



차량용 CNG 레귤레이터의 성능특성에 관한 연구

†김창기 · 박철웅

한국기계연구원

(2007년 9월 4일 접수, 2007년 11월 7일 채택)

A Study on Performance Characteristics for a CNG Regulators of Automotive Vehicle

†Changgi Kim · Cheolwoong Park

Korea Institute of Machinery and Materials

(Received September 4 2007, Accepted November 7 2007)

요 약

천연가스 자동차에 탑재되어 있는 연료압력 레귤레이터는 연료분사시스템의 압력을 일정하게 유지하는 역할을 한다. 연료압력의 정확한 제어는 천연가스 자동차가 가지고 있는 높은 효율성과 청정성을 십분 활용하기 위해서 반드시 필요한 사항이다. 본 연구에서는 천연가스 레귤레이터의 성능을 정확하게 평가할 수 있는 고압시험장치를 구축하였으며, 이 장치를 이용하여 두 가지 방식의 천연가스 레귤레이터를 평가하고 상호 비교를 하였다. 레귤레이터 밸브시스템의 설계에 따라 여러 가지 레귤레이터 성능 특성 중 동적응답과 Creep 특성이 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 레귤레이터 입구 압력이 높을 경우 출구 가스의 온도가 급격히 감소하는 것으로 나타남으로써 아이싱문제를 효과적으로 방지할 수 있는 방안이 마련되어야 함을 확인할 수 있었다.

Abstract – The fuel pressure regulator mounted on CNG vehicles is used to maintain a constant pressure in the fuel injection system. It needs precise fuel pressure control to obtain benefits of high efficiency and low emissions in CNG vehicles. In this study, a high pressure test rig for the performance evaluation of CNG regulators was introduced. Two different CNG regulators were tested and compared each other at various test conditions. Results showed that dynamic response and creep characteristics are directly effected by the valve assembly design. Gas temperature was dramatically dropped at high supply pressure conditions, so that effective design for coolant bowl is needed to prevent icing problem.

Key words : CNG, Regulator, Diaphragm, High pressure gas, Pressure test rig

I. 서 론

천연가스 자동차에서 정밀한 연료공급을 위해서는 인젝터에 공급되는 연료압력 및 온도가 연료유량변화와 탱크압력조건변화에 관계없이 허용치 이내로 유지되는 것이 바람직하다. 비록 연료압력과 온도에 대해 ECU(Engine Control Unit)에서 분사량을 보정하도록 되어있지만 과도한 이탈은 보정의 한계를 넘어 실화(misfire)나 이상연소(knocking)를 유발한다. 따라서 레귤레이터는 어떠한 운전조건에서도 연료압력과 온도를 허용치 이내로 유지할 수 있도록 설계되어야 하며 감압에 의한 아이싱현상과 오일 등 이물질에 의한 성능

저하가 수반되지 않아야 한다.

현재 국내의 경우 천연가스 자동차의 보급이 확대되고 있을 뿐만 아니라 수출수량도 점차 늘어나고 있지만 사용 중인 연료시스템은 연료탱크를 제외하고 대부분 수입에 의존하고 있다. 특히 연료시스템의 핵심부품인 레귤레이터는 고가로 수입되고 있기 때문에 국내 자동차사의 가격 경쟁력을 확보하는 차원에서 빠른 시일 내에 국산화를 이루어야 할 시급한 부품이다.

천연가스레귤레이터의 기술개발은 향후 미래 에너지로 인식되는 수소연료의 사용을 위해서도 반드시 거쳐야 할 기술로 평가받고 있다. 가스 레귤레이터의 특성상 천연가스와 수소 연료에 사용될 레귤레이터의 구조와 특성, 그리고 요구 성능은 상호 유사한 점을 가지고 있다. 따라서 고압(350 bar 또는 700 bar)의 수소 레귤레

†주저자:cgkim@kimm.re.kr

이터를 개발하기 위해서는 수소보다 압력이 낮고 분자 구조가 커 접근이 보다 용이한 천연가스 레귤레이터의 개발이 선행되어야 하며 국산화를 통해 기술이 축적됨으로써 앞으로 다가올 수소 연료시대에 대비하여야 할 것이다.

