

FEM을 이용한 자동차용 원주가압형 디스크의 열해석

Thermal Analysis of the Circumferential Pressing Type Automotive Brake Disc Using the FEM

*#김형훈¹, 이성욱², 한동섭³, 한근조⁴

*#H. H. Kim(ps_storm@naver.com)¹, S. W. Lee², D. S. Han³, G. J. Han⁴

¹동아대학교 대학원 기계공학과, ²동아대학교 대학원 기계공학과, ³동아대학교 BK21 총괄사업단, ⁴동아대학교 기계공학과

Key words : Circumferential Pressing Type Disc, Brake's performance, Cooling hole,

1. 서론

자동차에 있어 브레이크 시스템은 속력을 줄이거나 차를 정지시키는 매우 중요한 기능을 담당하고 있으며, 자동차의 성능이 날로 발전하고 있는 현시점에서 브레이크의 중요성은 더욱 부각되고 있다. 그러나 현재의 브레이크 시스템은 많은 문제점을 가지고 있으며, 특히 제동 시 발생하는 높은 마찰열은 페이드(fade) 현상이나 베이퍼 록(vaper lock) 현상을 일으켜 제동력을 감소시키거나 지동장치의 이상을 일으키며 사고를 유발시키기도 한다. 또한 디스크의 영구변형, 열응력 및 크랙(crack) 발생, 열간 저더(judder) 등의 문제점 역시 디스크의 높은 온도에 의해 발생하므로 브레이크 시스템에서 방열은 제동성능과 더불어 매우 중요한 설계 요소라 할 수 있다.

하지만, 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 줄이기 위하여 디스크의 원주방향에서 패드를 가압하는 새로운 형태의 원주가압형 디스크 브레이크를 제안하여 방열성능의 향상을 꾀하였으며, 유한요소법(FEM)을 이용하여 반복되는 제동에 대한 디스크의 온도분포를 분석하였으며, 기존의 축면가압식 브레이크 디스크에 대해서도 동일한 해석을 수행하여 원주가압형 디스크와 비교 분석하였다.

2. 열해석 조건

FMVSS 105-75 브레이크 다이내모 시험 규격의 제2 페이드 시험의 조건에 따라 열해석을 실시하였다. Fig. 1에서와 같이 자동차는 97 Km/h의 속도에서 4.57초 동안 0 Km/h까지 감속한다. 이후 다시 25초 동안 가속을 하여 97 Km/h에 이르면 5.43초 동안 등속으로 주행함으로써 1cycle이 끝나게 되고 이러한 35초 동안의 1cycle을 15번 반복하여 열해석을 실행한다.

제동 시 디스크와 패드의 마찰은 모두 열에너지로 변환된다고 가정하고 이때 발생한 열에너지, 열속(Heat Flux)을 마찰부위에 적용시켰으며 열속의 계산은 차량의 운동에너지를 가지고 계산하였다. 이때, 차량의 중량은 성인 4명이 승차한 것으로 하고 전륜의 제동분담률을 80%로 가정하였다.

초기속도 v_1 으로 주행하던 자동차가 v_2 로 감속될 때 잃는 전 에너지는 다음과 같다.

$$\Delta TE = \frac{1}{2} \left(m + \frac{I}{r^2} \right) (2v_1 - at) at \quad (1)$$

이때 발생하는 에너지는 모두 열에너지로 전환되어 디스크와 Pad에 각각 분배된다. 본 연구에서는 디스크로 가는 에너지만 필요하기 때문에 Thermal Network Method를 이용하여 식(2)과 같이 단위 시간당 단위 면적당의 디스크로 가는 열량을 계산하여 적용하였다.

$$q = \frac{a\gamma \left(m + \frac{1}{r^2} \right) 2v_1 - a(t_2 + t_1)}{10\pi(R_0^2 - R_i^2)} \quad (2)$$

4.57초 동안의 감속구간은 식 (2)을 이용하여 열속을 적용하고 열속이 적용되지 않는 나머지 부분은 대류조건이 적용되었다. 나머지 가속, 등속구간은 대류만 일어나므로 벤틸레이티드 디스크의 대류특성을 원주가압형 디스크에 적합하도록 변경하여 적용하였다.

3. 열해석 결과

FMVSS 105-75의 조건으로 열해석 실시 후의 결과를 Fig. 2과 3에 나타내었다. Fig. 2은 1 cycle 감속완료 후의 온도분포이며, Fig. 3은 1 cycle동안 주요 부위의 온도변화 이다.

