

가변축 사용여부에 따른 연료소모량 비교 연구

A Comparative Study on Fuel Consumption Depending on The Use of Lift Axle

오 주 삼 Oh, Ju Sam | 정회원 · 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 첨단교통연구실 수석연구원 (E-mail : jusam@kict.re.kr)
 어 효 경 Eo, Hyo Kyoung | 한국건설기술연구원 기반시설연구본부 첨단교통연구실 연구원 (E-mail : hke8408@kict.re.kr)

ABSTRACT

As a Lift axle is an additional axle installed mostly in heavy freight truck, It's introduced for the purpose of cost saving, such as logistics, fuel, tire wear and prevention of the pavement damage. However, the Effects of a lift axle are anecdotal and they have occurred often that a lift axle is used improperly by expectations of some drivers. For these reasons, this study conducts a field experiment in order to identifying the change rate of fuel consumption due to an a Lift axle using, develops the fuel consumption model of field data, and then compares the effects of a Lift axle using through application of the model. As a result, fuel consumption decreased in loading conditions that are both empty and full when not using a lift axle.

KEYWORDS

heavy duty freight truck, lift axle, fuel consumption, basic unit, estimate model

요지

가변축은 대형화물자동차에 주로 장착되는 보조차축으로써, 물류비용 절감과 도로포장면 파손방지, 유류비 등의 차량운영비용 절감을 목적으로 도입되었다. 그러나 유류비절감 측면에 대한 가변축의 사용효과가 실증적 실험을 통해 입증되지 않았을 뿐만 아니라, 일부 운전자들의 막연한 기대심리로 인한 잘못된 가변축 활용사례가 발생되고 있다. 본 연구에서는 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 변화를 확인하고자 실제 도로주행 실험을 수행하였으며, 실험결과를 바탕으로 연료소모원단위 모형을 개발 및 적용하여 가변축 사용여부별 연료소모량을 비교하였다. 그 결과, 가변축을 사용하지 않을 시에 연료소모량 감소가 예상되었으며, 수치상으로 공차주행 시 -0.83%, 만차주행 시 -2.15%를 나타내었다. 공차주행 시 절감율은 제도의 효과를 정량적으로 나타내는 수치로써, 금액으로 환산 시 약 300억 원에 달한다.

핵심용어

대형화물자동차, 가변축, 연료소모량, 원단위, 산정모형

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도로를 이용한 화물운송은 철도나 연안 및 항공운송의 특성상 분담이 어려운 화물의 문전배송(door to door) 역할을 담당함과 동시에 국내화물운송의 상당부분을 분담함으로써, 가장 많이 이용되고 있는 운송수단 방법 중 하나이다. 2010년 기준으로 최근 5년간 도로부문 수송실적(톤·km)은 연평균 4.48%(국토해양부, 2010)의 증가율을 나타내고 있다. 아울러 국내 총 물류비용도 지속적인 증가를 이어왔으며, 특히 물류비용 중

수송비의 증가율이 가장 두드러지는 것으로 나타났다. 1991년 이후부터 2007년까지 국내 총 물류비용은 연평균 10.2%로 증가해 온 반면, 그 중 수송비는 12.4%의 증가율을 나타내었고, 전체 물류비용 중 수송비가 차지하는 비율이 약 60%에서 80%까지 증가하였다(국가교통DB센터, 2010). 이와 같이 도로부문 물동량과 운송수송비가 지속적으로 증가함에 따라, 정부는 화물차량을 이용한 도로부문 수송비 절감을 위해 가변축의 장치를 허용하고, 관련제도를 도입 및 적용하고 있다.

가변축이란 대형화물차에 주로 장착 및 사용되어지고

있는 차축의 한 종류이며, 일반 고정차축과는 다르게 상·하 승강조작이 가능한 차축을 의미한다. 이러한 가변축은 공차 주행 시 차축을 지면으로부터 이격시킬 수 있어, 유류비, 타이어마모비 등을 포함한 차량운행비용 절감 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 이와 같은 가변축의 이점에 대한 실증적 실험 혹은 유류비 절감에 관한 정량적 수치의 제시가 이루어지고 있지 않을 뿐만 아니라, 유류비 절감에 대한 일부 화물자동차 운전자들의 잘못된 인식으로 말미암아 화물을 일정수준 이상 적재하고도 가변축을 사용하지 않는 사례가 발생되고 있다. 이와 같은 잘못된 가변축의 사용은 축하중 증가에 따른 도로포장면 파손, 화물자동차의 주행안전성 저하 및 사고발생 위험도가 증가되며, 이는 파손된 포장면 보수 및 교통사고 처리 등의 사회비용 지출 증가로 이어질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 유류비 절감측면에서의 가변축 제도 이점을 정량적으로 분석해 보며, 실제 도로주행 실험을 통해 실험차종의 가변축 사용여부별 연료소모원단위(l/km) 산정 개발 및 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 차이를 비교해보고자 한다.

1.2. 선행연구 사례

국내의 경우 본 연구에서 개발하고자 하는 속도-연료소모량 산정모형과 연관된 대형화물자동차의 유류비 원단위에 대한 선행연구만 일부 존재할 뿐, 연료소모량에 관한 가변축 고려 또는 가변축을 대상으로 수행된 연료소모량 비교 연구는 존재하고 있지 않은 실정이다.

