Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 13, No. 2 pp. 498-503, 2012

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.2.498

연료차단 주행에 의한 연비 개선 효과에 대한 연구

고광호[1], 최성철[1*]
[1]아주자동차대학 자동차계열

A study on the improvement of vehicle fuel economy by fuel-cut driving

Kwang-Ho Ko[1] and Seong-Cheol Choi[1*]
[1]**Division of Automobile, Ajou Motor College**

요 약 엔진 회전속도가 1,500rpm 이상 일 때 차량의 가속 페달을 놓은 경우 인젝터 연료분사가 중지된다. 이것을 연료차단(fuel-cut) 기능이라 부르고, 현대의 대부분의 차량들은 이 기능을 장착하고 있다. 이 기능은 많은 경우 고속도로의 내리막 구간에서 작동된다. 이렇게 연료차단이 발생하는 경우 차량의 CO_2 배출 가스는 '0'이 된다. 서해안 고속도로에서 이 연료 차단 기능을 사용하면 2,000cc 승용차의 CO_2 배출량은 4% 감소한다. 그리고 내리막 구간의 경우 가장 효율적인 운전 패턴을 찾기 위하여 연료차단 기능을 AVL사의 CRUISE 소프트웨어로 시뮬레이션 하였다. 연비 향상을 위해서 급격한 내리막 구간일 경우 연료 차단을 위한 차량의 하한 속도를 높게 유지해야 한다는 것을 CRUISE 소프트웨어 시뮬레이션으로 알 수 있었다. 또한 가장 우수한 연비 성능은 내리막 구간 내에서 연료차단과 재가속이 완료되어야 함을 알 수 있었다.

Abstract It happens that the fuel is not injected when the driver doesn't push the acceleration pedal of vehicle with engine speed higher than 1,500rpm above the mid range of vehicle speed. This is called "fuel-cut function" and almost every modern vehicle is equipped with this function. This is activated frequently on the downhill area of highway and the quantity of vehicle-exhausted CO_2 gas can be zero on this area. With this fuel-cut function on the test highway, CO_2 gas from passenger car(2,000cc engine volume) can be reduced up to 4%. The fuel-cut function with CRUISE made in company AVL is simulated to find the most effective driving pattern on the downhill area. By simulating with CRUISE software, it is found that the lower limit of vehicle speed for fuel-cut should be raised to improve the fuel economy on the steeper downhill road. The fuel economy can be most economical when fuel-cut driving and reacceleration are completed on the section of downhill road.

Key Words : Fuel-cut, CO_2 Emission, Fuel economy, Highway policy

1. 서론

연료분사를 ECU(Engine Control Unit)로 전자 제어하는 차량의 경우 주행 중 가속페달을 놓을 때 연료차단(fuel-cut)이 발생한다. 이 때 엔진회전수가 약 1500rpm 이상인 경우에만 연료차단 기능이 작동된다. 최근에는 연료차단이 적용되는 엔진회전수의 하한값이 점점 낮아지고 있는데, 1200rpm 부근까지도 연료차단을 적용시켜 연비를 향상시키기도 한다[1,2,3].

주로 내리막 구간에서 주행 중 가속페달을 놓는 경우에 적용되는 이러한 연료차단 주행 혹은 관성주행 기능을 활용하여 차량 주행 연비를 향상시킬 수 있다[4,5]. 하지만 내리막 구간에서 어느 정도의 속도까지 연료차단 주행을 해야 하는지 등에 대한 연구는 아직 없는 상태이다.

고속도로의 내리막 구간에서 연료차단 기능을 적용하여 향상되는 연비수준을 실험적으로 측정한 연구결과는

*교신저자 : 최성철(csc@motor.ac.kr)
접수일 11년 11월 02일 수정일 (1차 12년 01월 12일, 2차 12년 01월 17일) 게재확정일 12년 02월 10일

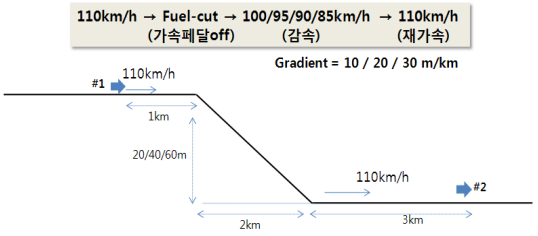
있다[6]. 연구 결과를 간단히 요약하면 서해안 고속도로의 전체구간(서서울~목포 : 편도 주행거리 320km)에 대해 내리막 구간에서 연료차단 기능을 적용하여 연비 향상 효과를 측정하였다. 실험 결과 서해안 고속도로의 경우 편도에 대해 연료차단 적용 횟수는 약 40회, 연료소모량 및 CO_2 배출량의 저감율은 약 4% 수준이었다. 또한 내리막 구간의 도로 경사가 급할수록 허용 감속 정도를 높게 유지하는 것이 유리하였다.

