

## 다이나모 실험을 통한 Al-MMC 브레이크 드럼의 제동성능 평가

윤영식\*(건양대 기계공학과), 유승을 · 한범석(자동차부품연구원)

### The Braking Performance Evaluation of Al-MMC Brake Drum Using the Dynamometer

Y. S. Yoon(Mecha. Eng. Dept. Konyang Univ.), S. E. Yoo · B. S. Han(KATECH)

#### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the braking performances associated with the friction coefficients and temperature fluctuations. Friction coefficient stability and maximum temperature of brake drums, made of an Al-MMC and conventional cast iron, were tested by the inertial brake dynamometer during 15 braking operations. Also the temperature distribution was analyzed by the finite element analysis(FEA). In this experiment, both lower temperature rise near the drum surface and less variation of friction coefficient, compared to those of cast iron, were observed with Al-MMC drums during braking operations.

**Key Words :** Brake drum (브레이크 드럼), Braking performance(제동성능), Brake dynamo (브레이크 다이내모), Al-MMC(Al 기 복합재료), Friction coefficient(마찰계수), Braking mode(제동모드)

#### 1. 서론

제동은 운행중인 차의 속도를 감속 또는 정지시키는 것을 말하며, 제동장치는 주행 중 자동차의 바퀴에 저항을 가하여 회전력을 제한하고 자동차의 속도를 감속시키거나 또는 정지시키는 장치이다. 그러므로, 제동 성능 시험은 자동차의 기본적인 기능이며, 안정성에 직접 관계되는 중요한 제동 특성을 평가하는 것을 목적으로 하고 있고, 각 부품에서 실차에 이르기까지 가장 체계화가 진척된 시험 중 하나이다.<sup>1)</sup>

브레이크 다이내모(brake dynamo) 시험은 개발된 제동시스템 또는 제동부품의 실차 적용을 위한 안전성 및 규격 만족도를 측정하는 방법의 하나로써 다양한 제동특성을 평가하기 용이하여 널리 사용되고 있다.

제동부품의 평가는 벤치 시험 및 실차 시험으로 대별된다. 또한, 최종적으로는 실차에서 차륜 로크 및 제동 거리 등에 대해서 시험하여 적정한 제동력 배분이 되고 있는가를 평가한다. 브레이크는 운전자가 자신의 의지대로 가벼운 답력과 짧은 거리에서 안정된 자세로 차량을 정지시키는 성능을 확보할 필요가 있다. 전륜 또는 후륜에 제동력이 과다

하게 배분되는 경우 차량의 뒷부분이 흔들리거나 조타 불능 및 제동 거리의 증가를 가져온다. 이상적으로는 차량 제원에 맞는 제동시의 각 축의 하중을 고려한 배분으로 할 필요가 있다. 제동력 배분을 위한 시험 장치는 브레이크 1 개용의 싱글형, 2 개용의 듀얼형 및 4 개를 장착할 수 있는 쿼드러플 형이 있다. 싱글형은 장치가 단순한 반면에 해석에는 적합하지 않으며, 쿼드러플형은 보다 실차에 가깝지만 장치가 복잡하기 때문에, 본 연구에서는 듀얼형을 사용하여 시험하였다.

본 연구에서 사용된 제동성능 시험장비는 유압으로 작동하는 브레이크계 시험에 대한 제어 입력과 출력을 수행할 수 있는 시스템으로서 제동시험 조건에 대한 최적의 상호관계를 제어할 수 있으며 다양한 형태, 종류의 브레이크 부품 및 시스템에 관련된 시험을 수행할 수 있다. 다이내모의 제어는 제동시험 절차에 대한 기존의 검증과 연구, 개발에 밀접하게 관련되어 있으며 기계 시스템과의 인터페이스를 쉽게 할 수 있도록 설계되었다. 이 시스템은 속도변환 시스템, 브레이크 적용 시스템, 설치기구, 귀환제어 등을 가지고 있으며 또한 작동자에 의해 시스템을 제어하거나 완전히 자동 작동을 할 수 있는 새로운 제어 특징을 가지고 있다. 이 시스템

템의 주된 작동 기능은 시험 변수(parameter)의 선택, 제어 모드, 적절한 데이터 출력 기능, 모든 시험의 관찰 기능, 원하는 시험 순서의 실행 등을 포함하고 있다. 이 시스템은 수동 및 자동으로 안전한 시스템 정지를 제공하는 것으로 다음에 나타낸 장, 단점을 지니고 있다.

