

# Al기 복합재료 브레이크 드럼의 열응력 해석

윤영식\*(건양대 기계공학과), 남종승(남양공업(주)), 유승을, 한범석(자동차부품연구원)

## Temperature Distributions and Thermal Distortions of the Al-MMC Brake Drum

Y.S.Yoon\*(Konyang Univ.), J.S.Nam(Nam Yang Ind.Co.,Ltd.), S.E.Yoo, B.S.Han(KATECH)

### ABSTRACT

For a new design of a automotive brake system, it appears to be very important to examine the temperature and thermal stresses distribution in the brake drum. In the direct measurement of them, however, a number of difficulties are involved. In this study, simulation on temperature and thermal stress distributions in an Al-MMC brake drum of a commercial vehicle during 15 braking operations was carried out using the finite element analysis(FEA). The effect of a circumferential fin near open end of the brake drum on the temperature rise and stresses was also examined.

**Key Words** : Brake drum(브레이크 드럼), Al-MMC(알루미늄 복합재), Thermal stress(열응력), Finite Element Analysis(유한요소해석), Circumferential fin(방열핀)

### 1. 서론

최근 산업의 발달과 개발도상국의 빠른 공업화 등으로 인한 에너지 수요의 급증으로 화석연료의 소비가 증가하고 있다. 수송부문에서는 휘발유와 경유가 주로 사용되고 있으나, 자원고갈 및 고유가, 환경오염 문제로 대체 에너지에 대한 연구·개발이 활발하게 진행중이다. 그러나, 경제성 등의 측면에서 볼 때 상당기간 화석 연료가 계속 사용될 것으로 예상되며, 에너지 절약이 새로운 문제로 대두되고 있다.

수송부문에서의 에너지 절약 방법으로는 차량의 경량화가 가장 효과적인 기술로 알려져 있다. 알루미늄은 철강재료에 비해 약 30% 정도의 비중을 지니며 내식성, 가공성, 열전도성 등이 우수하여 철강재료의 대체를 위한 경량소재로 널리 각광을 받고 있다. 특히, 알루미늄기 복합재료는 그 동안

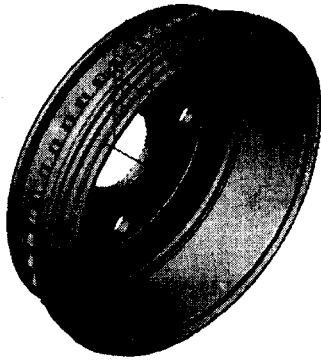
알루미늄 소재의 단점으로 지적되어 온 강도 및 내마모특성 등을 향상시킬 수 있어, 이에 대한 연구가 빠르게 진행되고 있다.

본 논문에서는 차량 제동부품의 하나로 경량화 적용시 에너지 절약효과가 큰 브레이크 드럼을 알루미늄기 복합재료로 대체 개발하고자 하는 연구의 일부로서, 마찰열 접촉거동 문제를 열하중과 기계적 하중을 동시에 고려하여 유한요소법으로 해석하고자 한다. 여기서는 라이닝과 드럼과의 제동시 발생하는 마찰에 기인한 드럼의 온도분포, 접촉 열응력, 이에 따른 변형량 등을 고찰하였다.