본 연구에서는 내리막 구간에서의 감속정도에 따른 연비향상 효과를 시뮬레이션 프로그램으로 계산하여 실험결과와 비교하고, 최적의 연료차단 주행 방법을 제안하였다.

2. 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 계산 방법

그림 1과 같이 내리막 구간이 존재하는 전체 6km 정도의 구간을 주행하는 경우를 AVL사의 CRUISE 라는 상용 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 연비를 계산하였다. 이 프로그램의 경우 차속 및 도로 구배 등에 대한 주행저항력을 계산하여 이에 상응하는 엔진출력 및 필요한 연료소모량을 계산하는 방식을 사용한다[7,8].



[그림 1] 시뮬레이션을 위한 도로 모델
[Fig. 1] Road model for simulation

내리막 구간의 구배가 10, 20, 30m/km 인 경우에 대해 각각 연비 계산을 수행하였다. 내리막 구간에 진입하는 순간 가속페달을 방치하여 연료차단 주행이 시작되도록 하였다. 이 때 차속은 서서히 감속되는데 최저 속도를 100, 95, 90, 85km/h 로 변경하면서 각 경우의 연비를 계산하였다. 각 최저 속도에 도달하고 나면 다시 원래의 속도인 110km/h로 재가속하여 정속 주행하는 방식이다. 이러한 계산 결과를 통해 내리막 구간의 경사도 및 감속 정도에 따른 연료소모량의 변화 경향을 볼 수 있고, 최적의 내리막 구간 활용법을 찾을 수 있었다.

2.2 시뮬레이션 계산 결과 및 분석

CRUISE 계산 결과를 표 1에 정리하였는데, 감속을 충분히 하여 연료차단 주행을 길게 할수록 연료소모량이 감소함을 알 수 있다. 물론 도로의 내리막 구배가 급할수록 연비가 향상되고, 내리막이 가파른 도로에서의 감속정도에 따른 연비 향상 효과도 비례해서 증가함을 알 수 있다.

[표 1] 도로 구배 및 감속 정도에 대한 연료차단 주행의 효과
[Table 1] Fuel-cut driving effect of gradient and deacceleration

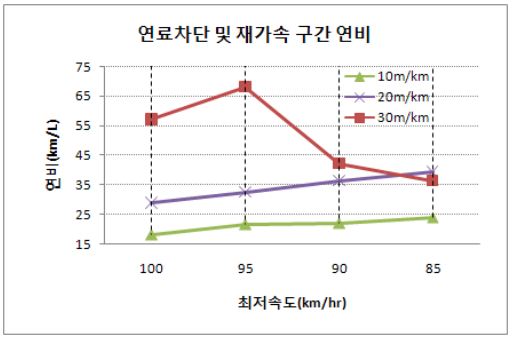
최소 속도 (km/h)	총연료 소모량 (cc)	연료차단 주행 거리 (m)	재가속 주행 거리 (m)	재가속 연료 소모량 (cc)	총연비 (km/L)	관성 주행 연비 (km/L)
● 구배 : 10m/km						
100	432	260.0	210.7	25.8	13.9	18.2
95	425	454.1	239.8	32.1	14.1	21.6
90	423	607.5	312.9	41.5	14.2	22.2
85	418	777.4	383.5	48.5	14.4	23.9
● 구배 : 20m/km						
100	404	426.5	203.4	21.8	14.9	28.9
95	396	723.0	246.8	29.8	15.2	32.6
90	390	1004.9	324.0	36.4	15.4	36.5
85	382	1344.5	399.4	44.4	15.7	39.3
● 구배 : 30m/km						
100	372	980.4	212.0	20.9	16.1	57.1
95	351.5	1780.0	238.3	29.6	17.1	68.1
90	350.6	1963.8	396.3	55.8	17.1	42.3
85	351.2	1989.7	593.3	71.2	17.1	36.3

