

웜업시간, 승차인원, 타이어공기압력과 연료에 따른 LPG 자동차의 연비 분석 연구

이일권, 김청균*, 이병관*, 김영규**, 김도현*, 김태환*, 오경석*, 국창호
대림대학 자동차과, 홍익대학교 트라이볼로지 연구센터*, 한국가스안전공사 **

Study for Fuel Consumption Analysis of LPG car according to warm-up, time, riding person, pressure of tire air and fuels

Il Kwon Lee, Chung Kyun Kim*, Han Goo Kim*, Byung Kwan Lee*, Young Gyu Kim**, Do Hyun Kim*, Tae Hwan Kim*, Kyung Seok Oh*, Chang Ho Kook
Department of Automotive Engineering, Daelim College, Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University*, Korea Gas Safety Corporation**

1. 서론

최근 자동차 연료의 가격 상승으로 인해 자동차를 운전하는 사람들은 자동차를 관리하는 데 많은 부담을 느끼고 있다. 특히, 에너지 자원이 생산되지 않아 대부분 수입에 의존하는 우리나라와 같은 경우에는 에너지 절약할 수 있는 방법을 찾는 것 또한 경쟁력이라 할 수 있다. 이러한 추세와 함께 자동차 제작사, 사용자 등을 중심으로 자동차의 연비를 향상시키는 여러가지 방법들이 거론되고 있다. 특히, 자동차 사용자는 경제적인 비용의 효율화가 절대적으로 중요하기 때문에 대단히 절박한 문제이다. 이러한 연료 절약을 할 수 있는 방법에는 크게 두 가지가 있다고 볼 수 있다. 첫째는 자동차의 제작사의 몫으로 자동차의 제어 시스템을 개선 또는 새로운 시스템을 개발하여 연료 소비를 최소화시키는 방법이 있다. 이러한 방법은 새로운 시스템을 개발하는 데 막대한 비용과 많은 시간이 걸린다는 단점이 있다. 다른 하나는 자동차의 사용자들이 할 수 있는 방법으로 기존의 시스템을 효과적으로 이용하여 덜 쓰고 절약하는 인위적인 절약방법이다. 차량을 운전하는 운전자의 사고와 운전 형태를 변화시킨다면 막대한 연료 절약을 할 수 있을 것으로 예측된다. 이러한 연료 소모를 줄이는 방법 몇 가지는 계절에 따른 연료소모와 흡기 시스템의 고장여부, 에어컨의 사용여부에 따른 연료소모, 일반도로와 고속도로 주행에 따른 연료소모의 차이 등은 기 연구에서 실험 결과를 제시하였다[1].

따라서 이 논문에서는 실차에서 실험한 데이터를 바탕으로 후자에서 거론한 연료를 절약할 수 있는 방법을 제시함으로써 차량의 효율성을 극대화시키는 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 연료 소비 시험

연비 시험은 일반적으로 수평한 직선 도로 상당의 조건에서 행하고, 차속 패턴에 따라 정지 연비와 모드 주행 연비로 나누어진다. 연비의 측정방법에는 연료 유량계에 의해 측정하는 방법, 배출 가스 분석계를 사용해서 탄소화합물의 양을 측정하여 카본(carbon)밸런스법에 의해 계산하는 방법, 또 주행 전후에 연료를 연료 탱크에 완전히 채워서 연료 총 사용량을 구하는 풀 탱크법 등이 있다[2]. 연료 유량계 장착시의 연료 배관 방법은 차량의 연료 공급 장치의 종류나 특성에 따라서 변경할 필요가 있다. 이 때 배관 내의 연료 압력이나 유로 저항 등에 충분한 주의를 기울이는 것이 중요하다.

2.2 드라이버빌리티(Driveability) 시험

차가 운전자의 의지에 맞는 응답성이나 원활성이 얻어지는 가를 시험하는 것이 드라이버빌리티 시험이다. 일반적으로 드라이버빌리티라 하는 현상 항목 가운데는 서지(serge)나 부조화 현상과 같이 구동계, 현가, 파워 플랜트 등의 움직임이 동요한 전후 차체의 진동현상, 노크, 엔진 멈춤과 같이 주로 엔진 고유의 특성에 의해서 발생하는 현상 또한 이상과 같은 특수한 불량 현상 외에 가속감이나 저마찰계수에서의 구동력 제어성능 등 주행 필링(feeling)이나 주행 용이성 등이 포함된다.

