

하이패스 이용시 승용차 연료소모 및 연료비용 절감효과

Effect of Passenger Car Fuel Consumptions and Fuel Cost Savings by Hi-Pass System

박진호* (Jin-Ho Kwak) (Korea Transportation Safety Authority)
김동녕** (Dong-Nyong Kim) (Dankook University)
정애라*** (Ae-Ra Jeong) (Korea Transportation Safety Authority)

· Corresponding author : Dong-Nyong Kim(Dankook University), E-mail kdng@dankook.ac.kr

요약

고속도로 하이패스 이용률은 59.4%(2013년말 기준)로서 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 고속도로 영업소를 이용하는 승용차의 연료소모량을 측정하기 위해서 4개 차종을 대상으로 차대 동력계를 이용한 탄소균형법을 적용하였고, 일반 영업소와 하이패스 영업소의 주행 모드 18개를 설정하여 실험하였다. 그 결과 폐쇄식 구간의 경우 차종에 따라 21.0~56.4ml/veh, 개방식 구간의 경우 10.5~28.1ml/veh의 연료소모 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 하이패스 이용률에 따른 연간 연료비용 절감효과는 이용률 70%일 경우 282~573억원, 80%일 경우 322~655억원, 90%일 경우 362~737억원, 100%일 경우 403~819억원으로 산정되었다.

핵심어 : 하이패스, 연료 소모, 연료 비용, 차대 동력계, 탄소 균형법

ABSTRACT

The high-pass (brand name of Electronic Toll Collection System) utilization trend on the highway continues to grow as 59.4% (by the end of 2013). In this study, we applied the carbon balance method using a fuel chassis dynamometer with the four passenger car classes in order to measure the fuel consumption of the car using the expressway tollgate. We experimented 18 driving mode at general tollgate and high-pass tollgate. As a result, in case of entry/exit toll there were 21.0~56.4ml/veh fuel consumption savings, in case of open toll fuel consumption savings was analyzed as 10.5~28.1ml/veh. In addition, the annual fuel cost savings by virtue of high-pass was 28.2~57.3 billion won at 70% utilization rate, 32.2~65.5 billion won at 80%, 36.2~73.7 billion won at 90% and 40.3~81.9 billion won at 100%.

Key words : Hi-Pass, Fuel Consumption, Fuel Cost, Fuel Chassis Dynamometer, Carbon Balance Method

* 주저자 : 교통안전공단 자동차안전연구원 책임연구원
** 공저자 및 교신저자 : 단국대학교 토목환경공학과 교수
*** 공저자 : 교통안전공단 자동차안전연구원 선임연구원

† Received 3 December 2014; reviewed 11 December 2014; Accepted 26 January 2015

I. 서론

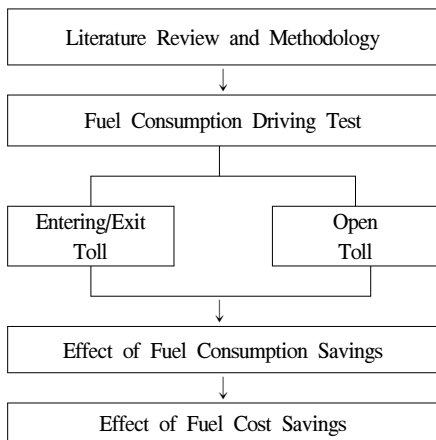
1. 연구의 배경

2013년 기준으로 국내 하이패스 이용차량은 일 평균 2,029천대이며, 하이패스 이용률은 59.4%에 달한다. 하이패스(Hi-Pass)라고 불리는 통행료자동지불시스템(ETCS, Electronic Toll Collection System)은 자동차가 고속도로 등의 톨게이트를 통과할 때 게이트와 자동차 내 단말기 간의 통신으로 자동적으로 요금을 지불하는 시스템으로 일단 정지할 필요가 없어 이용자의 연료비용을 절감할 수 있다.

〈표 1〉 하이패스 이용교통량 현황
〈Table 1〉 Traffic Volume of Using Hi-Pass

| Item | 2011 | 2012 | 2013 |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Express Traffic Volume (veh/day) | 3,372,211 | 3,173,878 | 3,416,769 |
| High-pass Traffic Volume (veh/day) | 1,806,947 | 1,806,507 | 2,028,852 |
| High-pass Utilization | 53.6% | 56.9% | 59.4% |

이를 위해 먼저 실험 대상 승용차, 실험장비, 실험구간 등을 결정한 후, 톨게이트 진입·통과·진출 속도 등을 고려한 시나리오에 따른 승용차의 연



〈그림 1〉 연구수행 절차
〈Fig. 1〉 Research Flow Chart

료소모량을 실험하는 방법으로 수행하였다.

