

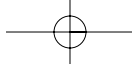
## 승용차 유류소모량 산정 방법의 비교 연구

Comparison of Fuel Consumption Estimation for Passenger Cars

저자	유인균 ; 김제원 ; 이수형 ; 고광호
저널명	한국도로학회논문집 = International journal of highway engineering
발행기관	한국도로학회
NDSL URL	<a href="http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=JAKO201110334670578">http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSearchResultDetail.do?cn=JAKO201110334670578</a>
IP/ID	220.126.115.50
이용시간	2018/04/05 11:20:15

### 저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.



한국도로학회 논문집
제13권 제4호 2011년 12월
pp. 167 ~ 175

## 승용차 유류소모량 산정 방법의 비교 연구

### Comparison of Fuel Consumption Estimation for Passenger Cars

유인균 Yoo, In Kyoon	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 (E-mail : ikyoo@kict.re.kr)
김제원 Kim, Je Won	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : jwonkim@kict.re.kr)
이수형 Lee, Su Hyeong	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : shlee1@kict.re.kr)
고광호 Ko, Kwang Ho	정회원 · 아주자동차대학 자동차학부 교수 (E-mail : kwangho@motor.ac.kr)

#### ABSTRACT

Evaluation of fuel consumption for the various road condition and vehicle type is necessary to perform the economic analysis of road construction which is important for the efficient design and management of road. Economic analysis of road should consider the social cost which can be divided into agency cost including initial construction expense, maintenance cost, and so on, and user cost consisting of vehicle operating cost, congestion cost, etc. Since vehicle operating cost depends on the traffic volume, fuel consumption that is a major part of vehicle operating cost will change by traffic volume as well. Fuel consumption is significantly affected by vehicle speed and road condition, especially the roughness. Thus, fuel consumption should be evaluated in terms of road condition, which is not currently considered. In this study, the estimation model of fuel consumption for the passenger cars in Korea has been developed by considering the road condition. First, the relationship between vehicle speed and fuel consumption that is used to calculate the vehicle operating cost for investment evaluation of transportation facility and the initial feasibility study of road construction was investigated. Second, with the consideration of road roughness, fuel consumption of the passenger car was measured. From the measurement, it was found that fuel consumption increased by 80ml per 100km driving as the roughness increased by 1m/km. Therefore, it is recommended that for the economic analysis of road design and management, the fuel consumption should be a function of road roughness.

#### KEYWORDS

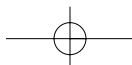
*fuel consumption, vehicle operating cost, roughness, road management*

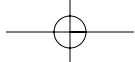
#### 요지

효율적인 도로의 설계와 관리를 위해서는 도로건설의 경제성 분석이 중요하며 이를 위해서는 도로 상태별 차량별 유류소모량의 평가가 필요하다. 도로에서는 초기 건설비용, 유지보수비용, 차량운행비용, 지정체비용 등이 발생되는데, 도로의 경제성 분석을 위해서는 초기 건설비용, 유지보수비용 등과 같은 관리자비용과 차량운행비용, 지정체비용 등과 같은 이용자비용을 모두 포함한 사회적 비용이 고려되어야 한다. 이 중 차량운행비용은 교통량에 따라 그 비용이 변화되므로 차량운행비용 항목의 큰 부분을 차지하는 유류소모량 또한 교통량에 따라 변화하게 된다. 그런데 유류소모량은 차량의 주행속도 및 도로포장의 상태, 특히 평탄성에 따라 크게 변화되므로 도로의 경제성 분석을 위한 차량운행비용의 산정을 위해서는 주행차량에 대해 도로 상태에 따른 유류소모량을 평가하여 경제성 분석에 반영해야 할 필요가 있으나 아직 이를 고려하지 못하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 국내에서 운행되는 승용차에 대해서 도로 상태별 유류소모량 추정모델을 개발하였다. 우선 우리나라의 교통시설 투자평가 및 도로건설의 예비타당성 조사에서 차량운행비용 산정을 위해 사용되고 있는 주행속도와 유류소모량의 관계식을 고찰하고, 승용차를 대상으로 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화의 관계를 실제 도로에서 실측하여 평탄성과 유류소모량 변화의 관계를 분석하였다. 실험 결과, 평탄성에 따른 유류소모량의 변화는 평탄성이 1m/km 증가하였을 경우 100km 주행 시 약 80ml 정도의 비율로 유류소모량이 증가하는 것으로 확인되었다. 따라서 도로의 설계 및 유지관리에 있어서 보다 정확한 경제성 분석을 수행하기 위해서는 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화를 고려해야 할 필요가 있다.

#### 핵심용어

*유류소모량, 차량운행비용, 평탄성, 유지관리*





## 1. 서론

새로운 도로의 건설 및 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 경제성 분석이 그 기본이 된다. 우리나라에서는 새로운 도로를 건설하기 위하여 도로를 설계할 경우 타당성 조사 등을 통해 설계 대안별 경제성을 비롯한 여러 가지 요소를 종합적으로 고려하여 효율적으로 도로를 설계하기 위해 노력하고 있다. 그리고 도로포장을 적절한 수준으로 유지관리하기 위해 포장관리시스템을 운영하여 매년 도로포장에 관한 현황 조사를 실시하고, 조사결과 나타난 파손구간의 유지보수 우선순위를 경제성 분석 등을 통해 종합적으로 결정하는 등 효율적으로 도로포장을 유지관리하기 위해 노력하고 있다. 이와 같이 효율적인 도로 설계 및 유지관리를 위해서는 경제성 분석이 중요한 부분이 된다.