· Dynamometer 시험의 장점 : 실차시험은 환경 조건과 동일한 제어를 할 수 없는 많은 인자들을 내포하고 있으나 실험실 내에서는 이와 같은 인자들을 변경하여 시행할 수 있다. 즉, 속도와 같이 직접제어가 가능한 인자들 하에서 브레이크를 작동 또는 제거하는 경우 운전자가 매번 정확히 재현할 수 없기 때문에 브레이크에 작용하는 토크는 시험 때마다 폭넓게 변한다. 부품에 영향을 미치는 이와 같은 많은 인자들이 dynamometer 환경에서는 더욱 정확히 제어될 수 있다. 따라서 변환 프로그램을 사용하면 dynamometer로부터 얻어진 데이터는 동일한 시험 프로그램으로 시험된 다른 부품에서 얻어진 데이터와 직접 비교할 수 있다. 이것은 부품들이 제어가 가능한 환경에서 시험이 수행되고 각각의 부품에 대하여 신뢰할 만한 비교평가가 가능하도록 한다.

· Dynamometer 시험의 단점 : 대부분의 많은 dynamometer 프로그램은 규정된 제동시험 절차에 따라 성능시험을 수행한다. 이와 같은 dynamometer 시험 수행절차는 차량에 장착된 제동부품에 대하여 규정되지 않은 제동작용 형태를 반영하지 못하기 때문에 규정된 시험 이외의 시험즉, durability test, roughness test 등의 수행에는 적합하지 않은 단점이 있다. 하지만 최근에는 이를 보완하기 위해 In-vehicle 을 모사하기 위한 프로그램을 사용하여 규정된 brake test pattern 에 관계없이 dynamometer 프로그램을 생성, 사용하고 있다.

본 연구는 듀얼형 다이내모미터 실험을 통하여 자동차 경량화의 일환으로 개발된 AI 기 복합재료(AI-MMC)로 제작된 브레이크 드럼에 대하여 JASO C406 실험방법을 적용하여 온도변화 및 마찰계수의 변화를 얻어 기존재료와의 제동성능을 비교 평가하고자 하는 것이 목적이다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험개요

본 시험에서 사용한 듀얼형 다이내모 장치는 한쪽에 전륜 또는 한쪽에 후륜에 해당하는 쪽의 브레이크를 장착해 차량의 운동 에너지를 모사한 관성 질량을 모터로 구동하고, 브레이크로 제동하여 제동 토크를 검출하는 방법으로 시험하였다. 시험은 차량의 적재 상태, 차속, 감속도 및 브레이크의 제

동 조건이나 열 이력 등에 좌우된다. 따라서, 제동 특성의 평가는 이들 인자를 고려해서 시험을 하여야 한다. 시험시 브레이크 토크나 유압은 스트레인 게이지로 검출되고, 컴퓨터로 계산되며, 온라인으로 소정의 출력이 플롯된다.

