

GPS 고도 데이터를 이용한 경사가 있는 고속국도에서 에코드라이빙 방안

최성철^{1*}

¹아주자동차대학 자동차계열

Eco-driving Method at Highway including Grade using GPS Altitude data

Seong-Cheol Choi^{1*}

¹Division of Automobile, Ajou Motor College

요 약 최근의 차량 연비는 환경 규제 및 고가의 연료 가격으로 인하여 중요한 문제로 대두되었다. 연비 향상을 위한 기술 개발은 엔진, 파워트레인 등 차량의 많은 구성품들의 성능을 개선하였다. 따라서 연비는 많이 향상 되었으나 연비 측정은 현재도 주어진 모드(LA-4, FTP-75 등)에서 컴퓨터 모의시험 및 다이노미에서 수행한다. 본 논문에서는 실제 도로의 연비 향상 방안을 도출하기 위하여 약 213Km 영동고속도로를 제안하는 3가지 다른 알고리즘으로 모의 주행하였다. 이를 위해 GPS 수신 데이터 중에서 거리와 고도 데이터를 추출하여 각 구간의 경사도, 주행저항을 계산, 알고리즘에 따른 속도 프로파일을 약 213Km 전 구간에 대해서 완성하였다. 이 속도 프로파일로 컴퓨터를 이용한 AVL Cruise 프로그램으로 모의 주행하여 연비를 산출하고 Eco-driving 방안을 제안한다.

Abstract A vehicle fuel economy is very important issue in view of fuel cost and environmental regulation. The technology development for the fuel economy improvement improved the engine, power train and many components of vehicle. So, the fuel economy is much improved, but up to now the measurement of it tests the given mode(LA-4, FTP-75, etc) within computer simulation program and engine dynamo. In this paper, to deduct the method of its improvement of real road, the test vehicle ran 213Km Youngdong real highway using 3 different algorithms in computer simulation. For this, I extracted the distance and altitude data from received GPS data and calculated the grade angle, road load and accomplished the velocity profiles according to algorithms in all 213Km distance. The vehicle runs in computer with AVL Cruise simulation program using velocity profile. I calculate the fuel economy using AVL Cruise simulation result and propose the Eco-driving method of them.

Key Words : Grade, Road load, Velocity profile, Fuel economy

1. 서론

차량의 화석 연료 사용량에 따른 지구 환경 오염 및 온난화의 영향은 매우 중요한 요인임은 이미 알려진 사실이다. 자동차 회사들은 1970년 이후에 전자 및 반도체 CPU(central processing unit), 센서, 액츄에이터 등이 급격히 발달함에 따라 자동차 엔진, 변속기, 발전기 등에 전자제어를 적극 응용 적용함으로써 차량의 연비를 꾸준히

향상시켜왔다. 차량의 기계적인 구조개선 즉, GDI엔진, 동력전달장치 효율 개선, 경량화, 저항감소 등도 이루어 연비 향상에 기여하였다[1]. 또한 운전자의 운전 패턴 역시 중요한 요인이고, 특히 도로의 경사를 고려한 운전 패턴은 연비 향상에 아주 중요한 요소이다[2]. 급가속, 급정지, 과속, 저속 등은 운전자의 운전 패턴에 따른 연료 과소모의 대표적인 사례이다. [2-4]의 연구에서 연비 향상을 위한 연구는 많이 진행되었으나, [2]에서는 경사를 고

*교신저자 : 최성철(csc@motor.ac.kr)

접수일 10년 12월 06일

수정일 10년 12월 15일

게재확정일 11년 01월 13일

려하고도 실제 도로가 아닌 특정 주행 모드에서, [3]에서는 경사를 고려하지 않은 초기 가속 특성과 주행 패턴에 대하여, [4]에서는 경사를 고려하지 않은 주로 주행 속도에 관하여 연구하여 경사를 고려한 실제 도로에서의 연구는 찾아보기 어렵다. [5]에서는 가솔린 차량의 요소별 연료 소모량을 계산하여 연비 향상 방안을 제시하였지만 주행에 관한 실험을 하지 않았다. [6]은 주행저항의 여러 요소가 연비에 미치는 영향을 연구하였다. 기존의 연구와 논문은 요소별 연비 개선 방안, 기 개발된 특정 모드에서의 연비 시험 등은 많이 찾아 볼 수 있다.

