

자동차 전용도로에서 경사가 연비에 미치는 영향

최성철^{1*}, 오태일¹

¹아주자동차대학 자동차계열

Effect on the Fuel Economy by Gradient in Automobile Driveway

Seong-Cheol Choi^{1*} and Tae-il Oh¹

¹Division of Automobile, Ajou Motor College

요 약 최근의 차량 연비는 고가의 연료 가격과 환경 규제 등으로 인하여 중요한 문제로 대두되었다. 전기, 전자, 기계 등의 기술 발달에 힘입어 연비는 많이 개선되었으나 현재도 연비 측정은 주어진 모드(LA-4, FTP-75 등)에서 컴퓨터 모의시험 및 다이내모에서 수행한다. 이러한 연비는 실제 도로 주행 연비와 차이가 발생한다. 그 주요 원인중의 하나는 도로의 경사를 고려하지 않았기 때문이다. 본 논문에서는 경사가 포함된 고속도로에서 경사가 연비에 미치는 영향을 평가하기 위하여 경사가 포함된 영동고속도로를 주행하여 연료 소모량을 측정하고 연비를 계산한다. 또한 같은 도로를 경사가 없다고 가정하여 주행한 연비와 비교 분석한다. 이때 두 경우의 연료 소모량 차이에 의해 발생된 총 발생 에너지를 계산하고, 모의실험에서 타이어 구동력으로 부터 발생한 엔진 토크와 파워 데이터로부터 구동력에 소모된 에너지를 계산한다. 이제 도로의 경사 때문에 소모된 연료에 의해 발생된 총 발생에너지와 구동력에 사용된 에너지와의 관계를 검증한다. 또한 결론에서는 경사를 갖는 자동차 전용도로에서 경사에도 불구하고 연비를 향상할 수 있는 방안을 제시한다.

Abstract A vehicle fuel economy is very important issue in the view of fuel cost and environmental regulation. The fuel economy is much improved according to the development of electric, electronic and mechanical technology, but up to now the measurement of it tests the given mode(LA-4, FTP-75, etc) within computer simulation program and engine dynamometer. This fuel economy is different with it of real road. The one of main reason is not considered the gradient of the road. To estimate the effects of fuel economy at highway with gradient in this paper, we measure the amount of fuel consumption and calculate the fuel economy of it with running the Youngdong highway with high gradient. Also this paper analysis and compares the fuel economy with gradient and without gradient when the vehicle runs the same driveway. Then we calculate the total energy created the difference of fuel consumption amount of the two cases and calculate the consumed energy by tire driving force from the torque and power of engine in the simulation. This paper verifies the relation of the driving force and the total energy by creating the difference of fuel consumption amount. This paper also proposes the method of fuel economy improvement despite of gradient at the result.

Key Words : Gradient, Fuel economy, Altitude

1. 서론

차량의 연비 측정을 위해 나라마다 고유한 주행 모드를 개발하여 임의의 완성차를 선택하여 새시 동력계에서 연비를 측정한다[1]. 이렇게 측정된 연비는 실제 운전자가 실 도로를 주행할 때 연비와 많은 차이가 있다는 것은

잘 알려진 사실이다. 이러한 차이는 운전자의 운전 패턴 [2], 주행 속도[3], 도로 상황[4] 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 있게 된다. 기존에 도로의 경사 측정은 실

*교신저자 : 최성철(csc@motor.ac.kr)

접수일 11년 04월 19일

수정일 (1차 11년 06월 14일, 2차 11년 07월 06일)

게재확정일 11년 07월 07일

제 차량에 G센서를 장착하여 주행하면서 경사도를 측정하였다[1]. 이러한 방법은 차량의 가속도가 없을 경우는 상당히 용이하지만 차량을 가감속하여 가속도가 발생 시에는 매우 측정하기가 어렵다.

