

LPG인젝터의 누설성능 향상에 관한 연구

†김창업 · 신문성* · 백승국*

한국기계연구원 그린동력연구실, *케피코(주) 제품개발팀
(2012년 7월 25일 투고 2012년 12월 18일 수정 2012년 12월 18일 채택)

Improvement of Leakage Performance of LPG Injector

†Changup Kim · Moonsung Shin* · SeungKook Baik*

Engine Research Team, ECO-machinery Division, Daejeon 305-343, Korea

*Products Development Team, KAFICO, Gumpo, 435-716, Korea

(Received July 25, 2012; Revised December 18, 2012; Accepted December 18, 2012)

요 약

우리나라의 LPG자동차 기술은 2003년 LPG액상분사방식 차량의 양산을 계기로 크게 발전하기 시작하였으며, 지금까지 관련기술의 발전을 거치면서 SULEV 배출가스 규제를 만족하는 수준에 이르렀다. 우리나라의 LPG자동차 등록수는 240여만 대를 넘어서면서 세계 1위의 LPG자동차 보유수를 보이고 있다. 그러나 이러한 많은 대수를 보유하고 있음에도 불구하고, 지금까지 LPG자동차의 핵심 연료시스템은 외산기술을 이용하는 라이선스 제작, 조립 및 판매를 진행하고 있다. 특히 LPG액상분사식 자동차의 핵심부품인 LPG인젝터는 국제 부품공급사인 C사의 D 인젝터를 이용하여 왔다. 이에 본 연구에서는 국산 LPG인젝터의 개발을 이루고자 하며, 개발과정에서 가장 핵심적인 LPG 누설성능 개선에 영향을 미치는 코팅기술의 성능향상연구를 집중하였다. 본 연구에서 WCC 코팅 및 구조 최적화를 통하여 기존의 D 인젝터의 0.06cc/min 누설성능을 0.04cc/min 수준 이하로 낮출 수 있었다.

Abstract - The LPG engine technology in Korea has made significant advances with the mass production of LPG vehicle with liquid phase LPG injection system, and have reached to satisfy the SULEV emission regulations. As of now, domestic production of LPG fuelled vehicles in Korea have reached more than 2.4 millions, which is the best in the world. But in the technical point of view, the key technologies for fuel injection system of LPG fuelled engine are mainly dependent on foreign license. Especially, fuel injector in the liquid phase LPG injection system has been imported from C company, which supplies LPG injector worldwide in the name of model D. In the context, it is quite urgent to develop the LPG injector technology in Korea. In this study, WCC coating which is key technology to develop LPG injector by reducing the fuel leakage was developed and tested. Considering the fuel leakage of 0.06cc/min in commercial LPG injector, fuel leakage was reduced down to 0.04cc/min with WCC coating technology and optimization of injector structure.

Key words : LPG injector, Leakage, SULEV, WCC coating

1. 서 론

우리나라의 LPG자동차 등록수는 2012년 기준으로 240여만 대를 넘어서며 세계 1위의 LPG자동차 보

유수를 나타내고 있는데, 이는 전 세계 LPG자동차 등록대수의 약 17% 정도를 차지하는 수치이다. 그러나 이러한 많은 LPG자동차 보유대수에도 불구하고, 지금까지 양산되는 LPG자동차는 핵심부품인 연료시스템을 특정 외산기술에 의존하는 라이선스 생산을 진행하고 있는 실정이다[1-3].

우리나라의 LPG자동차 기술은 2003년 현대-기아

†Corresponding author: cukim@kimm.ac.kr

Copyright © 2012 by The Korean Institute of Gas

자동차, 2005년 르노-삼성자동차의 LPG액상분사방식의 차량을 양산하면서 크게 발전하기 시작하였다. 1990년대 유럽지역에서 개발된 LPG액상분사기술은 기존의 믹서(Mixer)방식에 비해서 고출력, 저배기의 많은 장점을 가지고 있으며, 2003년 양산을 시작한 후, 지금까지 우리나라에서 LPG액상분사방식 관련기술의 꾸준한 발전을 통하여 LPG자동차에 SULEV(Super Ultra Low Emissions Vehicle) 배출가스 규제를 검토하는 수준에 이르렀다.