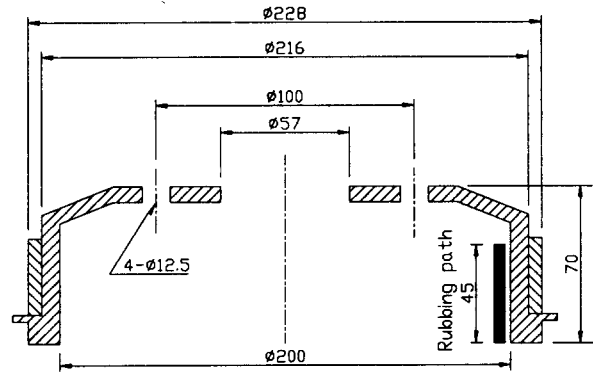
### 2. 유한요소 모델링

#### 2.1 해석모델

제동시 브레이크 드럼에서 발생하는 열응력해석에 사용된 모델은 현재 국내 시판중인 중형 승용차



(a) Brake drum



(b) Dimensions of the model

Fig. 1 Simulation model

Table 1 Material properties and simulation conditions

Properties	Values
Elastic modulus (N/m <sup>2</sup> )	98.6×10 <sup>9</sup>
Poisson's ratio	0.29
Mass density (kg/m <sup>3</sup> )	2.77×10 <sup>3</sup>
Coef. of thermal expansion(mm/mm·K)	21.4×10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity(W/m·K)	185.065
Specific heat(J/kg·K)	1000.693
Mass of vehicle (kg)	2,030
Deceleration (m/sec <sup>2</sup> )	0.45g
Initial velocity (km/h)	95
Film coeff.(W/m <sup>2</sup> ·K)	60.74
Atmospheric temperature(°C)	60
Braking mode	JASO C 406

의 브레이크 드럼으로서 Fig.1과 같고, 드럼외주방열핀의 효과를 관찰하기 위하여 핀이 없는 모델도 사용하였으며, 드럼의 재질은 Al기 복합재료로서 물성치 및 시뮬레이션 조건은 Table 1에 제시하였다.

## 2.2 하중조건

브레이크 시스템에 의하여 발생된 제동력은 112°에 걸쳐있는 두 개의 라이닝에 의해 드럼에 가해지며 크기는 6kN이다. 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여 실험결과와 비교하기 위하여, 시뮬레이션 조건은 실험조건으로 사용되고 있는 일본 JASO C 406-2nd Fade<sup>(1)</sup>의 제동조건을 적용하였다.

즉, 주위온도 60°C인 상태에서 95km/h로 주행 중인 자동차에 제동력을 가하여 5.98sec 동안 0.45g로 감속하여 정지한 후, 25sec 동안 가속하여 초기속도에 이르고, 이후 4.0sec 동안 정속 주행하는 35sec를 1주기로 하여, 15회 반복제동(520sec)하였다.

## 3. 해석결과 및 고찰

### 3.1 온도분포

Fig.2는 앞절의 조건으로 15회 반복 제동한 후, 드럼의 온도분포를 나타낸다. 라이닝과의 마찰되는 면에서 최고온도인 617K 이고, 마찰원으로부터 먼 지점인 센터홀에서 최저인 567K이며, 최고온도와 최저온도차이는 50K로서 전 드럼에 걸쳐 비교적 고른 온도분포를 나타내고 있다. 높은 온도 분포를 보이는 라이닝과의 접촉면에서 드럼 내측의 온도보다, 공기와의 접촉에 의해 방열이 활발한 외측의 온도가 11K정도 높게 분포하고 있음을 보이고 있다. 드럼 부위별 온도차와 내·외측의 온도차이는 현재 자동차에 많이 쓰이고 있는 주철(FC250)제 드럼에 비하여 적게 나타났으며, 최고온도도 693K인 주철제 드럼<sup>(2)</sup>보다 76K 적게 나타났는데, 이는 Al-MMC가 주철에 비하여 열전도성이 우수한 것을 입증하는 결과이다.

Fig.3은 시간에 따른 드럼 내측의 각 부위의 온도변화를 나타내는 그림으로서 'top'부는 제동시와 방열시의 온도차가 많은 반면, 'bottom'부는 제동·방열시의 온도차이가 크지 않다.

