KIGAS Vol. 16, No. 2, April, 2012
(Journal of the Korean Institute of Gas)

LPI 인젝터의 성능 및 내구성 개선에 관한 연구

†박철웅 · 김창업 · 최교남 · 백승국* · 신문성*
한국기계연구원 그린동력연구실, *(주)케피코 제품개발팀
(2011년 10월 28일 접수, 2012년 3월 6일 수정, 2012년 3월 6일 채택)

A Study on Performance Improvement in Durability and Reliability of LPi Injector

†**Cheolwoong Park · Changup Kim · Kyonam Choi**
Seungkook Baik* · Moonsung Shin*
Engine research team, Korea Institute of Machinery and Materials, Daejeon 305-343, Korea
**Product development team, KEFICO, Kyunggi 435-716, Korea*
(Received October 28, 2011; Revised March 6, 2012; Accepted March 6, 2012)

요 약

근래 들어 강화되는 배출가스 규제에 대응하기 위한 대책으로 LPG 차량에 적용되고 있는 제3세대 LPG 연료공급방식인 LPi(Liquid phase LPG injection)는 펌프를 이용해서 고압의 액상연료를 공급하는 것이 가장 핵심적인 기술이다. LPi 시스템은 액상연료분사의 전자식 정밀제어를 통해 출력이 상승하고 유해배출가스가 현저하게 저감되는 장점이 있으나, 가장 핵심적인 부품인 연료펌프 및 인젝터의 경우 대부분 수입에 의존하고 있어 시스템 설계에 유연하지 못하다. 본 연구에서는 인젝터의 국산화 개발을 위해 LPi 시스템에 적합한 연료공급방법의 인젝터 디자인 및 최적의 작동조건 확보를 목표로 LPi용 인젝터의 설계 및 시작품을 제작하여 누설 및 유량특성을 살펴보았다.

Abstract - In recent years, the need for more fuel-efficient and lower-emission vehicles has driven the technical development of alternative fuels such as LPi (Liquid phase LPG injection) which uses pump for the high pressure supply of liquid LPG fuel and is able to meet the limits of better emission levels while it has an advantage of higher power. Although it has the advantage of power and lower emission levels, the characteristics of LPG, such as high vapor pressure, lower viscosity and surface tension than gasoline fuels makes it difficult design system. Therefore most fuel pumps and injectors are imported. In the present study, in order to domestically develop LPG injector which guarantees flow rates and optimal operation, the experimental investigation on leakage and flow rate characteristics of developed prototype injector was carried out at the bench test rig for developed injector.

Key words : liquid phase lpg injection, injector, fuel leakage, durability

Ⅰ. 서 론

대기환경 오염에 대한 심각성이 대두되면서 자동차에 대한 환경오염 측면의 규제는 강화되고 있으며 가솔린 및 디젤 등의 기존 연료에 대한 자원의 한계성 및 환경적 측면에서의 불리함으로 친환경적인 연료의 사용과 개발 또한 활발하게 진행되고 있다.

이러한 친환경적인 연료 중 국내 자동차 시장에 폭넓게 확산되어 있는 LPG 연료는 초기에 기화기를 통한 LPG 공급 방식으로 시작하였으나, 기화기 방

†주저자:cwpark@kimm.re.kr

식이 갖는 믹서 및 베이퍼라이저 등으로 구성된 엔진 및 연료제어 시스템은 충전효율이 낮아 엔진출력이 떨어지고 정확한 공연비 제어의 어려움으로 배기가스 수준이 가솔린 엔진보다 높은 수준으로 결정될 수 밖에 없는 한계에 도달하여 최종 사용자들의 많은 불만을 야기하였다[1,2].

그럼에도 불구하고 LPG연료의 국내 가격정책은 소비자들의 경제성 측면을 자극하여 그 수요를 꾸준히 유지시키고 있으며, 이는 곧 2003년을 시작으로 액상의 연료를 인젝터를 통해 각 실린더로 요구되는 양을 정확하게 분사하도록 하여 기존의 믹서 및 베이퍼라이저가 갖는 단점을 극복 가능하게 한 LPi 시스템의 개발 및 양산을 달성하도록 하였다.