2.3 대기 환경에 의한 영향 시험

드라이버빌리티는 대기 조건에 의해 큰 영향을 받으므로 여러 가지 대기 조건을 가정한 시험이 행해진다. 그 예로 한냉지를 가정한 냉간시험, 혹서지를 가정한 고온 시험, 고지를 가정한 저기압 시험 등이 있다.

이들의 시험은 조건에 맞는 장소에 나가서 시험하는 경우가 있는데 대기 조건이 제어되는 실험실의 새시 동력계상에서 행하는 것이 많다. 또, 대기 환경과 관련하여, 연료 종류 성상도 드라이버빌리티에 영향을 주고 있기 때문에 그 영향의 방법을 드라이버빌리티 지수로 하여 구한 예도 소개되고 있다.

3. LPG 기관 자동차 실차시험

3.1 제원

시험 차량은 국내에서 생산된 승용 자동차를 대상으로 하였다. 차량의 관련 제원은 Table.1에 나타나 있다.

3.2 실차 시험조건

일반적으로 연비는 연료소비율을 줄여서 하는 말로 기름 1 liter를 이용하여 몇 km를 주행할 수 있는가를 나타내는 지수이다. 일반적으로 연비 시험은 수평한 직선도로 상당의 조건에서 행하는 차속 패턴(pattern)에 따라 정지 연비와 모드 주행 연비로 나뉘어진다. 연비의 측정 방법에는 연료 유량계에 의해서 측정하는 방법, 배출가스 분석계를 사용해서 탄소 화합물의 양을 측정하는 방법, 또 주행 전후에 연료를 연료 탱크에 완전히 채워서 연료 총 사용량을 구하는 즉, 풀 탱크 법 등이 있고, 연료 유량계 장착시의 연료 배관 방법은 차량의 연료 공급 장치의 종류나 특성에 따라 변경할 필요가 있다.

일반도로에 있어 주행 코스를 정해 놓고 어느 구간마다 또는 코스 전체로서의 연비를 측정하는 것과 주행 중의 순간의 연료 소비량과 그 사이의 평균 데이터로부터 실제 주행 연비 곡선을 구하는 것 등이 있다.

새시 동력계상과 달리 실제 도로 주행에 의한 연비값 시험을 행한 요일이나 시간대를 정하였다 해도 그 때의 교통상황에 좌우되므로 공식 데이터로는 되지 않고 참고값으로 이용되는 경우가 많다.

이 논문에서는 풀(full) 탱크법을 사용하였다. 즉, 운전자가 시험차에 약 5년동안 몇 가지 변수를 주면서 운행한 데이터를 바탕으로 주입한 연료 주입량과 주행거리를 이용하여 데이터 가운데 활용도가 높은 데이터를 가지고 최적화 조건으로 연비를 분석·연구하여 보았다.

Table. 1 실차시험에 사용한 차량의 제원

항 목	Model		
	1.8 SOHC	1.8 DOHC	1.8 LPG 택시
총 배기량(cc)	1,796	1,836	1,796
실린더 수 및 배치	직렬 4기통	→	→
연소실 형식	Compact type	Pentroof type	Compact type
흡배기 밸브수	각 1개	각 2개	각 1개
구동방식	벨트 구동	→	→
내경(mm)×행정(mm)	80.6 × 88	81.5 × 88	80.6 × 88
압축비	8.8	9.2	8.8
최고출력(ps/rpm)	103/5,500	131/6,000	95/5,500
최대토크(kg·m/rpm)	15.0/4,500	16.4/4,500	15.2/4,000
연료탱크 용량(liter)	65	65	60
연 비(km/liter)	11.5 (수동변속기차량)	11.0 (수동변속기 차량)	10.8 (수동변속기 차량)

4. 시험결과 및 고찰

시험 차량은 1.8 LPG 차량으로 수동변속기가 장착된 자동차를 사용하였다. 차량의 제원은 Table.1에 나타나 있다. 주행을 할 때 여러 가지 조건을 주면서 LPG 연료를 주입한 데이터를 기록한 것을 분석하여 보았다.

