

실도로 주행에서 고도 데이터 정확도 향상을 위한 고도 표준화 방법

송진근*

경북대학교 자동차공학부

Altitude Standardization Method to Improve Altitude Data Accuracy in On-road Driving

Jingeun Song*

School of Automotive Engineering, Kyungpook National University, Gyeongbuk 37224, Korea
(Received 9 February 2022 / Revised 4 March 2022 / Accepted 14 March 2022)

Abstract : In a vehicle driving test, altitude data is used to determine elevation gain and calculate driving resistance. However, altitude data acquired from GPS has the disadvantage of low accuracy and missing data. This study proposed altitude standardization in order to increase the accuracy and interpolate the missing data. The altitude was recorded during 20 driving tests on the same route. All the data were accumulated based on latitude and longitude, and the missing data was interpolated by using the smoothing spline method. Positive cumulative elevation gain with high reliability was obtained by using only the altitude data from three driving tests. The accuracy of the standardized altitude was confirmed through driving resistance analysis. Meanwhile, driving resistance was used to calculate engine efficiency. The results showed that the engine efficiency calculated using the individual altitude was unrealistic, whereas the engine efficiency calculated using the standard altitude was constant at 35 %. This indicates that the standard altitude was correctly interpolated.

Key words : Road gradient(도로 구배), Real driving emission(실도로 배기측정), Positive cumulative elevation gain(양의 누적 고도 상승), Standardization of altitude(고도 표준화), Driving resistance(주행저항)

1. 서론

자동차에 대한 배출가스 규제가 지속적으로 강화됨에 따라 배기가스 허용 기준뿐만 아니라 시험 방식 또한 강화되고 있다. 과거에는 상대적으로 단순하고 부하가 낮은 주행모드인 NEDC(New European Driving Cycle)를 사용하여 배기가스를 측정했다면, 최근에는 이보다 좀더 현실적이고 부하가 높은 주행모드인 WLTP(Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure)를 사용하여 배기가스를 측정하고 있으며, 이에 더하여 실제 주행환경에서 배기가스를 측정하기 위하여 RDE(Real Driving Emission)까지도 도입되고 있다.

RDE란 실제 도로에서 자동차를 주행하며 이동식 배기측정 장치(PEMS; Portable Emissions Measurement System)로 배기가스를 측정하는 방식이다.¹⁾ 안정된 온도

의 실내에서 차대동력계를 사용하여 정해진 주행모드를 운전하는 기존의 방식과 달리, RDE는 실제 도로에서 정해진 주행모드 없이 교통상황에 맞춰 정해진 경로를 주행하기 때문에 다양한 변수를 가지고 있다. 하지만 이러한 임의성 때문에 배기가스 인증시험이 유효하다고 평가받기 위해서는 RDE 규정^{2,3)}에서 제시하는 시험절차와 주행요건 등을 충족해야 한다. 특히, 과도한 가속속도로 일반적인 주행보다 지나치게 많은 배기가스가 배출되거나, 또는 극단적으로 온화한 운전조건으로 배기배출을 과소평가하게 되는 경우를 방지하기 위하여 자동차의 주행 동특성을 평가할 수 있는 Vehicle speed per positive acceleration과 양의 상대 가속도(RPA; Relative Positive Acceleration), 그리고 주행경로의 부하특성을 평가할 수 있는 양의 누적 고도 상승(Positive cumulative elevation gain) 등을 정의하여 시험결과의 유효성을 판단하고 있다.

*Corresponding author, E-mail: sjg@knu.ac.kr

¹⁾This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

이러한 주행 동특성 값들을 계산하기 위해서는 차량의 속도와 주행경로의 고도가 필요하다. 일반적으로 차량의 속도는 차량 내부에 있는 휠속도 센서로부터 얻거나 GPS(Global Positioning System)를 이용하여 취득할 수 있다. 고도의 경우에는 대부분 GPS를 통해 취득하며, 주행경로의 위도와 경도 정보가 있는 경우에는 지형도로부터 해당 위치의 고도를 추출하여 사용할 수도 있다. 하지만, GPS는 빌딩이나 터널 등 지형지물에 의하여 전파수신이 어려워지는 경우 오차가 매우 커지거나 측정이 불가능해진다는 단점이 있다.⁴⁾ 특히 산악지대가 많은 대한민국 지형에는 터널이 많이 있어 GPS 신호가 누락되는 구간이 빈번하게 발생한다. 또한, 지형도로부터 얻을 수 있는 고도 데이터에는 터널 내부의 고도가 아닌 터널 위쪽 지형의 고도가 기록되어 있어 활용이 제한된다. 따라서 GPS 데이터를 이용할 때는 필연적으로 데이터 보정이 필요하다. Rakha 등⁵⁾의 연구에서는 GPS로 취득한 차속과 가속도에 대하여 다양한 필터링 기법을 적용하여 오차를 보정할 수 있는 최적의 기법들을 제시하고 있다. 고도의 경우에도 Kalman filter 사용하여 노이즈를 제거하고 오차를 보정하는 연구가 보고되고 있다.⁶⁾ 특히 수직방향의 고도 오차는 수평방향의 위도와 경도 오차에 비하여 약 1.5배 이상 크기 때문에⁷⁾ 제대로 측정된 결과 간에도 편차가 크게 발생하며, 심지어 RDE 규정에서도 GPS로 취득한 고도 데이터에 오차가 클 것을 예상하여 데이터를 필터링하고 보정하는 방법에 대하여 자세히 설명하고 있다. 하지만 이러한 필터링 과정을 거쳐도 오류가 발생한 부분의 데이터를 정확하게 복원하기는 쉽지 않다. 특히, GPS 외에도 다양한 방법으로 측정할 수 있는 차속과 달리, 고도의 경우에는 GPS 이외에 대안이 거의 없기 때문에 각 RDE 시험마다 상당히 큰 오차와 편

차를 감수할 수밖에 없다.

RDE 뿐만 아니라 시뮬레이션을 통해 차량의 주행 특성을 분석하는 연구에서도 정확한 고도 데이터가 필요하다.^{8,9)} 차량의 주행 특성을 시뮬레이션하기 위해서는 입력값으로 차량의 재원에 더하여 주행에 영향을 줄 수 있는 저항요소들이 사용된다. 대표적인 주행저항으로는 공기저항, 구름저항, 가속저항, 구배저항 등이 있으며, 이 중 구배저항은 고도 데이터로부터 도로의 경사도를 구하여 계산할 수 있다.^{10,11)} 도로 구배는 고도의 변화율을 통해 계산되므로 RDE에서보다 더욱 정확한 고도 데이터가 요구된다.