실제 고속도로 폐쇄식 구간과 개방식 구간의 하이패스 연료소모 절감 및 하이패스 이용률에 따른 연료비용 절감효과를 추정해 보고자 한다.

2. 연구의 한계

본 연구에서는 연료 소모량을 측정하기 위하여 실제 고속도로에서 측정하는 것과 유사한 조건을 갖추기 위하여 노력하였으나 다음과 같은 한계를 가지고 있다.

- 1) 연구에 사용된 차종은 승용차(경형, 소형, 중형, 대형) 위주로 되었으며 버스나 트럭을 포함하지 않았다.
- 2) 사용연료는 휘발유를 대상으로 하였으며 디젤이나 LPG 차량은 포함시키지 않았다.
- 3) 본 연구에 이용된 진입 및 진출속도 뿐만 아니라 통과속도는 실측속도를 사용한 것이 아니라 여러 가지 속도를 가정하여 사용하였다.
- 4) 본 연구는 현장실험 대신에 실험장비를 이용하여 결과를 도출하였다.

II. 문헌 고찰

이성관 등(2010)은 하이패스와 일반차로 주행시 연료소모량을 비교하여 연료절감 효과를 추정한 연구에서 스포츠유틸리티 차량을 이용하여 실험한 결과 하이패스(통과속도 30km/h) 이용시 연료소모량을 31.3ml 감소시킬 수 있다고 분석하였으며[1], 유인균 등(2011)은 승용차를 대상으로 도로포장의 평탄성에 따른 유류소모량 변화의 관계를 실제 도로에서 실측한 결과, 평탄성이 1m/km 증가하였을 경우 100km 주행시 약 80ml 정도의 비율로 유류소모량이 증가하는 것으로 확인하였으며[2], 고광호(2010)는 포장도로의 표면거칠기 변화에 따른 유류소모량의 변화 관계를 분석한 결과 연료소모량(L/100km)은 3.5m/km 정도의 IRI 수준에서 IRI(m/lm) 증가율의 7배 정도로 증가하였다[3]. 또한, 도명식과 최승현(2014)은 도로의 경사도가 승용차의 유류소모량에

미치는 영향을 분석하기 위해 실제 주행실험을 통해 얻은 데이터를 이용하여 유류소모량 산정 모형을 개발하고 적용성을 검증하였으며, 오르막(+2~5%), 평지(±0~2%) 그리고 내리막(-2~5%)의 순으로 유류소모량이 소비됨을 확인하였다[4]. 이상건 등(2001)은 자동요금징수시스템 실시 전후의 정량적 분석을 실시한 결과 평균통과시간이나 대기행렬 길이가 감소한 시간대도 있었지만 오히려 증가하는 부정적인 효과가 나타난 시간대도 많은 것으로 나타났다으며[5], 강재수 등(2009)은 평균 속도를 고려한 소형차의 연료소비 원단위를 연구한 결과 폐쇄식 구간의 경우 0.0693 l/km으로, 개방식 구간은 0.0648 l/km으로 산정하였다[6].

그러나, 기존의 연구들은 고속도로 톨게이트에서 연료소모량 산출시 진입, 통과, 진출 속도에 대한 요인들을 고려하지 못한 한계가 있다.

III. 실험 계획

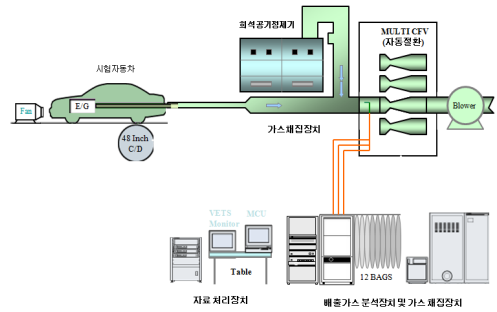
1. 실험 방법

본 연구에서는 연료 소모량을 측정하기 위하여 차대동력계 장비를 이용하였으며, 탄소균형법 산출방식을 적용하였다. 차대 동력계는 가·감속, 정속, 정지 등의 반복 과정을 대표화할 수 있는 장점이 있으며, 연료소비를 측정시 사용되는 대표적인 실험 장비이다. 또한, 탄소균형법은 연료 중의 탄소량이 자동차의 배기가스에 포함된 탄소량과 같다고 보고 연비를 산출하는 방법이다.