$$\text{총연비} = \frac{\text{총주행거리}}{\text{총연료소모량}}$$

$$\text{관성주행연비} = \frac{\text{연료차단주행거리} + \text{재가속주행거리}}{\text{재가속연료소모량}}$$

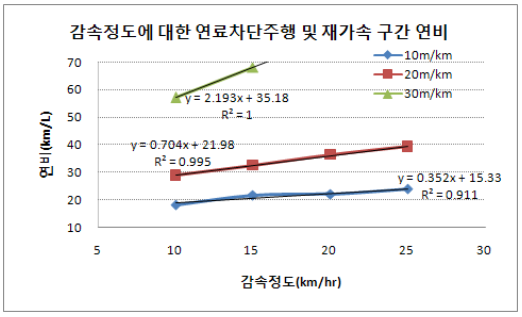
다만 구배 30m/km 에서는 90km/h와 85km/h까지 연료차단 관성 주행을 하는 경우 110km/h까지 재가속하는 도중에 내리막 구간이 종료되어 도로 구배가 0인 평평한 구간에서 일부 재가속을 해야 하기 때문에 오히려 연비가 악화되는 결과를 얻었다.

이상의 결과를 그래프로 도시한 것이 그림 2인데, 도로구배가 클수록, 최저속도가 낮을수록 연비가 향상됨을 알 수 있다. 30m/km 구배의 경우 내리막 구간에서 재가속이 완료되지 못하는 최저속도 90, 85km/h에 해당하는 연비 결과를 제외하면 전체적으로 구배가 가파를수록, 최저속도가 낮을수록 연비 향상 정도가 거의 직선적으로 증가하게 된다.



[그림 2] 연료차단 주행에 의한 연비
(연료차단 주행거리 및 재가속 주행 거리 구간)
[Fig. 2] Fuel economy of fuel-cut driving

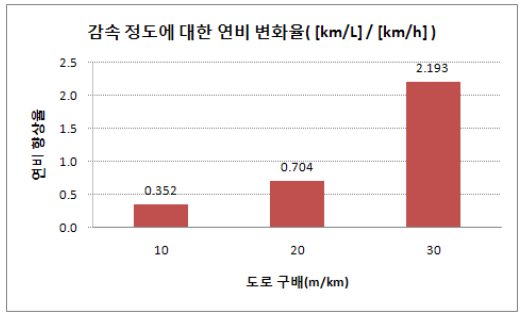
이상의 결과 분석을 통해 도로 구배별로 감속 정도에 대한 연비 향상율을 추정할 수 있는데, 연료차단 관성 주행거리와 재가속 주행거리에 대한 연비가 감속 정도에 대해 직선적으로 향상되고, 그 향상율은 이 직선의 기울기로 표시할 수 있다. 내리막 구간 내에서 재가속이 완료되는 경우만 구배-감속정도에 대한 연비 향상율 그래프와 추세선을 도시하면 그림 3과 같다.



[그림 3] 도로 구배별 감속정도에 대한 연비 향상율
(추세선)
[Fig. 3] Ratio of fuel economy improvement

정속 주행속도인 110km/h에 대해 내리막 구간에서 감속하는 정도에 따른 연비 향상율은 도로 구배별로 0.35 ~ 2.19([km/L] / [km/h]) 정도의 값을 가진다. 즉, 내리막 구간에서 10km/h 감속하는 경우 내리막 구간에서의 연료차단 관성 주행 효과로 인해 연비가 3.5 ~ 21.9km/L 정도 향상되는 것이다. 또한 감속 정도에 대한 연비 향상 정도가 거의 직선적으로 증가하며 도로 구배가 10m/km에서 30m/km 로 3배 증가하면 감속정도에 따른 연비 향상율은 0.35에서 2.19로 약 6배 정도 증가함을 알 수 있다. 이상의 도로 구배, 감속정도에 대한 연비 변화율에 대한 기울기를 그림 4에 정리하였다.

참고로 본 계산에 사용된 속도 프로파일과 계산 결과인 연료소모율 그래프를 별첨에 도시하였으니 도로 구간별, 구배별 연료 소모율 변화에 대해 자세히 살펴볼 수 있을 것이다.



[그림 4] 도로 구배별 감속정도에 대한 연비 향상율
[Fig. 4] Ratio of fuel economy improvement

3. 실험 결과와의 비교

앞서 언급한 이전의 연구 결과에서 서해안 고속도로 전체 구간에 대해 내리막 구간의 연료차단 관성 주행(최저속도 95km/h)을 적용하는 경우, 110km/h 정속주행 대비 약 4% 정도가 연비가 향상됨을 알 수 있었다[6]. 그리고 GPS 센서를 이용하여 측정한 서해안 고속도로의 내리막 구간에서의 구배 평균값은 약 22.5m/km 정도이다.

