

SI 기관의 공회전시 연소 안정성 향상에 관한 연구

A Study on the Improvement of Combustion Stability for SI Engine at Idle Operation

이 중 순*
J. S. Lee

ABSTRACT

In the SI engine, the improvement of combustion stability is important not only for the fuel consumption rate but also for the emission control at idling of engine. Thus the engine speed fluctuation at idle operation mainly comes from cyclic variation of combustion in the SI engine. In this study, the improvement of combustion stability for the SI engine at idle condition by the cooling water temperature, duty ratio of ISC, spark ignition timing as well as the reduction of the harmful exhaust gas emission was discussed.

주요기술용어 : Idle Speed Controller(공회전조절기), Ignition Timing(점화시기), rpm Fluctuation(회전수 변동), Combustion Pressure(연소압력), Emission(오염물질)

1. 서 론

가솔린기관에 있어서 연소의 안정성과 관련한 연구는 국내외적으로 많은 연구자들에 의해 지속적으로 수행되어 왔다. 특히, 공회전시의 연소 안정성은 운전의 쾌적성은 물론 유해 배기 물질의 배출 정도에도 큰 영향을 미친다. 일반적으로 연소의 안정성과 관련한 인자는 많지만 그 중에서도 직접적인 요인은 사이클 변동에 기인한다. 연소에 있어서 사이클 변동이 발생하는 주된 원인으로서는 각 사이클에 있어서 연소실 내로 공급된 흡입공기량의 차

이, 공기-연료비와 혼합기의 조성, 불균일한 잔류 가스와의 혼합, 실린더 내 유동특성의 변화, 초기 화염의 공간적 변화, 점화지연 및 점화에너지의 변동 성분 등을 들 수 있다.^{1~5)}

최근 도심 지역을 중심으로 한 교통량의 증가는 자동차의 정체를 유발하고 이로 인하여 자동차의 주행 속도가 매우 저하되고, 이러한 현상은 날이 갈수록 더욱 심각해질 것으로 보인다. 이에 따라 공회전 상태로 대기하는 운전시간이 크게 늘어나게 되어 공전속도의 저하 또는 공전속도의 안정성과 관련된 연구를 수행할 필요가 있다. 조 등^{6,7)}의 연구에 따르면 공회전의 기관회전수 변동에 큰 영향을 미치는 요인으로서는 연료분사시기, 점화시기,

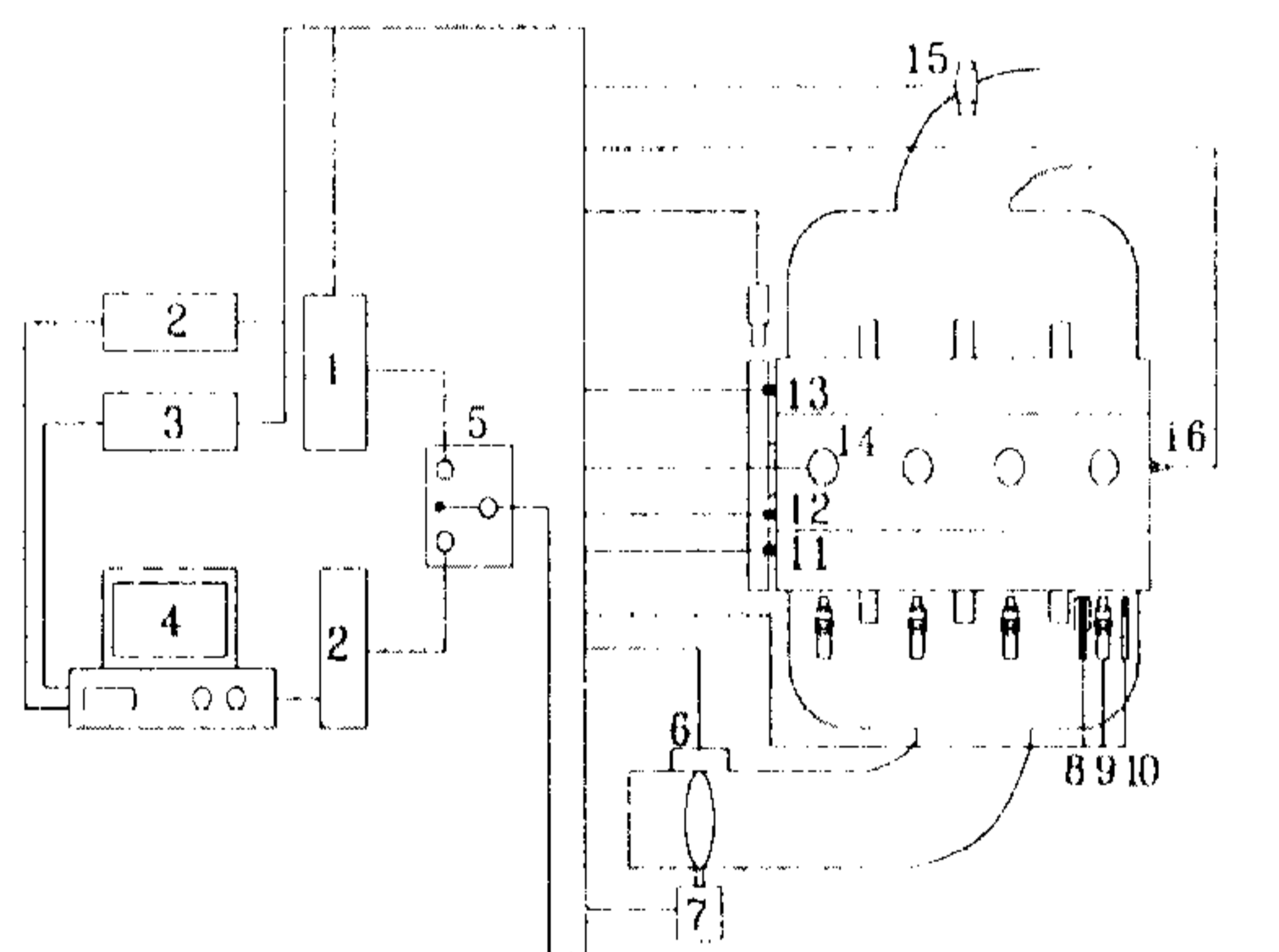
* 정희원, 동명대학 기계과

공연비의 변화 등을 들고 있고, 공전시의 평균유효 압력의 분포 특성은 정규분포에서 크게 벗어나기 때문에 그 특성효과가 다른 운전 조건의 경우와 상이하므로 연구 보완될 필요가 있다는 타당성 있는 주장을 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 공회전시의 연소안정성 향상을 위하여 ISC 펄스 듀티비(ISC pulse duty rate)의 제어를 통한 실험적 연구를 수행하였다. 즉, ISC의 제어 및 연료의 분사시기, 분사기간, 점화시기, 정밀공연비의 제어가 가능한 PC-Based ECU를 사용하여 난기보정의 유무에 따른 연소 특성을 분석하여 연소안정성 향상을 위한 정보를 제공한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 실험장치의 전체 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 배기량 1.8 l인 DOHC 4기통 기관과 기관의 구동을 위한 ECU, 기관 각부의 독립적 제어가 가능한 PC-Based ECU 시스템, 각 센서의 입·출력을 ECU와 PC로 전환할 수 있는 인터페이스, 흡입공기량 측정 및 냉각수 제어장치



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. E.C.U. | 9. Injector |
| 2. Interface | 10. Manifold Pressure Sensor |
| 3. A/D Converter | 11. Water Temperature Sensor |
| 4. IBM PC | 12. Encoder |
| 5. Switcher | 13. Oil Temperature Sensor |
| 6. Stepping Motor | 14. Ignition System |
| 7. Throttle Position Sensor | 15. Lean Mixture Sensor |
| 8. Air Flow Sensor | 16. Pressure Sensor |

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

등으로 구성되어 있다. 또, 기관의 스로틀 밸브 개도의 정밀한 제어를 위하여 스텝핑 모터를 이용하였다. 스로틀 밸브의 제어 단위는 스텝당 0.9°이며, 정·역 제어 및 속도를 1~255단계로 가변할 수 있다. 연소압력의 측정을 위하여 1번 실린더의 연소실에 피에조 타입의 압력센서(Kistler 6061A)를 설치하였고, 공연비 측정을 위하여 광역산소센서(UEGO Sensor, NGK Spark Plug Co.)를 배기다기관에 설치하여 배기가스 중의 산소 농도에 따른 전압을 출력하여 공기-연료 혼합비를 구하였다. 또, 배기가스의 측정을 위하여 배기가스 분석계(Datalog duration 3~999sec. De. Jaye Electronics Inc.)를 촉매변환기를 통과한 배기관에 설치하여 배기가스 중의 배기가스의 조성을 측정하였다.