본 연구의 목적은 국산화 개발될 자동차용 천연가스 레귤레이터를 대상으로 성능시험을 수행함으로써 성능 및 특성개선을 위한 설계 자료를 도출하는데 있다. 이를 위하여 실제 자동차에서 천연가스 레귤레이터에 적용되는 조건과 동일조건을 부여할 수 있는 시험평가 장치를 제작하고 이를 통하여 레귤레이터의 주요 성능과 특성을 파악할 수 있도록 하였다.

II. 실험장치

천연가스 레귤레이터의 성능을 테스트할 성능평가 장치는 가능한 한 실제 자동차와 유사한 환경과 운전 조건을 레귤레이터에 제공할 수 있도록 하는 것이 유리하다. 본 연구에서는 레귤레이터 성능에 직접적인 영

향을 미치는 변수인 공급압력, 공급유량, 냉각수 온도 등을 실제 상황에 맞게 모사할 수 있도록 성능평가 장치를 구성하였으며, 천연가스 버스에서 사용하는 레귤레이터 주위 부품들을 최대한 사용함으로써(Fig. 2 참조) 유동특성이나 온도특성이 실제 상황에 가깝도록 하였다. 천연가스 레귤레이터의 성능을 테스트할 성능평가 장치의 구성을 간단하게 나타내면 Fig. 1과 같다. 성능평가 장치는 크게 가압장치, 고압탱크 시스템, 레귤레이터, 측정시스템, 유량제어밸브, 냉각수 모사시스템, 제어 및 데이터 획득시스템으로 구성되어 있다. 평가 장치에 사용되는 시험 가스는 안전상 천연가스를 직접 사용하지 않았으며 질소가스로서 대신하였다.

최대 300 bar까지 저장이 가능한 고압탱크 시스템은 단순히 고압의 가스를 저장하는 것뿐만 아니라 레귤레이터에 일정한 압력의 시험가스를 공급할 수 있도록 구성되어 있다. 성능평가 시험 과정에서 가스 사용에 따라 공급압력이 변화하게 되면 레귤레이터의 정확한 성능을 파악할 수 없다.

Fig. 2에 나타난 고압탱크 시스템은 총 9개의 탱크로 구성되어 있는데, 여기서 1개의 탱크(저압측)는 시험 레귤레이터에 가스를 직접 공급하며, 다른 8개의 탱크(고압측)는 시험에 사용된 가스를 저압측 탱크에 계속 보충해 줌으로써 저압측 탱크가 항상 일정한 압력이 유지될 수 있도록 한다. 이러한 기능을 만족시키기 위하여 고압측 8개의 탱크와 저압측 1개의 탱크 사이에는 Cv 값이 매우 큰 별도의 레귤레이터가 설치되어 있다.

실험에 사용된 레귤레이터는 Reg1, Reg2 두 가지로써 그 모습을 Fig. 3에 나타내었으며, Table 1에는 천연가스버스 레귤레이터의 일반적인 요구특성을 나타내었다. Reg1과 Reg2는 레귤레이터 내의 밸브시스템과 이상 방지를 위한 Coolant bowl 구조가 다르게 설계되

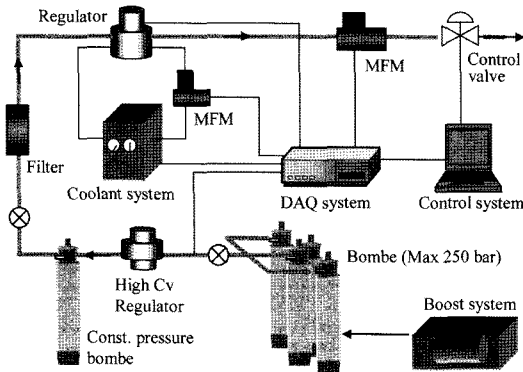


Fig. 1. Schematic diagram of CNG regulator performance test bench.