본 시험에 영향을 미치는 인자들 및 적용방법은 다음과 같으며 각 인자들은 개발된 브레이크 드럼을 적용하기 위한 차량에 해당하는 값들을 적용하였다.<sup>2)</sup>

#### (1) 관성 질량

제동부품의 안전성 평가에 가장 큰 영향을 미치는 관성질량은 일반적으로 다음식에 의해 산출하며 이때 앞 뒤 각 1 개의 브레이크 장치이며 실차의 운동 에너지의 1/2 에 상당하는 값이다. 본 시험에서는 개발된 브레이크 드럼의 적용을 위한 차종에서 주어진 값을 사용하였다.

$$I = \frac{W}{2G} r^2$$

여기서,  $I$  : 관성 질량( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),  $W$  : 차량 시험중량( $\text{kg}$ ),  $r$  : 동적 타이어 유효 반지름( $\text{m}$ ),  $G$  : 중력 가속도( $9.8\text{m/s}^2$ )을 나타낸다.

#### (2) 제동 방식

브레이크 다이내모 시험을 위한 제동방식은 액압에 의한 입력 일정 방식과 제동 토크에 의한 출력 일정 방식이 있다. 실차 시험을 시뮬레이트하는 목적에서 감속도 상당의 출력 일정 방식이 일반적이며 출력 즉 제동 토크는 다음식으로 산출한다.

$$T = \frac{I}{r} \cdot \frac{a}{G}$$

여기서,  $T$  : 제동 토크( $\text{N} \cdot \text{m}$ ),  $a$  : 지정 제동 감속도( $\text{m/s}^2$ )이다.

#### (3) 브레이크 온도

제동력 배분을 좌우하며 실차를 시뮬레이트하는 중요한 인자이다. 측정은 고정 측 또는 회전 측에서 실시된다. 브레이크 온도는 브레이크 시험에 있어서 결과에 대한 영향이 크고 재현성이나 데이터의 신뢰성 면에서 철저한 관리가 필요하다. 특히 AI-MMC 브레이크 드럼의 경우 고온강도가 안전성에 미치는 영향이 크므로 고정 측인 브레이크 라이닝(lining)에 열전대를 설치하여 이에 대한 관리를 철저히 하였다.

#### (4) 냉각풍

주행시의 브레이크의 냉각을 상정해서 냉각풍이 공급되고 있다. 시험의 목적에 따라서 풍속을 바꾸거나, 감속에 의한 차속 변화에 대응해서 송풍하는 경우도 있으나, 실차와 동력계에서는 브레이크의 설치 상태가 다르기 때문에 실차와 같은 냉각풍을 재현하는 것은 어렵다. 따라서 일반적으로 냉

각 풍속은 11m/s 전후로 고정된다.

## 2.2 실험장치 및 방법

브레이크 다이내모 시험은 1500cc 급의 상용차에 장착할 브레이크를 대상으로 하였으며, 제동부품인 브레이크 드럼의 안전성을 평가하기 위하여 JASO C406 mode 로 실시하였다. 브레이크 다이내모 시험은 Fig.1 에 나타낸 것처럼 브레이크 드럼을 회전시키며 유압에 의해 브레이크 라이닝을 드럼과 마찰시켜 제동특성을 평가하였으며, 실시간 온도변화를 측정하기 위하여 라이닝 중간부위에 열전대를 설치하였다.<sup>3-5)</sup>

한편, AI-MMC 브레이크 드럼은 기존 주철재 브레이크 드럼을 대체하기 위해 개발된 것으로 브레이크 드럼의 제동특성을 비교하기 위해 주철재와 AI-MMC 브레이크 드럼에 대해 각각 제동특성을 평가한 후 상호 비교하여 실차 적용을 위한 기초자료를 확보하였다.

