

Racing Car의 ECU 제어에 의한 가속성능 향상에 관한 연구

황의준*, 허장욱*[#]

*금오공과대학교 기계시스템공학과

Electronic Control Unit Based Control of Racing Car to Enhance the Acceleration Performance

Ui-Jun Hwang*, Jang-Wook Hur*[#]

*Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 21 June 2020; received in revised form 06 August 2020; accepted 19 August 2020)

ABSTRACT

The fuel injection amount and timing along with the ignition timing for the gasoline engine of a racing car were adjusted using an electronic control unit (ECU), and the engine performance was evaluated through an acceleration test. The fuel map for the fuel injection amount and ignition map for the ignition timing were derived. Using the transient throttle control, the air-fuel ratio could be maintained at a constant value even in the case of a sudden throttle operation. In the flat shift, ignition blocking was more effective than fuel blocking. In a 75 m acceleration test, the required duration without and with ECU control was 4.47 s and 3.99 s, respectively. Notably, the acceleration could be improved by approximately 10.7% when the ECU control was implemented.

Key Words : Racing Car(경주용 차량), Gasoline Engine(가솔린 엔진), Electronic Control Unit(전자제어장치), Acceleration Performance(가속성능), Throttle Position Sensor(쓰로틀 위치 센서)

1. 서 론

ECU(Electronic Control Unit)는 엔진과 관련된 각종 센서에서 수집된 정보를 활용하여 최적의 연소를 통해 엔진의 효율을 향상시키고, 운전자의 의도대로 엔진을 제어하기 위한 제어장치로서, 엔진을 제어하는 컴퓨터라고 할 수 있다. 이러한 ECU는 자동차 엔진의 연료 분사량과 분사시기, 그리고 점화시기를 제어하는 Base Map과 Throttle의 순간적인 개방 및 외부 온도에 따라 세밀하게

조정하는 각종 세부기능 제어로 구분할 수 있는데^[1], ECU가 전자화 및 소프트웨어로 이루어지는 특징으로 인해 임의 수정을 방지하기 위한 보호장치에 관한 연구나^[2], ECU 제어를 통한 가솔린 엔진의 노킹을 억제하는 연구^[3] 등의 결과가 다수 발표되고 있으나, 자동차용 ECU 설계에 직접적으로 영향을 미치는 연료 분사량, 분사시기 및 점화시기 등의 파라미터 영향성에 대해서는 대부분 자동차 제조회사에서 수행하고 있으며, 이들은 대외비로 분류되어 공개가 제한되고 있다.

따라서 본 연구에서는 실제 차량 중에서 엔진 출력을 가장 중요시하는 Formula 타입 Racing Car의 가솔린 엔진을 대상으로 Full control ECU,

Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399

Knock sensor, Data logger를 이용하여 연료 분사량과 분사시기 및 점화시기 등의 조정에 의한 Fuel Map과 Ignition Map을 도출하고, Transient Throttle Control과 Flat Shift 등의 각종 세부기능 제어가 공연비와 변속속도에 미치는 영향성을 분석하였으며, 가속시험을 통해 엔진의 가속성능 향상 여부를 확인하였다.

2. 시험 장치 및 방법

시험에 사용된 엔진은 Honda CBR600RR으로, Student Formula 차량에 탑재된 가솔린 포트분사 방식이며, SAE 규정에 따라 흡기구에 20mm의 흡기 제한장치를 설치하였다. 시험장치는 Fig. 1과 같이 ECU, Power TR(Transistor), Spark Plug, Injector 및 엔진으로 구성하였으며, 사용된 엔진은 Table 1과 같고, 엔진제어를 위한 ECU는 Haltech사의 PS1000이다.

시험수행을 위한 절차는 Fig. 2와 같으며, 순서는 크게 Fuel Mapping → Ignition Mapping → 각종 세부기능 제어 → 성능확인 순으로 구분할 수 있다. 먼저 Fuel Mapping은 엔진 회전수와 TP(Throttle Position)값, 그리고 연료 분사량과 연료 분사시기를 조정하여 공연비를 제어하는 것으로^[4], 여기서, 연료 분사량과 분사시기의 조정을 위해 공연비 센서를 배기다기관에 설치 후 실시간 공연비를 계측하고, 목표 공연비를 작동 가능한 모든 구간에 적용하기 위해 각 엔진 회전수 및 TP값에 적절한 Fuel Map을 획득하였다.

