

자동차용 브레이크 디스크의 미소변형이 제동과정에 미치는 영향

Effect of infinitesimal deformation of automotive brake disk in brake process

*안병일¹, #이원²

*B. I. Ahn(m4a1iris@ssu.ac.kr)¹, #Won. Yi²

¹ 숭실대학교 기계공학과, ² 숭실대학교 기계공학과

Key words : Infinitesimal deformation, Brake disk, Brake process, Finite element analysis, ANSYS

1. 서론

편리하고 접근성 높은 수송수단으로서 자동차가 대중화되면서 제작공정의 단순화와 제작비용 절감의 필요성이 증대되어 왔다. 원판과 패드의 간단한 구조로 경제성과 안정적인 제동 성능을 보여주는 디스크 브레이크는 이러한 요구사항을 만족하고 있지만 브레이크 디스크의 미소변형시 조향계의 떨림과 함께 제동 성능이 저하된다. 따라서 브레이크 디스크의 미소변형을 저감시키는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

2. 브레이크 디스크의 미소변형

디스크 브레이크는 주행중인 차량의 운동에너지를 브레이크 디스크와 패드와의 마찰에서 발생하는 열에너지로 변환하여 차량을 제동하는 장치이다.¹ 브레이크 디스크가 제동과정에서 미소변형을 일으키는 과정은 다음과 같다.

- (1) 디스크와 패드간의 마찰면에서 불균일한 마찰 및 마모
- (2) 마찰열의 균일한 발산이 방해되어 마찰열이 국부적으로 축적되고 집중되어 열섬 발생
- (3) 열섬 발생부에서 디스크 조직 내부의 분자간 결합 약화로 인한 미소변형 거동 발생
- (4) 차량 주행 중에 발생하는 공기 유동으로 냉각

브레이크 디스크의 미소변형 과정은 위의 4단계 과정이 지속적으로 반복되어 발생²되며, 미소변형된 브레이크 디스크의 고유주파수가 패드와의 접촉으로 조향장치의 고유진동수와 일치하여 발생하는 10 ~ 30 Hz 저주파 대역대의 진동을 Thermal Judder Vibration 이라고 하며 주행 상황에 따라 열섬의 개수가 변화하고 특정 모드가 발생한다.³

3. 시뮬레이션

브레이크 디스크의 모델링에 사용된 프로그램은 Solid WorksTM 2009를 사용하였으며 모델링한 디스크를 상용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYSTM 11.0 Workbench Simulation 을 이용하여 요소망을 생성하였다. 적용된 요소 생성방식은 Hex Dominant 이며 크기는 3 mm 로 292061개의 절점과 66360개의 요소망이 생성되었다.

모델링된 디스크에 적용된 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Material Properties of Brake Disk for Modeling

Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m ³)	Thermal Transfer Coefficient (/℃)
120	0.25	7200	0.11×10 ⁻⁶

브레이크 패드와의 마찰로 인한 고온상태의 브레이크 디스크 작동 면에 수직으로 작용하는 디스크 패드의 하중을 가상으로 구성하여 해석을 수행하였다.

브레이크 패드와의 마찰로 인한 브레이크 디스크의 열전도 상태를 모사하기 위한 초기조건을 설정하여 브레이크 디스크의 허브 장착부를 제외한 디스크의 패드와의 접촉부 양 접촉면과 원주 부위에 고온상태인 200 ℃ 를 설정하였고 디스크의 열발산

을 위하여 디스크 베인에 16 ℃ 의 조건을 설정하였다.

차량의 회전 허브축에 고정되어 고속으로 회전하는 브레이크 디스크 표면에 패드의 하중 방향인 수직으로 작용하는 하중에 의한 브레이크 디스크의 미소변형 상태를 모사하기 위한 초기조건으로 브레이크 디스크 허브장착부와 볼트 체결 부위 등 총 10개 부분을 고정지지 구속하였다.

브레이크 디스크의 회전 속도는 자동차들이 실제 가용한 작동 범위인 30-170 km/h 범위의 상태를 모사하기 위하여 초당 10-60 회전을 설정하였다.

브레이크 패드에 의한 하중 조건은 실제 브레이크 패드의 가동 범위 1-10 kgf 를 모사하기 위하여 디스크의 패드 접촉면 수직인 허브 방향으로 10-100 N 의 하중을 설정하였다.

