KIGAS Vol. 21, No. 3, pp 33~38, 2017
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2017.21.3.33

CNG 레귤레이터의 제어 방식에 따른 성능특성 연구

†서지원 · 양정직 · 김진호 · 임종완*
자동차부품연구원, *동방테크 주식회사
(2017년 4월 9일 접수, 2017년 6월 9일 수정, 2017년 6월 10일 채택)

A Study on Performance Characteristics with the Control System of CNG Regulator

†**Ji-Won Seo · Jeong-Jik Yang · Jin-Ho Kim · Jong-Wan Lim***
Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Cheonan-si, Chungnam, Korea
**Dong Bang Tech Co., Ltd, 279-5 Hakjang-dong, Sasang-gu, Busan-si, Korea*
(Received April 9, 2017; Revised June 9, 2017; Accepted June 10, 2017)

요 약

국내 CNG Bi-fuel Kit를 개조한 차량들은 대부분 Diaphragm 감압방식을 적용한 기계식 레귤레이터를 장착하여 운행 중에 있다. 하지만 Diaphragm의 재질 특성 및 기계식 압력제어 방식의 특성 상 다양한 문제점들이 발생되고 있으며, 이를 개선하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 CNG 차량용 레귤레이터의 압력제어 방식에 따른 성능특성 확인 및 비교 분석 진행을 통해 개선방안을 도출하고자 하였다. 실험 결과에 따르면 Diaphragm을 적용한 감압방식이 Piston을 적용한 방식보다 일반적인 성능에서 유리하였으나 주변 온도환경 변화에 따른 변동 폭이 큰 것을 확인하였다. 또한 전자식 압력제어를 통해 레귤레이터의 일반적인 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract - The domestic vehicles remodeling the “CNG Bi-fuel Kit” are mostly in operation with installing the mechanical regulator applying the Diaphragm. However, due to the material characteristics of Diaphragm and characteristics of mechanical pressure control method, various problems are happening. This study tries to deduce the improvement plan through the checking of performance characteristics according to the pressure control method of CNG regulator and progress of comparative analysis. According to the test result, the decompression method applying the Diaphragm has advantage compared to the method applying the Piston. Furthermore, it was confirmed that through the electronic pressure control, it is possible to improve the general performance of the regulator.

Key words : CNG vehicle regulator, Pressure control, Diaphragm, Piston, Electronic

I. 서 론

일반적으로 압축천연가스 (CNG, Compressed Natural Gas) 연료를 공급하기 위한 차량용 레귤레이터는 압축천연가스가 저장된 탱크로부터 15~250 bar 상태의 가스를 엔진의 부하와 탱크압력변화 그리고 주변 운전환경 변화에 대응하여 인젝터에서 요구하는 정압을 공급하는 기능을 수행하며, 레귤레이터에 의한 유량 및 압력 특성은 동력원에 직접적인 영향을 미치기 때문에 차량의 성능에 관여하는 주요한 구성품이라 할 수 있다.

CNG 레귤레이터는 압력제어 방식에 따라 크게 기계식과 전자식으로 구분할 수 있으며, 기계식 레귤레이터는 Diaphragm과 Piston을 활용한 감압방식으로 구분할 수 있다.(Fig. 1 참조) 국내 CNG Bi-fuel

†Corresponding author:seojw@katech.re.kr
Copyright ⓒ 2017 by The Korean Institute of Gas

Fig. 1. Photographs of diaphragm module (left) and piston module (right)

Kit를 개조한 차량들은 대부분 기계식 Diaphragm 감압방식의 레귤레이터를 장착하고 있으며, 아직까지 Piston 감압방식과 전자식 레귤레이터를 적용한 사례는 없다. 기계식 감압방식을 적용하고 있는 대부분의 레귤레이터는 출구유량 증가에 따른 출구압력이 크게 저하되는 현상이 발생되며, 이는 고속, 고부하 모드의 운전 영역에서 출력 저하의 원인이 될 수도 있다.

본 연구에서는 기존 기계식 레귤레이터에 대한 실험을 통하여 성능특성 확인 및 문제점을 도출하고자 하였다. 또한 전자식 가변압력제어 기술을 적용한 레귤레이터의 실험을 통하여 압력제어 방식에 따른 성능변화를 비교 분석하고 개선방안을 제시하고자 하였다.