연료 분사량 및 분사시기 조정이 종료되면, 엔진 회전수와 TP값을 변수로 Ignition mapping을 수행하며, 이때, MBT(Minimum spark advance for Best Torque)를 선정하기 위해 Knock Hearing Sensor를 엔진블럭에 설치하고, Dynamometer상에 부하를 부가한 이후, Knock이 생기지 않는 한도 내에서 점화를 진각시켜 Ignition Map을 도출하였다.

이렇게 획득한 Fuel Map과 Ignition Map을 Base Map이라 하며, Base Map만으로는 실제 Racing Car의 엔진 작동 시 가속이 제한되는 등의 문제가 발생할 수 있으며, 이러한 문제를 방지하기 위

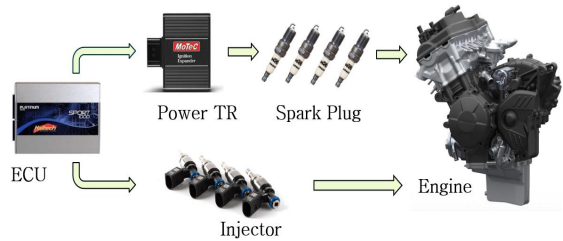


Fig. 1 Test equipment concept diagram

Table 1 Specifications of test engine

Types	Specifications
Displacement	599cc
Compression Rate	12.2:1
Maximum Output	120hp / 13,500rpm
Maximum Torque	66N.m / 11,250rpm

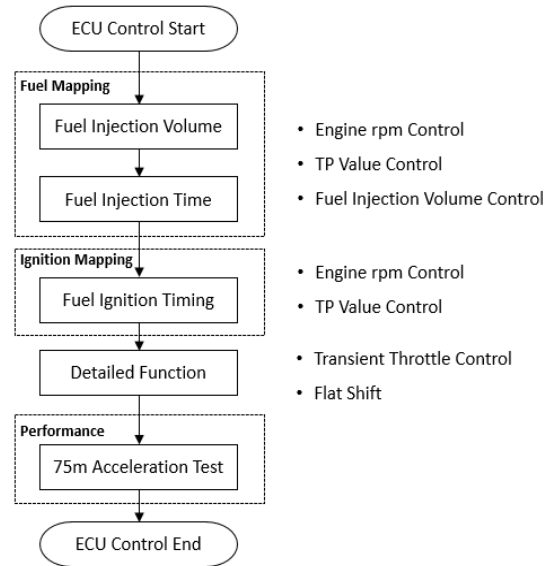


Fig. 2 Test procedures of ECU control

해 각종 세부기능 제어행하게 되는데, 여기에는 Transient Throttle Control, Flat Shift 등이 있다.

마지막으로 엔진 성능을 측정하기 위해 SAE의 엔진성능평가 항목인 75m 가속시험을 수행하여 엔진성능의 향상 여부를 확인하였다.



Fig. 3 Photo of dynamometer mapping

3. 시험 파라미터

3.1 연료 분사량

Base Map 작성을 위해 제일 먼저 수행이 요구되는 것은 목표 공연비 식별이며, 목표 공연비는 차량의 용도에 따라 연소효율이 높은 공연비일 수도 있고, 토크가 높은 공연비일 수도 있으나, 최고의 출력을 필요로 하는 Racing Car의 경우에는 목표 공연비를 최대 토크가 출력되는 공연비로 설정하여야 한다.

또한, 연료 분사량에 따른 공연비의 영향성을 점검하기 위해서는 엔진 출력축에 부하가 필요한데, Fig. 3과 같이 다이내모 미터에 차량을 설치하고, 입력 변수인 엔진 회전수와 TP값이 고정된 하나의 작동점에서 연료 분사시기와 점화시기를 설정하고, 연료 분사량만을 0.1ms 단위로 조절하여 가장 높은 출력을 갖는 공연비를 확인하여 연료 분사량을 선정하였다.

3.2 연료 분사시기

연료 분사시기는 연료의 효율적 사용 및 정상적인 연소를 위해 매우 중요하다. 특히, 잘못된 연료 분사시기는 인젝터의 벽류를 형성시키며, 이는 낮은 연비를 갖는 동시에 화재의 위험까지 초래하게 된다⁹⁾. 따라서 연료분사 시기는 시험을 통해 선정하였으며, 엔진 회전수와 TP값 및 연료 분사량을 고정시키고, 분사시기 조정을 위해 BTDC(Before Top Dead Center)를 1° 단위로 0~720°까지 변경시

켜 가면서 공연비 값을 로깅하여 연료 분사시기를 설정하였다.