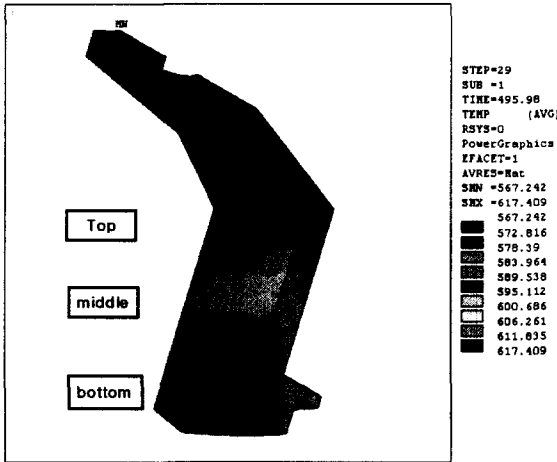


Fig. 2 Temperature distributions on the brake drum during 15 braking operations

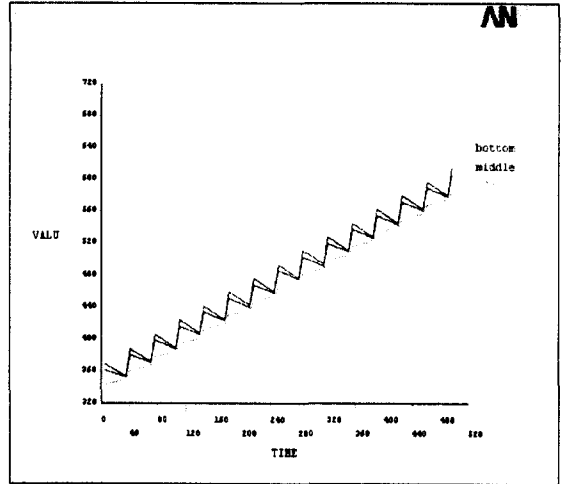


Fig. 3 Temperature fluctuations

### 3.2 열응력 해석

Fig.4는 15회 반복제동한 후, 제동력 및 열에 의한 변형량의 분포를 나타낸 그림이며, 선으로 표시된 부분이 변형전 드럼의 형상이다. 최고변형은 드럼의 바깥쪽에서 발생하며 크기는 0.726mm이고, 제동력 및 열에 의한 변형량은 각각 0.005, 0.729 mm 로서 열변형이 주된 요소임을 알 수 있다.

Table 2는 드럼 내측의 각부위별 반경방향, 축방향 및 합변형량을 나타낸 표이다. 각 노드번호의 위치는 Fig.4 에 표시하였다. 브레이크의 안정

성과 성능에 영향을 미치는 것은 드럼과 라이닝과의 안정된 접촉 여부이며, 이는 반경방향 변위가 변수가 된다. 최대 변위는 0.623mm로서 드럼의 밑단에서 발생하며 표에서 알 수 있듯이 축방향 변위보다 반경방향의 변위가 주된 인자이다. 반경방향 변위는 드럼 윗단으로 갈수록 크기가 줄어드나, 축방향변위는 드럼의 밑단에서 작고 위로 올라갈수록 점점 커져 드럼의 첫 번째 굴곡지점에서 0.289mm로 최대가 되고 이후에는 다시 작아짐을 보이고 있다. 전 드럼에 걸쳐 원주방향 변위는 관찰되지 않았다. 이러한 변형량은 탑승자의 안전과 직결되므로 각 방향별로 면밀한 검토가 필요하다.

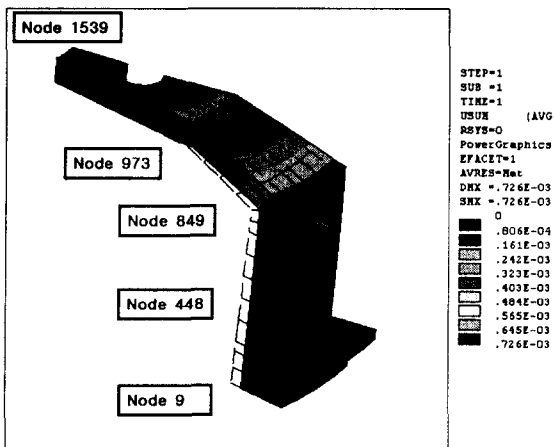


Fig. 4 Thermal distortions

Table 2 Radial and axial displacements

Node no.	Displacements(mm)		
	Radial	Axial	Sum
1539	0.044	0.053	0.071
973	0.281	0.233	0.366
849	0.509	0.289	0.586
448	0.562	0.181	0.591
9	0.623	0.014	0.623