제3세대 LPG 연료공급방식인 LPLi(Liquid Phase LPG Injection) 시스템은 LPG연료를 펌프를 이용해서 고압으로 승압하고 이를 액상상태에서 인젝터를 이용해서 분사하는 방식으로서, 믹서 시스템에 비해 출력 성능이 약 15% 정도 증가하여 동급 가솔린차량과 대등한 가속성능 및 출력을 내고 있으며, 연비도 약 7~9% 개선되는 것으로 평가되고 있다. LPG 가스의 특성상 낮은 배출가스로 인해서 촉매에도 부하를 줄여줌으로써 촉매원가가 저감되는 이점이 있다[3].

LPi 시스템은 기존의 믹서 및 베이퍼라이저가 갖는 단점을 극복 가능 하도록 하였으나 가장 핵심적인 부품인 인젝터의 경우 현재 전량 수입에 의존하고 있으며, 이로 인해 완성차 업계가 원하는 방향으로의 시스템 설계에 큰 제약을 가져올 수밖에 없는 현실이다.

따라서 본 연구에서는 LPi 시스템의 핵심 부품인 인젝터의 국산화 개발을 목표로 하여 LPi 시스템에 적합한 인젝터의 연료공급방법을 채택한 디자인의 적용을 통해 현 LPi 시스템의 성능을 향상시키고자 하였다.

Ⅱ. 실험장치 및 방법

2.1. 인젝터 설계 및 시작품 제작

본 연구에서는 LPi system에 적합한 연료공급방법 (Bottom Feeding Type)의 인젝터 디자인 및 최적의 작동조건 확보를 목표로 LPi용 인젝터의 설계 및 시작품을 제작하였다. Fig. 1은 개발 인젝터의 개념도를 나타낸 것이다. 기존의 가솔린 인젝터의 정밀분사 기술을 응용하고 Orifice 설계기술을 바탕으로 유량 요구성능을 만족하도록 하였다. 고압 연료시스템에 작동 가능하도록 전자기회로를 최적화 하였으며, 볼(Ball)과 밸브시트(Valve seat) 부위의 각도 변경 및 코팅 재질, 두께 등 코팅기술을 개발하여 내마모성 및 내부식성을 개선되도록 하였다.

초도 개발품의 초기 기밀성능 확보를 위해 강성이 다른 스프링을 사용한 스프링 변경품 과 아이싱 방지 튜브(De-Icing Tube) 위치 최적화를 위한 튜브 어댑터(Tube adaptor) 적용품의 성능을 각각 비교하였다.

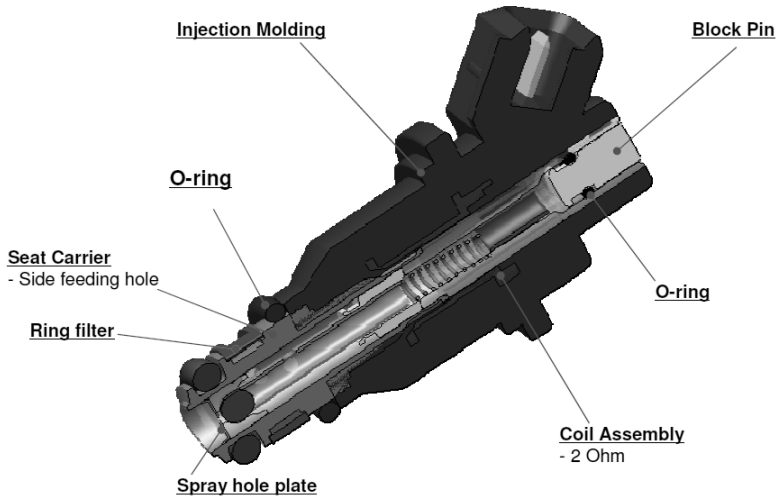

Fig. 1. Concept design of LPi injector.