실험 방법은 동일한 외부조건(온도, 풍향 등)을 설정하고, 차대 동력계 위에 실험자동차를 위치시켜 각 실험 모드로 주행한다. 주행 후 자동차에서 배출되는 가스를 포집하여 그 중에 포함되어 있는 탄화수소, 일산화탄소, 이산화탄소 등의 양을 측정하여 소모된 연료량을 산출하였다.

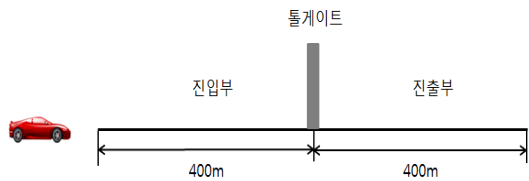
이 방법은 국토교통부의 ‘자동차안전기준에 관한 규칙’과 지식경제부의 ‘자동차의 에너지소비효율 및 등급표시에 관한 규정’에 의해서 수행하는 연료소비율 측정시 사용되는 실험방법으로 국내·외에

서 가장 많이 사용되는 점을 감안하여 본 연구에 적용하였다.



〈그림 2〉 실험장비 구성도
〈Fig. 2〉 Test Equipment Configuration

고속도로 영업소 광장 진입부와 진출부의 최소 길이가 각각 380m인 점을 고려하여 톨게이트 진입부 400m, 진출부 400m를 시험 구간으로 결정하였으며, 연료소모량 측정을 위해 실험모드별로 총 2회를 실시하여 평균값을 사용하였다.



〈그림 3〉 실험 구간
〈Fig. 3〉 Experimental Section

실험자동차의 감속도, 가속도, 소요시간 계획은 <표 2>와 같다. 평균 가속도 2.9m/s², 평균 감속도 4.6m/s², 소요시간 36~92초로 설정하였는데, 이는 시점과 종점에서 속도 안정화를 위해 최소 5초간 일정한 속도로 유지하고, 진입·통과·진출 속도를 고려하여 설정한 값으로 실제 영업소에서 발생하는 다양한 가·감속은 반영하지 않았다.

〈표 2〉 평균 가·감속도 및 1회 소요시간
〈Table 2〉 Average Acceleration & Deceleration, Test Duration

| Average Acceleration | Average Deceleration | Test Duration |
|----------------------|----------------------|---------------|
| 2.9m/s ² | 4.6m/s ² | 36~92sec |

2. 실험 자동차

연료소모량을 측정하기 위하여 본 연구에서는 가장 많이 판매된 등급별 승용차를 대상으로 경형(기아 모닝), 소형(현대 아반떼), 중형(현대 쏘나타), 대형(제너시스) 각 1대씩 총 4대를 선정하였다.

3. 실험 모드

일반 영업소 폐쇄식 진입 모드는 40km/h, 60km/h, 80km/h 속도로 각각 진입하여 고속도로 통행권 수령시 정차(서비스 시간 6초) 후 출발하여 40km/h, 60km/h, 80km/h 속도에 도달하는 경우로 가정하였다. 또한, 진출 모드는 40km/h, 60km/h, 80km/h 속도로 각각 진입하여 통행요금 지불시 정차(서비스 시간 13초) 후 출발하여 40km/h, 60km/h, 80km/h 속도에 도달하는 경우로 가정하였다.

〈표 3〉 진입 및 진출 속도 시나리오
 〈Table 3〉 Scenario of Entering/Passing/Leaving Speed

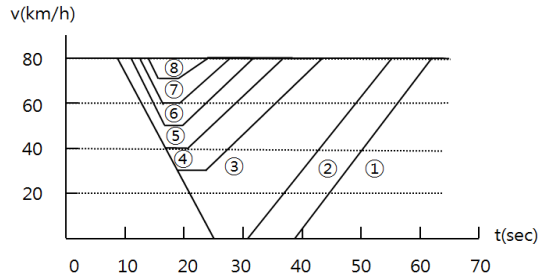
| Item | Enter Speed | Passing Speed | Leaving Speed |
|------------|-------------|---------------|---------------|
| Scenario ① | 80km/h | 0(13sec) | 80km/h |
| Scenario ② | | 0(6sec) | |
| Scenario ③ | | 30km/h | |
| Scenario ④ | | 40km/h | |
| Scenario ⑤ | | 50km/h | |
| Scenario ⑥ | | 60km/h | |
| Scenario ⑦ | | 70km/h | |
| Scenario ⑧ | | 80km/h | |
| Scenario ⑨ | 60km/h | 0(13sec) | 60km/h |
| Scenario ⑩ | | 0(6sec) | |
| Scenario ⑪ | | 30km/h | |
| Scenario ⑫ | | 40km/h | |
| Scenario ⑬ | | 50km/h | |
| Scenario ⑭ | | 60km/h | |
| Scenario ⑮ | 40km/h | 0(13sec) | 40km/h |
| Scenario ⑯ | | 0(6sec) | |
| Scenario ⑰ | | 30km/h | |
| Scenario ⑱ | | 40km/h | |

