

고속도로 하이패스 시스템의 연료감소효과 평가

Evaluation on the Fuel Efficiency of Hi-Pass System

이성관* 이기영** 최윤환*** 곽진호**** 성지나*****
(Seongkwan Mark, Lee) (Ki-Young, Lee) (Yoon-Hwan, Choi) (Jin-Ho, Kwak) (Ji-Na, Sung)

요약

일반적으로 고속도로 영업소에서는 요금정산을 위해 차량이 감속, 정지, 가속행위를 행해야 하므로, 차량의 멈춤 없이 요금을 징수하는 자동요금징수체계(ETCS)의 일종인 하이패스차로 이용시보다 추가적인 연료소모가 발생하게 된다. 본 연구는 이를 증명하기 위해 현장 실험구간을 선정하고 연료소모량을 측정할 수 있는 실험용 차량을 제작하여 고속도로 영업소 이용방식에 따른 연료소모량을 비교하였다. 실험 결과, 일반차로를 이용하는 차량이 하이패스차로를 이용하는 차량보다 36.7%이상의 추가적인 연료소모가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 근거하여 고속도로 상에서 2009년 1월부터 5월까지 실험차량과 동일한 차량들의 하이패스차로 이용에 의한 연료절감 효과를 추정해 본 결과 약 53.4억원의 연료소모비 절감효과가 나타났다. 실제 차량을 이용한 이러한 실험 방법과 분석결과는 하이패스 시스템의 효율성을 증명하는데 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

Abstract

Around a toll plaza, vehicles do such maneuvers as slow down, stop, and speed up to pay their tolls when they use ordinary toll gates. They can be expected more fuel consumptions compared to the vehicles which use the Hi-pass, a Korean type of Electronic Toll Collection System(ETCS). To measure the exact amount of difference between the two gas consumptions, we equipped a test vehicle with a measurement system and constructed a model toll gate on our test field. Through the field tests on fuel consumptions, we could confirm a 36.7 % of energy saving when the test car used the Hi-pass. Then we projected the result on the total traffic volumes which had used national expressway network for five months from January 2009. Projected to the whole traffic, potential cost savings reached 5.34 billion won. We expect this result be frequently mentioned of to prove the fuel efficiency of the Hi-pass system.

Key words: ETCS, Hi-pass, fuel consumption, test vehicle, field test

* 주저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
** 공저자 및 교신저자 : 한국도로공사 책임연구원
*** 공저자 : 한국도로공사 설계처장
**** 공저자 : 교통안전공단 자동차성능연구소 선임연구원
***** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 연구원
† 논문접수일 : 2010년 4월 19일
† 논문심사일 : 2010년 5월 29일
† 게재확정일 : 2010년 5월 31일

I. 서 론

최근 세계적으로 “녹색성장”이 최대의 화두가 되고 있다. 주요 선진국들은 이미 자원의 효율적·환경친화적 이용이라는 주제에 집중하고 있으며, 우리나라에서도 ‘녹색산업’ 및 ‘녹색기술’을 기반으로 한 ‘녹색성장’이 국가의 새로운 비전으로 제시된 실정이다.

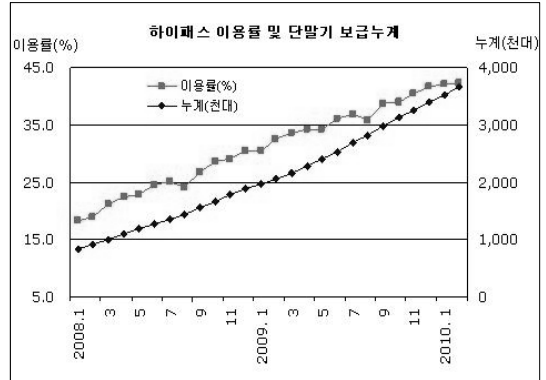
교통분야에 있어 녹색성장의 대표격이라 할 수 있는 ITS의 주요사업 중 하나인 ETCS(Electronic Toll Collection System)는 무정차 요금징수를 통해 연료절감과 CO2 배출량을 감소시킬 수 있는 첨단 녹색시스템이라 할 수 있다.