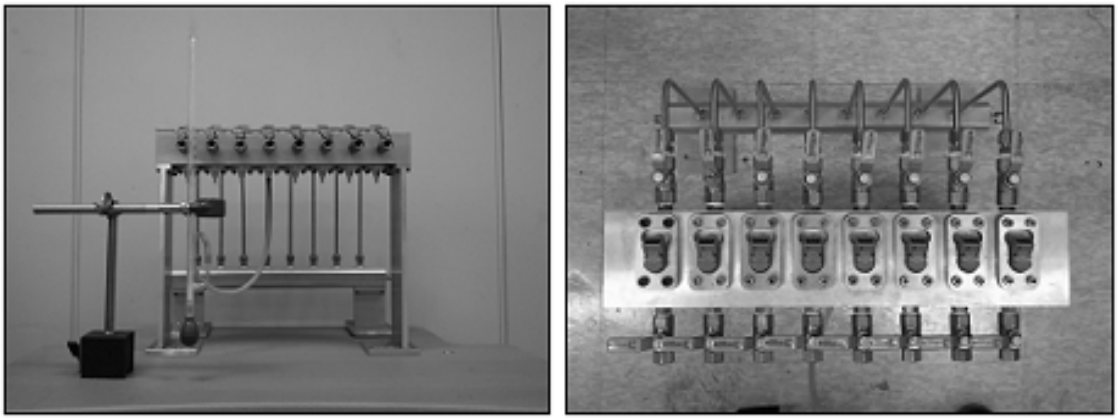

Fig. 2. Test rig for leakage of LPi injector.

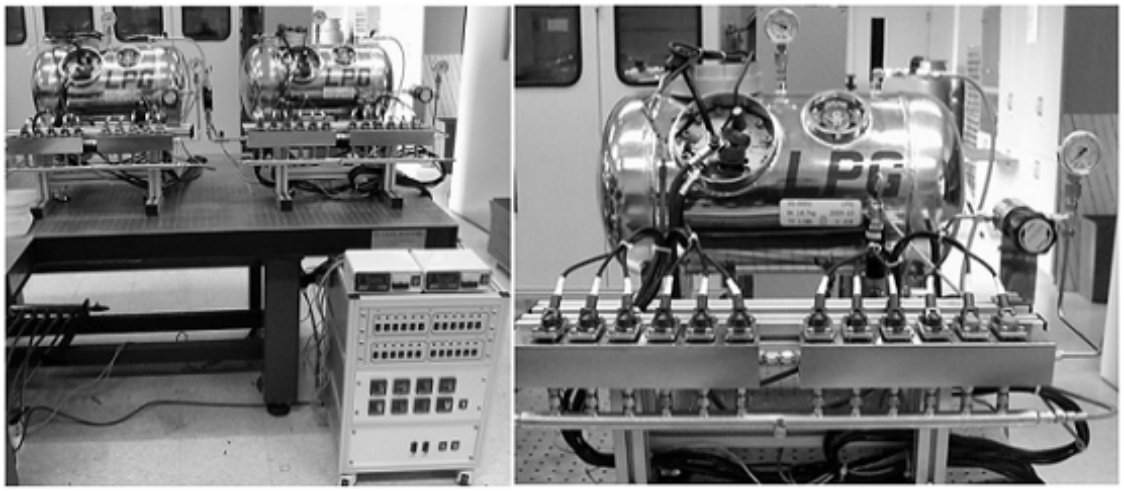

Fig. 3. Test rig for environmental durability and flow rate.

Table 1. Specification of test fuel

Component	Concentration
Butane	60 %
Propane	39.74 %
Sulfur	100 ppm
Water	1000 ppm
Sulfuric acid	500 ppm
Potassium hydroxide	1000 ppm

2.2. 실험장치

개발되는 인젝터는 초기 성능은 물론이며, 저점도에 반응성이 높은 LPG연료라는 특수한 환경에서의 내환경성실험, 유량특성 및 내구성능 실험 등을 거쳐서, 차량에서 요구하는 특정시간, 조건의 내구 후의 성능을 유지해야 한다. 이에 본 연구에서는 자동차제작사가 요구하는 시험모드의 공동개발 및 이를 이용한 내환경 ·내구특성평가를 거쳐 고성능, 고효율의 인젝터가 개발되도록 연구를 진행하고자 하였다.

Fig. 2는 인젝터의 누설시험기를 나타낸 것으로서 동시에 여러 개의 누설량을 평가하기 위해 인젝터

장착대(pod)를 설계하였고, 인젝터에 인가되는 압력을 가압 질소로 변경하면서 발포누설시험기에서 측정되는 누설량을 관찰하였다. 시작품들 간의 편차 및 재현성 확인을 위하여 각 시작품들은 6개씩 선정하여 시험에 사용하였다.