3.3 점화시기

점화시기는 출력을 결정짓는 요인 중 가장 중요한 요소인 동시에, Knocking 현상을 통해 Engine Blow를 일으키는 위험한 요소이다^{6,7,8)}. 점화시기는 연료 분사량과 연료 분사시기가 결정되고, MBT를 도출한 이후 선정할 수 있는데, MBT점은 점화시점에 따른 토크의 변화를 통해 알 수 있다⁹⁾. 점화 진각 시 MBT점이 지나면 Knocking이 발생하면서 출력이 떨어지게 되는데, 여기서 부하에 따라 MBT점이 약간 바뀌기 때문에 BTDC 3° 정도를 보수적으로 지각하게 된다. 이러한 MBT점은 연소실내의 화염전파 시간에 따라 달라지므로, 엔진 회전수가 변화하면 MBT점도 변경되기 때문에 모든 엔진 회전수 구간에서 0.1° 단위로 MBT점을 파악하여 점화시기를 선정하였다.

3.4 각종 세부기능 제어

연료 분사량과 분사시기, 그리고 점화시기를 통해 Fuel Map과 Ignition Map을 도출하여 Base Map을 완료하면 일반 가솔린 엔진 자동차의 경우 운행에 큰 문제가 없으나, Racing Car에서는 급격한 Throttle 조작으로 인해 공연비가 변하게 되고 성능이 하락하게 된다¹⁰⁾. 따라서 Transient Throttle Control과 Flat Shift 등의 각종 세부기능 제어가 필요하다.

먼저, Transient Throttle Control은 급격한 Throttle 조작 시 순간적으로 공연비가 낮아져 출력이 감소하는 현상이 발생하는데, 이 때 공연비가 일정하게 유지될 수 있도록 보정하는 제어로써, Throttle 위치에 따른 Enrich를 조정하여 공연비 변화를 최소화 하였다.

그리고 시퀀셜 기어를 사용하는 Racing Car의 엔진에서는 변속 시 클러치 조작없이 연료분사 혹은 점화를 순간적으로 중단하는 것만으로도 역토크를 발생시켜 동력이 차단될 수 있는데, 이를 방지하기 위해 동력차단 시점을 변속시점과 일치시키는 Flat Shift 기능을 수행하며, 이는 65ms 정도의 아주 빠른 변속을 가능하게 한다.

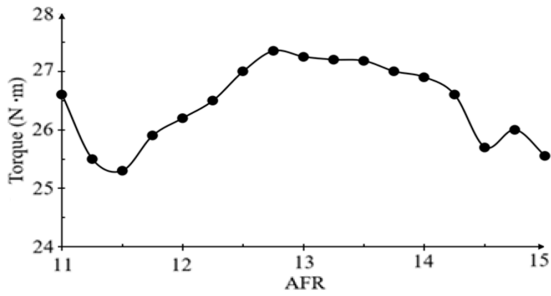


Fig. 5 Relation between AFR and torque

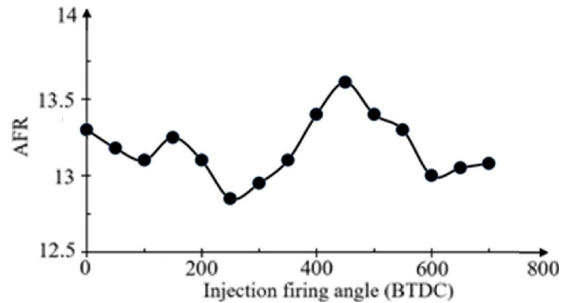


Fig. 7 Relation between injection firing angle and AFR

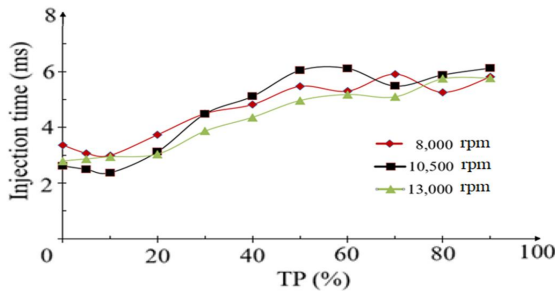


Fig. 6 Relation between TP and injection time

BTDC가 250°일 때 공연비가 12.8로 가장 낮았으며, 이는 분사한 연료가 흡기밸브를 통해 가장 많이 흡입된다는 것을 의미한다.