냉간시와 열간 운전시의 운전 특성을 비교·확인하기 위하여 냉각수온을 임의의 온도로 조절할 수 있도록 하였고, 공전 운전시 기관회전수에 변화를 줄 수 있는 기관 주변 장치들을 모두 제거하였다. 본 실험에 사용된 기관의 주요 제원은 Table 1과 같다.

Fig.2는 PC Based ECU의 구성도를 나타낸다. ECU의 제어신호와 PC Based ECU의 제어신호는 전환장치를 통하여 선택적으로 엔진을 제어할

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Type of engine	4-valve Four-cylinder SI engine (DOHC)
Type of combustion chamber	Pent roof
Intake valve	
Open	6deg. BTDC
Close	46deg. ABDC
Exhaust valve	
Open	50deg. BBDC
Close	10deg. ATDC
Stroke volume(cc)	448.3
Bore & Stroke(mm)	81.0×87.0
Compression ratio	9.5 : 1

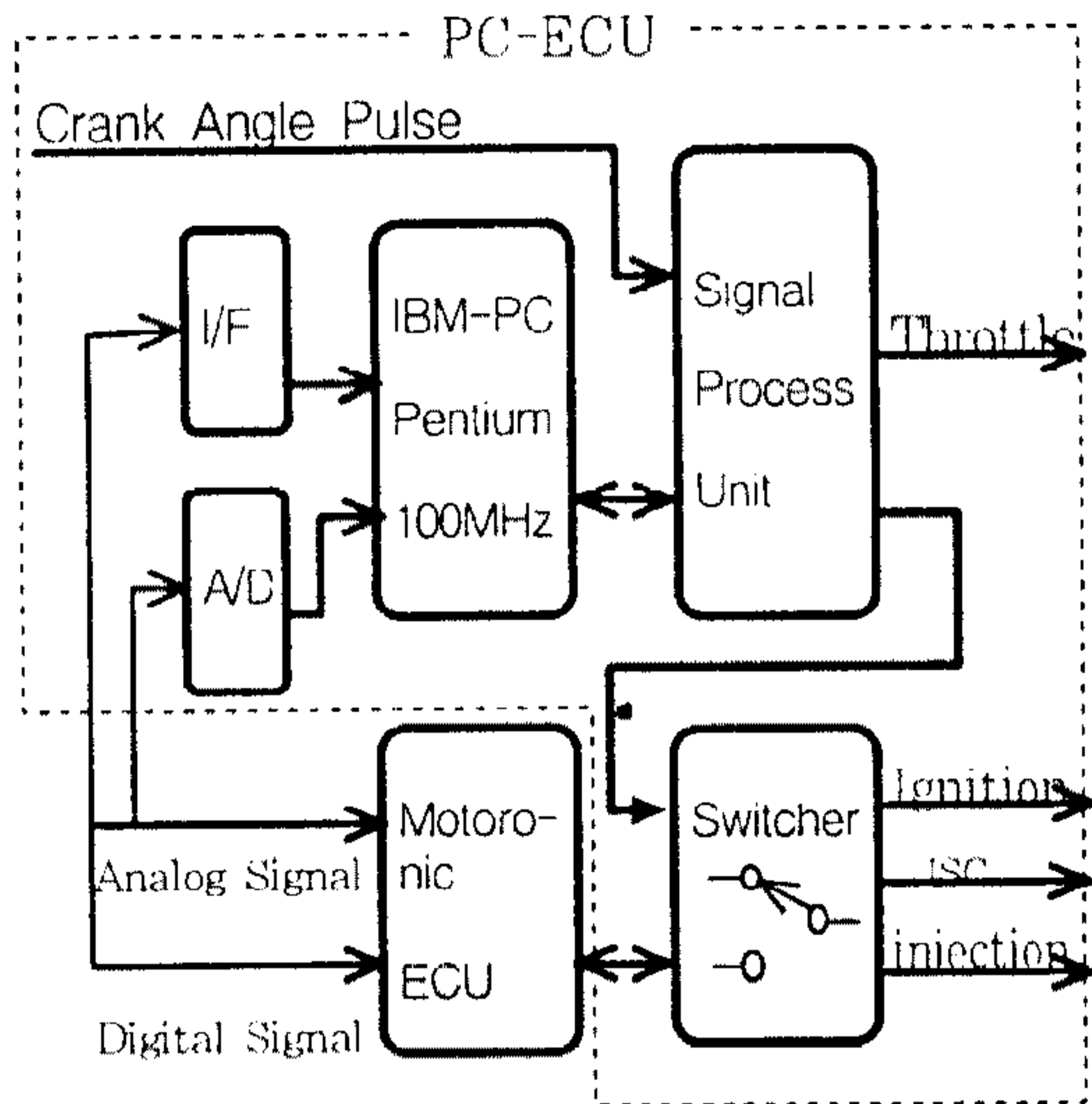


Fig.2 Block diagram of engine control system

수 있으며, ECU의 동작상태와 엔진의 동작상태는 PC Based ECU의 입력으로 연결되어 있기 때문에 모든 동작상태를 확인하고 감시할 수 있다.

크랭크 회전각도를 Event 개념으로 검출하기 위하여 캠 축에 1회전당 360펄스가 발생하는 엔코더를 설치하고 매 Event의 상승과 하강 에지를 검출하여 크랭크 회전에 따른 1°의 정밀도를 가지도록 하였다. 또한, 기관의 각종 센서의 신호 검출을 위하여 A/D(analog to digital converter) 변환기를 설치하여 센서의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하도록 하였다. 본 연구에서는 16채널의 아날로그 입력과 4채널의 아날로그 출력 및 24채널의 디지털 입출력이 가능한 변환기(Win-3016PGL, UEI, Max. sampling rate: 1MHz)를 사용하였다.

I/F(Interface)장치는 자체 제작한 것으로서 32개의 디지털신호를 처리할 수 있다. Signal process unit 장치는 캠 축에 부착된 엔코더 펄스를 매 Event에서 검출하여 엔진의 위치(각도)를 1도 단위로 계산하여, IBM-PC로부터 미리 설정된 값으로 각종의 제어신호를 출력하며 이들의 구성도는 Fig.3과 같다.

신호처리 제어장치는 One-Chip Microprocessor인 PIC16C74(클럭 주파수: 20MHz)를 사용하였으며, 이는 EPROM이 내장된 8Bit CMOS