〈표 4〉 일반 영업소 서비스시간 적용 기준
 〈Table 4〉 Service Time of General Toll Gate

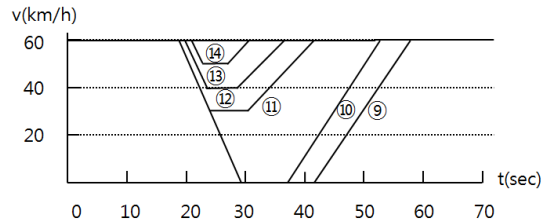
| Item | General Toll Gate | | |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|
| | Entering Toll | Exit Toll | Open Toll |
| Service Time | 6sec | 13sec | 8sec |

* 출처 : 한국도로공사, 도로설계요령, 2009년

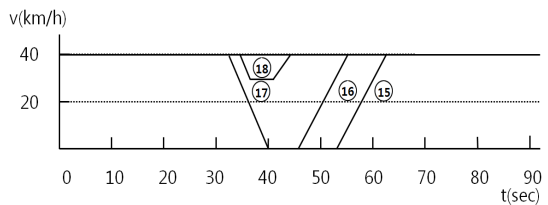
하이패스 영업소의 경우 진입 속도는 40km/h, 60km/h, 80km/h이고, 통과 속도는 30km/h 이상부터 진입 속도 이하(10km/h 간격)이며, 진출 속도는 진입 속도와 동일한 경우로 가정하였다.



- ① 80-0(13sec)-80 ② 80-0(6sec)-80
- ③ 80-30-80 ④ 80-40-80 ⑤ 80-50-80
- ⑥ 80-60-80 ⑦ 80-70-80 ⑧ 80-80-80



- ⑨ 60-0(13sec)-60 ⑩ 60-0(6sec)-60 ⑪ 60-30-80
- ⑫ 60-40-80 ⑬ 60-50-80 ⑭ 60-60-60



- ⑮ 40-0(13sec)-60 ⑯ 40-0(6sec)-40
- ⑰ 40-30-40 ⑱ 40-40-40

〈그림 4〉 진입 및 진출 속도 시나리오
 〈Fig. 4〉 Scenario of Entering/Passing/Leaving Speed

IV. 연료소모량 실험결과

일반 영업소의 폐쇄식 구간과 개방식 구간을 1회 통과시 실험자동차별 연료소모량은 <표 5>와 같이 나타났다. 폐쇄식 구간의 경우 입구 및 출구의 서비스 시간을 각각 6초와 13초를 적용한 결과이며, 개방식 구간의 경우는 폐쇄식 구간의 입구 서비스 시간 6초를 적용한 연료소모량과 6초부터 13초간 정지시 2초에 해당되는 평균연료소모량을 더해 산출하였다. 하이패스 영업소 구간의 진입 및 진출 속도는 폐쇄식 구간과 개방식 구간 모두 동일하게 적용하였으며, 1회 통과시 실험자동차별 연료소모량은 <표 6>과 같이 나타났다.

경형승용차는 진입속도 80km/h, 60km/h, 40km/h에 따라 일반영업소 폐쇄식 구간의 경우 125.3ml/veh, 97.6ml/veh, 84.0ml/veh가 소모되었고, 개방식 구간의 경우 62.4ml/veh, 48.7ml/veh, 42.0ml/veh가 소모되었다. 또한, 하이패스 이용시에는 평균적으로 46.6ml/veh, 35.4ml/veh, 31.5ml/veh가 소모되었다.

<표 5> 일반 영업소 연료 소모량 실험 결과
(Table 5) Results of Fuel Consumption of General Toll

| Type | Scenario | Entering & Leaving Speed (km/h) | Service Time (sec) | Fuel Consumption(ml/veh) | | | |
|-----------------|-----------|---------------------------------|--------------------|--------------------------|-------|--------|-------|
| | | | | Mini | Small | Medium | Large |
| Entry/Exit Toll | ① | 80 | 13 | 63.2 | 72.0 | 85.1 | 90.9 |
| | ② | | 6 | 62.1 | 70.1 | 83.1 | 90.3 |
| | Sum | | | 125.3 | 142.1 | 168.2 | 181.2 |
| | ⑨ | 60 | 13 | 49.0 | 55.7 | 66.4 | 78.4 |
| | ⑩ | | 6 | 48.6 | 54.7 | 64.3 | 76.9 |
| | Sum | | | 97.6 | 110.4 | 130.7 | 155.3 |
| | ⑮ | 40 | 13 | 42.1 | 48.0 | 61.5 | 73.3 |
| | ⑯ | | 6 | 41.9 | 47.1 | 59.2 | 71.4 |
| | Sum | | | 84.0 | 95.1 | 120.7 | 144.7 |
| | Open Toll | - | 80 | 8 | 62.4 | 70.6 | 83.7 |
| - | | 60 | 8 | 48.7 | 55.0 | 64.9 | 77.3 |
| - | | 40 | 8 | 42.0 | 47.4 | 59.9 | 72.0 |