한국도로공사는 고속도로 교통량의 지속적인 증가로 인한 영업소 혼잡을 완화하기 위해, 인력에 의한 수동요금징수체계 중 일부를 차량내 설치된 기기(OBU, On-Board Unit)를 이용해 자동으로 요금을 정산하는 ETCS 시스템인 “하이패스”를 개발하여 운영 중이다. 특히 하이패스는 일정 기간의 시험운영을 통해 지난 2007년 12월 전체 고속도로로 확대보급되어, 2010년 2월 현재 일일 이용교통량중 42.3%가 하이패스 차로를 이용하고 있으며, 단말기 보급대수는 366만대에 달하는 것으로 집계되었다.[1, 2]

한국도로공사는 <그림 1>에서 보는바와 같이 고속도로 영업소에 하이패스 전용 시설을 설치하여, 차량이 요금정산을 위해 멈춰서는 일이 없이 일정한



<그림 1> 영업소 하이패스차로
<Fig. 1> Hi-Pass toll gate



<그림 2> 하이패스 현황

<Fig. 2> Market penetration rate of Hi-Pass

속도로 통과할 수 있도록 하였다.

이러한 하이패스 시설의 전국 고속도로 확대 설치 이후, 이용의 편리성과 영업소 통행시간 절감효과를 경험한 이용고객이 늘어나면서 급격한 이용률의 증가가 발생하였다.

2010년 2월을 기준으로 하이패스 이용률 및 단말기 보급대수를 살펴보면 하이패스 이용률은 42.3%로, 2009년 동월 대비 30.3% 및 2008년 동월 대비 124.6% 증가하였다. 2년이라는 짧은 기간 동안 약 1.25배의 이용률 증가는 가히 놀라운 수치라 하겠다.

또한 단말기 보급대수는 2010년 2월 366만대에 이르며, 2009년 2월 대비 77.5% 및 2008년 2월 대비 303.6%가 증가하였다. 이용률의 급격한 증가와 더불어 단말기의 보급 역시 빠른 속도로 증가하였음을 알 수 있다[3].

본 연구는 하이패스를 통해 얻어지는 편리성, 시간 편익, 연료 절감, CO₂ 감소 등의 여러 효과들 중에서 특히 연료 절감효과를 밝히고자 수행되었다 [4-6]일반적으로 차량이 고속도로 영업소를 통과할 때는 감속(영업소 접근)→정지(요금 정산)→가속(본선 합류)등의 운전조작을 하며 이로 인해 가감속에 따른 추가적인 연료소모가 발생하게 된다. 따라서 안전상의 이유로 본선 주행속도보다는 다소 낮지만 정지 없이 영업소를 통과하는 하이패스 이용차량과 상기한 운전조작을 하게 되는 일반차량의 연료소모

1) 한국도로공사 TCS자료 활용

량을 비교해 봄으로써 하이패스 이용이 가지는 연료소모의 효율성을 계량적으로 검증하고자 한다.

하이패스를 이용하는 개별 이용자가 개인적으로 느끼는 편리성과 시간절감이라는 만족 외에, 연료절감 효과를 직접 경험하기에는 짧은 영업소 통과시간과 더불어 기계장치의 부재로 한계가 따른다. 그러나 국가 차원에서 고속도로망 전체를 이용하는 차량의 연료 소모 절감분을 합산할 경우 생각보다 큰 효과가 있을 것으로 기대한다.

최근 들어 ETCS와 관련해서는 미시적 시뮬레이션을 이용해 ETCS 영업소와 일반 영업소의 환경오염물질 배출정도를 비교한 연구(B. Bartin, S. Mudigonda, and K. Ozbay, 2007)나 ETCS와 같은 영업소 운영전략의 효과를 평가하기 위해 영업소에서의 지체를 예측하는 거시적 시뮬레이션 모형 개발연구(D. Ozmen-Ertekin 외, 2008) 등이 있었지만 실험차량을 제작하고 이를 이용해 연료소모를 직접 비교해보는 연구를 수행하는 경우는 드물었다. 물론, 이러한 연구들도 개별차량의 대표값을 찾아서 전체 교통량에 투영하는 방식을 사용했다는 점에서는 본연구의 접근방법과 유사하다 할 수 있다(7, 8).