4.1 워업시간에 따른 연비

최근의 자동차는 전자제어 시스템에 의해 제어되기 때문에 초기 시동후 워업 조건 제어를 정밀하게 하기 때문에 워업을 장기간 해야 할 필요가 감소되었다. 일반적으로 공회전 상태에서 엔진 냉각수의 일반적인 정상온도는 80~95℃ 정도로 규정되어 있다[3,4,5]. 자동차의 엔진을 전자제어 진단 장비로 측정하여 보면 차종에 따라 약간의 차이는 있지만, 엔진이 이러한 정상적인 온도에 도달하려면 약 5~10분 정도 워업이 필요하다.

그러나 최근의 엔진제작 기술의 발전으로 인하여 전자제어 엔진의 경우 오일의 완전 순환 조건 상태가 되는 때, 즉, 오일 라인에 오일공급만 된다면, 차량의 엔진 내구성에는 문제가 없다. 단지, 냉간 상태에서의 운전으로 인한 무리한 엔진 부하의 증가와 이로 인해 연비의 효율성이 떨어진다는 변수가 발생한다. 최근에는 배출가스를 줄이기 위해 법으로 공회전 시간을 정해 규제하는 예도 있다. 이러한 관점에서 워업 시간에 따른 연비 효율성을 알아보기 위해 수십 차례 실차로 측정하여 본 결과를 Fig.1에 보여주고 있다. Fig. 5에서 연비가 가장 유리한 경우는 30~60sec 정도 워업후 운행한 차량으로 확인되었다. 이것은 30~60sec 정도 지나면 오일이 오일 공급 라인을 완전히 순환하고 엔진의 각 마찰부에 윤활막이 형성되어 엔진의 작동 조건이 적당하게 운전 조건으로 변화되어 엔진 작동에 미치는 부하 요인이 제거된 것으로 볼 수 있다.

Fig.1에서 보면, 연비가 불리한 것은 워업을 하지 않고 바로 출발한 경우와 120sec 이상을 워업한 다음 출발한 경우는 연비가 좋지 않은 것으로 확인되었다. 이것은 워업없이 출발한 경우 엔진이 마찰부에 대하여 엔진 오일의 윤활 부족으로 엔진의 부하를 증가시켜 오히려 연비가 악화되고 120sec 워업의 경우는 엔진 엔진의 정상작동 온도에 이르지 못하는 못하지만 엔진이 작동하는 데 있어 과도한 워업으로 인해 오히려 연료 소모가 증가된 것이기 때문으로 예측된다. 이러한 결과에 비추어 연비 최적 조건을 시동후 적당한 워업은 30~60sec 정도가 적당하다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig.1에서 보면 연비가 가장 좋은 영역을 30~60sec 범위로 보고, 이것을 A라 하며, 연비가 나쁜 영역을 0, 120sec로 보고 이것을 B라 하자. 이 때 A와 B의 연비의 차이는 A가 B보다 5.1% 정도 연비가 좋은 것을 확인하였다. 이것은 최적의 운전조건에서 운전하는 것이 연료를 절감하는 방법의 하나라고 할 수 있다. 또한, 대기 온도 차이에 따라 워업 온도를 여름보다는 겨울이 높아야 한다고 하면, 겨울에는 60sec, 여름에는 30sec 정도 워업을 하는 것이 연비를 높이는 최적의 조건이 됨을 확인하였다.

