



주변 온도환경 변화에 따른 가스 인젝터 성능 변화에 대한 연구

†김지윤 · 양정직 · 김진호 · 서지원 · 임종완*

자동차부품연구원, *동방테크 주식회사

(2018년 7월 3일 접수, 2018년 9월 12일 수정, 2018년 9월 13일 채택)

A Study on Performance Change of Gas Injector with Ambient Temperature Environment

†Ji-Yoon Kim · Jeong-Jik Yang · Jin-Ho Kim · Ji-Won Seo · 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 July 3, 2018; Revised September 12, 2018; Accepted September 13, 2018)

요약

본 연구에서는 CNG자동차 인젝터의 외부 환경온도에 따른 인젝터의 분사량을 분석하고자 한다. 특히 냉간 시동시와 같은 조건에서 분사량의 변화를 측정하여 저온환경이 가스인젝터 성능에 미치는 영향을 파악하고자 하며, 가스 인젝터 내부의 스프링 특성을 다르게 하여 실험을 진행 하였다. 실험 장치는 연료 공급부, 유량 측정부, 온도 챔버와 인젝터 제어부로 구성하였다. 실험결과를 통해 저온환경일수록 가스인젝터의 초기 분사량이 증가하였으며, 스프링길이 증가에 따른 니들의 열리는 시간(무효분사시간)이 지연됨을 확인하였다.

Abstract - This study tries to analyze the injection amount of injector according to the external environment temperature of CNG vehicle. Especially, We investigated the effect of low temperature environment on gas injector performance by measuring the variation of injection amount under the same conditions as in coldstart condition. This experimental compared two products with different spring characteristics. The experimental device consist of a fuel supply unit, a flowrate measurement unit, a temperature chamber, and an injector control unit (ECU). According to the test result, the initial injection amount of the injector is increased in the low temperature environment and the needle opening time is delayed according to the change of the spring length.

Key words : Natural Gas Vehicle, CNG Injector, Solenoid, Coldstart, Injection Control

1. 서론

CNG자동차 보급은 국내 대기오염 저감을 목표로 지속적으로 성장세에 있으며, 미세먼지 오염을 줄이기 위해 정부는 2016년 6월 발표한 미세먼지 관리 특별대책의 일환으로 기존 경유버스를 CNG 버스로 전환하는 방안, CNG버스에 유가보조금을 지급하는 방안의 정책을 고시한 바 있다.

메탄(CH₄)을 주성분으로 하는 천연가스는 옥탄

가가 높아 압축비를 높여도 엔진 노킹이 일어나지 않기 때문에 열효율과 출력을 향상시킬 수 있다.[1]

또한 가솔린과 경유 등 기존 자동차연료보다 연료비가 저렴하고 이산화탄소 배출량이 적어 경제성과 친환경성을 두루 갖추고 있는 것이 특징으로 많은 연구기관에서 CNG 자동차용 부품 개발을 진행 중에 있다.[2]

가스인젝터는 레귤레이터에서 공급받은 연료를 엔진에 공급하는 역할을 하며 가스인젝터의 분사량에 따라 엔진의 출력에 영향을 미치게 된다[3].

천연가스 차량은 일반 가솔린차량과 같이 연료 공급방식에 따라 다음과 같이 구분된다. 1세대인

†Corresponding author:jykim1@katech.re.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

믹서방식, 2세대인 TBI방식(흡기관 입구 분사), 3세대인 MPI방식(흡기관 각 기통별 연료량을 제어하는 방식)으로 구분된다.[4] 본 실험에 사용한 가스인젝터는 MPI방식으로 각 흡기관에 인젝터를 설치하는 방식으로 밸브 오버랩 구간의 신기 손실을 예방하여 HC의 발생을 억제하고 연료공급지점에서 연소실까지의 체류시간이 감소하여 가감속시 응답능이 향상되고 공연비 제어의 정밀도 향상시키는 장점이 있다.[5]

CNG엔진에서 연료의 낮은 밀도와 높은 압축성으로 인해 니들 이동에 따른 유량변동을 분석한 내부유동해석을 연구[6]한 내용을 참고하여 가스인젝터의 분사량은 분사시간, 연료의 상태, 환경요인(온도, 습도), 구조 등의 조건에 따라 달라지며, 그 중 연료 및 주변환경의 온도 변화가 가스인젝터의 분사량에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다.