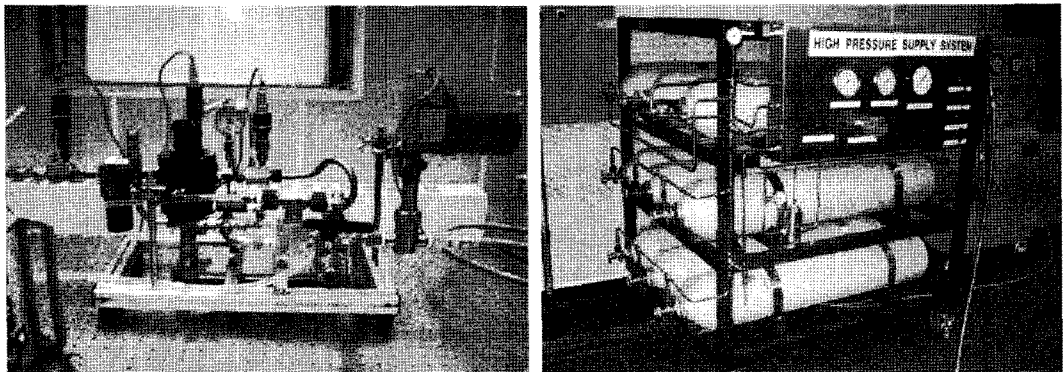


Fig. 2. Photographs of regulator & accessories (left) and high pressure tank system (right).

Table 1. Requirements of CNG regulator for heavy duty vehicle.

Item	Specification
Regulated Media	Compressed Natural Gas (CNG)
Maximum Inlet Pressure	3600 PSIG (248 bar)*
Minimum Inlet Pressure	250 PSIG (17.2 bar)
Nominal Outlet Pressure Range	99~125 PSIG (6.83~8.63 bar)
Flow Rate (CNG)	0~125 lb/h (0~57 kg/h)
Maximum Droop	10 PSIG (0.69 bar)
Maximum Supply Effect	4 PSIG _{Outlet} /1000 PSIG _{Inlet}
Temperature Range	-40~257 F (-40~125°C)
Internal Filtration	40 micron Sintered Element

어있다. 밸브시스템의 구조는 레귤레이터의 주요 특성 중 하나인 overall window에 직접적인 영향을 미치며 coolant bowl의 구조는 Joule Thomson 효과에 의한 출구 가스 온도 강하 억제와 관련이 있다.

III. 실험 결과

레귤레이터의 성능에서 가장 중요한 특성은 overall window로써 사용공급압력과 연료공급량의 운전범위에서 나타나는 출구압력의 변화폭으로 정의되며 Fig. 4에는 두 레귤레이터의 실험결과를 보여주고 있다. 실험에 적용된 공급압력은 50, 100, 150, 200 bar이며 각 공급압력은 전 유량범위에 걸쳐 ± 1 bar 이내로 일정하게 유지되었다. 유량은 최대 100 kg/h(N₂)로서 천연가스의 60 kg/h에 해당하는 부피유량으로 상사되었다.

결과에 나타난 Reg1과 Reg2의 overall window는 모두 0.7 bar로써 연료를 원활히 공급하는데 전혀 지장이 없는 우수한 특성이다. 두 레귤레이터의 overall window가 비슷한 수치를 나타내지만 이를 구성하는 creep, drop, supply effect 등 세부적인 특성에 있어서는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. Reg1의 경우 유량 초기에 나타나는 creep이 상대적으로 작은 반면 Reg2는 유량변화에 따른 출구압력 변화인 drop과 공급압력 변화에 따른 출구압력 변화인 supply effect가 상대적으로

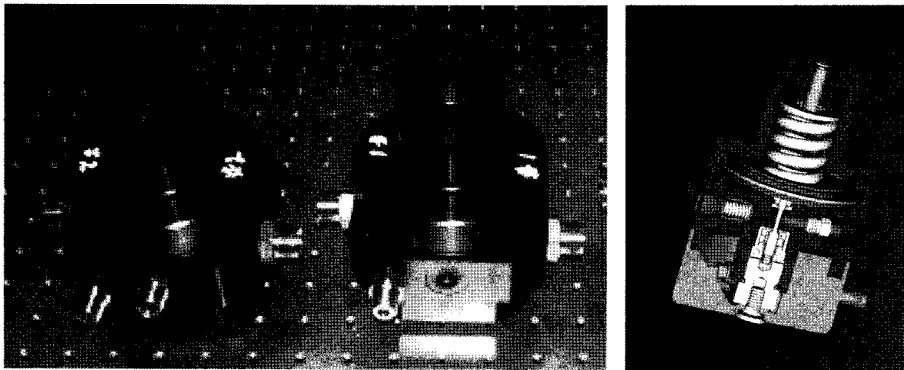


Fig. 3. Photographs of CNG regulators and 3D model of interior structure.