그러나 수신도인 GPS의 고도와 거리 데이터를 이용한 다음 지점의 속도를 예측하여 실제 도로를 주행한 연구는 거의 없다. 본 논문에서는 실제 고속도로인 경사가 심한 영동고속도로 주행시 연비 향상을 위한 에코 드라이빙 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 GPS를 장착한 차량을 이용하여 영동고속도로의 거리와 고도 데이터를 취득하여 차량의 ECU에 미리 저장한다. 이제 차량을 실제 주행하면서 수신된 현재 위치의 거리, 고도 데이터와 ECU에 저장되어 있는 다음 지점의 거리, 고도 데이터를 이용하여 차량의 속도를 계산, 예측하여 213Km의 영동고속도로의 속도 프로파일을 생성하고 제안하는 3가지 알고리즘으로 모의 주행하였다. 모의실험은 소나타NF 차량을 모델링하여 AVL사의 Cruise 프로그램에 입력하여 경사에도 불구하고 ①정속주행(CCONTVEL) 알고리즘, ②하한속도제어(DCONTVEL) 알고리즘, ③상한속도제어(UCONTVEL) 알고리즘 등 3가지를 경제속도에 오차 속도를 -1, -3, -5, -7, -10%를 주어 실험하였다. 주행한 결과를 토대로 연료 소모를 최소화 하면서 주행할 수 있는 최적의 Eco-driving 방안을 도출한다. GPS 고도 데이터의 불완전 수신에 의한 에러 및 터널에서의 고도 문제를 해결하기 위하여 필터를 설계하여 처리하였다.

GPS 고도 데이터 필터링을 위하여 Visual C++를, 속도 프로파일 계산 및 예측, 결과 그래프를 위하여 Matlab을, 모의실험을 위하여 AVL사의 Cruise를 사용하였다. 2장은 GPS 데이터 필터링 및 주행저항, 3장은 속도 프로파일 및 제어 알고리즘, 4장은 모의실험 및 결과 고찰, 5장은 결론에 대하여 논의 한다.

2. GPS 데이터 필터링 및 주행저항

속도 프로파일을 계산하기 위해서는 우선 GPS 고도 데이터를 필터링을 해야 한다. 그리고 경사도를 고려한 주행저항을 계산하여 기존의 속도에 반영하여야 한다.

2.1 GPS 데이터 필터링

그림 1은 GPS 수신데이터를 보여주는데 GPS 수신 데이터는 6가지 데이터가 0.2초 주기로 끊임없이 수신된다. 여기에서 필요한 데이터는 두 번째 'Distance'와 다섯 번째 'Altitude'이다.

```
time,Distance,latitude,USPD,Altitude,Longitude
0,0,2239.3513,0,105.59,-7614.4668
0.2,0,2239.3513,0,105.58,-7614.4668
```

[그림 1] GPS 수신 데이터

취득한 GPS 데이터는 약 50,000라인 이상으로 중복, 오류 데이터가 포함되어 있다. 데이터 필터링은 차량이 정지하여 중복된 데이터는 삭제하고, 수신 불량으로 튀는 현상은 제거하였으며, 터널진입 등으로 고도가 '0'이 되는 경우는 처음과 끝을 이어주었다. 그림 2는 영동 고속도로 213km 구간의 필터링 되지 않은 GPS 고도 데이터를 보여주며, 그림 3은 Visual C++를 이용하여 필터링한 데이터를 일부 확대하여 보여준다.

2.2 주행 저항

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

$$F_r = F_R + F_{Aero} + F_{Grade} + F_{Acc} \quad (1)$$

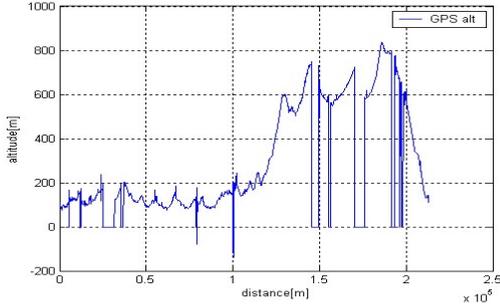
이다.

