

도시부도로 연료차단구역의 관성주행 특성 및 효과분석

최은진¹ · 김응철^{2*} · 김용진³ · 양주영²

¹ 인천대학교 공학기술연구소, ² 인천대학교 건설환경공학과, ³ 인하대학교 아태물류학부

Effectiveness and Characteristics Analysis of Inertia Driving on Fuel-Cut Zones in Urban Highway

CHOI, Eun Jin¹ · KIM, Eungcheol^{2*} · KIM, Yong Jin³ · YANG, Joo Young²

¹ Research Institute of Engineering and Technology, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

² Department of Civil & Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

³ Asia Pacific School of Logistics, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Abstract

In this study, the effects of inertial driving on a fuel-cut zone were analyzed by measuring the instantaneous variations of fuel consumption and speed. Thirteen sites with 2-8% downhill slopes were selected for the vehicle experiments. The vehicles were driven on the sites in two different driving modes, and the various vehicle states were measured using OBD under driving. For the analysis of the effects of inertial driving, the characteristics of fuel consumption, speed, and rpm were compared between normal and inertial driving. As a result, the fuel consumption was reduced from 24% to 78% according to the downhill grade. The amount of fuel consumption reduction was about 30cc for driving 500m downhill. Fuel cost savings amounting to 35 billion won can be achieved if inertial driving will be done in the case of Munemi-ro3. It is also believed that the reduced fuel consumption and vehicle speed through inertial driving will have considerable environmental and safety benefits.

본 연구에서는 실차 실험을 통해 연료차단구역에서의 관성주행 시 연료소모량변화와 속도변화를 통해 주행 특성을 분석하고, 연료차단구역의 효과를 분석하고자 하였다. 이를 위해 인천시 지역을 대상으로 2-8% 내리막 경사 13개 지점을 실험대상지역을 선정하여 실차실험을 수행하였다. 내리막 경사를 일반주행, 관성주행 2가지 방법으로 반복 주행하고, 주행하는 동안 차량정보저장장치로부터 수집된 실시간 연료소모량, 속도, 엔진회전속도 등의 차량상태를 비교 분석하였다. 13개 내리막 구간에서 관성주행 시 절감되는 연료소모량은 일반주행 시에 비해 최소 24% 최대 78%까지 절감되는 것으로 나타났다. 주행실험구간의 연장은 평균 500m 정도로 실제 해당구간을 통과하는 동안 절감되는 연료량은 최대 30cc정도로 개별차량이 특정구간을 관성주행 함에 따라 얻는 비용차이는 크지 않을 수 있으나, 해당구간의 교통량을 고려할 때 무네미로 3구간의 경우 439m 구간에 대해 연간 356억 원의 연료비를 절감할 수 있을 것으로 분석되었다. 또한 절감된 연료소모량에 따른 오염물질 배출과 관성주행으로 인한 교통안전 향상까지 감안한다면 더 큰 편익을 기대할 수 있다.

Keywords

CO₂ emission, downhill, fuel-cut zone, fuel consumption, fuel efficiency

이산화탄소 배출량, 내리막경사, 연료차단구역, 연료소모량, 연비

* : Corresponding Author
eckim@incheon.ac.kr, Phone: +82-32-835-8469, Fax: +82-32-835-0775

Received 25 September 2014, Accepted 25 December 2014

서론

1. 연구의 배경 및 목적

에코드라이빙(Eco-driving)은 연료를 절약하고 이산화탄소 배출을 줄이는 친환경 운전법으로 도로교통부문에서 발생하는 이산화탄소 배출량과 연료소모량을 최소화할 수 있는 방안 중 하나이다. 이는 국내 뿐 아니라 국외 많은 국가에서도 정부차원의 홍보와 정책을 통해 활성화하고자 하는 부분이다. 에코드라이빙은 경제적, 환경적으로 긍정적인 효과를 도출하기 위해 급가속, 급제동 등의 운전습관을 지양하고 있어 교통안전에 향상시킬 수 있는 전략으로도 평가받고 있다.

에코드라이빙 수칙은 계획, 유지관리, 운전습관 크게 3가지 측면에서 제시되고 있다. 이 중 운전습관에는 급가속, 급제동 하지 않는 것, 경제속도 준수하기, 공회전 최소화, 에어컨 사용자제, 엔진에열 최소화 등이 있으며, 마지막으로 본 연구에서 다루고자하는 내리막길 관성주행이 있다.

내리막길 관성주행은 일정 수준이상의 속도와 엔진회전속도에서 주행 중일 때 운전자가 가속페달에서 발을 떼면 연료차단기능이 작동하여 연료소모 없이 주행할 수 있는 것이다. 차량은 시동이 걸린 상태를 유지하기 위해 공회전시에도 최소한의 연료를 소모하고 있으나, 이 상태에서는 일시적으로 연료를 소모하지 않는다. 이러한 연료차단기능은 다시 가속페달을 밟거나, 브레이크 등을 밟아 차량의 엔진회전속도 또는 속도와 같은 차량상태에 큰 변화가 오지 않을 시까지 유지된다.

현재 국내의 경우 이러한 차량의 특성을 이용하여 대구시, 인천시에서 각각 '에코존', '연료차단구역'이라는 이름을 통해 운영하고 있으며, 한국도로공사에서도 영동고속도로 일부구간에서 운영하고 있다. 그러나 이러한 연료차단구역 운영 시 효과, 연료차단구역의 구간 내에서의 차량의 연료소모량 변화 등 실차 실험을 통한 연구가 부족하다. 또한 연료차단구역을 설치하기 위한 설치방안도 마련되지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 인천시 도시부 도로를 대상으로 연료차단구역으로 운영이 가능한 지점을 선정하고 해당지점을 실차 실험하여 효과를 분석하는 한편, 관성주행 시 연료소모량, 속도 등의 특성을 분석하고자한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 연료차단구역 설치 시 연료절감 및 이산화탄소 배출 감소에 따른 효과를 분석하고, 연료차단구역에서 관성주행 시 차량의 주행특성을 분석하고자 한다. 이를 위해 인천지역을 대상으로 내리막 경사가 높고 주행의 연속성이 확보된 도로구간을 대상으로 연료차단구역 후보지를 결정하고 실차실험을 수행하였다.

