

가솔린엔진에서 흡기관 압력을 이용한 EGR율의 추정 및 제어 방법에 관한 유용성 연구

박형선¹ · 윤준규[†]

(원고접수일 : 2014년 4월 17일, 원고수정일 : 2014년 7월 24일, 심사완료일 : 2014년 8월 1일)

An usefulness study on estimation and control method of EGR ratio using intake manifold pressure in an gasoline engine

Hyeong-Seon Park¹ · Jun-Kyu Yoon[†]

요약: 가솔린엔진에서 흡기계를 통하여 배기가스의 일부를 재연소시키는 EGR시스템은 NOx를 저감하기 위하여 양호한 배기배출특성을 나타내지만, 엔진으로 유입되는 배기가스량이 적절하지 않을 경우 불안정한 연소를 일으켜 엔진의 출력이 저하된다. 본 연구에서는 흡기관압력을 바탕으로 다양한 엔진운전조건에 따른 EGR율을 예측하는 방법을 검토하고, 이러한 예측자료를 실험적 방법을 통하여 확인하였다. 그리고 이러한 예측자료를 바탕으로 피드백 EGR제어 알고리즘을 구성한 후, 엔진운전조건에 대한 잔류가스량을 계산한 데이터와 EGR 피드백 제어실험을 통해 얻어진 데이터를 비교한 결과를 통하여 정성적으로 유사한 결과치를 얻었다. 따라서 적용된 피드백 EGR제어 알고리즘 및 시스템은 실제 전자제어식 EGR기술에 응용될 실현 가능성을 보여주었다.

주제어: 배기가스재순환(EGR), 흡기관압력, EGR제어 알고리즘, 잔류가스율(RGF)

Abstract: The EGR system being reburned the part of the exhaust gas through intake system indicates more favorable emission characteristics to reduce NOx in a gasoline engine, but the case of inappropriate exhaust gas quantity induced from engine is fallen engine power caused by unstable combustion. In this study, we examined a method to predict EGR ratio according to various engine operation condition based by intake manifold pressure and confirmed such a prediction data through an experimental method. And after having constituted feedback EGR control algorithm in a base with such a prediction data, we acquired qualitatively similar results by having compared data provided through an EGR feedback control experiment with the data which calculated quantity of residual gas for the engine operation condition. Therefore, the applied algorithm and the system for feedback EGR control showed feasibility applied to real electronic control EGR technology.

Keywords: Exhaust Gas Recirculation, Intake manifold Pressure, EGR Control Algorithm, Residual Gas Fraction

기호설명

BMEP : 제동평균유효압력 (bar)

BSFC : 제동연료소비율 (g/kW.h)

MAP : 흡기관 절대압력 (kPa)

[†] Corresponding Author: Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342 Seongnamdaero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 461-701, Korea, E-mail: jkyoon@gachon.ac.kr, Tel: 031-750-5651

¹ Jeong-il Industry Corporation, 54 Seongan-ro, Gangdong-gu, Seoul, 134-845, Korea, E-mail: oga4072@naver.com, Tel: 010-2529-2739

- \dot{m}_a : 실제 흡입공기량 (g/s)
- \dot{m}_{as} : 총 흡입공기량 (g/s)
- N : 엔진회전수 (rpm)
- P_b : 제동출력 (kW)
- T : 흡입공기온도 (K)
- R : 공기의 기체상수 (kJ/kg.K)
- V_c : 간극체적 (m^3)
- V_d : 행정체적 (m^3)
- x_r : 질량분율
- ρ : 흡입공기밀도 (kg/m^3)

