

GPS 데이터를 이용한 차량의 연료소모량 연산법 연구

A Study on Estimating Method of Vehicle Fuel Consumption Using GPS Data

고광호^{1*}

Kwang-Ho Ko^{1*}

〈Abstract〉

It's important to measure fuel consumption of vehicles. It's possible to monitor green house gas from vehicles for various traffic conditions with the measured data. It's effective to eco-drive for drivers with fuel consumption data also. There's a display of fuel consumption in the modern vehicles, but it's not useful to get the data from the display. An estimating method for fuel consumption of a vehicle is suggested in the study. It's a simple but an effective method using GPS data. The GPS data(speed, acceleration, road slope) and vehicle data(weight, frontal area, model year, certified fuel economy) is necessary to estimate the fuel consumption for the method. It calculates driving resistance force to estimate engine power. Then it estimates the necessary fuel consumption to maintain the engine power with fuel-power conversion factor. The conversion factor is corrected with certified fuel economy, model year and rated power. The precision of the methods is checked with road test data. The test driving data was measured with GPS and OBD. The error of the estimated fuel consumption for the measured one is about 1.8%. But the error is large for the 1000 and 100 data number from the total data number of about 10,000. The error is from the larger change range of the GPS data than the one of the measured fuel consumption data. But the proposed estimating method is useful to percept the fuel consumption change for better fuel economy with simple gadget like smart phone or other GPS instruments.

Keywords : Fuel Consumption, Eco-drive, GPS Data, OBD

^{1*} 평택대학교 스마트자동차학과 부교수
E-mail: kwangho@ptu.ac.kr

^{1*} Dept. of Smart Automobile, Associate Professor
E-mail: kwangho@ptu.ac.kr

1. 서론

차량의 연료소모량은 수송 분야의 온실가스 배출량을 결정하는 요소로, 정확한 연료소모량 계측은 중요한 연구 분야 중의 하나이다. 특히 다양한 도로 및 교통 조건에서 차량의 실시간 연료소모량을 정확하게 측정 혹은 추정할 수 있는 경우 다양한 이점이 있다. 정책 입안자의 경우 특정 도로에서 운행하는 차량에서 배출되는 온실가스를 적시에 관리할 수 있으며, 개인 운전자의 경우 운행조건에 따른 연료소모량 변화를 체감할 수 있어 경제운전을 도모할 수 있다.[1]

이러한 이점에도 불구하고 차량 제작사에서 제공하는 연료소모량은 차량의 계기판에서만 확인할 수 있어 그 활용성이 떨어진다. 계기판에 표출되는 연료소모량을 따로 기록하여 정리하는 방식은 불편하기도 하고 체계적인 이용도 어렵기 때문이다. 또한 차량의 엔진제어유닛(ECU, Engine Control Unit)에서 연료분사장치를 제어하여 그 연료소모량이 결정되는데, 이 값은 ECU 내부 데이터에 접근하여야 구할 수 있다. 차량 정비를 위한 표준 입출력포트인 OBD(On Board Diagnostics)에 전용 단말기를 연결하여야 실시간 연료소모량을 확인할 수 있다.[2] 이 경우 역시 고가의 전용장비를 사용하여야 하므로 그 활용성이 떨어진다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 GPS 데이터를 이용하여 차량의 연료소모량을 추정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. GPS의 경우 스마트폰에 기본으로 장착되어 있으므로 그 활용도가 높다. 또한 별도의 GPS를 장착한 단말기를 활용하는 경우에도 저렴하게 구현할 수 있으므로 유리하다.

본 연구에서는 GPS를 통해 얻을 수 있는 차량의 속도, 가속도 및 도로 구배 등을 이용하여 해당 차량에 가해지는 주행저항력을 계산하고, 이

저항력에 해당하는 차량 출력을 계산하는 방식으로 연료소모량을 연산한다. 또한 실도로에서 GPS 데이터 및 연료소모량 등을 측정하여 본 연구에서 제안한 연료소모량 연산법의 정확도를 검증하였다.