도로에 대한 경제성 분석은 사회적 비용을 고려하여 수행하여야 한다. 도로에서는 초기 건설비용, 유지보수 비용, 차량운행비용, 지정체비용 등이 발생되는데, 도로의 경제성 분석을 위해서는 초기 건설비용, 유지보수비용 등과 같은 관리자비용과 차량운행비용, 지정체비용 등과 같은 이용자비용을 모두 포함한 사회적 비용을 고려하여야 한다. 이 중 차량운행비용은 유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 감가상각비 등으로 구성되어 있는데, 유류소모량으로 나타나는 유류비는 감가상각비를 제외한 차량운행비용 항목의 약 60% 이상을 차지하고 있다. 차량 한 대당 소요되는 차량운행비용은 작을지라도 교통량에 따라 그 비용은 크게 변화되어 유류소모량 또한 교통량에 따라 크게 변화되므로 도로의 경제성 분석을 위해서는 정확한 유류소모량의 평가가 필요하다.

그러나 유류소모량은 차량의 주행속도 및 도로포장의 상태, 특히 도로포장의 평탄성에 따라 다양하게 변화되기 때문에 현재 유류소모량의 정확한 평가는 어려운 상황이다. 우리나라에서는 차량의 주행속도에 따른 유류소모량의 변화를 고려하여 유류소모량을 평가하고는 있지만, 도로포장의 상태에 따른 유류소모량 변화를 고려하여 유류소모량을 평가하지는 못하고 있는 상황이다. 도로의 경제성 분석을 위한 차량운행비용의 정확한 산정을 위해서는 차량의 주행속도 및 도로포장의 상태에 따른 유류소모량을 평가하여 경제성 분석에 반영해야 할 필요가 있으며, 외국에서는 유류소모량이 도로포장 상태에 따라 차량운행비용에 미치는 영향이 크다고 인지하여 이에 대한 연구를 수행하고 있다.

따라서 본 논문에서는 도로 건설 및 유지관리의 경제성 분석을 위한 정확한 유류소모량을 평가하기 위해, 국

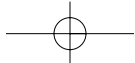
내에서 운행되는 승용차에 대한 도로 상태에 따른 유류소모량 추정 모델을 개발하였다. 이를 위해 우리나라에서 도로 건설의 예비타당성 조사와 교통시설 투자평가에서 차량운행비용 산정을 위해 사용되고 있는 주행속도와 유류소모량 관계식 및 일반국도 포장관리시스템에서 경제성 분석을 위해 사용되는 HDM(Highway Development & Management) 프로그램의 도로 평탄성에 따른 유류소모량 관계를 고찰하고, 승용차를 대상으로 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화의 관계를 실제 도로에서 실측하여 평탄성과 유류소모량 관계를 분석하고 추정 모델을 제시하고자 한다.

## 2. 예비타당성 조사에서 도로 조건에 따른 차량별 유류소모량 산정

도로 건설 투자사업의 시행으로 발생하는 편익은 교통 측면의 편익인 직접편익과 교통개선으로 인한 사회적 편익인 간접편익으로 구분할 수 있다. 교통시설의 이용자들에게 발생하는 직접편익으로는 차량운행비용 절감, 통행시간 절감, 교통사고 감소, 쾌적성 증가, 정시성 향상, 안정성 향상 등을 들 수 있으며, 간접편익은 도로 건설사업 시행 시 도로의 이용에 관계없이 모든 사람에게 발생하는 파급효과로 환경비용 절감, 지역개발효과, 시장권 확대, 산업구조 개편효과 등을 들 수 있다. 이와 같은 편익들 중 차량운행비용, 통행시간 절감, 교통사고 감소 등은 화폐화를 통해 정량화하는 것이 비교적 용이하나 쾌적성, 정시성 및 간접편익의 대부분은 정량화하기가 어려운 상황이다.

이 중 차량운행비용은 도로 건설사업 시행 시 통행거리가 단축되고 통행속도가 증가함에 따라 비용이 감소되는 효과가 발생한다. 차량운행비용은 일반적으로 고정비와 변동비로 구분되는데, 고정비는 차량의 감가상각비, 보험료 및 제세공과금으로 구성되어 있고, 변동비는 유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비 등으로 구성되어 있다. 이 가운데 제세공과금은 단순한 이 전지출로서 경제적 비용이 아니고, 보험료는 교통사고의 발생 가능성에 대비한 비용으로서 예비타당성조사에서는 교통사고비용을 별도로 산정하므로 차량운행비용 절감편익에서는 제외한다. 따라서 예비타당성조사의 차량운행비용 산정에는 유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비, 감가상각비만을 고려하고 있다.

본 연구에서는 한국개발연구원에서 발간한 “도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연



구(제5판)”(2008)을 중심으로 앞서 언급한 바와 같이 차량운행비용 항목 중 유류소모량 산정 방법에 대해 고찰한다.

### 2.1. 유류소모량 관련 기존 연구

수송부문의 투자 방법을 평가하기 위해 수행된 ‘투자심사편람’(경제기획원, 1982)에서는 승용차는 56km/h, 버스는 72km/h에서 유류소모량이 가장 적은 것으로 제시하고 있으며, 고속도로 건설에 따른 효과의 조사 및 분석을 수행하기 위해 연구된 ‘고속도로사업 효과 조사’(국토연구원, 1995)에서는 승용차는 80km/h, 대형버스는 70km/h에서 유류소모량이 가장 적은 것으로 제시되고 있다. 그러나 해당 연구에서 승용차의 경우 80km/h에서의 휘발유 소모량은 0.05197 l/km로서 휘발유 1 l 당 주행거리를 나타내는 연비가 19.24km/l로 비현실적으로 높게 나타나는 문제점이 있다.