본 논문에서는 연비 향상을 위한 주행 방안에 관한 것이므로 평지를 주행할 때 가능하면 정속을 유지하여 가속 저항을 가능하면 줄인다. 다만 하강 경사의 등판저항 절대 값이 구름저항과 공기저항의 합 보다 큰 경우에는 가속도가 발생하므로 가속저항을 고려한다. 즉, 식(2)와 같은 조건을 만족할 때이다.

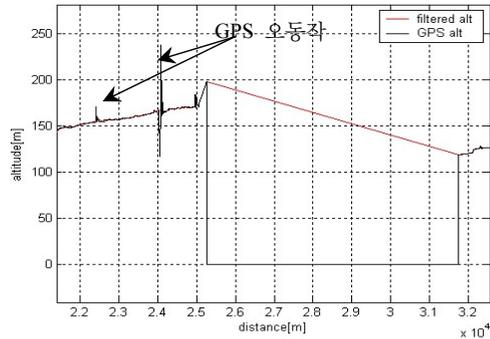
$$|F_{Grade}| > F_R + F_{Aero} \quad (2)$$

평탄한 도로의 주행저항은 $F_r = F_R + F_{Aero}$ 로 표현되고, 상승 경사와 식(2)를 만족하지 않는 하강 경사의 주행저항은 $F_r = F_R + F_{Aero} + F_{Grade}$ 로 표현되며, 식(2)를 만족하는 하강 경사의 주행저항은 $F_r = 0 (= F_R + F_{Aero} - F_{Grade} + F_{Acc})$ 로 표현된다. 따

라서 등판저항 F_{Grade} 는 영동고속도로가 포함하는 경사도가 그림 2와 같아서 차량 속도 프로파일 계산에 변수가 된다.



[그림 2] GPS 수신데이터의 거리와 고도



[그림 3] 필터링한 거리와 고도 데이터

등판저항 계산에 필요한 n 번째 경사각 θ_n 은,

$$\theta_n = \arctan\left(\frac{alt_{n+1} - alt_n}{d_{n+1} - d_n}\right) \quad (3)$$

로 계산되고, 식(4)를 만족하는 경우 가속도 a_n 은,

$$a_n = \frac{|F_{Grade(n+1,n)}| - (F_{R,n} + F_{Aero,n})}{W + \Delta W} \quad (4)$$

로 계산된다. $W, \Delta W$ 는 차량의 중량과 회전부분의 상당 질량이다. 이제 이 가속도에 의해 증가된 속도를 ΔV_{n+1} 계산하고 이를 V_n 에 더하면 V_{n+1} 번째 속도가 계산된다. 즉,

$$V_{n+1} = V_n + \Delta V_{n+1} \quad (5)$$

로 표현된다. 따라서 이 변경된 속도를 공기저항에 반영하고 주행저항을 계산하여야만 정확한 연료 소모를 측정

할 수 있다.

3. 속도 프로파일 및 제어 알고리즘

3.1 속도 프로파일(Velocity Profile)

약 213Km의 영동 고속도로를 모의 주행 하기위해서는 추출된 GPS의 고도와 거리 데이터를 이용하여 속도 프로파일 생성은 필수적이다. 특히 경사도에 따른 등판저항의 변화는 차량의 속도에 영향을 주고 결국 주행저항으로 이어져 연료소모에 영향을 준다. 즉, 상승 경사일 경우는 등판저항이 항상 엔진에 부하를 가해 연료를 더 소모하게 하지만 하향 경사일 경우 아래 식(2)를 만족할 경우는 연료를 소모하지 않고도 속도가 가속된다. 물론 식(2)를 만족하지 않는 하향 경사에서는 연료를 더 소모해야 현재 속도를 유지하든지 가속이 된다.