그러나 [5]에서 미리 수신하여 저장한 거리와 고도 데이터와 현재 주행하면서 수신한 GPS 데이터에서 추출한 거리와 고도 데이터를 이용하여 경사도를 측정하였다. 이 방안은 [5]의 가속도 발생에 따른 단점을 해결하고 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 [5]의 방법으로 전 구간에서 도로의 경사를 계산하여 완성하고 차량의 주행에 대한 연비를 계산한다. 또한 같은 도로의 시작과 끝을 직선으로 연결하여 경사가 없다고 가정하고 같은 차량에 대한 연비를 구한 다음 두 경우의 연비와 연료량의 차이를 분석한다. 이때 경사에 의해 소모된 일과 소모된 연료량의 차이에 의해 발생한 구동력과의 관계도 검증한다. 결론에서는 경사에도 불구하고 연비를 향상할 수 있는 방안을 제시한다.

2. 영동고속도로 고도와 경사각

수집한 영동고속도로 GPS 수신 데이터는 약 5만 라인 이상으로 본 논문에 필요한 경사도, 주행저항, 속도 프로파일 계산 및 결과 그래프를 위해 Matlab을 사용하였다.

2.1 고도

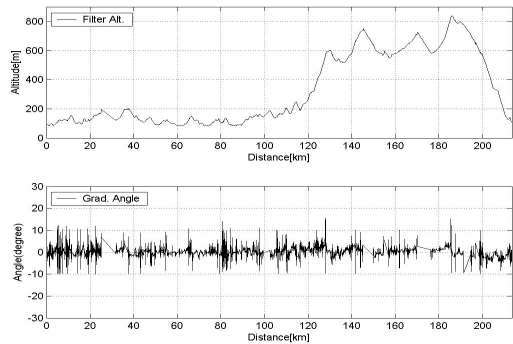
수신된 GPS의 거리와 고도 데이터를 이용하여 영동고속도로의 거리에 따른 고도 데이터를 완성한다. 터널이나, GPS의 수신 불량 등의 예러로 인하여 고도 데이터를 추출할 수 없는 경우의 고도 측정은 1)압력센서를 이용하는 방법, 2)항공기로부터 레이더를 이용하는 방법, 3)국립지리원의 수준점을 이용하는 방법 등의 보정법이 있다. 1)의 방법은 기온에 따라 오차가 심하고, 2)의 방법으로는 터널내의 고도 측정이 불가하며, 3)의 방법은 전문가의 도움을 받아야 한다. 이러한 방법은 많은 시간과 인력 및 노력을 필요로 하여 [5]에서 제시한 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 차량의 주행 시 실시간으로 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 거리를 나타낸다. 그림 1은 완성된 영동고속도로 고도와 경사각을 보여준다.



[그림 1] 영동고속도로 고도와 경사각
[Fig. 1] Altitude and Gradient angle of Youngdong highway

3. 주행 저항과 토크

3.1 주행 저항

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,

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

이다.

본 논문에서는 도로의 경사도가 연비에 미치는 영향에 관한 것이므로 평지를 주행할 때 정속을 유지하여 가속

저항을 '0'으로 유지한다. 다만 하강 경사의 등판저항 절대 값이 구름저항과 공기저항의 합 보다 큰 경우에는 연료를 소모하지 않고도 가속도가 발생한다. 즉, 식(3)과 같은 조건을 만족할 때 남는 힘이 차량을 가속시키지만 경사도의 영향을 고려하기 위해 브레이크를 동작하여 제안하는 속도로 주행한다.

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

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

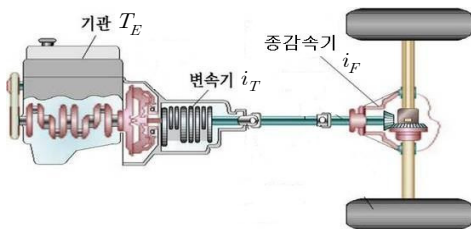
3.2 엔진 토크(Torque)

동일한 엔진 출력은 도로의 경사도에 따라 상승 경사에서는 감속, 하강 경사에서는 가속의 원인이 된다. 경사도가 엔진의 영향을 미치도록 하기 위하여 식(1)을 이용하여 경사각을 계산하고, 등판저항 식 $F_{Grad,n} = W \sin \theta_n [N]$ 을 이용하여 등판저항을 계산한다. 등판저항이 엔진 토크에 미치는 영향을 계산하기 위하여 이 값을 엔진 토크로 변환한다. 상승 경사에서는 등판저항을 발생 토크에서 감해주고 하강 경사에서는 더해준다. CRUISE 프로그램은 상승 경사에서 엔진 토크를 감해주면 정속으로 주행하기 위해서 연료를 더 소모하여 손실된 토크를 보상해주고, 하강 경사에서는 토크가 더해지므로 연료 소모를 감소시킨다. 그림 2는 자동차의 동력 전달장치를 보여준다.