2. 연료소모량의 연산법

차량의 연료소모량을 추정하기 위해 주행저항력이 필요한데, 일반적인 차량의 주행저항력은 다음과 같이 계산할 수 있다.[3]

$$F = F_r + F_a + F_g + F_i \quad (1)$$

$$F_r = \mu Wg$$

$$F_a = 0.5 C_d \rho A v^2$$

$$F_g = Wg \sin\theta$$

$$F_i = Wa$$

F 주행저항력[N]

F_r 구름마찰저항력[N]

F_a 공기저항력[N]

F_g 구배저항력[N]

F_i 가속저항력[N]

μ 구름마찰계수

W 차중 [kg]

g 중력가속도[m/s²]

C_d 공기저항계수

ρ 공기 밀도[kg/m³]

A 전면투영면적[m²]

v 속도[m/s]

θ 도로의 경사각도[deg]

a 가속도[m/s²]

위에서 계산한 주행저항력에 해당하는 차량출력은 속도를 주행저항력에 곱하여 계산할 수 있다. 이 출력은 차량의 구동타이어에서 발생하는 출력으로 엔진에서 발생하는 출력으로 보정해 주어야 한다. 일반적으로 엔진에서 타이어까지 동력이 전달되는 과정에서 약 10% 정도의 출력 손실이 발생하므로 차량총출력 혹은 엔진출력은 다음과 같이 계산한다.[4]

$$P = \frac{1.1 \times Fv}{1000} \quad (2)$$

P : 차량총출력[kW]

앞에서 계산한 차량총출력을 유지하기 위해서는 연료소모가 필요하다. 차종별로 상이하나 일반적인 승용차량의 출력에 해당하는 연료소모량은 약 0.10cc/kW/sec 내외로 알려져 있다.[5] 즉 차량총출력 1kW를 유지하기 위해서는 초당 0.10cc 정도의 연료를 소모해야 한다. 이를 연료-출력 변환계수라고 부르는데, 당연히 차종이나 연비 수준에 따라 이 값은 변할 것이다. 이에 본 연구에서는 차량의 공인연비가 낮을수록, 차량의 연식이 오래될수록 연료소모량이 증가할 것으로 보고 연료-출력변환계수를 보정한다. 또한 현재 차량출력이 높을수록 연료효율이 저하되므로 역시 연료-출력변환계수를 출력 수준에 따라 보정하였다.

$$\zeta = (\zeta_b - C_v)(1 + \eta \frac{P}{P_{rated}}) \quad (3)$$

$$C_v = (FE - YY + MY) / 600 \quad (4)$$

$$\eta = \begin{cases} 0.25 & (\text{for Gasoline}) \\ 0.10 & (\text{for Diesel}) \end{cases} \quad (5)$$

ζ : 연료-출력변환계수[cc/kW/sec]

ζ_b : 기본 연료-출력변환계수[0.06cc/kW/sec]

C_v : 차량 보정계수

η : 연료-출력보정계수

P_{rated} : 정격출력[kW]

FE : 공인연비[km/L]

YY : 현재 연도

MY : 차량 연식(Model Year)

공인연비가 높을수록 연료소모율이 낮고, 연식이 오래될수록 연료소모율이 증가한다는 것을 고려하기 위하여 차량보정계수(C_v)를 도입하였다.

연료-출력보정계수(η)은 출력을 내기위해 필요한 연료소모량과 비례하는 값으로, 가솔린 차량이 디젤 차량에 비해 다소 높게 설정하였다. 이는 가솔린 엔진의 열효율이 디젤의 경우보다 다소 낮기 때문이다.[6] 또한 실시간 차량출력의 수준이 정격출력(최대출력)에 가까울수록 연료소모량이 증가하는 현상도 고려하였다.[7]

위 식들에서 공인연비, 연식, 정격출력 등은 차량등록증에서 확인할 수 있는 값이고, 당연히 차종에 따라 변하는 값이다.

