

경사를 갖는 고속도로가 자동차 연비에 미치는 영향

최성철*, 오태일*, 권만준*, 고광호*
*아주자동차대학 자동차계열
csc@motor.ac.kr

Effect on the Vehicle Fuel Economy by Highway with Gradient

Seong-Cheol Choi*, Tai-Il Oh*, Mann-Jun Kwon*, Kwang-Ho Ko*
*Division of Automobile, Ajou Motor College

요 약

최근의 차량 연비는 고가의 연료 가격과 환경 규제 등으로 인하여 중요한 문제로 대두되었다. 전기, 전자, 반도체, 기계 등의 기술 발달은 연비 개선에 많은 공헌을 하였다. 그러나 연비 측정은 현재도 주어진 모드(LA-4, FTP-75 등)에서 컴퓨터 모의시험 및 다이내모에서 수행한다. 이렇게 측정된 연비는 실제 도로 주행 연비와 차이가 발생하는데, 그 주요 원인중의 하나는 도로의 경사를 고려하지 않았기 때문이다. 본 논문에서는 경사가 심한 영동고속도로를 정속 주행하여 연료 소모량을 측정하고 연비를 계산한다. 또한 같은 도로를 경사가 없다고 가정하여 주행한 연비와 비교 분석한다. 이때 두 경우를 비교하여 경사에 의해 소모된 연료량 차이를 계산하고, 이 타이어 구동력과 엔진에서 소모된 연료량과의 관계를 검증한다.

1. 서론

차량의 연비 측정을 위해 나라마다 고유한 주행 모드를 개발하여 임의의 완성차를 선택하여 새시 동력계에서 연비를 측정한다[1]. 이렇게 측정된 연비는 실 도로를 주행할 때 연비와 많은 차이가 있다. 이러한 차이는 운전자의 운전 패턴[2], 주행 속도[3] 등이 하나의 원인이 될 수 있다. 또한 주행모드에 경사가 포함되지 않은 것도 다른 원인으로 생각 할 수 있다[1]. 그러므로 주행모드에 경사를 포함하여 연비를 측정한다면 현실에 좀 더 근접하게 예측할 수 있다. 이러한 방법으로 [4]에서 미리 수신하여 저장한 거리와 고도 데이터와 현재 주행하면서 수신한 GPS 데이터에서 추출한 거리와 고도 데이터를 이용하여 경사도를 측정하였다. 이 방안은 도로의 정확한 고도와 이에 따른 경사도를 측정 계산할 수 있다. 따라서 운전자가 원하는 목적지까지 도로의 고도와 경사도 측정은 GPS 데이터를 이용하면 어렵지 않게 완성할 수 있다.

본 논문에서는 특히 경사가 심한 영동고속도로 213Km 전구간 도로의 경사가 연비에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 따라서 [4]의 방법으로 전구간의 도로의 경사를 계산하여 완성하고 차량을 주행하여 연비를 계산한다. 또한 같은 도로의 시작과 끝을 직선으

로 연결하여 경사가 없다고 가정하고 같은 차량을 주행하여 연비를 구한 다음 두 경우의 연비, 연료량의 차이를 분석한다. 이때 경사에 의해 소모된 토크와 소모된 연료량의 차이에 의해 발생한 구동력과의 관계를 검증한다.

도로의 모의주행을 위해 AVL사의 CRUISE 프로그램을, 경사도, 속도 프로파일 계산, 결과 그래프를 위해 Matlab을 사용하였다.

2. 고도와 경사각

2.1 고도

수신된 GPS의 거리와 고도 데이터를 이용하여 영동고속도로의 거리에 따른 고도 데이터를 완성한다. 터널, GPS의 수신 불량 등의 에러로 인하여 고도 데이터를 추출할 수 없는 경우의 고도 측정은 [4]에서 제시한 선형으로 보완하는 방법으로 필터링한다.

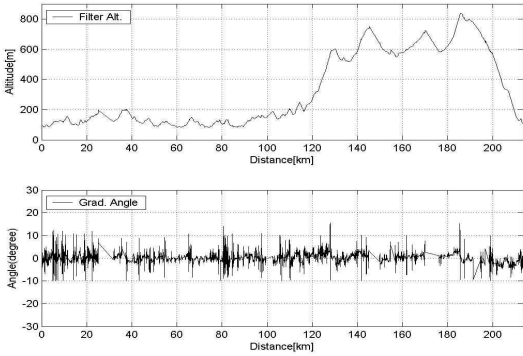
2.2 경사각

경사각은 현재 위치의 고도와 거리, 다음 위치의 거리와 고도를 안다면 계산할 수 있다. 따라서 미리 수신하여 차량에 저장한 다음 위치의 고도, 거리 데이터와 현재 주행하면서 수신한 현재 위치의 고도와 거리 데이터를 이용하여 차량이 주행하면서 실시간

으로 구할 수 있다. 즉,

$$\theta_n = \arctan\left(\frac{alt_{n+1} - alt_n}{d_{n+1} - d_n}\right) \quad (1)$$

로 계산되며 alt_n, alt_{n+1} 은 현재 위치인 n 과 다음 위치인 $n+1$ 의 고도를, d_n, d_{n+1} 은 같은 의미의 거리를 나타낸다. 그림 1은 완성된 영동고속도로 고도와 경사각을 보여준다.