1. 서론

1980년대 자동차의 급속한 보급은 대기를 오염시키는 요인으로 인식되기 시작한 이래, 현재는 지구온난화의 주범으로 몰리고 있는 실정이다. 이에 따라 각국의 정부와 환경단체들은 자동차 배기유해가스를 강력하게 규제함에 따라, 자동차업계는 CO, HC, NOx, 매연 등을 저감하기 위해 연구개발에 주력하고 있다. 가솔린엔진의 경우는 희박연소, EGR율의 정밀제어 및 대체연료 등의 기술을 적용하여 엔진 연소시 발생하는 유해배출물질을 최소화하고, 이와 더불어 배기후처리기술의 적용을 통하여 차량 유해배출물질을 감소시키는 등의 연구가 다각도로 추진되고 있다[1]-[3]. 그중에서 EGR 시스템은 배기가스의 일부를 연소실내에 공급하여 잔류가스성분을 증가시켜 연소실의 연소온도를 낮추어 NOx를 저감하는 기술이다. 이에 따른 EGR율의 제어방법에 대한 연구동향으로서 Gong et. al.[4]은 EGR율과 연료분사시기 변경이 배기가스특성에 미치는 영향에 대한 연구를 하였으며, Yeom et. al.[5]은 LPG엔진에서 EGR율 변화에 대한 엔진의 성능 및 배기특성을 규명하였다. Park et. al.[6][7]은 배기압센서를 이용하여 EGR유량을 계산함으로써 기존의 공기량센서를 대체할 수 있음을 검증하였고, HP EGR 및 LP EGR 공급비율에 따른 연비, 배기 및 연소특성에 대한 연구를 수행하였다. 또한 엔진의 흡배기관의 압력 및 온도를 측정하여 잔류가스비율과 체적효율 등을 산정하여 EGR율을 예측하는 기법을 제시하는 다양한 연구가 진행되어

적용가능성을 제시하고 있다[8]-[10].

본 연구에서는 잔류가스에 영향을 미치는 엔진 운전변수 및 흡기관압력을 이용하여 잔류가스 계산식을 통한 잔류가스량을 예측하고, 그 결과로부터 얻어진 엔진 EGR율을 피드백 제어하는 알고리즘과 외부 EGR제어실험을 연계하여 수행함으로써, EGR제어방법의 유용성을 검토하였다.

2. 잔류가스율의 산정

2.1 잔류가스의 질량분율

잔류가스는 주로 흡배기압력 및 엔진회전수, 압축비, 밸브타이밍, 배기시스템의 동적 특성변수이며, 특히 흡기압력과 엔진회전수 및 밸브오버랩이 주요한 변수로 작용한다.

잔류가스의 질량분율은 보통 CO₂의 농도를 측정하여 나타낸다.

$$x_r = \frac{(\bar{x}_{CO_2})_I}{(\bar{x}_{CO_2})_E} \quad (1)$$

위 식에서 \bar{x}_{CO_2} 는 수증기가 포함된 습연소가스의 물분율을 나타낸다. 보통은 수증기가 제거된 건연소가스의 형태로 측정되므로 다음과 같은 수정계수 K를 적용한다.

$$K = \frac{(\bar{x}_I)_{wet}}{(\bar{x}_I)_{dry}} = \frac{1}{1 + 0.5 [y(\bar{x}_{CO_2}^* + \bar{x}_{CO}^*) - 0.74\bar{x}_{CO}^*]} \quad (2)$$

여기서, y는 물 H/C비율, $\bar{x}_{CO_2}^*$, \bar{x}_{CO}^* 는 건연소가스의 물분율이다.

2.2 잔류가스를

엔진에 흡입되는 총 흡입공기량은 실제의 흡입 공기량과 총 잔류가스량의 합을 나타내며, 이는 흡기압력을 적용하여 계산되는 실린더내부로 유입되는 공기량이고, 총 잔류가스량은 내부 EGR량과 외부 EGR량을 합한 것으로 다음과 같은 식으로부터 산출된다.

$$A_T = A_i + EGR_i + EGR_e \quad (3)$$

여기에서 총 흡기량 A_T 는 흡기압력을 이용한 이상기체 상태식을 가정하여 계산될 수 있고, 흡입공기량 A_i 는 공연비와 연료소비량을 통해 역산하면 1% 이내 오차범위 내에서 예측할 수 있으므로 전체 EGR을 또는 총 잔류가스율을 구할 수 있다[7]. 엔진에서 실제로 흡입된 공기량 \dot{m}_a 을 다음과 같은 식으로부터 산출된다.