가변축이라는 장치의 사용과 제도적 정비가 도로부문 화물운송이 매우 활발한 북미지역에서 처음으로 시행된 만큼, 미국과 캐나다에서 가변축 관련 선행연구 사례를 찾아볼 수 있었다. 또한 북미지역의 한 가변축 제작 및 판매업체(<http://www.hayworthequipment.com/liftaxle.html>)에서는 가변축을 장착하여 활용함으로써, 타이어의 수명연장과 함께 타이어마모비를 절감할 수 있고, 제동장치 및 서스펜션 계통의 차량운행비를 절감할 수 있음을 소개하고 있다. 또한 공차상태에서 가변축을 사용하지 않음으로써, 평균 9% 가량의 유류비를 절감할 수 있다는 광고와 함께 제품의 판촉활동을 벌이고 있으나, 실증적인 실험결과를 뒷받침하고 있지는 못하다. 미국과 캐나다 주(STATE)정부 및 관련 연구기관에서도 가변축과 연료소모량의 관계에 대한 연구는 부족하지만, 가변축에 의한 차량안전성 및 사회비용 증가 측면의 정책적 접근 등의 연구가 지속적으로 이루어져 왔고, 국내

에서 시도되지 않은 다양한 관련 선행연구 사례가 존재하기에 대표적인 연구사례들을 검토해 보았다.

먼저, J.T. Christison(1989)은 대형화물차 통행 시 도로포장면의 거동변화 중 처짐(Deflection)을 대상으로 실제 측정실험을 수행함과 동시에 가변축을 사용했을 시와 사용하지 않았을 시의 동적하중계수와 포장면의 처짐을 분석하였다. 도로포장면의 거동변화 관찰 시 선정된 실험구간은 750mm 기초에 56mm 아스팔트 콘트리트 포장면으로써, 실험차량이 통과함과 동시에 포장체의 거동 데이터를 수집할 수 있도록 측정장비를 두 개 차로에 설치하였다. 설치된 측정장비를 통해 포장면의 처짐을 기록하고, 3개의 압전센서(Piezo 센서)를 함께 설치함으로써, 포장면에 수직으로 가해지는 동적하중을 함께 측정했다. 실험결과, 가변축을 사용하지 않을 경우 약 3.5%가량 포장면의 처짐(Deflection) 발생량이 증가하였다.

미국 FHWA(1995)에서는 도로포장면 파손과 밀접한 연이 있는 영향요인들을 선정한 바 있으며, 이때 가변축(Lift axle)의 잘못된 활용(만차 주행 시 가변축 미사용)이 도로포장면 파손에 매우 큰 영향을 가한다고 지적하였다.

J.R. Billing(2006)은 가변축이 장착된 화물차량의 주행안전성을 대상으로 두 건의 관련 연구를 수행한 바 있으며 첫 번째 연구는 차량의 전복위험도와 관련된 연구, 두 번째 연구는 차로이탈량과 타이어 마찰수요 감소에 관한 연구이다. 먼저 차량 전복위험도에 관한 연구에서는 Tank Truck 16차종과 별도 제작된 Tilt Table을 이용하여 차량이 전복되는 편경사도를 측정하였다. 측정결과, 가변축이 장착된 모든 Tank Truck의 전복한계도가 유럽과 호주의 최소기준(0.40g)을 넘지 못하였으며, 가변축을 사용하지 않을 시 약 0.01에서 0.03g만큼 전복한계도가 감소하는 것으로 나타났다.

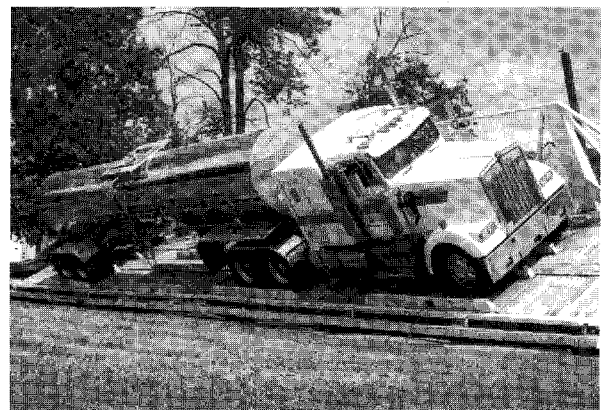


그림 1. J.R. Billing 연구에서 사용된 Tilt Table

J.R. Billing(2006)의 두 번째 연구에서는 4개의 대표 트레일러 차종을 선정하여 차량별 차로이탈량과 마찰수요값을 조사·분석하였으며, 실험결과 가변축 미사용 시 고속과 저속에서 모두 차로이탈량이 높은 것으로 확인되었고, 마찰수요 또한 감소함으로써 차량의 횡방향 미끄러짐 발생확률도 함께 증가하는 것으로 분석되었다.

이처럼 국외에서는 대형화물자동차의 가변축과 관련하여 도로포장면 거동특성 변화 및 파손도, 차량주행 안전성 등 다양한 선행연구 사례가 존재하였고, 특정 가변축 제조 및 판매 업체에서는 가변축의 활용으로 9%가량 유류비가 절감될 수 있다는 판촉광고까지 존재하고 있다. 그러나 본 연구에서 알아보고자 하는 가변축과 연료소모량간의 실질적 실험결과나 정량적 분석에 관한 연구사례는 확인되지 않고 있다.

1.3. 주요 연구내용

이에 본 연구에서는 앞서, 언급한 바와 같이 가변축과 연료소모량에 대한 관계를 실증적 실험을 통해 확인하고자 한다. 실험차량으로 사용될 대표차종을 선정하고, 실제 도로주행 실험을 수행함과 동시에 차종별, 가변축 사용여부별, 주행속도등급별 연료소모량을 측정하고자 한다. 실험을 통해 측정된 연료소모량을 바탕으로 실험차종별 연료소모원단위 모형을 개발하고, 개발된 모형을 적용하여 가변축 사용여부에 따른 연료소모량을 비교할 것이다.

2. 실제 도로주행 실험 수행

2.1. 실험개요

대형화물자동차의 가변축 사용여부별 연료소모량을 측정하기 위하여 본 연구에서는 실제 도로주행 실험을 수행하였으며, 실험의 시나리오를 크게 차종별, 가변축 사용여부별, 주행속도별로 구분하여 구성했다. 실험구간은 통과교통량이 적고, 연속류 성격이 강한 구간을 선정하였으며, 각 실험차종의 주행속도와 가변축 사용여부에 따른 연료소모량을 측정 및 기록하였다. 실험방법을 포함한 실험구간 및 대표차종, 실험 시나리오 구성은 다음과 같다.