실험은 가속페달과 브레이크를 이용한 가·감속으로 속도를 조절하는 일반주행 모드와 내리막 시점에서 가속페달에서 발을 떼어 주행하는 관성주행 모드로 각각 실험하였다. 그 결과 각각의 주행 시에 소모된 연료소모량과 이산화탄소 배출량을 이용하여 연료차단구역 설치에 따른 효과를 분석하였다. 또한 연료차단구역에서의 속도변화, 연료소모량의 변화, 감속도 등의 자료를 이용하여 연료차단구역 설치방안을 제시하고자한다.

기존문헌고찰

1. 연료차단(Fuel-cut)의 정의 및 의 운영사례

연료차단기능은 연료의 분사를 ECU(Engine Control Unit)으로 제어하는 차량이 일정속도 이상으로 주행 중일 때 가속페달에서 발을 놓으면 연료를 차단하는 기능이다.

Ko K. H. et al.(2012)의 연구에 의하면 연료차단기능이 작동하는 시점은 차량의 주행속도 50km/h 이상, 엔진회전수 1,500rpm 이상인 경우이다. 그리고 이러한 연료차단은 일반적으로 30-40km/h의 속도까지 유지되는 것으로 나타난다. 이러한 조건은 차종마다 차이가 있다. 또한 동일 연구에 따르면 최근 연료차단이 적용되는 엔진회전수 및 속도의 하한 값은 점점 낮아지는 추세이다.

이러한 차량의 기능을 활용하여 연료소모량과 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해 지자체에서는 운전자들에게 관성주행을 할 수 있는 구간을 알려줌으로써 운전자가 관성주행을 하도록 유도하기 위한 노력을 기울이고 있다. 환경부는 2013년 6월부터 국내 내비게이션 소프트웨어사와 함께 연료차단주행이 가능한 구간을 무가속 구간으로 명명하고 내비게이션을 통해 운전자에게 무가속 구간을 안내하는 서비스를 제공하기 시작하였다. 대

상은 수도권 주변 29개 구간으로 주행속도가 80-110km/h 이상인 국도 및 고속도로를 대상으로 하고 있으며 평균 구간거리는 1km 이상의 연속류인 것으로 나타났다. 해당 구간들은 도로상에 별도의 관성주행 구간임을 나타낸 것이 아니라 내비게이션을 통해 운전자에게 관성주행이 가능한 곳을 알리는 서비스이다.

연료차단구역을 운영하고 있는 곳은 대구시와 인천시 2개 지자체와 영동고속도로 일부구간이 있다.

1) 영동고속도로 '에코존'

영동고속도로 짜리재(209.85-206.55km) 인천방향 구간으로 2.1km 구간을 에코존으로 선정하여 운영하고 있다. 영동고속도로의 경우 해당구간의 통행속도를 감소시켜 과속으로 인한 사고를 감소시키기 위해 에코존을 설치 운영하고 있다. 해당구간의 종단구배는 -4.998%로 구간의 평균속도는 107.75km/h이다. 에코존을 홍보하기 위해 홍보 표지판을 설치하고 에코존의 운전요령을 안내하는 표지판을 함께 설치하여 운영하고 있다. 또한 전방 6km 지점 VMS를 통해 "전방 6km 에코존, 가속페달을 밟지 마세요." 문구를 통해 운전자가 보다 쉽게 인지 할 수 있도록 하고 있다.

2) 대구시, '에코-존'

관성주행을 유도하기 위하여 내리막 구간 3지점을 '에코-존'으로 선정하고 운영하고 있다. 각각의 구간은 담티고개 1km, 유니버시아드 지하차도 2km, 청호로 2km로 연속류의 성격을 가지는 구간이다. 3지점의 제한속도와 내리막 경사는 Table 1과 같다. 대구시의 경우 에코존의 시종점에 노면표시를 통해 운전자가 보다 쉽게 인식할 수 있도록 하고 있다.

3) 인천시, '연료차단구역'

인천시 역시 동일하게 내리막 구간에 관성주행을 유도하기 위하여 '연료차단구역'이라는 이름으로 2지점을 시범 운영 중이며, 확대운영계획을 가지고 있다. 운영 중인 구간의 제한속도는 70km/h로 2지점의 도로경사도는 -4.8%, -5.1%인 것으로 조사되었다.

영동고속도로를 비롯하여 인천시와 대구시에서 운영 중인 에코존 또는 연료차단구역은 운영 명칭도 상이하고, 도로의 내리막 경사도, 제한속도 등 서로 상이한 교통특성을 가지고 있다.

Table 1. Current practice of fuel-cut zone

Operator	Site	Length (km)	Downhill grade(%)	Limit speed (km/h)
Korea expressway corporation	Youngdong expressway	2.1	-4.998	100
	Damtigogae	0.7	-6~7%	70
Deagu	Univeriade Underground roadway	0.7	-5~6%	80
	Michuhol-daero(up)	.46	-4.8	70
Incheon	Michuhol-daero(down)	.474	-5.1	70

영동고속도로와 대구시에서 운영 중인 에코존은 내리막 경사가 1km 이상으로 연속류에 해당하는 성격을 가진다. 반면 인천시의 연료차단구역은 구간의 연장이 각각 450m 내외로 대구시에서 운영 중인 3지점과 영동고속도로 구간에 비하여 구간연장이 상대적으로 짧은 것으로 나타났다.

2. 연료차단구역의 효과에 관한 연구

Choi S. C. et al.(2011)의 연구에서는 고속도로를 대상으로 경사도가 연비에 미치는 영향을 분석하였다. 실험대상 구간은 영동고속도로 213km 전 구간으로 GPS를 통해 수신한 데이터를 이용하여 경사도를 측정하고, CRUISE 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 통해 경사도의 영향을 분석하였다.