LPi 연료시스템의 특성에 착안하여 인젝터의 특성 및 내구평가 장치를 Fig. 3과 같이 구성하였다. 자동차용 소형용기의 형태로 용기를 설계하였고, 이때 연료용기 내의 이물질로 인한 실험 오차 및 변수를 사전에 제거하기 위해 스테인리스 강 재질을 이용하여 제작하였다. 연료공급을 위한 연료펌프 및 구동용 드라이버는 현재 LPi 차량에 사용되는 상용 펌프 및 제어기를 이용하였으며, 하절기의 고온의 연료온도 모사를 위해 2kW급 히터를 장착하였다.

작동내구시험시 사용된 LPG 연료는 주 연료인 부탄에 프로판이 40% 포함된 것으로서, 사용현장(field)에서 혼입될 수 있는 수분 및 황 등의 이물질을 모사하기 위해 미량을 첨가하였으며 Table 1에 조성을 나타내었다. 시험 온도와 연료압력은 하절기 엔진룸의 사용환경에 해당하는 70℃, 1.53 MPa로 설정하였고, 인젝터 분사조건은 5ms의 주기로 14V의 전압을 2ms 동안 인가하여 2만km와 5만km의 차량주행거리를 가정한 작동회수 인 2억회 및 5억회의 작동 후 누설 및 유량성능을 비교하였다.

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

3.1. 스프링 변경에 의한 영향

일반적으로 차량 주행 후 엔진을 정지하게 되면 인젝터를 포함한 연료공급라인이 엔진으로부터 전달되는 열을 받아 높은 압력을 유지하다가 서서히 용기압력으로 감소하게 된다. 특히 하절기와 같은 경우 높은 분위기 온도로 인하여 약 1 MPa에 가까운 압력에 인젝터의 상류에 형성되는데, 이렇게 되면 인젝터의 니들(Needle)과 시트(Seat) 사이의 틈새를 통하여 기상의 연료가 새어나가게 된다. 이렇게 누설된 연료는 흡기매니폴드나 연소실 내에 축적되고 재시동시 엔진제어유닛(Engine control unit; ECU)에 의해 제어 및 공급되는 연료에 더해져 농후한 혼합기를 형성하게 된다. 이러한 현상은 LPi 차량의 시동초기 미연 탄화수소에 의한 배출가스 증가와 시동지연의 직접적인 원인으로 작용하기 때문에, 인젝터의 누설 성능 개선은 인젝터의 설계시 반드시 고려되어야 하는 사항이다[4,5].

Fig. 4는 초도 개발시작품 6개의 누설특성을 나타낸 그래프이다. 정밀 가공기술을 이용하여 기밀성능을 확보하고, 니들과 시트 부분의 코팅기술 개발을 통해 내마모성을 개선하여 5억 회의 작동내구시험 후에도 차량에서 요구되는 누설량 이하의 값을 보여 내구성능에 문제가 없음을 확인하였다. 그러나 생산직후의 상태를 반영하는 작동내구시험 시작 전 조건에서 대부분의 시작품에 대해 요구 기준치 이상의 누설이 확인되었고, 이의 개선을 위해 니들이 열리지 않도록 지지하는 스프링의 탄성계수가 변경된 스프링을 적용하여 시험전의 누설 및 작동내구시험 후의 누설량을 확인하였다. Fig. 6의 타사에서 생산되고 있는 LPi용 인젝터의 누설량 실험결과와 비교할 때, 타사의 양산품에 비해서는 누설량이 많지만 내구시험전후의 누설량이 요구 기준치를 만족함을 알 수 있다.

강성이 큰 스프링의 사용은 동일한 Coil에 대해서 니들의 양정에 변화를 주어 연료 분사량에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 각각의 시작품에 대한 유량시험을 수행하였다. Fig.7과 Fig. 8은 초도 개발시작품과 스프링이 변경된 시작품에 대한 유량시험 결과를

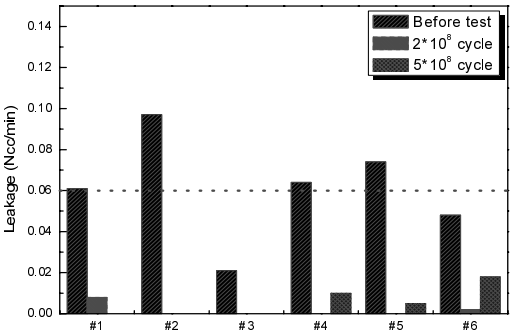

Fig. 4. Result of Leakage test for developed LPi injector.