4. 결과 및 고찰

브레이크 디스크의 양 접촉면 온도가 200 ℃ 까지 상승한 상태에서 접촉면에 일정한 하중이 가해지는 상황에서의 변형 양상은 Fig 1 과 같이 브레이크 디스크의 장착 허브부위를 중심으로 브레이크 디스크 양 접촉면에서 하중이 작용한 방향으로 미소변위가 발생했다.

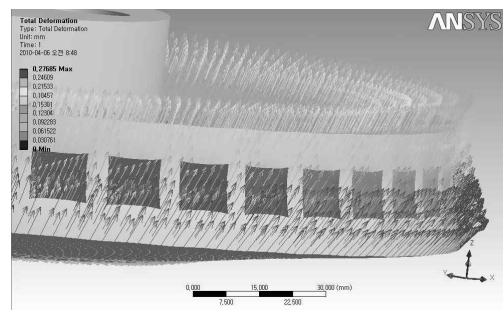


Fig. 1 Infinitesimal Deformation Expressed by Vectors

브레이크 패드의 작동 하중이 브레이크 디스크의 미소변형에 끼치는 영향을 확인하기 위하여 고정된 분당 회전수 하에서 브레이크 패드의 작동 하중 범위인 10-100 N 의 하중을 가하는 상황에 대한 해석을 수차례 수행하였으며 그 결과를 정리한 그래프는 Fig. 2와 같다. 고정된 회전수 하에서 여러 하중 조건들 하에 발생한 브레이크 디스크의 미소변형량은 각 회전영역에서 하중의 크기에 비례하여 미소변형이 발생했으나 그 크기의 차이는 극히 미미한 수준의 미소변형을 보여 디스크 브레이크의 제동 과정에서 작동 하중의 크기가 브레이크 디스크의 미소변형에 미치는 영향이 낮음을 확인하였다.

일정한 브레이크 패드의 작동 하중으로 작동할 경우 브레이크 디스크의 회전속도가 미소변형에 끼치는 영향을 확인하기 위하여 고정된 작동 하중하에서 브레이크 디스크의 회전수를 증가시켜 브레이크가 미소변형하는 상황에 대한 모사를 수차례 실시하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 분당 회전수가 고정되고 작동 하중이 변화하는 상황에서 브레이크 디스크의 미소변형량의 변화가 극히 미미하며 선형성을 보여주었던 것과 대조적으로 작동 하중이 고정되고 분당 회전수가 변화하는 경우 브레이크 디스크의 회전수가 증가할수록 미소변형량이 비선형적으로 증

가하여 분당 회전수가 브레이크 디스크의 미소변형에 영향을 미치는 인자임을 확인하였다.