앞서 설명한 바와 같이 GPS 데이터 자체에 상당한 오차가 내재되어 있으므로, 필터링 기법만으로는 노이즈를 제거할 수 있을 뿐 정확한 고도는 찾을 수 없다. 따라서 본 연구에서는 고도 데이터의 오차를 보정하고 누락된 고도 데이터를 보간하기 위하여, 동일 경로를 반복 주행하여 데이터를 누적함으로써 표준화된 고도 데이터를 만드는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 앞선 여러 연구에서 사용해온 다양한 필터링 기법에 비하여 단순하면서 정확도까지 높일 수 있는 방법이라고 판단된다. GPS 데이터는 보통 단위시간 간격으로 취득되지만 고도는 위치별로 할당되는 값이므로 이를 누적하기 위해서는 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 위도와 경도를 기준으로 공간을 구획함으로써 고도를 누적하였으며, 이러한 데이터 처리과정을 상세히 설명하였다.

2. 데이터 취득 및 처리

2.1 데이터 취득

Fig. 1은 본 연구에서 주행한 경로를 지도에 표시한 것이다. 도심과 교외, 고속도로를 모두 포함해야 하는 RDE



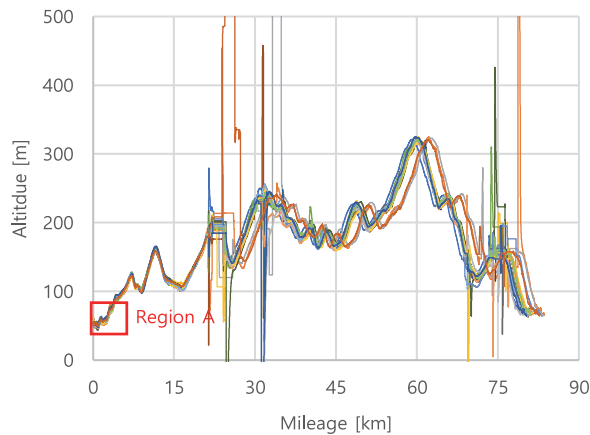
Fig. 1 Driving test route and lengths of tunnels on the route

주행경로와 달리, 본 연구의 주행시험은 최대한 긴 거리의 GPS 신호를 취득하는 것이 목적이므로 전체 경로를 모두 고속도로로 구성하였으며 총 주행거리는 82 km이다. 주행 경로는 산을 넘어가는 형태이므로 고도가 높아졌다 낮아지는 형상을 띄며, 주행과정에서 총 13개의 터널을 지난다. 터널은 200 m 수준의 짧은 것도 있지만 1 km 이상의 긴 터널도 있어 GPS 신호 누락이 자주 길게 발생할 것이라 예상할 수 있다. 이 경로를 총 20회 반복 주행하며 GPS 데이터 및 자동차 속도를 취득하였다.

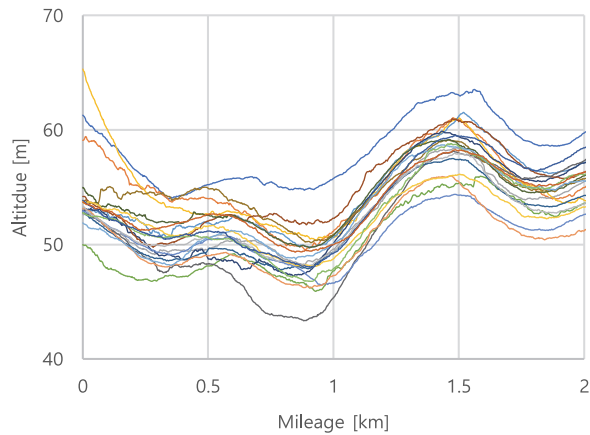
Fig. 2는 주행시험동안 측정된 20회의 모든 고도 데이터를 아무런 보정 없이 시간에 대하여 나타낸 그래프이다. 각 주행시험마다 차속이 조금씩 다르기 때문에 그래프가 완벽히 겹쳐지지 않는지만, 모두 동일하게 고도 50 m에서 출발하여 320 m까지 올라갔다가 다시 70 m까지 내려와 시험이 종료되는 형태를 보였다. 하지만 대략 800초, 1200초, 1400초 부근에서는 고도 데이터가 비현실적으

로 크게 변동하는 것이 관찰되었다. 이는 대부분 터널의 진입 및 진출 구간에서 잘못된 GPS 신호가 수신된 것이다. 터널이 아닌 일반적인 도로에서도 고도 데이터는 측정 간 서로 큰 편차를 보였다. Fig. 2(b)는 Fig. 2(a)에서 Region A로 표시된 부분을 확대한 그래프이다. 같은 위치에서의 고도임에도 불구하고 데이터를 취득할 때마다 10 m 이상의 편차가 나타나는 것을 볼 수 있다.¹²⁾ 이는 서론에서 설명한 것과 같이 GPS의 낮은 측정 정밀도에 의해 발생하는 오차이다. 실제 RDE 시험에서는 하나의 경로에서 여러 차종을 테스트하고, 각 시험에서 측정된 고도 데이터를 이용해 시험의 유효성 여부를 각각 판단하는데, 이처럼 각 측정마다 고도 데이터에 차이가 발생한다면 동일한 경로에서도 시험의 유효성 판단 결과가 서로 달라질 여지가 있다.

본 연구에서 사용된 차량은 2.0 L급 엔진을 사용하는 하이브리드 차량이다. 일반 내연기관 자동차와 달리 하이브리드 자동차는 엔진의 효율이 최대인 지점에서 운전되며 부족하거나 남는 토크는 모터가 감당하므로 엔진이 작동되는 동안 효율이 거의 일정하다는 특징이 있다. 자동차가 주행되는 동안 발생하는 주행저항과 엔진 효율을 계산하기 위하여 자동차의 내부 통신으로부터 차속, 연료 소모량, 모터 출력 등의 데이터를 취득하였다.¹³⁻¹⁵⁾ 자동차 제원은 Table 1에 정리되어 있다.



(a) Altitude for 20 test cases



(b) Altitude of region A

Fig. 2 (a) Altitude data for 20 test cases and (b) Magnified altitude of region A

Table 1 Specifications of the test vehicle

Type	Sedan / Hybrid
Engine power / Torque	113.3 kW / 188.3 Nm
Motor power / Torque	38.6 kW / 205 Nm
Overall width / Height	1.860 m / 1.445 m
Mass	1,515 kg
Drag coefficient	0.24
Wheel	215 / 55R17

2.2 고도 데이터 표준화

본 연구에서는 동일한 경로에 대하여 20회의 반복 주행 시험을 수행하였고, 이 과정에서 측정된 고도 데이터를 누적하여 하나의 표준화된 고도 데이터를 만드는 방법을 제안하였다. Fig. 3은 이러한 데이터 처리 과정을 상세히 설명하고 있다.

Step A에서는 일반적인 주행 시험에서와 같이 GPS 데이터를 취득한다. 여기에서 취득할 데이터는 위도, 경도, 고도, 차속이며 10 Hz의 취득주기를 갖는다.