[그림1] 영동고속도로 고도와 경사각

3. 주행저항과 토크

3.1 주행저항

차량의 주행 저항(F_r : road load)은 구름저항(F_R : Rolling resistance), 공기저항(F_{Aero} : Aerodynamic resistance), 등판저항(F_{Grad} : Gradient resistance), 가속저항(F_{Acc} : Acceleration resistance)의 합으로 계산된다. 즉,

$$F_r = F_R + F_{Aero} + F_{Grad} + F_{Acc} \quad (2)$$

이다.

본 논문에서는 도로의 경사도가 연비에 미치는 영향에 관한 것이므로 평지를 주행할 때 정속을 유지하여 가속 저항을 '0'으로 유지한다. 다만 하강경사 시 식(3)과 같은 조건을 만족할 때 남는 힘이 차량을 가속시키지만 경사도의 영향을 고려하기 위해 브레이크를 동작하여 정속으로 주행한다.

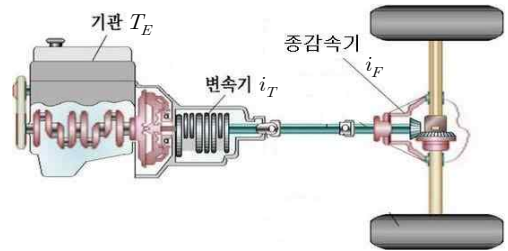
$$|F_{Grad}| > F_R + F_{Aero} \quad (3)$$

그러나 이 경우는 fuel-cut이 동작하여 순간 연료 소모량이 '0'이 된다.

3.2 엔진 토크(Torque)

동일한 엔진 출력은 도로의 경사도에 따라 상승 경사에서는 감속도, 하강 경사에서는 가속도의 원인이 된다. 경사도가 엔진의 영향을 미치도록 하기 위하여 식(1)을 이용하여 경사각을 계산하고, 등판저항을 계산한다. 등판저항이 엔진 토크에 미치는 영향

을 계산하기 위하여 이 값을 엔진 토크로 변환한다. 상승 경사에서는 등판저항을 발생 토크에서 감해주고 하강 경사에서는 더해 준다. CRUISE 프로그램은 상승 경사에서 엔진 토크를 감해주면 정속으로 주행하기 위해서 연료를 더 소모하여 손실된 토크를 보상 해주고, 하강 경사에서는 토크가 더해지므로 연료 소모를 감소한다. 그림 2는 자동차의 동력전달 장치를 보여준다.



[그림 2] 동력전달장치

이제 엔진 토크를 계산하기 위하여 바퀴를 구동하는 구동력 F_t 는,

$$F_t = \frac{T_E i_T i_F}{r_D} [N] \quad (4)$$

이다. 여기에서 T_E 는 엔진의 발생 토크, i_T 는 변속기의 회전 관성모멘트, i_F 는 종감속기의 회전 관성모멘트, r_D 는 바퀴의 동반경[m]이다.

이 구동력 F_t 가 등판 저항에 의해 발생되었다면, 이때 소모된 엔진 토크 T_E 는,

$$T_E = -\frac{r_D}{i_T i_F} F_{Grad} = -\frac{r_D}{i_T i_F} \times 9.81 \times W \sin\theta [N] \quad (5)$$

로 계산된다. 여기에서 '-' 부호가 필요한 이유는 상승 경사일 경우 F_{Grad} 가 양의 값을 가지므로 엔진 토크에서 감해주어 연료를 더 소모해야 하고, 반대로 하강 경사에서는 F_{Grad} 가 음의 값을 나타내나 실제로 엔진의 부하를 경감시키고 연료를 덜 소모하기 위해 더해줘야 하기 때문이다.