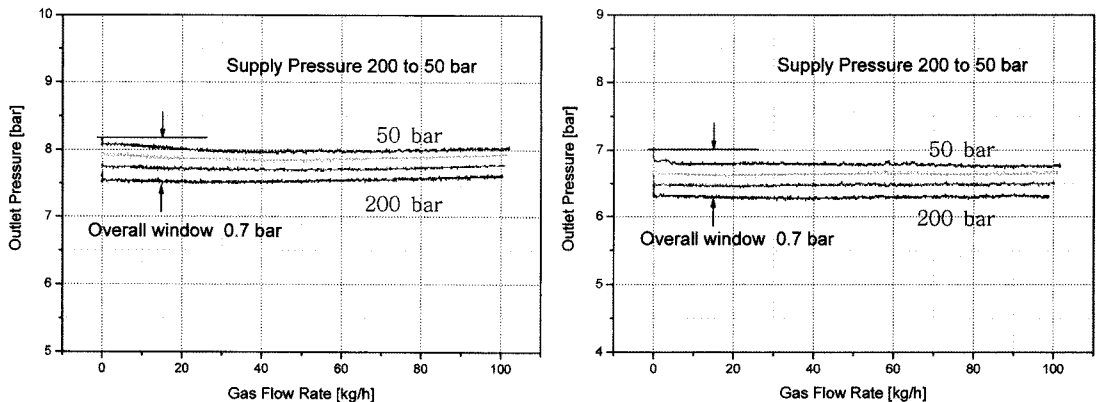


Fig. 4. Characteristics of overall window for Reg1 (left) and Reg2 (right).

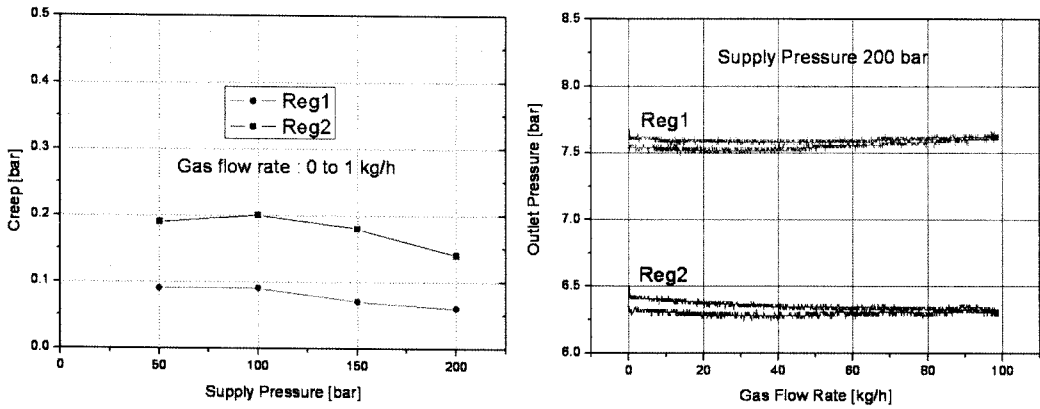


Fig. 5. Characteristics of creep (left) and hysteresis (right) for Reg1 and Reg2.