Step B에서는 데이터에 포함되어 있는 노이즈를 1차 제거한다. 노이즈를 판단하는 기준은 차속, 가속도, 도로

구배, 데이터 취득에 사용된 위성 수이다. 일반적인 운전 조건을 가정할 때 차속은 보통 150 km/h를 초과하지 않으며, RDE 시험에서도 최대 속도를 145 km/h로 제한하고 있다. 만약 이보다 높은 속도가 기록되었다면 이는 노이즈일 가능성이 높기 때문에 제거한다. 또한 대부분의 승용차는 5 m/s² 이상의 가속도를 내기 어려우며, 일반적인 조건에서 이보다 급격한 가속도는 발생하지 않으므로 이러한 데이터 또한 제거한다. 데이터 취득에 사용된 위성 수의 경우에는 GPS 수신기나 경로에 따라 차이가 있을 수 있지만 본 연구에서는 보통 15개 이상의 위성이

사용되었고, 수신감도가 좋지 않은 경우 10개 미만으로 떨어졌다. 이러한 기준에 근거하여 노이즈로 판단되는 데이터를 모두 제거하면 비정상적인 고도 데이터를 상당부분 제거할 수 있다.

기존의 고도 데이터 보간 방식에서는 노이즈 제거 후 누락된 데이터를 선형보간하여 대체하지만, 본 연구에서는 데이터가 누락된 상태로 Step C로 넘어간다. Step C에서는 위도와 경도 데이터를 기준으로 5 m × 5 m 크기의 격자를 구획하여 격자별로 고도 데이터를 그룹화한다. 이 단계에서 기존의 시간 기반 데이터를 위치 기반

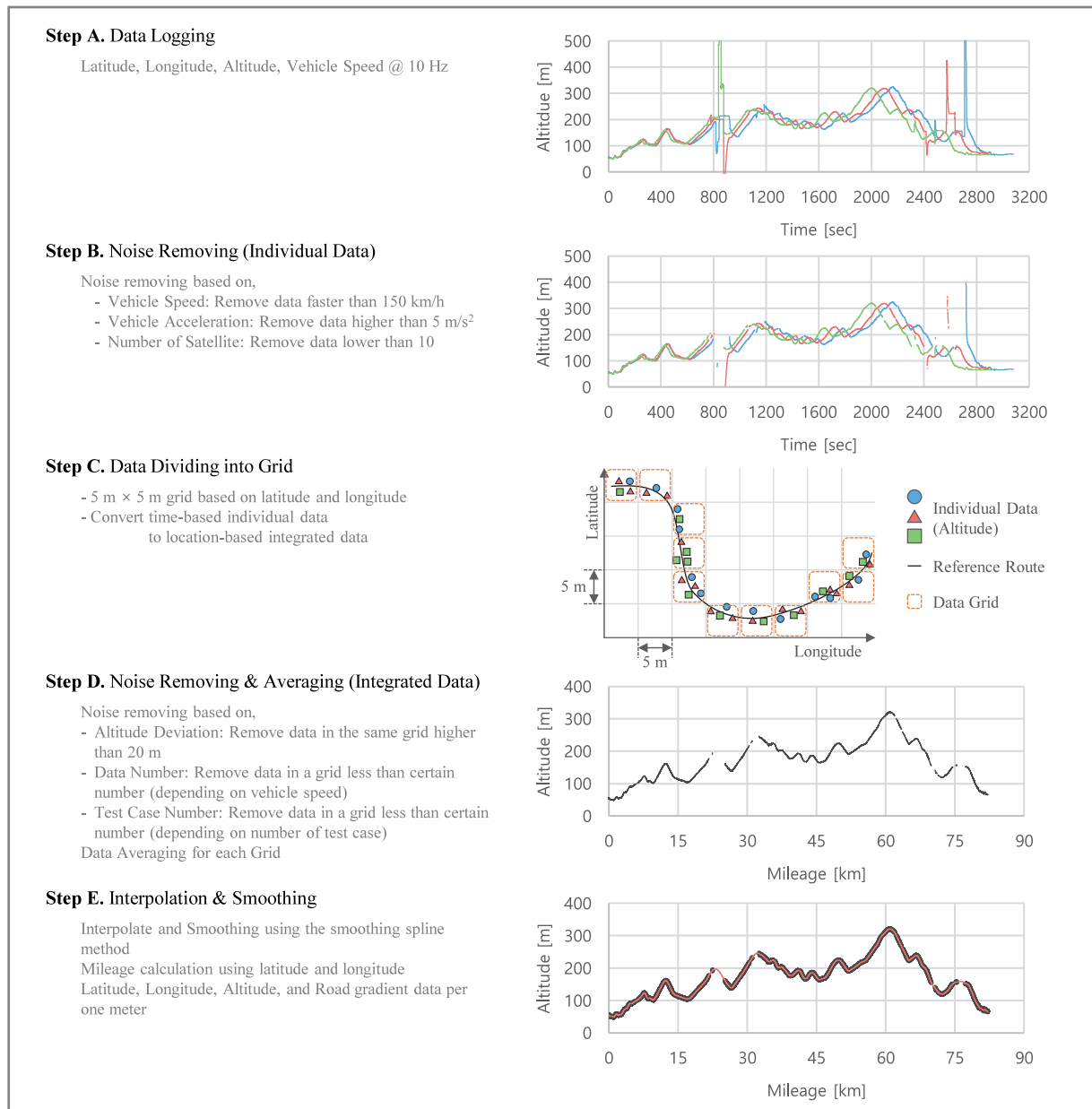


Fig. 3 Data processing procedure for altitude standardization

데이터로 변환함으로써 각 시험 케이스별로 흩어져 있던 고도 데이터를 하나의 기준으로 통합할 수 있다.

Step D에서는 격자 내 데이터를 평균하기 전에 다시 한번 노이즈를 제거함으로써 Step B에서 제거하지 못한 노이즈를 완전히 제거한다. 국토교통부령 제223호 도로구조규칙¹⁶⁾에 따르면 고속도로의 최대 종단경사는 6%이고 국지도로를 포함하더라도 최대 종단경사가 16%이다. 도로 구배가 16%인 최악의 경우에 격자 크기 5 m × 5 m 내에서 발생할 수 있는 최대 고도 차이는 약 1.1 m이다. 따라서 하나의 격자 내에 있는 고도 데이터들 간 발생할 수 있는 최대 편차는 1.1 m이며, 만약 이 편차가 일정수준을 벗어난다면 노이즈로 간주할 수 있다. 하지만 Fig. 2(b)에서 확인한바와 같이 GPS 데이터의 기본 오차가 10 m 수준이므로, 본 연구에서는 허용 오차범위를 20 m로 설정하였다. 한 격자 안에 들어있는 데이터의 수와 테스트 케이스 수는 차속과 주행시험 횟수에 따라 달라진다. 본 연구에서는 데이터 취득 주기가 10 Hz이며 총 20회의 주행시험을 수행하였으므로, 만약 150 km/h로 주행했다면 5 m × 5 m 격자 내에는 케이스 당 최소 1개씩 총 20개의 데이터가 있을 것으로 기대된다. 만약 이보다 적은 수의 데이터가 있다면 해당 격자는 노이즈일 가능성이 있으니 제거한다. 이렇게 노이즈를 완전히 제거하고 나면 남아있는 고도 데이터들은 격자별로 평균하여 하나의 대표값으로 변환한다. Step D의 그래프에는 고도만 나와있지만 위도와 경도 또한 격자별로 평균하여 대표값으로 변환한다.

