

브레이크 유래 미세 먼지 측정을 위한 핀 온 디스크 측정장치 개발

최지윤¹⁾·허동회²⁾·원성혁³⁾·장승봉⁴⁾·탁태오^{*1)}

강원대학교 기계의용공학과¹⁻³⁾

Development of Pin-on-disc device for measuring brake-derived fine dust

Jiyeon Choi¹⁾ · Donghoe Heo²⁾ · Seonghyuk Won³⁾ · Shengpeng Zhang⁴⁾ · Taeh Tak^{*1)}

Kangwon National University¹⁻⁴⁾

Key words : fine dust(미세먼지), pin-on-disc(핀 온 디스크), brake wear(브레이크 마모), disc brake (디스크 브레이크)

*jiyeon0246@kangwon.ac.kr

자동차 브레이크 마모로 인해 발생하는 비배기관 유래 미세먼지를 위한 측정 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 브레이크의 미세먼지 측정은 유럽 경제 위원회(UN/ECE) 소속 자동차 배출가스 및 에너지 분과인 GRPE(Working Party on Pollution and Energy)의 PMP(Particle Measurement Program) 그룹에서 개발하고 있는데, PMP 그룹에서 발표한 프로토콜에 따르면 미세먼지 측정 방법과 장치로서 WLTP(World harmonized Light-duty vehicles Test Procedure) 사이클에 브레이크 다이내모미터 장치 사용을 제안하고 있다. 그러나 브레이크 다이내모미터를 이용한 측정방법은 장치가 복잡하고 고가이므로, 브레이크 미세먼지의 간이 측정 수단으로서 이보다 단순한 구조를 가지는 핀 온 디스크(pin-on-disc)장치를 이용한 측정방법에 대한 요구도 제기되고 있다. 본 연구에서는 핀 온 디스크 장치를 통해 브레이크 다이내모미터를 대체할 수 있는 시험 방법과 장치를 개발하고자 한다.

핀 온 디스크 장치에 주행 사이클을 적용하기 위해 일반적으로 속도-시간 그래프로 구성된 주행 사이클을 디스크의 회전 속도와 핀에 가하는 하중으로 구성된 사이클로 변환이 필요하다. 이를 위해 Fig.1과 같은 차량 모델을 통해 바퀴에 작용하는 제동 토크로부터 디스크에 가해지는 힘을 구해야 한다. 차량 모델의 가속도는 주행 사이클의 속도를 미분하여 계산한다. 앞 바퀴의 제동 토크와 뒷 바퀴의 제동 토크의 비율은 일반적인 값인 0.7:0.3을 사용하여, 제동 토크의 크기가 더 큰 앞 바퀴를 기준으로 계산한다.

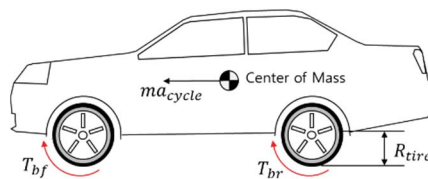


Figure 1: Vehicle model for calculating braking force

이후, 앞 바퀴의 좌우 양 바퀴에 동일한 크기의 토크가 발생한다는 가정하에, 앞에서 유도한 제동 토크를 통해 Fig.2와 같이 디스크 브레이크의 한 면에 작용하는 토크를 계산한다. 이 토크로부터 브레이크 패드에 작용하는 수직력을 구하고 패드의 면적으로 나누어 패드에 작용하는 압력을 구할 수 있다.

브레이크 패드에 작용하는 압력과 동일한 크기의 압력을 핀 온 디스크 장치의 핀에 적용하기 위해 Fig.3과 같은 핀 온 디스크 모델을 사용하였다. 핀에 가하는 힘은 핀에 가하는 압력과 접촉 면적의 곱으로 계산할 수 있고, 디스크의 회전 속도는 주행 사이클의 속도를 타이어의 반지름으로 나누어서 계산할 수 있다.

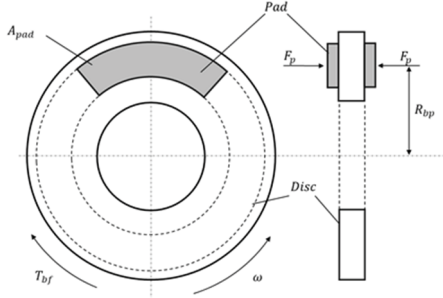


Figure 2: Schematic of disc and brake pad

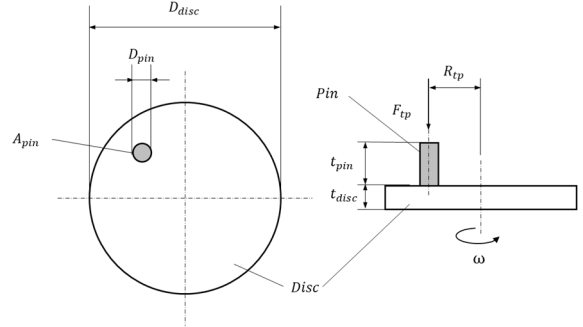
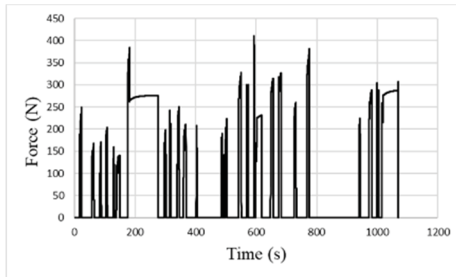


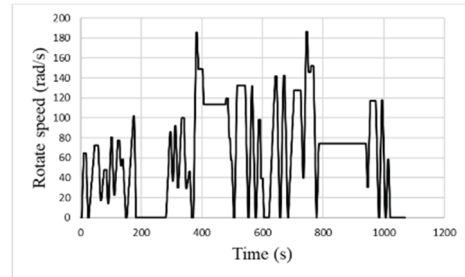
Figure 3: Schematic of pin-on-disc model

다이내미터를 사용한 방식은 실제 디스크와 패드와 모양이 다르기 때문에 그 결과를 보정하여야 한다. 보정을 위해 마모량은 접촉 면적과 선형적으로 비례한다는 가정을 사용하여 Fig.2와 Fig.3의 모델을 통해 접촉 면적을 유도하였다.

Fig.4에 본 연구에서 제안하는 미세먼지 측정 장치에 사용되는 핀 온 디스크 장치의 디스크 회전 속도와 핀에 가하는 힘을 WLTP 사이클의 Trip1을 사용하여 나타냈다.



(a) Applied force on pin



(b) Rotation speed of disc

Figure 4: Example of pin-on-disc cycle

이 연구에서는 보정 방법을 단순화하기 위하여 마모 시험에서 중요한 매개 변수 중 하나인 온도를 고려하지 않았다. 이로 인한 오차가 발생 할 수 밖에 없다는 한계가 존재한다.