영동고속도로의 전 구간 경사도가 0일 경우 100km/h로 정속주행 한다고 가정하면, 경사가 있는 경우 전구간이 평지인 경우에 비하여 5.4%가량 연비가 악화되는 것으로 분석하였다. 이처럼 도로의 경사도가 연료소모량 및 이산화탄소 배출에 영향을 미치는 것은 다수의 연구를 통해 증명되었을 뿐 아니라 누구나 알고 있는 사실이다.

오르막 경사의 경우 중차량의 속도저하로 인한 교통흐름 방해, 교통안전 저하 등의 이유로 오르막 차로 설치와 같이 특수하게 다루어지고 있다. 반면 내리막 경사는 차량의 과도한 속도증대를 막기 위해 도시부나 고속도로 모두 내리막 경사 구간에 제한속도 카메라가 설치되어 있는 곳이 빈번하다.

그러나 자원과 환경문제가 중요시되면서 내리막 경사를 보는 시각은 관성주행을 유도하는 연료차단구역 또는 에코존이라는 형태로 나타나 기존의 정채과는 다소 다른

모습으로 변화되고 있는 것으로 보인다.

Choi, S. C. et al.(2013)의 연구에서는 내리막 구간에서의 감속정도에 따른 연비향상효과를 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 분석함으로써 최적의 연료차단 주행방법을 제안하였다. 시뮬레이션 프로그램은 AVL사의 CRUISE이며, 프로그램은 차속 및 도로의 구배 등에 대한 주행 저항력을 계산하여 이에 상응하는 엔진 추진력 및 필요한 연료소모량을 계산하는 프로그램이다. 시뮬레이션을 이용하여 도로구배 10, 20, 30m/km에 대한 관성주행의 연비향상효과를 계산한 결과 내리막 구간에서 95km/h까지 관성주행 하는 경우 110km/h로 정속주행 하는 경우에 비하여 평균 4.5%의 연비향상효과를 얻을 수 있는 것으로 분석하고 있다. 또한 도로의 내리막 경사가 3배 증가하는 경우 연비 향상율은 약 6배 증가하는 것으로 분석하였다.

해당 연구에서는 연료차단을 위한 관성주행의 연비향상 효과를 극대화하기 위해서는 내리막 구간이 종료되기 이전에 감속주행과 재가속을 완료할 것을 권장하고 있다.

Ko K. H. et al.(2010)의 연구에서는 고속도로 주행 시 연료차단기능을 활용하였을 때 이산화탄소 배출량 감축에 대한 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 서해안고속도로의 각 IC 구간별 연료사용량, 이산화탄소 배출량, 도로면의 고도를 측정하여 연료차단구역 설정에 따른 연비개선효과를 분석하고자 하였다. 실험은 110km/h로 정속주행하다 내리막구간에서 관성주행을 하고 이후 95km/h까지 감속되면 다시 110km/h로 재가속하는 형태로 주행하였다. 이 경우 서해안고속도로 서서울-목포까지의 평균 연료소모량 및 이산화탄소 배출량은 4% 정도 감소하는 것으로 분석하였다.

Cho S. H. et al.(2013)의 연구에서는 내리막 경사에서 Fuel-Cut기능이 이산화탄소 배출 절감에 미치는 영향을 분석하였다. 이 연구역시 고속도로인 서울-춘천간 고속도로를 대상으로 하였다.

해당연구에서 연료차단구간은 내리막 경사 1-3%이내의 기울기가 250m 이상 지속되는 구간으로 정의하였다. 실험은 100km/h로 정속 주행하되 내리막구간에서는 90km/h까지 감속한 후 다시 100km/h로 재가속하는 방법으로 수행되었다.

홍천-서울 방향의 상행선의 경우 이산화탄소 배출 및 연료소모량이 9.89% 감소한 것으로 분석하였다. 이때 상행선 전체 주행 시 12.02%가 관성주행된 것으로 나타났다.

3. 시사점

연료차단 또는 관성주행에 따른 효과와 관련된 연구는 주로 차량의 운행측면에서 이루어져왔다. 따라서 도시부보다는 고속도로 연속류 등을 대상으로 시뮬레이션을 이용하여 그 효과를 분석한 연구가 다수이다.

연료차단기능을 이용하여 연비를 향상시키기 위해서는 내리막 경사 길이가 충분해야 하며, 차량의 주행속도가 일정 수준 이상이어야 하므로 연속류에서 보다 쉽게 운영이 가능할 것이다. 이러한 이유로 기존의 연구들이 주로 고속도로를 대상으로 수행된 것으로 판단된다.

그러나 고속도로의 경우 설계기준이 일반 도시부의 도로보다 엄격하여 차량의 속도저하가 도로구간에 미치는 안전상의 영향이 보다 클 것으로 판단된다. 반면 도시부의 경우 고속도로에 비하여 도로의 경사도가 높아 상대적으로 낮은 속도에서도 관성주행이 가능하며, 전방에 교차로가 위치한 경우가 빈번하여 관성주행으로 인한 차량의 감속이 교통류 흐름에 상대적으로 미치는 영향이 적을 것이라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 도시부 도로에서의 연료차단구역 운영의 효과와 효율적 운영을 위한 설치 방안을 마련하고자 연구를 수행하였다. 또한 도시부에서의 운영가능성과 효과를 판단하기 위함임으로 실제 교통상황을 충분히 감안하기 위해 실차실험을 통해 결과를 도출하고자 하였다.

데이터 수집

1. 실험구간 선정 및 실험방법

1) 실험구간 방법

연료차단구역 선정과 운영에 따른 효과분석 및 이를 통한 연료차단구역 설치방안을 제시하기 위해 본 연구에서는 인천시를 대상으로 도로의 중단 경사도별로 연료차단구역으로 운영가능성이 있는 지역을 선정하고 이를 실험하였다.

[구간선정] 연료차단구역 후보지 선정은 Google Earth, 로드뷰 등을 활용하여 선정하고, 현장조사를 통해 관성주행이 가능한지 여부를 판단한 후 Table 2와 같이 최종 실험 구간을 선정하였다.

선정된 구간은 시점부터 종점부까지 전구간이 내리막 경사인 구간이 다수이나, 일부 구간은 내리막 경사이후 평지구간이 포함되어 있다.

