

타이어 모델을 이용한 계측 축중의 보상 방법

A Method for Modifying Dynamically Measured Axle Load Using Tire model

조일수, 김성욱, 이주형, 박종연, 이동훈, 조동일*

서울대학교 전기·컴퓨터 공학부

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

Abstract : It is more difficult to accurately weigh vehicles in motion than to weigh standing vehicles. The difficulties in weighing vehicles result from sensor limitations as well as dynamic effects induced by vehicle/pavement interactions. This paper presents a method for improving the accuracy of measured axle load information using the so-called adaptive footprint tire model. The total vehicle weight as well as individual axle weight information are obtained experimentally using two piezoelectric sensors. Results are obtained for a light car, mid-site passenger car, and 2 dump trucks with known weight. Experimental results show that the proposed method using the tire model is accurate.

Keywords : dynamic effect, adaptive footprint tire model, axle load, piezoelectric sensor

1. 서론

차량 무게 검지 기술 개발은 1952년 미 연방 도로국(Federal Highway Administration)의 전신인 BPR(U.S Bureau of Public Roads)에서 가장 먼저 수행된 이후로, 미국과 유럽 등 선진국의 학계와 산업체에서 활발히 연구되고 있다 [2, 4, 8]. 차량 무게 검지 시스템은 주로 파적 차량 운행의 단속에 사용되어, 국가 기반 시설인 도로 및 교량 등이 파괴되는 것을 방지함으로써 막대한 경제적 손실을 막을 수 있다. 차량의 무게 측정을 위해서 다양한 형태의 센서가 사용되고 있는데, 현재 많이 이용되고 있는 센서로는 Load Cell, 피에조 센서 등이 있다 [7]. Load Cell은 비교적 정확한 차량의 무게 측정이 가능하나, 매우 고가이고 고속 주행 차량의 중량 계측이 쉽지 않아서 주로 파적 단속 점문에 이용된다. 이에 비해 비교적 저가이고 고속 주행 차량의 중량 계측이 가능한 피에조 센서는 일반적으로 루프센서와의 조합으로 널리 사용되어 주행하는 차량의 무게 정보뿐만 아니라 계수, 속도, 차량 길이 등의 보다 정확한 개별 차량 정보를 획득 가능하게 한다 [1, 4]. 그러나, 주행하는 차량의 무게를 정확히 측정한다는 것은 매우 어렵다. 이는 같은 차량이라도 타이어가 지면에 닿는 면적에 따라 피에조 센서에 인가되는 힘이 달라짐으로써, 피에조 센서의 신호가 다르게 발생되기 때문이다. 이 면적은 바퀴의 공압, 적재 중량, 그리고 현가장치의 운동에 따라 변한다. 본 논문에서는 지면에 닿는 면적을 고려한 타이어 모델을 이용하여 차량의 축중 계측 방법을 제안한다.

2. 피에조 센서의 원리 및 특성

현재 국내 외적으로 널리 사용되는 피에조 센서로는 PZT(Lead Zirconate Titanate)와

PVDF(Polyvinylidene fluoride), copolymer 등이 있다 [7]. 본 논문에서 사용된 피에조 센서는 가격 및 감도의 특성이 우수한 PZT 센서이다. 일반적인 피에조 센서의 특성은 수동소자로서 압력을 받으면 전압이 발생되고, 전압이 걸리면 전압의 크기에 따라 왜곡되는 성질을 가지고 있다 [1, 7].

피에조 센서에 압력이 인가 될 때 전압이 발생하는 원리는 다음과 같다. 그림 1은 피에조 센서에 인가되는 힘의 축 방향을 분류한 것이다. 그림 1에서 센서의 축 방향에 따라 인가되는 압력을 X_n , 그 축 방향에 따른 피에조 상수를 g_{kn} , 센서 두께를 t , 센서 너비를 w , 센서 길이를 l 이라고 한다면 피에조 센서에서 발생하는 전압 V_p 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다 [7].

$$V_p = \sum g_{kn} X_n t + \sum g_{kn} X_n w + \sum g_{kn} X_n l, \quad (k, n=1,2,3) \quad (1)$$

여기서 피에조 상수 g_{kn} 의 첫 번째 아래 첨자 k 는 전압이 발생하는 방향을, 두 번째 아래 첨자 n 은 센서에 인가되는 힘의 방향을 의미한다. 피에조 센서가 받는 압력은 피에조 센서가 받는 힘의 총합과 피에조 센서의 전체 면적과의 비로 나타낼 수 있으므로, 전압은 피에조 센서가 받는 힘에 비례하여 발생한다. 첫 번째 아래 첨자는 피에조 센서 필름의 두께가 길이나 너비에 비해 매우 얇아서 전압은 항상 3의 방향으로 주요하게 발생한다고 볼 수 있으므로, 항상 3을 가리킨다. 두 번째 아래 첨자는 그림1에서 보듯이 1, 2, 3 어느 방향이나 될 수 있으나, 실제로 도로에 매설된 피에조 센서 위를 차량이 통과 할 때 센서가 받는 압력은 3의 방향으로 인가되므로, 3을 가리킨다. 따라서 피에조 센서의 출력 전압과 피에조 센서에 인가된 힘과의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_p = g_{33} X_3 t \quad (2)$$