이 실험에서는 가스인젝터의 외부 환경온도에 따른 가스인젝터의 분사량을 분석하고자 한다. 특히 저온에서의 차량 시동시에 분사량 제어와 관련된 실험을 진행하며, 이는 CNG차량의 경우 겨울철에 시동불량이거나 시동 후 자주 꺼지는 현상에 착안하여 저온환경이 가스인젝터에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

II. 실험장치

가스 인젝터의 성능을 확인하기 위해 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 Compressor에서 생성된 Dry Air를 레귤레이터를 거쳐 2 bar의 압력으로 공급한다. Air의 온도 및 압력을 측정하기 위하여 관로에 온도센서와 압력센서를 연결하였으며, 에어관로는 가스인젝터의 주변온도 조건

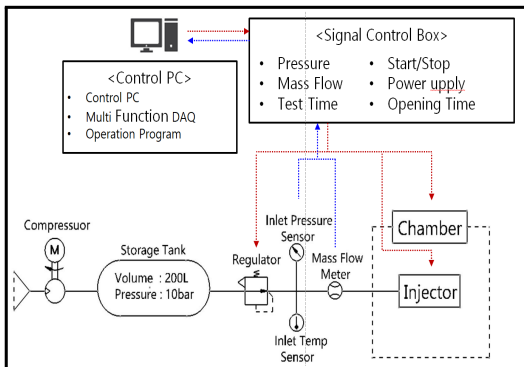


Fig. 1. Schematic diagram of CNG injector Performance test rig.

을 유지시킬 수 있는 챔버와 연결하였다.

가스 인젝터는 챔버 내에 위치시킨 후 특정 온도에서 1시간 이상 방치하여 실제 냉간시동 상태와 비슷한 환경을 조성하였다. 입구압력은 2 bar로 일정하게 유지시킨 상태에서 가스인젝터 분사시간 및 엔진 RPM을 가스인젝터 ECU를 통해 제어할 수 있도록 한다.

각 센서(온도센서, 압력센서, 유량센서)는 제어PC와 연결하였으며, 이때 유량센서는 Bronkhorst社의 0~500 LPM 측정범위의 제품을 사용하였으며, 인젝터의 분사량을 정밀측정하기 위해 1000 S/s의 샘플링으로 LABVIEW 프로그램을 통해 데이터 취득 하도록 구성하였다

본 실험에 사용한 가스 인젝터는 솔레노이드 인젝터이며, 사양은 Table 1과 같다. 노즐 직경은 2.1 mm, 최대분사압력은 7 bar, 실험시에 인가전압은 14 V이며, 인젝터는 스프링 길이를 다르게 하여 제작된 2종류의 총 8개의 샘플을 이용하여 스프링과 분사량에 대한 상관관계를 파악하며, 질량유량계를 사용하여 분사량을 측정 및 분석하였다.



Fig. 2. Picture of Injector test chamber.

Table 1. Specification of Injector

Specification	A type (BLUE)	B type (RED)
Spring Length	7mm	11mm
Type	Solenoid Type	Solenoid Type
Tip Diameter	2.1	2.1
Coil Resistance	1.6 Ω	1.6 Ω
Max Pressure	7 bar	7 bar
Input Voltage	12 -16 V	12 -16 V



Fig. 3. Picture of injector.

Fig. 3에서 좌측은 7mm 스프링을 사용한 인젝터이며, 우측은 11mm의 스프링을 사용한 인젝터로 두 종류의 가스 인젝터로 진행하였다.