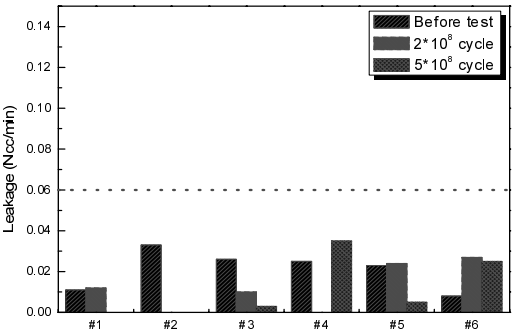

Fig. 5. Effect of spring elasticity on leakage of developed LPi injector.

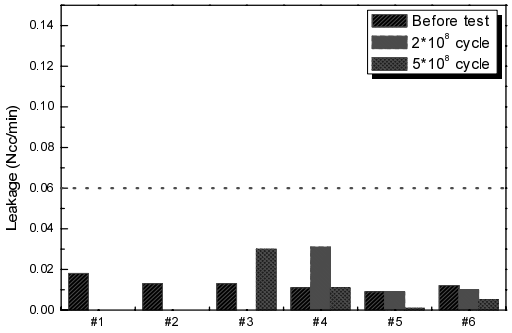

Fig. 6. Result of Leakage test for conventional LPi injector of competitor.

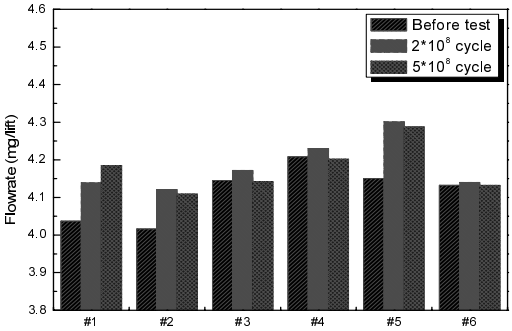

Fig. 7. Flowrate characteristics of developed LPi injector.

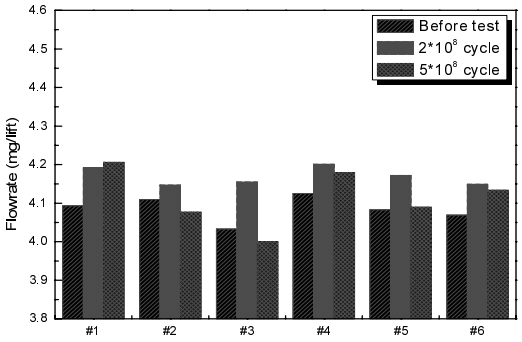

Fig. 8. Effect of spring elasticity on flowrate of developed LPi injector.

나타낸 것이다. 시작품 별로 차이가 크지 않고 2억 및 5억 회의 작동내구시험 후에도 시험 전의 유량에 비해 편차가 작게 나타났다. 시험 전, 2억 및 5억 작동내구 후의 평균유량을 비교하여 보면 각각 0.029,

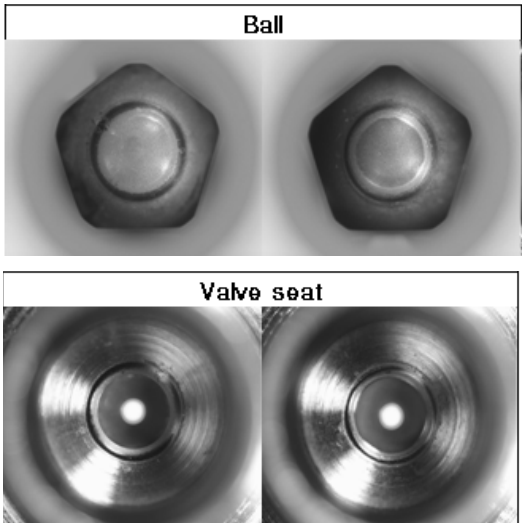

Fig. 9. SEM Photographs of ball and valve seat for developed LPi injector (after 5.0×10^8 times of operation durbility test)