최종적으로 실시간 연료소모율은 다음과 같이 계산하였다.

$$FC = \begin{cases} \zeta P & (\text{for Driving}) \\ FC_{idle} & (\text{for Idling}) \\ 0 & (\text{for Fuel-cut}) \end{cases} \quad (6)$$

FC : 실시간 연료소모율[cc/sec]

FC_{idle} : 아이들 상태의 연료소모율[cc/sec]

일반적인 주행상태의 경우 차량총출력과 연료-출력변환계수의 곱으로 연료소모율을 계산하고, 아이들 상태에서는 아이들링 연료소모율을, 연료차단

관성주행의 경우 연료소모율을 0로 계산하였다. 아이들링 연료소모율은 차종에 따라 변하나, 일반적인 승용차량의 경우 4.0mcc/sec 정도의 수준으로 알려져 있다.[8]

연료차단 관성주행의 경우에는 연료분사가 차단되므로 연료소모율이 제로가 된다. 또한 차량 가속도를 이용하여 연료차단 관성주행 여부를 판정하는 선행연구의 결과를 활용하였다.[9] 연료차단 관성주행은 엔진회전수 1200rpm 이상, 변속기 주행(Drive) 조건에서 가속페달을 방치하는 경우 개시되는데 이 때 연료분사를 중지하여 연비 개선을 도모하게 된다.[10] 선행연구에 의하면 차량 가속도가 주행저항력에 의한 가속도 값보다 큰 경우 관성주행으로 판정하는데, 이 경우 그 관성주행 판정 정확도는 약 80% 수준으로 측정되었다. 본 연구에서도 관성주행 여부는 이 기법을 그대로 적용하였다.

이상의 연료소모율 추정의 순서를 정리하면 Fig. 1과 같다. GPS를 이용하여 측정하기 쉬운 도로구배, 속도, 가속도 및 차량 정보(중량, 연식, 연비 등)를 이용하여 주행저항력을 계산하고, 이에 해당하는 차량출력과 차량총출력을 계산한다. 출력을 유지하기 위한 연료소모율을 연료-출력변환 계수로 계산한다. 다만 차량의 주행 상태(일반주행

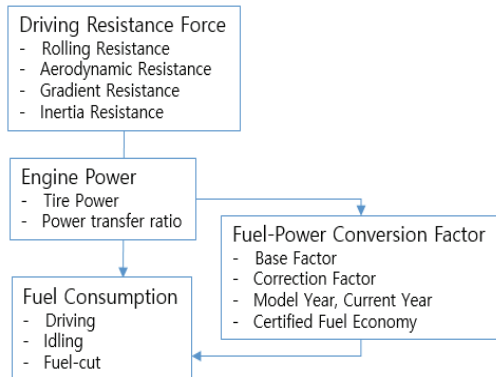


Fig. 1 Estimating Process for Fuel Consumption

/아이들링/연료차단관성주행)에 따라 실시간 연료소모율 계산 방식을 다르게 적용하였다. 특히 연료차단 관성주행 여부를 판정하는 방식은 선행연구 결과를 그대로 적용하였다.

3. 실험 방법 및 결과

앞에서 제안한 연료소모량 추정법의 정확도를 확인하기 위해 실도로 주행 실험을 수행하였다. 약 12km 정도의 국도를 주행하면서 도로구배, 차량속도, 가속도, 연료소모량 등을 측정하였다. 실험차량은 H사의 S모델로 2013년식 차량이다. 차량의 사양은 Table. 1에, 주행 데이터의 특성은 Table. 2에 각각 정리하였다.

Table 1. Test vehicle specification

Spec.	Data
Vehicle type	SUV
Model year	2013MY
Total weight	2245kg
Height	1680mm
Width	1880mm
Engine volume	1995cc
Certified fuel economy	14.4km/L
Fuel type	Diesel
Rated Power	135kW

Table 2. Test driving data

Data	Result
Driving Distance	12.76km
Driving fuel economy	12.71km/L
Speed (average/max.)	48.1 / 97.4km/h
Road gradient (average/max.)	0.75 / 8.6deg
Acceleration (min./max.)	-4.89 / 6.85m/s ²
Fuel consumption (min./max.)	0.0 / 80.6mcc/s

데이터 측정은 영국 레이서로직스(Racelogics)의 VBOX라는 장비를 사용하였다. 장비에 GPS가 내장된 타입으로 주로 모터스포츠 분야에서 사용되는 장비이다. OBD 데이터를 받을 수 있는 표준 임출력 포트가 장착되어 있어 차량의 연료소모량을 측정할 수 있어 널리 사용된다. 실험 장비인 VBOX의 사양은 Table. 3에 정리하였고, 실험을 위한 장비 세팅은 Fig. 2에 도시하였다.