2.2. 실험방법 및 내용

2.2.1. 실험방법

본 실험에서 가장 중요한 과정 중 하나는 연료소모량 측정이다. 실험 후 차량의 소모연료량 측정 시 불필요한

계측오차가 발생할 경우 실험결과 전체에 영향을 미치게 된다. 이러한 오차발생 요인을 최소화하기 위하여 매번 동일한 계측조건을 준수하고자 했다. 본 연구에서는 연료소모량 측정을 위해 보조 유류통, 전자저울(오차범위: $\pm 0.05g$)을 사용하였다. 실험구간을 주행 후 도착한 실험차량에 급유를 하기 전에 먼저 유류가 가득 채워진 보조 유류통의 무게를 계측하여 놓고, 실험차량의 연료탱크에 유류를 가득 채운 후 무게를 계측함으로써 소모된 연료량을 측정하였다. 주행실험 시작 시에는 항상 연료가 가득 채워진 상태를 유지시켜줌으로써, 보조 유류통과 전자저울을 이용한 연료소모량 측정이 가능하였다. 마지막으로 각 실험별 연료소모량 측정값은 부피(ℓ)가 아닌 무게(kg)단위의 수치이므로 이를 부피단위로 환산하여 사용했으며, 다음 그림은 전반적인 연료소모량 측정방법을 그림으로 나타낸 것이다.

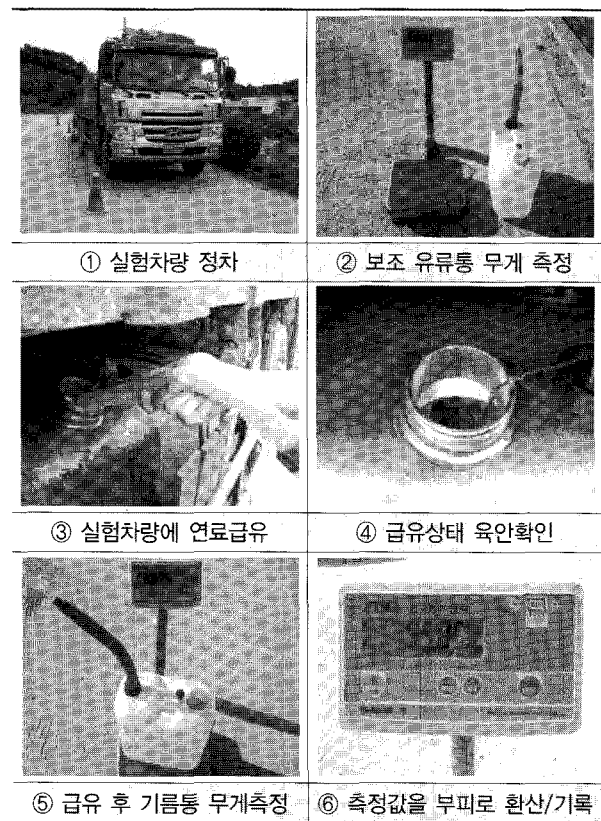


그림 2. 연료소모량 측정 방법

2.2.2. 실험구간 및 차종 선정

실험구간 선정 시 본 연구에서 가장 중요하게 고려한 것은 다른 차량의 주행간섭이었다. 본 실험은 가변축 사용여부만을 달리하여 연료소모량을 비교하는 실험이기에 주행 시 마다 동일조건에서 수행되어야 하기 때문이다. 실내실험이 아닌 도로에서의 실험이기에 완벽한 동일조건 가정이 매우 어려우므로, 예상되는 주행간섭 요

인을 최대한 제거하고자 신호가 존재하지 않은 연속류 도로 중 통과교통량이 적은 노선을 실험구간으로 선정하였다. 본 실험에서는 여러 후보구간을 사전 선정하여 검토 후, 아래와 같이 국도 77호선(자유로), 낙하IC~자유IC 구간을 최종 실험구간으로 선정했다.

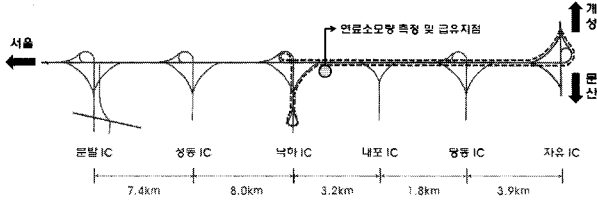


그림 3. 실험구간

현장 주행실험에 사용될 대표차종 선정을 위하여 5톤 이상의 대형화물자동차 등록현황을 검토하였다. 대형화물자동차 등록현황에 따라 최대적재중량을 세 가지로 구분한다면 5~8톤, 10~12톤, 20톤 이상이 될 것이다. 하지만, 5~12톤 중 5톤 화물자동차(2축)를 제외하고는 모두 3축으로 구성된 동일형태의 차량이므로 본 연구에서는 최대적재중량 구분을 5~8톤(3축), 12~15톤(4축), 20톤 이상(5축)으로 하였으며, 카고트럭 3개 차종(8톤, 15톤, 25톤)이 선정되었고, 여기에 카고트럭과 차량형태가 매우 상이한 덤프트럭 2개 차종(25톤 덤프트럭, 25톤 카고형 덤프트럭)을 추가하였다.