단, 다음과 같은 환경을 가진 구간은 연료차단구간으로서 운영하기 위해 좋은 조건을 가졌더라도 대상에서 제외하였다.

- 과속을 방지하기 위해 내리막 종점 또는 중간구간에 과속카메라를 설치하여 관성주행이 어려운 구간
- 과속방지턱이 설치되어 실험이 불가능한 경우
- 내리막 구간 중간에 횡단보도 또는 보행신호가 위치하거나 진출입로가 있어 차량진입이 빈번한 경우
- 내리막 종점부 교차로 신호대기 시 대기행렬로 인해 관성주행 거리 또는 충분한 감속거리가 확보되지 않는 경우

사전현장조사를 통해 실험 시작구간과 종료구간을 결정하고 해당구간의 위경도 값을 이용하여 데이터를 수집하였다.

[주행실험] 관성주행에 따른 연비향상효과를 분석하기 위해서는 일반주행과 관성주행시의 연료소모량을 비교분석할 필요가 있으므로 각 구간을 일반주행모드(Normal Driving, N)와 관성주행모드(Fuel-cut Driving, E)로 주행실험을 수행하였다.

Figure 1에 나타난 바와 같이 일반주행과 관성주행은 내리막 시작구간까지 진입속도를 제한속도에 근접하게 맞추도록 하고, 이후 구간 시작 시 엑셀에서 발을 떼고

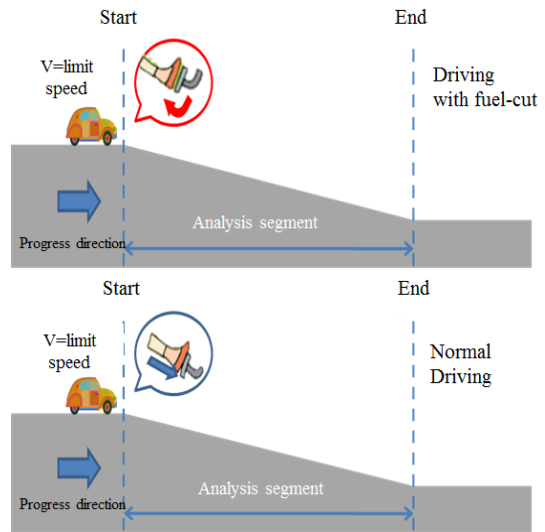


Figure 1. Experiment method and analysis segment

관성주행을 하는지 여부에 차이를 두었다.

일반주행의 경우 내리막 구간 주행 시 교통흐름에 따라 엑셀과 브레이크를 통해 가·감속을 하도록 하였다.

반면 관성주행은 엑셀에서 발을 떼 상태로 서서히 감속을 하되 구간연장이 길거나 속도 저하가 급격한 구간에서는 교통상황에 따라 다시 제한속도까지 재가속하여 관성주행 하는 방법으로 실험하였다.

실험은 지점별로 주행방법에 따라 각각 10회씩 반복 실험을 수행하였다. 실험이 실제 도로구간에서 특별한 통제 없이 이루어졌으므로 실험수행 시 발생할 수 있는 돌발 상황의 영향을 최소화하기 위해서이다. 단 인천대교의 경우 교통량이나 이러한 돌발 상황의 발생가능성이 낮아 주행모드별 각각 5회씩 실험하였다.

2) 실험장비 및 수집 데이터

실험차량은 Figure 2에 제시한 차량으로 국내에서 생산하는 배기량 2,000cc의 2011년식 LPG 차량으로 제원은 Table 3과 같다.



Figure 2. Experiment vehicle



Figure 3. Digital tachograph

Table 2. Experiment sites in Incheon

no.	Site	Length (m)	Limit speed (km/h)	Downhill grade (%)
1	Namdong-daero	300	70	5.8
2	Munemi-ro3	439	80	5.9
3	Munemi-ro2	424	80	4.7
4	Munemi-ro1	290	80	2.4
5	Manwol-ro	985	60	4.1
6	Aam-dearo	300	60	8
7	Incheondaegyo(up)	2,100	100	3
8	Incheondaegyo(dw)	2,000	100	3
9	Michuhol-daero1	460	70	4.8
10	Michuhol-daero2	474	70	5.1
11	Ssukgol-gil	241	60	6.6
12	Seogot-ro(up)	634	80	2.8
13	Seogot-ro(dw)	715	80	3.1

Table 3. Specifications of the test vehicle and digital tachograph

Experiment vehicle		Digital tachograph	
Model	SONATA2.0	LDT-100	
Company	HYUNDAI	Recorded item	Speed(km/h)
Production year	2011		Travel distance(m)
Transmission	Auto		Travel time(s)
Displacement	2.0L		Engine speed(rpm)
Fuel type	LPG		Operating of brake
Max.Power	144HP		Latitude, Longitude, Azimuth
	6,000rpm		G-sensor(X, Y acceleration)
Fuel economy	10km/ l		Fuel consumption(cc)

실험구간을 주행하는 동안 실시간 위치 및 주행속도와 연료소모량 차량상태의 기록은 Figure 3의 차량정보 저장장치를 이용하였다. 차량정보 저장장치는 차량의 OBD (On-Board Diagnosis)-II 커넥터에 연결되어 차량의 ECU로부터 데이터를 수집하며, 데이터 수집 주기는 1Hz로 매초마다 Table 3에 제시된 항목을 기록한다.

분석결과

1. 연료차단구역의 관성주행특성

1) 연료차단 시종점의 차량속도 및 엔진회전속도

분석대상구간 총 13개 지점의 관성주행 데이터를 분석하여 연료차단 주행 시 실험대상 차량의 속도와 엔진회전속도를 분석하여 연료차단 작동 시점과 종료시점을 살펴보았다.

연료차단 시종점의 속도별 빈도수를 보면 주로 50km/h 이상의 속도에서 연료차단기능이 작동되었으며, 시점의 경우 40-50km/h 범위에서도 연료차단이 시작되는 것으로 나타났다. 연료차단이 유지되는 속도(연료차단이 종료되는 속도)는 이보다 더 낮은 30km/h 까지 유지되는 것으로 나타났다.