$$\dot{m}_a = \frac{BSFC \times (A/F) \times P_b}{3600} \quad (4)$$

흡기관압력(MAP, Manifold Absolute Pressure)을 이용하여 잔류가스 및 EGR율을 포함하는 총 흡기량의 계산을 위해 우선, 플레넘 챔버(Plenum Chamber)에서의 흡입공기의 밀도 ρ 는 이상기체로 가정하여 다음과 같은 식으로부터 계산할 수 있다.

$$\rho = \frac{MAP}{R \times T} \quad (5)$$

이때의 총 흡입공기량은 다음과 같이 구한다.

$$\dot{m}_{as} = \frac{V_d \times \rho \times N}{60 \times 2} \quad (6)$$

따라서 총 잔류가스율 TRGF(Total Residual Gas Fraction)는 다음과 같은 식으로부터 산출된다.

$$TRGF = \left[1 - \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{as}} \right] \times 100 (\%) \quad (7)$$

여기서 정량적인 잔류가스율의 결정을 위해서 고려해야 할 부분은 V (m³), 즉 체적을 어떤 값으로 선택하느냐 하는 문제이다. 행정체적으로 할 것인지 아니면 흡기밸브의 닫히는 시점을 고려하여 그 만큼의 체적 감소분을 전체적에서 빼준 값으로 할지는 결정해야 하는 변수이다. 가능성이 있을 것으로 판단되는 변수로 행정체적-흡기밸브닫힘(IVC)

체적, 행정체적, 총체적-흡기밸브닫힘(IVC)체적, 총체적의 총 네 가지 경우를 생각할 수 있다. 그러나 결과적으로 각각 정량치는 다소 다를 뿐이고 정성적으로 나타내어 추정할 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 엔진실험방법

위 식에 대한 검증을 위해 적절한 엔진운전조건에서 엔진 실험데이터가 필요하다. 이 실험데이터를 얻기 위해 사용된 실험엔진의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1: Specification of test engine

Items	Specifications
Engine type	In-line 4 cylinder, water cooled DOHC engine
Bore×Stroke (mm)	82×93.5
Displacement (cc)	1975
Compression ratio	10.3
Valve Timing	IVO : BTDC 8°C IVC : ABDC 40°C EVO : BBDC 50°C EVC : ATDC 10°C

여기서 정확한 엔진실험을 하기 위해 점화시기 변화는 MOTEC M8 ECU를 사용하였고, 밸브타이밍변화는 캠spro킷(Cam Sprocket) 위치설정을 통해 흡기밸브의 개폐시기만 조절하였다. 또한 EGR 실험을 위해 플레넘 챔버와 배기관 사이에 외부배관을 연결하여 그 사이에 유량조절밸브를 설치해서 수동으로 외부 EGR율을 조절하였으며, 여기서 외부 EGR율은 다음과 같은 식에서 산출하였다.

$$EGR = \frac{(CO_2)_{pc} - (CO_2)_{air}}{(CO_2)_{ex} - (CO_2)_{air}} \times 100 (\%) \quad (8)$$

여기서 $(CO_2)_{ex}$ 는 배기가스중의 CO₂ 농도이고, $(CO_2)_{air}$ 는 EGR율을 0%로 할 때 플레넘 챔버내의 CO₂ 농도이며, $(CO_2)_{pc}$ 는 EGR을 변화시 플레넘 챔버내의 CO₂ 농도를 나타낸다.

본 연구에서 적용한 엔진실험의 운전조건은 부분하방범으로 엔진회전수 1600rpm, 2000rpm, 2400rpm, 2800rpm, 3200rpm에 따른 BMEP(제동평균유효압력)을 각각 1.5bar, 3.0bar, 6.0bar, 7.5bar로 변경하여 실험을 수행하였다.

3.2 EGR 피드백제어 실험

EGR 피드백제어를 하기 위해서는 먼저 작동하고 있는 엔진상태로부터 현재의 잔류가스를 또는 엔진의 EGR율을 예측하고, 그 예측치를 근거로 제어의 목표치와 현재의 EGR율을 비교하여 EGR밸브의 제어방법을 구현하여야 한다.

