressure Sensor	Measuring Range	0~70 [MPa]
	Stability	0.2 [%] FS max.
	Linearity	0.1 [%] FS
	Hysteresis	0.1 [%] FS
	Rated output	0~10 [V]
Torque Meter	Measuring Range	-5000~5000 [Nm]
	Accuracy	±0.5 [%]
	Reliability	0.3 [%] FS
	Rated output	0~10 [V]
	Hysteresis	0.2 [%] FS
	Torque signal with limit frequency	16 [kHz]
rpm Sensor	Measuring Range	0~5000 [rpm]
	Number of pulses/revolutions	60
	Output signal	24 [V]

시험 부에는 고강성 프레임으로 제작된 고정 브래킷(mounting bracket)에 초대형 굴삭기용 320 [cc/rev]급 유압모터를 장착하고 제작한 브레이크를 내장하였다. 구동모터는 브레이크에 큰 토크를 가하기 위해서 대용량 750 [cc/rev]의 레이디얼 피스톤 유압모터(radial piston type hydraulic motor)를 사용하였다.

구동모터에 고압 대용량(560L/min) 750(HP) 유압동력 발생장치를 사용하여 고압 고 토크로 구동할 수 있게 설치하였다.

### 3.4 시험 방법

마찰 판 압착방법이 각각 다른 3종의 마찰 판을 시험 부 모터에 각각 장착하고 주차 브레이크가 작동된 상태에서 구동 모터 측에 압력을 서서히 증가시켜 시험 부에 토크를 가하여 시험 부 모터가 슬립(slip)이 일어날 때까지 토크를 증가시킨다. 이때, 유압모터가 회전하는 시점의 최대토크를 측정한다. 또한 마찰 판이 없는 경우를 위와 같은 방법으로 베어링 및 벨브플레이트의 마찰등에 의한 마찰토크를 측정한다. 위와 같은 방법으로 시험을 시료에 따라 각각 5회 실시하여 마찰 토크를 확인하고 시료에 대해 각각 마찰계수를 확인하여 최적 공정을 확인하였다.

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 브레이크 이론

브레이크의 토크는 마찰 계수, 축방향의 작동력, 평균반경, 마찰면의 수에 의해서 결정되며,  $\mu$ 가 정 마찰 계수 일 경우, 마찰재료의 마찰 계수를 이용한 브레이크 토크는 다음식과 같다.<sup>(4)</sup>

$$T = \mu F_s r_m n \quad (1)$$

여기서  $F_s$ 는 스프링의 힘으로, 주차 브레이크의 힘은 스프링 하나의 힘에 스프링 개수를 곱한 것과 같으므로 식(2)와 같이 나타난다.

$$F_s = \frac{Gd^4\delta}{8D_a^3N_a} \times n_s \quad (2)$$

따라서 주차 브레이크의 마찰토크는 스프링의 힘과 마찰계수, 마찰면의 수, 평균 반경으로 표시되며, 식을 정리하면 다음식과 같다.

$$T = \mu \frac{Gd^4\delta}{8D_a^3N_a} n_s r_m n \quad (3)$$

본 연구에서 사용된 브레이크 시스템 및 제작한 마찰 판 사양을 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Specifications of parking brake system & friction disc

No	Item	Specification
1	Wire diameter ( $d$ )	4 [mm]
2	Coil PCD ( $D_a$ )	16.5[mm]
3	External diameter ( $d_0$ )	20.5[mm]
4	Number of active coil turns ( $N_a$ )	4 1/5
5	Spring constant load rate ( $k$ )	133.08 [N/mm]
6	Module of elasticity ( $G$ )	78435 [N/mm <sup>2</sup> ]
7	Number of spring ( $n_s$ )	14
8	Displacement of spring ( $\delta$ )	6.9 [mm]
9	External radius of Friction disc ( $r_0$ )	109.4 [mm]
10	Internal diameter of Friction disc ( $r_i$ )	102.5 [mm]

### 4.2 시험결과

마찰재 압착 방법이 각각 다른 3종의 마찰 판 2장의 최대 마찰토크를 측정한 결과는 Fig. 9와 같이 최대 정 마찰토크(static friction torque)는 Model 3의 고온가열 압착으로 제작한 시료는 1008Nm로 Model 1과 Model 2에 비해 마찰토크가 각각 14.4%와 9% 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

마찰 판이 4장인 경우는 Fig. 10과 같이 최대 마찰토크는 150℃로 고온가열 압착한 시료 Model 3이 2014Nm 상온 압착한 시료의 마찰토크 1738Nm보다 13.67%, 70℃로 가열 압착한 시료의 마찰토크

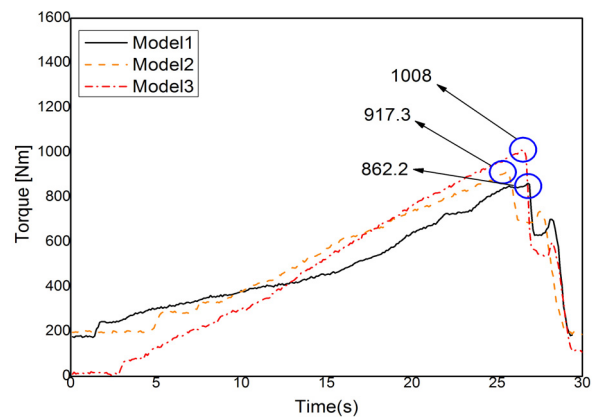


Fig. 9 Torque measuring results of parking brake (using two friction discs)

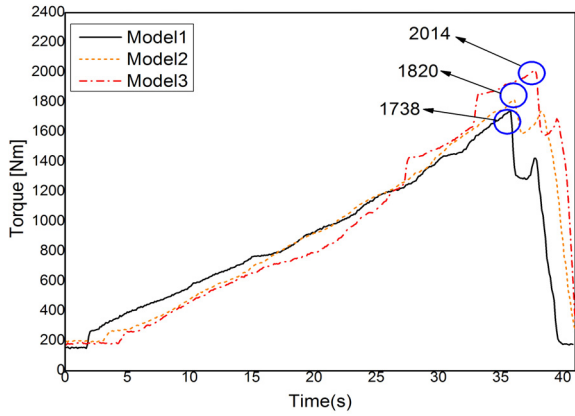


Fig. 10 Torque measuring results of parking brake (using four friction discs)

1820Nm보다 9.6% 마찰토크가 높은 결과를 확인할 수 있었다.