참고로, RDE 시험에서 모든 데이터는 1 Hz 주기로 취득된다. 그럼에도 데이터 취득 주기를 10 Hz로 높인 이유는 격자의 크기를 줄이기 위해서이다. 만약 1 Hz로 데이터를 취득했다면 150 km/h 주행속도에서 데이터 간 거리가 42 m가 되며, 격자 하나에 데이터가 하나 이상 들어가도록 하기 위해서는 격자의 크기를 50 m × 50 m까지 늘려야 한다. 이 경우 도로 구배 16% 조건에서 격자 내 고도 차이가 11 m까지 발생할 수 있기 때문에 격자 내 고도를 하나의 대표 고도값으로 표현하기에는 무리가 있다. 물론 이러한 극단적인 조건이 아니라면 1 Hz로도 충분히 합리적인 결과를 얻을 수 있지만, 본 연구에서는 더 정확한 결과를 얻기 위하여 10 Hz의 데이터 취득 속도를 선택하였다.

Step D까지 완료하면 Fig. 3에 나타난 것과 같이 부분적으로 누락된 데이터가 남는다. Step E에서는 누락된 부분을 부드럽게 연결하고 데이터를 매끈한 곡선으로 만들기 위하여 평활화 스플라인(Smoothing spline) 방식을 적용하였다.¹⁷⁾ 이 방식은 노이즈가 포함되어 있는 데이터를 부드러운 곡선으로 만드는데 주로 활용되며, 데이

터가 누락된 구간도 부드럽게 연결해준다. 이를 통해 최종적으로 위도, 경도, 고도 데이터를 주행거리 1 m 간격으로 표준화할 수 있다. 위도와 경도는 표준 주행경로가 되며, 고도는 표준 주행경로에 대응하는 표준 고도가 된다. 또한, 표준 고도와 주행거리를 이용하여 주행 경로의 도로 구배도 계산할 수 있다.

3. 결과 분석 및 고찰

3.1 표준화된 고도 데이터 분석

Fig. 4는 표준화된 고도와 이를 이용해 계산한 도로 구배이다. Fig. 2(a)의 원본 고도 데이터에서 나타났던 노이즈가 제거되고, 누락된 데이터 구간이 부드럽게 연결된 것을 확인할 수 있다. 도로 구배는 이동거리에 대한 고도 변화율로, 음수는 내리막길, 양수는 오르막길을 의미한다. 미분 형태로 계산되기 때문에 고도 데이터가 적절하게 평활화되지 못하면 과도하게 큰 구배값이 나타날 수 있는데, 전체 주행구간에 대하여 -4%에서 +3%의 구배를 보여 고속도로의 경사도로로서 납득할만한 결과라고 볼 수 있다.

주행경로에 대한 고도 데이터를 얻는 방법으로 지형도를 이용하는 방법이 거론되기도 한다. 지형에 대한 많은 정보들이 인터넷에 많이 공개되어 있으므로 주행 경로만 알고 있으면 쉽게 지형도로부터 고도 데이터를 추출할 수 있다. 하지만 이러한 데이터에는 노이즈가 많이 포함되어 있을 뿐 아니라 터널 내부 구간에서의 고도를 파악할 수 없다는 단점이 있다. Fig. 5는 주행경로의 위도와 경도에 대응하는 고도를 지형도로부터 추출하여 표준화된 고도와 비교한 결과이다. 지형도 데이터는 NASA에서 제공하는 SRTM1을 사용했으며 해상도는 30 m급이다. 그림과 같이 전체적인 경향은 일치하나 지형도의 데이터에는 노이즈가 많이 포함된 것을 확인할 수 있다. Fig. 2의 원본 고도 데이터에 비해서도 노이즈 정도가 훨씬 심하기 때문에 이를 노이즈 필터링 하여 사용하더라도 상당히 큰 오차가 발생할 수밖에 없다. 또한 터널 구간에서의 고도 데이터는 터널 내부가 아닌 터널 상단의 고도가 추출된 것으로 보인다. 이러한 데이터는 노이즈 필터링을 통해 보정할 수 있는 성질의 데이터가 아니므로 주행 경로의 유효성을 판단하거나 주행 특성을 분석하는 용도로 활용할 수 없다.

표준화된 고도를 이용하면 RDE에서 주행의 유효성을 판단하는 기준인 양의 누적 고도 상승의 계산 신뢰성을 기존 대비 높일 수 있다. 기존 RDE 규정에서 제시하는 방식대로 고도 데이터를 처리하는 경우 각 주행 케이스별 고도 데이터를 평활화하여 양의 누적 고도 상승을 계