3.2.1. 엔진의 잔류가스량 추정

일반적으로 잔류가스량을 계산하기 위해서는 엔진의 흡기온도 및 흡기압력, 연료소비량, 엔진회전수, 공연비 등을 고려하여 얻어진 결과치로 잔류가스의 양을 추정할 수 있다. EGR제어방법은 각 센서와 분석기를 통해 얻어진 데이터는 컴퓨터로 전달되어 계산된 잔류가스량과 목표치와의 비교를 통해 EGR제어밸브의 개폐를 조절하여 피드백제어를 구현한다. **Figure 1**은 이 과정에 대한 실험의 개략도를 나타내고 있다.

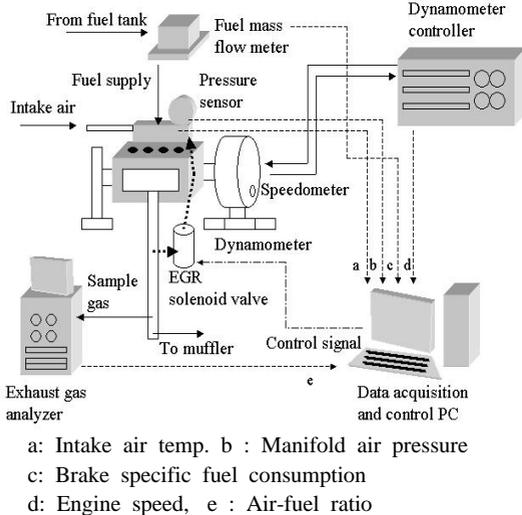


Figure 1: Schematic diagram of EGR feedback control

여기서 엔진의 공연비산출은 배기가스성분의 분석결과로부터 Spindt equation[11]을 이용하여 역산하여 구한다. 수집된 데이터는 PC에서 계산되어 현재 운전상태의 잔류가스량을 계산하고, 이결과로부터 EGR 솔레노이드밸브의 여닫힘신호를 발생시킨다. PC에서의 계산 및 데이터수집, 신호발생 알고리즘은 Labview로 체계적으로 구성하였으며, A/D컨버터로는 PCI-MIO-16E-4(National Instrument사)를 이용하여 정밀도를 유지하였다. **Figure 2**는 Labview에 의해 구성된 제어프로그램과 그 알고리즘을 나타내고 있다.

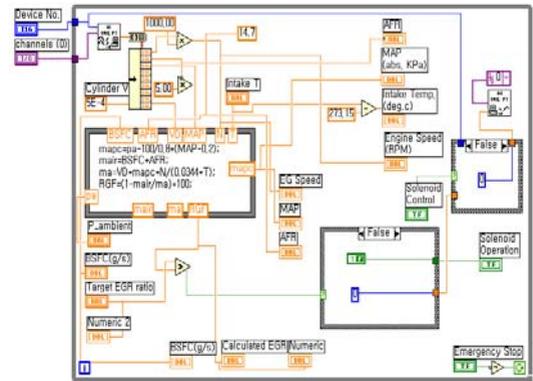


Figure 2: EGR controller and its algorithm designed by Labview

4. 결과 및 고찰

4.1 EGR율에 따른 성능 및 잔류가스의 특성

잔류가스량을 예측하는 식을 비교분석하기 위해 사용되는 가장 좋은 방법은 엔진운전조건에서 엔진내부의 잔류가스 또는 EGR율을 정확하게 측정하는 것이지만 실제로 실험을 통해 데이터를 취득하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 엔진운전조건에서 얻어진 측정된 데이터를 바탕으로 측정치가 보이는 정성적 특성과 잔류가스량 예측치가 보이는 결과를 비교하여 식의 적합성을 검토하고자 하였다.