Ⅱ. 실험장치

레귤레이터의 성능을 확인하기 위해 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 압축공기를 공급 및 저장할 수 있는 고압 컴프레셔와 탱크를 설치하였으며, 레귤레이터의 출구유량을 측정 및 제어하기 위해 질량유량계(SIERRA, 0~1,300 liter/min)와 공압식 비례제어밸브를 설치하였다. 그리고 주변 온도 환경 변화에 따른 레귤레이터의 성능변화를 확인하기 위해 온도 챔버를 개조하여 압력 공급라인을 연결하였다. (Fig. 3 참조)

실험은 기계식 레귤레이터 3종과 동방테크에서 개발한 전자식 레귤레이터 1종에 대해 진행하였다. 기계식 레귤레이터는 국내 CNG Bi-fuel Kit를 개조한 대부분의 차량에 장착되어 있는 Diaphragm 감압방식의 레귤레이터 2종(국내 제품)과 Piston 감압방식을 적용한 레귤레이터 1종(해외 제품)을 구매하여 진행하였다.

Fig. 4는 동방테크에서 개발한 전자식 레귤레이터 시제품의 모습과 구성을 보여주고 있다. Diaphragm을 적용한 2stage 감압방식의 레귤레이터이며, By Pass 유로제어를 통한 가변압력제어 방식으로 연료압력의 Feedback을 제어하여 세팅압력의 원활한

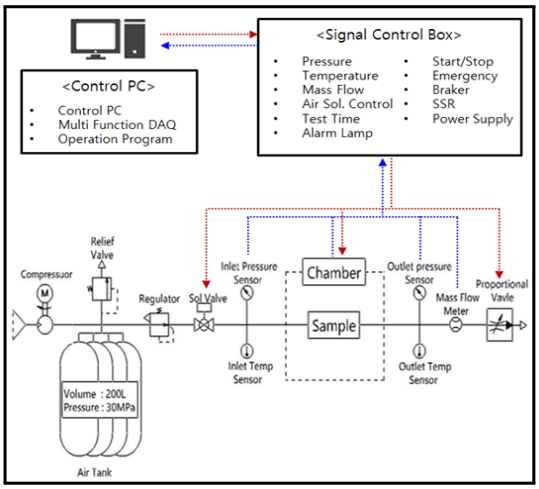

Fig. 2. Schematic diagram of CNG regulator performance test rig

Fig. 3. Photographs of temperature chamber (left) and flow control system (right)

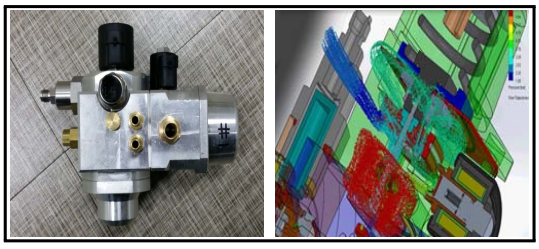

Fig. 4. Photographs of electronic regulator

공급이 가능하도록 설계되었다. 또한 By Pass 가변압력제어를 위한 Flow adjust valve 손상 시에도 안정적으로 기계식 감압기능이 유지 가능하도록 하이브리드 타입으로 설계되었다.

Ⅲ. 실험방법 및 결과

3.1. 기계식 레귤레이터 성능특성 확인

Fig. 5에는 CNG 레귤레이터 3종에 대한 Overall window 특성을 나타내었다. Overall window 특성은 CNG 레귤레이터의 입구 공급압력 변화에 따른 운전범위에서 나타나는 출구압력의 변화폭으로 정의할 수 있으며, 연료탱크의 저장압력 변화에도 CNG 레귤레이터가 인젝터에 일정한 압력을 공급할 수 있는지를 나타내는 지표라고 할 수 있다[1].