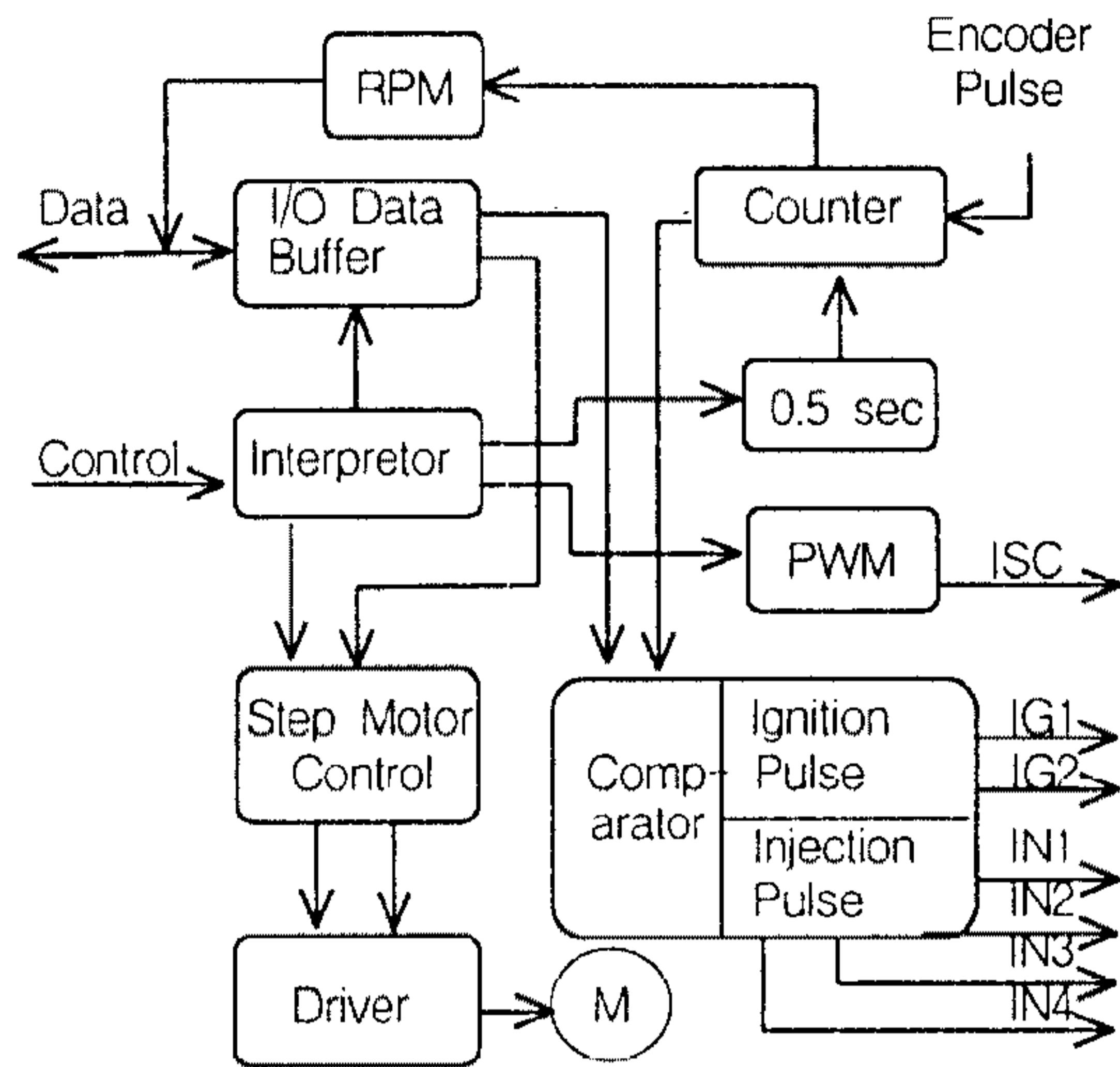


Fig.3 Block diagram of signal process unit

형의 CPU로서 동종의 CPU에 비하여 코드 압축 효과를 얻을 수 있어 처리능력이 매우 빠른 반면, 소비전력이 적은 특징을 가지고 있다. PIC16C74는 엔진의 회전에 따른 크랭크축의 상·하사점 정보를 엔코더를 통하여 펄스로 입력받아 각도를 계산한다.

또한 PC Based ECU에서 보내온 데이터를 저장하고 PC Based ECU의 제어신호에 따라 회전수의 검출과 함께 설정값에 따른 점화 신호, 연료 분사 신호, 스텝핑 모터 제어 신호를 출력한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 ISC 펄스의 듀티비 제어 및 고찰

스로틀 밸브가 닫혀 있는 구간인 공회전 영역에서는 기관의 안정된 운전 조건의 제어 및 보상을 위하여 우회공기의 유입량 조절을 행한다. 즉, 이를 위하여 스로틀 밸브 전 후면에 위치한 흡입공기의 유입 통로를 전자밸브를 이용하여 개폐를 조절한다. 전자밸브의 제어를 위하여 펄스 폭을 제어하고 듀티비에 따라 밸브의 개폐비를 조절함으로써 우회공기의 평균 유입량을 제어한다.

신호처리장치(signal processing unit)는 듀티비를 0~100% 영역까지 제어 가능하도록 개발하였고, 실험은 35~80% 범위에서 수행하였다. 슬