하한속도제어(DCONTVEL) 알고리즘과 상한속도제어(UCONTVEL) 알고리즘은 주행하고자 하는 도로의 거리와 고도 데이터를 미리 차량의 ECU에 저장한다. 이제 차량을 주행하면서 수신된 현재 위치의 GPS의 고도와 거리 데이터를 추출하여 이미 저장되어 있는 다음 위치의 거리와 고도 데이터를 이용하여 경사각을 계산, 이를 이용하여 등판 저항을 계산한다. 하향 경사에서 계산된 등판저항이 구름저항과 공기저항의 합보다 크다면 그 차이는 차량을 가속시킨다. 식(4)을 이용하여 가속도를 계산한 후, 속도로 변환하여 현재 속도와 더하면 다음 지점의 속도가 된다. 상승 경사에서는 항상 감속도가 발생되어 다음 지점의 속도가 최대 0Km/h까지 감속될 수 있지만 알고리즘에서 제한한 최대 오차로 제한하여 하한속도를 맞춘다. 이러한 과정을 GPS 수신 데이터를 기초로 하여 약 213Km 전 구간을 제한하는 알고리즘에 따라 속도 프로파일을 생성한다.

3.2 알고리즘

알고리즘에 사용되는 변수를 아래와 같이 정의한다.

- ① 최고속도 V_{max} : 110Km/h
- ② 경제속도 V_e : 100Km/h
- ③ 최저속도 V_{min} : $V_{min} = V_e - V_{err}$
- ④ 오차속도 V_{err} : 경제속도의 ‘·’ % 속도
- ⑤ 임계각 θ_e : 식(8)이 성립하는 등판각

$$|F_{Grade}| = F_R + F_{Aero} \quad (6)$$

3.2.1 정속주행(CCONTVEL) 알고리즘

이 알고리즘은 213Km 영동 고속도로를 항상 일정한 속도로 주행하는 방안이다. 그림 2에 보여주는 거리에 따른 경사도에 관계없이 항상 정속(경제속도 100Km/h)로 주행한다.

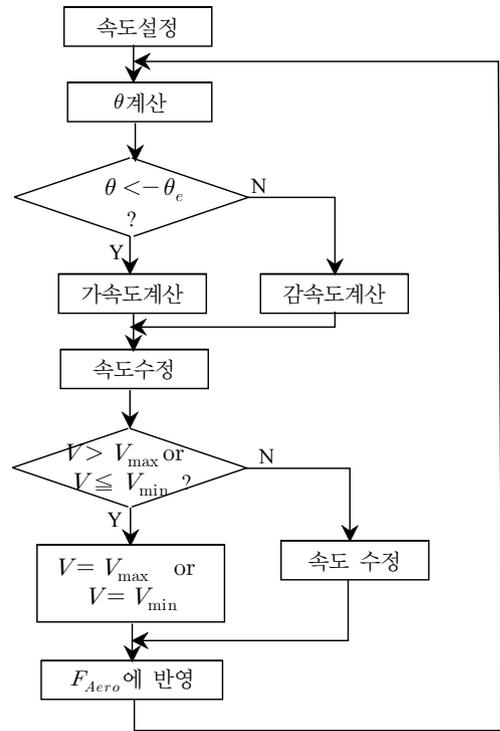
3.2.2 하한속도제어(DCONTVEL) 알고리즘

제안하는 알고리즘은 경사각 θ 가 ① $\theta < -\theta_e$ 일 때 가속되어 최종적으로 최고속도까지 증가하고, ② $\theta \geq -\theta_e$ 일 때 점차 감속되어 최저속도까지 감소하여 주행한다.

이 알고리즘의 속도 프로파일은 3.1절의 방법을 이용하여 생성한다.

3.2.3 상한속도제어(UCONTVEL) 알고리즘

제안하는 알고리즘은 경사각 θ 가 ① $\theta < -\theta_e$ 일 때 가속되어 최종적으로 최고속도까지 증가하고, ② $-\theta_e \leq \theta < \theta_e$ 일 때 점차 가/감속되어 경제속도로 주행하며, ③ $\theta \geq \theta_e$ 일 때 점차 감속되어 최저속도로 주행한다.