4. 모의 실험 및 고찰

4.1 모의 실험

모의실험은 소나타NF 2,359cc 차량을 사용하여 전 구간을 시속 100Km/h로 주행하였다. 경사가 연비에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고속도로 전구간의 경사도를 거의 '0'(실제로는 출발점 105.59m, 종착점 110.15m)으로 주행하여 기준이 되는 연비를 취득하고, 그림 1의 고도와 경사로 주행한 결과의 연비와 비교한

[표 1] 연료 소모량

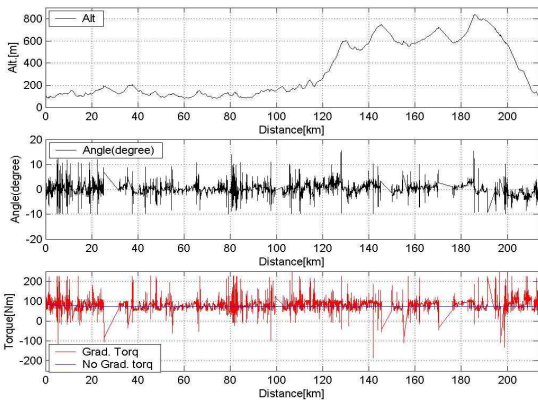
	총 연료소모량(L)	연비(Km/L)	개선 효과(%)	Fuel-cut
경사 무시	15.910	13.41	0	동작 안함
경사 고려	16.823	12.68	-5.4	동작

다. 표 1은 2가지 방법으로 모의 실험한 결과를 정리한 표를 보여준다.

4.2 고찰

그림 3은 고도, 경사각, 경사각이 없을 경우와 있을 경우의 토크를 보여준다. 그림 3의 3번째에서 경사가 없을 경우의 토크는 75.8Nm로 항상 일정하고, 경사가 있을 경우의 토크는 평균적으로 이보다 높은 곳에서 항상 변하고 있음을 알 수 있다.

하강 경사에서 경사각이 ‘-’값을 가질 경우 토크가 ‘0’ 이하로 되는 구간이 보인다. 이때는 식 (3)이 만족하여 차량의 연료를 소모함이 없이 가속되거나 정속을 유지하는 경우이다. 반면에 상승 경사가 급할수록 경사각의 ‘+’ 값이 크므로 속도를 유지하기 위해서는 연료를 많이 소모하여 발생 토크를 크게 해야 한다.



[그림 3] 경사각이 있는 경우와 없는 경우 토크

표 1의 결과와 같이 영동고속도로에서 경사가 없는 일정한 고도일 경우 시속 100Km/h로 정속주행하면 15.910L의 연료소모와 13.41Km/L의 연비를 보여준다. 반면 실제의 도로의 연비는 -5.4% 악화되었고, 연료는 0.913L 더 소모되었다. 더 소모된 연료에 발열량을 곱하면, $0.913L \times 0.76Kg/L \times 44,000KJ/Kg = 30,530KJ$ 가 된다.

타이어 구동력 F_t 를 이용한 엔진 토크와 엔진 파워는 $T_{E,G} = -r_D F_t / i_{TF}$, $P_{E,G} = 2\pi N T_{E,G} / 60$ 로 계산된다. 따라서 위의 식을 이용한 CRUISE 모의실험의 타이어 구동력으로부터 계산된 경사에 의해 소

모된 엔진의 총 에너지는 $\left\{ \sum_{t=1}^{7686} P_{E,G} \right\} \times t = 4,399kJ$ 이 된다. 그러므로 에너지 변환효율은 $(4,399 \times 100) / 30,530 = 14.4\%$ 를 보여준다. 참고문헌 [5]에 의하면 중형 차량의 에너지 분배에서 구동 토크로 변환되는 퍼센트는 12.6% ~ 20.2% 사이에 있어 본 논문의 실험 결과와 일치한다.

5. 결론

본 논문에서는 고속도로에서 경사가 연비에 미치는 영향을 연구하였다. GPS 정보를 이용하여 도로의 고도 수집할 수 있으므로 이를 이용한 경사도를 계산하여 모의 주행하면 경사도에 의한 연비 영향을 예측 가능하다는 것을 알았다. 또한, 영동고속도로를 100Km/h로 정속 주행의 경우 경사가 없을 경우 보다 약 5.4% 연비가 악화되었음을 알았다. 따라서 경사가 있는 도로의 주행할 경우 연비 악화를 검증하였다.

후 기

본 논문은 2011년 아주자동차대학(산학협력단)의 연구지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] 박진호, 박영일, 이장무, “경사가 포함된 도로의 주행시 실제 주행연비 예측”, 한국자동차공학회논문집, 2000년3월, 제8권 제3호, pp. 65~76
- [2] 송준형, 김덕진, 이천환, 이춘범, “차량 운전 특성에 따른 연비성능 시뮬레이션”, KASE 2009 Annual Conference, pp. 2039~2044
- [3] 박용성, 최선모, 권해봉, 김종수, 임성복, 조성우, “자동차 운전조건에 따른 연료소모 특성에 관한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, pp. 3~8
- [4] 최성철, “GPS 고도 데이터를 이용한 경사가 있는 고속도로에서 에코드라이빙 방안”, 한국산학기술학회논문지 제12권 제1호, pp.19 ~ pp.25
- [5] John W. McAuley, “Global Sustainability and Key Needs in Future Automotive Design”, Environ. Sci. Technol. 2003, 37, pp.5414 ~ pp.5416