

<기술논문>

고속도로에서 GPS 거리와 고도데이터를 이용한 연비 향상 정속 순항 제어 알고리즘

최 성 철*¹⁾ · 이 종 화²⁾

아주자동차대학 자동차계열¹⁾ · 아주대학교 기계공학과²⁾

Fuel Economy Improvement Cruise Control Algorithm using Distance and Altitude Data of GPS in Expressway

Seong-cheol Choi*¹⁾ · Jong-hwa Lee²⁾

¹⁾Department of Automotive Engineering, Ajou Motor College, Chungnam 355-769, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 422-749, Korea

(Received 12 January 2011 / Accepted 19 May 2011)

Abstract : A vehicle fuel economy is very important issue in view of fuel cost and environmental regulation. It has been improved according to the performance improvement of the vehicle engine, power train and many components. It was evaluated at given mode (LA-4, FTP-75, etc) on an engine dynamometer or computer simulation program.

In this paper, the fuel economy improvement cruise control algorithms as controlling a vehicle velocity by road load calculated and predicted in a real expressway with gradient was studied. Firstly, the altitude and distance data which was measured with GPS sensor was already installed in the ECU of a vehicle. Then the vehicle equipped with GPS receiver is driven the same expressway. The ECU calculates the gradient angle and the in-/decreasing velocity using the gradient angle by comparing the current received distance and altitude data from GPS with the saved data ahead of the vehicle. Therefore the ECU can calculate and predict the vehicle velocity considering tolerance velocity of next position with running. Then the ECU controls the vehicle velocity to meet this predicted velocity in all section.

Three cruise control algorithms with the different velocity profiles for the improvement of fuel economy are proposed and compared with the computer simulation results that the vehicle runs on Youngdong expressway. The proposed CVELCONT2 and CVELCONT3 algorithms were improved 3.7% and 4.8% of fuel economy compared with CONSTVEL which is steady cruising algorithm. These two algorithms are recommended as the Eco-cruise drive methodologies in this paper.

Key words : Road-load(주행저항), Fuel economy(연비), Velocity profile(속도 프로파일), Altitude(고도), Cruise control(순항제어), Eco-cruise(에코 크루즈)

Nomenclature

F : resistance force
V, W : vehicle velocity, vehicle weight
a, d : acceleration, distance
 θ : angle

Subscripts

Acc, R, Aero, Grad : acceleration, rolling,
aerodynamics, gradient
1, 2, ...n : position

*Corresponding author, E-mail: csc@motor.ac.kr

1. 서론

차량의 화석 연료 사용량에 따른 지구 환경 오염 및 온난화의 영향은 매우 중요한 요인임은 이미 알려진 사실이다. 차량의 연비 측정을 위한 주행 모드는 각 나라의 도로 환경, 지형 등에 따라 다르다. 따라서 차량의 연비는 개발된 주행 모드의 일정한 주행 패턴에 대하여 새시 동력계의 실험을 통하여 평가한다.¹⁾

자동차 회사들은 1970년 이후에 전자, 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.^{2,3)} 이러한 자동차 회사의 노력에도 불구하고 새시 동력계에서 측정된 연비와 실제 소비자의 주행 연비는 많은 차이가 있음을 경험으로 알 수 있다. 특히 도로의 경사가 연비에 미치는 영향은 매우 심각하다.¹⁾ 또한 운전자의 운전 패턴은 연비에 중요한 요인이다.⁶⁾ 연비 향상^{1,6,7)}과 예측^{4,5)}을 위한 연구는 많이 진행되었으나, 1)에서는 경사를 고려하고도 특정 주행 모드에서, 6)에서는 경사를 고려하지 않은 초기 가속 특성과 주행 패턴에 대하여, 7)에서는 경사를 고려하지 않은 주로 주행 속도에 관하여 연구하여 경사를 고려한 실제 도로에서의 연구는 찾아보기 어렵다. 유상철 등은⁸⁾ 가솔린 차량의 요소별 연료 소모량을 계산하여 연비 향상 방안을 제시하였지만 주행에 관한 실험을 하지 않았다. 정영재 등은⁹⁾ 주행저항의 여러 요소가 연비에 미치는 영향을 연구하였다.