Fig. 2를 살펴보면 해석결과 디스크는 4.57초 동안의 감속구간에서 온도의 급상승을 보였으며 패드와 마찰부위에서 가장 높은 온도가 발생하였다. 하지만 마찰부위의 온도는 열의전도에 의한 영향으로 일정하지 않았으며, 스포크와 연결된 부위는 다른 마찰부위에 비해 상대적으로 낮은 온도 분포를 보이고 있다. 그리고 집적 열을 받지 않는 스포크는 비교적 낮은 온도분포를 보이고 있다. 그리고 마찰면과 가장 멀리 떨어져있는 보스부위는 초기 온도인 17°C와 별 차이가 없었다.

Fig. 3에서 마찰부위인 림의 온도는 마찰열이 발생하는 감속구간에서 급상승하고 이후 가속, 등속구간에서는 전도와 대류의 영향으로 서서히 감소하는 경향을 보인다. 하지만 집적 열 발생이 없는 스포크의 경우 림으로부터 전도에 의하여 시간이 지날수록

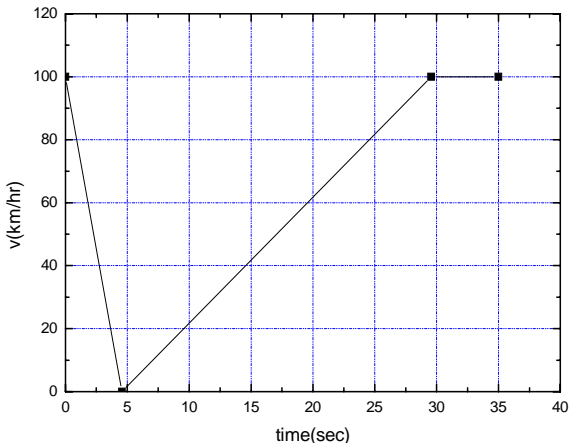


Fig. 1 1cycle of FMVSS 105-75

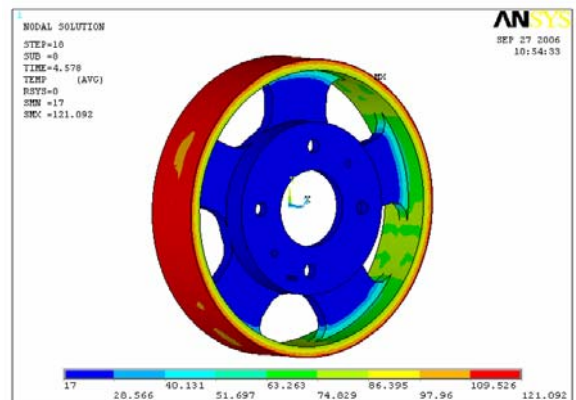


Fig. 2 Temperature distribution of disc (t=4.57s)