이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 유류소모량에 대하여 좀 더 깊은 연구가 수행되었다. 일관성 있고 표준화된 차량운행비용을 산정하기 위해 수행된 ‘차량운행비 산정’(교통개발연구원, 1998)에서는 실제로 승용차, 버스, 트럭에 대하여 이상적인 도로에서의 실험을 통하여 유류소모가 가장 적은 속도를 승용차의 경우 50.4km/h, 버스 및 트럭의 경우에는 각각 35.7km/h 및 36.8km/h 수준임을 제시하였다. 이러한 결과는 과거 우리나라에서 일반적으로 사용하던 속도·유류 소모량 관계식과 크게 다른 것으로 진일보된 것이나 이 자료 역시 대표 차종 선정의 제한성으로 실제 상황에서의 정확한 검증이 필요하다.

도로계획의 합리적 수립 및 투자효율 극대화를 위해 연구된 ‘도로사업 투자분석기법 정립’(국토연구원, 1999)에서는 전국 판매차량을 총망라하여 대표 차종을 선정하여 실제 주행시험을 통해 속도에 따른 유류소모량을 조사하였다. 분석 결과, 고속도로와 일반국도 구간의 유류소모율을 비교해 보면 고속도로가 일반국도보다 유류소모량이 적어 고속국도에서의 연비가 국도보다 향상되는 것으로 조사되었다. 중형승용차의 경우 일반국도 대비 고속도로의 연비 향상률이 평균 26.7%로 가장 높으며 대형버스의 경우는 6.1%로 시험차종에서 가장 낮게 나타났는데, 이는 고속도로는 평탄한 도로이나, 일반국도는 구배 및 굴곡이 있는 도로이기 때문인 것으로 분석하였다. 또한 지방도, 도시부 등 기타 도로는 설계 속도, 운행특성, 선형 조건 등 도로 교통특성을 감안할 경우 일반국도와 유사한 패턴을 보일 것으로 분석되었

다. 이와 같은 조사 결과는 기존의 연구 결과에 비하여 현실성이 보다 높은 것이다.

주행속도별 유류소비량을 살펴보면 고속도로와 일반국도 모두 대체로 주행속도 40~50km/h에서 가장 적은 것으로 나타나고 있다. 대형차량의 경우 일반국도 유류 소비량이 고속도로 유류소비량보다 저속에서 고속으로 주행할수록 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 대형차량의 일반국도 주행 시 도로구배 및 도로굴곡에 의한 가감속 등의 주행패턴 변화가 소형차량보다 크게 작용한 결과로 판단하고 있다. 현장시험을 통해 고속도로에서 실측한 유류소비량과 속도와의 관계는 그림 1과 같이 나타나고 그 관계식은 다음과 같다.

승용차  $L_c=0.02882+0.910/V+0.000003828 \times V^2$

소형버스  $L_{sb}=0.03336+1.153/V+0.000004312 \times V^2$

대형버스  $L_{lb}=0.02476+3.492/V+0.00001277 \times V^2$

소(중)형트럭  $L_{st}=0.01695+1.292/V+0.00001647 \times V^2$

대형트럭  $L_{lt}=0.06639+4.158/V+0.00002525 \times V^2$

(V=주행속도)

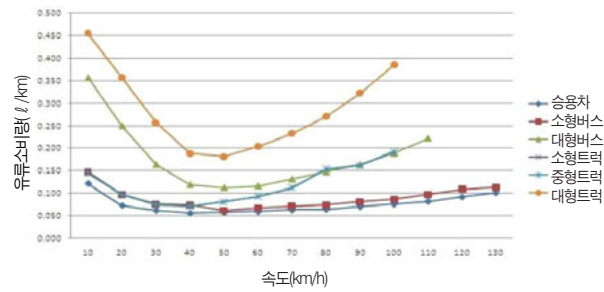


그림 1. 고속도로의 속도 및 차종별 유류소비량

### 2.2. 유류비 산출

‘도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제5판)’에서 제시하는 차량운행비용은 ‘도로사업 투자분석기법 정립(국토연구원, 1999)’에서 제시한 실제 실험 자료를 근거로 하고 있으며, 최근 연료비와 차량가격 등의 변동 상황을 고려하여 2007년 기준 차량운행비용을 제시하고 있다.

유류비는 차량운행비용에서 큰 비중을 차지하는 항목이지만 표준지침에서는 유류비 원단위 추정을 위한 기초자료로 ‘도로사업 투자분석기법 정립’(국토연구원, 1999) 연구에서 제시한 내용을 사용하였다. 이는 1999년 이후 사회여건 변화에 따른 대표 차종의 변화 및 기술혁신에 따른 연비 향상효과를 반영하고 있지 못하므

로 이에 대한 재조사가 필요하나, ‘도로사업 투자분석 기법 정립’ 이후 속도·유류 소모량 관계식 및 유류비 원단위 산정을 위한 국내의 추가적인 연구가 미흡한 실정 이므로 유류비 원단위 추정을 위한 기초자료로 ‘도로사 업 투자분석기법 정립’ 연구에서 제시한 내용을 사용하 고, 유류의 실질가격은 2007년 기준으로 새롭게 산정 하여 유류비를 산출하였다. 또한 승용차의 경우 휘발유 만을 유류비 산정 대상으로 하고 있다.