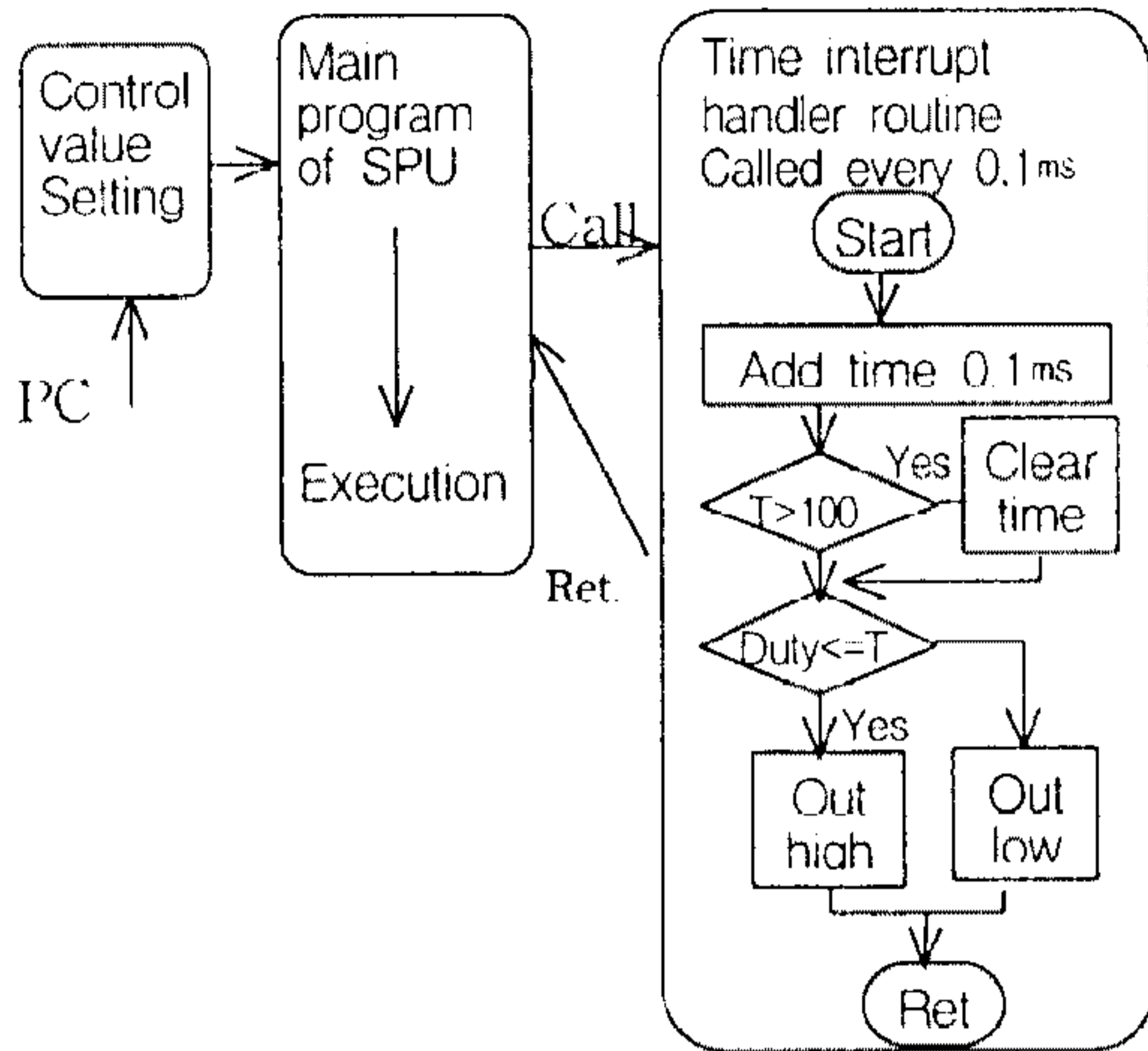


Fig.4 Flow chart for the duty rate control of ISC

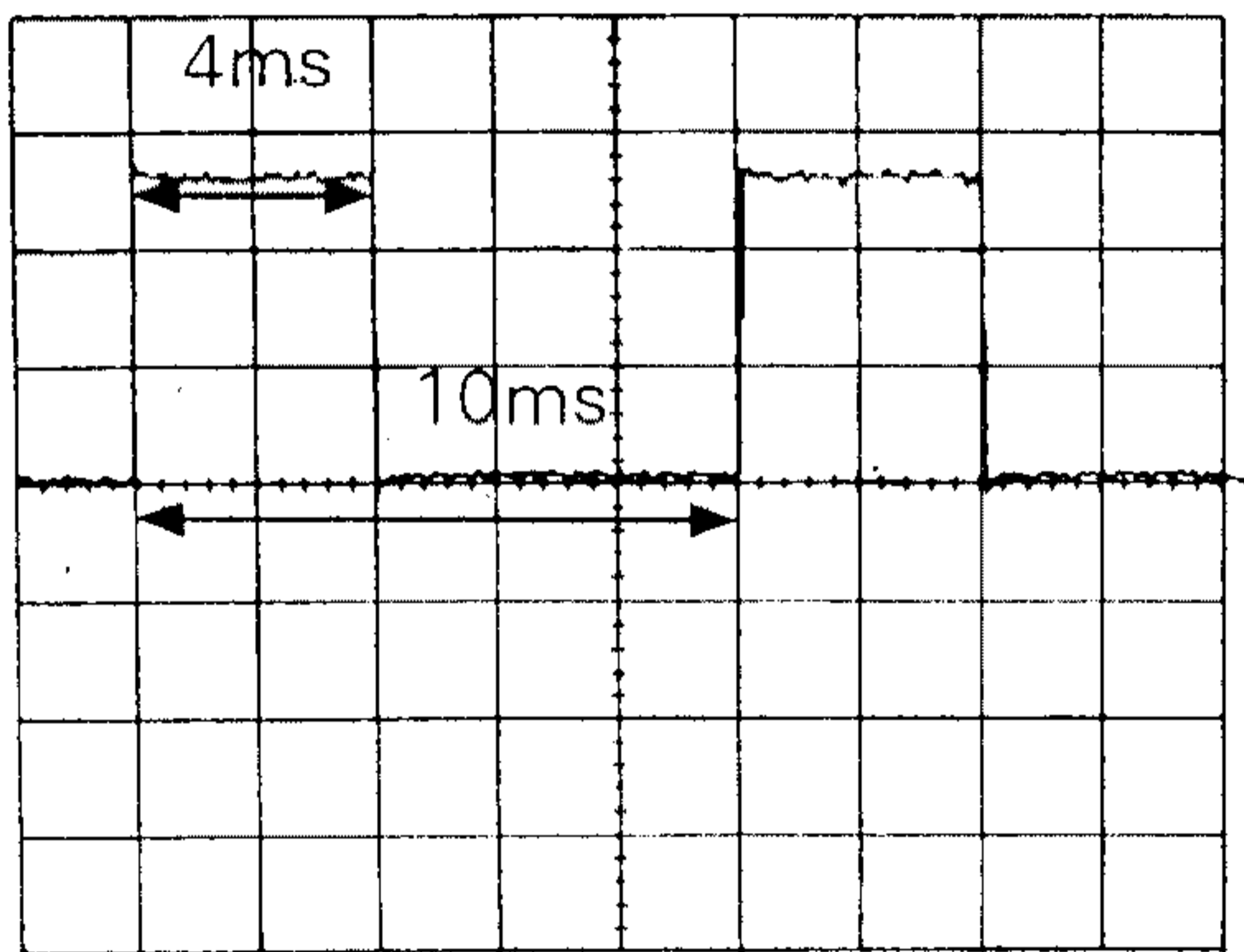


Fig.5 ISC control signal

레노이드의 제어를 위한 펄스의 주기는 10ms이고, 신호처리장치는 PC로부터 제어 값을 입력받아 펄스의 듀티비를 제어한다.

제어는 인터럽트(interrupt)방식을 사용하였고 제어를 위한 계통도는 Fig.4와 같다. PIC16C74 CPU의 내부에 있는 타이머를 이용하여 0.1ms마다 인터럽터를 발생시키고, 이 때 0.1ms씩 시간을 계산하여 설정된 듀티비보다 같거나 작을 때는 High 신호를 출력하고 그 외에는 Low 신호를 출력한다. 이와 같은 방법으로 제어를 한 결과를 Fig.5에 나타내었다.

Fig.5는 ISC 밸브의 제어 정도 확인을 위하여 듀티비를 40%로 하여 제어한 경우의 ISC 밸브 출

력을 디지털 오실로스코프로 측정한 결과이다. ISC의 제어는 100단계로 할 수 있으며, 본 그림의 경우는 펄스의 주기가 10ms인 경우이기 때문에 4ms의 출력을 보인다.

3.2 ISC 펄스 듀티비와 기관회전수의 관계

ISC 펄스 듀티비 및 냉각수 온도가 기관회전수에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험한 결과를 Fig.6과 Fig.7에 나타낸다.

Fig.6은 냉각수온도가 40°C인 조건으로 ISC 밸브의 열림 기간을 증가시킴에 따라 전반적으로 기관회전수는 증가하는 경향을 보인다.

ISC 밸브의 열림 기간을 30%에서 80%로 증가시킨 경우에 기관의 회전수는 300% 이상 증가하는 현상을 보인다. 특히, ISC 밸브의 열림 기간을 30%에서 40%로 변화시킨 경우에 약 200% 정도로 기관회전수의 증가폭이 크게 나타남도 알