[그림 4] DCONTVEL 플로우차트

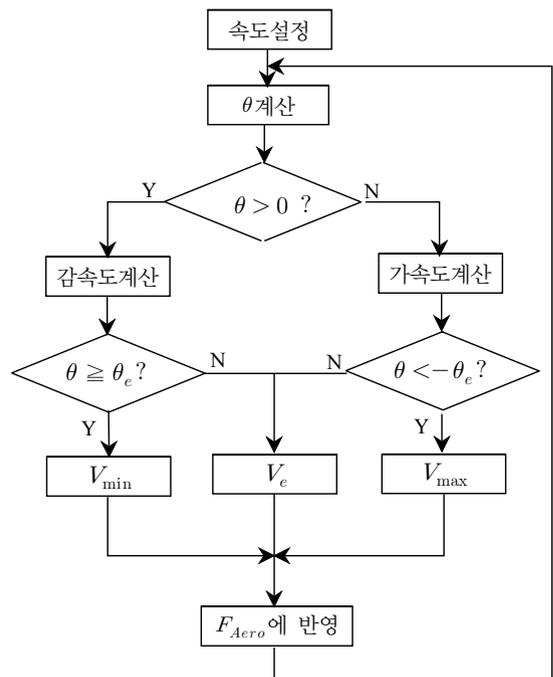
3.2.4 알고리즘의 속도 프로파일

제안한 3가지 방안의 속도 프로파일을 그림 6에 보여 준다. DCONTVEL의 속도 프로파일은 주로 최저속도로 주행하다가 하강 경사를 만나면 가속되어 최고 속도까지 가속하여 주행한다. 반면 UCONTVEL의 속도 프로파일은 주로 경제속도에서 주행하다가 $\theta > \theta_e$ 인 상승경사에서는 감속하여 최저속도 까지, $\theta < -\theta_e$ 인 하강 경사에서는 가속하여 최고속도까지 증가하여 주행한다.

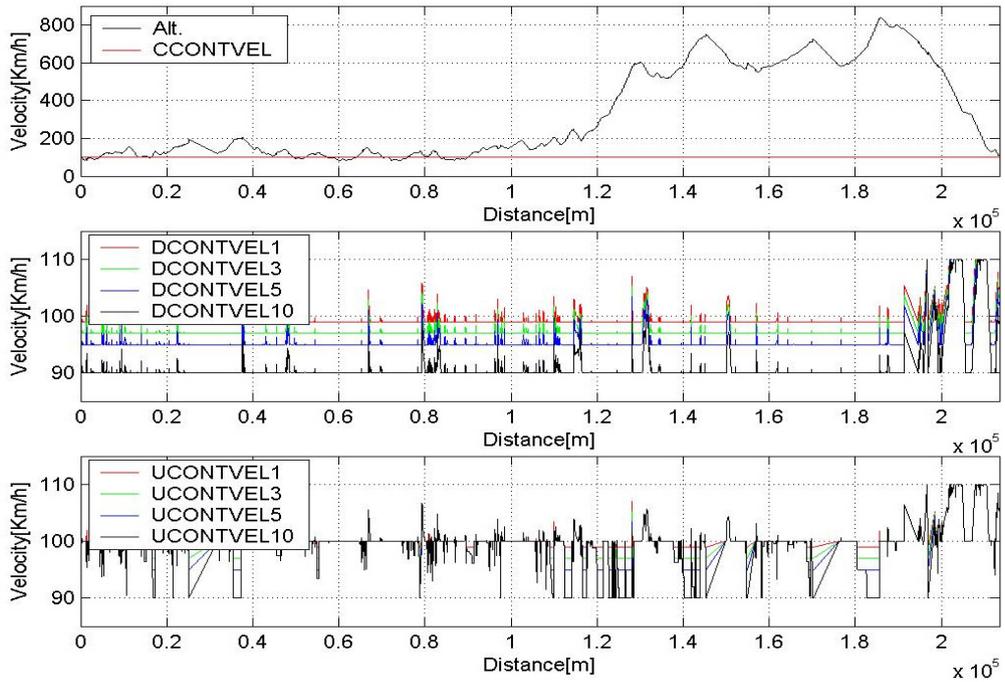
4. 모의실험 및 고찰

4.1 모의실험

3장에서 설명한 방법으로 제안하는 알고리즘으로 모의 실험하여 그 결과를 표 1에 정리 하였다. 모의실험에 사용된 차량은 소나타NF 2,359cc를 사용하였다. 실험에 사용된 GPS 거리는 213.319Km 이지만 경사를 고려한 실제 거리는 213.472Km로 계산되어 연비에는 이 거리를 사용한다.