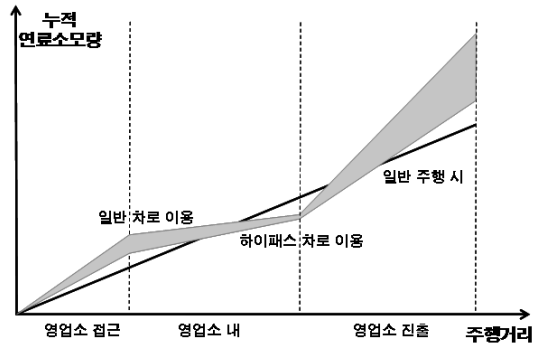
연료 소모량의 측정방법은 시험용 차량에 데이터 측정 시스템을 구축하고 사전에 설정한 조건에 따라 해당 차량을 실험적으로 운행하는 방법을 택했다. 또한 실험 결과를 토대로 실제 고속도로를 이용하는 차량들을 분석대상으로 하여, 고속도로 상에서 발생하는 연료감소 효과를 추정해 보았다.

II. 실험 계획

1. 기본 가정

영업소 통과 차량의 하이패스 차로와 일반 차로 이용시 연료소모량 차이는 <그림 3>과 같이 설명할 수 있다.

먼저 “일반주행시”에는 주행거리에 따라 누적연료소모량은 일정하게 증가하게 된다. “하이패스차로 이용”의 경우 영업소 접근시 속도를 낮추기 위해 감속하고, 영업소 구간에서 정속하다가 본선에 합류하



<그림 3> 통과형태별 연료소모량 비교
<Fig. 3> Comparison of the fuel efficiency

기 위해 다시 가속을 하게 된다. 이러한 가감속 행태로 인해 “일반주행시” 보다는 연료소모가 약간 증가하게 된다.

“일반차로 이용”시에는 “하이패스 차로이용” 시보다 급격한 재가속이 이루어지면서, 요금정산을 위해 6초에서 14초에 이르는 공회전 시간이 추가되므로 상대적으로 가장 많은 연료소모가 발생하게 된다.

이처럼 영업소에서 일반차로 이용시 하이패스 차로를 이용할 경우 보다 차량의 감속 및 주행속도 도달을 위한 재가속이 필요해 보다 연료소모량이 더 큰 것을 알 수 있으며, 개념적으로 주행거리와 관계해 특정 지점에서 양자간의 연료소모량의 차이는 <그림 3>에서 표시된 음영부분의 높이에 해당됨을 알 수 있다.

2. 실험 방법론

앞 절에서 가정한 주행행태별 연료소모량을 계량적으로 평가하기 위해 아래와 같은 실험을 계획하고 수행하였다.

1) 실험 조건

위에서 설명한 “하이패스차로 이용”과 “일반차로 이용”을 비교하기 위해 다음 <표 1>과 같은 3가지의 실험을 설정하였다.

2) 영업소 통과시간 실측자료 참조 (한국도로공사, 2008.10)

<표 1> 실험 조건
<Table 1> Test Conditions

구 분	주행속도 (진입부→영업소통과 →진출부, km/h)	영업소 처리시간 (sec)
실험 1 (하이패스 차로)	60→30→60	-
실험 2 (일반차로 영업소 진입을 가정)	60→0→60	6 (Ticketing)
실험 3 (일반차로 영업소 진출을 가정)	60→0→60	14 (Paying)

2) 실험 구간

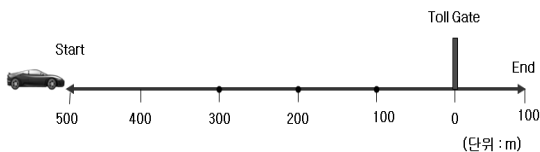
실제 도로상에 설치된 영업소는 그 형태와 운영방식 등이 다양하므로, 이를 표준화할 수 있는 환경조건을 선정하는 것이 불가능하다. 따라서 실험차량의 속도와 이에 따른 정지시거 등의 안전문제를 감안하여 실험구간을 선정하고자 하였다.

본 연구를 위한 실제 주행실험은 교통안전공단 주행시험장에서 시행하였으며, 고속도로 폐쇄식 구간을 모사하여 실험을 시행하였다.