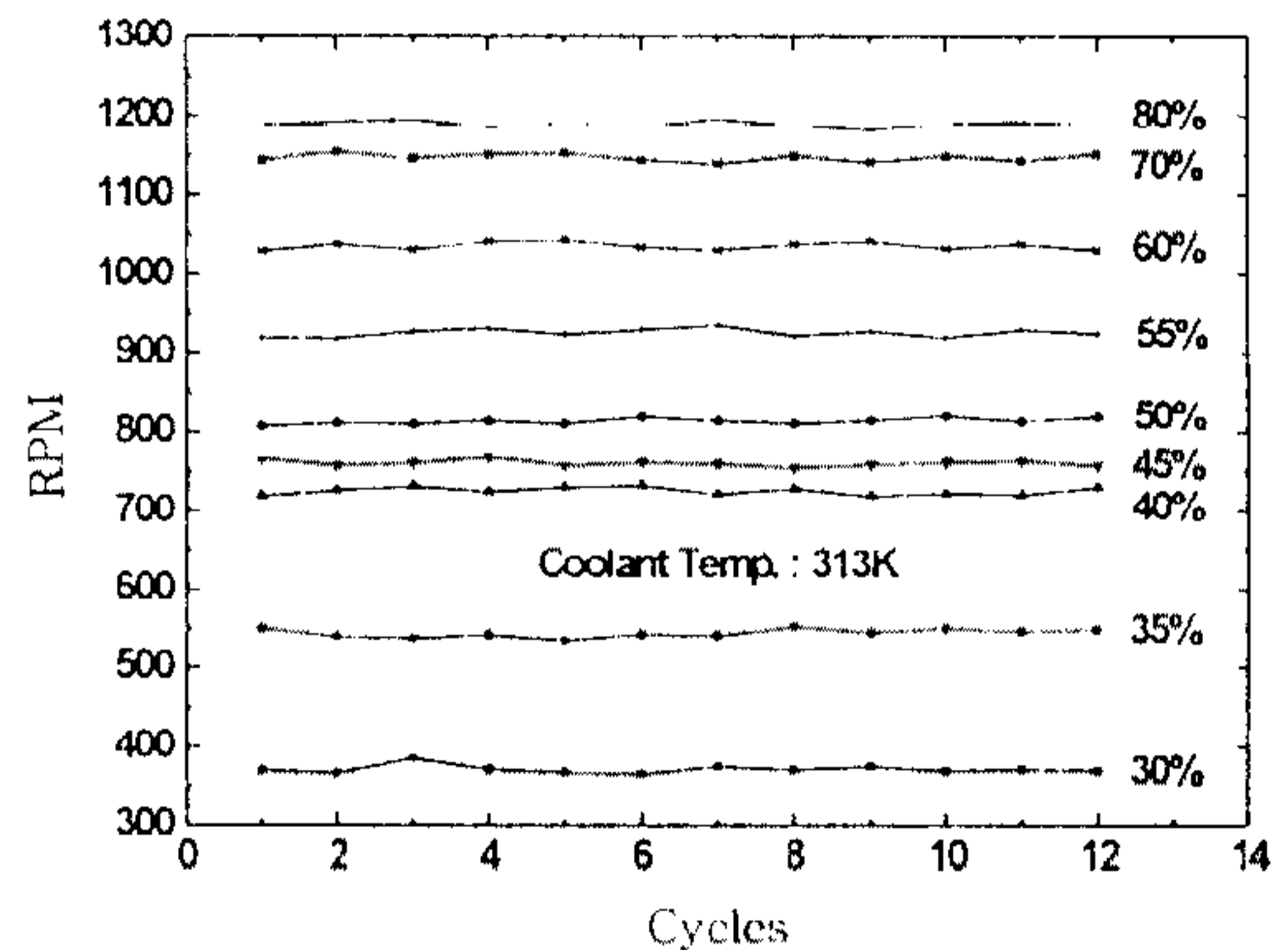


Fig.6 Relation between rpm and ISC duty rate

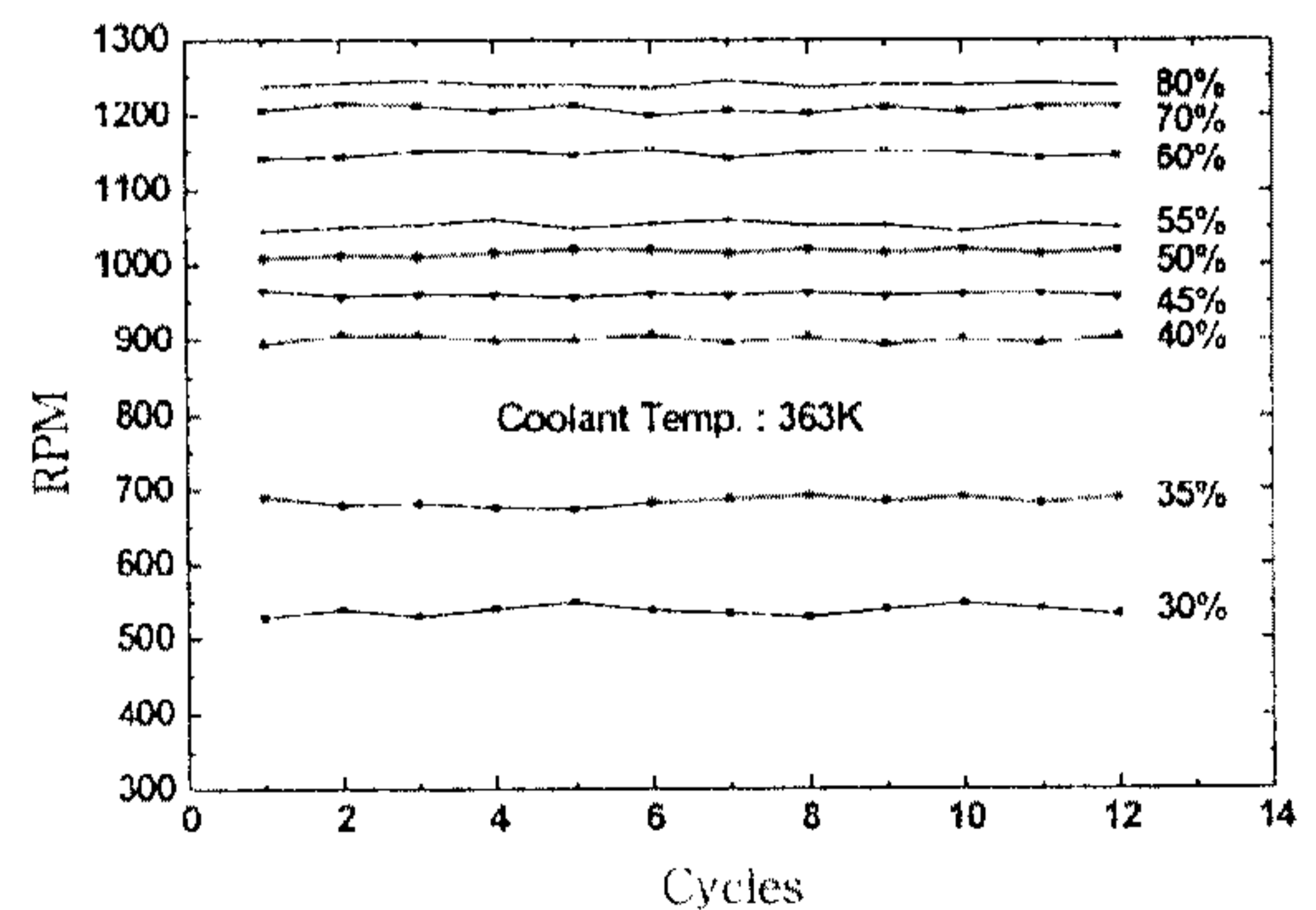


Fig.7 Relation between rpm and ISC duty rate

수 있다. 이로 볼 때, 온도가 낮은 영역에서는 공회전 속도의 제어를 위하여 45~50% 정도의 ISC 밸브 열림 기간을 유지해야 함을 알 수 있다.

Fig.7은 동일 조건에서 냉각수 온도를 90℃로 유지한 경우에 실험한 결과를 나타낸 것이다. ISC 밸브의 열림 기간을 30%에서 80%로 증가시킨 경우에 기관의 회전수는 220% 정도 증가하는 현상을 보인다. 또, 공회전 속도의 제어를 위해서 35~40% 정도의 ISC 밸브 열림 기간을 유지해야 함을 알 수 있다. 이와 같은 두 조건을 비교하면, 냉각수 온도가 낮은 영역에 비하여 냉각수 온도가 높은 영역에서는 상대적으로 ISC 밸브의 열림 기간이 짧음에도 불구하고 높은 회전수를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

이러한 현상은 기관의 온도가 높아짐에 따라 흡입과정 중의 가솔린 연료의 증발이 촉진되고 무화가 양호해질 뿐 아니라 연소실 내에서의 냉각손실이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다. 또, ECU의 제어를 행하는 기관에서는 흡입공기의 유량이 증가하면 흡입공기에 비례하는 양의 연료가 공급되어야 하기 때문에 연료소비량도 증가할 것으로 보인다. 따라서, 기관의 과냉과 과열을 방지할 수 있는 냉각수 온도의 최적제어 및 냉각수 온도의 변화에 대응하여 실시간적으로 동작 가능한 ISC 밸브의 제어를 위한 알고리즘의 개발을 위한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단되며, 이를 통해 공회전시의 연소안정성 향상을 꾀할 수 있을 것으로 생각된다

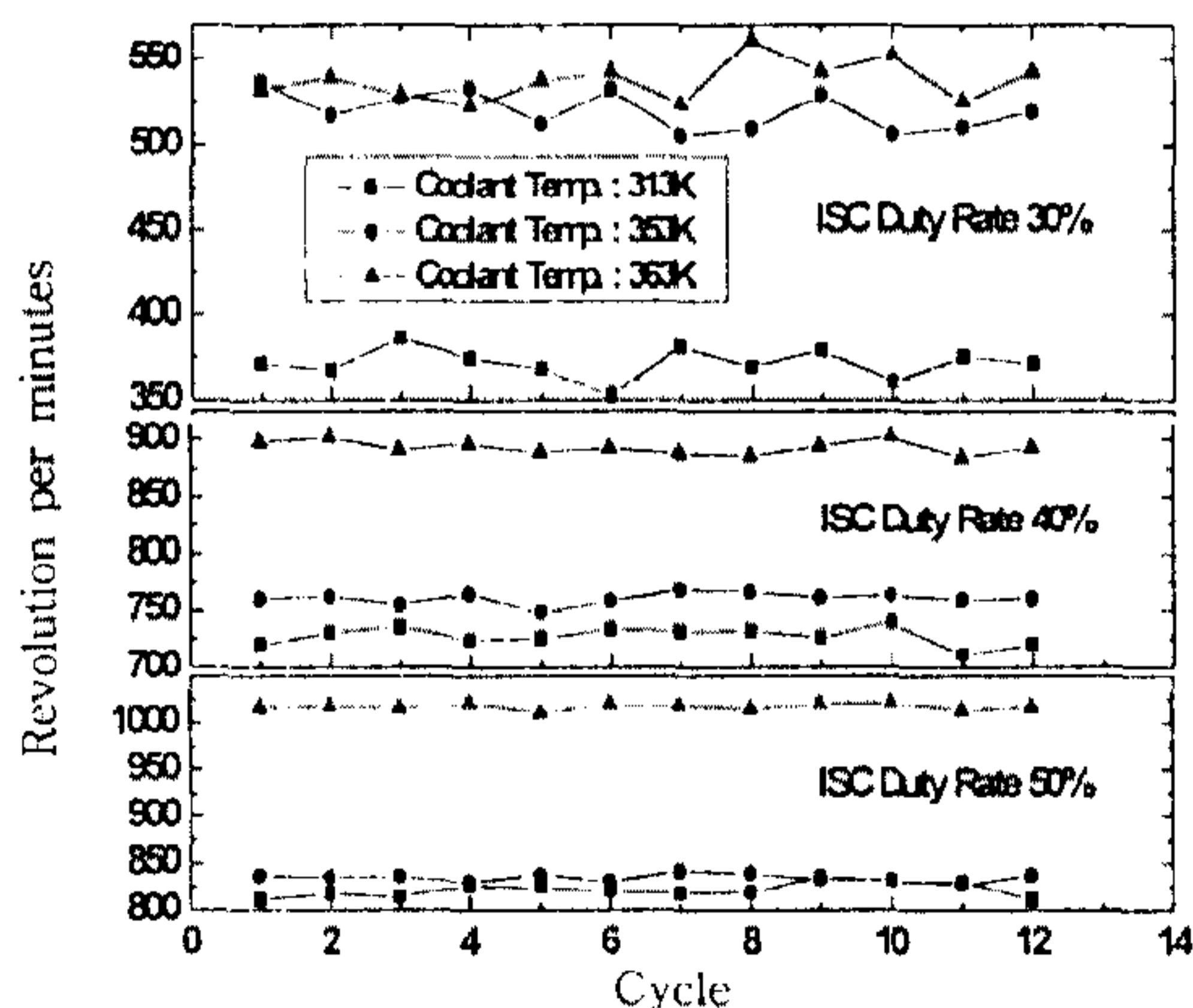


Fig.8 Relation between rpm and ISC duty rate

Fig.8은 ISC 밸브의 듀티비가 일정한 상태에서 냉각수 온도에 따른 기관의 회전수 변동을 확인하기 위하여 실험한 결과이다. 본 실험 조건에서 가장 낮은 값을 가진 ISC 듀티비가 30%인 경우에는 모든 온도조건에서 550rpm 이하의 회전수를 보이는 반면, 40% 이상의 듀티비에서는 기관의 회전수가 공회전수 영역을 유지함을 볼 수 있다.

그러나, 기관의 회전수 변동률은 듀티비가 30%인 경우에 4~10% 정도의 매우 불안정한 값을 보이는 반면, 듀티비가 40% 이상인 조건에서는 2% 이내의 매우 안정된 값을 보인다. 이와 같은 결과로 볼 때, 공회전시의 연소안정성을 향상시키기 위해서는 냉각수의 온도도 중요하지만 기관의 온도에 따른 적정의 듀티비가 존재함을 알 수 있다. 위의 결과와 Fig.6과 Fig.7의 결과를 종합해 볼 때 본 연구의 범위에서는 냉각수온도가 40℃인 경우에는 47%, 난기 보정을 하지 않는 80℃ 내외의 영역에서는 42%, 난기 보정을 행하는 90℃ 내외의 영역에서는 37% 정도의 듀티비가 가장 최적인 것으로 나타났다.