4.3 점화시기

TP값(0~100)과 엔진 회전수(0~14,000rpm)에 대해 점화시기를 변경에 따른 토크의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 그림으로부터 BTDC 기준 점화시기가 45° 이상일 때에는 토크가 다소 감소하고 있는데,

4. 시험 결과 및 고찰

4.1 연료 분사량

TP값(0~100)과 엔진 회전수(0~14,000rpm)에 대해 연료 분사량에 따른 공연비(AFR)와 출력(토크)의 관계를 Fig. 5에 나타내었으며, 공연비가 12.8에서 최대토크(27.2N·m)가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 결공연비와 토의 관계과로부터 엔진이 작동하는 구간의 엔진 회전수에서 TP값과 연료 분사량과의 관계를 Fig. 6과 같이 나타내었다. TP값의 증가와 더불어 연료 분사량도 증가하고 있으며, 엔진 회전수가 증가(8,000→13,000rpm)시에도 유사한 경향을 보이고 있다. 그리고 엔진 회전수 증가에 의한 TP값과 연료 분사량의 증가 혹은 감소의 명확한 추세는 확인이 곤란하였다.

4.2 연료 분사시기

TP값(0~100)과 엔진 회전수(0~14,000rpm)에 대해 연료 분사시기(BTDC)에 따른 공연비(AFR)의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 그림으로부터 분사시기인

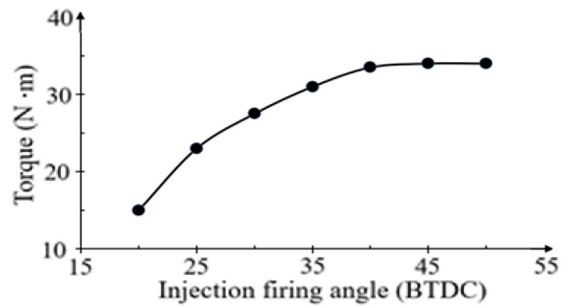


Fig. 8 Relation between injection firing angle and torque

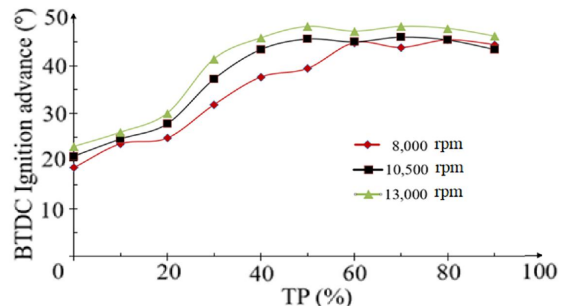


Fig. 9 Relation between TP and BTDC ignition advance

이는 BTDC를 45° 이상으로 점화를 진각하게 되면 노킹이 발생되어 Engine Blow의 원인이 될 수 있기 때문에 MBT가 45°임을 알 수 있다. 이러한 시험을 정적인 상태에서 도달 가능한 여러 가지 엔진 회전수에 대해 TP값과 점화시기의 관계를 Fig. 9와 같이 나타내었으며, Ignition Map을 구축하였다.

4.4 각종 세부기능 제어

급격한 Throttle 변경시 공연비 하락을 막기 위해 TP값을 조정하는 연료 테이블을 작성 및 적용하여 공연비가 일정하게 유지되도록 하였으며, 이러한 Transient Throttle Control 이전과 이후의 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Flat Shift는 기어변속을 위한 클러치 조작없이 ECU 제어만으로 동력차단을 통해 빠른 변속을 가

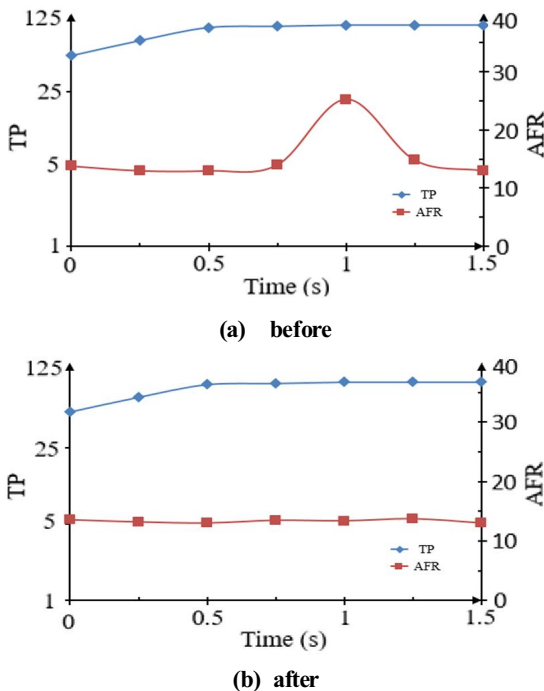


Fig. 10 Transient throttle control of ECU

Table 2 Results of flat shift

Type	Fuel cut	Ignition cut
Temp.	95°C	93°C

Table 3 Results of Acceleration Test

No.	before(sec)	after(sec)
1	5.06	3.96
2	4.31	3.92
3	4.28	4.06
4	4.22	4.03
Average	4.47	3.99