표 1. 최대적재중량별 화물자동차 등록현황

| 구분 | 5~8톤 | 10톤 미만 | 12톤 미만 | 15톤 미만 | 20톤 미만 | 20톤 이상 | 계 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 대수(대) | 76,770 | 10,168 | 14,006 | 12,504 | 11,351 | 19,028 | 2,207,573 |
| 비율(%) | 53.4% | 7.1% | 9.7% | 8.7% | 7.9% | 13.2% | 100% |
| 등록순위 | 1 | 6 | 3 | 4 | 5 | 2 | - |

자료 : 국토해양통계누리, 적재중량별 화물자동차 등록현황, 2010

표 2. 실험차량의 상세 정보

| 구분 | 차량연식 | 제조사 | 차량모델 | 마력 |
|------------|------|-----|-----------------|-----|
| 8톤 카고 | 2008 | 대우 | NOVUS | 251 |
| 15톤 카고 | 2009 | 현대 | New Power Truck | 380 |
| 25톤 카고 | 2009 | 현대 | TRAGO | 460 |
| 25톤 덤프 | 2009 | 대우 | NOVUS | 430 |
| 25톤 카고형 덤프 | 2010 | 현대 | TRAGO | 520 |

2.2.3. 시나리오 구성

대표차종으로 선정된 5개 차종에 대해 왕복 20km의 구간을 세 바퀴씩 주행하도록 하였으며, 이를 3회 반복함으로써, 각 실험별 3번의 연료소모량 측정값을 얻어 내었다. 이때 화물적재 상태는 공차와 만차 2가지로 구분하였고, 가변축 사용여부를 추가 구분하여 실험시나리오에 반영하였다. 또한 실험차량의 주행속도는 30km/h에서 80km/h까지 10km/h단위 6개 속도등급으로 달리 적용하였으며, 이렇게 총 120개의 시나리오를 구성하고 실험을 진행하였다.

표 3. 실제 도로주행 실험 시나리오 구성

| 구분 | 구분내용 | 시나리오 |
|-------------|---|------|
| 1. 실험차종 | <ul style="list-style-type: none"> • 8톤 카고트럭(3축) • 15톤 카고트럭(4축) • 25톤 카고트럭(5축) • 25톤 덤프트럭(4축) • 25톤 카고형 덤프트럭(5축) | 5개 |
| 2. 화물적재 상태 | <ul style="list-style-type: none"> • 공차 • 만차 | 2개 |
| 3. 가변축 사용여부 | <ul style="list-style-type: none"> • 사용함 • 사용안함 | 2개 |
| 4. 주행속도 | <ul style="list-style-type: none"> • 30km/h • 40km/h • 50km/h • 60km/h • 70km/h • 80km/h | 6개 |

총 120개 실험 시나리오 구성

위 시나리오 중 주행속도를 일정하게 맞추기 위하여 차량의 자동주행(Smart Cruise Control)기능을 사용하였으며, 주행실험 수행 시 조사원이 함께 탑승하여 실험에 임하였다.

2.3. 실험결과

실제 도로주행 실험을 통해 측정된 각 실험별 연료소모량($l/60km$)은 3번의 측정값을 평균하였고, 다음은 실제 측정된 연료소모량의 평균값을 화물적재 상태와 실험차량, 주행속도별로 나타낸 것이다.

실험결과, 가변축을 사용했을 경우가 사용하지 않았을 경우에 비하여 비교적 연료소모가 많은 것을 알 수 있었다. 또한 주행속도를 달리함에 따라 소모연료량이 변화됨을 확인되었으며, 주행속도 40km/h에서 연료소모량이 가장 적었고, 80km/h에서 가장 높은 연료소모를 나타내었다.

실제 도로주행 실험을 통해 측정된 연료소모량은 주행 속도별 연료소모원단위 산정식 개발에 활용되었으며 원 단위 산정식을 개발하기에 앞서, 개발모형의 적합한 형태를 파악하기 위하여 그림 4와 같이 주행속도-연료소모량 산점도를 그려보고, 이에 대한 분석을 선행하였다.

표 4. 공차 시 차종별 연료소모량 측정 평균값(단위: l/60km)

| 차 종 | 가변축 사용여부 | 주행속도(km/h) 구분 | | | | | |
|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------|------|------|
| | | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 8톤 카고 | O | 7.3 | 6.6 | 7.9 | 7.8 | 10.0 | 11.3 |
| | X | 7.6 | 6.5 | 7.6 | 7.9 | 9.2 | 10.9 |
| 15톤 카고 | O | 13.9 | 10.7 | 13.5 | 11.8 | 13.3 | 16.1 |
| | X | 14.0 | 11.6 | 12.2 | 11.3 | 13.9 | 15.6 |
| 25톤 카고 | O | 13.7 | 11.6 | 12.3 | 12.9 | 13.9 | 16.9 |
| | X | 12.9 | 11.2 | 11.6 | 13.6 | 13.8 | 16.0 |
| 25톤 덤프 | O | 12.4 | 10.8 | 11.5 | 11.0 | 13.4 | 15.0 |
| | X | 13.5 | 12.0 | 11.0 | 12.5 | 13.1 | 15.0 |
| 25톤 카고덤프 | O | 13.0 | 12.9 | 12.7 | 13.4 | 15.5 | 17.4 |
| | X | 13.8 | 12.9 | 13.0 | 13.0 | 15.0 | 17.1 |

표 5. 만차 시 차종별 연료소모량 측정 평균값(단위: l/60km)

| 차 종 | 가변축 사용여부 | 주행속도(km/h) 구분 | | | | | |
|-------------|-------------|---------------|-------------|-------------|------|------|------|
| | | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 8톤 카고 | O | 9.3 | 8.1 | 9.0 | 10.2 | 11.1 | 13.3 |
| | X | 8.6 | 8.0 | 9.2 | 9.7 | 11.0 | 12.6 |
| 15톤 카고 | O | 17.2 | 14.8 | 14.8 | 15.5 | 16.3 | 20.4 |
| | X | 15.8 | 13.6 | 15.3 | 14.5 | 17.8 | 18.6 |
| 25톤 카고 | O | 16.7 | 16.0 | 16.4 | 17.7 | 17.7 | 21.2 |
| | X | 16.1 | 16.1 | 16.6 | 17.0 | 17.1 | 20.3 |
| 25톤 덤프 | O | 20.0 | 18.1 | 18.7 | 19.7 | 21.5 | 24.6 |
| | X | 19.9 | 19.0 | 18.9 | 20.5 | 21.6 | 24.6 |
| 25톤 카고덤프 | O | 22.0 | 20.0 | 20.8 | 23.2 | 25.3 | 25.9 |
| | X | 23.0 | 19.8 | 20.2 | 21.9 | 23.2 | 24.3 |

