



대기온도, 증발기 누출, 엔진오일 및 엔진부하에 따른 LPG 차량의 연비실험에 관한 연구

*김청균 · 이일권

홍익대학교 트리보메카 · 에너지기술 연구센터[†] · 대림대학 자동차공학과
(2009년 5월 8일 접수, 2009년 9월 7일 채택)

Experimental Study on Fuel Consumptions of LPG Vehicle Depending on the Atmospheric Temperature, Vaporizer Gas Leakage, Engine Oil and Engine Loads

*Chung Kyun Kim · Il Kwon Lee

Research Center for Tribology, [†]Mechatronics and Energy Technology, Hongik University
Department of Automotive Engineering, Daelim University College
(Received 8. May. 2009, Accepted 7. September. 2009)

요 약

본 논문에서는 LPG 차량의 연비효과에 미치는 대기온도, 증발기의 가스누출, 엔진오일의 점도, 엔진의 부하조건을 실험적으로 고찰하고자 한다. 연비에 대한 시험결과에 의하면, 엔진의 온도가 상승할수록 연비효과도 함께 점차 높아지고 있다. 대기온도가 24.2℃일 때의 연비는 1℃일 때보다 13.6% 정도 높게 나타난 것을 알 수 있다. LP가스 누출이 없는 증발기의 연비는 가스누출이 있는 경우에 비해 5.3%나 좋아지는 것으로 확인되었다. 반면에 엔진오일을 새로 교환한 경우의 연비는 9,500km를 주행한 오일에 비해 1.1% 정도 향상된 것으로 나타났으며, 이것은 대기온도나 증발기의 누설조건에 비해 상대적으로 낮은 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 연비에 더 많은 영향을 미치는 요소는 급제동, 급출발, 급가속과 같은 운전조건으로 판단된다. 연비시험 결과에 의하면, 정상출발은 급출발에 비해 32.3%나 연비가 향상되었고, 급가속은 급출발보다 10.8%나 우수한 연비조건을 보여주고 있다. 또한, 급제동은 급출발보다 18.3%나 우수한 연비상태를 나타내고 있다. 결국 비정상적인 주행조건은 정상적인 운전패턴에 비해 연비가 나쁜 것으로 나타났으므로, 연비를 높이기 위해서는 차량의 주행조건을 정상상태로 유지하는 것이 대단히 중요함을 알 수 있다.

Abstract - This paper presents the fuel consumption effects of LPG vehicle depending on the atmospheric temperature, LP gas leakage of vaporizer, viscosity of engine oil and engine load conditions. The fuel consumption test results show that when the temperature of engine temperature rises, the fuel consumption efficiency increases in general. The fuel consumption efficiency for an atmosphere temperature of 24.2℃ is 13.6% high compared to that of 1℃. No leak vaporizer on fuel consumption efficiency is 5.3% high compared to that of the LP gas leak vaporizer. The fuel economy of new engine oils is just 1.1% high compared to that of used oils with a LPG vehicle mileage of 9,500km. This is not an influential factor compared with an atmospheric temperature and a LP gas leakage. The more important factors on the fuel consumption efficiency are driving conditions such as a rapid braking, abrupt start and fast acceleration. The test results indicate that the normal start is 32.3% high compared to that of an abrupt start and the fast acceleration is 10.8% high compared with that of an abrupt start. And the fuel consumption efficiency for a rapid braking is 18.3% higher than that of an abrupt start. These indicate that the driving condition is very important to reduce the fuel consumption rate.

Key words : LPG engine, fuel consumption efficiency, atmospheric temperature, engine oil, viscosity, engine load

[†]주저자: cckim_hongik@nate.com

I. 서론

LPG 차량의 성능과 내구성은 엔진의 설계조건과 제작기술에 의해 결정되지만, 연비는 운전자의 운전습관을 포함한 여러 가지 요인들의 혼합적 상호작용에 의해 영향을 받는다. 자동차의 출력과 연비를 최상의 구동조건으로 유지하기 위해서는 자동차의 운행조건에 따른 운전습관과 엔진의 유지보수를 항상 최적의 운행조건을 확보하고 있어야 한다.