그러나 GPS의 거리와 고도 데이터를 이용한 다음 지점의 속도를 예측하여 실제 도로를 주행한 연구는 거의 없다. 본 논문에서는 실제 고속도로인 경사가 심한 영동고속도로로 주행 시 연비 향상을 위한 순항 제어 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 GPS를 장착한 차량을 이용하여 영동고속도로의 거리와 고도 데이터 취득하여 미리 차량에 장착한다. 이제 GPS 수신기를 장착한 차량을 같은 도로를 주행하면서 현재 수신한 거리, 고도 데이터와 이미 수신 장착되어

있던 다음 지점의 거리, 고도 데이터를 이용하여 다음 위치의 속도를 계산, 예측하여 약 213Km의 영동 고속도로를 모의 주행하였다. 실험 차량은 소나타 NF를 모델링하여 경사에도 불구하고 정속주행한 연비를 기본 데이터로 하여 ①하향속도제어(MVELCONT) 알고리즘 ②상향속도제어(PVELCONT) 알고리즘 ③중양속도제어(CVELCONT) 알고리즘 등 3가지를 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션하여, 그 결과 가장 효율적인 정속 순항 제어 방안을 제안한다.

에라를 포함하는 GPS 고도 데이터 필터링을 위하여 Visual C++를, 속도 프로파일 계산 및 예측, 결과 그래프를 위하여 Matlab을, 시뮬레이션을 위하여 AVL사의 CRUISE 프로그램을 사용하였다.

2. GPS 데이터 및 주행저항

2.1 GPS 데이터 필터링

GPS를 통한 수신 데이터 중 1차 처리하여 0.2초의 간격의 거리와 고도를 추출한다. 이 추출된 고도 데이터에는 차량 정지로 인한 중복 데이터, 지역적인 수신 불량으로 인한 오류, 터널 통과로 인한 고도 오류, 터널 통과 전후의 수신 불량으로 인한 고도 채터링 등의 다양한 오류가 포함 되어있다.

GPS 데이터 필터링은 중복 데이터는 삭제하고, 수신 불량 및 채터링 현상은 제거하였으며, 터널진입 등으로 고도가 '0'이 되는 경우는 안정된 고도를 찾아 처음과 끝을 이어주었다.

Fig. 1은 영동 고속도로로 약 213km 구간의 필터링

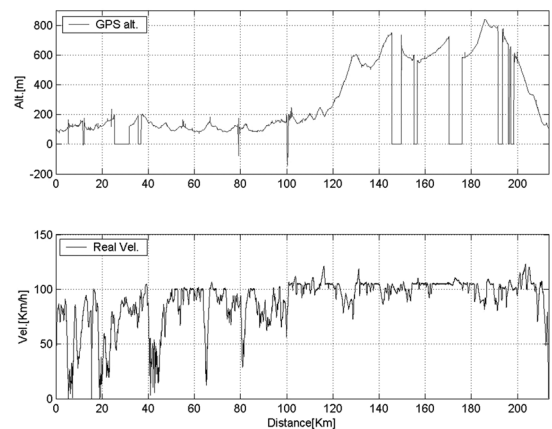


Fig. 1 Altitude and test vehicle velocity

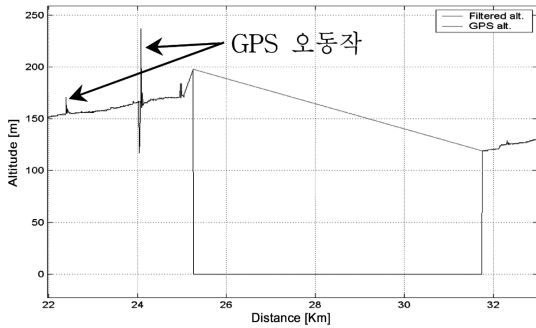


Fig. 2 Filtered altitude data

되지 않은 GPS 고도 데이터와 실제 주행 속도를 보여주며, Fig. 2는 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} : Aerodynamic resistance), 등판저항(F_{Grad} : Gradient resistance), 가속저항(F_{Acc} : Acceleration resistance)의 합으로 계산된다. 즉,

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

이다.