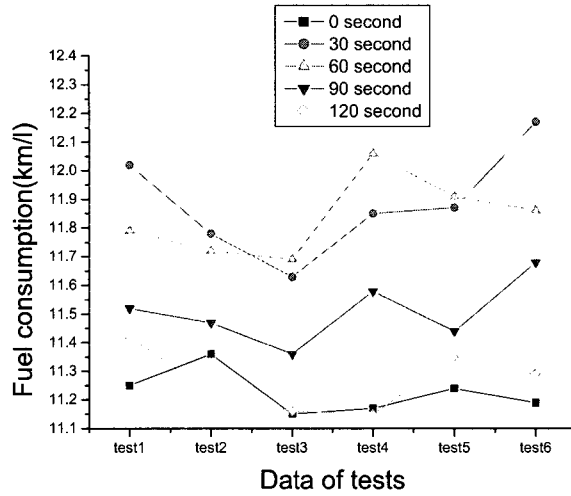


Fig.1 Fuel consumption comparison including warm-up time

4.2 승차인원에 따른 연비

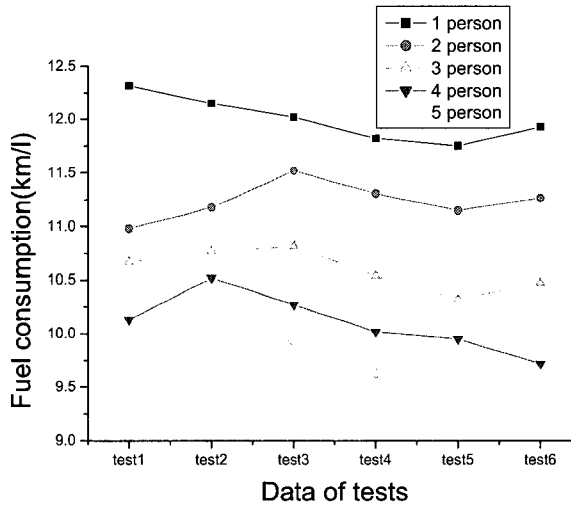


Fig.2 Fuel consumption comparison including riding person

차량의 연비에 영향을 주는 요인의 하나가 차량의 중량으로 인한 부하의 증가이다. 차량이 무거운 중량체와 가벼운 중량체를 운반할 때 무거운 중량체를 운반할 때 더 많은 힘이 드는 것은 자명한 일이다. 이러한 면에서 차량이 운행중 차량에 무거운 짐을 싣게 된다거나 승차 인원의 증가에 따라 차량의 연비는 더욱 악화될 수가 있다. 이것은 단거리에서는 그리 커다란 차이는 나지 않지만 장거리에서는 확연하게 차이가 난다는 것을 확인하였다. Fig.2에서 보면 운전자 한 명이 승차하였을 때 가장 좋은 연비가 나오는 것을 확인하였다. 그러나 운전자와 승객 합쳐 5명이 동승하였을 때는 연비가 크게 악화되는 것을 알 수 있다. 즉, 1

명이 승차하였을 때의 연비가 5명이 승차하였을 때 보다 연비가 17~21% 정도 더 높은 것으로 확인되었다. 이 실험 데이터를 분석하여 보면, 차량에는 반드시 필요한 운반물체만 싣고 다닌다면 연료 절감 효과를 얻을 수 있다는 것을 보여주는 데이터이다. 따라서, 이것은 실제 차량에 승차자의 몸무게에 해당하는 화물을 싣고 다닌다면 불필요한 화물적재 증량에 해당하는 만큼 연비가 악화되는 것으로 차량관리 방법을 개선한다면 연료 절감 효과를 얻을 수 있다.

4.3 타이어공기압력에 따른 연비

Fig.3은 타이어 공기압력과 연비의 관계를 보여주는 실험 결과이다. 이 데이터를 분석하여 보면, 공기압력이 10% 부족할 때 연비는 2.9~4.8% 정도, 공기압이 20% 정도 부족할 경우 연비는 7.5~8.3% 정도 감소되는 것으로 확인되었다. 또한 공기압이 30% 정도 부족할 때는 연비가 12.6~15.3% 정도 악화되는 것으로 확인되었다. 이것은 타이어 공기압력의 감소가 연비를 떨어뜨리는 요인이 된다는 것을 보여주는 것이다.