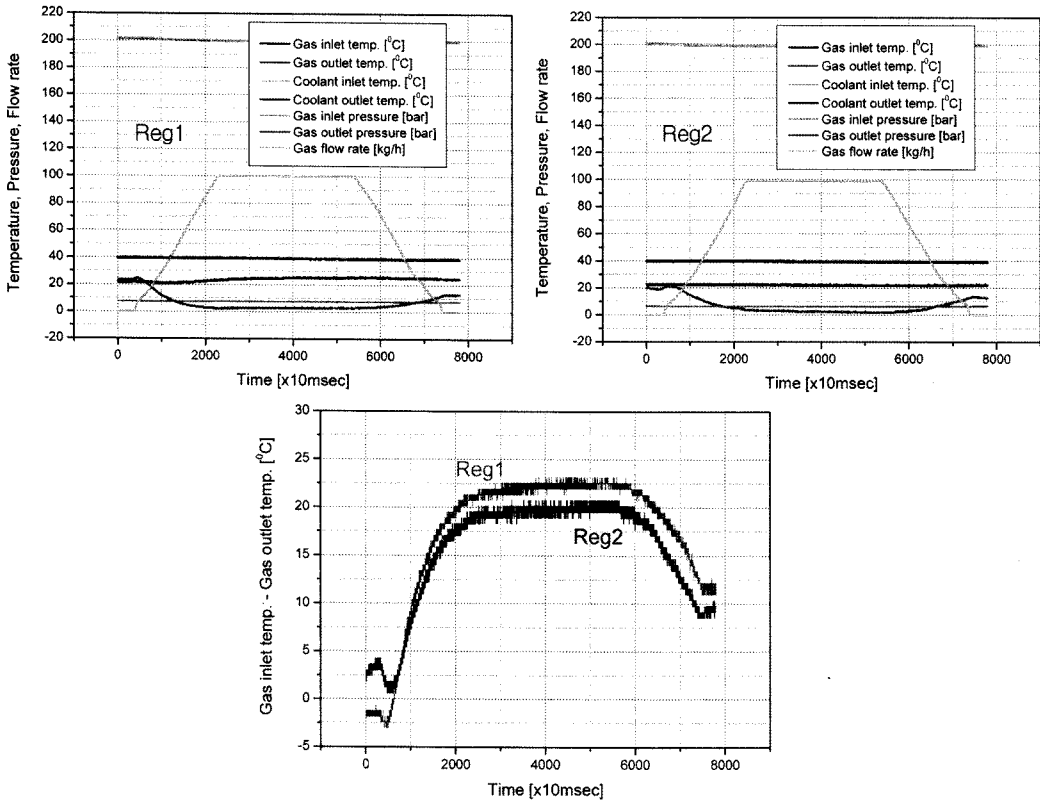


Fig. 6. Cooling performance of coolant bowl for Reg1 (left) and Reg2 (right).

작은 값을 가진다. 두 레귤레이터 모두 drop과 supply effect가 Table 1에 명기된 제원을 모두 만족함을 확인할 수 있다.

Reg1이 밸브와 다이어프램이 완전 종속되어 있는 반면 Reg2는 닫히는 방향으로 독립적인 구조를 가지고 있다. 이러한 영향으로 Fig. 5(좌)와 같이 닫힐 때의 힘이 더 작은 Reg2의 creep은 Reg1 보다 크게 나타나며

이 경우 Reg2의 hysteresis(Fig. 5(우) 참조)도 함께 증가하는 경향을 보였다.

고압의 가스가 저압의 가스로 조절되는 레귤레이터는 Joule Thomson 효과에 의해 레귤레이터의 출구 가스온도가 급강하하는 특성이 있다. 온도 강하의 범위는 입출구 가스의 압력비가 클수록 더 크게 나타나며 경우에 따라서는 아이싱 분체가 발생하여 레귤레이터의

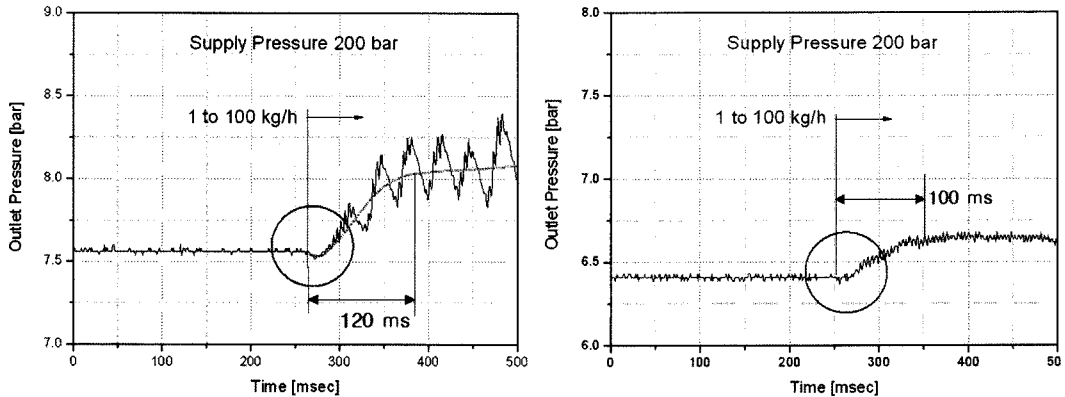


Fig. 7. Characteristics of dynamic performance for Reg1 (left) and Reg2 (right).