본 논문은 연비 향상을 위한 정속 순항 제어주행방안에 관한 것이므로 가능하면 정속을 유지하여 가속저항을 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.

$$F_{Grad} + F_R + F_{Aero} < 0 \quad (2)$$

평탄한 도로의 주행저항은 $F_r = F_R + F_{Aero}$ 로 표현되고, 상승 경사와 식 (2)를 만족하지 않는 하강 경사의 주행저항은 $F_r \geq F_R + F_{Aero} + |F_{Grad}|$ 로 표현되며, 식 (2)를 만족하는 하강 경사의 주행저항은 $F_r < 0 (< F_R + F_{Aero} - F_{Grad})$ 로 표현되고, 남은 힘은 차량을 가속시킨다. 따라서 등판저항 F_{Grad} 는 영동고속도로가 포함하는 경사도가 Fig. 1과 같아서 차량 속도 계산 및 예측에 변수가 된다.

3. 속도 프로파일 및 제어 알고리즘

3.1 속도 프로파일 생성

AVL사의 CRUISE 프로그램을 이용한 약 213Km의 영동 고속도로를 모의 주행 하기 위해서는 추출된 GPS의 고도와 거리 데이터를 이용하여 속도 프로파일 생성은 필수적이다.

차량을 주행하면서 수신된 현재 위치의 GPS의 거리, 고도 데이터와 이미 저장되어 있는 다음 위치의 거리, 고도 데이터를 이용한 경사각 θ_n 은 식 (3)과 같이 계산되고, 상승경사일 경우 ‘+’값을, 하강 경사일 경우 ‘-’값을 갖는다. 특히 하강 경사이면서 식 (2)를 만족할 때 차량은 연료소모 없이 가속된다.

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

이때 가속도 a_n 은 식 (4)와 같이 계산된다.

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

$W, \Delta W$ 는 차량의 중량과 회전부분의 상당질량이다. 거리 d_{n+1} 에서 이 가속도에 의해 증가된 속도 ΔV_{n+1} 은,

$$\Delta V_{n+1} = a_n \times \frac{d_{n+1} - d_n}{V_n} \quad (5)$$

가 되고, 최종적으로 d_{n+1} 에서 속도 V_{n+1} 은,

$$V_{n+1} = V_n + \Delta V_{n+1} \quad (6)$$

이 된다. 경사각 θ_n 이 상승 경사일 경우는 다음 지점의 속도는 감소되므로 ΔV_{n+1} 의 값에 ‘-’부호를 취한다. 여기서 주의 할 점은 하강 경사일 경우 항상 속도가 증가하는 것이 아니라 식 (2)를 만족할 때만 증가한다.

차량이 영동고속도로 주행하면서 GPS 데이터가 수신될 때 마다 이러한 과정을 반복 계산하여 제안하는 알고리즘에 따라 약 213Km에 대하여 속도 프로파일을 생성한다.

3.2 순항제어 알고리즘

본 논문에서 3가지 순항 제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 약 213Km 전 구간을 경제속도인 100Km로 주행하는 CONSTVEL 연비를 기준

으로 하여 연비 개선을 평가한다. 각 알고리즘에 필요한 속도 프로파일은 3.1절의 내용을 기본으로 하여 계산하고 생성한다. 우선 알고리즘에 사용되는 변수를 아래와 같이 정의한다.

- ① 최고속도 V_{max} : $V_{max} = V_e + V_{err}$
- 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 (7)이 성립하는 하향 경사각

$$F_{Grad,n} + F_{R,n} + F_{Aero,n} = 0 \tag{7}$$

3.2.1 하향속도제어(MVELCONT) 알고리즘

MVELCONT 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. Fig. 3은 PVELCONT 알고리즘의 플로우차트를 보여주는 데 이를 변형하면 MVELCONT 알고리즘 프로우 차트를 생성할 수 있어 생각한다.