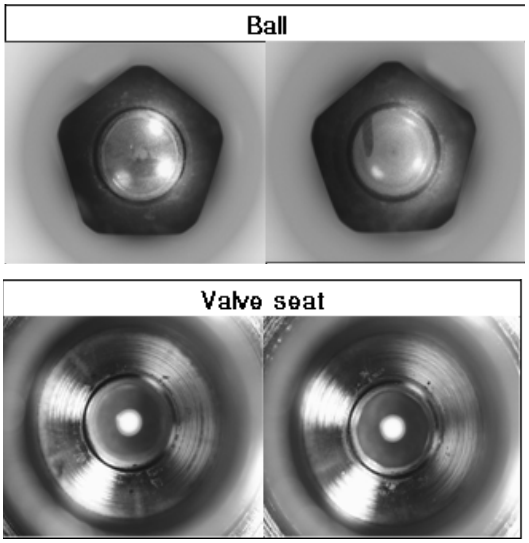

Fig. 10. Effect of spring elasticity on durability of developed LPi injector 's ball and valve seat with different spring elasticity (after 5.0×10^8 times of operation durbility test)

0.0145, 0.062 mg/lift로서 초도 개발품의 경우 작동내구시험 후의 유량이 약간 증가하는 반면, 스프링이 변경된 시작품의 경우 내구시험 전후의 유량값의 차

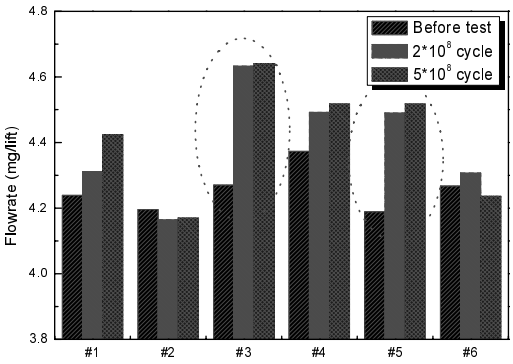

Fig. 11. Flowrate characteristics of conventional LPi injector.

이가 크지 않았다. 그러나 모든 시험 샘플의 내구시험 전후 유량편차가 3~5%의 사이의 값을 보여 목표 성능을 만족하였다. 인젝터의 볼과 밸브시트의 표면을 SEM 촬영한 결과인 Fig. 9와 Fig. 10에서 볼 수 있는 것과 같이 두 조건 모두에 대해서 면접촉을 하는 실링(sealing) 부위에 부식 또는 텅스텐 카본 카바이드(WCC) 코팅 박리가 발견되지 않았다.

타사에서 생산되고 있는 LPi용 인젝터에 대해서도 동일한 시험을 수행하여 유량을 비교한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 초기 유량값은 개발품들과 비슷한 수준을 보였으나, 3번과 5번 샘플에서 2억 회의 작동내구시험 후 유량값이 크게 증가하여 내구시험 전 대비 유량편차가 각각 8.52%, 7.18%로 나타났다.

3.2. 노즐 형상 변경에 의한 영향

낮은 기화온도를 갖는 LPG가 액상으로 흡기매니폴드에 분사되면 연료의 기화잠열에 의해 연료 분사 노즐부가 냉각되어 주위공기 중에 함유되어 있는 수분이 노즐부위에 얼어붙는 아이싱 현상이 발생하게 된다. 이때 연료의 출구에 저온부의 형성으로 인하여 연료의 일부가 기화되지 못하고 흘러나와 떨어지는 후적현상이 동반되어, 결과적으로는 연소실에 공급되는 연료량에 변화를 주거나 노즐부에 생성된 얼음이 계속적으로 떨어져 나감으로써 엔진의 성능에 악영향을 미치게 된다[6-8].

차량에 적용되는 LPi 인젝터의 경우 후적 및 아이싱 현상의 방지를 위하여 아이싱 방지용 튜브를 노즐의 끝단에 위치하도록 하고 있으나, 아이싱 방지용 튜브와 노즐 끝면 사이의 공간에서 아이싱이 발생하여 노즐의 입구를 막는 현상이 발생할 수 있기 때문에 이의 적용을 위한 설계도 중요하다. 본 연구에서는 개발 인젝터의 상대 조립품인 아이싱 방지용

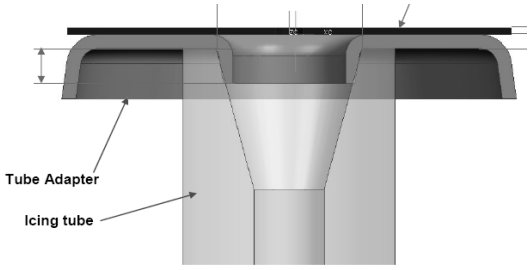

Fig. 12. Nozzle design for icing tube.