4.1.1 외부 EGR적용에 따른 NOx 및 MAP의 영향

Figure 3은 2000rpm/3.0bar 조건에서 수행한 실험으로 EGR율의 변화에 따른 각각의 점화시기에서

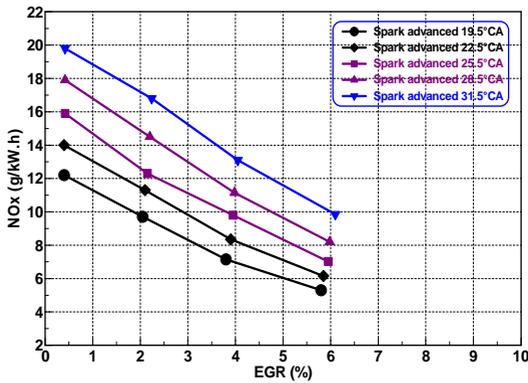


Figure 3: Effects of EGR on NOx emission with the change of spark advanced angle

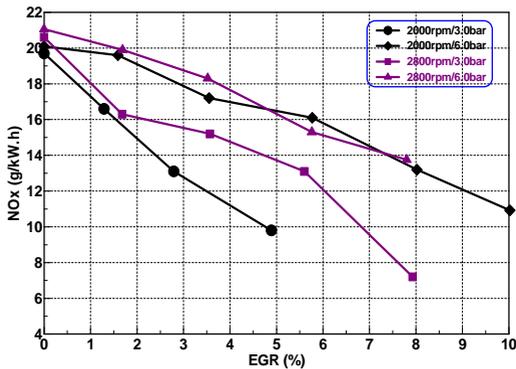


Figure 4: Effects of EGR on NOx emission at MBT timing

NOx배출율의 상관관계를 나타낸 것이다. 그 결과로 점화시기를 늦추고 EGR율을 증가시키므로써 연소온도는 낮아져 NOx는 비례적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 이에 따라 EGR율의 증가는 NOx를 감소하는 이점은 있으나 오히려 화염속도를 느리게 하여 연소온도를 낮추어 불완전한 연소를 일으켜 HC의 배출 및 성능악화에 큰 영향을 미치므로 원활한 성능유지를 위한 EGR율 및 점화시기를 제어할 필요가 있다.

Figure 4는 MBT(Minimum spark advance for Best Torque)실험을 통하여 얻어진 부분부하조건에서 EGR율의 증가에 따른 NOx 배출율의 특성을 나타낸 것이다.

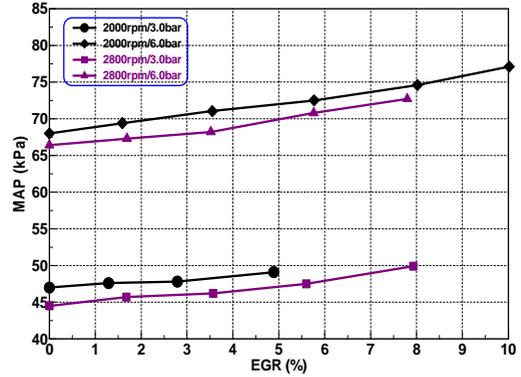


Figure 5: Relationship between EGR ratio and manifold absolute pressure

그 결과로 동일한 엔진회전수에서 BMEP의 증가에 따라 NOx가 높게 나타나고 있으며, 또한 EGR율의 증가에 따라 NOx의 배출특성이 감소함을 알 수 있었다. 이는 엔진회전수 및 부하의 증가에 따른 엔진의 연소특성에 따른 결과라 사료된다.

Figure 5는 엔진회전수 2000rpm과 2800rpm에서 부분부하실험을 통해 얻어진 EGR율에 따른 MAP값의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 EGR율의 증가에 따라 MAP값이 비례적으로 증가함을 알 수 있으며, 그 결과로 MAP값은 연소실내의 잔류가스 상태를 파악할 수 있는 중요한 인자임을 알 수 있었다.

4.1.2 EGR율의 예측

Figure 6은 2000rpm/6.0bar 조건하에서 수행한 실험으로 EGR율의 증가에 따른 실제 흡입공기량과 총 흡입공기량 및 계산된 총 잔류가스율의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 EGR율의 증가에 따라 실제 흡입공기량은 다소 감소하게 되나, MAP의 증가로 인해 계산한 실린더내의 총 잔류가스율은 급격히 증가하는 경향을 보임을 알 수 있었다.