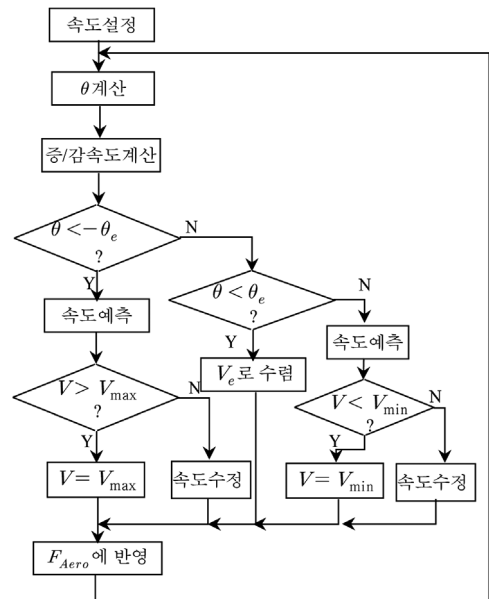


Fig. 3 Flowchart of PVELCONT algorithm

3.2.2 상향속도제어(PVELCONT) 알고리즘

PVELCONT 알고리즘은 경사각 θ 가 ① $\theta < -\theta_e$ 일 때 가속되어 최종적으로 최고속도까지 증가하

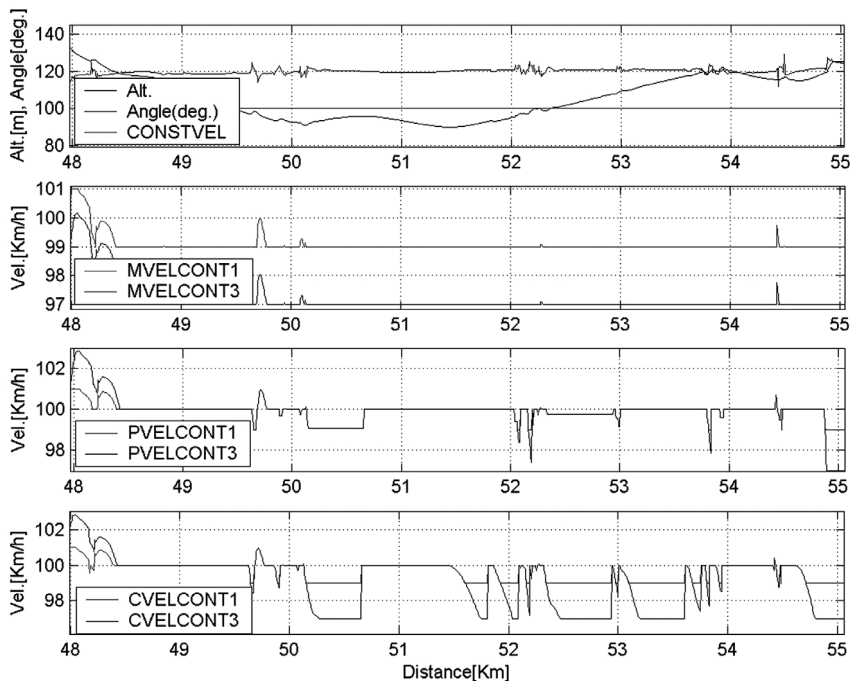


Fig. 4 Velocity profile of 3 algorithms at error velocity ±1%, ±3%

고, ② $-\theta_e \leq \theta < \theta_e$ 일 때 점차 가/감속되어 경제 속도로 주행하며, ③ $\theta \geq \theta_e$ 일 때 점차 감속되어 최저속도로 주행한다. Fig. 3은 플로우차트를 보여 준다.

3.2.3 중앙속도제어(CVELCONT) 알고리즘

PVELCONT 알고리즘은 경사각 θ 가 ① $\theta < -\theta_e$ 일 때 가속되어 최종적으로 최고속도까지 증가하고, ② $-\theta_e \leq \theta < 0$ 일 때 점차 가/감속되어 경제속도로 주행하며, ③ $\theta \geq 0$ 일 때 점차 감속되어 최저속도로 주행한다. PVELCONT 알고리즘의 플로우 차트를 변형하면 CVELCONT 알고리즘 프로우 차트를 생성할 수 있어 생략한다.

Fig. 4는 위의 3가지 알고리즘에 대한 오차속도 $\pm 1\%, \pm 3\%$ 를 주어 계산한 속도 프로파일을 보여준다.

4. 모의실험 및 결과고찰

4.1 모의실험

시험 차량은 소나타NF(배기량 : 2,359cc)를 모델링하여 AVL사의 CRUISE 프로그램에 입력하여 시

뮬레이션에 사용하였다. fuel-cut 기능은 1,800rpm 이상에서 동작하도록 하고 1,200rpm에서 정지하도록 설정하였다.

시뮬레이션은 영동고속도로 경제속도인 100Km/h로 정속 주행하는 CONSTVEL의 연비를 기준으로 하였다. MVELCONT, PVELCONT, CVELCONT의 알고리즘에 오차 속도를 $\pm 1\%, \pm 2\%, \pm 3\%, \pm 4\%, \pm 5\%$ 인 경우 CONSTVEL 대비 연비 개선 퍼센트를 계산 평가한다.