본 지침연구에서는 우리나라의 최근 실험 결과나 외 국 사례를 볼 때, 차량형태에 따라 다소 상이하나 대략 적으로 40~50km/h에서 가장 적은 유류소모량을 보이 고 있다고 보고하고 있으며, ‘도로사업 투자분석기법 정립’의 자료를 기초로 최근 유류가격을 반영하여 보정 하고 있다. 즉, 표 1과 같이 주유소의 평균 판매가격에 서 교통세, 주행세, 교육세 및 부가가치세를 제외한 실 질가격을 기준으로 2007년 평균 가격인 휘발유 642.28원, 경유 631.62원으로 유류가격을 산정하였으 며, 이를 ‘도로사업 투자분석기법 정립’에 적용하여 차 종별·속도별 유류비를 산정하고 있다.

표 1. 유류가격의 구성 (원/ℓ)

구 분	휘발유	경유	비 고	
세 금	교통세	505.00	356.21	정액세
	주행세	164.12	115.77	교통세의 32.5%
	교육세	75.75	53.43	교통세의 15%
	부가세	138.72	115.70	(세전가격+세금)의 10%
	합계(A)	883.59	641.11	
주유소 판매가격(B)	1525.87	1272.73		
실질가격(C=B-A)	642.28	631.62		

그리고 차종별·속도별 차량운행비용은 차량운행비용 항목별 원단위를 속도별 차이에 따라 적용하고, 차량운 행비용 산정률과 기준속도 비율을 적용한 후(단, 유류비 용의 경우에는 유류소모량에 단위가격을 곱하여 산정 함) 차종별 비용항목별 자료를 더하여 산정한다. 표 2는 승용차의 속도별 유류비의 변화를 나타내고 있다.

본 지침연구에서도 기술하고 있지만, 현재 차량운행 비용 산정에서 제안하고 있는 유류소모량 산정 방법은 최근 차량 성능의 향상 및 도로여건의 개선을 제대로 고 려하지 못하고 있다는 한계를 지니고 있다. 따라서 정확 한 유류소모량 산정을 위해서는 기술혁신에 따른 연비 향상 효과를 반영한 차량 주행속도와 유류소모량 관계 는 물론 도로 상태에 따른 유류소모량 변화에 대한 연구 결과를 유류소모량 산정에 반영할 필요가 있으며, 이를

표 2. 승용차의 속도별 유류비

차종	속도(km/h)	유류비(원/km)
승용차	10	77.92
	20	46.98
	30	39.96
	40	36.09
	50	36.87
	60	38.27
	70	40.38
	80	41.38
	90	45.00
	100	48.52
	110	52.49
	120	58.85

위해 본 논문에서는 우선적으로 도로 상태에 따른 유류 소모량을 실측하여 예비타당성 표준지침에서 제시된 속 도별 유류비 결과와 비교함으로써 산정되는 유류비의 차이를 제시하였다.

### 3. 일반국도 포장관리시스템에서의 유류소모 량 산정

일반국도 포장관리시스템에서 경제성분석을 위해 사용 하는 HDM(Highway Development & Management) 프로그램은 도로 재포장과 같은 보수작업의 결과로 감소 되는 차량운행비용과 도로 보수비용 등을 분석하여 적절 한 도로 복구 및 보수 작업 내용을 결정하기 위한 프로그 램이다. HDM 프로그램은 도로, 차량, 교통량 등에 대한 방대한 입력데이터를 기반으로 계산을 수행하는데 도로 의 특성과 교통량에 따라 차종별 연간 평균 운행속도가 그림 2와 같은 형태로 계산된다.

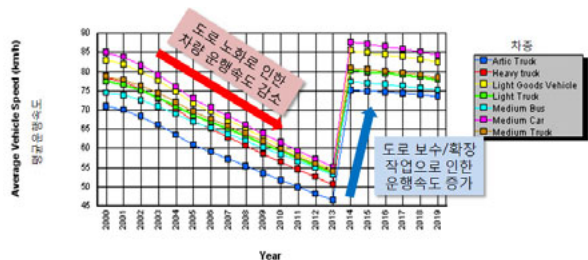
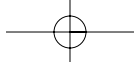


그림 2. HDM에서 계산되는 차종별 연간 평균운행 속도

그림 2를 보면, 도로 노화 및 교통량 증가 등의 원인 으로 인해 시간이 진행됨에 따라 차량 운행속도가 감소 하다가, 도로 보수/확장 작업 수행 후에 운행속도가 증



가함을 알 수 있다. 이러한 운행속도를 기반으로 해당 도로를 통과하는 차종별로 1,000대당 1km 주행에 소모되는 연간 유류소모량이 리터 단위로 계산되게 된다. 차량의 운행속도와 이 운행속도에서의 유류소모량을 계산하는 알고리즘을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- ① 차량 특성과 도로 특성을 고려하여 특정 도로에서의 차량별 특성 속도(자유속도, 제한속도 등)를 계산한다.
- ② 위에서 계산한 특성 속도를 이용하여 시간별, 기간별, 차량별 평균 운행속도를 계산한다.
- ③ 차량의 공회전 유류소모량, 연료-구동력 효율 특성을 고려하여 위에서 계산한 평균 운행 속도에서의 유류소모량을 계산한다.

여기서 차량 특성으로는 구동력, 무게, 크기, 형상, 타이어 종류, 제동력, 연료-구동력 전환 효율, 공회전 연료소모율 등이 있고, 도로 특성으로는 도로 길이, 폭, 용도(출퇴근, 계절 휴양지 등), 평탄성, 선회곡률, 도로구배, 포장 재질, 기상조건(아열대, 열대 등), 교통량 등이 있다.