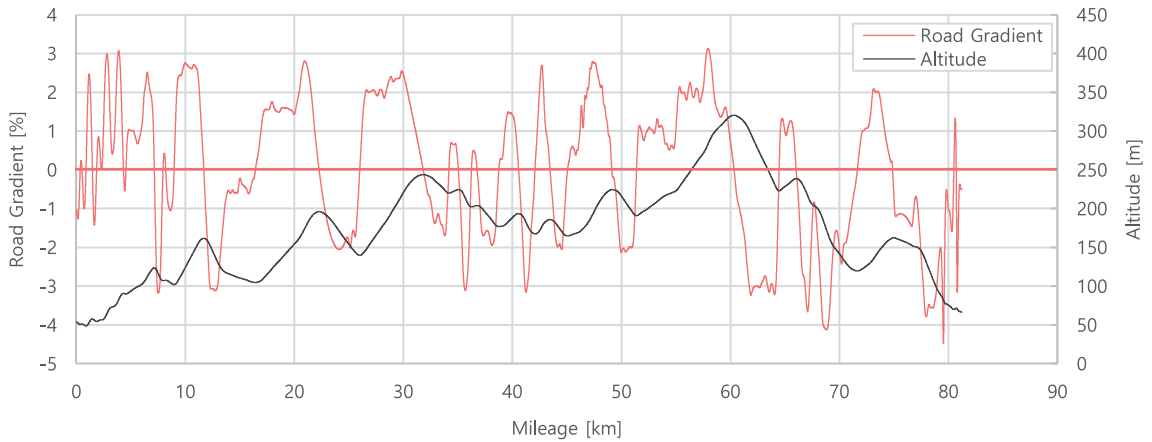


Fig. 4 Standardized altitude and road gradient averaged of 20 test cases

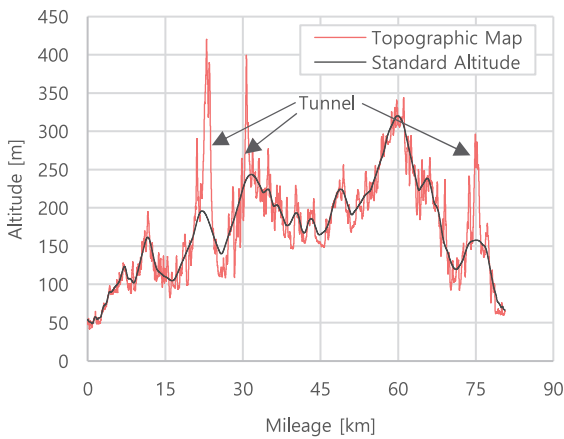


Fig. 5 Comparison of standardized altitude and altitude from topographic map

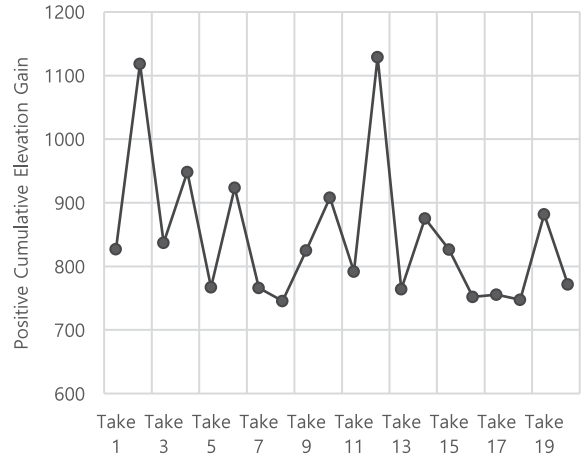
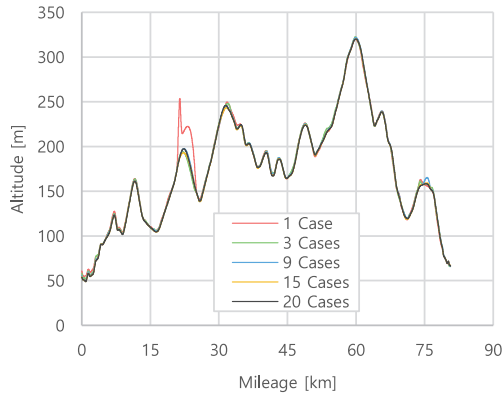


Fig. 6 Positive cumulative elevation gain for 20 test cases

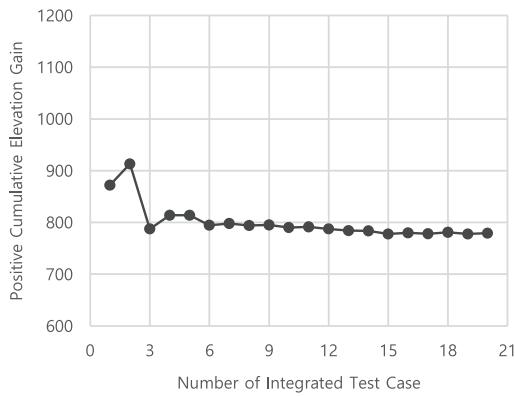
산한다. 양의 누적 고도 상승은 평활화 된 고도 데이터로부터 오르막길에서의 고도 상승을 모두 더한 뒤 이를 총 주행거리로 나누어 계산한다. 즉, 주행경로에서 오르막 구간이 얼마나 있는지를 판단할 수 있는 인자이다. 이 때 고도상승의 단위는 [m]이고 주행거리의 단위는 [100 km]이다. 예를 들어 총 고도 상승이 1000 m이고 총 주행거리가 80 km라면 양의 누적 고도 상승은 $1250(=1000/0.8)$ 이 된다. RDE 규정에서는 이 값이 1200을 초과하는 경우 주행 경로가 지나치게 큰 부하를 요구한다고 판단하여 유효하지 않은 경로로 판단한다. Fig. 6은 총 20회의 주행시험에서 각각 측정된 고도 데이터를 이용해 RDE 규정에서 제시하는 방법대로 양의 누적 고도 상승을 계산한 결과이다. 모두 같은 경로를 주행했으므로 정상적인 결과라면 모든 시험에서 서로 같은 값이 나와야 하지만, 그림에서 볼 수 있듯 각 데이터 별 편차가 매우 크게 발생하였다. 물론 본 시험에서는 모든 데이터가 1200을 초과하

지 않았기 때문에 모두 경로가 유효하다고 판단할 수 있다. 하지만 시험 간 편차가 300 이상 발생하고 있기 때문에, 오르막 구간이 조금 더 긴 주행경로라면 각 시험 간 유효성 여부가 서로 달라질 여지가 있다.

반면, 표준화된 고도를 이용하는 경우에는 주행경로가 결정되면 이에 대한 양의 누적 고도 상승 또한 거의 하나의 값으로 결정된다. Fig. 7은 Fig. 3의 데이터 처리 절차에 따라 표준화한 고도와 이에 대한 양의 누적 고도 상승이다. 이 그림에서는 표준화에 사용하는 데이터의 수를 한 개부터 점차 늘려가며 결과를 비교했으며, 총 20회의 주행시험을 했으므로 최대로 누적한 고도 데이터는 20개이다. 결과에 따르면, 단 세 개의 데이터를 사용하는 것만으로도 20개의 데이터를 사용하는 것과 비슷한 수준의 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 7(a)에서 고도를 보면 세 개의 데이터를 누적한 결과부터 이미 주행거리 20 km 부근에서의 오류가 관찰되지 않았다. 주행거리 75



(a) Standardized altitude



(b) Positive cumulative elevation gain

Fig. 7 Comparison of standard (a) altitude and (b) positive cumulative elevation gain according to the number of data used for standardization

m 부근에서의 오류는 9개까지 관찰되지만 15개 이후부터는 관찰되지 않았다. Fig. 7(b)에서도 3개 데이터 누적부터 양의 누적 고도 상승이 800 수준으로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 조금 더 정밀하게는, 15개 이상의 데이터를 누적하여 표준화하면 누적 고도 상승이 약 780 수준에서 안정적으로 유지되었다.