즉, LPG연료공급시스템의 발달로 인하여 LPG자동차는 그 동안의 가솔린 대체연료자동차라는 개념에서 이제는 상당한 초저공해 자동차로의 역할변경을 이루어졌다. 전에는 TLEV(Transitional Low Emission Vehicle)정도의 매우 낮은 수준의 규제치에서 LEV(Low Emission Vehicle), ULEV(Ultra Low Emission Vehicle)을 거쳐 마침내 SULEV라는 현시점의 가장 높은 수준의 규제치를 적용하는 단계까지 올라가게 된 것이다. 그러나 LPG자동차의 SULEV 규제 대응은 자동차사에게 매우 어려운 과제였는데, 그 이유는 그 동안 사용하던 외산 인젝터의 연료누설문제 때문이었다.

지금까지 LPG액상분사식 자동차의 핵심부품인 LPG인젝터는 대부분 국제 부품공급사인 C사의 D 인젝터를 이용하여 왔다. 일반적으로 LPG액상분사식 인젝터의 경우, 볼 타입의 니들과 노즐과의 접촉을 통한 실링(sealing)이 잘 이루어지지 않아 근본적인 누설이 일어났다. 또한 LPG연료에 포함되어 있는 불순물과 연료 내에 포함된 올레핀류 연료와 연료시스템의 고무류와의 반응에 의해서 발생하는 이물질 등에 의해서 이 누설량이 크게 영향을 받았다.[4] 기존 외산 제품의 경우, 약 0.06cc/min 정도의 누설량 제원을 가지고 있으며, 이 수치는 자동차사의 SULEV규제 대응이 불가능하다는 결론이 나오게 된 근본 이유가 되었다.

본 연구에서는 LPG인젝터의 핵심부품인 니들부와 노즐부에 WCC(Tungsten Carbide Carbon) 코팅 기술을 적용하고 인젝터의 구조적인 최적화 작업을 통하여 누설성능개선을 이루어 내고자 하였다. 이는 인젝터의 기본 누설량을 감소시켜 LPG자동차의 SULEV규제 대응이 가능하게 하는 목표를 달성하는 점 뿐만 아니라, 그간 수입에 의존하던 액상 LPG인젝터의 국산화 개발이 현실적으로 가능하게 되었다는 더 큰 의미를 갖게 된다.

II. 실험방법 및 결과

2.1. 인젝터의 개발개요 및 코팅방법

LPG인젝터는 Fig.1처럼 기존의 MPI 가솔린 인젝터와는 다른 구조를 가진다. 인젝터 후방에서 연료를 공급하는 가솔린 인젝터와는 달리, LPG액상분사방식 인젝터는 LPG연료의 액상유지를 위하여 연료 펌프에서 고압 승압된 연료를 인젝터의 사이드에서 공급받으며, 이를 분사하고 남은 연료가 사이드로 다시 빠져나가서 연료탱크로 리턴 된다.

LPG인젝터의 구조를 자세히 살펴보면, Fig.2와 같이 연료분사구는 연료의 계폐를 담당하는 니들에 연결된 밸브(볼 타입)와 밸브시트부로 구성되어 있다. 누설성능에 영향을 주는 연료차단은 밸브와 시트부의 선 접촉으로 이루어지며, 기존 D 인젝터의 경우, 0.06cc/min 정도의 누설량 스펙을 보여주었다.

또한 프로판과 부탄이 주성분인 LPG연료는 반응성이 매우 큰 연료이기 때문에 인젝터는 내화확성이 높은 재질의 사용이 필수이며, 고압 작동환경 내에서 밸브와 밸브시트가 지속적으로 충돌함에 따라 시트부에 마모가 발생하므로 사용재질의 내마모성도 재질 선정의 중요한 기준이 된다.