[그림 5] UCONTVEL 플로우차트



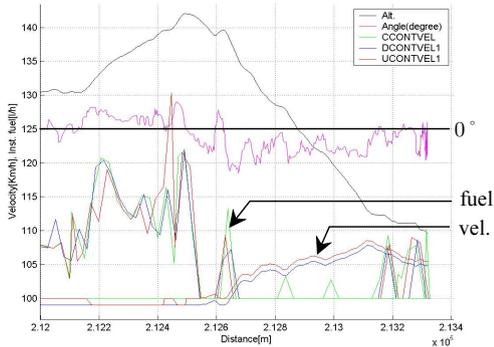
[그림 6] 알고리즘에 따른 속도 프로파일

[표 1] 연료 소모량 및 연비

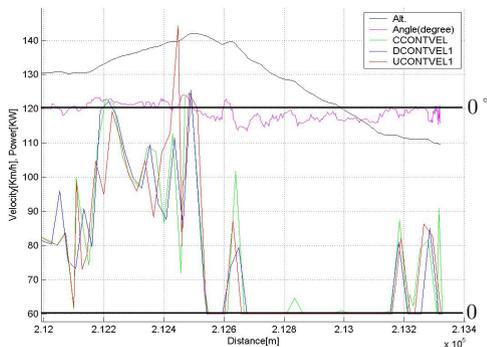
알고리즘		평균 속도 (Km/h)	연료소모량 (L)	연비 (Km/L)	향상 (%)	주행시간 (시간:분:초)
CCONTVEL		100	16.880	12.646	0	2:08:00
1%	DCONTVEL	99.494	16.525	12.918	2.2	2:08:31
	UCONTVEL	100.232	16.563	12.888	1.9	2:07:39
3%	DCONTVEL	97.584	16.259	13.129	3.8	2:11:02
	UCONTVEL	99.929	16.355	13.052	3.2	2:08:11
5%	DCONTVEL	95.680	16.184	13.190	4.3	2:13:38
	UCONTVEL	99.708	16.252	13.135	3.9	2:08:40
7%	DCONTVEL	93.782	16.088	13.269	4.9	2:16:20
	UCONTVEL	99.534	16.161	13.209	4.5	2:09:06
10%	DCONTVEL	90.944	15.835	13.481	6.6	2:20:36
	UCONTVEL	99.308	16.028	13.319	5.3	2:09:42

4.2 고찰

주행 시험 결과 평균시속이 낮을수록 연비가 우수하다. 그러나 평균시속 100Km/h 인 CCONTVEL의 연비보다 100.232Km/h 인 UCONTVEL 오차 1%의 경우가 1.9% 더 우수한 결과를 보여준다. 그 이유는 그림 8의 순간연료 소모량 그래프에서 CCONTVEL은 경사각이 ‘+’인 경우 정속을 유지하기 위해 다른 알고리즘보다 약간 더 연료를 사용하고, ‘-’ 경사인 경우는 두 알고리즘이 fuel-cut 사용으로 연료소모가 ‘0’일 때도 연료소모를 하면서 주행하기 때문이다. UCONTVEL은 $-\theta_e \leq \theta < \theta_e$ 일 때 경제속도를 유지하기 위해 연료를 많이 사용해야 하지만 DCONTVEL은 최저속도까지 감속하여 주행하므로 연료소모가 적다. 따라서 DCONTVEL의 연비가 가장 우수하고 UCONTVEL, CCONTVEL의 순으로 나타났다. 특히 UCONTVEL의 212.4 Km 부근의 연료량의 급격한 증가는 경사가 $0 \leq \theta < \theta_e$ 일 때 경제속도에 맞추기 위해 속도를 증가시키기 위한 것으로 판단된다.