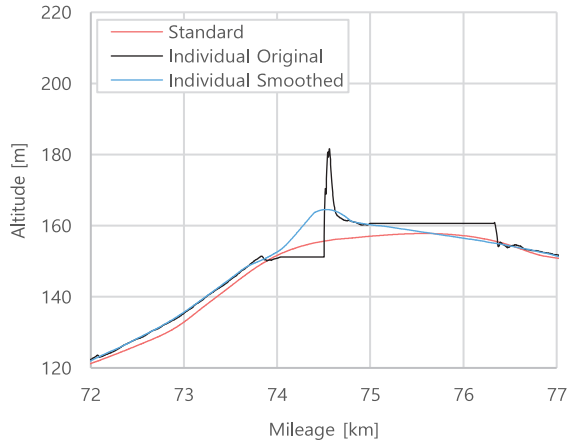
이러한 고도 표준화 방식을 이용하면 RDE 시험에서 더이상 고도 데이터를 취득하지 않아도 된다는 장점이 있다. RDE 규정에서 고도 데이터는 시작 지점과 종료 지점에서의 고도 차이와 양의 누적 고도 상승을 계산하는 두 가지 용도로만 활용된다. 이는 자동차의 특성과 무관한 주행경로만의 특성이므로 각 시험 차량별로 따로 측정할 필요가 없다. 따라서 주행경로를 개발하는 과정에서 수행한 몇 차례의 주행 테스트만으로도 충분히 신뢰도 높은 유효성 평가 결과를 얻을 수 있다. 실제 RDE 시험에서는 더이상 GPS 데이터를 취득할 필요가 없으므로 시험의 간소화 및 정확도 향상 측면에서 유의미한 결과라고 할 수 있다.

3.2 주행저항 분석을 통한 고도의 정확성 확인

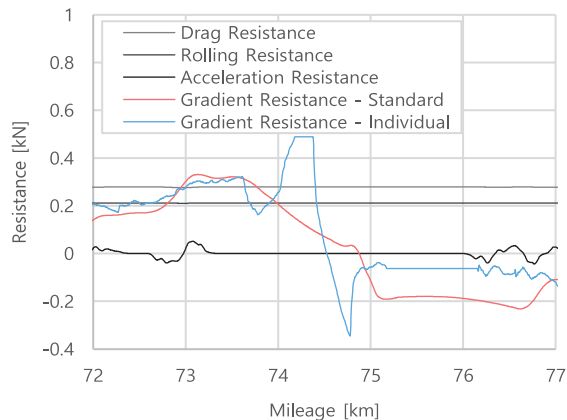
주행저항을 고려해 주행 특성을 분석하는 연구분야에서는 더욱 정밀한 고도 데이터 보정이 요구된다. 이러한 연구는 많은 경우 AVL의 CRUISE나 MATLAB의 Simulink 등 시뮬레이션 프로그램을 기반으로 진행되며, 실제 주행시험으로부터 취득된 주행패턴과 주행저항 등의 데이터가 프로그램의 해석결과를 검증하는데 사용된다. 자동차의 주행에 유의미한 영향을 주는 저항으로는 대표적으로 공기저항, 구름저항, 가속저항, 구배저항 등이 있다.¹⁰⁾ 공기저항은 차속의 제곱에 비례하여 증가하고, 구름저항은 보통 상수 또는 차속에 비례하여 증가하는 형태로 설명된다.¹⁸⁻²⁰⁾ 가속저항 역시 차속으로부터 가속도를 계산함으로써 알아낼 수 있다. 따라서 공기저항, 구름저항, 가속저항은 차속 데이터만 있으면 계산할 수 있다. 반면, 구배저항을 계산하기 위해서는 주행하는 경로의 고도 데이터가 필요하다.

고도 표준화 과정에서 터널 구간의 누락된 고도 데이터는 평활화 스플라인 방식으로 보간하였다. 하지만 보간된 고도 정보가 정확한지는 알 수 없기 때문에 이를 검증할 방법이 필요하다. 본 연구에서는 보간된 데이터의 정확도를 간접적으로 확인하기 위하여 엔진 효율을 사용하였다. 주행시험에 사용된 하이브리드 차량은 최대 엔진 효율을 얻을 수 있는 엔진 rpm과 엔진 토크 조건에서만 운전되며, 부족하거나 남는 토크는 모터가 보충해주거나 전력 발전을 통해 회수한다. 따라서, 만약 고도가 정확하게 보간되었다면 엔진 효율이 일정하게 유지되어야 한다. 본 연구에서 엔진 효율은 엔진에서 사용하는 연료의 에너지 소비율[kW] 대비 엔진 출력[kW]의 비율로 정의한다. 엔진 효율을 계산하기 위해서는 주행 중 연료 소모량[g/s]과 모터의 출력[kW] 데이터가 추가적으로 필요하다.²¹⁾ 하이브리드 자동차에서 주행저항에 의해 자동차에 요구되는 출력은 엔진과 모터가 동시에 공급한다. 따라서 엔진 출력은 주행저항에 의한 출력에서 모터가 공급하는 출력만큼을 뺀 나머지 부분이라고 볼 수 있다. 연료의 에너지 소비율은 엔진의 연료 소모량에 연료의 저위 발열량[kJ/g]을 곱해 계산할 수 있다.

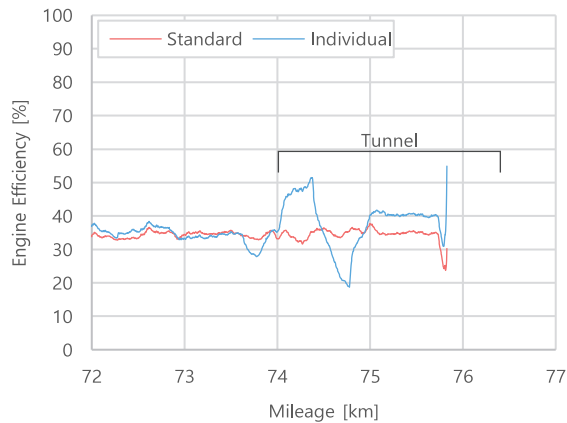
Fig. 8에서는 20개의 데이터를 누적하여 표준화한 고도와 개별 고도를 사용하여 주행저항을 계산하는 경우 주행거리 75 km 부근에서 엔진 효율에 어떠한 차이가 발생하는지 보여준다. 해당 구간을 선정된 이유는 다음 세가지이다. 우선 이 구간에는 터널이 있어 고도 데이터 측정에 오류가 발생한다. 따라서 고도 표준화 전후의 차이가 명확하게 드러나므로 표준화의 효과를 더욱 잘 나타낼 수 있다. 또한, 보간된 고도가 정확한지 판단하기 위



(a) Standard altitude and individual altitude



(b) Driving resistance



(c) Engine efficiency

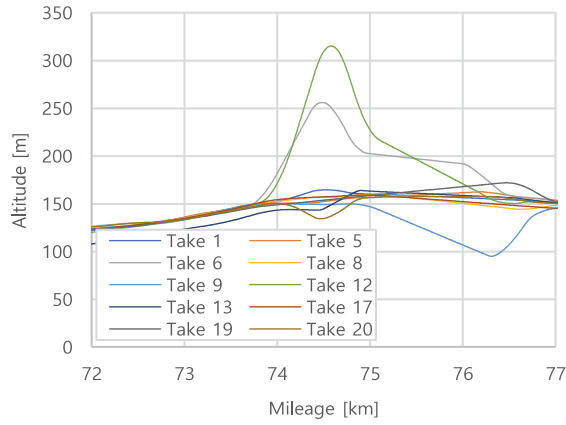
Fig. 8 Comparison of standard altitude and individual altitude on driving resistance and engine efficiency for the take 1 case