위 시험의 결과 값으로 마찰 계수를 분석한 결과는 Fig. 11과 같이 상온압착의 경우 마찰계수는

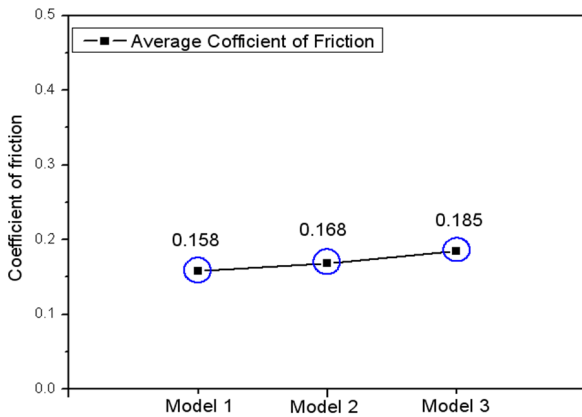


Fig. 11 Average of the coefficients of friction

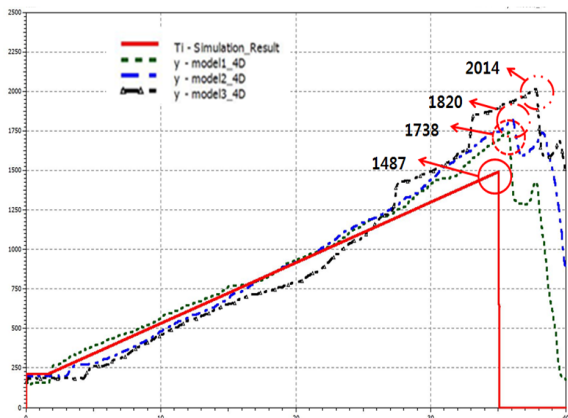


Fig. 12 Comparison of simulation and model 1 for test result

0.158, 70℃로 가열 압착의 경우 0.168, 150℃로 고온가열 압착의 경우 0.185의 마찰계수가 나타났다. 따라서 마찰 판의 마찰재 압착방법에 따라 마찰계수의 변화를 확인할 수 있었다.

4장의 마찰판을 사용하여 시험한 결과를 시뮬레이션 결과와 비교한 그래프를 Fig. 12에 나타내었다. 마찰재의 가공 전 사양을 이용하여 시뮬레이션 한 결과 보다 상온압착은 14%, 가열압착은 18%, 고온압착은 26% 향상된 시험결과를 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 굴삭기에 사용되는 주차브레이크를 각각 다른 압착 방법에 따른 3종의 종이 마찰재를 사용하여 마찰 판을 제작하고 반복실험 및 시뮬레이션을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Model 2는 Model 1과 비교하여 마찰계수가 6% 가량 상승하였으며, 150℃ 고온가열 압착한 Model 3은 14.6% 마찰계수 향상된 효과를 보였다.
2. 시험결과를 시뮬레이션 결과와 비교할 때, 시험결과가 14%~26% 수준에서 높은 결과를 보였으며 이는 유압모터의 기계적 마찰 등에 의해 시험결과가 높게 나타났다.
3. 생산성을 고려하여 상온 압착으로 가공한 마찰재가 상용화 되고 있었지만 상온 압착의 마찰재를 사용한 결과 유압모터의 출력보다 마찰토크가 부족하였으며, 70℃ 고온압착 공정을 거친 마찰재의 경우 마찰력이 개선되었다.
4. 안전율을 고려하여 150℃ 가열압착 가공에 의해 제작된 마찰 판은 안전계수를 만족하는 마찰토크를 얻을 수 있었다. 이는 압착방법에 따라 열에 의해 마찰재의 평면도 및 에너지 흡수력 등의 차에 의해 마찰계수가 변화되는 것으로 판단된다.

## 후 기

이 연구는 2012년도 산업기술연구회 주요사업의 연구비(과제번호: NK-168E) 일부지원에 의해 수행되었음을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. Y. B. Lee, K. M. Kim, 2012, "Analysis of the Friction Characteristics of Parking Brake for

- Large Size Excavator”, Trans of the KSPSE, Vol. 16, No. 2, pp. 5-10.
2. H. J. Suh, 2007, “Performance test and evaluation of wet frictional material for the wheel brake of vehicle”, Inha University, 1-27.
  3. J. I. Kang, H. K. Han, O. K. Kwon and W. S. Choi, 1990, “A study on the frictional characteristics of wet clutch friction materials in accordance with compositions”, Trans of the KSAE, Vol. 12, No. 4, pp. 56-64.
  4. Y. B. Lee and K. M. Kim, 2011, “Test Analysis of Parking Brake for the Track Drive Unit of Excavator”, Trans of the KSME(B), pp. 1157-1162.
  5. D. S. Jung, H. Y. Son, Y. H. Lee and S. T. Park, 1988, “The Development of a Wet Multi Type Electro-Magnetic Clutch/Brake”, KIMM, B- SM 145-1203C, pp. 33-38.