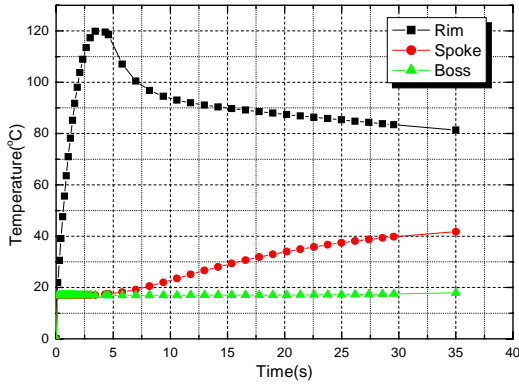


Fig. 3 Temperature variation of the main parts

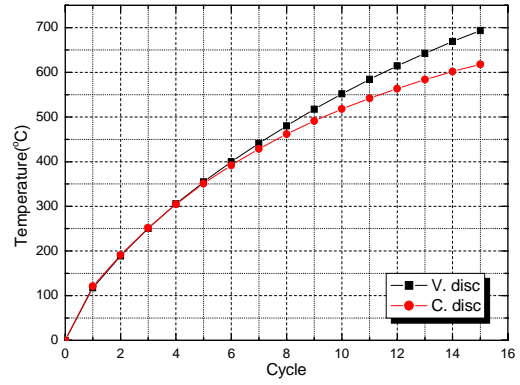


Fig. 5 Max temperature variation of the two models

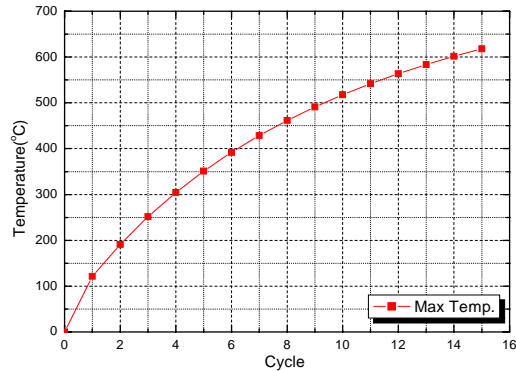


Fig. 4 Max temperature variation for 15cycle

서서히 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 15 cycle동안 각 cycle에서의 최고온도의 변화를 나타낸 것이다. 그래프의 기울기는 cycle 이 진행될수록 점점 작아지는 경향을 보인다. 이 곡선을 함수식을 이용하여 나타내면 아래와 같다.

$$f(x) = 701.01514 - 592.46057 \times \exp\left(\frac{-x}{288.6464}\right) \quad (3)$$

여기서 x 는 시간을 의미한다. 위 식을 이용하여 cycle을 계속 반복 계산한 결과 Fig. 4의 곡선은 약 1500초, 43cycle후에는 온도변화가 거의 없으며 이때 온도는 약 700 °C로 수렴하게 된다. 이는 해석방법상 입력한 열의 크기 이상으로는 온도가 상승하지 않음을 나타낸다. 그리고 재료가 주철인 디스크의 경우 최대작동온도가 약 600~700 °C이고 일반적으로 페이드현상이 일어나지 않기 위한 최고온도가 약 600 °C임을 감안하면 FMVSS 105-75와 같은 조건으로 15cycle이상 제동 시 브레이크 시스템은 제 역할을 할 수 없음을 알 수 있다.

4. 기존 디스크와 온도비교

본 연구에서 제안한 원주가압형 디스크의 방열성능을 확인하기 위하여 기존의 측면가압식 디스크에 대해서 열해석 및 연성해석을 수행하였다.

Fig. 5는 측면가압식 디스크와 원주가압형 디스크의 15 cycle동안 최고온도변화의 모습이다. 처음 4 cycle동안은 두 모델의 최고온도는 거의 비슷하게 상승하지만 이후 cycle이 진행될수록 원주가압형모델의 온도가 더 낮은 기울기로 상승하고 있다. 이는 원주가압형 디스크의 스포크에 의한 방열성능이 측면가압식 디스크의 방열성능 보다 더 나음을 뜻한다. 그리고 15cycle이 완료되었을 때 두 모델의 온도차가 약 80oC 정도였다. 이는 원주가압형 디스크가 페이드현상이 발생할 때 까지 측면가압식 디스크에 비하여 제동에 더 여유가 있음을 나타낸다.

결론

본 연구는 자동차용 제동장치의 방열성능 극대화 및 경량화를 목적으로 새로운 브레이크 시스템을 설계하였고, 기존의 디스크 브레이크에 대한 해석조건과 동일한 조건으로 열해석을 수행한 결과 방열성능은 더 나은 것으로 나타났다.

본 연구는 완전히 새로운 형태의 브레이크시스템 개발을 시도하였다는데 의미를 둘 수 있으며, 차후에 실험을 통한 정확한 데이터 확립, 새로운 시스템에 적용 가능한 캘리퍼의 설계 및 제동성능시험 등이 더해질 경우 원주가압형 브레이크시스템은 차량뿐 아니라 산업전반에 걸쳐 충분히 사용가능할 것으로 생각된다.

후기

본 논문은 산업자원부 지정 지역혁신센터사업(RIC)신소형제 가공정공정개발연구센터 지원으로 수행된 연구임.

참고문헌

1. Ilmin Hong, Wonsub Lee, Jongsu Lee, "An Experimental Study on Brake Judder of Braking on Vehicle", *N E*, Vol.12, No.5, pp.338~345, 2002
2. C. K. Kim, K I Lee, "tribological Analysis on the Contact Behaviors of Disk Brake Due to Friction Heating", *KSME A*, Vol.23, No.10, pp.1845~1852, 1999
3. J. Y. Kim, ANSYS Heat Transfer Analysis, TSNE, 2003
4. Taesung Software Engineering Inc., Selected Problems for ANSYS User, 2002