엔진의 출력은 LPG 연료를 태우는 과정에서 발생하는 폭발압력에 의해 결정되지만, 엔진의 연비와 내구성은 주로 미끄럼마찰 운동부의 마찰저항력, 관성력 등에 의해 결정된다. 특히 운동부품에 의한 하중지지를 높이고 마찰손실을 줄이기 위해 사용하는 엔진오일은 온도차에 따른 점도변화가 크게 발생하기 때문에 연비에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1].

대기온도가 낮아지면 오일은 상대적으로 점도가 높아져 엔진의 원활한 작동에 부정적인 영향을 미쳐 에너지 손실 증가에 따른 연비가 나빠진다. 가솔린 엔진에서 대기온도가 낮아지면 연비는 5~22% 정도 떨어지는 것으로 알려져 있다[2]. 또한, 자동차의 중량이 많이 나가면, 운동부품의 마찰계수가 높아져 차량의 연비가 떨어지기 때문에 차량 구조물에 대한 최적설계와 경량소재 적용을 위한 기술이 활성화되었다[3].

최근 100달러를 넘어서는 유가급등은 연비에 대한 관심을 크게 높였고, 특히 자동차의 배출가스로 인한 지구온난화 축진은 자동차에 대한 국제적인 배기가스 규제를 불러왔다. 그 결과 연비가 대단히 우수한 친환경적 최첨단 엔진시스템 개발에 박차를 가하고 있다[4]. 최근에는 탄화수소 연료를 사용하지 않는 전기나 수소를 사용한 자동차 개발에 막대한 연구비를 투입하고 있지만 기존의 자동차와 같은 경쟁력을 확보할 수 있을지 의문시된다. 따라서 현실적인 대안으로 LPG와 같은 연료를 사용한 하이브리드 자동차[5], 전기모터를 사용한 하이브리드 자동차[6,7]가 어느 정도는 성공을 거두고 있다.

따라서 본 논문에서는 실제로 운행하는 LPG 자동차의 운행조건에 따른 연료 소모량을 측정하고, 이를 기반으로 연비를 분석하여 LPG 차량에 대한 올바른 운행패턴을 고찰하고자 한다.

II. 연비시험 평가방법

2.1 연료소비 시험

자동차에 대한 연비시험은 평탄한 직선도로를

따라서 정해진 운행조건에 의거 수행한다. 연비는 차속패턴에 따라 정지 연비와 모드주행 연비로 분류한다. 연비를 측정하는 방법에는 연료 유량계에 의한 계측방법, 배출가스 분석계로 탄소화합물의 양을 측정하는 카본(carbon) 밸런스 계산법[8], 주행 전후로 연료를 탱크에 완전히 채워서 연료의 총 사용량을 측정하는 풀(full) 탱크법 등이 있다[9].

2.2 구동력 시험

구동력 시험(driveability test)은 자동차가 운전자의 운행의지에 맞는 응답성이나 원활성이 확보할 수 있는가를 시험하는 것이다. 대부분의 운전자는 도로를 따라서 운전하면서 운전습관에 따라 연비 차이가 많다는 사실을 인식하지 못하는 경우가 많다. 연비를 에너지 절약차원보다는 고유가에 따른 유류비 절감 차원에서 관심을 갖고 있다.

연비에 대한 외국의 교육사례를 보면, 자동차의 설계조건과 운전행태에 따라 연비효과가 크게 달라진다는 사실을 운전자의 안전교육에 포함시켜 좋은 효과를 거두고 있다[10]. 호주에서는 운전자의 운행행태에 따른 연비효과를 측정하기 위해 740명의 운전자를 대상으로 실제의 도로에서 실험을 수행한 사례도 있다[11]. 최근 전국적으로 확산되고 있는 우리나라의 자동차 운행제한 요일제 도입도 탄화수소 에너지 절약운동의 좋은 사례라 할 수 있다[12].

III. LPG 차량에 대한 실차시험

3.1 차량제원

LPG 차량에 대한 시험평가는 국내생산 승용차를

Table 1. Specification for LPG vehicle.