전 구간 실험 중 연료차단 시점과 종점의 속도별 엔진회전속도를 살펴보면 연료차단이 시작되는 가장 낮은 속도는 42km/h(1,229rpm)으로 일반적으로 알려진 50km/h(1,500rpm)보다 속도와 엔진회전수 모두 더 낮게 나타난다. 반면 연료차단이 종료되는 시점의 최저속도는 알려진 바와 같이 시속 30km/h로 나타났으며, 연료차단이 종료되는 시점의 엔진회전수가 가장 낮은 지점은 시속 63km/h, 965rpm인 경우이다.

관성주행을 시도하였으나 연료차단기능이 작동되지 않는 경우가 있었다. 이때의 차량속도나 엔진회전수는 연료차단이 작동되었던 조건에 부합함에도 불구하고 연료차단 기능이 작동하지 않았다. 그리고 이때의 연료소모량은 일반적인 공회전시의 최소 연료량을 소모하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 차량이 연료차단 기능을 작동시키는지 여부를 판단하는 요인이 차량의 속도와 엔진회전속도만은 아니라는 사실을 보여준다. 추가적인 동력을 필요로 하는 기능의 작동 여부에 따라 연료차단 기능이 작동하는 속도 및 엔진회전속도의 범위가 달라지는 것으로 판단된다.

2) 관성주행 시 속도변화

3구간(Munemi-ro2)과 12구간(Seogot-ro(up))은 제한속도 80km/h에 전 구간 내리막경사 구간으로 구간 3은 4.7%, 구간 12는 2.8%의 내리막경사를 가지고 있다. 관성주행 하는 동안 두 구간의 속도 변화를 살펴보면 (Figure 4) 구간 3의 경우 65m/h로 진입하여 구간 종료시점의 속도는 74km/h로 속도가 증가하였다. 반면 내리막경사가 2.8%인 구간 12는 동일하게 65km/h로 진입하였으나 관성주행 하는 경우 300m 지점에서 속도

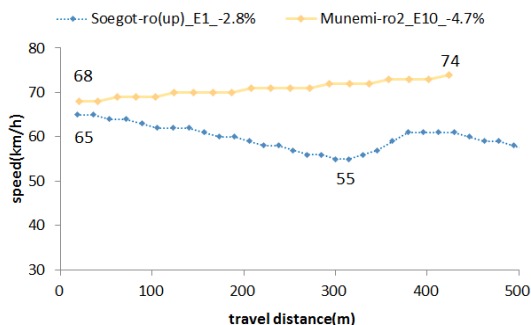


Figure 4. Speed variations of Munemi-ro2 and Seogot-ro(up)

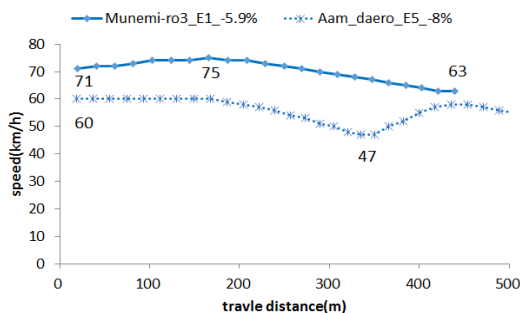


Figure 5. Speed variation of Munemi-ro3 and Aam-dearo

가 55km/h까지 저하되어 재가속 함으로써 연료차단이 중단되는 형태를 보인다.

2-3%의 내리막경사를 가지는 경우 진입속도가 높더라도 속도저하로 인해 연료차단이 중단되거나 주변 교통 속도와의 속도차이로 400m 이상 관성주행을 유지하기 힘들다. 따라서 도로의 내리막 경사가 4%이하로 낮고, 내리막 구간의 연장이 400m 미만인 구간에 연료차단구역 설치를 위해서는 교차로 간격이 길지만 필연적으로 감속이 필요하거나 어린이 보호구역 등과 같이 차량의 평균속도를 낮추기 위한 목적으로 적용하는 것도 좋을 것으로 판단된다.

구간 2(Munemi-ro3)와 6(Aam-dearo)은 내리막 경사도는 5.9%, 8%로 높으나 내리막 경사구간 180m와 평지구간으로 구성되어 있다. Figure 5를 보면 두 구간은 180m 지점을 기준으로 속도가 감소한다. 내리막 경사 종료시점에서 속도가 높았던 구간 2의 경우 이후 10km/h 속도가 감소하는 동안 186m, 구간 6은 109m를 주행하였다. 높은 내리막경사 이후 연결된 평지구간에서도 관성주행으로 인한 연료차단의 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 연료차단구역 설치 시 경사도가 높은 내리막 경사구간뿐 아니라 평지구간과 연결된 복합구간도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4에서 평균 통행속도의 변화를 살펴보면 일반주행과 관성주행 모두 내리막 경사가 증가할수록 평균

속도는 증가하는 것으로 나타난다. 그리고 일반주행시의 평균통행속도가 관성주행시보다 다소 높은 것으로 나타난다. 관성주행 시 평균 통행속도가 높게 나타난 구간은 공통적으로 도시부내에서 제한속도가 높고 기하구조와 도로면 주행환경이 안정적인 특징을 가진다.

Figure 6은 일반주행시와 관성주행시 구간의 평균통행속도에 따른 연비를 나타낸 그래프이다. 일반주행시 평균주행속도에 따른 연비의 변화가 없는 것으로 나타나나 관성주행시에는 평균속도가 증가함에 따라 연비가 급격히 증가하는 것으로 나타난다. 일반주행시의 평균속도가 관성주행시에 비해 대체로 높게 나타나나, 내리막 경사가 높고, 주행환경이 안정적인 경우 동일한 주행속도로 구간을 통과할지라도 연비향상도는 매우 높다는 것을 보여준다.