[그림 7] 순간 연료소모량



[그림 8] 파워

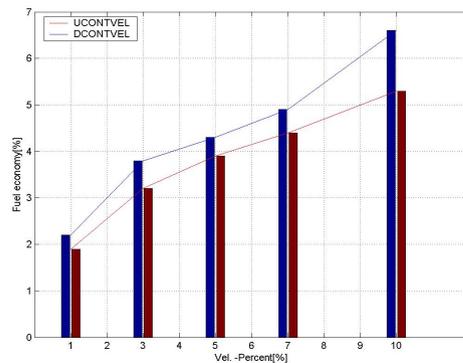
그림 8은 각 알고리즘의 파워를 보여준다. 엔진의 파워는 연료소모량에 비례하므로 그림 7의 파형과 거의 비슷하다. UCONTVEL의 212.4 Km 부근의 급격한 파워 증가는 그림 7의 경우와 같은 방법으로 해석이 된다.

5. 결론

그림 9는 모의 실험한 연비 향상도 그래프를 보여준다. DCONTVEL 알고리즘이 UCONTVEL 알고리즘보다 우수한 연비 개선 성능을 보여준다. 특히, DCONTVEL -3%의 경우가 평균시속 97.584Km/h, 주행시간 2시간 11분 2초로 CCONTVEL 대비 2.416Km/h 낮고, 3분2초 더 걸렸지만 연비개선에 있어서 상대적으로 3.8%(UCONTVEL 대비 0.6% 더 향상)의 높은 효과를 보였다. DCONTVEL -10%인 경우 시간은 많이 걸리지만 연비 개선 효과가 6.6%로 우수하여 시간이 여유롭다면 주행할 만하다. 그러나 고속도로인 관계로 경제속도를 어느 정도 유지하면서 연비를 향상할 수 있는 DCONTVEL3를 Eco-driving 방안으로 제안한다.

일반적으로 속도가 낮으면 연비가 향상되는 경향이 있다, 그러나 UCONTVEL 오차 1%는 평균 속도가 CCONTVEL보다 빠르면서도 연비가 좋은 이유는 전방에 상승경사가 예측되면 선제적으로 속도를 올려주어 상승 경사에서 속도를 줄이면서 주행하면 연비를 절약할 수 있기 때문으로 판단된다.

수신된 GPS 고도와 거리 데이터를 미리 차량에 장착하고, 현재 주행하면서 수신된 위치의 고도와 거리 데이터를 이용한 주행저항을 계산하여 연비를 개선할 수 있는 새로운 방안을 제안하였다. 향후 더 연구되어야 할 분야로는 연비를 개선하면서 정속 주행할 수 있는 방안으로 사료된다.



[그림 9] 연비 향상도

참고문헌

- [1] 한태식, “자동차 연비 개발 동향”, 오토저널, 23권 2호, pp. 65~67, 4월, 2001.
- [2] 박진호, 박영일, 이장무, “경사가 포함된 도로의 주행시 실제 주행연비 예측”, 한국자동차공학회논문집, 제8권 제3호, pp. 65~76, 3월, 2000.
- [3] 송준형, 김덕진, 이천환, 이춘범, “차량 운전 특성에 따른 연비성능 시뮬레이션”, KASE 2009 Annual Conference, pp. 2039~2044
- [4] 박용성, 최선모, 권해봉, 김종수, 엄성복, 조성우, “자동차 운전조건에 따른 연료소모 특성에 관한 실험적 연구”, 한국자동차공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, pp. 3~8
- [5] 유명철, 송해박, 이종화, 유재석, 박영무, 박경석, “가솔린 차량의 각 요소별 연료 소모량 분석을 위한 실험적 연구”, Transaction of KASE, Vol. 12, No. 1, pp.153~161, 2004.
- [6] 정영재, 유영우, 류춘근, 장호준, 배구병, “Road Load 및 AT shift pattern에 의한 차량 연비 및 동특성 거동에 관한 고찰”, 2010 KASE 부문종합 학술대회, pp. 1~6

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