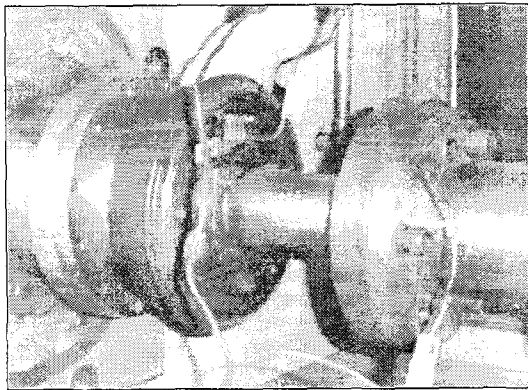


Fig. 1 Experimental setup

## 3. 유한요소해석

### 3.1 ANSYS 모델링

브레이크 다이내모 시험의 타당성을 검증하기 위하여 상용해석 프로그램인 ANSYS 를 이용하여 앞절의 실험대상과 조건으로 열분포 해석을 시도하였다.<sup>8)</sup>

Fig.2 (a)는 해석에 사용된 3 차원 모델이며, (b)는 이를 간략화한 2 차원 모델에 적용된 구속조건 및 의력을 나타낸다.

### 3.2 해석결과

Fig.3 은 앞절의 조건으로 15 회 반복 제동한 후, (a) AI-MMC (b) 주철재 브레이크 드럼의 온도분포를 나타낸다.

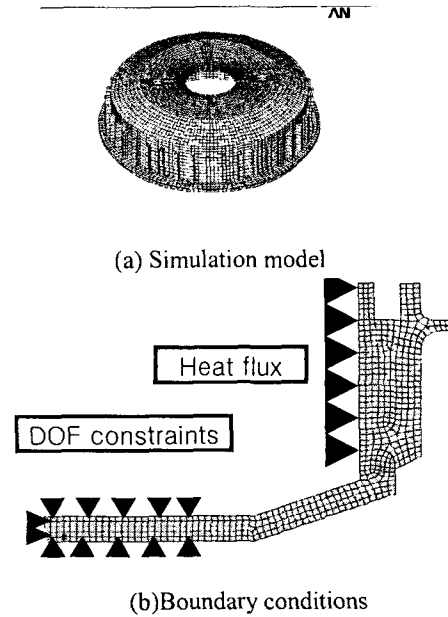


Fig. 2 ANSYS model of the brake drum

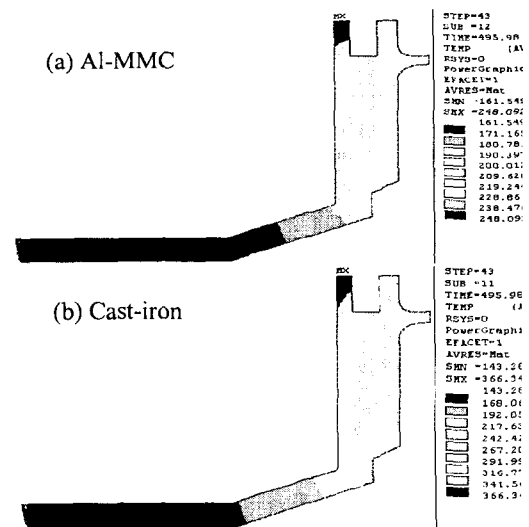


Fig. 3 Temperature distributions in the brake drums

## 4. 실험결과 및 고찰

앞 절의 시험방법과 조건으로 AI-MMC 브레이크 드럼과 주철재 드럼을 대상으로 JASO C406 mode 에 의해 브레이크 다이내모 시험을 수행하였다. 즉, burnish, reburnish, effectiveness, fade, recovery 상태에

서의 마찰계수 및 온도의 변화를 관찰하여, AI-MMC 와 주철재 브레이크 드럼의 제동성능 평가를 위한 기초자료로 검토하였다. Fig.4 와 Fig.5 에 JASO C406 mode 에서 시험조건이 가장 가혹한 2nd fade 상태에서의 시험결과를 나타내었다.