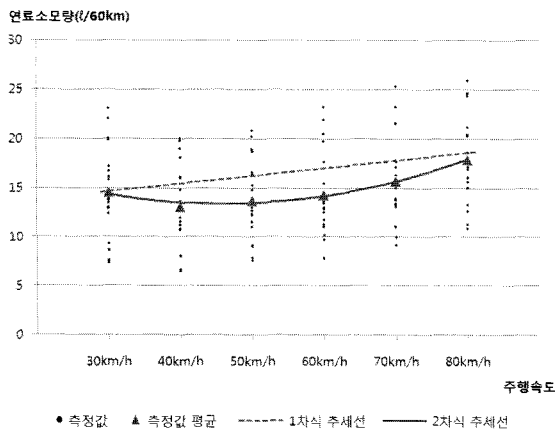


그림 4. 주행실험 측정값과 추세선(1차식, 2차식)

그림 4의 산점도는 차종, 적재상태, 가변축 사용여부를 구분하지 않고, 주행속도만을 기준으로 작성된 것이고, 주행실험 측정값 평균에 대한 1차식(선형) 형태의 추세선과 2차식 형태의 추세선을 함께 나타낸 것이다.

산점도를 통해서 알 수 있듯이 1차식(선형)보다 2차식 추세선이 측정값 평균을 설명하는데 더욱 유리한 것으로 확인되며, 이는 주행속도 40km/h에서 전반적으로 연료소모가 가장 적고, 30km/h 혹은 80km/h로 갈수록 연료소모가 커진다는 '주행속도별 연료소모량 비교결과' 와도 부합되는 결과이다. 이에 본 연구에서는 연료소모원단위 산정모형의 설명력 확보를 위해 2차식 형태로 모형개발을 수행하였다.

3. 모형개발 및 가변축 사용여부별 비교

3.1. 모형개발

연료소모원단위 산정모형 개발을 위하여 앞서 언급한 것처럼 주행실험 측정값을 평균해 사용하였고, 종속변수에는 연료소모원단위(l/km), 독립변수에는 주행속도(km/h)가 취해지는 2차식 형태의 모형으로 개발되었으며, 통계패키지를 이용한 회귀분석을 수행하였다.

차종별로 도출된 산정식 대부분이 0.9 이상의 높은 설명력(R^2)을 나타내었고, 연료소모원단위 산정식 계수와 모형의 설명력을 다음 표와 같이 정리하였다.

표 6. 공차상태 연료소모원단위의 산정식 계수/상수

| 산정식 구분 | 계 수 | | 상 수 | 설명력 (R^2) |
|----------|-----------|---------|--------|---------------|
| | a | b | | |
| F(1,1,1) | 0.0000386 | -0.0028 | 0.1676 | 0.94874 |
| F(1,1,2) | 0.0000432 | -0.0036 | 0.1914 | 0.95463 |
| F(2,1,1) | 0.0000721 | -0.0071 | 0.3726 | 0.65268 |
| F(2,1,2) | 0.0000850 | -0.0087 | 0.4158 | 0.89183 |
| F(3,1,1) | 0.0000800 | -0.0077 | 0.3840 | 0.95914 |
| F(3,1,2) | 0.0000561 | -0.0050 | 0.3069 | 0.88380 |
| F(4,1,1) | 0.0000682 | -0.0065 | 0.3397 | 0.92103 |
| F(4,1,2) | 0.0000693 | -0.0070 | 0.3704 | 0.92759 |
| F(5,1,1) | 0.0000586 | -0.0050 | 0.3153 | 0.98852 |
| F(5,1,2) | 0.0000664 | -0.0062 | 0.3568 | 0.98052 |

표 7. 만차상태 연료소모원단위의 산정식 계수/상수

| 산정식 구분 | 계 수 | | 상 수 | 설명력 (R^2) |
|----------|-----------|---------|--------|---------------|
| | a | b | | |
| F(1,2,1) | 0.0000505 | -0.0041 | 0.2280 | 0.97294 |
| F(1,2,2) | 0.0000350 | -0.0024 | 0.1817 | 0.98061 |

(표 계속)

| | | | | |
|----------|-----------|---------|--------|---------|
| F(2,2,1) | 0.0001070 | -0.0107 | 0.5108 | 0.95887 |
| F(2,2,2) | 0.0000639 | -0.0058 | 0.3719 | 0.80326 |
| F(3,2,1) | 0.0000577 | -0.0050 | 0.3772 | 0.91506 |
| F(3,2,2) | 0.0000421 | -0.0035 | 0.3371 | 0.89420 |
| F(4,2,1) | 0.0000873 | -0.0080 | 0.4901 | 0.98814 |
| F(4,2,2) | 0.0000727 | -0.0064 | 0.4589 | 0.98418 |
| F(5,2,1) | 0.0000539 | -0.0041 | 0.4297 | 0.85876 |
| F(5,2,2) | 0.0000759 | -0.0075 | 0.5279 | 0.78639 |

산정식의 형태는 다음 수식과 같으며,

$$F(i, j, k) = aV^2 + bV + c$$

여기서, $F(i, j, k)$ 는 실험차량 i , 적재상태 j , 가변축 사용여부 k 일 때의 연료소모원단위(l/km)를 의미하는 것으로서, $i/j/k$ 에 대한 참조는 아래와 같다.