소형승용차는 진입속도 80km/h, 60km/h, 40km/h에 따라 일반영업소 폐쇄식 구간의 경우 142.1ml

/veh, 110.4ml/veh, 95.1ml/veh가 소모되었고, 개방식 구간의 경우 70.6ml/veh, 55.0ml/veh, 47.4ml/veh가 소모되었다. 또한 하이패스 이용시에는 평균적으로 50.0ml/veh, 38.7ml/veh, 34.7ml/veh가 소모되었다.

중형승용차는 진입속도 80km/h, 60km/h, 40km/h에 따라 일반영업소 폐쇄식 구간의 경우 168.2ml/veh, 130.7ml/veh, 120.7ml/veh가 소모되었고, 개방식 구간의 경우 83.7ml/veh, 64.9ml/veh, 59.9ml/veh가 소모되었다. 또한 하이패스 이용시에는 평균적으로 57.9ml/veh, 45.5ml/veh, 46.5ml/veh가 소모되었다.

대형승용차는 진입속도 80km/h, 60km/h, 40km/h에 따라 일반영업소 폐쇄식 구간의 경우 181.2ml/veh, 155.3ml/veh, 144.7ml/veh가 소모되었고, 개방식 구간의 경우 90.5ml/veh, 77.3ml/veh, 72.0ml/veh가 소모되었다. 또한 하이패스 이용시에는 평균적으로 62.4ml/veh, 54.6ml/veh, 51.1ml/veh가 소모되었다.

<표 6> 하이패스 연료 소모량 실험 결과
(Table 6) Results of Fuel Consumption of Hi-Pass Toll

| Scenario | Enter Speed (km/h) | Passing Speed (km/h) | Leaving Speed (km/h) | Fuel Consumption(ml/veh) | | | | | |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-------|--------|-------|------|------|
| | | | | Mini | Small | Medium | Large | | |
| ③ | 80 | 30 | 80 | 56.3 | 62.9 | 72.5 | 78.7 | | |
| ④ | | 40 | | 53.1 | 59.6 | 67.7 | 74.1 | | |
| ⑤ | | 50 | | 50.8 | 54.5 | 63.6 | 68.4 | | |
| ⑥ | | 60 | | 43.5 | 45.9 | 55.0 | 56.9 | | |
| ⑦ | | 70 | | 40.7 | 42.1 | 48.8 | 53.0 | | |
| ⑧ | | 80 | | 35.1 | 35.1 | 39.8 | 43.5 | | |
| Average | | | | 46.6 | 50.0 | 57.9 | 62.4 | | |
| ⑪ | | 60 | | 30 | 60 | 40.4 | 45.2 | 53.8 | 62.9 |
| ⑫ | 40 | | 38.6 | 42.2 | | 49.5 | 60.9 | | |
| ⑬ | 50 | | 34.5 | 36.9 | | 43.8 | 51.9 | | |
| ⑭ | 60 | | 28.1 | 30.3 | | 34.8 | 42.7 | | |
| Average | | | | 35.4 | 38.7 | 45.5 | 54.6 | | |
| ⑰ | 40 | 30 | 40 | 34.5 | 36.9 | 49.8 | 57.9 | | |
| ⑱ | | 40 | | 28.4 | 32.5 | 43.2 | 44.2 | | |
| Average | | | | 31.5 | 34.7 | 46.5 | 51.1 | | |

V. 연료절감 효과

1. 연료소모 절감효과

고속도로 폐쇄식 구간과 개방식 구간에 따른 하이패스 시스템의 승용차 연료소모 절감효과는 <표 7>, <그림 5> 및 <그림 6>과 같이 분석되었다. 일반 영업소와 하이패스 영업소 모두 폐쇄식 구간의 경우 입구와 출구를 각 1회씩 2번 통과하고, 개방식 영업소는 1번을 통과하는 것으로 동일하게 적용하였다.