해 엔진 효율을 사용하였는데, 이를 위해서는 도로구배와 무관한 공기저항, 구름저항, 가속저항의 영향을 최대한 배제해야 한다. 본 연구에서는 차량을 정속으로 주행하여 해당 저항들을 일정한 값으로 유지함으로써 도로

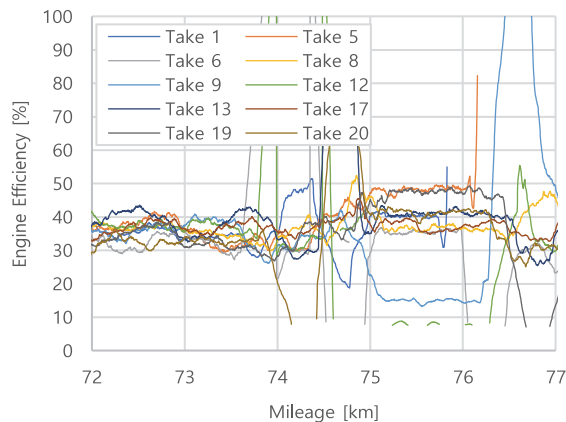
구배에 의한 영향만을 남기고자 했으며, 이러한 측면에서 이 구간은 교통의 흐름이 원활해 차속을 일정하게 유지하기 수월했다. 마지막으로, 엔진의 효율을 계산하기 위해 엔진이 구동되는 구간을 선택해야 하는데, 주행거리를 기준으로 72 km 이전과 77 km 이후에는 내리막길이기 때문에 대부분 엔진이 구동되지 않았다. 따라서 엔진이 구동되는 구간을 선택하기 위하여 전체 82 km의 주행구간 중 5 km 길이의 구간을 발췌하여 분석하였다.

우선, Fig. 8(a)는 표준화된 고도와 보정되지 않은 원본 고도 데이터를 비교하고 있다. 원본 고도 데이터에서는 터널에서 GPS 신호의 오류로 인하여 비정상적인 고도가 관찰된다. 이를 RDE 규정에서 제시하는 방식으로 평활화하면 부자연스러운 형태의 고도 데이터가 나타나기 때문에 Fig. 3의 데이터 처리 방식으로 부드럽게 평활화하였다. Fig. 8(b)는 이러한 주행에 대하여 각 주행저항들을 나타낸 그래프이다. 차속을 105 km/h 정속으로 유지하였기 때문에 구배저항 이외에 나머지 저항들은 거의 일정한 값을 유지했다. 가속저항은 거의 0을 유지하였고, 공기저항은 0.3 kN, 구름저항은 0.2 kN 수준이었다. 구배저항의 경우 표준화 고도와 개별 고도에 대하여 명확한 차이가 나타났으며, 특히 주행거리 74.5 km 전후로 큰 차이를 보였다. 구배저항의 경우 도로의 경사도 변화에 따라 큰 폭으로 변동하였다. 약 2% 수준의 완만한 오르막길이었음에도 다른 저항보다 큰 값을 보였기 때문에 구배저항이 전체 저항 계산의 정확도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.²²⁾ Fig. 8(c)에는 주행저항을 이용해 계산한 엔진 효율이 나타나 있다. 앞서 설명한 바와 같이 하이브리드 자동차에서는 엔진이 최대 효율점에서 구동되기 때문에 구배저항이 정확하게 계산되었다면 일정한 효율을 가질 것이라 예상된다. 개별 고도를 사용한 경우 엔진 효율이 20%에서 50%까지 크게 변동한 것을 볼 수 있다. 이는 곧 이 구간에서 고도 데이터가 정확히 예측되지 않았음을 의미한다. 참고로 주행거리 76 km 이후 데이터가 없는 것은 엔진이 정지되고 모터구동으로 전환되었기 때문이다. 반면, 표준화된 고도를 사용한 경우에는 전체 관찰영역에 대하여 엔진 효율이 약 35% 수준으로 일정하게 유지되었다. 이러한 결과로부터, 고도 데이터가 정확히 보간되었음을 간접적으로 확인할 수 있다.

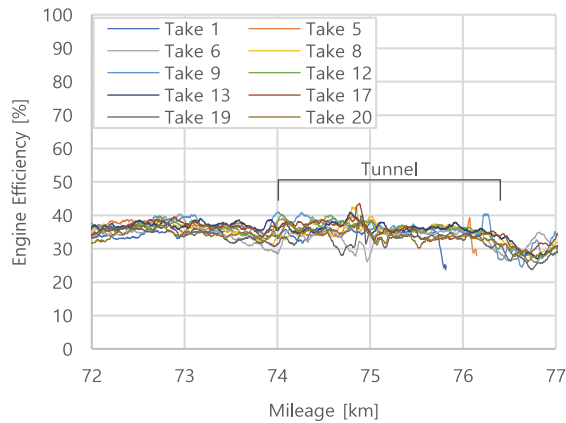
Fig. 9는 총 20회의 시험 중 해당 구간에 정속으로 주행된 10개의 케이스만을 선택하여 Fig. 8에서 수행한 계산을 다시 수행한 결과이다. Fig. 9(b)에서 볼 수 있듯, 개별 고도 데이터를 사용하여 엔진 효율을 계산한 경우에는 시험 케이스별 엔진 효율에 큰 차이가 있을 뿐 아니라 고도 데이터가 누락된 터널 구간에서는 비현실적인 엔



(a) Standard altitude and individual altitude



(b) Driving resistance



(c) Engine efficiency

Fig. 9 Comparison of standard altitude and individual altitude on driving resistance and engine efficiency for 10 test cases

진 효율이 나타났다. 반면, 표준화된 고도를 사용하여 엔진 효율을 계산한 Fig. 9(c)에서는 모든 조건에 대하여 안정적이고 일정한 엔진 효율이 나타났다. 데이터가 정상적으로 수집된 72 km 부근의 엔진 효율을 보더라도 개별