Fig.4 는 2nd fade 에서 마찰계수의 변화를 관찰한 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 주철재 브레이크 드럼의 마찰계수는 1~2 사이의 값을 나타내고, AI-MMC 드럼은 1.2~1.7 에 나타내었으나, AI-MMC 의 경우가 주철재에 비해 제동회수 증가에 대해 안정적인 마찰계수의 변화를 보였으며, 전체적인 마찰계수의 크기도 상대적으로 낮은 값을 유지하였다. 이는 AI-MMC 의 경우 소재중의 SiC 입자에 의한 마찰계수 감소 및 브레이크 드럼 표면에 생성되는 피막으로 인해 안정적인 마찰계수를 유지하는 것으로 생각된다.<sup>6)</sup>

한편, 제동에 따른 온도를 비교한 Fig.5 의 결과를 보면 제동의 반복에 따라 온도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 최종 제동시 온도는 AI-MMC 의 경우가 주철재에 비해 70℃ 정도 낮은 값을 나타내었는데, 이는 AI-MMC 경우 주철재에 비해 열전도도가 우수하고 또한, 브레이크 드럼의 방열 효과를 향상시키기 위한 형상의 제작 때문인 것으로 생각된다.<sup>7)</sup>

ANSYS 에 의한 유한요소 해석에서, 두 경우의 온도차가 110℃ 인 것으로 알 수 있듯이 시험은 잘 진행된 것으로 생각되나, 실험과 해석의 차이는 시험에서 온도를 측정하는 열전대의 위치에 의한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

AI-MMC 브레이크 드럼의 제동특성을 평가하기 위해 JASO C406 mode 를 기초로 하는 브레이크 다이내모 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. AI-MMC 및 주철재 브레이크 드럼의 브레이크 다이내모 시험결과, 반복제동에 대해 AI-MMC 의 경우가 주철재에 비해 안정된 마찰계수를 유지하였다.

2. AI-MMC 브레이크 드럼의 경우 브레이크 다이내모시험중, 2nd fade 상태에서 주철재 브레이크 드럼에 비해 70℃ 정도 낮은 최고온도를 나타내었다.

3. AI-MMC 와 AI-MMC 용 마찰재의 마찰특성을 평가한 결과 AI-MMC 는 마모의 진행중에도 안정된 마찰계수를 유지하였다.

#### 참고문헌

1. T.P.Newcomb, Proc. Instn. Mech. Engrs., Automobile Division, pp.1958-1959.
2. R.J.Ashworth, M.El.Sherbiny, T.P.Newcomb, Proc. Instn. Mech. Engrs., Automobile Division, 191, 1977.
3. JASO C402-79.
4. JASO C406-82.
5. JASO C427-83.
6. U. S. Patent 4786467.
7. K.Fuad, M.Daimaruya, H.Kobayashi, Int. J. Thermal Stresses, 17(4)515, 1994.
8. 윤영식, 남중승, 유승을, 한범석, "AI 기 복합재료 브레이크 드럼의 열응력 해석," 한국 정밀공학회 2000 년도 추계학술대회논문집, pp.433-436, 2000.

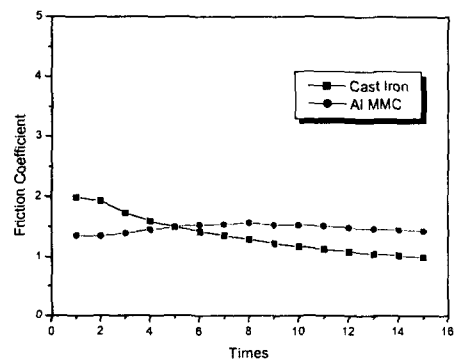


Fig. 4 Change of friction coefficients during the braking operations

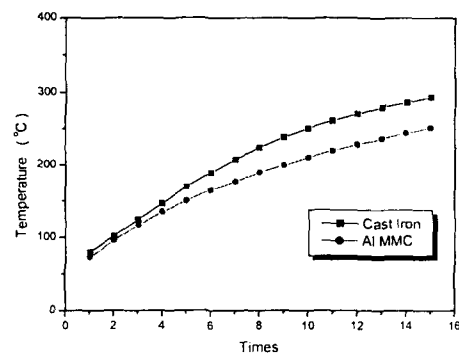


Fig. 5 Change of temperature during the braking operations