

동적 부하를 고려한 계측 축중의 신뢰 범위

Confidence Levels of Measured Axle Load with a Consideration of Dynamic Loading

조일수, 김성욱, 이주형, 박종연, 이동훈, 조동일*

서울대학교 전기컴퓨터공학부

(Tel : +82-2-880-8371; Fax : +82-2-877-9304 ; E-mail: dicho@asri.snu.ac.kr)

Abstract : It is difficult to determine the static axle weight of a vehicle with weigh-in-motion systems which in essence measure instantaneous axle impact forces. The difficulty in determining a static axle weight results from dynamic effects induced by vehicle/road interactions. One method to improve the problem is to quantify a statistical confidence level for measured axle weight. The quarter-car model is used to simulate vehicle motion. Also, the road input to vehicle model can be characterized in statistical terms by PSD (power spectral density) of appropriate amplitude and frequency contents other than an exact spatial distribution. The confidence levels for the measured axle weight can be obtained by the random process analysis using both vehicle model and road input.

Keywords : weigh-in-motion, dynamic effect, confidence level, quarter car model

1. 서론

Weigh-In-Motion (WIM) 시스템은 도로 위에 매설된 센서를 이용하여 주행하는 차량의 축중을 계측하는 장비이다 [1, 6]. 그러나, WIM 장비로 측정된 축중 정보를 이용하여 차량의 실제 무게를 정확하게 판단하기는 매우 어렵다. 이는 WIM 장비의 정확성이 센서가 설치된 도로 표면 상태와 차량이 주행할 때 도로와 차량과의 상호 작용으로 발생하는 동적 부하에 의존하기 때문이다. 차량의 동적 부하는 차량 속도, 도로 표면의 불규칙성에 비례하여 발생하며 [3, 4, 7], 또한 차량 무게, 타이어, 현가 장치 (suspension) 등 차량을 구성하고 있는 매개변수 값에 의해서도 영향을 받는다. 위와 같이 WIM 장비를 이용하여 측정된 축중 정보는 정확하지 않기 때문에, 동적 부하를 고려한 계측 축중의 신뢰 범위를 확률적(probabilistic)으로 결정함으로써 측정된 축중 정보의 부정확한 문제점을 개선할 수 있다. 또한 차량 무게에 의한 도로 손상을 나타내는 Miner 법칙을 이용하여 측정된 축중이 발생할 수 있는 평균 오차율을 구할 수 있다 [1].

계측 축중의 신뢰 범위 및 평균 오차율 산출을 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 실제 도로의 Power Spectrum Density (PSD) 특성을 이용하여 도로를 모델링 하고, 제 3장에서는 도로 상태 및 차량 속도에 따른 동적 타이어 힘의 영향을 고려하여 신뢰 범위 산출의 필요성을 제기한다. 또한 제 4장에서는 1/4 차량 모델을 이용하여 신뢰 범위, 평균 오차율 산출에 필요한 랜덤 과정 및 Miner 법칙을 설명하고, 제 5장에서는 모의 실험을 통하여 신뢰 범위 산출 및 계측 축중의 평균 오차율을 구한다.

2. 도로 모델

도로 위를 주행하는 차량의 동역학은 도로 상태에 의해서 영향을 크게 받기 때문에 도로에 대한 정보가 필요하다. 도로 표면의 불규칙성은 랜덤하기 때문에, 도로 표면의 정확한 공간 분포보다 적절한 주파수와 크기로 표현되는 Power Spectral Density (PSD) 특성을 이용하여 확률적으로 나타낼 수 있다 [4, 7]. 따라서 일반적인 도로 PSD의 기울기가 2 (즉, -20 dB/decade)라는 사실을 이용하여 도로 표면의 불규칙성은 다음과 같이 22개의 주파수와 크기를 갖는 정현파 함수의 합으로 나타낼 수 있다 [4].

$$z_3 = A \sum_{N=1}^{20} 10^{-3+1N} \sin(2\pi \nu \times 10^{-1N} t + \Phi_N) \quad (1)$$

여기서 ν 는 차량속도, Φ_N 은 랜덤 위상, A 는 스케일 상수를 나타낸

다. A 는 실제 도로의 거친(roughness) 정도를 나타내는 상수로 다양한 값을 가진다. 도로의 거친 정도를 표현하는 일반적인 방법으로는 Present Serviceability Rating (PSR)이 있다 [7]. PSR은 0과 5사이의 숫자로 도로의 거친 정도를 표시하는데 0은 도로 상태가 매우 좋지 않음을 나타내고, 숫자가 클수록 상태가 나아짐을 의미한다. A 를 구하기 위해서 다음과 같은 관계식을 이용한다 [2].

$$PSR = 5 / \exp(C \times IRI) \quad (2)$$

여기서 C 의 값은 도로의 구조물에 의해서 달라지는 도로 상수이고, International Roughness Index (IRI)는 도로 상태를 나타내는 국제 지수로서, 단위는 [m/km], [in/mile]이고, 통계(statistics) 값을 의미한다. 그림 1은 PSR의 값이 4인 도로 모델의 모의 실험 결과이다.

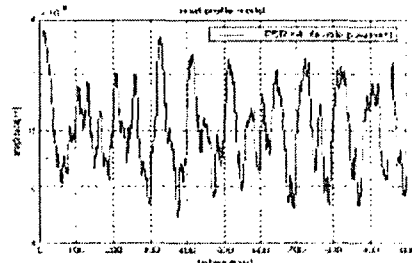


그림 1. 모의 실험을 통한 도로 모델
Fig. 1. Simulated road profile model

3. 동적 부하에 의한 타이어 힘의 영향

차량이 정지해 있을 때 도로에 작용하는 정적(static) 타이어 힘은 차량이 주행하고 있을 때 도로에 인가되는 타이어 힘과 다르게 나타난다. 이는 주행하는 차량과 도로 사이에 발생하는 동적 부하에 따른 것이다. 그림 2(a), (b), (c)에서 정적 타이어 힘이 10,780 N 일 때, 속도와 도로 상태에 따른 타이어 힘의 파형을 보여준다. 각 그림 파형의 (*) 표시는 정적 타이어 힘을 나타낸다. 각 그림 파형에서 속도, 도로 표면의 불규칙성이 높을수록 발생하는 타이어 힘은 매우 가변적이고 크게 나타난다. 이와 같이 속도와 도로 상태에 따라서 도로에 인가되는 타이어 힘이 달라지므로, WIM 장비를 이용하여 측정된 축중은 실제 축 무게와 다르게 나타난다.