3.3 ISC 듀티비와 점화시기의 관계

공회전 상태에서 ISC의 듀티비를 제어할 경우에 점화시기에 미치는 영향을 분석한 결과를 Fig.9에 나타낸다.

실험의 조건은 냉각수의 온도를 353K로 일정하게 유지한 경우이며 기관 회전수는 750rpm이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 ISC의 듀티비가 증

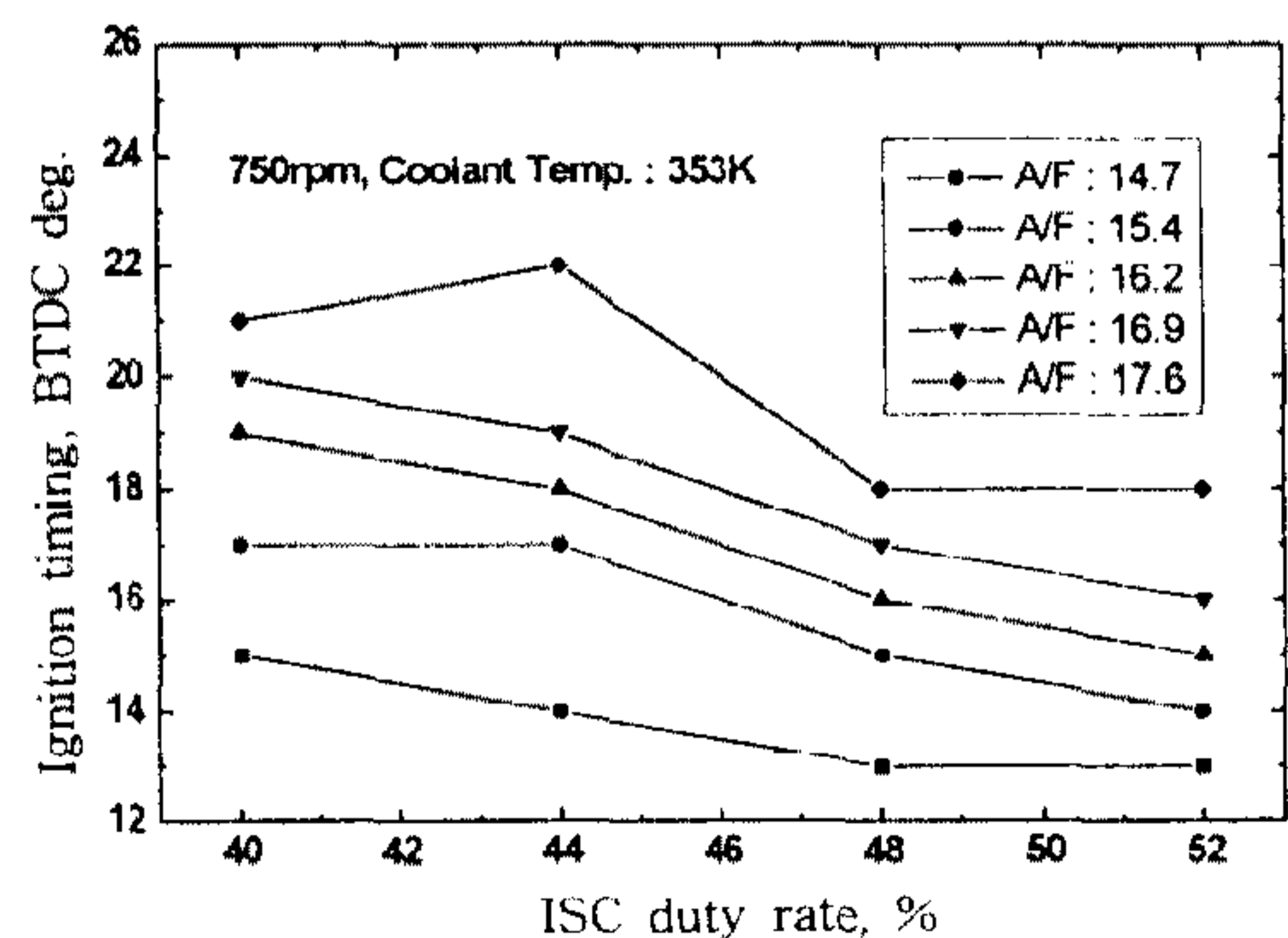


Fig.9 Relation between ISC rate and ignition timing

가함에 따라 점화시기는 TDC쪽으로 지각되는 현상을 보인다.

또한, 공연비가 이론혼합비로부터 점차 희박해짐에 따라 점화시기는 지연되는 현상을 볼 수 있다.

이러한 현상으로 볼 때 공회전시의 속도 안정성 향상을 위해서는 주어진 공연비 조건에 대한 적정의 ISC 듀티비나 점화시기의 제어가 필요함을 알 수 있다.

따라서, ISC 듀티비나 점화시기의 제어를 위한 지속적인 연구를 통하여 실행시간이 빠른 알고리즘 및 프로그램의 개선을 취할 경우에 이는 공회전 상태에서의 속도 안정성 향상에 충분히 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig.10은 도시평균 유효압력을 점화시기에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 TDC를 기준으로 점화시기를 진각시킴에 따라 도시평균 유효압력이 증가하는 경향을 볼 수 있다.

일반적으로 상용의 엔진에서도 최대토크를 고려한 최적점화시기를 제어하지 않고 공회전의 안정성과 배기가스 및 연료소비율 등을 고려하여 점화시기를 제어하고 있다.

즉, 공전상태에서의 점화신호는 ECU로부터 TDC 또는 TDC 이전의 영역에서 출력하지만, 실제의 불꽃방전은 점화드웰로 인하여 ATDC 영역에서 일어난다.

점화드웰은 기관의 제원에 따라 서로 다르지만, 본 연구에 적용된 기관의 경우에는 4.8~5.0ms 정도의 점화드웰을 갖기 때문에 실제적인 점화는

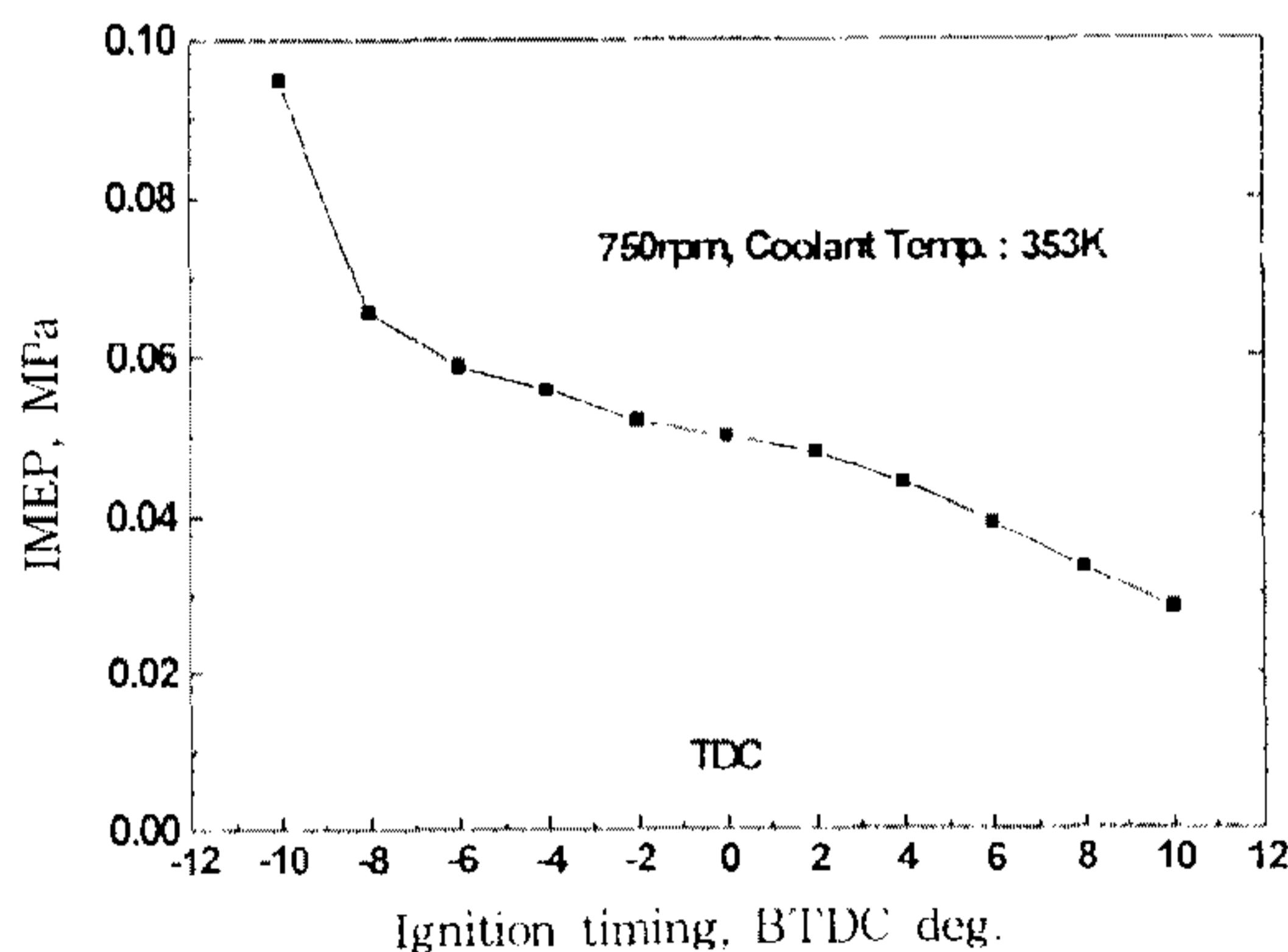


Fig.10 Relation between IMEP and Ignition Timing

ATDC 10° 내외의 영역에서 일어나는 현상을 확인할 수 있었다.