HDM 프로그램과 예비타당성 조사에서는 유류소모량 산정에 사용되는 차량의 속도 및 기타 조건이 다르게 적용되어 유류소모량이 계산되므로 차량 속도에 의한 직접적인 유류소모량의 비교는 어려우나, HDM 프로그램은 도로 평탄성 변화에 따른 차량의 유류소모량 계산이 가능하므로 평탄성에 따른 유류소모량 분석이 가능하다. HDM에서 평탄성에 따른 유류소모량을 계산하는 개요는 다음과 같다.

차량이 주행하면서 소모하는 유류소모량은 평탄성이 증가하면 타이어와 노면 사이의 구름마찰저항력이 증가하여 유류소모량이 증가하게 되는데, 수평곡률이 없는 도로를 일정한 속도로 주행하는 경우 차량의 주행저항력은 공기저항, 구름마찰저항, 구배저항력으로 구성되며 이중 구름마찰저항력은 평탄성에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 주행저항력에 운행속도를 곱해주면 구동출력이 계산되고, 구동출력과 차량 주행중에 필요한 발전기, 에어컨 등과 같은 보조장치를 구동하기 위한 엔진보기류 구동출력을 더하면 전체 엔진출력이 계산된다. 이렇게 계산된 전체엔진출력에 HDM 매뉴얼에서 차종별로 제시된 연료-출력효율계수값을 곱하여 순간유류소모량을 계산하고, 이 순간유류소모량을 운행속도로 나누면 유류소모량 비율이 계산된다. 즉, 다음과 같은

순서로 유류소모량을 계산한다.

$$\text{① 주행저항력} = \text{공기저항력} + \text{구름마찰저항} + \text{구배저항}$$

여기서, 평탄성과 관련된 구름마찰저항력을 계산하는 식은 아래와 같다.

구름마찰저항력

$$= \text{FCLIM} \times \text{CR2} \times (\text{b11} \times \text{NUM\_WHEELS} + \text{CR1} \times \text{b12} \times \text{WGT\_OPER} + \text{CR1} \times \text{b13} \times \text{Vkp2})$$

$$\text{FCLIM} = 1 + 0.003 \times \text{PCTDS} + 0.002 \times \text{PCTDW}$$

PCTDS: 연중 강설기간의 비율

PCTDW: 연중 강우기간의 비율

$$\text{CR2} = \text{Kcr2} \times (\text{CR\_CR2\_a0} + \text{CR\_CR2\_a1} \times \text{TDav} + \text{CR\_CR2\_a2} \times \text{RIav})$$

Kcr2: 구름저항계수

CR\_CR2\_a0, a1, a2

: WGT\_OPER에 따른 매개변수

WGT\_OPER: 운전자포함 차량 무게

TDav: 평균 샌드패치 텍스처 깊이(mm)

RIav: 평균 평탄성(IRI: m/km)

$$\text{b11} = \text{CR\_B\_a0} \times \text{WHEEL\_DIA}$$

CR\_B\_a0: 모델 계수

WHEEL\_DIA: 휠의 지름(m)

NUM\_WHEELS: 차량당 휠의 수

CR1=1.0: 타이어가 Radial일 경우

CR1=1.3: 타이어가 Bias-ply일 경우

$$\text{b12} = \frac{\text{CR\_B\_a1}}{\text{WHEEL\_DIA}}$$

CR\_B\_a1: 모델 계수

$$\text{b13} = \frac{\text{CR\_B\_a2} \times \text{NUM\_WHEELS}}{(\text{WHEEL\_DIA})^2}$$

CR\_B\_a2: 모델 계수

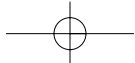
Vkp2: 교통량에 따른 차종별 속도

$$\text{② 구동출력} = \text{주행저항력} \times \text{운행속도}$$

$$\text{③ 전체엔진출력} = \text{구동출력} + \text{엔진보기류 구동출력}$$

$$\text{④ 순간유류소모량} = \text{전체엔진출력} \times \text{연료-출력효율계수}$$

$$\text{⑤ 유류소모량 비율} = \text{순간유류소모량} \div \text{운행속도}$$



위와 같은 방법으로 주행저항력 중 평탄성과 관련이 있는 구름마찰저항을 제외한 나머지 값들을 고정시키고 평탄성을 변화시켜 HDM 프로그램을 사용하여 유류소모량을 계산하면 승용차 1대당 평탄성이 IRI로 1m/km 증가할 경우 유류소모량은 100km 주행 시 약 80ml 정도 증가하는 것으로 계산된다.

#### 4. 유류소모량 현장 실측 및 유류비 변화 분석

HDM 프로그램에서 평탄성과 유류소모량 관계식을 검증하기 위해 도로 평탄성에 따른 국내 승용차의 유류소모량 변화량을 정량적으로 계측하였다. 평탄성 상태에 따라 도로를 주행하면서 유류소모량을 측정하기 위해 정확한 유류소모량 측정이 가능한 연비측정기를 사용하여 국내의 대표적인 승용차를 대상으로 주행속도별로 3구간의 도로를 대상으로 유류소모량을 측정하여 평탄성 변화에 따른 유류소모량 변화를 검증하였다. 그리고 이에 따른 유류비를 계산하여 기존 예비타당성조사에서 산정되는 유류비와 비교·분석하였다.

##### 4.1. 도로 상태에 따른 유류소모량 측정

차량의 연비를 측정하는 가장 정확한 방법으로 국내에서 통용되는 방식은 FTP-75(Federal Test Procedure) 시험법이다. 미국의 환경청(U.S. EPA)에서 채택한 차량 연비시험법으로 평탄한 직선 도로를 주행할 때 차량의 주행저항력인 타이어-도로 마찰저항과 공기저항의 두 가지 저항력을 재현할 수 있는 차대동력계 상에서 미국 LA 지역의 주행패턴인 LA-4 모드를 주행하면서 배출되는 차량의 이산화탄소 양을 측정하여 소모된 연료량으로 역산하는 카본밸런스(carbon balance)법을 사용하는 방식이다. 주로 자동차 제조 회사나 연구소에서 사용되고 있는 시험 방법으로 우리나라에서도 차량의 공인연비를 이러한 방식으로 측정한다.