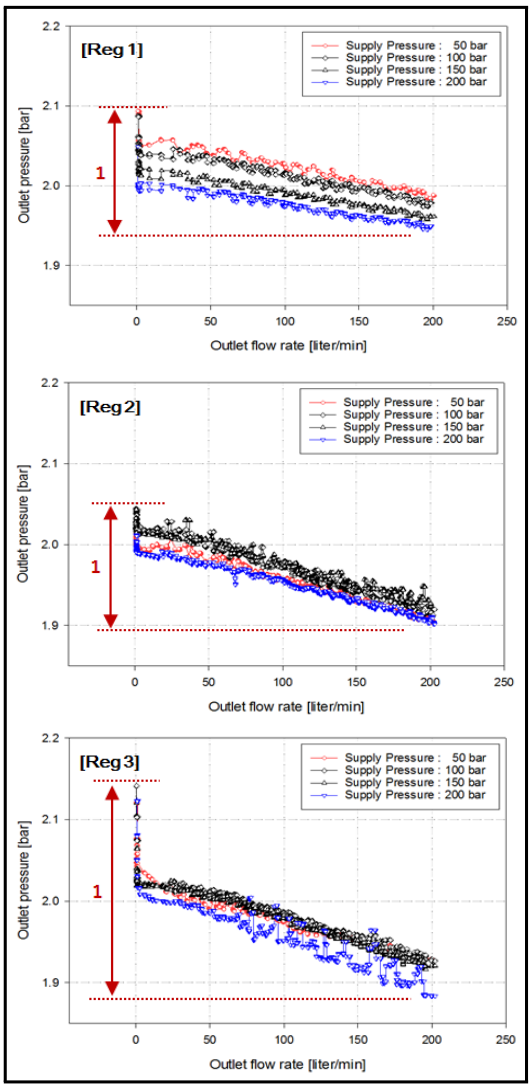

Fig. 5. Characteristics of overall window for Mechanical regulators

본 실험은 50, 100, 150, 200 bar의 입구 공급압력 조건에서 0~200 liter/min의 출구유량 범위에서 나타나는 출구압력의 변화를 관찰하였다. 안전을 위해 공압을 이용하였으며, 냉각수 공급 없이 상온에서 실험을 진행하였다. Table 1과 같이 실험에 대한 결과를 2개 조건으로 구분하여 나타내었으며, 실험결과 Diaphragm 감압방식이 Piston 감압방식보다 공급압력 및 유량 변화에도 보다 일정한 출구압력을 공급할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 6에는 Diaphragm 감압방식과 Piston 감압방식의 레귤레이터에 대한 응답성 측정 결과를 나타내었다. 응답성 측정을 위해 200 bar의 입구 공급

Table 1. Results of overall window

	1. Overall window	2. Overall window (초반 Drop 값 제외)
Regulator 1 (Diaphragm type)	0.15 bar	0.11 bar
Regulator 2 (Diaphragm type)	0.14 bar	0.13 bar
Regulator 3 (Piston type)	0.26 bar	0.16 bar

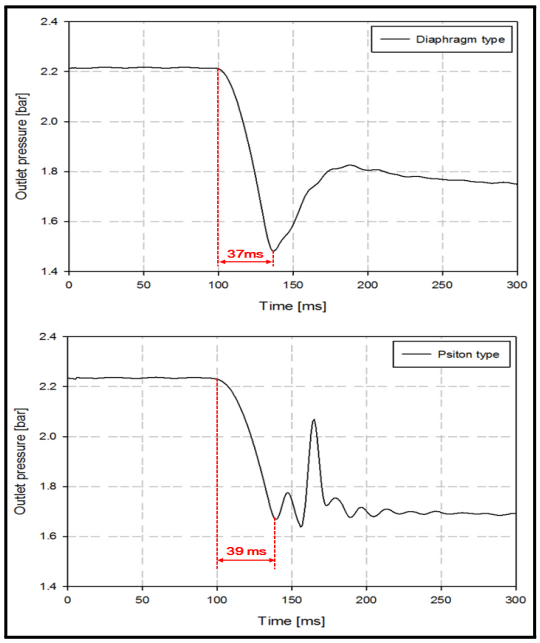

Fig. 6. Characteristics of responsibility

압력을 유지한 상태에서 출구유량을 0%에서 100%로까지 순간적으로 증가시켰으며, 이때의 출구압력 변화 및 소요시간을 측정하였다.

측정 결과 Diaphragm 감압방식을 적용한 레귤레이터의 경우, 0.7 bar의 압력강하가 진행되기까지 약 37 ms의 시간이 소요되었으며, Piston 감압방식의 경우 약 0.55 bar의 압력강하까지 약 39 ms의 시간이 소요됨을 확인하였다. 동일한 출구압력이 강하되었다고 가정한다면 Diaphragm 감압방식의 레귤레이터가 상대적으로 응답성이 빠르다고 할 수 있으며, 이는 감압부를 구성하고 있는 주요 재질과 고정부와의 접촉 면적 차이에 의해 나타난 결과라고 볼 수 있다.