항 목	제 원
총배기량(cc)	1,836
실린더수 및 배치	직렬 4기통
연소실 형식	Pentroof type
흡배기 밸브수	각 2개
구동방식	벨트 구동
내경×행정(mm)	81.5×88
압축비	9.2
최고출력(PS/rpm)	131/6,000
최대토크(kg · m/rpm)	16.4/4,500
연료탱크 용량(Liter)	65
연비(km/Liter)	11.0
변속기 형식	수동변속기

대상으로 실차시험을 실시하였다. LPG 연비시험에 사용된 차량의 제원은 Table. 1에서 제시하고 있다.

3.2 실차 시험조건

연비는 자동차에서 연료가 소비되는 정도를 나타내는 연료소비율, 즉 연료 1리터를 사용하여 몇 km를 주행할 수 있는가를 나타내는 지수이다. 연비는 자동차의 주행조건에 따라 많이 달라지므로, 연비시험은 평탄한 직선도로에서 정해진 자동차의 차속모드에 따라 정지연비와 모드주행 연비로 나누어 실시한다.

일반도로에 주행코스를 정해 놓고 특정구간마다, 또는 코스전체에 대해 연비를 측정하는 것과 주행 중에 순간의 연료 소비량과 그 사이의 평균 데이터로 실제의 주행 연비곡선을 구하는 것 등이 있다.

본 연구에서 사용한 연비측정 시험법은 풀(full) 탱크법이다. 즉, 운전자가 약 5년간에 걸쳐 시험차량에 몇 가지의 변수를 주면서 운행한 데이터를 바탕으로 주입한 연료량과 주행거리에서 유용성이 높은 데이터를 기반으로 연비에 대한 평가를 진행하였다.

3.3 데이터 분석

연비분석에 사용한 차량은 1.8 DOHC 엔진을 탑재한 수동변속기 LPG 차량이다. 여러 가지 주행조건을 바꿔가면서 LPG 연료를 충전하여 확보한 연료량과 주행거리 데이터를 분석하였다. LPG 차량은 가솔린 차량에 비해 배출가스가 7~10% 적게 배출되는 것으로 알려져 있다[13]. 국내 자동차 제작사는 정속주행에서 측정한 연비를 공개하고 있으며[14-16], 연비는 자동차의 성능평가와 소비자의 구매기준에 큰 영향을 미치는 주요항목으로 자리를 잡았다.

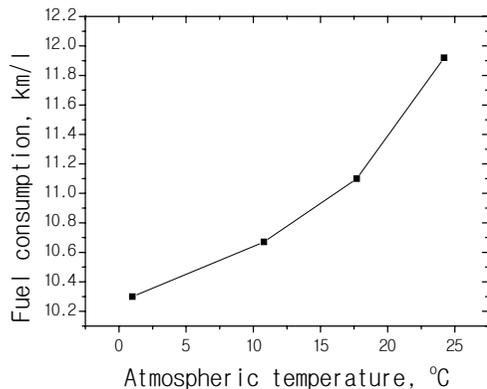


Fig. 1. Fuel consumption as a function of a temperature.

IV. 시험결과 및 고찰

4.1 온도에 따른 연비분석

Fig. 1은 온도에 따른 연비효과를 제시한 데이터로, 외부온도가 낮을수록 연비는 나빠지고, 온도가 상승할수록 연비는 포물선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 대기온도가 낮으면 엔진 연소실에서 분사하는 연료의 주변온도가 낮아져 연소효율이 나빠지면서 불완전 연소에 의한 출력저하, 불완전 연소가스 증대, 낮은 연비 등으로 연료 소모량이 증가하는 것으로 알려져 있다.

대기온도가 낮아지면 엔진의 열손실이 증가하여 엔진의 정상적인 워업(warm-up)에 도달하기까지는 부하를 많이 받아 연료소모가 증가하기 때문이다. 따라서 엔진의 연비를 개선하기 위해서는 엔진의 작동온도를 높게 유지하는 것이 연비향상에 유리함을 알 수 있다.

또한, LPG 차량에서 LP가스를 기화시켜주는 증발기는 대기온도가 낮을 때 기화효율이 떨어지기 때문에 연비를 떨어뜨리는 원인으로 작용한다. 이러한 기화 문제를 해결하기 위해 지금은 LPi 또는 LPLi와 같은 분사장치를 사용하여 기화기의 단점을 대부분 해소하였다.