### 3.3 냉각핀의 영향

드럼 외주의 냉각핀의 효과를 검증하기 위하여 동일한 드럼 재질 및 제동조건에서 앞절의 해석을 반복한 결과, 온도분포는 최고온도로 15K 증가하였고, 응력은 80MPa 증가하였다. Fig.5 는 핀없는 브레이크 드럼의 제동력과 열에 의한 변형 분포를 나타낸 그림으로, 최대 변형량은 0.732mm로서 핀있는 드럼에 비하여 0.04mm 크게 나타났다. 이는 브레이크 시스템의 안정성을 확보하기 위하여 주철 드럼의 경우와 마찬가지로 드럼에 핀을 설치하여야 함을 보이고 있다.

### 4. 결론

차량 제동부품의 하나로 경량화 적용시 에너지 절약효과가 큰 알루미늄기 복합재 브레이크 드럼에 대하여 JASO C406 실험조건을 적용하여, 마찰열 접촉거동 문제를 열하중과 기계적 하중을 동시에 고려하여 유한요소법으로 해석하고자 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제동에 의해 발생한 최고온도는 617K로서 주철(FC250)제 드럼에 비하여 10% 적게 나타났으며, 드럼의 내·외측의 온도차이 주철제 드럼에 비하여 적게 나타났고, 이는 Al-MMC가 주철에 비하여 열전도성이 우수한 것을 입증하는 것이다.
- (2) 반복제동중의 온도분포는 제동이 가해질수록 높게 나타났으나, 이는 대류열전달 계수의 변화에 따라 온도증가 양상이 달라지므로, 실험적·해석적 연구가 필요하다.
- (3) 드럼안쪽 라이닝과의 접촉면에 발생하는 변형은 최대 0.6mm이고, 드럼에 발생하는 변형은 제동력보다 열에 의한 영향이 지배적이며, 브레이크의 안정성에 영향을 미치는 반경방향 변형을 고려하여야 한다.
- (4) 드럼외주의 핀은 최고온도, 최대변형량, 최대응력 모두 영향을 미치므로, 설계시 정량적인 검토가 필요하다.

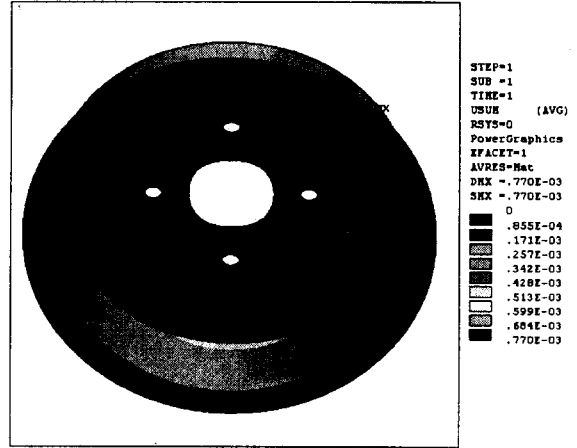


Fig. 5 Deformation distributions(without fin)

### 후기

본 논문은 산업자원부에서 시행한 에너지자원기술개발 사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. JASO C 406-1982, 2000, 자동차부품연구소.
2. 박영철, 박동성, "유한요소법을 이용한 브레이크 드럼의 열응력 해석," 한국자동차공학회는문집, 제8권, 제3호, pp.77-84, 2000.
3. Daimaruya, M. and Kobayashi, H., "Thermoelasto-plastic Stresses and Thermal Distortions in a Brake Drum," J. of Thermal Stresses, Vol.20, pp345-361, 1997.
4. Hohmann, C., Schiffner, K., Oerter, K. and Reese, H., "Contact Analysis for Drum Brakes and Disk Brakes using ADINA," Computer and Structures, Vol.72, pp.185-198, 1999.
5. 김청균, 이일권, "디스크 브레이크의 마찰열 접촉거동에 관한 트라이볼로지적 연구," 대한기계학회논문집, 제23권, 제10호, pp.1845-1852, 1999.
6. ANSYS Heat Transfer User Guide for Revision 5.5, ANSYS Inc., 1999.