Figure 7은 행정체적-흡기밸브단함(IVC)체적, 행정체적, 총체적-흡기밸브단함(IVC)체적, 총체적의 4가지 변수에서 계산된 총 잔류가스율의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 EGR율의 증가에 따라 총 잔류가스율이 증가하는 특성을 나타내지만 적

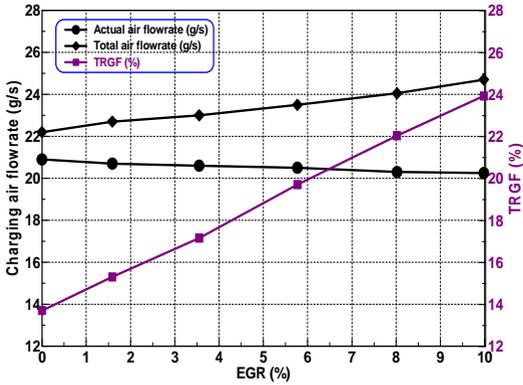


Figure 6: Effect of external EGR on total residual gas fraction at 2000rpm/6.0bar

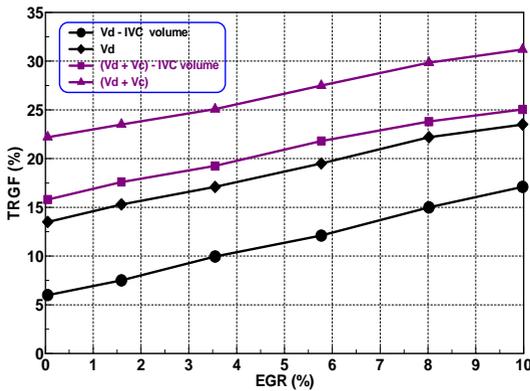


Figure 7: Calculated total residual gas fractions at different volume conditions

용된 체적변수에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

이는 체적변수의 적용에 따라 얻어진 결과의 차이로 정확한 잔류가스 실험값을 얻을 수 있다면 정확한 비교가 가능하여 정량적으로 결정할 수 있다. 따라서 흡입시 실린더 내에 공급되는 EGR량을 알기 위해서는 EGR의 공급전후에 총 잔류가스율의 변화를 파악하면 쉽게 알 수 있으며, 이 값은 실험결과와 매우 유사하여 EGR율의 예측이 가능함을 알 수 있다.

Figure 8은 엔진회전수 2000rpm과 2800rpm에서 부분부하실험을 통해 얻어진 EGR율의 증가에 따른 총 잔류가스율의 특성을 나타낸 것이다. 그 결

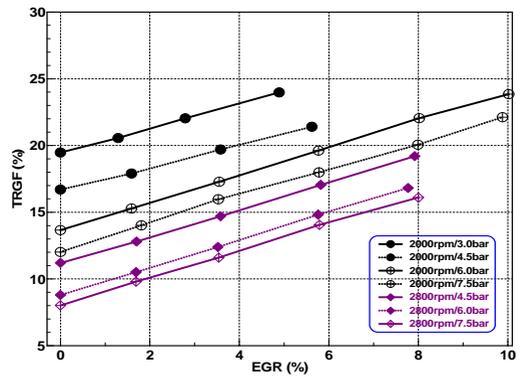


Figure 8: Effect of EGR on total residual gas fraction

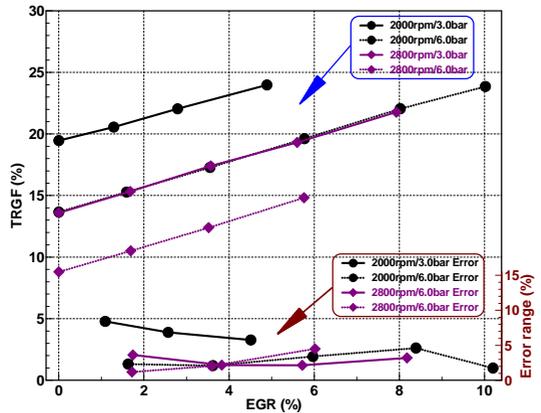


Figure 9: Error range of EGR ratio through experiment and prediction

과로 전체적으로 EGR율의 증가에 따른 총 잔류가스율이 증가하는 선형적인 비례관계를 보이나, 동일한 엔진회전수에서 BMEP가 낮을수록 총 잔류가스율은 더 높게 나타난다. 이는 저속 및 낮은 부하에서 엔진의 불완전연소로 인한 결과로 사료된다.