타이어의 내부 공기압력은 차량의 무게를 흡수하고 지면과의 적절한 마찰력을 유지하여 줌으로써 차량의 정상적인 운영을 가능하게 한다. 그러나 자동차 타이어의 공기압력이 부족하게 되면, 지면과의 부하 증가로 인해 차량의 연비를 악화시킨다. 이에 반하여, 차량의 공기압력이 과다하게 되면, 차량의 주행성을 악화시켜 운전자에게 불안감을 가중시킨다. 따라서, 자동차 제작사가 차량설계시 부여한 타이어 공기압에 맞추어 차량의 관리를 철저히 하여야 한다. 운전조건에 따라 고속 주행을 하거나, 계절에 따른 공기압력 변화, 우천시 운행조건 등은 이에 따라 적절한 공기압을 점검해야 한다[6].

또한 타이어의 공기는 공기라는 유체 특성으로 인해 온도에 따라 변화하기 때문에 압력의 차이가 날 수 있고, 시간이 흐름에 따라 허용된 공기 누설 오차로 인해 타이어 공기압을 점검후 규정공기압과 차이가 날 때는 보정해야 한다. 일반적으로 제작사에서 추천하는 승용 차량의 타이어 공기압력은 28~34Psi 정도이다.

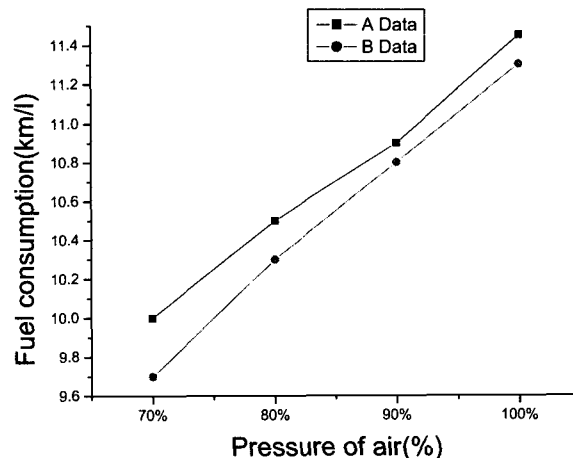


Fig.3 Relation of tire air pressure and fuel consumption

4.4 연료에 따른 연비

가솔린 기관과 액화석유 가스 기관은 불꽃점화 기관으로 연료를 공기와 혼합하여 실린더 내부로 공급하고 연소실로 들어온 혼합가스를 압축한 다음 점화플러그에 의한 불꽃방전으로 전기 점화하는 시스템의 구조는 동일하다.

그러나 연료의 조성은 가솔린이 석유 원유에서 정제하여 생성되는 경유 또는 중유를 고온에서 가열하여 이것을 분해하여 얻는다. 따라서, 현재 사용하는 가솔린은 파라핀계 가솔린과 나프타계 가솔린을 조합하여 생산하고 있다. 또한 액화석유가스(liquified petroleum gas)는 가스전이나 원유를 정제하는 도중에 나오는 산물의 하나로 프로판, 부탄을 주성분으로 하는 프로필렌, 부틸렌 등을 다소 포함하는 혼합물이다. 가스는 냉각이나 가압에 의해 쉽게 액화하고 또한 역으로 가열이나 감압에 의해 기화하는 특성이 있다. 또한 기체화한 가스는 공기의 1.5~2배 정도 무겁고 가압된 상태로 고압용기에 저장되어 있다. 가솔린과 LPG 가스의 특성비교는 Table.2와 같다[7,8].

발열량은 그 연료의 일을 할 수 있는 능력을 말하는 것으로 시스템의 효율을 평가하는 데 중요한 값이다. 이러한 발열량을 Table.2에서 보면 노말부탄과 가솔린의 열량을 비교하면 노말부탄이 5.64% 정도 열량이 높고, 공기와 연료의 비도 더 좋다. 그러나, LPG 차량은 시스템의 특성상 연료 시스템의 복잡성으로 생기는 에너지 손실, 미세한 LPG의 누설 손실, 가스 특성상 온도에 따른 변화량, 시스템 작동 시 연료 유동성 변화에 따른 손실 등으로 인해 실제로 가솔린 차량보다 연비가 떨어진다. 이러한 예측을 확인하기 위해 실제의 차량을 이용하여 연비차이를 비교하기 위해 가솔린과 LPG 가스를 동일 차종에 주입한 다음 동일한 조건으로 시험하였다. Fig.4는 가솔린과 LPG 연료를 사용하여 시험한 연비를 보여주는 것이다.