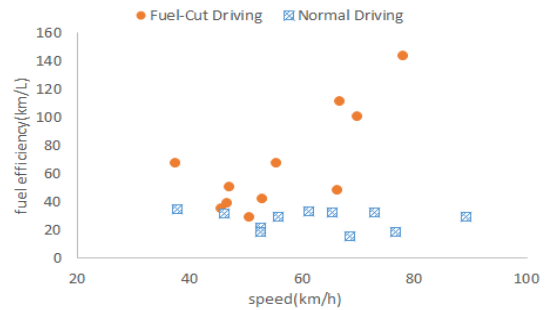


Figure 6. Fuel efficiency with average speed

Table 4. Statistical analysis of experimental sites

	Average	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Normal Driving	Downhill grade(%)	5.8	5.9	4.7	2.4	4.1	8	3	3	4.8	5.1	6.6	2.8	3.1	
	Fuel consumption(cc)	16.09	13.4	13.23	9.74	45.43	19.74	107.14	72.32	14.83	16.21	6.99	18.95	39.36	
	Fuel efficiency(l /km)	18.5	32.3	32.3	29.4	21.7	15.2	19.6	27.8	31.3	29.4	34.5	33.3	18.2	
	Speed(km/h)	76.54	72.8	65.33	55.74	52.54	68.5	96	97.25	46.16	89.18	37.78	61.22	52.67	
	Deceleration(%)	0.05	-0.06	-0.21	-0.75	-0.12	0.16	-0.03	-0.01	-0.65	-0.11	-1.06	-0.45	-0.40	
	Travel time(s)	14.2	20.9	21.4	17.5	65.8	14.7	78.4	72.6	29.9	15.1	16.3	33	46.5	
Fuel-Cut Driving	Fuel consumption(cc)	6.28	3.02	3.82	5.71	34.44	4.33	77.15	40.65	11.76	4.46	3.68	14.92	20.82	
	Fuel efficiency(l /km)	47.6	142.9	111.1	50.0	28.6	66.7	27.0	50.0	38.5	100.0	66.7	41.7	34.5	
	Speed(km/h)	66.44	78.2	66.82	47.03	50.7	55.44	85.3	86.91	46.72	69.86	37.4	52.91	45.68	
	Deceleration(%)	-0.05	-0.16	-0.01	-0.73	-0.11	-0.12	-0.05	-0.07	-0.60	-0.17	-1.01	-0.35	-0.29	
	Travel time(s)	17.4	21.8	20.6	25.5	68.9	17.9	70.6	64.4	24.7	20.9	17.5	43.4	53.5	
	Fuel-cut	Initial speed(km/h)	42.9	60.4	47.6	59.9	48.3	58	93.7	94.3	50.2	43.3	58.5	59.8	53.1
		Initial rpm	1033	1336	1049	1560	1441	1685	2072	2084	1110	956	1749	1786	1586
		End speed(km/h)	37.7	48.6	44.9	42.2	40.7	45.8	76.4	78.7	41.2	34.6	39.1	48.4	35.5
		End rpm	872	1094	1002	1064	1197	1321	1688	1739	905	761	1143	1435	1039
		Deceleration(%)	-0.12	-0.20	-0.05	-0.42	-0.05	-0.23	-0.24	-0.16	-0.25	-0.19	-0.56	-0.26	-0.17
Fuel-cut time(s)		12	16.4	14	11.6	11.18	14.8	19.73	26.6	10	12.5	9.7	12.2	28.1	
Fuel-cut time(%)	17.4	21.8	20.6	25.5	68.9	17.9	70.6	64.4	24.7	20.9	17.5	43.4	53.5		

2. 연료차단구역 운영에 따른 지점별 효과분석

연료차단구역 운영에 따른 지점별 연료소모량 변화에 대한 결과는 Table 4와 같다. 지점명은 Table3에 명시된 번호와 같으며, 속성 값은 각각 일반주행 시와 관성주행 시 10회씩의 반복 측정값의 평균이다.

평균연비 효율이 가장 높게 나타난 구간은 2 구간으로 도로의 내리막 경사 5.9%에 구간 연장 439m인 구간이다. 해당구간의 경우 5.9%의 내리막 경사 구간 180m와 259m의 평지구간으로 구성된 구간이다. 평균주행속도가 높고 충분한 연료차단구간이 확보되어 높은 연비효율을 보인다.

Figure 7과 8은 구간 2의 일반주행 시와 관성주행 시 연료소모량 및 속도변화를 나타낸 그래프이다. 구간 2의 경우 시점에서 종점까지의 속도 변화가 크지 않다.

관성주행 시 그래프를 보면 시점부터 연료소모량이 '0'으로 기록된 것을 볼 수 있다. 브레이크를 통해 제동하거나, 지속적인 감속으로 인해 속도와 엔진회전속도가 저하되는 경우 이 연료차단 기능이 해제된다. 구간 2에서는 총 10회의 실험 중 3회를 제외하고는 시점부터 종점까지 439m를 통과하는데 연료를 소모하지 않았다.

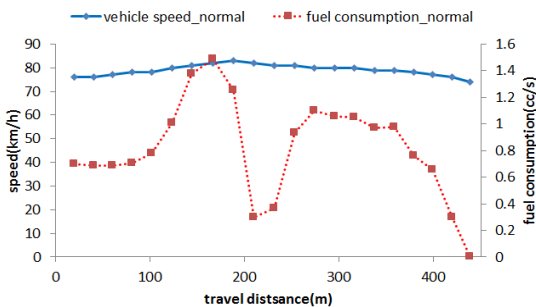


Figure 7. Variations of vehicle speed and fuel consumption for normal driving at Munemi-ro3

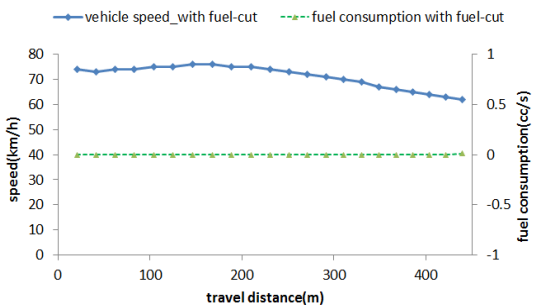


Figure 8. Variations of vehicle speed and fuel consumption for fuel-cut driving at Munemi-ro3

그 다음으로 연비가 높게 분석된 구간은 구간 3 (Munemi-ro 2)과 10(Michuhol-dearo 2)으로 도로의 내리막경사도가 5%(각각 4.7%, 5.1%)내외로 도로의 구조적 환경이 구간 2와 비슷한 지역이다.