하이패스 영업소의 연료절감 효과를 비교하는 방법은 진입·진출 속도별로 구분하였는데 이 때 통과속도별로는 구분하지 않고 여러 통과속도의 평균 연료소모량을 적용하였다. 즉, 하이패스 이용차량들은 다양한 통과속도로 통행하며 그 분포는 균일할 것이라는 가정을 한 것이다.

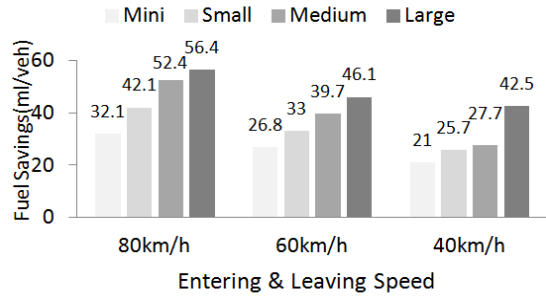
경형승용차는 진입·진출 속도 40km/h, 60km/h, 80km/h에 따라 폐쇄식 구간의 경우 21.0~32.1ml/veh의 연료가 절감되었고, 개방식 구간의 경우 10.5~15.8ml/veh의 연료가 절감되었다.

소형승용차는 진입·진출 속도 40km/h, 60km/h, 80km/h에 따라 폐쇄식 구간의 경우 25.7~42.1ml/veh의 연료가 절감되었고, 개방식 구간의 경우 12.7~20.6ml/veh의 연료가 절감되었다.

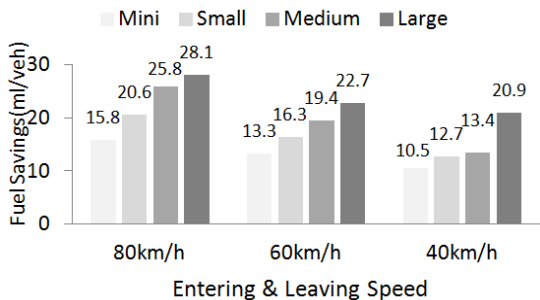
중형승용차는 진입·진출 속도 40km/h, 60km/h, 80km/h에 따라 폐쇄식 구간의 경우 27.7~52.4ml/veh의 연료가 절감되었고, 개방식 구간의 경우

13.4~25.8ml/veh의 연료가 절감되었다.

대형승용차는 진입·진출 속도 40km/h, 60km/h, 80km/h에 따라 폐쇄식 구간의 경우 42.5~56.4ml/veh의 연료가 절감되었고, 개방식 구간의 경우 20.9~28.1ml/veh의 연료가 절감되었다.



<그림 5> 폐쇄식 구간의 하이패스 연료소모량 절감
<Fig. 5> Fuel Consumption Savings of Hi-Pass at Entry/Exit Toll



<그림 6> 개방식 구간의 하이패스 연료소모량 절감
<Fig. 6> Fuel Consumption Savings of Hi-Pass at Open Toll

<표 7> 하이패스 연료소모량 절감
<Table 7> Fuel Consumption Saving of Hi-Pass
(단위: ml/veh)

| Type | Entering & Leaving Speed(km/h) | Fuel Consumption Saving | | | |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------|-------|--------|-------|
| | | Mini | Small | Medium | Large |
| Entry/Exit Toll | 80 | 32.1 | 42.1 | 52.4 | 56.4 |
| | 60 | 26.8 | 33.0 | 39.7 | 46.1 |
| | 40 | 21.0 | 25.7 | 27.7 | 42.5 |
| Open Toll | 80 | 15.8 | 20.6 | 25.8 | 28.1 |
| | 60 | 13.3 | 16.3 | 19.4 | 22.7 |
| | 40 | 10.5 | 12.7 | 13.4 | 20.9 |

<표 8> 하이패스 연료소모량 절감 관련 논문 비교
<Table 8> Comparison with Other Paper Related Fuel Consumption Saving of Hi-Pass
(단위: ml/veh)

| Type | Entering & Leaving Speed(km/h) | Fuel Consumption Savings | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------|------------------|
| | | This Study (Mini) | Lee et al. (SUV) |
| Entry/Exit Toll | 80 | 32.1 | - |
| | 60 | 26.8 | 31.3 |
| | 40 | 21.0 | - |
| Open Toll | 80 | 15.8 | - |
| | 60 | 13.3 | 13.2 |
| | 40 | 10.5 | - |

본 연구와 타 연구의 하이패스 연료소모량 절감율을 <표 8>과 같이 비교해본 결과, 속도 60km/h인 경우 폐쇄식 구간에서는 26.8ml/veh와 31.3ml/veh로서 유사한 값을 보였으며, 개방식 구간에서는 13.3ml/veh, 13.2ml/veh로서 거의 동일한 결과를 보였다.