능하게 하는 제어이며, 동력차단을 위한 방법으로는 연료차단과 점화차단이 있다. 2가지 방법 중 Racing Car의 환경에 적합한 방법을 확인하기 위해 Table 2와 같이 5km 주행 이후 냉각수 온도 차이를 측정하였다. 기화성이 높은 휘발유의 연료특성 상 연료 분사 시기화열 덕분에 엔진의 냉각을 일부 담당하게 되는데, 이로 인해 점화차단이 연료차단보다 약 2°C 정도 냉각수 온도가 감소하였다.

4.5 75m 가속시험

Racing Car의 가솔린 엔진을 대상으로 ECU 제어를 위해 연료 분사량, 연료 분사시기 및 점화시기의 조정과 함께, 각종 세부기능 제어 등을 수행한 이후 엔진 성능의 확인을 위해 75m 가속시험을 수행한 결과를 Table 3에 나타내었다. 표의 결과는 정지 상태부터 75m 지점까지의 도달시간을 측정한 내용으로, ECU 제어 이전에는 평균 4.47sec가 소요되었으나, ECU 제어 이후에는 평균 3.99sec를 표시하고 있으며, 이는 ECU 제어를 통해 가속력을 약 10.7% 향상시킬 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결론

Racing Car의 가솔린 엔진을 대상으로 ECU를 이용하여 연료 분사량, 연료 분사시기 및 점화시기 등의 조정에 의한 Fuel Map과 Ignition Map을 도출하고, 가속시험을 통해 엔진의 성능을 확인하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 연료 분사량과 분사시기에 대한 Fuel Map과 점화시기에 대한 Ignition Map을 도출할 수 있다.

- 2) Transient Throttle Control을 통해 급격한 Throttle 조작 시에도 공연비를 일정하게 유지할 수 있음을 확인 하였으며, Flat Shift에는 점화차단이 연료차단보다 효과적이다.
- 3) 75m 가속시험 결과 ECU 제어 이전에는 평균 4.47sec가 소요되었으나, ECU 제어 이후에는 평균 3.99sec를 측정되어 ECU 제어를 통해 가속성능을 약 10.7% 향상시킬 수 있다.

REFERENCES

1. Heywood, J. B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1988.
2. Choi, J. H. and Park, J. S., "The Way to Implement Tuning Protection of Engine Controller", CICS 2015 information and Control Symposium, pp. 54-56, 2015.
3. Yang, H. S., Lim, J. H. and Chun, D. J., Hwang, U., "A Study on Characteristics of Knocking in Gasoline Engine through ECU Control", Journal of the Korea Safety Management and Science, Vol. 10, No. 3, pp. 109-115, 2008.
4. Lee, J. S., Lee, J. S, and Ha, J. Y. "A Study on the Method of Air-Fuel Ratio by Immediate Control in SI Engine" Transactions of KSAE, Vol. 6, No. 6, pp. 252-258, 1998.
5. Kim, H. M., Ryu J. D. "A Study on the Characteristics of Spray and Combustion in a HCCI Engine according to Various Injection Angles and Timings," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, No. 1 pp. 133-140, 2007.
6. Morikawa, K., Kaneko, M., Moriyoshi Y. and Sano, M., "A New Combustion Method to suppress Knocking in High Compression Ratio Spark Ignition Engine," Internal Combustion Engine Symposium, pp. 106, 2005.
7. Lee, T. H., Chun, K. M., "An Experimental Study of the Effects of Water Vapor in Intake Air on Combustion and Knock Characteristics in a Spark Ignition Engine," Transaction of KSAE, Vol. 6, No. 1, pp. 205-212, 1998.
8. Stone, R., Introduction to Internal Combustion Engines, Macmillan, UK, 1992.
9. Cho, Y. H., Kim, W. T. and Bae, C. S., "Method of Decreasing the Deviation of Corrected Engine Torque using Knock Correction Rate in Gasoline Engine Performance Test on Dynamometer," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 4, pp. 1-7, 2008.
10. Hwang, S. H., Cho, Y. S. and Lee, J. W. "A Study on Fuel Transport Characteristics in a Port Fuel Injected SI Engine during Transient Condition," Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 3 pp. 20-27, 2003.