반면 구간 9(Michuhol-dearo 1), 11(Ssukgol-gil)의 경우 도로의 내리막 경사도가 높으나 연비가 상대적으로 낮게 나타난다. 특히 구간 9번의 경우 내리막 연장 400m 이상으로 구간 10과 아주 유사한 기하구조를 가지나 구간 9의 경우 내리막 종점부에 신호교차로가 위치한다. 이로 인하여 일반주행 시 연비가 구간 10과 비슷하나 관성주행을 지속적으로 유지하지 못함으로 인하여 관성주행 시 연비가 급격히 저하되는 것이다.

또한 구간 11은 6.6%의 내리막경사로 매우 높은 경사도를 보이나 구간연장이 짧고 종점부에 신호교차로가 위치하여 관성주행에 적합하지 못한 것으로 판단되었다. 그러나 종점부에 신호교차로가 없거나 신호 연동이 가능하다면, 가장 연비 효율이 좋았던 구간 2와 유사한 구조를 가지게 되므로 해당구간에 연료차단구역을 설치하고자 한다면 신호연동이 필수적일 것이다.

실험구간 중 구간 7(Incheondaegyo(up)), 8(Incheon daegyo(dw))은 인천대교의 상행과 하행으로 유일한 연

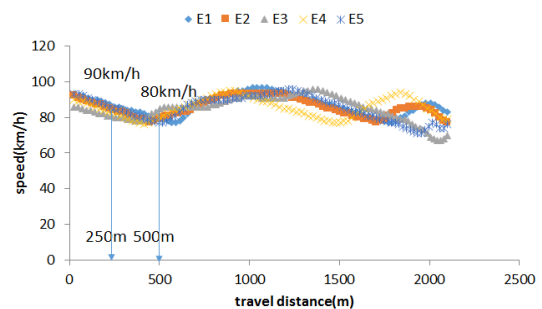


Figure 9. Speed variation for fuel-cut driving at Incheon-daegyo(up)

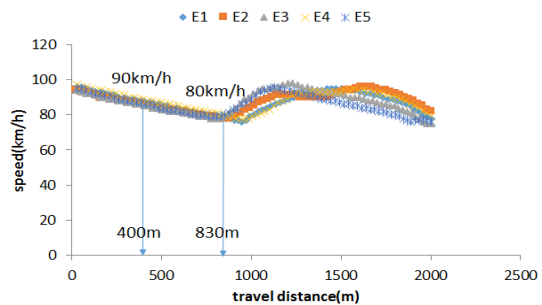


Figure 10. Speed variation for fuel-cut driving at Incheon-daegyo(dw)

속류 구간이다. 해당구간의 경우 주탑을 기준으로 상행과 하행이 동일하게 3%의 경사도를 가지고 있다. 그러나 연비는 구간 8인 하행이 상행에 비하여 연비가 1.3배 더 높은 것으로 분석되었다.

Figure 9와 10을 통해 두 구간의 속도변화를 살펴보면 상행의 경우 약 100km/h로 진입하여 500m 지점에서 80km/h까지 속도가 저하되는 반면, 하행의 경우 동일한 속도에서 시작하여 80km/h까지 속도가 저하되는 지점이 830m로 상행에 비하여 속도 저하율이 낮게 나타난다. 즉 일정 속도 수준을 동일하게 지정할 때 동일한 경사도임에도 불구하고 관성주행이 가능한 거리가 하행구간이 더 긴 것이다. 상행구간의 경우 경사도는 동일하나 하행과 달리 곡선구간이 포함되어 있는데 상행구간의 곡선반경과 그로 인한 편경사의 영향일 것으로 추정된다.

구간 12(Seogot-ro(up)), 구간 13(Seogot-ro(dw))은 도로의 내리막경사가 각각 2.8%, 3.1%인 구간으로 타 구간에 비해 내리막경사가 낮은 편이다. 내리막 연장이 634m, 715m로 도시부 도로로는 드물게 관성주행이 충분한 구간길이를 갖추었음에도 불구하고 동일한 제한속도를 가지는 구간 2와 구간 3에 비하여 평균 통행속도가 낮은 편이다. 따라서 구간 통과 시 연비를 살펴보면 일반 주행 시와 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다.

연속류인 인천대교를 제외한 11개소에 대해 내리막 경사도에 따른 연비를 Figure 11과 같이 나타내었다. 이것은 11개 지점에 대해 각각 10회씩 주행실험을 실시한 결과 나타난 평균연비이다.

일반주행시 내리막 경사가 증가함에 따라 연비는 거의 차이가 없거나 다소 감소하는 것으로 나타난다. 반면 관성주행시 내리막 경사가 4% 이상일 때 경사도가 증가함에 따라 평균 연비가 확연하게 증가하는 양상을 보인다. 내리막 경사가 증가함에 따라 통행시간과 통행속도

는 일반주행과 관성주행이 큰 차이를 보이지 않는 반면, 연비는 다소 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 곧 절감된 연료량만큼 오염물질과 이산화탄소 배출량 역시 감소됨을 의미한다. 따라서 안전성이 확보된다는 전제하에 도시부내에서 적절한 연료차단구역의 설치 및 운영은 경제적 환경적 편익을 함께 만족시킬 수 있는 방안이 될 수 있을 것이라 판단된다.