2. 연료비용 절감효과

하이패스 이용시 승용차 연료비용 절감효과 산출식은 아래와 같다.

$$F_s = \sum_i \sum_j V_{ij} H_{ij} \times \frac{U_h}{100} \times C_f \times \frac{365}{1,000} \quad (1)$$

여기서,

F_s : 연간 하이패스 연료절감 비용(원)

V_{ij} : 고속도로 승용차 일평균 이용대수(대/일)

H_{ij} : 하이패스 연료소모량 절감(ml/veh)

i : 경형, 소형, 중형, 대형 승용차

j : 폐쇄식 구간, 개방식 구간

U_h : 하이패스 이용률(%)

C_f : 유류비(1,883원/ℓ, '13년 12월 4주)

<표 9> 2013년 하이패스 연료비용 절감
<Table 9> Fuel Cost Saving of Hi-Pass Toll by 2013

| Type | Passenger | Fuel Cost Savings(million won/yr) | | |
|------------------------|-----------|-----------------------------------|--------|--------|
| | | 80km/h | 60km/h | 40km/h |
| Entry/ Exit Toll | Mini | 2,624 | 2,191 | 1,716 |
| | Small | 7,890 | 6,185 | 4,817 |
| | Medium | 22,193 | 16,814 | 11,732 |
| | Large | 7,497 | 6,128 | 5,649 |
| | Sum | 40,204 | 31,317 | 23,914 |
| Open Toll | Mini | 549 | 462 | 365 |
| | Small | 1,640 | 1,298 | 1,011 |
| | Medium | 4,643 | 3,491 | 2,412 |
| | Large | 1,587 | 1,282 | 1,180 |
| | Sum | 8,419 | 6,533 | 4,968 |
| Sum | 48,624 | 37,850 | 28,882 | |

2013년 하이패스 이용시 승용차 연료비용 절감효과를 분석한 결과 <표 9>와 같이 나타났다. 승용차가 진입·진출 속도 40km/h인 경우 289억원, 60km/h인 경우 379억원, 80km/h인 경우 486억원으로 산출되었다. 폐쇄식 구간 연료비용 절감 효과는 239~402억원으로 개방식 구간의 50~84억 보다 약 4.8배 높은 것으로 분석되었다.

또한, 하이패스 이용률 증가에 따른 연료비용 절감효과를 분석한 결과 <표 10>과 같이 나타났다.

하이패스 이용률이 70%일 경우 진입·진출 속도에 따라 282~573억원의 연료비용이 절감될 것으로 산출되었으며, 80%일 경우 322~655억원, 90%일 경우 362~737억원, 100%일 경우 403~819억원의 연료비용 절감 효과가 있을 것으로 기대된다.

<표 10> 하이패스 이용률에 따른 연료비용 절감
<Table 10> Fuel Cost Saving by Hi-Pass Utilization Rate

| High-Pass Utilization | Passenger | Fuel Cost Savings(million won/yr) | | |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|--------|--------|
| | | 80km/h | 60km/h | 40km/h |
| 70% | Mini | 3,739 | 3,126 | 2,023 |
| | Small | 11,231 | 8,818 | 5,676 |
| | Medium | 31,626 | 23,929 | 13,826 |
| | Large | 10,705 | 8,732 | 6,657 |
| | Sum | 57,301 | 44,605 | 28,182 |
| 80% | Mini | 4,273 | 3,572 | 2,312 |
| | Small | 12,836 | 10,078 | 6,487 |
| | Medium | 36,143 | 27,348 | 15,801 |
| | Large | 12,234 | 9,980 | 7,608 |
| | Sum | 65,486 | 50,978 | 32,208 |
| 90% | Mini | 4,807 | 4,019 | 2,601 |
| | Small | 14,440 | 11,337 | 7,298 |
| | Medium | 40,661 | 30,766 | 17,776 |
| | Large | 13,764 | 11,227 | 8,559 |
| | Sum | 73,672 | 57,349 | 36,234 |
| 100% | Mini | 5,341 | 4,465 | 2,890 |
| | Small | 16,045 | 12,597 | 8,109 |
| | Medium | 45,179 | 34,185 | 19,751 |
| | Large | 15,293 | 12,475 | 9,510 |
| | Sum | 81,858 | 63,722 | 40,260 |

VI. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 고속도로에서 운영되고 있는 하이패스 시스템을 이용하는 승용차의 연료소모 및 연료비용 절감효과를 산출하였다.