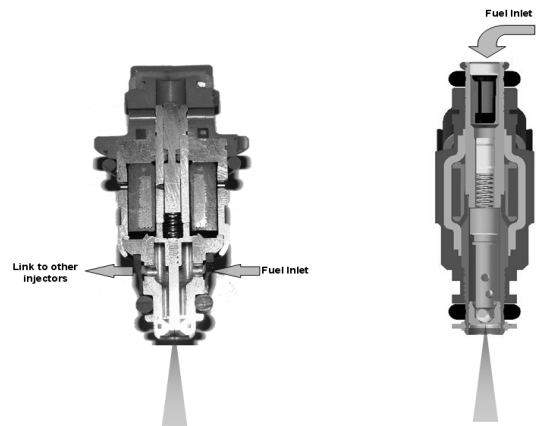


Fig. 1. Characteristics of LPG and gasoline injectors.

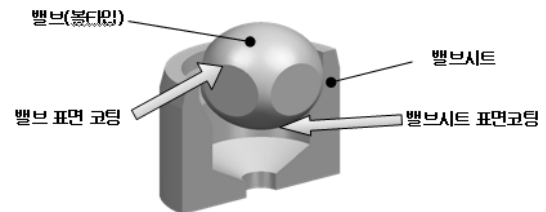




Fig. 2. Schematic dia. of main parts in LPG injector.

Table 1. Specifications of KIV_LPI injector and D injector

	KIV_LPI	D injector
외관형상		
연료공급방식	Side Feeding	←
부품수	18 개	22 개
중량	49 g	69 g
코일저항	5.3 Ω	1.8 Ω
작동압력	최대 30 bar	←
플러그 형상	JETRONIC	←
구동드라이버	전류제어 방식 (Peak & Hold)	←
코팅	Valve (Ball):WCC / Valve seat:WCC	Valve (Needle):DLC / Valve seat:WCC
누설	≤ 0.04 cm ³ /min	≤ 0.06 cm ³ /min

이에 본 연구에서는 볼 타입 밸브 및 밸브시트의 최적설계 및 재질선정, 코팅기술의 개발을 통하여 기존 경쟁사 제품 대비 우수한 누설성능 및 내구성능을 갖는 인젝터를 설계하였다. Table 1에는 경쟁사(C社 D 인젝터)와 본 연구의 개발 인젝터(K사 KIV_LPI: K Injection Valve for LPI engine)의 간단한 제원비교가 나타나 있다. 가장 중요한 코팅방법론에서 D 인젝터의 DLC(Diamond like Carbon) 및 WCC 코팅기법에 대비하여 WCC-WCC 코팅기법의 개발이 가장 큰 차이점을 보이고 있다. 기존 D 인젝터 제품의 경우, DLC-WCC의 코팅기법의 강도차이로 인한 파손이 보고되고 있으며, 이는 내구성에서 크게 불리하게 작용하였다.[4, 5]

2.2. 인젝터 코팅기법의 최적화

Fig. 3에는 KIV_LPI 인젝터의 핵심부품인 밸브와 시트부의 코팅제원이 나타나 있다. 코팅기법의 가장 중요한 포인트는 코팅부품의 코팅 두께 일정성이다. 코팅두께는 누설 및 내구성능의 확보를 위하여 니들부 2.0 μ m 시트부는 1.2 μ m로 설계되었으며, 이를 위한 최적 지그의 설계 및 제작이 이루어졌다. 코팅방법에서는 모재에 가장 접착력이 좋은 크롬(Cr)부터 모

들 증착법으로 질화크롬(CrN, Chromium nitride)까지 올린 후, WCC코팅으로 마무리 한다.