Fig. 1에서 대기온도가 24.2°C일 때의 연비는 1°C일 때보다 13.6% 정도 높은 것으로 나타났다. 이것은 LP가스의 온도가 낮기 때문에 액체연료에서 기체연료로 기화되면서 손실되는 에너지의 연비저하로 나타나는 것으로 사료된다. 결국 LPG 차량에서 대기온도의 상승은 연비향상에 긍정적으로 작용하고, 엔진의 시동성 향상과 열전달 효율 증가에 긍정적인 영향을 미친다는 것이다.

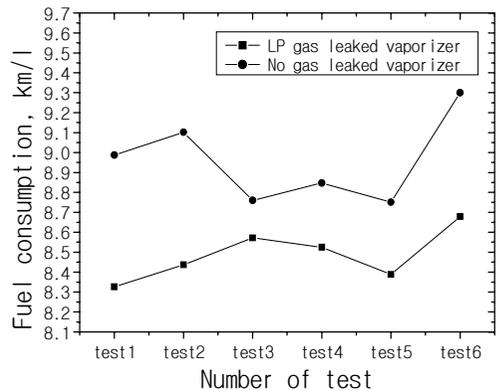


Fig. 2. Fuel consumption depending on the LP gas leakage of a vaporizer.

4.2 증발기 가스누출에 따른 연비분석

증발기는 LPG를 기화시키는 핵심부품으로 연비효과에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[17,18]. LP가스 탐지기로 시험차량의 가스누출 여부를 확인한 결과 증발기에서 LP가스가 미세하게 누출되고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 증발기를 교환하기 전후로 동일한 작동 조건에서 수행한 연비를 시험한 결과이다. 시험을 할 때마다 연비가 약간씩 다르게 측정되었는데, 이것은 정해진 평편한 직선도로 대신에 실제도로를 주행하였기 때문으로 생각된다. 따라서 연비시험에서 나타난 데이터의 분산도를 줄이기 위해 몇 번의 시험을 거쳐 확보한 연비의 평균값을 사용하였다. Fig. 2에서 제시한 것처럼 증발기에서 LP가스가 미세하게 누출될 때와 증발기를 교환한 후에 연비시험을 수행하였을 때의 결과를 비교하면, 증발기를 교환한 다음에 측정된 연비가 5.3% 정도 좋아진 것으로 나타났다. 이것은 믹서를 통해 흐르는 LP가스가 증발기를 통과하면서 내부의 실링부에 대한 내구성이 서서히 떨어지면서 이 부위를 통한 가스누출이 발생되어 연비가 나빠진 것으로 판단된다.

4.3 오일의 점도특성에 따른 연비분석

엔진오일의 유동저항과 마찰저항에 의해 나타나는 점도는 에너지 손실효과로 표현될 수 있고, 이러한 손실은 결국 연비에 큰 영향을 미치게 된다[18]. 본 연구에서는 오일의 점도특성에 따라 영향을 받을 것으로 예상되는 연비효과를 분석하기 위해 엔진오일의 교환전후로 연비를 측정하였다. 즉, 오일을 교환하기 전과 교환한 후의 연비를 6회에 걸쳐 시험한 데

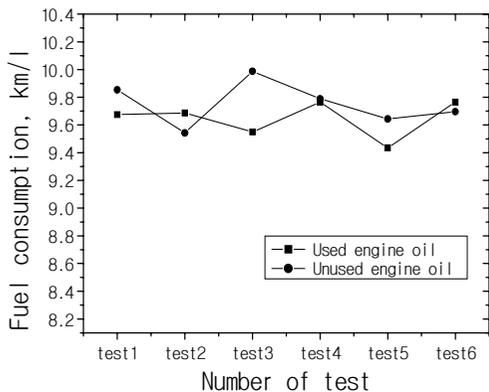


Fig. 3. Fuel consumption depending on the engine oil change period.

이터를 평균하여 연비를 분석하였다.