연료소모량을 측정하기 위해서 연료소비율 측정 시 국내·외에서 가장 많이 사용되는 탄소균형법을 적용하여 실험을 실시하였다.

가장 많이 판매된 승용차 4개 등급별 차종을 대상으로 일반 영업소와 하이패스 영업소의 틀게이트 주행모드 18개 시나리오에 대한 실험을 진행하였으며, 진입속도는 40km/h, 60km/h, 80km/h로 진출속도와 동일하며, 통과 속도는 일반 영업소인 경우는 정지한 후 출발하였으며, 하이패스 구간인 경우는 30km/h 이상으로 10km/h 간격으로 증가시키면서 연료 소모량을 측정하였다.

기존 연구의 한계인 고속도로 틀게이트에서 연료소모량 산출시 진입, 통과, 진출 속도에 대한 변형인들을 고려하였고, 틀게이트 주행 모드를 재현하여 연료소모 및 연료비용 절감효과를 정량적인 수치로 제시한 데 의의가 있으며, 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 하이패스 시스템을 이용하는 승용차는 폐쇄식 영업소의 경우 21.0~56.4ml/veh, 개방식 영업소의 경우 10.5~28.1ml/veh의 연료소모 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

둘째, 2013년 하이패스 시스템 이용시 승용차 연료비용 절감 효과는 289~486억원으로 산출되었다.

셋째, 하이패스 이용률에 따른 연간 연료비용 절감효과는 이용률 70%일 경우 282~573억원, 80%일 경우 322~655억원, 90%일 경우 362~737억원, 100%일 경우 403~819억원으로 산출되었다.

향후 연구로는 화물차 등 다양한 차종 및 디젤, LPG 등 가솔린 이외 연료에 대한 추가 실험, 틀게이트 평균통과속도와 다양한 가·감속 및 지체시간을 고려한 실험, 통과속도 제한이 없는 스마트 톨링

시스템의 효과 분석 등이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] S. K. Lee, K. Y. Lee, Y. H. Choi, J. H. Kwak, and J. N. Sung, "Evaluation on the Fuel Efficiency of Hi-Pass System", *Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 3, pp.59-66, June. 2010.
- [2] I. K. Yoo, J. W. Kim, S. H. Lee, and K. H. Ko, "Comparison of Fuel Consumption Estimation for Passenger Cars", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, vol. 13, no. 4, pp.167-175, Dec. 2011.
- [3] K. H. Ko, "The Change Rate of Fuel Consumption for Different IRI of Paved Roads", *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, vol. 12, no. 1, pp.55-59, Mar. 2010.
- [4] M. S. Do, S. H. Choi, "Effect of Road Gradient on Fuel Consumption of Passenger Car", *Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 13, no. 4, pp.48-56, Aug. 2014.
- [5] S. G. Lee, Y. S. Lee, S. C. Oh, "Performance Analysis for Electronic Toll Collection System, Hi-Pass", *Journal of the Korean Society of Transportation*, vol. 19, no. 4, pp.59-69, Aug. 2001.
- [6] J. S. Kang, S. G. Baek, and S. Y. Jung, "Evaluation on Fuel Consumption and Amount of money of Expressway Vehicles", *Transportation Technology and Policy*, The Korean Society of Transportation, vol. 6, no. 1, pp.97~106, 2009.
- [7] Korea Expressway Corporation, *Expressway Design Manual*, 2009.

저자소개



곽 진 호 (Kwak, Jin-Ho)

2003년 5월 ~ 현 재 : 교통안전공단 자동차안전연구원 책임연구원
2000년 5월 ~ 2003년 4월 : 한국교통연구원 도로교통연구실 연구원
2000년 2월 : 단국대학교 토목공학과 석사
1998년 2월 : 단국대학교 토목공학과 졸업
e-mail : kwak0520@ts2020.kr
연락처 : 031) 369-0214



김 동 녕 (Kim, Dong-Nyong)

1984년 9월 ~ 현 재 : 단국대학교 토목환경공학과 교수
1990년 8월 : 서울대학교 토목공학과 박사
1982년 2월 : 서울대학교 토목공학과 석사
1976년 2월 : 서울대학교 토목공학과 졸업
e-mail : kdng@dankook.ac.kr
연락처 : 031) 8005-2200



정 애 라 (Jeong, Ae-Ra)

2012년 3월 ~ 현 재 : 교통안전공단 자동차안전연구원 선임연구원
2013년 2월 : 아주대학교 환경공학과 석사
2009년 2월 : 공주대학교 대기과학과 졸업
e-mail : aerajeong@ts2020.kr
연락처 : 031) 369-0326