III. 실험방법 및 결과

3.1. 가스 인젝터 유량 변화 확인

본 실험에서는 가스인젝터의 외부 환경온도에 따른 인젝터의 분사량을 분석하고자 한다. 특히 CNG차량의 경우 겨울철에 시동불량이거나 시동 후 자주 꺼지는 현상에 착안하여 저온환경이 가스인젝터에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

본 실험의 조건은 Table 2와 같으며, 챔버의 온도는 특정 대기온도의 조건과 같은 환경을 구성하였으나 에어 컴프레서에서 공급하는 유체의 온도는 25 °C로 실제차량의 겨울철 냉간시동시에 연료호스에 공급되는 연료온도와 다른 조건으로 유체온도가 이 실험의 한계점으로 작용한다.

주변 환경온도를 조성하기 위하여 챔버 온도를 -40 °C에서 30 °C까지 10 °C 간격으로 온도를 변경하며 실험을 진행을 하였으며, 인젝터는 각 온도 환경에서 1시간 이상 방치한 결과 인젝터의 표면온도는 챔버 설정온도와 같아지며 이때 인젝터에 분사신호를 인가하여 실험하였다.

Table 3은 A type 인젝터의 챔버온도별 분사량을 측정된 결과이다. Fig.4는 분사 후 시간에 따른 분사량의 변동 추이를 나타낸다. 같은 온도에서의 모든 가스 인젝터의 분사량을 비교하면 환경온도가 저온일 때 분사량이 평균 30 LPM으로 초기에 높고, 입력되는 유체의 온도가 상온이기에 점차 유

Table 2. Test condition

Item	Contents
Fluid	Dry Air (room temperature)
Gas injector ambient Temperature	-40 °C ~ 30 °C (10°C interval test)
Gas injector leave time	Left in the chamber for one hour at each temperature
Inlet Pressure	2 bar
Injection control method	Peak & hold
Injection time	5 ms

Table 3. Test result A type

Temperature	Flow rate (LPM)	
	Initial	5 min after injection
-40 °C	38	23
-30 °C	28	20
-20 °C	24	19
-10 °C	21	18
0 °C	18	17
10 °C	17	16
20 °C	16	15
30 °C	15	15

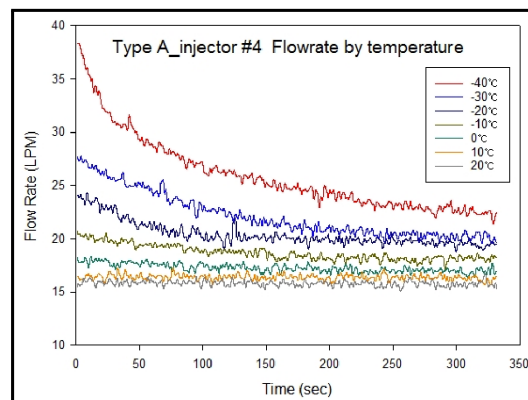


Fig. 4. Flowrate of A type of by temperature.

Table 4. Test result B type

Temperature	Flow rate (LPM)	
	Initial	5 min after injection
-40 ℃	31	21
-30 ℃	25	20
-20 ℃	23	18
-10 ℃	19	17
0 ℃	17	16
10 ℃	16	16
20 ℃	15	15
30 ℃	15	14

Table 5. Comparison of injection by temperature

Temperature	Initial flow rate (LPM)		
	A type	TypeB	△(A-B)
-40 ℃	38	31	7
-30 ℃	28	25	4
-20 ℃	24	23	1
-10 ℃	21	19	2
0 ℃	18	17	1
10 ℃	17	16	1
20 ℃	16	15	1
30 ℃	15	15	0

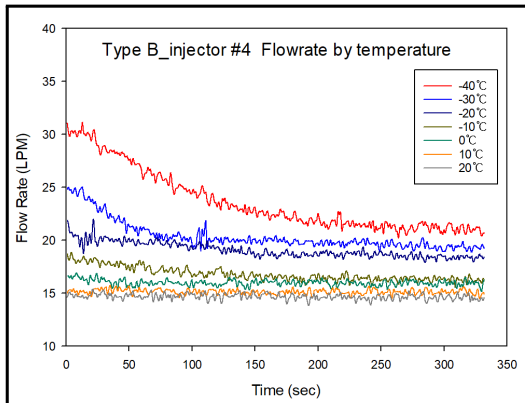


Fig. 5. Flowrate of B type by Temperature.