실제 주행에서 차량의 속도에 영향을 주어 결국 연비에 영향을 주는 풍향 및 풍속, 공기의 상태에 따라 연료 분사 량에 영향을 주는 밀도, 습도, 온도의 실제 상황은 예측 불가능하여 무시하였다.

Table 1은 시험 차량이 Fig. 1의 실제 주행 속도로 영동고속도로를 주행하였을 경우의 결과를 보여주며, Table 2는 제안하는 알고리즘으로 모의주행 결과를 정리하였다.

4.2 결과 고찰

공인 연비 10.9Km/L를 갖는 소나타NF 2,359cc 시

Table 1 Fuel economy of test vehicle

평균 속도(Km/h)	연료소모량(L)	연비(Km/L)	주행시간(시간:분:초)
76.14	21.116	10.102	2:48:06

Table 2 Fuel economy of simulation results

오차 속도	알고리즘	평균 속도 (Km/h)	연료소모량 (L)	연비 (Km/L)	연비향상 (%)	주행시간 (시간:분:초)
0%	CONSTVEL	100	16.880	12.638	0	2:08:00
$\pm 1\%$	MVELCONT	99.142	16.591	12.858	1.7	2:09:03
	PVELCONT	99.860	16.705	12.770	1.0	2:08:13
	CVELCONT	99.626	16.574	12.871	1.8	2:08:29
$\pm 2\%$	MVELCONT	98.267	16.432	12.982	2.7	2:10:11
	PVELCONT	99.757	16.569	12.875	1.9	2:08:24
	CVELCONT	99.327	16.270	13.111	3.7	2:08:54
$\pm 3\%$	MVELCONT	97.369	16.331	13.062	3.4	2:11:20
	PVELCONT	99.678	16.435	12.980	2.7	2:08:35
	CVELCONT	99.073	16.130	13.230	4.8	2:09:17
$\pm 4\%$	MVELCONT	96.459	16.213	13.157	4.1	2:12:34
	PVELCONT	99.614	16.311	13.078	3.5	2:08:45
	CVELCONT	98.852	15.874	13.438	6.3	2:09:39
$\pm 5\%$	MVELCONT	95.543	16.169	13.193	4.4	2:13:49
	PVELCONT	99.553	16.270	13.111	3.7	2:09:54
	CVELCONT	98.648	15.714	13.575	7.4	2:10:00

협 차량을 Fig. 1의 실제 주행한 속도 프로파일로 모의 주행한 연비가 10.102Km/L이므로 모의 주행을 신뢰할 수 있다.

4.2.1 속도 프로파일

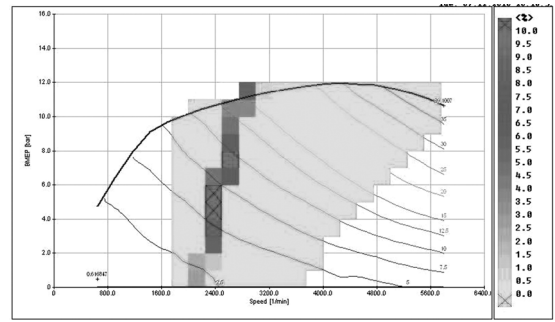
Fig. 4에서 보는 바와 같이 MVELCONT는 주로 최저속도인 V_{min} 에서, PVELCONT는 주로 경제속도인 V_e 에서, CVELCONT는 경사도에 따라 경제속도와 최저속도의 중간에서 주행한다. 따라서 평균 주행 속도는 Table 2에서 보는 바와 같이 CONSTVEL이 제일 빠르고 PVELCONT, CVELCONT, MVELCONT의 순으로 빠르다. 연비는 주로 V_{min} 에서 주행하는 MVELCONT가 가장 좋을 것으로 예상되나 실제로는 CVELCONT가 가장 좋다. 이것은 다음의 순간 연료소모량에서 자세히 살펴본다.