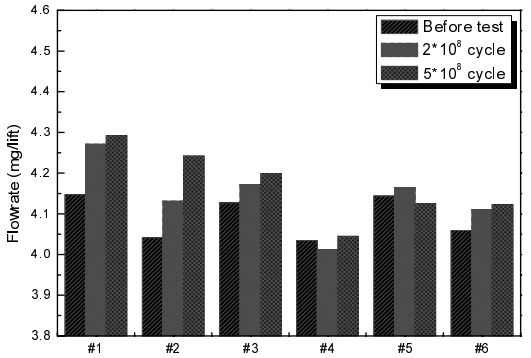

Fig. 13. Effect of nozzle shape on flowrate of developed LPi injector.

튜브의 조립시 노즐 끝면과의 공간을 최소화하기 위하여 Fig. 12와 같이 노즐의 형상을 변경하였다.

튜브 어댑터를 적용하고 기존의 분무공(Spray hole)을 대체할 수 있는 오리피스 (Orifice plate)를 장착하였으며, 6개의 샘플에 대하여 작동내구시험 전후의 유량특성을 비교하였다. 시험 전후의 유량은 초도 개발품과 거의 같은 값을 보였으며, 작동내구시험 후의 평균 유량값이 시험 전에 비해 약간 증가하였다. 일부 샘플의 경우 작동내구시험 후 유량의 증가폭이 크게 나타났으나, 5억회 작동내구 후의 유량편차가 가장 큰 2번 샘플의 경우 3.96%로서 목표 성능에 벗어나지 않았다.

V. 결 론

본 연구에서는 LPi 시스템의 핵심 부품인 인젝터의 국산화 개발을 목표로 하여 내구성 및 신뢰성 향상을 위해 채택된 디자인이 적용된 인젝터를 개발하여 작동내구시험 전후의 누설량 및 유량특성을 비교하였다. 초기 누설량의 감소를 위해 강성이 큰 스프

링을 적용하여 요구 유량을 만족하고 작동내구시험 후에도 유량의 변화가 크지 않았다. 아이싱 방지용 튜브의 조립시 노즐 끝면과의 공간을 최소화하기 위해 튜브 어댑터를 적용하고 기존의 분무공을 대체할 수 있는 오리피스를 장착한 경우 일부 샘플의 작동내구시험 후 유량의 증가가 있었으나 그 편차가 5% 이내로 요구성능을 만족하였다.

참고문헌

[1] M. E. Payne, J. S. Segal, M. Newkirk, L. R. Smith, "Use of butane as an alternative fuel emissions from a conversion vehicle using various blends", SAE 952496, 1995.

[2] D. Baik, "A Study on Emission Characteristics in A LPG Vehicle", transaction of KAIS, Vol. 7, No. 6, 993-997, 2006.

[3] K. Kang, D. Lee, S. Oh, C. Kim, "Performance of an liquid phase LPG injection engine for heavy-duty vehicles", SAE 2001-01-1958, 2001.

[4] K. Yeom, J. Park, J. Jang, S. Moon, C. Bae, J. Park, S. Kim, "The Feasibility Test of Top-Feed Type Injector for Liquid Phase LPG Injection", KSAE Spring conference, 1847-1852, 2006.

[5] W. Lee, I. Kim, S. Yang, "Development of HMC Mono LPG Injection System", KSAE Spring conference, 159-167, 2004.

[6] C. Park, C. Kim, K. Choi, K. Kang, "Characteristics of Icing Phenomenon with droplet of an Injector for Liquid Phase LPG Injection System", Transaction of KSAE, Vol. 15, No. 5, 1-9, 2007.

[7] B. Lutz, R. Stanglmaier, R. Matthews, J. Cohen, "The Effects of Fuel Composition, System Design and Operating Conditions on In-System Vaporization and Hot Start of a Liquid-Phase LPG Injection System", SAE 981388, 1998.