Fig. 4에는 본 연구에서 개발된 인젝터 부품의 최적코팅을 위한 지그의 모습을 나타나 있다. 이 지그는 상, 중, 하부의 부품들에게 가장 균일한 코팅이 가능하도록 개발되었으며, 이렇게 제작된 인젝터의 핵심부품은 WCC-CrN-코팅층 증착에 대한 검사를 통하여 검정되었다. 핵심부품인 니들부와 밸브시트부 코팅층의 밀착력 평가 및 두께측정을 실시한다. 코팅의 평가는 기능부 외주면에 코팅층 벗겨짐이나 크랙, 녹, 변색이 없는지 확인하는 외관검사와 로크웰 경도기(Rockwell Hardness)를 이용하여 코팅적용부에 다이아몬드 콘을 압입하여 광학현미경을 이용하여 이상 유무를 판단하였다.

또한 코팅두께를 측정함으로써 코팅의 정상유무를 확인하는데, 코팅의 두께는 제품을 중심으로 위쪽인 0°, 아래쪽 180° 두 군데를 측정하며 시료는 Fig. 6처럼 치구의 상, 중, 하에서 한 개씩 채취하여 총 3개를 측정한다. 측정은 SEM(Scanning Electron Microscope)장비를 이용하여 코팅층을 10,000배 확대하여 측정하며, 측정결과 (Fig. 6)인젝터 스펙을 만족하는 코팅두께를 가짐을 확인하였다.

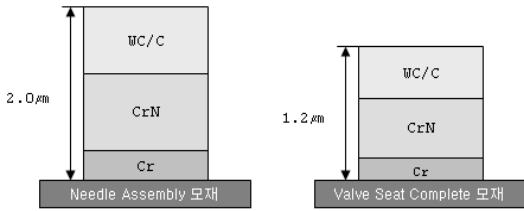


Fig. 3. Coating data of needle valves and a valve seats.

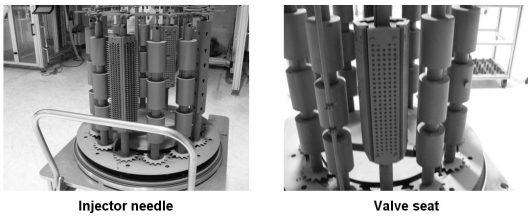


Fig. 4. Photos of Coating rig of injector needle valves and valve seats.

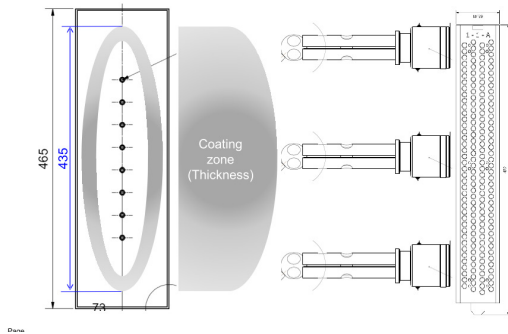
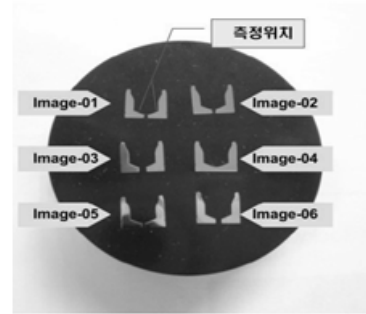


Fig. 5. Schematic diag. of coating source and targets.

2.3. 인젝터의 누설성능실험

Fig. 7은 인젝터의 누설량을 측정한 결과이다. 누설량 측정은 5억 회의 상온 자동내구실험(2ms 작동, 5ms 기간) 후에 일정압력(3.8bar)의 질소가스를 공급하여 누설된 양을 버블미터(bubble meter)를 이용하여 측정하였으며, 결과적으로 동일조건하에서 경쟁사 대비 양호한 누설성능을 얻을 수 있었다. 경쟁사의 누설성능이 0.07cc/min 까지도 측정되었으며, 개발 인젝터의 경우 누설성능이 0.04cc/min 이하로 매우 양호한 성능을 나타내었다.