Table 3. Specification of data logger(VBOX)

Spec.	Accuracy	Resolution	Unit
Heading	0.1°	0.01°	degree
Position	3m(X, Y), 10m(Z)		meter
Distance	0.05%	1cm	cm
Velocity	0.1km/h	0.01km/h	km/h
Acceleration	1%	0.01G	G

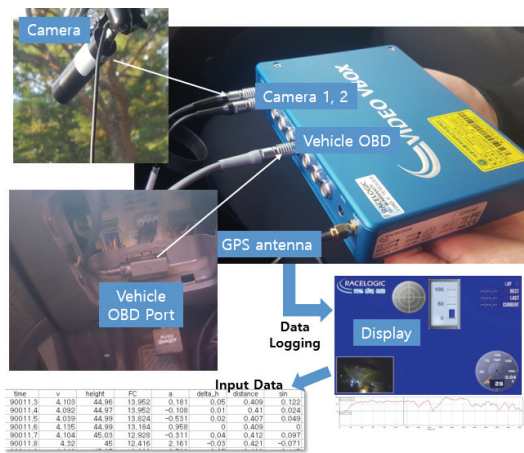


Fig. 2 Data logger(VBOX)

4. 연산법 검증 및 분석

앞에서 제안한 연료소모량 연산에 사용된 각종 계수값들은 Table. 4에 정리하였다. Table. 4의

계수값들을 적용하여 실험에서 측정된 속도, 가속도, 도로구배를 이용하여 계산한 연료소모량과 실험으로 측정된 연료소모량을 비교하면 Table. 5와 같다. 자세한 분석을 위해 Table. 5에는 400~500초 사이 구간에서 연료소모량 1,000개의 데

Table 4. Coefficients for Fuel Consumption Estimation

Coefficients	Value
μ , Rolling resistance coefficient	0.01
W , Vehicle weight	2000kg
C_d , Aerodynamic coefficient	0.45
ρ , Barometric density	$1.2\text{kg}/\text{m}^3$
A , Frontal area	2.8m^2
ζ_b , Base fuel-power conversion factor	$0.12\text{cc}/\text{kW}/\text{sec}$
η , Fuel-power correction factor	0.1
P_{rated} , Rated power	135kW
FE : Certified fuel economy	14.4km/L
YY : Current year	2020
MY : Model year	2013

Table 5. Fuel Consumption Results

No.	Conditions	Value
1	Time (sec)	0~954.2 (Total)
	Data Number	9542
	FC_Estimated (cc)	1021.1
	FC_Measured (cc)	1003.5
	Error (%)	1.8
2	Time (sec)	400.9~500.9
	Data Number	1000
	FC_Estimated (cc)	205.9
	FC_Measured (cc)	192.2
	Error (%)	7.1
3	Time (sec)	450.0~460.0
	Data Number	100
	FC_Estimated (cc)	14.4
	FC_Measured (cc)	15.8
	Error (%)	-8.9

이터에 대한 연산 및 측정 결과 비교와, 450~460초 사이의 100개 데이터에 대한 결과 비교도 함께 정리하였다. Table. 5의 No. 1이 전체 데이터, No. 2가 1000개 데이터, No. 3 이 100개 데이터에 대한 결과이다.

약 10,000개 정도의 전체 데이터에 대해서는 연료소모량 측정치 1003.5cc 에 대해 1021.1cc로 연산되었으므로 오차율 1.8% 수준이다. 분석을 위해 400~500초 구간의 1,000개 데이터에 대해 연료소모량을 비교한 No. 2에 대해서는 측정치 192.2cc에 대해 연산치 205.9cc이므로 오차율 7.1% 수준으로 다소 증가하였다.