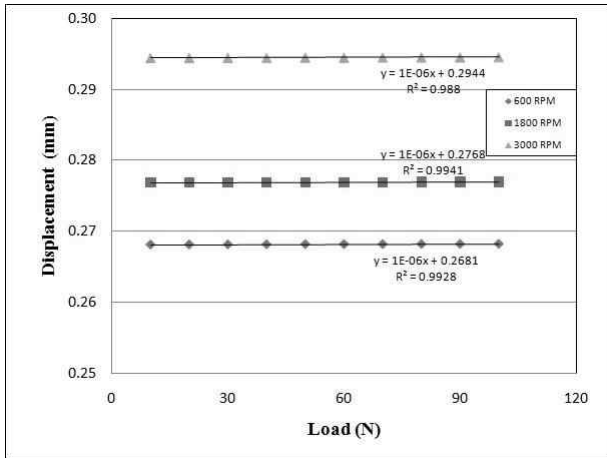


Fig. 2 Infinitesimal Deformation in Operation Load Change Under the Fixed RPM

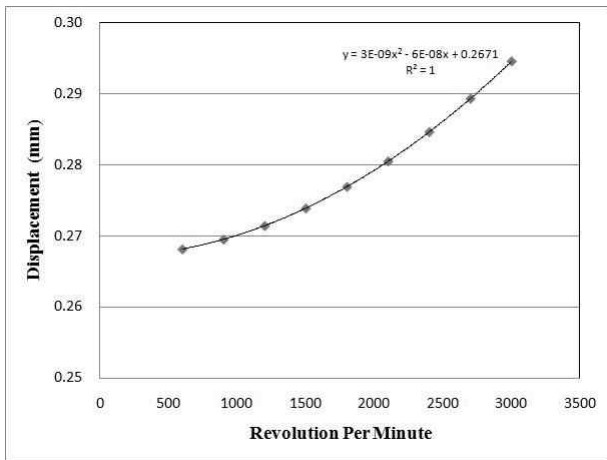


Fig. 3 Infinitesimal Deformation in RPM Change Under the Fixed Operation Load

브레이크 디스크의 모드 형상과 열섬의 관계를 분석하기 위하여 분당회전수 600-3,000 회전 상태에서의 Modal Analysis 를 수행하여 모든 회전 영역에서 1개, 3개, 6개의 모드가 발생하였다. 각 분당 회전수 별로 모드가 발생하는 평균 주파수는 Table 2 와 같으며 그 형상은 Fig. 4와 같다. 브레이크 디스크의 미소변형 시 발생하는 주파수와 모드 형상이 열섬의 발생과 상관관계가 있음을 예측할 수 있다. 제동과정 중 브레이크 디스크에 모드 형상과 동일하게 미소변형이 발생하며 이로 인하여 열섬이 발생할 수 있다.

5. 결론

(1) 브레이크 디스크의 미소변형 양상은 브레이크 패드의 작동 방향에 의존하며 제동과정에서 브레이크 패드와 직접적으로 접촉하여 마찰을 일으키는 내측 접촉면의 바깥쪽 원주에서 브레이크 패드의 작동방향으로의 미소변형 변위가 가장 크게 나타났다. 또한 허브 장착부를 중심으로 온도가 상승한 브레이크 디스크 접촉면의 원주 방향을 향하여 미소변형 변위가 점차 증가하는 양상을 확인하였다.

(2) 브레이크 디스크의 미소변형에 관여하는 인자는 브레이크 패드의 작동 하중과 브레이크 디스크의 회전속도가 있다. 고정된 브레이크 디스크 회전수하에서 브레이크 패드의 작동 하중만을 변화시켰을 경우 브레이크 디스크의 미소변형량은 극히 미미한 반면 고정적인 브레이크 패드의 작동 하중 하에서의 브레이크

디스크의 회전속도가 상승한 경우 미소변형량이 비선형성을 보이며 증가하여 브레이크 패드의 작동 하중보다 브레이크 디스크의 회전속도가 미소변형에 더 많은 영향을 미침을 확인하였다.

(3) 브레이크 디스크의 모드 해석을 수행하여 제동 과정 중 특정주파수에서 모드가 발생하고 모드의 형상에 따라 미소변형된 브레이크 디스크에 열섬 현상이 발생할을 예측하였다.

Table 2 Mode Occurrence with Frequency according to Various RPM

Mode	Frequency (Hz)					Average (Hz)
	600 RPM	1,200 RPM	1,800 RPM	2,400 RPM	3,000 RPM	
1	1348.0	1348.2	1348.5	1348.9	1349.5	1348.6
3	1535.7	1536.0	1536.5	1537.2	1538.1	1536.7
6	2755.8	2756.1	2756.6	2757.2	2758.1	2756.8

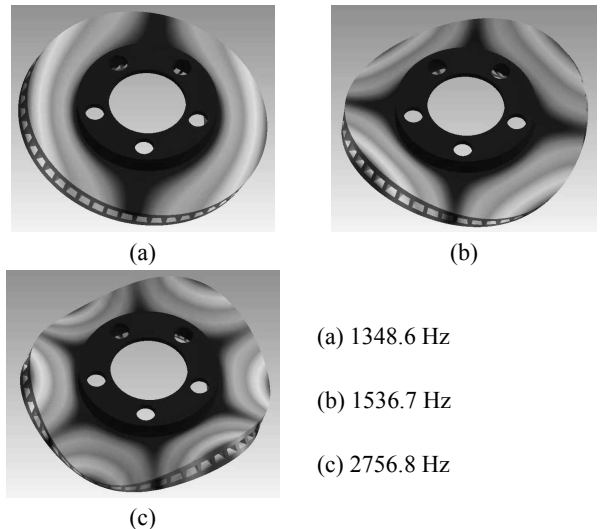


Fig. 4 Infinitesimal Deformed Brake Disk Shape when Mode Occurrence and its Frequency

참고문헌

1. 정근중 외, 디스크 열처리에 따른 마찰재의 마찰 특성 연구, 한국타이어, KSAE09-A0225, pp.1321-1326, 2009.
2. 이 원 외, 재료과학의 이해, 영한출판사, pp 172-173, 2002.
3. 조승현, 김청균, 유한요소법을 이용한 디스크 브레이크 마찰면의 적열점에 관한 연구, 한국자동차 공학회 2001년도 추계 학술대회논문집, pp.461-466, 2001.