즉 전체 실험구간은 모의영업소를 기준으로 상류방향 500m지점과 하류방향 100m지점까지를 선정하여 총 600m를 실험대상 구간으로 선정하였다.

3) 실험 차량

일반차로 이용시와 하이패스차로 이용시의 연료소모량을 측정하기 위하여 스포츠 유틸리티 차량(SUV)인 무쏘 차량을 실험차량으로 활용하였으며, 이는 영업체계상 1종 차종이 된다. 실험 차량은 디젤



<그림 4> 실험 구간
<Fig. 4> Design of experimental section

유량계 호환성, 장착 비용 및 용이성을 감안하여 선정하였다.)

실험 차량 하중 조건은 공차 상태의 중량에서 운전자 1인이 탑승하고 실험 장비를 적재한 기준으로 2,095kg이며, 타이어 공기압 조건은 제작사 추천 공기압(30psi)으로 조정된 후 실험을 실시하였다. 실험 차량에 사용된 장비는 우선 외부에 차량 주행속도를 정확하게 측정하기 위해 비접촉 광학식 속도 센서를 장착하였으며, 이를 통해 운전자가 실험 구간 초기 주행속도 60km/h, 하이패스 진입시 30km/h, 일반차로 이용의 정차 시 0km/h의 속도를 확인하고 제어할 수 있다.

또한 차량의 내부에는 연료소모량을 확인하기 위한 디젤연료 유량계, 전원공급장치, 속도와 연료 유량 등의 데이터를 처리하고 저장하는 데이터 측정장치, 운전자 확인용 모니터를 설치하였다.



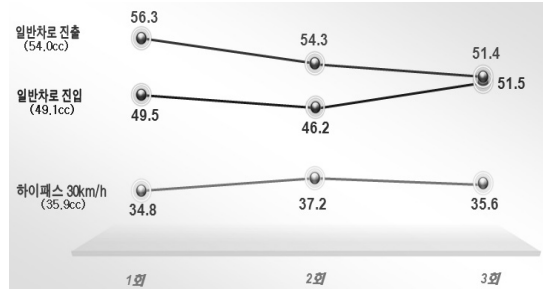
<그림 5> 실험 차량
<Fig. 5> Test vehicle

3) 이러한 현실적인 이유로 인해 실험차량의 대표성 등에 대한 실험상의 한계가 존재함.

4) 실험 절차

앞에서 설명한 실험차량을 이용해 아래와 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

- ① 지정된 영업소로부터 500m 전방에서 실험 차량은 60km/h로 주행하면서 접근하게 하였다. 즉 실험 시행시마다 500m지점에서 연료 소모량 측정 시작 및 속도를 확인하여 실험조건을 동일하게 적용하였다.
- ② 일반차로를 이용하는 경우, 60km/h로 주행하면서 영업소에서 정지하였으며, 정지시간은 고속도로 폐쇄식 영업소의 진입부에서는 6초, 진출부에서는 14초로 하였다.⁴⁾ 여기서 정지시간은 한국도로공사에서 기 시행한 조사 및 실험 결과를 토대로 하였다.
- ③ 하이패스 차로의 경우, 60km/h로 주행하면서 영업소 구간(영업소 전후 각각 50m구간)에서 30km/h 속도가 되도록 하고, 이후 다시 원래



<그림 7> 실험 결과 연료소모량 비교
<Fig. 7> Comparison of fuel consumption

속도를 회복하도록 가속하였다.

- ④ 일반 또는 하이패스 차로를 이용하는 차량 각각에 대해 600m를 주행하는 동안 소모한 연료량을 확인하여 비교하였다.
- ⑤ 일반 차로 이용하는 경우와 하이패스 차로 이용하는 경우 모두 동일한 성인 남성 1명(만 36세)에 의해 실험을 수행하였다.