4.2.2 순간연료 소모량

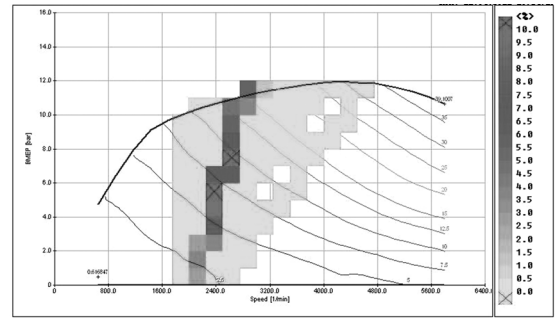
Fig. 5는 순간 연료 분사 량, 속도 프로파일, 경사각, 고도를 종합하여 그린 그림이다. 속도 프로파일 85.1~85.15Km를 관찰하면 경사각이 거의 변화가 없을 때 알고리즘에 따라 속도를 CVELCONT1은 V_e 에서 V_{min} 으로 감속하고, PCONTVEL1은 V_e 를 유지하며, MCONTVEL1은 V_{min} 을 유지한다. 경사각이 거의 변화가 없는 상태에서 CVELCONT1이 속도를 줄이므로 가장 연료 소모가 작고, MVELCONT1이 V_{min} 을 유지할 때, 마지막으로 PVELCONT1이 V_e 를 유지할 때 연료소모가 가장 많다. 따라서 CVELCONT1의 연료소모가 가장 적은 이유는 하강 경사에서는 속도를 V_e 나 V_{max} 까지 가속하고, 이어지는 상승 경사에서 속도를 감속하여 주행함으로써 무리한 연료 분사를 하지 않기 때문이다.

Fig. 4의 속도 프로파일에서 보는 바와 같이 오차속도가 클수록 상승 경사에서 감속의 폭이 크고 이에 따른 연료 분사가 줄어 각 알고리즘의 연비가 향상된다.

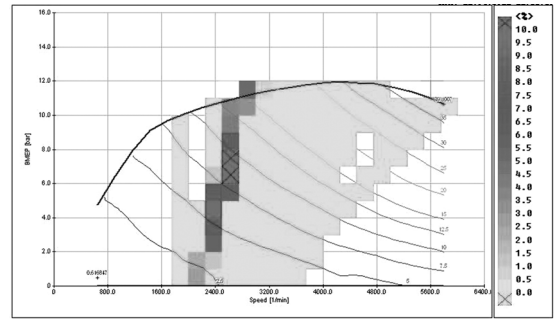
Fig. 5는 오차속도 $\pm 3\%$ 인 경우의 연료 소모 분포를 보여준다. CVELCONT3은 5~7.5 L/h인 경우, MVELCONT3은 5~10L/h인 경우, PVELCONT3은 7.5~10L/h인 경우에 연료 소모 분포가 높다. 따라서 CVELCONT3가 연료소모량이 낮은 구역에서 엔진의 동작이 많이 분포하므로 다른 2개의 알고리즘 보다 연료소모량이 작다.



(a) CVELCONT3



(b) MVELCONT3



(c) PVELCONT3

Fig. 5 Portion of fuel consumption

4.2.3 엔진회전속도와 파워

Fig. 7은 엔진회전속도를 Fig. 6과 같은 데이터로 중첩하여 그린 그림이다. 엔진회전속도 그림 역시 순간연료 소모량과 거의 같은 형상을 가지고 있어 위와 같은 방법으로 해석이 가능하다. 차량의 파워 역시 엔진회전속도와 같은 형상으로 그려지는 결과로 그림을 생략한다. 즉, 연료 소모량이 적으면 엔진회전속도가 낮고 파워가 작은 것은 당연한 결과이다.