Fig. 3에서는 엔진오일을 교환하기 전후의 연비 효과를 제시하고 있다. 이때 사용한 윤활유는 SAE 5W/30의 엔진오일을 사용하였고, LPG 차량을 9,500km 주행한 다음 엔진오일을 교환하였다. Fig. 3의 실험 결과에 의하면, 엔진오일의 교환전후로 제시한 연비 결과는 엔진오일을 교환한 후에 측정된 연비가 교환하기 전의 데이터에 비해 1.1% 정도 우수한 것으로 나타났다. 이것은 엔진오일의 교환전후로 연비차이가 크지 않다는 것을 의미한다. 따라서 엔진오일 메이커에서 추천하는 오일의 교환주기 10,000km 정도 [14-16]에서는 점도 및 오일의 성상 변화가 크지 않으며, 연비에도 큰 차이가 없기 때문에 가능한 엔진오일을 교환주기까지 안정적으로 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

4.4 엔진부하에 따른 연비분석

운전자의 운전습관에 따른 연비를 분석하기 위해 정상운전과 급제동, 급가속, 급출발 등과 같은 비정상적인 엔진의 부하조건을 고려하여 연비를 측정하였다. Fig. 4에서는 운전자의 운전패턴(정상운전, 급제동, 급가속, 급출발 등)에 따라 달라지는 연비를 측정된 결과를 제시하였고, Table 2에서는 운전모드에 따른 연비 특성치를 분석하였다.

Fig. 4에서 제시한 결과처럼 정상적인 운전을 하는 경우가 엔진의 부하요소로 작용하는 급출발, 급가속, 급제동과 같은 운전조건에 비해 10~30% 정도의 우수한 연비효과를 나타내고 있다. Table 2의 연비결과를 보면, 차량을 급출발하는 경우의 연비가 32.3%로 가장

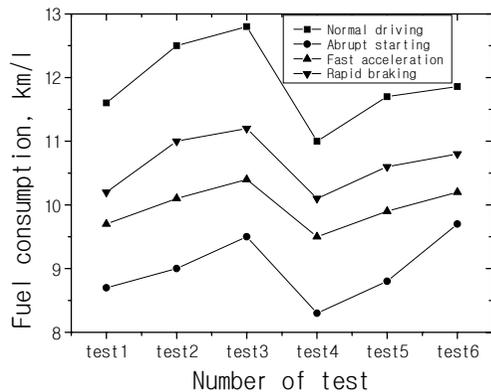


Fig. 4. Fuel consumption depending on normal driving, abrupt start, fast acceleration and rapid braking.

Table 2. Average fuel consumptions for normal driving, abrupt start, fast acceleration and rapid braking.

항 목	연 비	연비 평균값(%)
정상운전과 급제동		급제동의 연비가 10.6% 낮음
정상운전과 급가속		급가속의 연비가 19.5% 낮음
정상운전과 급출발		급출발의 연비가 32.3% 낮음
급제동과 급가속		급제동의 경우가 6.8% 높음
급제동과 급출발		급제동의 경우가 18.3% 높음
급가속과 급출발		급가속의 경우가 10.8% 높음

나쁘다는 것을 알 수 있다.

차량을 정상적으로 운행하다가 불가피하게 급제동해야 할 경우를 기준으로 급제동과 급가속, 급제동과 급출발 상태에서 연비를 측정하면 급제동이 급출발 조건보다 연비가 18.3% 정도 높다는 것을 알 수 있다. 또한, 급가속과 급출발 조건에서 분석하면 급가속 때가 급출발 때보다 연비가 10.8% 정도 높다는 것이다.

차량의 운행과정에서 범하기 쉬운 급출발, 급가속, 급제동 등과 같은 운전습관은 연비를 나쁘게 할 뿐만 아니라 연료의 불완전 연소에 의한 출력저하, 유해배기가스 발생량 증대, 운동부품의 마찰손상에 의한 내구성 저하는 운전자 안전교육에서 강조되어야 할 연비관련 운전자 교육내용이다.

연비효과는 동일한 차량에서도 운전자의 운전성향에 따라 큰 차이가 발생한다. 자동차를 정상적으로 운전할 때에 비해 운전자가 급출발, 급가속, 급제동 등을 하면 연료 소모량은 많이 증가하는 것으로 Fig. 4에서 제시하고 있다. 이것은 연소실에 공급된 연료가 정상적으로 연소하는 시간을 제공하기 못하기 때문이고, 또한 공급되는 연료의 관성유동에 의해 불필요하게 소비되는 연료가 많기 때문이다.