- i 실험차량 : '1' = 8톤 카고, '2' = 15톤 카고
 '3' = 25톤 카고, '4' = 25톤 덤프
 '5' = 25톤 카고형 덤프
- j 화물적재 상태 : '1' = 공차 '2' = 만차
- k 가변축 사용여부 : '1' = 사용 '2' = 미사용

위 연료소모원단위 산정모형식을 적용하여 주행속도에 따라 연료소모량이 어떻게 달라지는지 그래프를 통해 확인하고, 본 연구에서 최종적으로 알아내고자 하는 가변축과 연료소모량간의 관계를 분석해보았다.

3.2. 개발모형 적용

개발된 모형의 적용을 위하여 독립변수로 취해지는 속도 값을 30km/h부터 80km/h까지 5km/h 단위로 입력하고 적재상태별, 실험차종별, 가변축 사용여부별 연료소모량을 산정해보았으며, 이를 속도-연료소모량 그래프로 나타내어 분석하였다(표 8 참조).

차종별, 적재상태별로 연료소모원단위 산정모형을 적용하여본 결과, 가변축 사용여부에 따라 원단위 값의 미세한 차이를 확인할 수 있었으며 이에 대한 분석을 수행하기에 앞서, 차종 또는 적재상태별 평균, 그리고 주행 속도별 변화 등 표면적인 결과 값만을 우선적으로 살펴 보았다. 먼저, 적재상태별로 비교해보면, 모든 차종이 적재상태별에 따라 연료소모원단위의 차이가 발생했으며, 공차주행 시 평균 0.203 l/km , 만차주행 시 평균 0.287 l/km 로 약 41%의 차이를 나타내었다. 실험차량별 비교결과는 8톤 카고트럭이 0.1518 l/km 로 연료소

모원단위가 가장 낮았으며, 25톤 카고트럭이 0.3023 l/km 로 가장 높게 예상되었다.

표 9. 개발모형 적용결과 요약

| 구 분 | 적재상태별 연료소모원단위 (l/km) | | | 실험차량별 평균 | |
|------------|--------------------------|-----|--------|----------|--------|
| | 차종 | 가변축 | 공차 | | 만차 |
| 8톤 카고 | 사용 | | 0.1399 | 0.1680 | 0.1518 |
| | 미사용 | | 0.1349 | 0.1643 | |
| 15톤 카고 | 사용 | | 0.2184 | 0.2727 | 0.2423 |
| | 미사용 | | 0.2157 | 0.2623 | |
| 25톤 카고 | 사용 | | 0.2225 | 0.2911 | 0.2529 |
| | 미사용 | | 0.2155 | 0.2826 | |
| 25톤 덤프 | 사용 | | 0.2056 | 0.3361 | 0.2747 |
| | 미사용 | | 0.2123 | 0.3449 | |
| 25톤 카고형 덤프 | 사용 | | 0.2321 | 0.3808 | 0.3026 |
| | 미사용 | | 0.2334 | 0.3639 | |
| 적재상태별 평균 | | | 0.2030 | 0.2867 | - |

주행속도에 따른 연료소모원단위 변화를 살펴보면, 대체적으로 40~50km/h 속도등급에서 가장 연료소모가 적으며, 40km/h 이하 저속 또는 고속 주행상태로 갈수록 연료소모가 증가함을 나타낸다. 이러한 연료소모 변화는 유류비원단위관련 선행연구인 '도로 철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정 보완연구(2008)' 제시결과와 유사한 형태를 나타낸다.

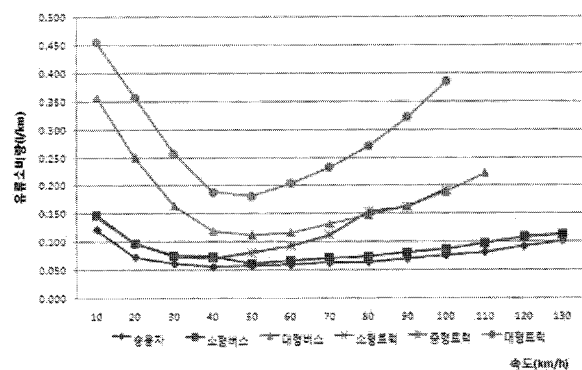
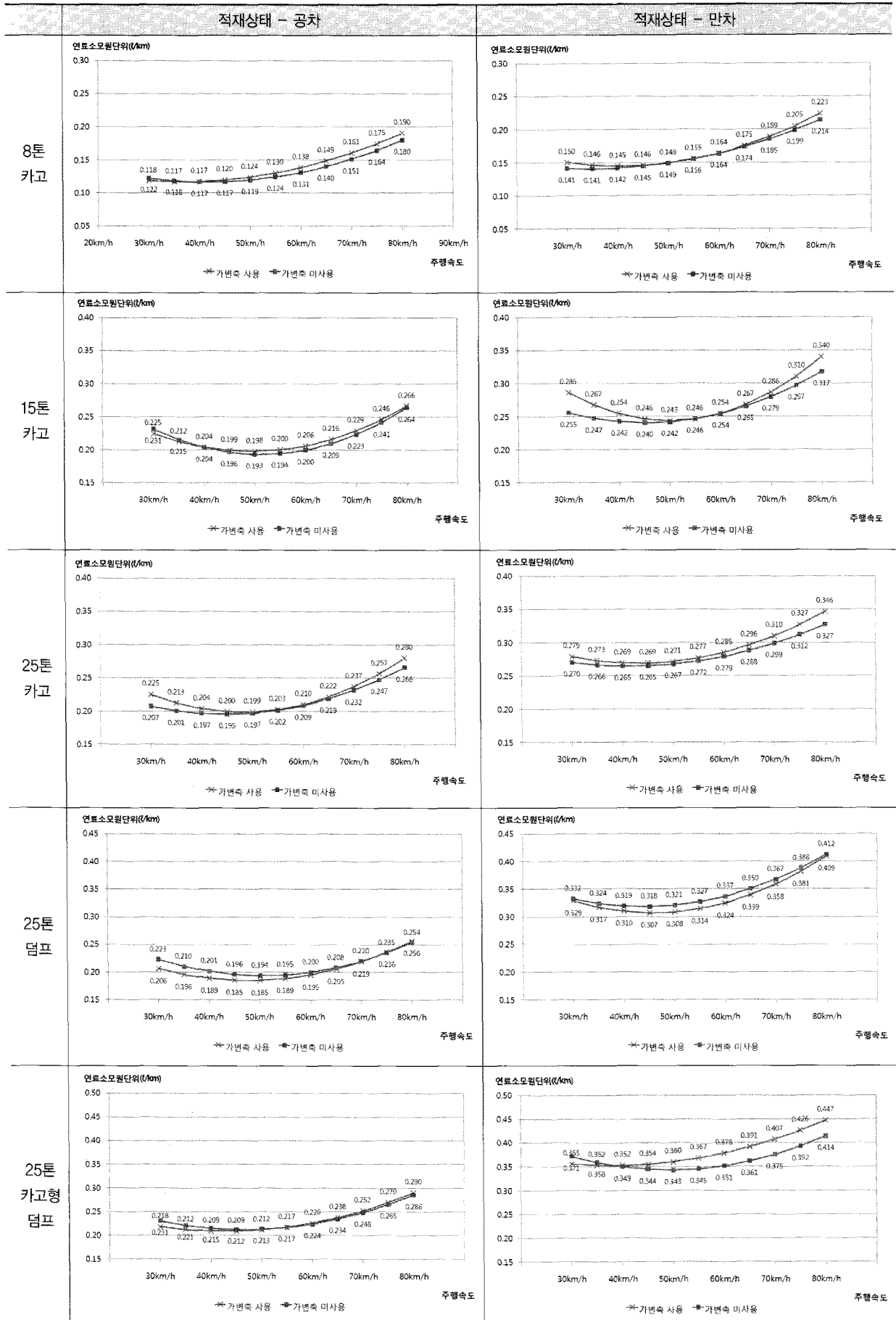