III. 실험 결과 및 하이패스 효과

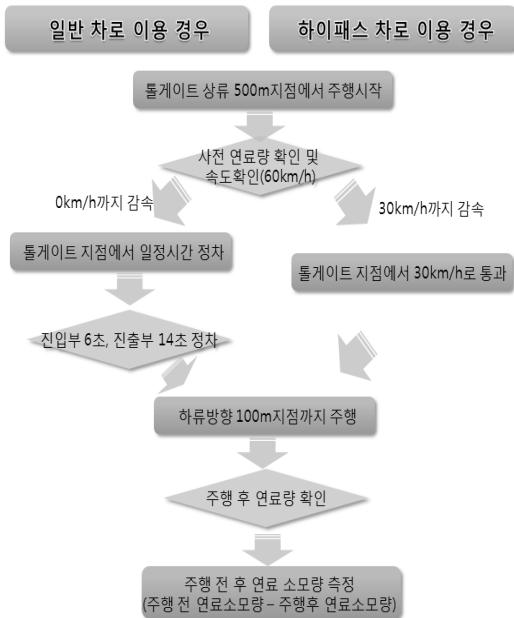
1. 실험 결과

<그림7>은 각 조건마다 3회에 걸쳐 실험한 결과를 나타낸 그림이다. 앞에서 설명한 실험을 실제로 수행해 본 결과 실험 3(일반차로 영업소 진출부)이 실험 2(일반차로 영업소 진입부)보다 연료소모가 많고, 실험 1(하이패스차로 이용)의 연료소모가 가장 적은 것으로 확인되었다.

<표 2>를 통해 실험 2는 실험 1보다 13.2cc (36.7%

<표 2> 실험 결과
<Table 2> Test results

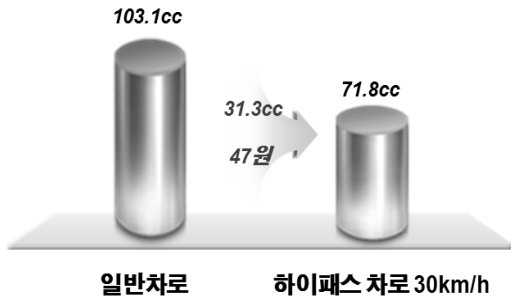
구 분	연료소모량 (cc)	실험 1대비 연료증가량(cc)
실험 1(하이패스 차로)	35.9	-
실험 2 (일반차로 영업소 진입시)	49.1	13.2
실험 3 (일반차로 영업소 진출시)	54.0	18.1



<그림 6> 실험 계획도

<Fig. 6> Design process of the experiment

4) 하이패스 효과분석 및 만족도 조사 (ITS코리아, 2007.12) 결과 및 영업소 통과시간 실측 자료 (한국도로공사, 2008.10) 참조



<그림 8> 연료비 절감 효과
<Fig. 8> Fuel efficiency of Hi-Pass

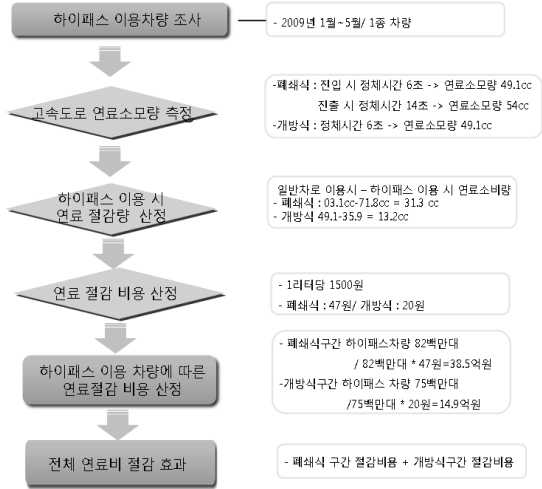
증가)의 연료가 더 소모되었음을 알 수 있다. 또한 실험 3은 실험 1보다 18.1cc (50.4% 증가)의 연료가 더 소모됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 비교적 짧은 거리의 실험 구간 임에도 불구하고 차량의 가속속과 요금 정산에 따른 공회전으로 인해 상대적으로 많은 연료를 사용하고 있음을 나타내는 결과인 것이다.