설계변수실험 중, KIV_LPI의 니들부와 시트부의



(a)

Position	Top(위)	Top(중)	Top(아래)	
Image				
Thick-ness	Cr+CrN	648 nm	602 nm	489 nm
	Cr+W/C	794 nm	513 nm	589 nm
	Total	1.44 μm	1.15 μm	1.08 μm

(b)

Fig. 6. Test Samples and result of coating thickness measurement with SEM device.

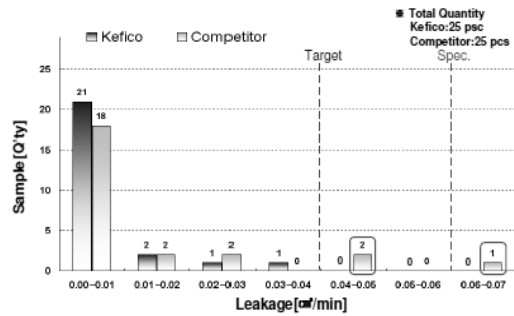


Fig. 7. Comparison of leakage performance of new injector and D injector.

접촉각도에 대한 최적화 작업을 통하여 누설량을 최소화할 수 있었다. Fig. 8에는 각도별 시트부 모습, Fig. 9는 누설실험 결과가 나타나 있다. 120도의 경우가 90°의 경우보다 많은 접촉면적의 확보로 인한 누설량 감소효과가 평균 93% 나타났으며, 이에 본 연구에서는 120°를 최적시트 각도로 선정하였다.

2.4. 인젝터의 자동차적용실험

자동차사와 함께 KIV_LPI를 차량에 장착하여, 일

정 내구실험(35,000km 내구주행) 을 한 후에 배출가스 측정실험을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 10에

나타내었다.

결과적으로 기존의 D 인젝터에 비해서 KIV_LPI 는 최신의 자동차 배출가스 SULEV 규제를 만족시키는 결과 및 차량 시동성, 차량 주행성 평가 등에서도 양호한 점수를 받을 수 있었다.

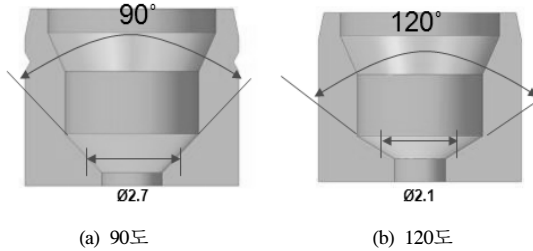


Fig. 8. injector valve seat with two injection angles.

III. 결론

LPI 인젝터의 국산화 개발연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) WCC코팅기술을 이용한 결과, 기존 경쟁사 D 인젝터의 0.06cc/min의 누설성능을 0.04cc/min 수준이하로 낮출 수 있었다.

(2) WCC코팅기술의 일정성을 높이기 위한 장치

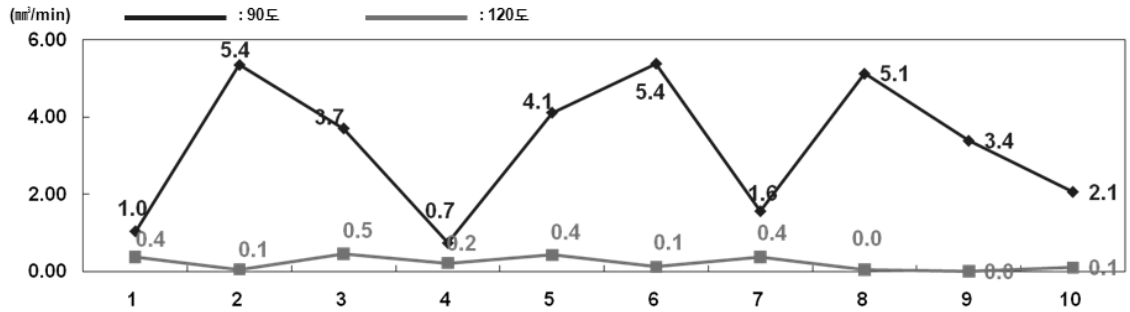
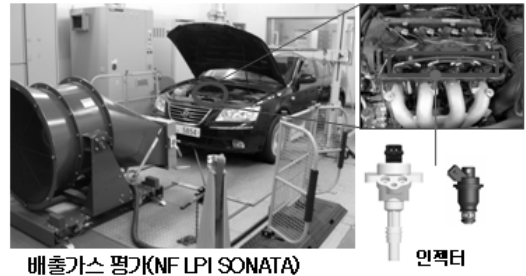