실험 결과와 비교하기 위해 그림 1의 평지-내리막-평지 형태의 도로 구간에 대해 앞에서 수행한 CRUISE 계산 결과에 110km/h 정속 주행 연비를 포함시켜 표 2에 정리하였다. 서해안 고속도로에서 얻은 실험 결과인 110km/h 정속 주행 대비 최저속도 95km/h의 관성 주행의 연비 향상율(4~5%)은 내리막 구간과 평지 구간을 모두 포함한 실험 결과이므로, CRUISE 프로그램의 계산 결과 중 평지를 포함한 전체 구간에 대한 연비 계산 결과와 실험결과를 비교하였다.

[표 2] CRUISE 프로그램을 이용한 정속주행(110km/h) 대비 관성주행(110▶95▶110km/h) 연비 계산 결과
(내리막 및 평지를 포함한 전체 구간에 대한 연비)
[Table 2] Evaluated fuel economy with CRUISE software

항목	총연비(km/L)		
도로구배(m/km)	10	20	30
정속주행(110km/h)	13.94	14.80	15.51
관성주행(110▶95km/h)	14.11	15.14	17.09
연비향상율(%)	1.19	2.33	10.2
평균 연비향상율(%)	4.57%		

내리막구간 관성 주행을 적용하는 경우 CRUISE 프로그램을 사용한 도로구배(10, 20, 30m/km)별 연비 향상율 계산 결과는 각각 1.19%, 2.33%, 10.2% 수준으로 산술평균하면 약 4.5% 정도의 향상율을 얻을 수 있어 실험결과와 어느 정도 일치함을 알 수 있다.

4. 하강 경사에서의 최적 주행법

이상의 실험 및 계산 결과를 통해 내리막 구간에서 연료차단 관성주행을 하는 경우 연비가 향상되고, 최저속도가 낮아질수록 연비가 직선적으로 향상됨을 알 수 있었다. 다만 이는 연료차단 관성주행(감속)과 재가속 주행(가속)이 내리막 구간 내에서 완료되는 경우에만 성립한다. 이는 내리막 구간을 넘어서 평지 구간까지 재가속 주행을 하는 경우에는 도로 구배 30m/km의 계산 결과와 같이 연비가 악화되기 때문이다.

연료차단 관성주행과 재가속 주행이 내리막 구간 내에서 완료되는 경우의 연비를 다른 경우의 연비와 비교 분석하기 위해 그림 1의 내리막 구간 종료 지점에서 연료차단 주행 및 재가속이 완료되는 경우의 최저속도와 연비 계산 결과를 표 3에 정리하였다.

[표 3] 내리막 구간 내에서 관성주행 및 재가속이 완료되는 경우를 포함한 연비 비교
(볼드체로 표시한 값이 내리막 구간에서 관성주행 및 재가속이 완료되는 경우임)

[Table 3] Fuel economy comparison of inertia driving to completion of reacceleration

구배	최저속도 (km/h)	관성주행 연비(km/L)
10m/km	100	18.2
	95	21.6
	90	22.2
	85	23.9
	68.6	***26.4***
20m/km	100	28.9
	95	32.6
	90	36.5
	85	39.3
	82	***42.1***
30m/km	100	57.1
	95.3	***75.5***
	95	68.1
	90	42.3
	85	36.3
관성주행연비 = $\frac{\text{연료차단주행거리} + \text{재가속주행거리}}{\text{재가속연료소모량}}$		

표 3의 결과를 분석하면 도로 구배가 완만한 경우(10m/km, 20m/km)에는 68km/h, 82km/h 수준까지 충분히 관성주행을 하여도 내리막 구간 내에서 재가속을 완료하여 다시 원래의 주행속도인 110km/h까지 도달할 수 있기 때문에 허용 감속속도를 낮게 하는 것이 유리하다.

그러나 경사가 급한 경우(30m/km)에는 95km/h 정도까지만 관성주행하고 남아 있는 내리막 구간 내에서 재가속이 완료될 수 있도록 하는 것이 연비 관점에서는 가장 유리함을 알 수 있다. 즉, 도로구배가 급할수록 관성주행 허용 최저속도를 높게 유지하는 것이 연비에 유리하다는 앞의 실험결과와 일치함을 알 수 있다.