그러나 이러한 방식은 평탄성 상태에 따른 유류소모량을 측정하는 것이 불가능하기 때문에 차량의 연료를 분사하는 인젝터에서 전압신호를 측정하여 유류소모량을 직접 검출하는 연비측정기를 사용하여 실시간 연비를 측정하였다. 본 연구에 사용된 연비측정기는 iEDS 라는 연비측정기로 그림 3과 같다.

iEDS 연비측정기는 주행속도, 주행거리, 유류소모량을 조사자에게 제공하는데 각 항목에 대한 신뢰성 평가 시험을 실시한 결과, 정보의 신뢰도가 99±1%로 매우 높게 나타났다. 따라서 iEDS 연비측정기는 주행연비를



그림 3. 본 연구에서 사용된 연비측정기(iEDS)

실시간으로 측정하는 것이 가능하며 GPS 수신 모듈이 내장되어 있어 주행속도 및 주행거리를 측정할 수 있고 인젝터 분사신호를 이용하여 유류소모량을 정확히 측정할 수 있으며 또한 한국기화시험연구원에서도 측정 정밀도 및 내구성 등에 대해서 검증을 받은 제품이므로, iEDS를 연비 계측장비로 사용하여 본 연구를 수행하였다.

##### 4.1.1. 시험 조건

HDM에서는 차종을 승용차의 경우 소형, 중형, 대형의 3종류로 분류하는데, 운행 차중(Operating Weight : 공차중량+200kg)을 기준으로 보면 소형 1.0톤, 중형 1.2톤, 대형 1.4톤이며, 이를 국내에 적용하면 2000cc 미만은 소형, 3000cc미만은 중형, 그 이상은 대형으로 볼 수 있다. 따라서 국내에서 일반적으로 사용되는 차종 중 가장 시장점유율이 높은 차종을 기준으로 시험을 실시하였다. 즉, 소형차로는 i30, 중형차로는 NF소나타, 대형차로는 그랜저TG를 선택하였으며 이러한 차종들은 모두 동급 차종 중 가장 많이 팔린 차종으로 각 차종을 대표한다고 볼 수 있다. 시험 속도는 추후 다양한 속도 영역에서 그 결과를 활용할 수 있도록 시험 속도를 40km/h에서 100km/h까지 20km/h 단위로 나누어 총 4가지 속도(시속 40, 60, 80, 100km)에 대해 정속 주행 연비를 측정하였다.

시험도로는 교통량이 적고, 시험에 충분한 직선구간이 확보되는 도로를 선정하고자 하였다. 시험도로는 보령시 소재의 대천방조제 앞도로(No.2), 전북 군산시 새만금북로 소재의 군장어린이교통공원 앞도로(No.1), 전북 군산시 옥산면 옥산리 소재의 농업용 도로(No.3)를 선정하였다. 충남 보령시 보령하수종말처리장 주변의 대천방조제 앞도로의 경우 왕복 4km 이상의 평탄한 직선로이기 때문에 이 도로에서 실험을 실시하였다. 전북 군산시 새만금북로 군장어린이교통공원 앞도로도 충분한

한 직선구간이 확보되었고, 낮 12시부터 1시까지의 점심시간기간 동안에는 차량의 통행량이 거의 없는 조건이 확보되어 시험도로로 사용하기에 충분하였다. 또한 전북 군산시 옥산면 옥산리 소재의 농업용 도로도 비슷한 조건을 갖추고 있어 시험 도로로 사용하였다.

**4.1.2. 시험 결과**

동일한 도로에서의 속도별, 배기량별, 평탄성별 연비를 비교하여 보면 표 3에 나타난 바와 같이, 속도 60km/h 부근에서 최소 유류소모량 지점이 나타난다. 60km/h 정도의 속도보다 저속 및 고속에서는 유류소모량이 증가하므로 속도별-유류소모량 그래프는 속도 60km/h 위치가 꼭지점인 포물선 형태로 볼 수 있다. 일반적으로 엔진 배기량이 증가할수록 유류소모량이 증가하는데, 본 실험 결과에서도 배기량 증가에 따라 유류소모량이 증가하였다. 배기량이 1600, 2000, 2700cc의 세 종류에 대해 주행 유류소모량을 측정한 결과, 배기량이 증가함에 따라 완만히 증가하는 포물선 형태의 그래프를 보인다.

표 3. 도로 평탄성에 따른 배기량별 연비

도로	속도 (km/h)	평탄성 (km/h)	유류소모량(L/100km)		
			TG (2700cc)	NF (2000cc)	i30 (1600cc)
No.1	40	2.45	7.46	5.25	4.87
	60		5.27	4.55	4.48
	80		5.82	5.20	5.19
	100		6.45	6.33	6.42
	평균		6.25	5.33	5.24
No.2	40	2.38	7.30	5.08	4.65
	60		5.13	4.33	4.45
	80		5.73	5.10	5.03
	100		6.25	6.10	6.18
	평균		6.10	5.15	5.08
No.3	40	6.23	7.50	5.35	4.95
	60		5.35	4.65	4.70
	80		6.4	5.35	5.35
	100		7.10	6.55	6.85
	평균		6.59	5.47	5.46