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 토크, i_T 는 변속기의 변속비, i_F 는 종감속기의 회전 감속비, r_D 는 바퀴의 동반경 $[m]$ 이다.



[그림 2] 동력전달장치
[Fig. 2] Power train

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

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

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. 모의실험 및 고찰

도로의 모의주행을 위해 AVL사의 CRUISE 프로그램을 사용하였다.

그림 3은 모의실험에 사용한 CRUISE 프로그램을 보여주며, 특히 중앙의 타원은 경사도가 엔진 토크에 미치는 영향을 평가하기 위한 프로그램이다.

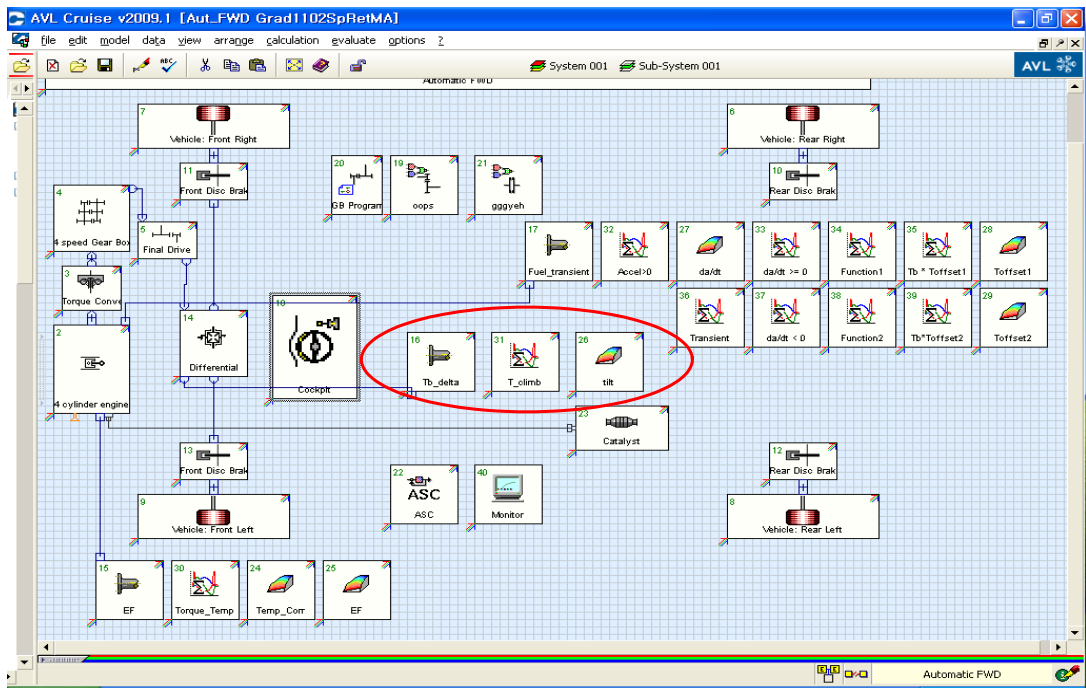
4.1 모의 실험

모의실험은 소나타NF 2,359cc 차량을 사용하여 전 구간을 시속 100km/h로 주행하였다. 모의 주행에 사용될 영동고속도로의 고도와 경사각은 그림 1에 보여주었다. 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 비교한다. 표 1은 2가지 방법으로 모의 실험한 결과를 정리한 표를 보여준다.