Fig. 9. Leakage performances of new injector with two injection angles (90 degree vs 120 degree).

	Emission (g/km)			연비 [km/ℓ]	비고
	NMOG	CO	NOx		
규제치	0.00625	0.625	0.0125		
NF LPI SONATA	0.00288 (46%)	0.142 (23%)	0.0008 (6%)	8.88	3.5만km 내구차량



배출가스 평가(NF LPI SONATA)

인젝터

항목		차량	평가 결과	비고
시동성	저온	NF LPI SONATA	정상시동, 양호	요구수준 만족
	상온		정상시동, 양호	
가.감속성			특이사항 없음(만족함)	
배출 가스			규제치 대비 46% 수준으로 만족	

Fig. 10. Exhaust gas emissions and performances of vehicle with new KIV_LPI injector.

설계 및 시트부 각도의 최적화 작업을 통하여 New 인젝터의 누설성능이 평균 $3.25\text{mm}^3/\text{min}$ 에서 $0.22\text{mm}^3/\text{min}$ 으로 93% 개선되었다.

(3) 개발된 KIV_LPI 인젝터의 낮은 누설성능은 LPG자동차의 SULEV 배출가스 규제치를 만족시킬 수 있는 성능이며, 각종 자동차 적용성 실험에서도 우수한 결과를 보여주었다.

(4) 이로서 우리나라는 세계 최고 수준의 LPG인젝터 개발기술 및 평가기술 등을 보유하게 됨으로써 수입대체효과 및 관련부품의 수출증대효과를 기대할 수 있게 되었다.

감사의 글

본 논문은 환경부 ECO-STAR 사업의 지원 아래 이루어 졌습니다.

참고문헌

[1] Changup Kim, Kyonam Choi, Kernyong Kang and Cheolwoong Park "A Study on the Improvement of Lubrication Characteristics for Fuel

Pump in LPG Engine" Journal of ILASS-KOREA, Vol.16, No.1, 1-6 (2011)

[2] Changup Kim, Daeyop Lee, Seungmook. Oh, and Kernyong Kang, "Durability Properties of Liquid Phase LPG Injection System with Various Qualities of LPG Fuels," Transaction of KSAE, Vol. 12, No. 5, 73-78, (2004)

[3] Cheolwoong Park, Changup Kim, Kyonam Choi, "A Study on the Performance Characteristics of a Fuel Pump in LPG Engine", *Journal of the KIGAS*, Vol. 11, No. 4, 10-16, (2007)

[4] Changup Kim, Cheolwoong Park and Kernyong Kang "Reaction Characteristics of LPG fuel and Rubber parts of Fuel supply system in Liquid Phase LPG Injection (LPLi) System" *Journal of KSME*, Vol. B 33, No.4 272*277 (2009)

[5] Cheolwoong Park, Changup Kim, Kyonam Choi, Seungkook Baik and Moonsung Shin "A Study on Performance Improvement in Durability and Reliability of LPi Injector" *Journal of the KIGAS*, Vol.16, No.2, 38~44 (2012)