이와 같이 도시평균 유효압력이 저하됨에도 불구하고 점화시기를 지연시키는 것은 공회전의 경우는 부하가 없기 때문에 최대토크를 고려한 최적 점화시기의 제어가 불필요하기 때문이다. 또, 점화시기를 진각시킬 경우에는 기관의 회전수가 공전 속도 이상으로 증가될 뿐 아니라 연소가스의 온도가 높아져 질소 산화물 등과 같은 유해 물질의 배출이 많아질 수 있기 때문에 점화시기를 늦추는 것으로 판단된다.

3.4 공회전시의 배출가스 특성

Fig.11은 공회전시 유해물질의 배출 특성을 확인하기 위하여 실험한 결과를 나타낸 것이다. 본 조건은 ECU에 의한 기관의 제어를 행한 경우이며, 냉각수의 온도제어는 기관에 설치된 서머스탯(thermostat)을 제거한 후 외부 온도조절기를 이용하여 제어하였다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 기관 시동 직후인 시동 초기에 CO와 HC는 급격한 배출을 보인 후 60초 이내에 기준값 이하의 값으로 저하되어 냉각수온의 상승과 함께 일정한 값을 나타내는 반면, NOx는 반대 경향을 보인다.

또한, 시동 직후인 20초 이내의 영역에서 CO와 HC가 최대값을 보이는 것은 크랭킹시 ECU는 산소센서의 출력을 피드백 제어하지 않기 때문에 상대적으로 농후한 혼합기가 공급되는 일시적인 현상에 기인한 것으로 보인다.