성능을 악화시킬 수 있다. 레귤레이터에 있는 coolant bowl은 고온의 엔진 냉각수를 순환시켜 과도한 온도 강하를 방지하는 역할을 하기 때문에 입구 가스온도와 출구 가스온도의 차이가 작을수록 coolant bowl 설계가 효과적으로 이루어졌다고 할 수 있다.

다음의 Fig. 6은 coolant bowl의 성능을 파악하는 결과로서, 실험은 유량이 없는 상태에서 시작하여 최대 유량(100 kg/h)까지 도달한 다음 약 32초를 유지하고 다시 유량을 줄이는 방법이 적용되었다. Joule Thomson 효과를 극대화하기 위해 공급압력은 200 bar로 설정하였으며, 냉각수 온도는 40°C, 유량은 3.6 l/min으로 고정하였다. 실험결과 Reg2의 온도강하 차이가 작게 나타나 더 효과적인 설계가 이루어졌음을 알 수 있다. Reg2는 밸브시스템을 간소화시킨 공간을 활용하여 열전달 면적이 넓어질 수 있는 방법을 채택한 경우이다.

레귤레이터의 또 다른 중요한 특성은 동적 응답특성으로서 급격한 유량변화에 대한 출구 압력의 변동성을 나타낸다. Fig. 7은 최소 유량조건(1 kg/h)에서 최대 유량조건(100 kg/h)로 순간적으로 변화할 때 레귤레이터의 출구압력을 측정된 것이다. Reg1과 Reg2의 경우 출구압력의 순간적인 강하현상은 무시할 정도이지만 응답특성은 밸브시스템을 간소하게 설계한 Reg2가 Reg1 대비 약 20 msec 더 빠른 것으로 나타났다.

IV. 결 론

천연가스 자동차에서 사용하는 레귤레이터의 특성을 파악하기 위해 성능 평가 장치를 구축하였으며 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 성능 평가 장치는 자동차에서의 조건과 최대한 유사하도록 구성하였으며 일정 압력을 공급할 수 있는 시

스템과 자동 유량제어 시스템을 통해 레귤레이터의 주요 특성을 왜곡없이 파악할 수 있었다.

2) 밸브시스템이 다르게 설계된 두 개의 레귤레이터를 테스트한 결과 creep은 단힐 때 밸브가 다이어프램과 연동할 수 있는 구조가 유리하며 동적 응답특성은 밸브시스템을 간소한 경우가 유리한 것으로 나타났다.

3) Coolant bowl은 가능한 한 열전달 면적을 높일 수 있는 구조가 효과적이며 이를 성능 평가 장치를 통해 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Chien-Ping Pan, Min-Chung Li and Syed F. Hussain, "Fuel Pressure Control for Gaseous Fuel Injection Systems", SAE paper 981397, (1998)
- [2] Toshiyuki Suga, Ben Knight and Sakuji Arai, "Near Zero Emissions Natural Gas Vehicle, Honda Civic Gx", SAE paper 972643, (1997)
- [3] John S. Heenan, "Fuel System Pressure Control Improves NGV Performance", SAE paper 960851, (1996)
- [4] Oh, P.K., "Substitute Fuel (LPG, CNG) engine Development for the Automobiles", *The Journal of Research Institute for Engineering & Technology*, **16**, 825-838, (1997)
- [5] Flavio Corradini and Maurizio Togninelli, "Gas Pressure Regulation to Drive LPG/CNG Systems with Standard Gasoline ECU", SAE paper 2003-01-0709, (2003)
- [6] Kichiro Kato, Kohei Igarashi, Michihiko Masuda, Katsuji Otsubo, Akio Yasuda, Keiso Takeda, and Toru Sato, "Development of Engine for Natural Gas Vehicle", SAE paper 1999-01-0574, (1999)