Figure 9는 각각의 엔진운전영역에서 계산된 총 잔류가스율과 이때 잔류가스율을 가지고 EGR를 적용하지 않았을 때의 잔류가스율과 비교하여 외부에서 유입되는 EGR율을 예측한 결과를 나타낸 것이다.

그 결과로 MAP과 공연비 그리고, 연비를 기준으로 계산하여도 EGR율을 잘 예측하고 있음을 알 수 있으며, 따라서 EGR율을 실험장비 등을 통해

측정하지 않아도 EGR율에 따른 NO_x감소의 비례성과 MAP과 EGR율과의 비례적인 관계로부터 EGR율을 예측할 수 있었다. 이 때의 오차는 각 엔진운전조건에서 점화시기의 영향과 미세한 압력변동, 흡기시스템과 실린더내의 온도차이 등에 좌우된다고 생각할 수 있다. 이 인자중에서 흡기온도의 경우는 본 연구에서 플래넘 챔버에서 온도를 측정하여 결과를 도출하였으나, 실제로는 연소후 배출되는 뜨거운 배기가스의 혼합과정을 통한 혼합가스의 온도와 차이가 발생할 수 있으므로 이 부분은 잔류가스율의 복합적인 오차에 영향을 미치는 요인으로 작용될 것으로 생각된다.

4.2 EGR 피드백 제어

Figure 10은 2000rpm에서 최대토크 기준으로 25% 부분부하(29.4N.m)조건에서 목표 EGR값을 조절하였을 때 시스템에서 발생하는 EGR밸브의 작동 및 그 응답특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서는 초기에 EGR밸브 작동신호를 보내지 않은 시간은 내부의 잔류가스량을 0으로 계산하여 실제로 연소실 내의 일부 잔류가스가 존재함을 알 수 있으며, 5초 시점에서 EGR 목표치를 10%로 설정할 때 현재값에 비해 높은 EGR값이 요구되므로 솔레노이드밸브가 작동하게 되어 내부의 잔류가스량은 점차 증가함을 알 수 있다. 그리고 10초 이후는 EGR목표치를 20%로 설정했을 때 결과로 EGR율은 최대 11~12% 정도 수준에 머무를 뿐 더 이상 올라가지 않는 것이 관찰된다. 이것은 관의 직경, 엔진부하에 의한 흡기관의 배압 및 배기관의 압력에 의해 밸브가 최대한 열려 배기가스가 순환을 하더라도 관의 압력강하 및 관의 직경에 의한 최대유량의 한계에 의해 일정한 수준이상의 EGR공급은 불가능할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 그 최대치를 약 12% 정도인 것으로 보고 있다. 그러나 30초시점에서 목표치를 7% 수준으로 설정한 결과로 잔류가스량이 거의 7% 근방으로 빠르게 접근해가는 것을 볼 수 있으며, 50초시점에서 다시 목표치를 높일 때 그에 따라 EGR값이 증가하기는 하나, 역시 12%를 넘지 못하고 있음을 볼 수 있다.