또한, 실제로 폐쇄식 구간을 주행하는 차량이 일반차로를 통해 영업소를 이용할 경우, 진입시 49.1cc, 진출시 54cc 등 총 103.1cc의 연료가 소모된다. 반면, 하이패스 차로를 통해 영업소를 이용하는 차량은 진출입에 관계없이 35.9cc의 연료를 소모하여 총 71.8cc의 연료가 소모되는 것으로 나타났다. 이에 따라 일반차로 이용과 비교해 하이패스차로 이용 시 연료소모량을 31.3cc까지 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 유가를 l 당 1,500원이라고 가정하고 연료소모의 비용효과를 따져보면, 하이패스차로를 이용해 영업소를 통과할 때 왕복주행시 약 47원의 연료비가 절감된다는 것을 알 수 있다.

2. 하이패스로 인한 연료비 절감 효과

앞에서 설명한 실험 결과를 이용해 2009년 1월부터 5월까지 고속도로 영업소를 이용한 1종 차량(전체 차종의 약 85%수준임)을 대상으로 하여, 하이패스 이용에 따른 연료비 절감효과를 분석해 보고자 한다. <그림9>는 연료비 절감효과에 대한 분석 절차를 나타낸 것이다.

위의 분석절차에 따라, 개별차량의 연료비 절감을 추정하고 이어서 고속도로 이용 교통량을 고려하여



<그림 9> 연료절감효과 분석절차(1종 차종)
<Fig. 9> Estimation of fuel efficiency of Hi-Pass

<표 2> 전체 연료비 절감효과
<Table 2> Overall fuel efficiency of Hi-Pass

대상(1종)	하이패스차량	연료비절감(억원)
전체	157백만대	53.4
폐쇄식 구간	82백만대	38.5
개방식 구간	75백만대	14.9

고속도로 네트워크 전체에서 발생하는 연료비 절감 효과를 정리한 결과는 아래의 <표 2>와 같다.

폐쇄식 구간의 하이패스차로 이용 교통량은 82백만대로 이에 따른 연료비 절감액은 38.5억원으로 추산되었다. 개방식 구간의 경우 정산시간은 6초이므로 폐쇄식 구간 진입 시의 연료소모량과 같다고 가정했을 때, 개방식 구간의 하이패스 이용 교통량은 75백만대로 이에 따른 연료소모 비용의 절감은 14.9억원에 이르는 것으로 나타났다. 결과적으로 민자고속도로를 제외한 전체 고속도로 폐쇄식 구간과 개방식 구간 연료비 절감 효과는 2009년 1월부터 5월까지 총 53.4억원으로 산정되었다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 고속도로 영업소 이용시 감속, 정지, 가속을 해야 하는 일반차로와 차량이 정지하

지 않고 통과하게 되는 하이패스차로와의 연료소모량 차이를 계량적으로 증명하기 위해 현장 주행실험을 실시하였다. 현장 실험을 위해서, 진입부 500m, 영업소 모형, 진출부 100m를 갖춘 시험주로와 연료소모량을 측정할 수 있는 실험 장비를 장착한 차량을 활용하였다.

실험 조건은 3가지로 구분하였는데, 첫째, 하이패스차로를 이용한 경우(실험 1), 둘째, 일반차로 진입부를 이용한 경우(실험 2), 셋째, 일반차로 진출부를 이용한 경우(실험 3) 등의 조건에 따라 실험차량당 소모한 연료량을 측정하였다.

실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 하이패스차로를 이용하는 경우가 가장 적은 연료 소모율을 나타냈으며, 일반차로 이용시 영업소 진입부는 36.7%, 진출부는 50.4%의 연료소모 증가율을 보였다. 이러한 결과는 도로상에 가감속과 통행료 정산을 위해 차량 정지시 공회전이 연료소모에 큰 영향을 주고 있음을 의미한다.

둘째, 위의 결과를 토대로 폐쇄식 구간을 이용하는 차량 중 하이패스차로 이용차량은 진, 출입부에서 총 71.8cc의 연료를 소모하는 반면, 일반차로를 이용하는 차량은 103.1cc를 소모해 전자의 경우보다 연료소모량이 약 43.6% 증가하는 것으로 나타났다.

셋째, 실제 고속도로상에서 2009년 1월부터 5월까지 실험차량과 같은 1종 차량을 대상으로 한 하이패스차로 이용에 의한 연료절감 효과를 산정해 본 결과 약 53.4억원의 연료소모비 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 현장 실험을 통해서 하이패스 시스템의 연료절감 효과를 증명하는데 그 의의가 있으며, 실제로 제한된 조건하에서 수행한 실험을 통해 하이패스로 인한 연료절감 효과는 비교적 크게 나타나고 있음을 밝혀내었다.