[표 1] 연료 소모량

[Table 1] Fuel consumption

	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

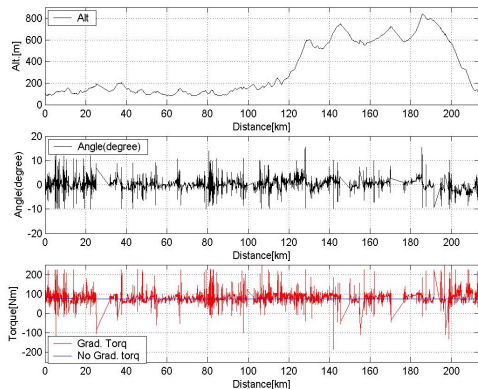


[그림 3] 경사도에 따른 토크 변환 CRUISE 프로그램
[Fig. 3] Torque conversion program according to gradient

4.2 고찰

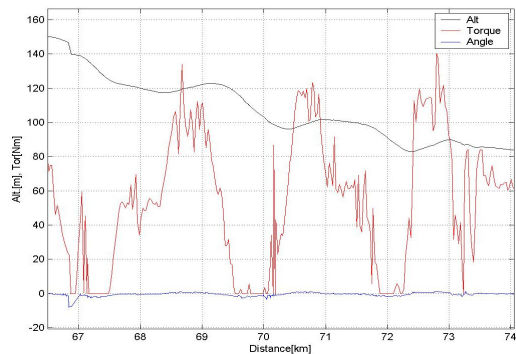
4.2.1 토크

그림 4는 고도, 경사각, 경사각이 없을 경우와 있을 경우의 토크를 보여준다. 그림 4의 3번째에서 경사가 없을 경우의 토크는 75.8Nm로 항상 일정하고, 경사가 있을 경우의 토크는 평균적으로 이보다 높은 곳에서 항상 변하고 있음을 알 수 있다.



[그림 4] 경사각이 있는 경우와 없는 경우 토크
[Fig. 4] Torque with and without gradient angle

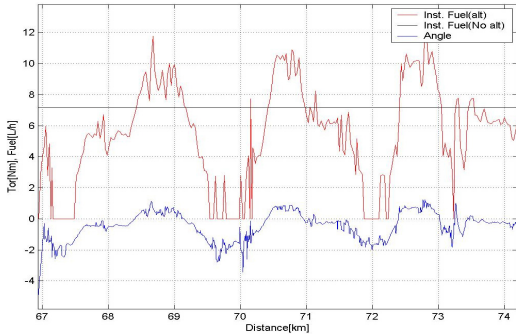
그림 5는 경사에 따른 엔진에서의 발생 토크를 약 67 km ~ 74km 구간을 확대하여 보여준다. 하강 경사에서 경사각이 '-' 값을 가질 경우 토크가 '0'이 되는 구간이 보인다. 이때는 식 (3)이 만족하여 차량이 연료를 소모함이 없이 정속을 유지하는 경우이다. 반면에 상승 경사가 급할수록 경사각의 '+' 값이 크므로 속도를 유지하기 위해서는 연료를 많이 소모하여 발생 토크를 크게 해야 한다.



[그림 5] 경사에 따른 토크
[Fig. 5] Torque according to gradient

4.2.2 연료 소모량

그림 6은 그림 5와 같은 구간의 순간 연료 소모량을 보여준다. 경사가 없는 경우는 항상 일정한 양의 연료를 소모하고 하강 경사가 없어 fuel-cut도 동작하지 않는다. 반면에 실제 도로의 경우 하강 경사 즉, 식(3)을 만족하는 ‘-’ 경사각에서는 fuel-cut이 동작하여 연료를 절약한다. 대신 상승 경사가 큰 곳에서는 연료 소모가 증가한다.



[그림 6] 순간연료 소모량
[Fig. 6] Instantaneous fuel consumption

표 1의 결과와 같이 영동고속도로에서 경사가 없는 일정한 고도일 경우 시속 100km/h로 정속주행하면 15.91 L의 연료소모와 13.41km/L의 연비를 보여준다. 반면 실제의 도로는 하강 구간에서 fuel-cut이 동작하여 연비를 개선하지만 전체적으로는 연비가 -5.4% 악화되었고, 연료는 0.913L 더 소모되었다. 경사의 영향으로 더 소모된 연료에 의해 엔진에서 소모된 총 에너지는 $0.913 L \times 0.76 kg/L \times 44,000 kJ/kg = 30,530 kJ$ 이 된다.