그림 5. 기존 선행연구에서 제시된 속도 - 유류소비량

3.3. 가변축 사용여부별 연료소모량 비교

마지막으로, 본 연구에서 최종적으로 확인하고자 하는 가변축과 연료소모량간의 상관관계를 분석해 보았으며, 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 비교는 적재상태별로 1차 구분 후 실험에 사용된 차량별로 비교해 보았다. 다음 표는 공차상태와 만차상태 주행 시 실험차량별 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 비교결과를 나

표 8. 연료소모원단위 산정모형 적용결과



타낸 것이다.

표 10. 공차상태 가변축 사용여부에 따른 차이

| | 연료소모원단위 (ℓ/km) | | 가변축 미사용 시 증감 | | |
|--------------|-------------------|--------|--------------|------------|----------------|
| | | | 차 (ℓ/km) | 증감율 (%) | 증감율 평균 |
| 8톤 카고 | 사용 | 0.1399 | -0.0050 | -3.574 | -0.827% |
| | 미사용 | 0.1349 | | | |
| 15톤 카고 | 사용 | 0.2184 | -0.0027 | -1.236 | |
| | 미사용 | 0.2157 | | | |
| 25톤 카고 | 사용 | 0.2225 | -0.0070 | -3.146 | |
| | 미사용 | 0.2155 | | | |
| 25톤 덤프 | 사용 | 0.2056 | +0.0067 | +3.259 | |
| | 미사용 | 0.2123 | | | |
| 25톤 카고 덤프 | 사용 | 0.2321 | +0.0013 | +0.560 | |
| | 미사용 | 0.2334 | | | |

표 11. 만차상태 가변축 사용여부에 따른 차이

| | 연료소모원단위 (ℓ/km) | | 가변축 미사용 시 증감 | | |
|--------------|-------------------|--------|--------------|------------|----------------|
| | | | 차 (ℓ/km) | 증감율 (%) | 증감율 평균 |
| 8톤 카고 | 사용 | 0.1680 | -0.0037 | -2.202 | -2.151% |
| | 미사용 | 0.1643 | | | |
| 15톤 카고 | 사용 | 0.2727 | -0.0104 | -3.814 | |
| | 미사용 | 0.2623 | | | |
| 25톤 카고 | 사용 | 0.2911 | -0.0085 | -2.920 | |
| | 미사용 | 0.2826 | | | |
| 25톤 덤프 | 사용 | 0.3361 | +0.0088 | +2.618 | |
| | 미사용 | 0.3449 | | | |
| 25톤 카고 덤프 | 사용 | 0.3808 | -0.0169 | -4.438 | |
| | 미사용 | 0.3639 | | | |

비교/분석 결과, 동일한 적재상태에서 가변축 사용여부에 따라 연료소모량이 달라짐을 확인하였고, 분석결과만을 비추어 볼 때 가변축을 사용하지 않았을 경우(미사용)가 사용했을 경우에 비하여 연료소모량이 다소 적을 것이라 예상된다. 실험차량에 대한 구분 없이 적재상태별 평균만을 살펴보게 되면, 공차상태에서 가변축을 사용하지 않을 경우 약 0.827%의 유류소모량 절감이 예상되며, 만차상태에서 가변축을 사용하지 않을 경우 약 2.151%의 유류소모량 절감이 예상된다.

3.4. 비교결과 해석

공차상태와 만차상태 모두에서 가변축으로 인한 유류비절감이 3%를 넘지 못하는 수준이지만, 예상절감율 0.83%(공차상태)를 10조 원이 넘는 수송비(2007년)(국가교통DB센터, 2010)의 30%에만 적용하더라도 연간

약 300억 원에 가까운 비용절감을 기대할 수 있으며, 유류비 절감 이외에 운송가능 화물량 증대 및 기타 차량 운행비용의 절감까지 감안한다면, 가변축 승인 및 관련 제도의 긍정적 도입효과가 분명히 존재함을 입증한 것이라 해석할 수 있다.