V. 결 론

대기온도의 변화, 증발기의 누출, 엔진오일의 점도 변화, 엔진의 부하조건 등에 따라 달라지는 연비를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 대기온도가 24.2℃일 때의 연비는 1℃일 때보다 13.6% 정도 높은 것으로 확인되었다.
- 2) 증발기의 LPG가스가 미세하게 누출할 때와 증발

기를 교환하여 무누출 연비시험을 수행하였을 때는 증발기를 교환한 후의 연비가 평균 5.3% 좋아지는 것을 확인하였다.

3) 엔진오일의 교환에 따른 연비효과는 평균 1.1%로 엔진오일 교환에 따른 연비변화가 작은 것으로 나타났다.

4) 정상운전과 급출발과의 연비차이는 평균 32.3%로 정상운전의 연비가 우수하고, 급제동과 급출발에 따른 연비효과는 급제동의 경우가 평균 18.3% 좋은 것을 확인하였다.

5) 급가속과 급출발 조건에서의 연비효과는 급가속할 때가 급출발 때 보다 연비가 10.8% 좋다는 것을 확인하였다.

따라서 운전자가 차량을 운전할 때는 가능한 엔진의 부하를 급격하게 변화시키는 운전조건은 주지 않도록 하여야만 차량의 연비효율을 높이고, 내구성도 높일 수가 있다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] I.K. Lee, S.W. Kim and C.K. Kim, "Experimental Study on the Tribological Characteristics including of Oil Leakage in Valve Stem", Proceedings of the Second Asia Intl. Conf. on Tribology, ASIA-TRIB 2002, Oct. 2002.
- [2] Nils-Olof Nylund, Juhani Laurikko and Ari Juva, "Engine Lubrication and Fuel Economy at Low Ambient Temperature", SAE paper 885020
- [3] W.S. Cho, "Materials and Recycling Technology for Automobile", KSAE Auto Journal Vol. 30, No. 4 pp.65 ~ 75, August 2008.
- [4] Choon Jae Ryu and Sung Tack Ro, "Performance Analysis of Mild Hybrid Electric Vehicle using High Power Density Capacitor for Less Fuel Use", Spring Conference Proceeding of 2005 KSAE, pp.489 ~ 494, 2005.
- [5] LPI 등 25개 '신기술' 선정, YTN, 2009.
- [6] Lisa Anne Graham and Aaron Loiselle, "The Effect of Driving Conditions and Ambient Temperature on Light Duty Gasoline-Electric Hybrid Vehicles", SAE paper 2007-01-2137.
- [7] "글로벌 車업계 중국대륙을 잡아라", 머니투데이, 2009.

- [8] Tim A., Nevius, Guanghui-Cai, et. al., "A Comparison of Direct Vehicle & Fuel Consumption Measurements with Simultaneous CVS Carbon-Balance Fuel Economy", SAE paper 2008-36-0274.
- [9] KSAE, "Automotive Technology Handbooks II", 1996.
- [10] Stephen T. McClain, R. Aaron Harris and Robest Peters, "A Fuel Consumption Simulator for Teaching Efficient Driving Practices", SAE paper 2008-01-1291.
- [11] F.J. Ward and A. Zufacer, "Passenger Vehicle Petrol Consumption-Measurement in the Real World", SAE paper 871159.
- [12] "서울시, 더욱 강력한 에너지 절감대책 추진", 연합뉴스, 2008.
- [13] Harry C. Waston and David Gowdie, "The Systematic Evaluation of Twelve LP Gas Fuels for Emissions and Fuel Consumption", SAE paper 2000-01-1867.
- [14] Maintenance manual of Hyundai Motors
- [15] Maintenance manual of Kia Motors
- [16] Maintenance manual of GM Daewoo Motors
- [17] I.K. Lee, Y.S. Chun, C.K. Kim, et al, "Failure Study for Tribological Characteristics of LPG Automotive Engines", Spring Conference Proceedings of 2004 KIGAS, pp.181-189, 2004.
- [18] W.S. Moon, "Engine Oil Technology for Low Fuel Consumption and Low Emission of Passenger Cars", KSAE Vol. 20. No. 4, August 1998.