Table 2. 가솔린과 LPG 연료의 특성비교

연료종류 항목	분자구조	발열량(kcal/kg)		공기와 연료의 비
		총발열량	진발열량	
프로판	C ₃ H ₈	12,034	11,079	15.71 : 1
노말부탄	C ₄ H ₁₀	11,832	10,926	15.49 : 1
가솔린	-	11,200	10,000	14.78 : 1
경유	-	10,000 ~ 11,000	10,000	14.05 : 1

Fig.4에서, 가솔린과 LPG 자동차를 비교한 결과 연비는 약 15.2% 정도 가솔린을 주입한 차량이 우세한 것으로 확인되었다. 이것은 경기도 용인에서 강원도 영월까지 운행한 것으로써 모든 주행조건을 동일한 상태에서 시험한 조건이었다.

따라서, 이러한 문제점을 보완하려는 연구개발의 시도가 끊임없이 진행되었으며, 이러한 시스템이 LPG 직접 분사 방식인 LPi 시스템이라 할 수 있다. 향후 이러한 LPi 시스템에 대한 연료 소비 실험이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

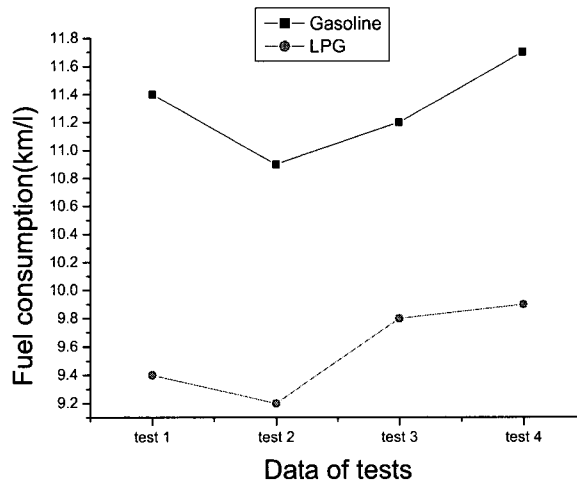


Fig.4 Comparison of fuel consumption for gasoline and LPG fuels

5. 결론

본 논문의 시험에서 실시한 풀 탱크시험법으로 측정된 연비 데이터를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 엔진 시동후 연비에 유리한 조건의 적당한 워업 시간은 30~60sec 정도가 최적의 상태인 것으로 확인되었다.

2) 승차인원이 1명이었을 때보다 5명이 승차하였을 때 연비가 17~21% 정도 악화되는 것으로 확인되었다.

3) 타이어의 공기압력이 10% 부족할 때 연비는 2.9~4.8% 정도, 공기압이 20% 정도 부족할 경우 연비는 7.5~8.3% 정도 감소되는 것으로 확인되었다. 또한 공기압이 30% 정도 부족할 때는 연비가 12.6~15.3% 정도 악화되는 것으로 확인되었다.

4) 가솔린과 LPG 연료를 동일한 자동차에 주입한 후 시험한 결과 가솔린을 주입하였을 때의 연비가 15.2% 우세한 것으로 확인되었다

참 고 문 헌

1. Il Kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chung Kyun Kim, et al, "Study for fuel consumption analysis according to driving condition of LPG automotive", Proceedings of 2005 KIGAS Conference, pp413-418, 2005.05
2. Korea Society Automotive Engineering, "Automotive Technology

Handbooks II", 1996

3. Maintenance manual of Hyundai Motors
4. Maintenance manual of Kia Motors
5. Maintenance manual of GM Daewoo Motors
6. Il kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chung Kyun Kim, et al., "Failure and diagnosis of automotive", Sun Hak, 2003. 7
7. Won Hwang Shin, "Automotive System of LPG", Golden Bell, 1995.5
8. "Maintenance processing of LPG automotive", Korea Gas Safety Corporation,1999.10