가변축 사용여부에 따른 비교결과를 토대로 제도의 긍정적인 측면만을 살펴보면, 앞서 언급한 것처럼 가변축 제도의 효과와 실효성이 실증적 자료를 바탕으로 입증되어진다. 그러나 공차상태에 비하여 만차상태에서 유류소모량 절감이 크다는 것과 가변축 미사용 행위와 같은 일부 부적절한 활용사례를 방지하기 위해선 현 상황에 맞는 적절한 제도적 보완이나 장·단기적 대책 수립이 이루어져야 할 것이다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 대형화물자동차 대상의 연료소모원단위(ℓ/km) 산정모형을 도출하고, 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 변화를 비교하여 보았다.

산정모형은 속도를 독립변수, 연료소모원단위를 종속변수로 취하는 형태이며, 5개 실험차량을 활용한 실제 도로주행 실험을 수행하고, 측정 평균값을 토대로 모형을 개발하였다. 실제 도로주행 실험에서는 실험차량별 적재상태를 공차와 만차로 구분 후 가변축을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때를 나누어 실험을 수행하였고, 실험주행 시 주행속도를 30km/h부터 80km/h까지 10km/h단위로 각각 달리하여 연료소모량(ℓ/60km) 측정값을 얻어내었다.

실제 주행실험 결과를 토대로 개발한 연료소모량 산정모형을 활용하여 가변축 사용여부에 따른 연료소모량 변화를 비교·분석해보았다. 그 결과, 가변축 사용하지 않을 시 공차주행 상황에서는 약 0.827%의 유류소모량 절감이 예상되었으며, 만차주행 시에는 약 2.151%의 유류소모량이 절감될 것이라 예상되었다.

공차상태에서의 유류소모절감율은 1%에도 미치지 못하는 0.827%에 지나지 않지만, 10조 원이 넘는 국내 총수송비 중 도로부문 수송비 일부(30%)에만 적용하더라도 약 300억 원의 유류비 절감이 기대될 것이라 분석됨으로써, 가변축 제도의 긍정적 효과가 실증적 실험 자료를 근거로 입증되었다. 하지만 만차상태에서의 유류절감율이 수치상 확인한 차이를 들어낼 만큼 높지는 않지만, 공차상태에 비하여 약 2.4배(2.151%)가량 높다는 점과 일부 운전자들의 막연한 기대심리에서부터 비롯된

가변축 미사용 행위의 발생사례를 고려한다면, 제도의 도입효과와 실효성 확보를 위해 적절한 대응방안 모색이 필요할 것이라 분석되었다.

가변축 제도의 도입효과와 실효성 입증, 그리고 실증적 실험을 통해 가변축과 연료소모량간의 상관관계를 확인하고, 정량적 수치를 제시한 본 연구는 가변축관련 제도 및 규정보완에 활용할 수 있으며, 특히 본 연구에서 개발된 연료소모원단위 산정모형은 기존 제시된 유류비원단위의 현실성 보완에 활용이 가능할 것이라 사료된다.

참고 문헌

- 교통개발연구원(1998), *차량운행비의 산정*
- 국가교통DB센터(2010), *2009 국가주요교통통계*
- 국토연구원(1999), *도로사업 투자분석 기법정립*
- 국토해양부(2010), *도로업무편람*
- 국토해양통계누리(2010), *적재중량별 화물자동차 등록현황*
- 변은아, 김영찬, 안소영, 고광덕, 윤수영(2009), 신호교차로의 차량운행비용 특성을 고려한 경제성분석 모형개발, *대한교통학회 학회지* 제27권 제2호, pp.199~206.
- 이정기, 용기중, 이종현, 이광범, 홍윤석, 이현우, 정혁, 임종순(2005), "승용차의 중량변화에 따른 연비 연구", *추계 학술대회논문집*, 한국자동차공학회, pp.1861~1866
- 이태우, 길지훈, 전상진, 박준홍, 이종태, 홍지형(2011), "소형 화물 차량의 적재량이 가속 주행 시의 연비 및 오염물질 배출에 미치는 영향", *한국자동차공학회 논문집* 제19권, 제2호, pp.133~141
- 장수은, 정규화(2007), "(에비)타당성조사의 차량운행비용 절감편의 산정방안 보완 연구", *제57회 학술발표회논문집*, 대한교통학회, pp.97~103.
- 한국개발연구원(2008), *도로·철도 부분 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)*
- An Evaluation of The Lift Axle Regulation (*Final Technical Report*), Washington DOT, 1994
- Gary Barnes, Peter Langworthy, *The Per-mile Cost of Operating Automobiles and Truck(Final Report)*, Minnesota DOT, 2003
- Kenworth Truck Company(2008), *White Paper on Fuel Economy*
- Kyoung ho, Ahn(1998), "*Microscopic Fuel Consumption and Emission(Master Thesis)*", Virginia Polytechnic Institute and State University
- Michael coyle(2007), *Effects of Payload on The Fuel Consumption of Trucks*, Department for Transport UK
- Nils-Olof Nylund, Kimmo Erkkila(2005), "*Heavy -Duty Truck Emission and Fuel Consumption Simulating Real-World Driving in Laboratory Conditions*", VTT Technical Research Centre of Finland
- Susumu Sato(2008), *Fuel Economy Test Procedure for Heavy-Duty Vehicles : Japanese Test Procedures*, Nation Traffic Safety and Environment Laboratory of Japan
- Tony sandberg(2001), "*Heavy Truck Modeling for Fuel Consumption Simulations and Measurements*", Science and Technology Thesis in Linkoping University

접 수 일 : 2011. 7. 21
 심사 일 : 2011. 7. 26
 심사완료일 : 2011. 8. 23