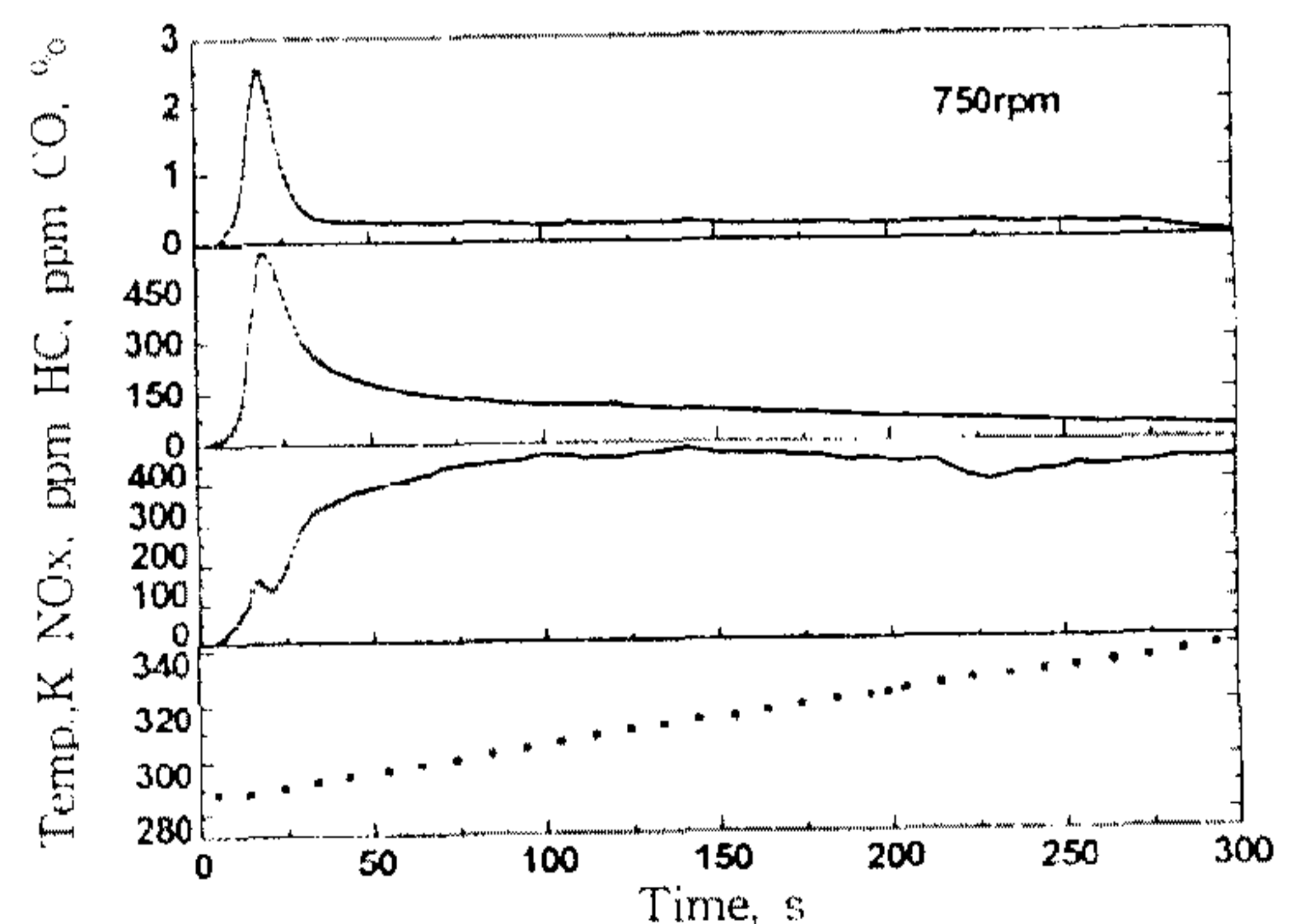


Fig.11 Relation between emissions and time elapsed

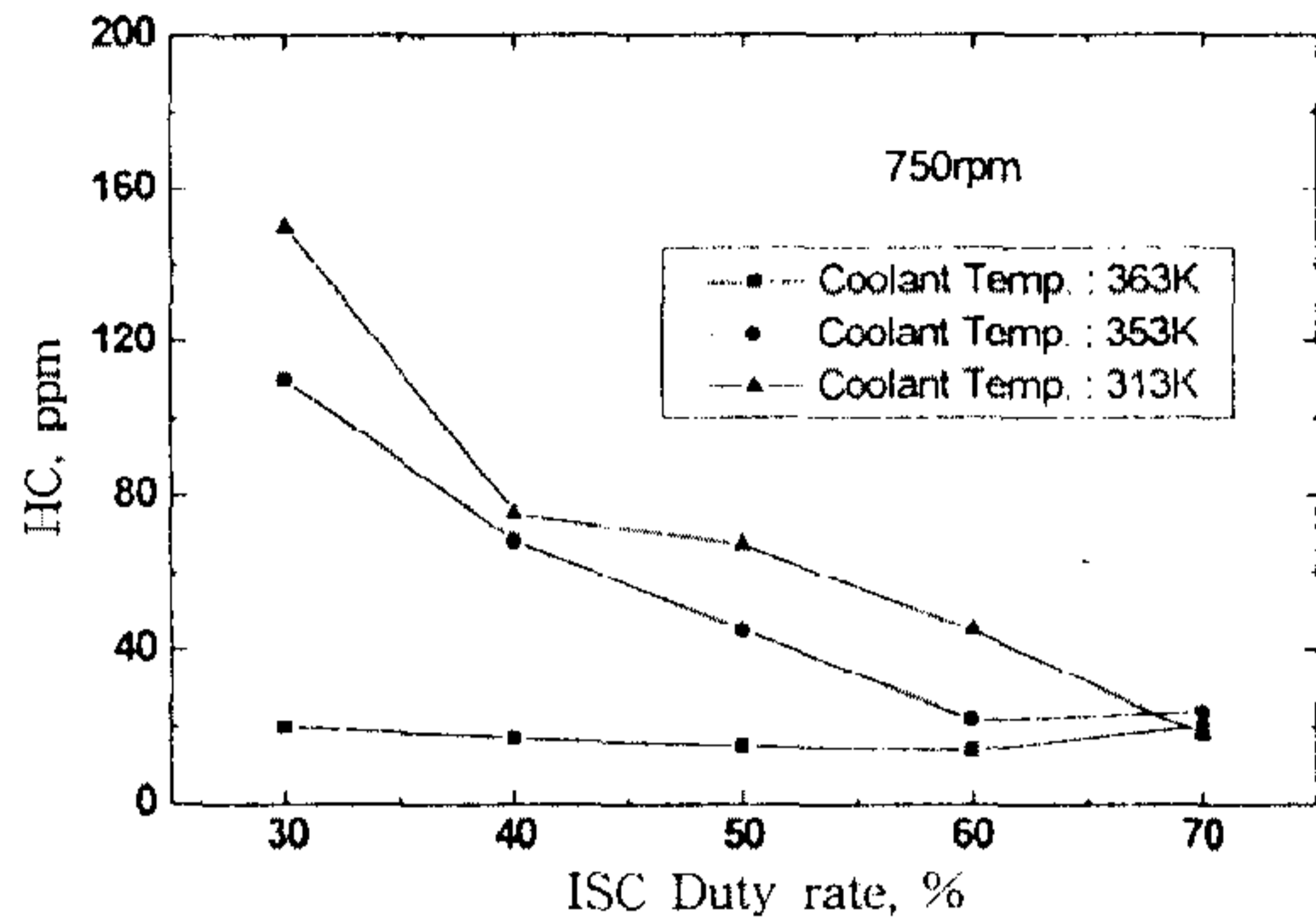


Fig.12 Relation between ISC duty rate and HC

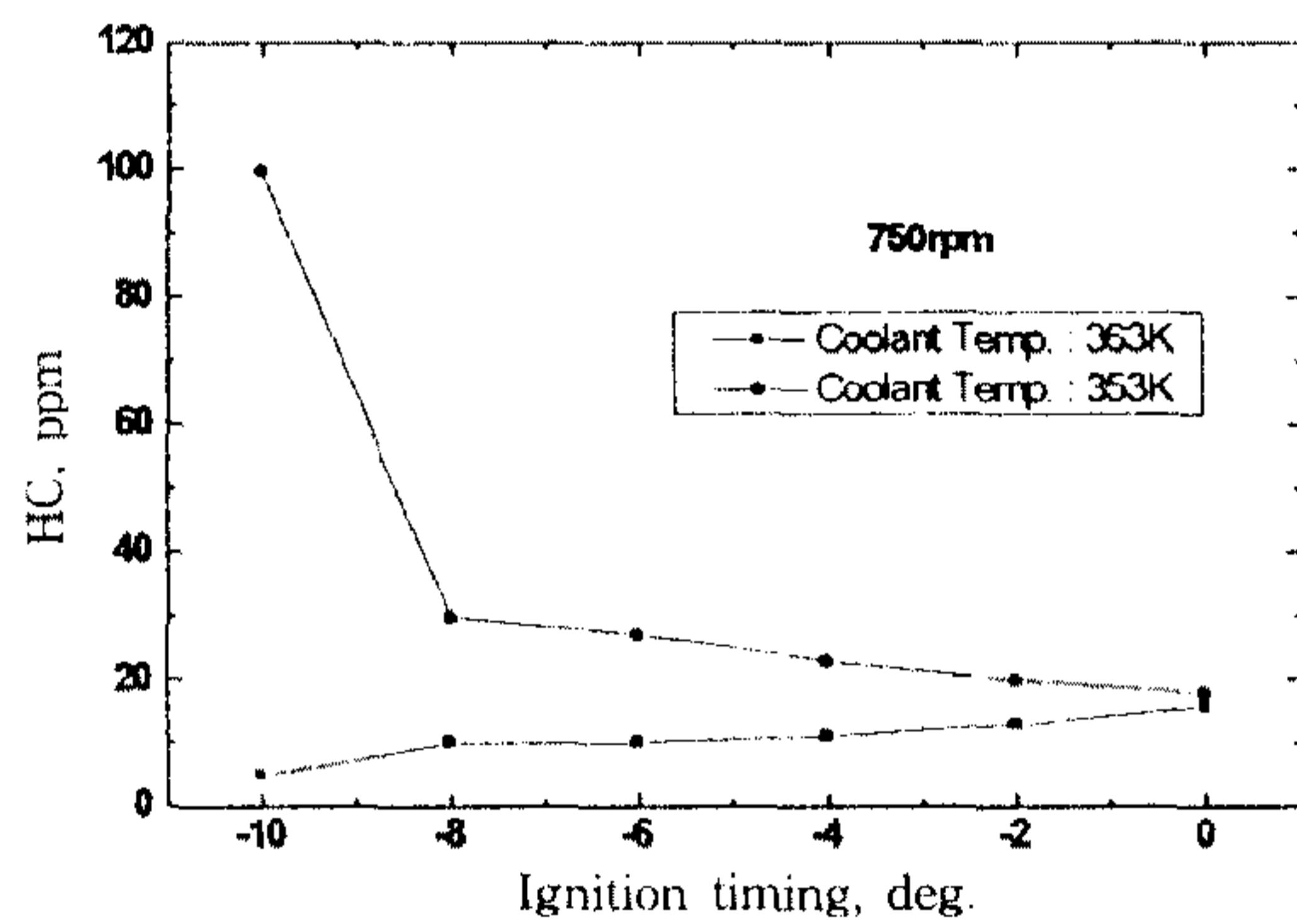


Fig.13 Relation between ignition timing and HC

이러한 현상에 대한 보다 명확한 해석을 위하여 ISC 듀티비에 따른 HC의 배출 농도를 측정한 결과를 Fig.12에 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 냉각수온이 높아지거나 ISC 듀티비가 증가함에 따라 HC의 배출량은 현저히 감소함을 알 수 있다.

그러나, 냉각수온이 정상작동 온도에 도달한 경우에는 ISC 듀티비에 따라 HC의 배출 농도의 변화는 거의 없다.

따라서, 기관의 공회전시에는 온도 조건에 적절한 ISC 듀티비의 제어를 통하여 배기가스를 저감할 수 있음을 알 수 있다.

Fig.13은 공회전 상태에서 점화시기 변화에 대한 배기가스의 배출 특성을 확인한 결과이다. 본 조건은 공연비가 15:1인 경우로 점화시기 변화에 따른 CO의 배출은 거의 변화가 없었기 때문에 HC의 경우만을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 난기 보정 유무에 따른 HC의 농도는 큰 차이를 보이며, 점화시기를 진각시킴에 따라 HC의

농도가 급격히 증가하는 현상을 알 수 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 공회전 상태는 최대 출력을 요하지 않는 운전영역이기 때문에 점화시기를 일정영역까지 지각시켜 완만한 후연소 상태를 유지하는 쪽이 HC의 배출농도를 저감하는데 유리할 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 1) 기관 제어를 위하여 개발한 PC-Based 신호 처리장치는 기관의 운전 영역에 실시간적으로 적용 가능하였다.
- 2) 공회전시의 속도 안정성 향상을 위해서는 주어진 공연비 조건에 대한 적정의 ISC 듀티비나 점화시기의 제어가 필요하다. 따라서, ISC 듀티비나 점화시기의 제어를 위한 지속적인 연구를 통하여 실행시간이 빠른 알고리즘 및 프로그램의 개선을 취할 경우에 이는 공회전 상태에서의 속도 안정성 향상에 충분히 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 시동 초기에 CO와 HC는 급격한 배출을 보인 후 60초 이내에 기준치 이하의 값으로 저하되어 냉각수온의 상승과 함께 일정한 값을 나타내는 반면, NO_x는 반대 경향을 보인다.
- 4) 공회전 상태는 최대 출력을 요하지 않는 운전영역이기 때문에 점화시기를 일정영역까지 지각시켜 완만한 후연소 상태를 유지하는 쪽이 HC의 배출농도를 저감하는데 유리할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 동명대학 학술연구조성비의 지원을 받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

1. J. B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill, 1988.
2. Ozdor, N., Dulger, M. and Sher, E., "Cy-

- clic Variability in Spark Ignition Engines a Literature Survey”, SAE Paper No. 940987, 1994.
3. J. B. Heywood et al., “Cycle-to-Cycle IMEP Fluctuation in a Stoichiometrically Fueled S. I. Engine at Low Speed and Load”, SAE Paper No. 902143, 1990.
 4. 강건용, 이종태, 허강열, 하종률, “흡기포트 및 연소실 설계기술개발 최종보고서”, 1997.
 5. Hill, P.G., “Cyclic Variation and Turbulence Structure in Spark-Ignition Engines”, Combustion and Flame, Vol. 72, pp. 73~89, 1988.
 6. 조규상, 정연종, 김원배, “가솔린 기관의 운전 변수가 공회전 안정성에 미치는 영향”, 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, Vol. II, pp. 461~466, 1996.
 7. 조한승, 황승환, 이종화, “공회전시 연소의 사이클 변화 모델링 및 확인실험”, 한국자동차공학회 논문집 제4권 제2호, pp. 221~229, 1996.