평탄성이 증가하면 주행 중 차량의 상하 수직 변위의 변화가 심해지고 도로 표면의 상태가 나빠져 타이어 표면과의 마찰력이 증가하므로 유류소모량이 증가한다. 평탄성에 따라 유류소모량은 선형적으로 비례하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 3가지의 도로에서 평탄성, 유류소모량 등을 측정하였는데, 이 중 군장어린이교통공

원 앞도로와 대천방조제 앞도로의 IRI(International Roughness Index)는 2.45m/km, 2.38m/km에 해당하여 거의 같은 수준의 평탄성으로 볼 수 있다. 다만 옥산리 농업용 도로에 해당하는 도로는 평탄성이 6.23m/km이므로 나머지 두 도로와는 평탄성이 크게 달라서 평탄성-유류소모량의 관계를 구할 수 있었다. 평탄성-유류소모량의 관계가 선형의 비례 관계이기 때문에 선형의 관계식을 이용하여 평탄성-유류소모량 관계식을 표 4와 같이 일차방정식으로 만들 수 있다.

표 4. 평탄성-유류소모량 관계식 및 계수값

평탄성(x)-유류소모량(y)의 관계식 $y=ax+b$ x : 평탄성(m/km), y : 연료소모량(L/100km)		
배기량(cc)	a	b
1,600	0.060	5.092
2,000	0.079	4.968
2,700	0.109	5.910
평균	0.083	5.323

표 4에 나타난 것처럼 평탄성-유류소모량 관계식을 1차 직선방정식으로 표현하여 보면 기울기에 해당하는 값이 배기량 증가에 따라 조금씩 증가하게 되는데, 대략의 평균값이 0.08에 해당하기 때문에 평탄성 1m/km 증가 시 유류소모량이 약 80ml/100km 정도 증가한다고 볼 수 있다. 이는 HDM 프로그램에서의 평탄성 변화에 따른 유류소모량 계산결과와 일치한다.

**4.2. 도로 상태에 따른 유류비 변화 분석**

‘도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제5판)’에서 제시된 승용차의 속도별 유류비(표 2 참조)는 차량의 속도가 40km/h일 경우 최소값을 나타내는 포물선 형태를 나타내고 있다. 그러나 도로 상태에 따른 유류소모량 측정 결과에서는 속도 60km/h인 경우가 최소값인 포물선 형태를 나타내고 있으며, HDM 프로그램에서도 그 경향은 측정 결과와 같이 속도 60km/h인 경우가 최소값인 포물선 형태를 나타내고 있다. 그림 4는 측정된 유류소모량에 표 1에서 제시한 l 당 휘발유 유류가격인 642.28원을 곱하여 계산된 차량 속도별 유류비 비교 결과를 나타내고 있다.

그림 4를 보면, 차량 한 대당 1km를 주행함에 있어서 주행속도에 따라 평균적으로 약 5.6원의 비용 차이가 발생하고 있다. 예를 들어, 주행거리 100km 구간에 교통량이 승용차만으로 10,000(대/일)이 발생한다고 가정하면, 하루에 약 5백6십만 원의 유류비 차이가 발생하



고, 연간 약 20억 원 이상의 유류비 차이가 발생하게 된다. 따라서 차량 주행속도에 따라서 보다 정확하게 유류비를 산정하는 방안을 제시할 필요가 있다.

또한 도로의 설계 및 유지관리시 차량운행비용에서 유류소모량을 계산하는 경우를 예로 들어 도로의 상태, 즉 도로의 평탄성 변화에 따른 유류비 변화를 분석해 보았다.

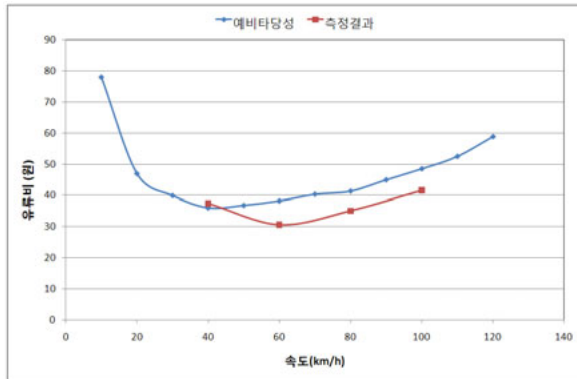


그림 4. 차량 속도별 유류비 비교

10km 연장의 도로를 새롭게 건설하는 경우 교통량이 30,000(대/일)이고, 비록 도로의 상태는 다양한 요소에 의해 복잡하게 변화되므로 단순하게 나타낼 수는 없지만 평탄성이 연간 1.0m/km 증가한다고 가정한다. 평탄성이 IRI로 1.0m/km 증가되었다면, 앞서 기술한 바와 같이 차량 한 대당 80ml/100km의 유류소모량이 증가되며, 교통량을 모두 승용차로 가정하여 고려하면 km당 일간 24ℓ (=80ml/100km×30,000(대/일))의 유류소모량이 증가하고 연간 8,760ℓ/km의 유류소모량이 증가된다. 따라서 대상구간 10km에 대해서 표 1의 실질 유류가격인 642.28원/ℓ을 적용하면 연간 56,263,728원(=8,760ℓ/km×10km×642.28원/ℓ)의 유류비가 증가하게 된다.