량값이 줄어들며 분사 후 5분내에 일정 값에서 일정한 추이를 가진다. 또한 상온에서는 인젝터의 분사량이 15~16 LPM으로 초기부터 일정하다. 상온 환경 조건에서는 에어컴프레샤에서 공급된 Dry Air의 온도와 같은 온도로서 밀도변화의 영향이 적어 초기부터 일정한 분사량을 나타내는 것으로 판단된다.

분사 초기에는 -40 ℃의 경우 38 LPM, 20℃의 경우 15 LPM으로 23LPM의 차이를 보이며, 이 실험결과를 통해 저온에서는 인젝터의 분사량이 증가 되는 현상을 알 수 있다.

Table 4와 Fig.5는 B type 인젝터의 챔버 온도별 분사량을 측정한 결과이다. B type 인젝터의 경우 초기 분사량은 -40 ℃에서 31 LPM, 상온에서 15

LPM으로 16PM의 차이를 보인다.

Table 5는 두 인젝터의 초기 분사량을 각 온도 별비교한 결과이다. 온도 조건별 분사량은 -40 ℃에서는 초기 분사량이 A타입의 경우 38 LPM으로 B타입의 30 LPM보다 7 LPM 차이가 나며, 상온에서 분사량 값은 A타입과 B타입 값은 유사한 경향을 나타낸다. 이 실험결과는 스프링길이의 변함에 따라 저온에서 분사량이 변화됨을 나타낸다.

인젝터 니들이 열릴 때에는 스프링의 힘과 분사 압력을 극복하여야 하기 때문에 스프링 길이가 길어지면서 니들에 걸리는 스프링 힘이 강해짐에 따라 니들이 열리는 지연시간이 길어지게 되어 분사량이 줄어들게 된다.

3.2. 가스 인젝터 파형 변화 확인

Fig. 6의 파형은 인젝터의 Peak& hold 제어방식을 이용하여 인젝터를 구동한 파형이다. 무효분사 구간 (OPENTIME)은 제어기의 구동신호가 인가한 후 인젝터의 Needle이 열리기 직전까지의 시간으로 실질적인 분사는 무효분사시간 이후에 일어난다.

Table 6은 A타입의 인젝터와 B타입 인젝터의 파형을 비교한 결과로, 분사초기에 무효분사시간과 구동전류의 결과를 보면, 먼저 무효분사시간 값은 A타입의 경우 3 ms, B 타입의 경우 3.3 ms로 스프링이 니들에 가해지는 힘이 커지면서 인젝터 니들이 열리는 시간이 길어지게 되어 지연시간이 길어지면서 무효분사시간이 0.3ms 더 길어지게 되며, 또한 전류파형의 경우 A타입과 B타입이 전체적 비슷한 경향을 보인다. B타입의 인젝터가 A타입보다