본 연구를 통해 하이패스 이용에 따른 연료 절감량을 정량적인 수치로 제시함에 따라 본 연구의 결과가 향후 하이패스 이용율의 증대를 위한 기반자료

로 이용될 수 있을 것이며, 더불어 하이패스를 통한 자원 절감, 환경 보호 측면에서도 하이패스의 긍정적인 효과를 분석하는 데에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

향후 연구와 관련해서는 보다 정밀하고 일반적인 분석결과를 도출하기 위해 고속도로 각 영업소의 기하구조적 특징과 하이패스 차로에서 발생하는 일정 부분의 지체현상을 고려하며, 다양한 실험차량과 여러 가지 속도조건의 조합을 이용해 더 많은 실험 자료를 수집할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] ITS코리아, “하이패스 효과분석 및 만족도 조사”, 2007. 12.
- [2] 한국도로공사 TCS 자료, 각년도.
- [3] 한국도로공사 업무통계, 2009, 2010
- [4] 이상건, 조용성, 오세창, “자동요금징수 시스템(ETCS)의 시범사업 효과분석(하이패스 시스템 중심으로),” *대한교통학회지*, 제19권, 제4호, pp.59-69, 2001. 8.
- [5] 최기주, 이건영, 오세창, “메조모형 시뮬레이터를 이용한 교통운영방식의 연료소모량 분석,” *대한교통학회지*, 제20권, 제1호, pp.19-38, 2002. 2.
- [6] 강제수, 백승걸, 정소영, “고속도로 일 이용차량 연료소모량 및 금액 산정,” *대한교통학회 교통기술과정책*, 제6권, 제1호, pp.97-106, 2009. 3.
- [7] B. Bartin, S. Mudigonda, and K. Ozbay, “Impact of electronic toll collection on air pollution levels,” *Transportation Research Record*, no. 2011, pp.68-77, 2007.
- [8] D. Ozmen-Ertekin, K. Ozbay, S. Mudigonda, and A. M. Cochran, “Simple approach to estimating changes in toll plaza delays,” *Transportation Research Record*, vol. 2047, pp.66-74, Sept. 2008.

저자소개



이 성 관 (Lee, Seongkwon Mark)

1996년 2월 : 서울대학교 토목공학과 학사 (공학사)
1998년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
2008년 5월 : University of Illinois at Urbana-Champaign (공학박사)
1998년 3월 ~ 현재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
2009년 2월 ~ 현재 : 양주시 교통영향분석 및 개선대책 심의위원



이 기 영 (Lee, Ki-Young)

1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 학사 (공학사)
1995년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 교통계획 (공학석사)
2006년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 안전/교통공학 (공학박사)
1995년 3월 ~ 현재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원
2008년 1월 ~ 현재 : 성남시 교통영향분석 및 개선대책 심의위원



최 윤 환 (Choi, Yoon-Hwan)

1980년 2월 : 울산대학교 토목공학과 학사 (공학사)
2009년 2월 : 아주대학교 ITS대학원 교통전공 (공학석사)
2009년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 건설교통공학과 교통전공 (박사과정)
2003년 9월 : 도로 및 공항기술사 (한국산업인력관리공단)
2004년 11월 : 토목시공기술사 (한국산업인력관리공단)
2005년 12월 ~ 2009년 12월 : 한국도로공사 신사업처, 건설계획처 처장
2009년 12월 ~ 현재 : 한국도로공사 설계처 처장



곽 진 호 (Kwak, Jin-Ho)

1998년 2월 : 단국대학교 토목공학과 (공학사)
2000년 2월 : 단국대학교 일반대학원 토목공학과 교통공학 (공학석사)
2003년 5월 ~ 현재 : 교통안전공단 자동차성능연구소 선임연구원



성 지 나 (Sung, Ji-Na)

2007년 2월 : 아주대학교 교통공학과 (공학학사)
2009년 2월 : 아주대학교 일반대학원 교통공학과 (공학석사)
2009년 3월 ~ 현재 : 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 연구원