Fig. 7에는 냉각수 적용 전, 후의 주변 온도환경

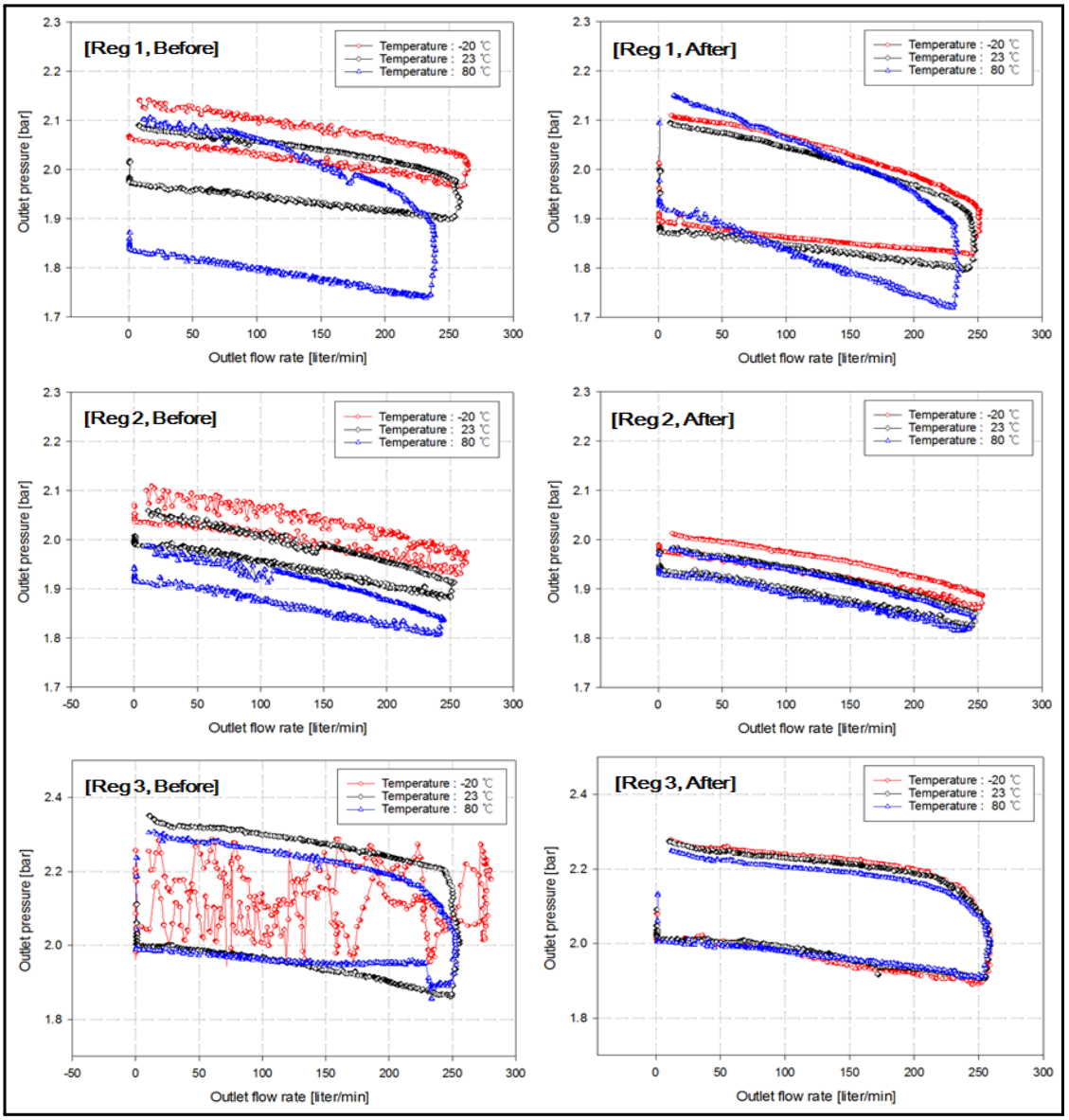

Fig. 7. Characteristics of hysteresis according to the temperature change

변화에 따른 Hysteresis 특성 변화를 나타내었다.

Hysteresis 특성은 운전범위에서 나타나는 출구 압력의 변화폭으로 정의되며, 이는 가·감속 시 동일 유량에서 나타나는 출구압력의 차이를 나타내는 지표라고 할 수 있다. 실험을 위해 온도 챔버에 레귤레이터를 장착한 후 -20, 23, 80℃의 온도환경을 구현하였으며, 냉각수는 70℃를 적용하였다. 입구 공급압력은 200 bar로 유지하였으며, 출구 유량 0~Max. liter/min 범위에서 나타나는 출구 압력의 변화폭을 관찰하였다. Fig. 7의 왼쪽에는 냉각수 적용 전의 실험 결과를 나타내었으며, 오른쪽에는 냉각수 적용 후의 결과를 나타내었다.