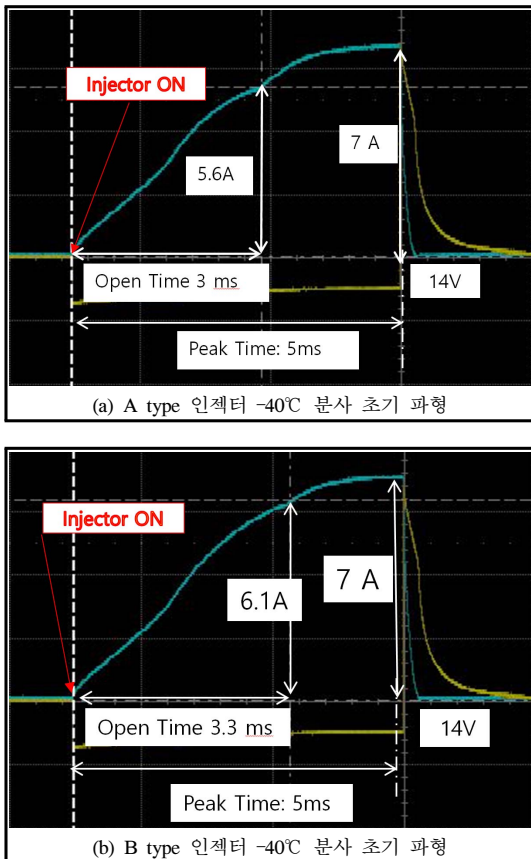


Fig. 6. Injector waveform at -40 ° C.

Table 6. Comparison of injector waveform

Temperature: -40°C	Initial injection	
	open time (무효분사시간), (ms)	구동전류 (A)
A type	3	5.6
B type	3.3	6.1

0.5A 큰 구동전류를 소모하는 것은 스프링 길이가 길어지면서 스프링이 복귀하려는 힘(니들 닫힘)에 의해 코일에 가해지는 구동전류가 증가하게 된다.

IV. 결론

본 논문에서 실험한 내용을 바탕으로 CNG자동차의 냉간시동시에 가스 인젝터 자체의 분사량은 상온에서보다 증가함에 따라 인젝터를 제어하는 ECU에서 보정이 필요할 것으로 판단된다.

1) 저온상태에서 분사량의 증가를 최소화하는 기구적 방법으로 스프링 길이 변화 실험결과 제품간의 편차가 존재하지만 -40°C에서 전체 인젝터의 평균 분사량이 7 LPM 차이가 있으므로 저온환경에서 스프링의 영향을 확인할 수 있다

2) 저온환경에서의 스프링 힘에 따라 CNG인젝터 분사량의 변화를 확인하였으며, 추가적으로 저온환경에서의 Nozzle형상 및 내부 유로형상에 따른 CNG연료의 분사형태 변화에 대한 추가적인 실험이 필요하다.

3) 인젝터를 연속 구동하게 되면 내부의 코일에서 열이 발생하게 되는데 가스 인젝터 표면의 온도상 환경온도와 10°C의 차이를 나타낸다.향후 코일의 발열과 분사량의 상관성에 대한 실험을 하며, 유체의 온도조건을 보완하여 인젝터의 다양한 성능평가를 하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업(R0004792)으로 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

[1] Kang, J. H., Choi,S.W., Kim. J. Y., Yeom, J. K., Chung, S. S., and Ha, J. Y., "Comparison of Combustion Characteristics with Port Fuel Injection and Direct Injection in a CNG engine", *KSAE*, 10, 513-518, (2004)

[2] Haeng, M. C., and Md. I. Mahmud ., "Benefit Analysis of CNG as an Automobile Fuel". *The Korean Society Of Clean Technology*, 15(1), 1-8, (2009)

[3] Sim, H. S., "Flow Control of a Solenoid Gas Injector and Its Application on a Natural Gas Engine." *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 8(2), 83-89. (2009)

[4] Heo, S j., Roh, Y. H., Yoon, S. S., and Choi,

- B. C., "CNG/GSL Bi-fuel System", *KSAE*, 1(6), 592-597, (2004)
- [5] Heo, S j., and Roh, Y. H., "MPI Control System for the Natural Gas Engine", *KSAE*, 11, 446-451, (2003)
- [6] Jo, N. W., Moon, S. J., Nam, C. W., LEE, H. K., and Shin, Y. N., "Research on the Prediction of Injection Rate Using Internal Flow Analysis of CNG Injector", *KSAE*, 5, 258-259, (2016)