이와 같은 분석으로부터 현재 구성된 EGR 제어 시스템은 그 정량적인 오차가 존재할 가능성이 있

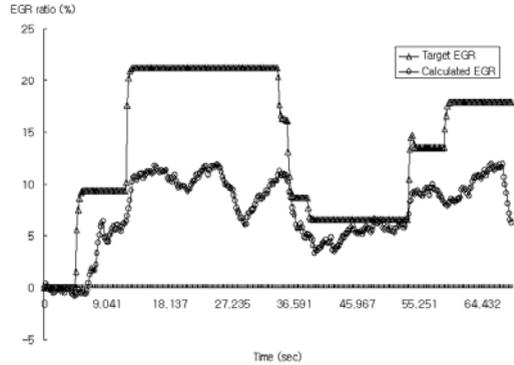


Figure 10: EGR feedback control test at 2000rpm/29.4N.m

으며 솔레노이드밸브의 형상과 EGR관의 조건 등에 따라 작동할 수 있는 범위에 한계가 있는 것으로 생각된다. 그러나 목표치의 변화에 따라 EGR 솔레노이드밸브는 현재 상황에서 계산된 EGR값을 바탕으로 작동유무를 적절히 판정하고 그 결과로부터 피드백제어를 어느 정도 수행한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 잔류가스에 영향을 미치는 엔진 운전변수 및 흡기관압력을 이용하여 잔류가스량을 예측하고, 외부 EGR실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 엔진에서 흡기관내의 압력변화는 매우 적으므로 흡기시 연소실내의 압력은 흡기관내의 압력을 측정하여 총 흡입공기량을 계산할 수 있었다.
- (2) 엔진의 부분부하실험을 통해 점화시기 및 EGR율의 변화에 따른 NO_x의 배출특성을 고찰하였고, 잔류가스율을 예측함으로써 EGR율의 추정 및 제어방법에 대한 유용성을 확인하였다.
- (3) EGR 피드백 제어실험을 통하여 얻어진 EGR 밸브의 작동 및 응답특성에 대한 결과는 목표치와 비교했을 때 다소 큰 차이를 나타냈지만 피드백제어에 대한 정성적인 평가는 가능하였다.

따라서 제어신호의 노이즈 저감, EGR관 형상의 최적화, 각 신호의 정밀도 등에 대한 신뢰성 데이터를 구축한다면 매우 효과적인 EGR 피드백 시스템 구현이 이루어질 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] L. Berry, "Improved control of EGR during speed/load transients," Society of Automotive Engineers Technical Paper 960068, 1996.
- [2] D. J. Boam and I. C. Finlay, "A model for predicting engine response during rapid throttle transients in port-injected spark-ignition engine," Society of Automotive Engineers Paper 890565, 1989.
- [3] C. W. Kim, H. C. Noh, D. H. Kim, T. B. O. Yom, and S. K. Kim, "Combustion performance spark ignition in vehicle engine with EGR controller," Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, pp. 246-253, 2011 (in Korean).
- [4] H. J. Gong, I. G. Hwang, A. H. Ko, C. L. Myung, S. S. Park, and C.-S. Lim, "Effect of EGR rate and injection timing on the characteristics of exhaust emission in light-duty diesel engine," Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, vol. 20, no. 3, pp. 7-12, 2012 (in Korean).
- [5] K. T. Yeom, Y. M. Woo, J. Y. Jang, Y. K. Park, and C. S. Bae, "Performance and emission characteristics of liquid-phase LPG Injection Engine with different EGR rate," Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, vol. 11, no. 5, pp. 7-14, 2003 (in Korean).
- [6] S. M. Park, S. I. Yoo, K. H. Kang, and K. H. Nam, "A development on the EGR flow rate model for passenger diesel engine," Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference, pp. 53, 2013 (in Korean).
- [7] J. H. Park, J. H. Lim, and J. K. Yoon, "A study on the engine performance and emission characteristics in a LP EGR system with electronics throttle control," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 35, no. 4, pp. 379-387, 2011 (in Korean).
- [8] J. W. Fox, W. K. Cheng, and J. B. Heywood, "A model for predicting residual gas fraction in spark-ignition engines," Society of Automotive Engineers Technical Paper 931025, 1993.
- [9] B. P. Albert and J. B. Ghandhi, "Residual gas measurements in a utility engine," Society of Automotive Engineers Technical Paper 2004-32-0029, 2004.
- [10] J. W. Chung, J. H. Kang, M. H. Kim, S. J. Jeong, B. S. Kim, and W. Kang, "A study on the prediction of EGR rate of a turbo-charged diesel engine with intake and exhaust pressure," Proceedings of the Korean Society of Automotive Engineers 30th anniversary, pp. 506-511, 2008 (in Korean).
- [11] I. Y. Ohm and C. J. Park, "Air fuel ratio and calculation according to fuel composition(III)," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, vol. 28, no. 10, pp. 1147-1154, 2004 (in Korean).