실험 결과 Diaphragm 감압방식의 레귤레이터(Reg 1, Reg 2)가 각 온도환경별 Hysteresis 성능은 상대적으로 우수하게 나타났으나, 고온 환경으로 갈수록 출구압력의 전반적인 분포가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 냉각수 적용에 따른 출구압력의 분포는 고온 환경의 결과와 유사한 경향으로 변동되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 Diaphragm의 재질 특성 상 주변온도 변화에 쉽게 반응하기 때문인 것으로 예측된다.

3.2. 전자식 레귤레이터 성능특성 확인

동방테크에서 개발한 전자식 레귤레이터 시제품을 대상으로 Overall window 특성과 Hysteresis 특성을 확인하였다. 주변 온도환경 적용 시 원활한 제어가 이루어지지 않아 상온 환경조건에서의 실험만 진행하였으며, 실험 방법은 기계식 레귤레이터와 동일한 조건으로 진행하였다.

Fig. 8에는 전자식 레귤레이터에 대한 성능 특성 결과를 나타내었다. Overall window 특성의 경우 0.08 bar(초반 drop값 제외 시 0.06 bar)로 기계식 레귤레이터보다 우수한 성능을 보였으며, Hysteresis 특성 또한 전 운전범위에서 일정하게 유지됨을 확인하였다.

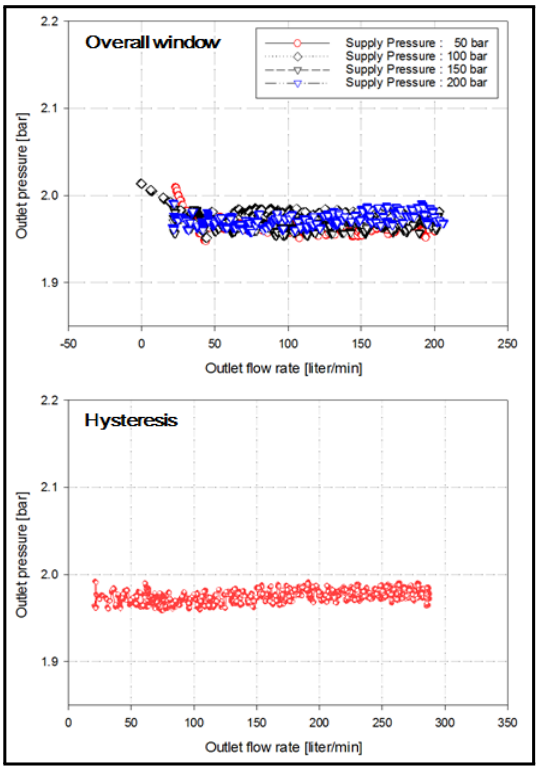

Fig. 8. Characteristics of electronic regulator

V. 결 론

CNG 차량용 레귤레이터의 기계식, 전자식 압력 제어 방식에 따른 성능특성을 확인하기 위해 실험장치를 구성하였으며, CNG 레귤레이터의 일반적인 성능 및 주변 온도환경 변화에 따른 성능변화를 확인 및 비교하였다.

(1) Diaphragm 감압방식을 적용한 레귤레이터의 경우, Piston 감압방식보다 일반적인 성능은 우수하였으나, 주변 온도환경 변화에 민감하게 반응하였으며, 이를 통해 Diaphragm의 재질, 냉각수 적용온도 및 라인설계 등이 성능에 영향을 미치는 주요 인자임을 확인하였다.

(2) Piston 감압방식 레귤레이터의 경우, 주변온도 변화에 큰 영향을 받지 않고 비교적 일정한 출구압력 확보에 유리하였으나, 일반적인 성능향상을 위한 개선작업이 필요함을 확인하였다.

(3) 전자식 가변압력 제어기술을 적용하여 기존 기계식 방식의 단점을 보완할 수 있음을 확인하였으며, 향후에는 양산제품에 대한 성능평가 및 엔진/차량 조건에서의 실험을 통하여 보다 다양한 조건에서의 성능 확인 및 비교를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “경제협력권산업육성사업”(과제번호 R0004792)으로 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

[1] Kim, C. G., and Park, C. W., "A Study on Performance Characteristics for a CNG Regulators of Automotive Vehicle", *KIGAS,* **11**(4), 12-16, (2007)

[2] Kim, M. K., Lee, Y. S., Choi, W. J., Kwon, O. B., and Park, J., "Analysis of Flow and Performance of Regulator for Clean Gas Supply System", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering,* **13**(1), 13-18, (2009)

[3] Cho, N. K., Chung, Y. G., Cho, I. H., "Investigation of Control Theoty on Pressure Drop Characteristics od Pneumatic Regulator for Gas Supply", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers,* **15**(2), 74-83, (2011)