결론

본 연구에서는 실차 실험을 통해 연료차단구역에서의 관성주행 시 연료소모량변화와 속도변화를 통해 주행 특성을 분석하고, 연료차단구역의 효과를 분석하고자 하였다. 이를 위해 인천시 지역을 대상으로 2-8% 내리막경사를 가진 13개 지점을 실험대상지역을 선정하였고, LPG 연료를 이용하는 배기량 2,000cc 차량에 연료소모량을 측정할 수 있는 차량정보 저장장치를 장착하여 실험을 수행하였다. 연료차단구역 운영에 따른 효과를 분석하기 위해 일반주행, 관성주행 2가지 운전유형으로 실험구간을 통과하였다. 그리고 통과하는 동안의 실시간 연료소모량, 속도, 엔진회전속도의 차량상태를 기록하여 비교분석함으로써 관성주행 시 특성과 효과를 분석하였다. 또한 연료차단 시중점의 속도 및 엔진회전속도를 파악하여 관성주행 시 연료차단이 시작되는 속도와 엔진회전속도 그리고 감속 시 연료차단이 유지되는 조건을 파악하고자하였다.

그 결과 연료차단이 시작될 수 있는 조건은 주행속도 42km/h(1,229rpm)로 기존에 제시된 50km/h(1,500rpm)보다 다소 낮은 조건에서도 연료차단은 시작될 수 있는 것으로 나타났다. 또한 연료차단이 유지되는 속도는 30km/h까지로 나타나 도시부 도로에서도 감속이 필요한 구간, 통행속도를 낮추고자 하는 구간에서 연료차단 운영이 가능할 것으로 보인다.

관성주행 시 속도변화와 연료소모량 변화를 파악하여 연료차단구역 설치 시 효과적으로 운영될 수 있는 유형을 판단하고자하였다. 경사도가 2-3%인 구간의 경우 차량의 속도 저하 폭이 커 관성주행 시 주변 차량의 통행속도와와의 속도차가 발생하였다. 속도가 높은 연속류라 할지라도 400m 이상 관성주행을 유지하기는 힘들 것으로 판단된다. 따라서 2-3%의 내리막 경사도에서 연료차단 구역을 운영하고자 하는 경우에는 도시부 도로 중 교차로 간격이 길어 관성주행이 가능하면서, 필연적으로 감속이

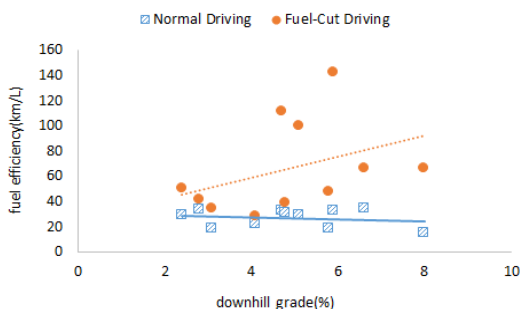


Figure 11. Fuel efficiency with downhill grade

필요하고, 주변 차량의 통행속도가 높지 않은 곳이 적합할 것이다.

내리막 경사도가 4% 이상으로 높고 주행속도 60km/h 이상으로 접근 가능한 구간의 경우, 500m 이상 관성주행이 가능하다. 또한 고가교 등과 같이 내리막 경사도가 높고 구간이 짧은 경우에도 내리막 경사 종료 이후 평지 구간에서 100m 이상 큰 속도저하 없이 관성주행이 가능하다. 이 중 관성주행에 따른 연비향상효과가 높은 지점은 Munemi-ro 3(구간 2), Michuhol-daero 2(구간 10)구간과 같이 경사도와 통행속도가 높은 연속류의 특성을 가지는 구간인 것으로 나타났다. 그러나 Namdong-daero(구간 1)와 같이 전방에 교차로가 위치하여 감속이 필요한 구간의 경우도 연비 향상율은 높은 것으로 나타났다. 단, Michuhol-daero 1(구간 9)와 같이 연료차단 중점부가 교차로인 경우 감속시점이 빨라져 연료차단 효과가 크지 않은 것으로 분석되었다. 본 연구에서 실험한 연료차단구간 운영에 따른 효과는 감소한 연료소모량으로 볼 때 최소 24.19% 최대 78%까지 절감되는 것으로 나타난다.

연구에서 평가하는 구간은 평균 500m 정도로 실제 해당구간을 통과하는 동안 절감되는 연료량은 최대 30cc에 불과하다. 따라서 개인 차량이 특정구간을 통과함에 따라 얻는 비용적 차이는 크지 않을 수 있다. 그러나 해당구간을 통과하는 연간 교통량을 고려할 때, 무네미로 3구간의 경우 439m 구간 통과 시 연간 35.64원의 연료비를 절감할 수 있을 것으로 분석된다.

연료소모량의 감소는 곧 오염물질배출과 이산화탄소 배출량이 감소됨을 의미한다. 또한 평균속도를 낮춤으로써 교통안전 향상까지 감안한다면 더 큰 편익을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government(NRF-2011-0015632) and a grant(1-90-94-04) from 2013 Research Development Program funded by Incheon Green Environment Center.

REFERENCES

- Cho S. H., Prak G. O., Lee D. W., Lee Y. T., Lee S. W. (2013), An Experimental Study About Reduction of CO₂ Emissions by Using the Downhill Fuel Cut Function, The Korea Society of Automotive Engineers Annual meeting, 547-552.
- Choi S. C., Ko K. H., Jeung I. S. (2013), Optimal Fuel-Cut Driving Method for Better Fuel Economy, The Korea Society of Automotive Engineers, International Journal of Automotive Technology, 14(2), 183-187.
- Choi S. C., Oh T. I. (2011), Effect on the Fuel Economy by Gradient in Automobile Driveway, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 12(7), 2925-2930.
- Ko K. H., Choi S. C. (2012), A Study on the Improvement of Vehicle Fuel Economy by Fuel-Cut Driving, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 13(2), 498-503.
- Ko K. H., Jung S. H., Yoo I. K., Lee S. H., Kim J. W. (2010), An Experimental Study on Reduction of CO₂ Emissions by Using Fuel-Cut Function of Vehicles, Transaction of Korea Society of Automotive Engineers, 18(1), 86-92.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제70회 학술발표회(2014. 2. 22)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ✉ 주 작성자 : 최은진
- ✉ 교신저자 : 김응철
- ✉ 논문투고일 : 2014. 10. 2
- ✉ 논문심사일 : 2014. 11. 2 (1차)
2014. 12. 8 (2차)
- ✉ 심사판정일 : 2014. 12. 8
- ✉ 반론접수기한 : 2015. 6. 30
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필