동일한 최저속도에 대해, 도로 구배가 클수록 가속페달을 방치하여 관성 주행할 수 있는 거리가 급격히 증가하므로, 내리막 구간 내에서 관성주행 및 재가속을 완료하기 위해서는 최저속도를 오히려 높여야 하는 것이다.

이는 도로 구배가 클수록 조금만 감속하여도 충분한 연료 차단 관성주행 거리를 확보할 수 있기 때문이다. 도로 구배가 높을수록 조금만 감속하여(최저속도를 높게 하여) 내리막 구간 내에서 재가속이 완료되는 경우 연비 향상 효과를 극대화할 수 있음을 의미한다.

도로 구배가 작을 경우에는 충분히 감속하여 관성 주행 거리를 길게 하는 것이 유리하나, 고속도로에서 속도를 지나치게 감속하는 경우는 다소 위험할 수 있다. 따라서 도로 구배가 작을 경우 내리막 구간에서 90km/h 내외까지 연료차단 주행하여 연료소모량을 감축하고, 내리막 구간이 끝나기 전에 재가속이 완료될 수 있도록 서서히 가속하는 경우 연비 향상 효과를 극대화할 수 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 도로의 내리막 구간에서 가속 페달을 방치하여 연료차단(fuel-cut) 관성 주행을 실시하는 경우의 연비 향상 효과를 분석하였다.

1. AVL사의 CRUISE 소프트웨어를 사용하여 도로구배 10, 20, 30m/km 에 대한 연료차단 관성 주행의 연비 향상 효과를 계산한 결과, 내리막 구간에서 95km/hr까지 관성 주행하는 경우 110km/h 정속주행에 비해 평균 4.5% 정도의 연비 향상 효과를 얻을 수 있어 실험결과와 일치함을 알 수 있었다.
2. 내리막 구간에서 연료차단이 적용되는 감속정도에 직선적으로 비례하여 연비가 향상되는데, 도로구배가 10m/km에서 30m/km로 3배 증가하면 감속정도에 따른 연비 향상률이 0.35에서 2.19[km/L]/[km/h]

만큼 약 6배 증가한다.

3. 내리막 구간에서의 연료차단 관성주행으로 연비향상 효과를 극대화하기 위해서는 내리막 구간 내에서 연료차단 감속주행과 재가속 주행이 완료되어야 한다.
4. 도로 구배가 클수록 감속정도를 작게 하여 내리막 구간이 종료되기 전에 재가속을 완료할 수 있도록 주행해야 연비 향상 효과를 극대화할 수 있다.
5. 도로구배가 완만한 경우에는 충분히 감속하는 것이 유리하나, 지나치게 감속하는 경우 위험할 수 있으므로 약 90km/h 내외까지 연료 차단 주행하고, 서서히 가속하여 내리막 구간 내에서 원래의 정속주행 속도까지 재가속 하는 방식으로 운전할 때 연비 향상 효과가 가장 높다.

References

[1] Wojciech Gis, Piotr Bielaczyc, "An Analysis of CO_2 Emissions and Fuel Consumption from New Automotive Vehicles in Aspects of Future Regulations", Proceedings of International Conference, FISITA World Automotive Congress, pp.172-172, 2000.

[2] Myung-Do Yum, "The Characteristics of CO_2 Emission with CVS-75 Mode", KSAE 2008 Annual Conference, pp.748-753, Korea, 2008.

[3] S.C.Kim, S.M.Han, "The Study of the Effect of Driving Conditions on Passenger Car Fuel Economy", KSAE 2002 Annual Conference, pp.166-171, 2002.

[4] Seongcheol Choi, Taeil Oh, "Effect on the Fuel Economy by Gradient in Automobile Driveway ", KAIS 2011 Spring Conference, vol. 12, No. 7, pp.2925-2930, 2011.

[5] Seongcheol Choi, Taeil Oh, "Eco-driving Method at Highway including Grade using GPS Altitude data", Transactions of KAIS, vol. 12, No. 1, pp.19-25, 2011.

[6] Kwangho Ko, Seunghyun Jeong, Inkyoon Yoo, Soohyung Lee, Jewon Kim, "An Experimental Study on Reduction of CO_2 Exhausted Emission by using Fuel-cut Function of Vehicles", Transactions of KSAE, vol. 18, No. 1, pp 86-92, 2010.

[7] Yoshiharu Hori, Mizuho Fukuda, Yoichi Kobayashi, "Computer Simulation of Vehicle Fuel Economy and Performance", SAE paper 860364, 1986.