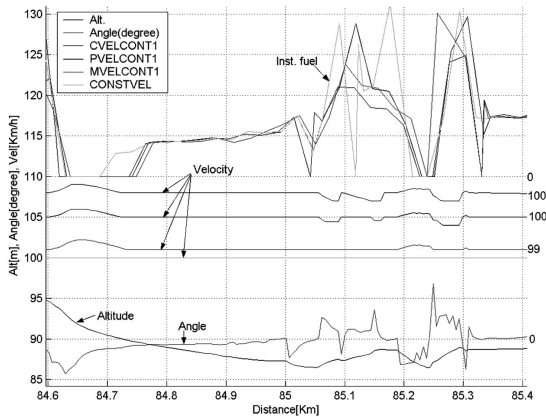


Fig. 6 Instantaneous fuel consumption of 3 algorithms

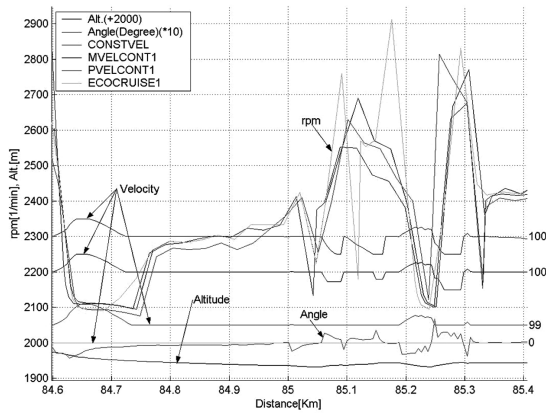


Fig. 7 Engine revolution speed of 3 algorithms

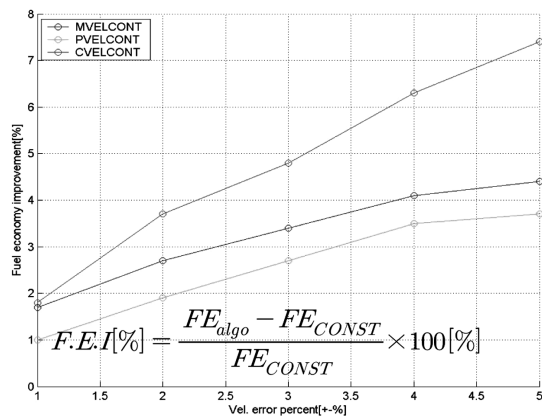


Fig. 8 Fuel economy improvement

5. 결론

차량의 연비 향상을 위하여 GPS 수신기를 장착

하고 주행 중에 다음 지점의 속도를 미리 계산, 예측하여 3가지 순항제어 알고리즘을 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) GPS의 고도와 거리 데이터를 이용하여 원하는 도로의 전 구간 속도 프로파일과 나아가 주행에 따른 연비 예측이 가능하다.
- 2) 정속 순항 제어 시 연비를 향상하는 방안 중의 하나는 속도의 허용 오차를 주어 하강경사에서 선제적으로 속도를 상승시키고 이어서 오는 상승경사에서 감속하는 방법으로 제어할 경우 연비를 전반적으로 향상시킬 수 있음을 알았다.
- 3) 영동고속도로의 경우 Fig. 8에 보여주는 바와 같이 CVELCONT 정속 순항제어 알고리즘이 허용 오차 ± 2 , ± 3 에서 정속주행 대비 각각 연비가 3.7%, 4.8%의 우수한 결과를 나타내었다.

마지막으로 순항제어 알고리즘의 현실성을 좀 더 높이기 위하여 지체, 정체, 도로공사 구간, 교통사고 구간 등의 교통정보를 반영한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

References

- 1) J. H. Park, Y. I. Park and J. M. Lee, "Estimation of Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle When Driving on Road Including Grade," Transactions of KASE, Vol.9, No.3, pp.65-76, 2000.
- 2) T. S. Han, "Trend of Improving Vehicle Fuel Economy," Auto Journal, KSAE, Vol.23, No.2, pp.65-67, 2001.
- 3) M. S. Lyu, "Optimization on Vehicle Fuel Consumption in a Highway Bus using Vehicle Simulation," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.7, pp.841-846, 2008.
- 4) A. Berry and M. Blisset, "A New Approach to Improving Fuel Economy and Performance Prediction through Coupled Thermal Systems Simulation," SAE 2002-01-1208, 2002.
- 5) Y. Hori, M. Fukuda and Y. Kobayashi, "Computer Simulation of Vehicle Fuel Economy and Performance," SAE 860364, 1986.
- 6) J. H. Song, D. J. Kim, C. H. Lee and C. B. Lee, "Simulation of Effect of Vehicle Driving

- Pattern of Fuel Consumption,” Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.2039-2044, 2009.
- 7) Y. S. Park, S. M. Choi, H. B. Kwon, J. S. Kim, S. B. Um and S. W. Cho, “An Experimental Study on the Fuel Consumption Characteristics of Passenger Cars under Various Driving Conditions,” Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.3-8, 2003.
- 8) J. C. Yoo, H. B. Song, J. H. Lee, J. S. Yoo, Y. M. Park and K. S. Park, “An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in a Gasoline Engine Vehicle,” Transactions of KSAE, Vol.12, No.1, pp.153-161, 2004.
- 9) Y. J. Jung, Y. W. Yoo, C. G. Ryu, H. J. Jang, and K. B. Bae, “A Study on Fuel Economy and Dynamic Behavior of Vehicle according to Road Load and Shift Pattern of Auto Transmission,” Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE10-B0158, pp.1-6, 2010.