타이어 구동력 F_t 를 이용한 엔진 토크와 엔진 파워는 $T_{EG} = -r_D F_t / i_T i_F$, $P_{EG} = 2\pi N T_{EG} / 60$ 로 계산된다. 따라서 위의 식을 이용한 CRUISE 모의실험의 타이어 구동력으로부터 계산된 경사에 의해 소모된 엔진의 총 에너지는 $\left\{ \sum_{t=1}^{7686} P_{EG} \right\} \times t = 4,399 kJ$ 이 된다. 그러므로 에너지 변환효율은 $(4,399 \times 100) / 30,530 = 14.4\%$ 를 보여준다. 참고문헌 [6]에 의하면 중형 차량의 에너지 분배에서 구동력으로 변환되는 에너지 퍼센트는 12.6% ~ 20.2% 사이에 있어 본 논문의 실험 결과와 일치한다.

4.2.3 연비 향상 주행 방안

영동 고속도로를 100km/h로 정속 주행의 경우 경사가 없을 경우 보다 약 5.4% 연비가 악화되었다. 이를 극

복하는 방안으로 [5]의 연구 결과 오차속도 10% DCONTVEL 알고리즘(상승경사에서 속도 최대 10% 감속과 자연 가속되는 하강 경사에서 최대 10% 증속)의 연료소모가 15.835L로 경사가 없을 경우 15.910L 보다 약간 우수하다. 영동고속도로의 경우 경사를 극복하며 연비를 향상시키는 방안은 [5]에서 제안하는 DCONTVEL $\pm 10\%$ 의 경우이다.

5. 결론

본 논문에서는 고속도로에서 경사가 연비에 미치는 영향을 연구하였다. GPS 정보를 이용하여 도로의 거리와 고도를 수집할 수 있으므로 이를 이용한 경사도를 계산하여 모의 주행하면 경사도에 의한 연비 영향을 예측 가능하다는 것을 알았다.

영동 고속도로의 경우 100km/h로 정속 주행하는 방안보다 [5]에서 제안하는 DCONTVEL $\pm 10\%$ 알고리즘이 경사를 극복하며 연비를 향상시키는 방안임을 알았다.

그러나 이 이외의 경우는 본 논문의 경사를 무시한 경우 15.910L와 경사를 고려한 경우의 16.823L 사이에 연료 소모가 위치하여 경사를 극복하지는 못할지라도 일정 부분 연비향상에 기여함을 알았다.

References

- [1] J. H. Park, Y. I. Park, J. M. Lee, "Estimation of Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle When Driving on Road Including Grade", Transaction of KASE, Vol. 9, No. 3, pp.65~76, 2000.
- [2] JH Song, DJ Kim, CH Lee, CB Lee, "Simulation of Effect of Vehicle Driving Pattern on Fuel Consumption", KASE 2009 Annual Conference, pp. 2039~2044.
- [3] YS Park, SM Choi, HB Kwon, JS Kim, SB Um, SW Cho, "An Experimental Study on the Fuel Consumption Characteristics of Passenger Cars under various Driving Condition", KASE03-S001, 2003, pp. 3~8.
- [4] SH Choi, SB Choi, MH Son, "The Effect of Engine Idling stop for Vehicle Fuel Economy", KSAE09-J0016, 2009, pp. 64 ~ 65.
- [5] SC Choi, "Eco-driving Method at Highway including Grade using GPS Altitude data", J. KAIS, Vol. 12, No. 1, pp. 19 ~ pp.25, 2011.

- [6] John W. Mcauley, "Global Sustainability and Key Needs in Future Automotive Design", Environ. Sci. Technol. 2003, 37, pp.5414 ~ pp.5416.
-

최 성 철(Seong-Cheol Choi)

[정회원]



- 1988년 5월 ~ 1998년 2월 : LG 산전 선임연구원
- 1998년 2월 : 연세대학교 공학대학원 전자공학과 (전자공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 아주대학교 전자공학과 박사 수료

<관심분야>

자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크, 자동차전기전자, 정보통신, LED 조명제어

오 태 일(Tae-II Oh)

[정회원]



- 1990년 12월 ~ 1998년 2월 : 기아자동차 선임연구원
- 1990년 2월 : 서울대학교 공학대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 박사 수료

<관심분야>

자동차 NVH, 차량동역학, 파워트레인 마운팅