450~460초 사이의 100개 데이터에 대해 분석한 No. 3 의 경우는 측정치 15.8cc에 대해 연산치 14.4cc로 오차율이 -8.9% 수준이다. 오차율이 양의 값인 경우는 연산치가 측정치보다 크고, 음의 값인 경우는 측정치보다 연산치가 작은 경우에 해당한다.

전체 데이터에 대해서는 오차율이 1.8% 수준으로 정확도가 높다고 할 수 있지만 특정 구간에 대해서는 다소 오차율이 증가함을 알 수 있다. 400~500초 구간의 연료소모량 데이터와 450~460초 구간의 연료소모량 데이터를 그래프로 도시한 것이 Fig. 3이다. Fig. 3에서 상단 그래프가 1000개 데이터를 도시한 것으로 연산 결과가 측정결과에 비해 빠르게 증감하여 그 변화폭이 큼을 알 수 있다. 상단 그래프의 중앙 부분에 해당하는 450~460초 구간의 100개 데이터를 살펴보면 좀 더 완만하게 변화하는 측정치에 비해 연산치는 다소 급하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 이는 연산 과정에서 사용하는 도로구배, 속도, 가속도의 GPS 데이터의 변화 정도가, ECU가 제어하는 연료소모량 변화에 비해 다소 크기 때문인 것으로 판단된다.[11] 주행 조건이 변화하더라도 차량의 연료소모량 자체는 다소 완만하게 변화하여 안정성을 도모하는 것으로 판단된다.

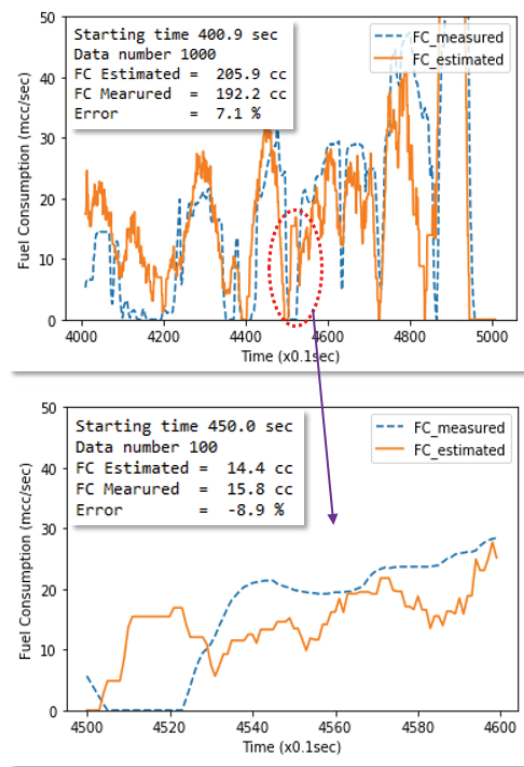


Fig. 3 Fuel Consumption Results

차량의 ECU가 제어하는 연료소모량은 다소 완만하게 변화하지만 GPS에서 수신된 도로구배, 속도, 가속도 데이터는 빠르게 변화하여 이들 데이터를 기반으로 연산된 연료소모량 결과는 그 변화폭이 큰 것이다. 이 때문에 특정 구간에서는 오차율이 양의 방향으로 혹은 음의 방향으로 크게 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 이러한 변화 정도가 주행 데이터 전체적으로 서로 상쇄되어 그 정밀도를 어느 정도 확보한 것으로 판단된다.

앞에서 설명했듯이 본 연구에서는 GPS 데이터를 이용하여 연료소모량 데이터를 연산하는 기법을 제안하는 것이 목표이다. 다소 특정 구간에서는 오차율이 크지만 그것이 전체적으로 상쇄되어 정확도를 확보할 수 있고, Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 연료소모량 변화 경향 자체는 상당히 근사

한 수준으로 추종하는 연산기법으로 사료된다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 연산법은 정밀한 계측기 수준은 아니지만 연료소모 경향을 확인하고, 총 주행구간에 대해서는 상당한 수준으로 연료소모량을 연산할 수 있는 기법으로 판단된다.