고도 데이터를 사용한 경우에는 시험 케이스 별 편차가 상대적으로 더 컸다. 이는 GPS 데이터가 기본적으로 가지고 있는 오류에 기인한 것이다. 따라서 더 정밀한 분석을 위해서는 데이터가 누락되지 않은 구간에서도 표준화 고도를 사용하는 것이 유리하다고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 GPS 데이터가 내재하고 있는 오차와 데이터 누락을 보정하기 위한 방법으로 다수의 반복 주행시험을 통해 고도 데이터를 누적하고 표준화하는 방법에 대하여 소개하였다. 또한, RDE 시험 유효성 평가와 주행저항 분석에 표준화된 고도와 개별 고도를 각각 적용하여 비교함으로써 개별 고도 대비 표준화된 고도가 갖는 이점을 확인하였다. 본 연구로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) GPS 데이터에는 노이즈가 포함되어 있을 뿐만 아니라 데이터의 정확도 자체가 떨어지기 때문에 단순히 필터링 기법만으로는 정확한 값을 찾을 수 없다. 따라서 같은 장소에서 반복하여 측정된 뒤 이를 평균하는 방법이 측정 정확도를 높일 수 있는 가장 좋은 방법이라고 판단된다.
- 2) 주행 경로에 따라 다를 수 있지만, RDE 주행 경로의 유효성 평가를 위해서는 3회의 고도 데이터만을 누적하더라도 충분히 신뢰할만한 양의 누적 고도 상승 결과를 얻을 수 있었다. RDE 주행 경로를 개발하는 과정에서 동일한 주행 경로를 수차례 주행하기 때문에 이 과정에서 취득한 데이터만으로도 고도를 표준화하기에 충분하다. 또한, 이미 주행 경로의 고도에 대한 유효성 평가가 완료된 것이므로 실제 RDE 시험에서는 더 이상 GPS 데이터를 취득할 필요가 없다.
- 3) 표준화된 고도의 정확성은 주행저항 분석을 통해 확인하였다. 약 15회 이상의 고도 데이터를 누적하면 구배저항을 잘 예측할만큼 정밀한 고도 데이터까지 획득할 수 있었다. 주행저항 분석을 통해 엔진의 효율을 계산한 결과, 표준화된 고도를 사용한 경우 엔진 효율이 일정하게 나온 반면, 개별 고도를 사용한 경우 엔진 효율의 변동과 편차가 크게 나타났다. 이를 통해 표준화 고도가 정확함을 간접적으로 확인할 수 있다.

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021 R1F1A1052133).

References

- 1) J. Song and J. Cha, "Analysis of CO and NO_x Deviations Under On-road Driving Test of Gasoline Vehicle with Three-way Catalyst," Transactions of KSAE, Vol.29, No.9, pp.823-829, 2021.
- 2) EU Commission, Amending Regulation (EC) No 692/2008 as Regards Emissions from Light Passenger and Commercial Vehicles (Euro 6), 2016.
- 3) EU Commission, Setting CO₂ Emission Performance Standards for New Passenger Cars and for New Light Commercial Vehicles, 2019.
- 4) V. Zaliva and F. Franchetti, "Barometric and GPS Altitude Sensor Fusion," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp.7525-7529, 2014.
- 5) H. Rakha, F. Dion and H. G. Sin, "Using Global Positioning System Data for Field Evaluation of Energy and Emission Impact of Traffic Flow Improvement Projects: Issues and Proposed Solutions," Transportation Research Record, Vol.1768, No.1, pp.210-223, 2001.
- 6) N. H. Kim and C. H. Park, "A Barometric Altitude Sensor and GPS Altitude System Fusion by Using Kalman Filter," IEIE Summer Conference, Vol.36, pp.549-551, 2013.
- 7) L. W. Kim, K. H. Choi, J. H. Lim, W. J. Yoo and H. K. Lee, "Improving GPS Vertical Error Using Barometric Altimeter," Journal of Advanced Navigation Technology, Vol.20, No.1, pp.29-36, 2016.
- 8) M. Choi, K. W. Rho, J. C. Kim and J. Cha, "A Study on the Energy Efficiency Prediction Model of Electric Vehicles Using Numerical Simulation," Transactions of KSAE, Vol.29, No.3, pp.211-217, 2021.
- 9) S. C. Choi and T. I. Oh, "Effect on the Fuel Economy by Gradient in Automobile Driveway," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.12, No.7, pp.2925-2930, 2011.
- 10) J. Song and J. Cha, "Analysis of Driving Dynamics Considering Driving Resistances in On-Road Driving," Energies, Vol.14, No.12, p.3408, 2021.
- 11) S. Sato, T. Yamamoto, Y. Ogawa and N. Fukuro, "Research on Measurement Method of Road Gradient and Altitude by On-Road Driving," SAE International Journal of Fuels and Lubricants, Vol.2, No.1, pp.531-540, 2009.
- 12) J. Gallus, U. Kirchner, R. Vogt and T. Benter, "Impact of Driving Style and Road Grade on Gaseous Exhaust Emissions of Passenger Vehicles Measured by a Portable Emission Measurement System (PEMS)," Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.52, pp.215-226, 2017.
- 13) J. Cha, J. Lee and M. S. Chon, "Evaluation of Real Driving Emissions for Euro 6 Light-duty Diesel Vehicles Equipped with LNT and SCR on Domestic Sales in Korea," Atmospheric Environment, Vol.196, pp.133-142, 2019.
- 14) D. I. Lee, Y. S. Yu, M. S. Chon and J. Cha, "A Study of Cold-start and Evaluation Method for Real Driving Emissions of Diesel Light-duty Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.27, No.3, pp.199-206, 2019.
- 15) J. Cha, J. Park, H. Lee and M. Chon, "A Study of Prediction Based on Regression Analysis for Real-World CO₂ Emissions with Light-Duty Diesel Vehicles," Int. J. Automotive Technology, Vol.22, No.3, pp.569-577, 2021.
- 16) Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Rules for Road Structure and Facilities Standards. In: Ministry of Land IaT, editor. Republic of Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2015.
- 17) S. G. Back, C. H. Choi and J. H. Kim, "Removing Baseline Drift from ECG Signal Using Smoothing Spline and Morphology Operation," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.42, No.1, pp.162-171, 2017.
- 18) V. V. Mozharovskii, S. V. Shil'ko, S. B. Anfinogenov and A. V. Khot'ko, "Determination of Resistance to Rolling of Tires in Dependence on Operating Conditions. Part 1. Method of Multifactorial Experiment," Journal of Friction and Wear, Vol.28, No.2, pp.154-161, 2007.
- 19) B. P. Wiegand, "Estimation of the Rolling Resistance of Tires," SAE 2016-01-0445, 2016.
- 20) A. N. Gent and J. D. Walter, Pneumatic Tire, Ohio: University of Akron, 2006.
- 21) J. Song and J. Cha, "Development of Prediction Methodology for CO₂ Emissions and Fuel Economy of Light Duty Vehicle," Energy, Vol.244, Paper No.123166, 2022.
- 22) M. A. Costagliola, M. Costabile and M. V. Prati, "Impact of Road Grade on Real Driving Emissions from Two Euro 5 Diesel Vehicles," Applied Energy, Vol.231, pp.586-593, 2018.