[8] J. H. Song, D. J. Kim, C. H. Lee, C. B. Lee, "Simulation of Effect of Vehicle Driving Pattern of Fuel Consumption", KSAE Annual Conference, pp. 2039-2044, 2009.

고 광 호(Kwang-Ho Ko) **[정회원]**

- 1991년 3월 ~ 1993년 2월 : 서울대 항공공학(연소공학 석사)
- 1993년 1월 ~ 1997년 3월 : 기아차 연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 박사 수료

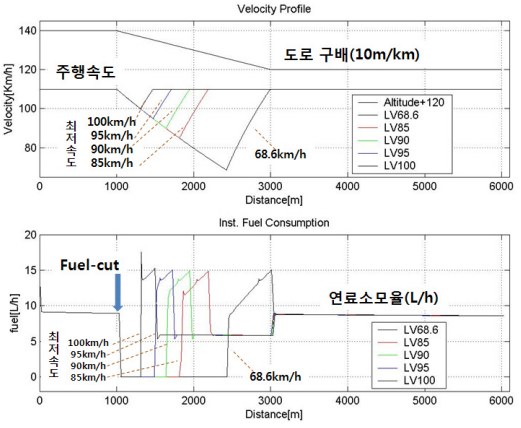
<관심분야>
자동차 배기가스, 연비 실험
신재생에너지 분야

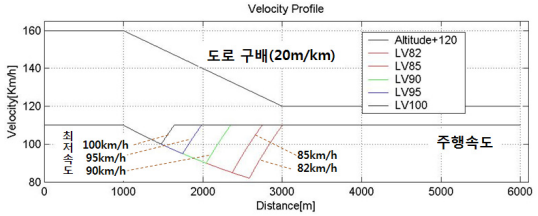
최 성 철(Seong-Cheol Choi) **[정회원]**

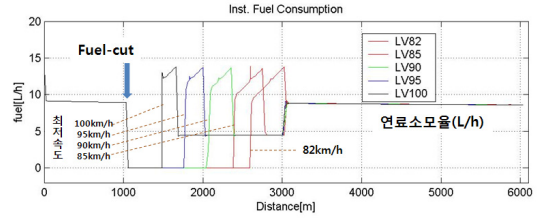
- 1988년 5월 ~ 1998년 2월 : LG산전 선임연구원
- 1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (전자공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 아주대학교 전자공학과 박사 수료

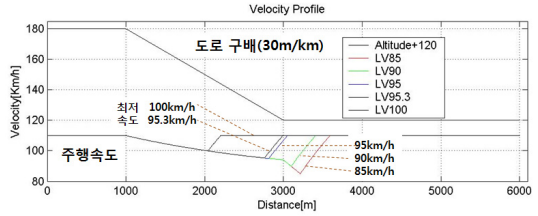
<관심분야>
자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크,
자동차전기전자
정보통신, LED 조명제어

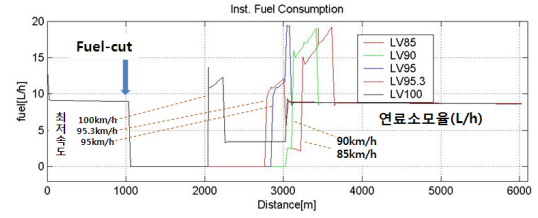
별첨 : 도로구배별 주행속도, 연료소모율 그래프 (CRUISE 프로그램 계산 결과)




Velocity Profile
Velocity[Km/h]
Distance[m]
도로 구배(20m/km)
Altitude+120
LV82
LV85
LV90
LV95
LV100
최저속도
100km/h
95km/h
90km/h
85km/h
82km/h
주행속도


Inst. Fuel Consumption
fuel[L/h]
Distance[m]
Fuel-cut
LV82
LV85
LV90
LV95
LV100
최저속도
100km/h
95km/h
90km/h
85km/h
82km/h
연료소모율(L/h)


Velocity Profile
Velocity[Km/h]
Distance[m]
도로 구배(30m/km)
Altitude+120
LV85
LV90
LV95
LV95.3
LV100
최저속도
100km/h
95.3km/h
95km/h
90km/h
85km/h
주행속도


Inst. Fuel Consumption
fuel[L/h]
Distance[m]
Fuel-cut
LV85
LV90
LV95
LV95.3
LV100
최저속도
100km/h
95.3km/h
95km/h
90km/h
85km/h
연료소모율(L/h)