5. 결론

차량의 연료소모량을 추정할 수 있으면 운전 조건에 따른 연료소모량의 변화를 인식할 수 있어 자연스럽게 친환경운전을 도모할 수 있고, 연료소모량을 관리할 수 있어 유용하다. 하지만 차량의 계기판에 장착된 연비 표시기의 경우 연료소모량 데이터를 얻어 내기가 어려워 그 활용도가 떨어진다.

본 연구에서는 GPS 데이터인 도로구배, 속도, 가속도 및 차량 등록증에서 확인할 수 있는 차량 데이터를 활용하여 연료소모량을 연산할 수 있는 기법을 제안하였다.

본 연산 기법에서는 차량의 주행저항력을 계산하고 이에 해당하는 차량 출력을 연산한다. 다음으로 차량 출력을 유지하기 위한 연료소모량을 연산한다. 이 과정에서 연료-출력 변환 계수를 연식, 공인연비, 현재의 차량 출력 수준에 따라 보정하는 식을 제안하였다.

제안한 연산 방식을 검증하기 위해 실도로 주행 실험을 수행하여 도로구배, 속도, 가속도 및 연료소모량을 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 연산된 연료소모량과 측정된 연료소모량은 1.8% 수준의 오차 범위에서 일치하였다.

스마트폰이나 간단한 GPS 장치를 이용하면 쉽게 연료소모량을 연산할 수 있어 친환경운전 도모나 연료소모량 관리 등의 목적으로 본 연산법을 사용하면 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] K. Ko & S. Choi, "A Study on the Improvement of Vehicle Fuel Economy by Fuel-cut Driving," *Journal of the KAIS*, vol.13, no.2, pp. 498-503, (2012).
- [2] S. Kwon, M. Kang, Y. Seo & S. Park, "Effects of Test Conditions on Fuel Economy of Gasoline-powered Vehicle," *International Journal of Automotive Technology*, vol.19, no.2, pp. 253-261, (2018).
- [3] D. Kang & M. Kim, "Determination of the road load on electric two-wheelers using the torque-current relationship of the drive motor," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol.30, no.9, pp. 4023-4029, (2016).
- [4] U. Lee, "A Proposition for New Vehicle Dynamic Performance Index," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol.23, no.4, pp. 889-893, (2009).
- [5] S. Sato, T. Yamamoto & Y. Ogawa, "Research on Measurement Method of Road Gradient and Altitude by On-Road Driving," *Transactions of the SAEJ*, vol.39, no.5, pp. 163-168, (2009).
- [6] O. Kweon, C. Park & B. Oh, "A Study of Increasing Regeneration Energy and Braking Using Super Capacitor(EDLC)," *Transactions of the KSAE*, vol.14, no.6, pp. 24-33, (2006).
- [7] K. Ko, S. Jeong, I. Yoo, S. Lee & J. Kim, "An Experimental Study on Reduction of CO₂ Exhausted Emission by Using Fuel-cut Function of Vehicles," *Transactions of KSAE*, vol.18, no.1, pp. 86-92, (2010).
- [8] K. Ko, "The Change Rate of Fuel Consumption for Different IRI of Paved Roads," *International Journal of Highway Engineering*, vol.12, no.1, pp. 55-59, (2010).
- [9] K. Ko, "A Study for Detecting Fuel-cut Driving of vehicle Using GPS," *Journal of Digital Convergence*, vol.17, no.11, pp. 207-212, (2019).
- [10] S. Choi, K. Ko & I. Jeung, "Optimal Fuel-cut Driving Method for Better Fuel Economy,"

International Journal of Automotive Technology,
vol.14, no.2, pp. 183-187, (2013).

- [11] W. Shon, S. Yu, Y. Kim and C. Han, "Wide-Range Mapping Methodology for Unmanned Ground Vehicle Based on DGPS", Journal of The Korean Society of Industry Convergence, vol.13, no.2, pp. 85-92, (2010)

(접수: 2020.10.19. 수정: 2020.10.31. 게재확정: 2020.11.02.)