교통량 및 평탄성 변화를 동일하게 가정하고 이와 같은 개념을 도로포장의 유지관리에 적용해 보면 다음과 같다. 일반국도 포장관리시스템에서 2010년 기준으로 제시된 도로포장 보수연장은 약 545km이고 보수비용은 약 600억 원이다. 새로운 도로 건설의 경우와 마찬가지로 연간 평탄성이 IRI로 1.0m/km 증가되고 이 구간의 교통량을 30,000(대/일)이라고 가정하면, 차량 한 대당 80ml/100km의 유류소모량이 증가되므로 km당 일간 24ℓ의 유류소모량이 증가하고 연간 8,760ℓ/km의 유류소모량이 증가된다. 따라서 보수구간 545km에 대해서 실질 유류가격인 642.28원/ℓ을 적용하면 연간

약 30억 원의 유류비가 증가하게 된다.

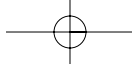
물론 현재까지 공용기간 경과에 따른 정확한 평탄성 예측 모델이 존재하지 않기 때문에 평탄성 변화에 따른 유류비 변화량을 정확하게 반영하기는 어려우나 평탄성 변화로 인해 유류비는 변화하게 된다. 따라서 도로 설계 및 유지관리시 평탄성 변화에 따른 유류비 변화를 고려하여 설계 및 유지관리에 반영할 필요가 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 도로 건설 및 유지관리의 경제성 분석을 위한 정확한 유류소모량을 평가하기 위하여, 국내에서 운행되는 승용차에 대한 도로 상태, 즉 평탄성에 따른 유류소모량 추정 모델을 개발하였다. 이를 위해 우리나라에서 도로 건설의 예비타당성 조사에서 차량운행비용 산정을 위해 사용되고 있는 주행속도와 유류소모량 관계식 및 일반국도 포장관리시스템에서 경제성 분석을 위해 사용되는 HDM(Highway Development & Management) 프로그램의 도로 평탄성에 따른 유류소모량 관계를 고찰하고, 승용차를 대상으로 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화의 관계를 실제 도로에서 실측하여 평탄성과 유류소모량 관계를 분석하였다.

예비타당성 조사의 차량운행비용 산정에서 제안하고 있는 유류소모량 산정 방법은 최근 차량 성능의 향상 및 도로여건의 개선을 제대로 고려하지 못하고 있다는 한계를 지니고 있으므로 정확한 유류소모량 산정을 위해서는 기술혁신에 따른 연비 향상 효과를 반영한 유류소모량 관계는 물론 도로 상태에 따른 유류소모량 관계에 대한 연구를 통해 이를 반영할 필요가 있다. 예비타당성 조사에서 제시되는 유류비와 실측 결과는 차량 한 대당 1km를 주행함에 있어 평균적으로 약 5.6원의 비용 차이가 발생한다. 주행거리 100km 구간에 승용차만으로 10,000(대/일)의 교통량이 발생한다고 가정하면, 하루에 약 5백6십만 원의 유류비 차이가 발생하고, 연간 약 20억 원 이상의 유류비 차이가 발생하게 된다.

또한 HDM 프로그램을 사용하여 유류소모량을 계산하면 승용차 1대당 평탄성이 IRI로 1m/km 증가할 경우 유류소모량은 100km 주행 시 약 80ml 정도 증가하는 것으로 계산되었으며, 이러한 평탄성 상태와 유류소모량 관계를 검증하기 위해 평탄성이 다르게 측정되는 3구간의 도로를 대상으로 유류소모량 변화를 측정하여 평탄성 변화에 따른 유류소모량 변화를 실측하였다. 측정 결과, 평탄성에 따른 유류소모량의 변화는 평탄성이



증가함에 따라 유류소모량이 직선적으로 증가하는 형태이며, 평탄성 1m/km 증가시 유류소모량은 약 80ml/km 정도의 비율로 증가하여 HDM 프로그램의 계산결과와 유사하게 나타났다.

물론 현재까지 공용기간 경과에 따른 정확한 평탄성 예측 모델이 존재하지 않기 때문에 평탄성 변화에 따른 유류비 변화량을 정확하게 반영하기는 어려우나 평탄성에 따라 유류비는 변화하게 되므로 향후 도로 설계 및 유지관리에 있어서 평탄성 변화에 따른 유류비 변화를 고려한 보다 면밀한 검토가 필요하다.

**참고 문헌**

고광호 (2010), "포장도로의 거칠기 변화에 대한 차량 연료소모량 변화율", *한국도로학회 논문집*, 한국도로학회, 제12권, 제1호, pp. 55-59

고광호 등 (2009), "HDM 프로그램의 차량운행비용 산정 알고리즘 분석", 한국건설기술연구원

김강수 등 (2008), "도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)", 한국개발연구원

김정행 등 (1991), "포장의 평탄성 특성연구(1)". *도로연 91*, 한국도로공사

권수안 등 (2010), "2010 도로포장관리시스템 최종보고서", 한국건설기술연구원

이정기 등 (2005), "승용차의 중량변화에 따른 연비 연구", *한국자동차공학회 학술발표논문집*, 한국자동차공학회, pp. 1861-1866.

최고일 등 (1992), "포장의 평탄성 특성연구(II)". *도로연 92-13*, 한국도로공사

Howard Marks (2009), "Smoothness Matters : The Influence of Pavement on Fuel Consumption", *Hot Mix Asphalt Technology-November/December 2009*, pp.18-29

Michael W. Sayers, Steven M. Karamihas (1998), "The Little Book of Profiling", The Regent of the University of Michigan

Missouri Department of Transportation (2006), "Pavement Smoothness and Fuel Efficiency", Report No. OR07-005

Odoki and others (2000), "The Highway Development and Management Series; Analytical Framework and Model Descriptions\_vol IV".

접 수 일 : 2011. 7. 26  
 심 사 일 : 2011. 7. 26  
 심사완료일 : 2011. 11. 22

