

SI 기관의 공연비 제어 방법에 관한 연구

A Study on the Method of Air-Fuel Ratio by Immediate Control in SI Engine

이 종 승*, 이 중 순**, 하 종 료***
J. S. Lee, J. S. Lee, J. Y. Ha

ABSTRACT

In a SI engine, it is necessary to control fuel quantity in accordance with intake air amount in order to reduce exhaust emission and improve the specific fuel consumption. Generally the map data is used for the vehicles with a SI engine. For the precise control of air-fuel ratio, the real time control method is recommended rather than the control method using map data. In this paper, we developed real time control system using microprocessor and IBM-PC, and applied it to the commercial SI engine. We got good results for air-fuel ratio under the idle condition.

주요기술용어 : ECU(전자제어장치), A/D Converter(아날로그-디지털변환기), PC-ECU(컴퓨터 전자제어장치), Signal Process Unit(신호처리장치), Real Time Control(실시간 제어), Engine Control System(엔진제어장치), Air-Fuel Ratio(공연비)

1. 서 론

회박연소의 개선을 위하여 유동, 점화에너지, 착화 및 연소특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이는 정도 높은 공연비 제어를 기본으로 하고 있다. 공연비 제어를 원활하게 하기 위하여 전자제어장치가 사용된 MPI 방식의 기관이 사용되

고 있으며 새로운 제어 알고리즘이 개발되고 있다. 이와 관련한 선행연구로서 고 등은¹⁾ 실시간 제어가 가능한 엔진 제어 시스템을 구축하여 시뮬레이션을 행하였다. 김 등은²⁾ 마이크로 컴퓨터를 사용하여 크랭크 각을 기준신호로 순차분사를 행하여 연료의 과대 분사에 의한 실화를 줄이기 위한 연구를 행하였으며, Kaidantzis 등은³⁾ 기존의 엔진 조건에서 정밀한 공연비를 얻기 위해서는 연료의 유동변화에 따른 신속한 보상과 함께 연료분사 위치에서의 공기의 유량이 정확히 계산되어야 한다고 밝힌 바 있다. 또, TBI, MPI 엔진을 사용한 공연

* 정회원, 동아대학교 대학원
** 정회원, 동명대학 기계과
*** 정회원, 동아대학교 기계공학과

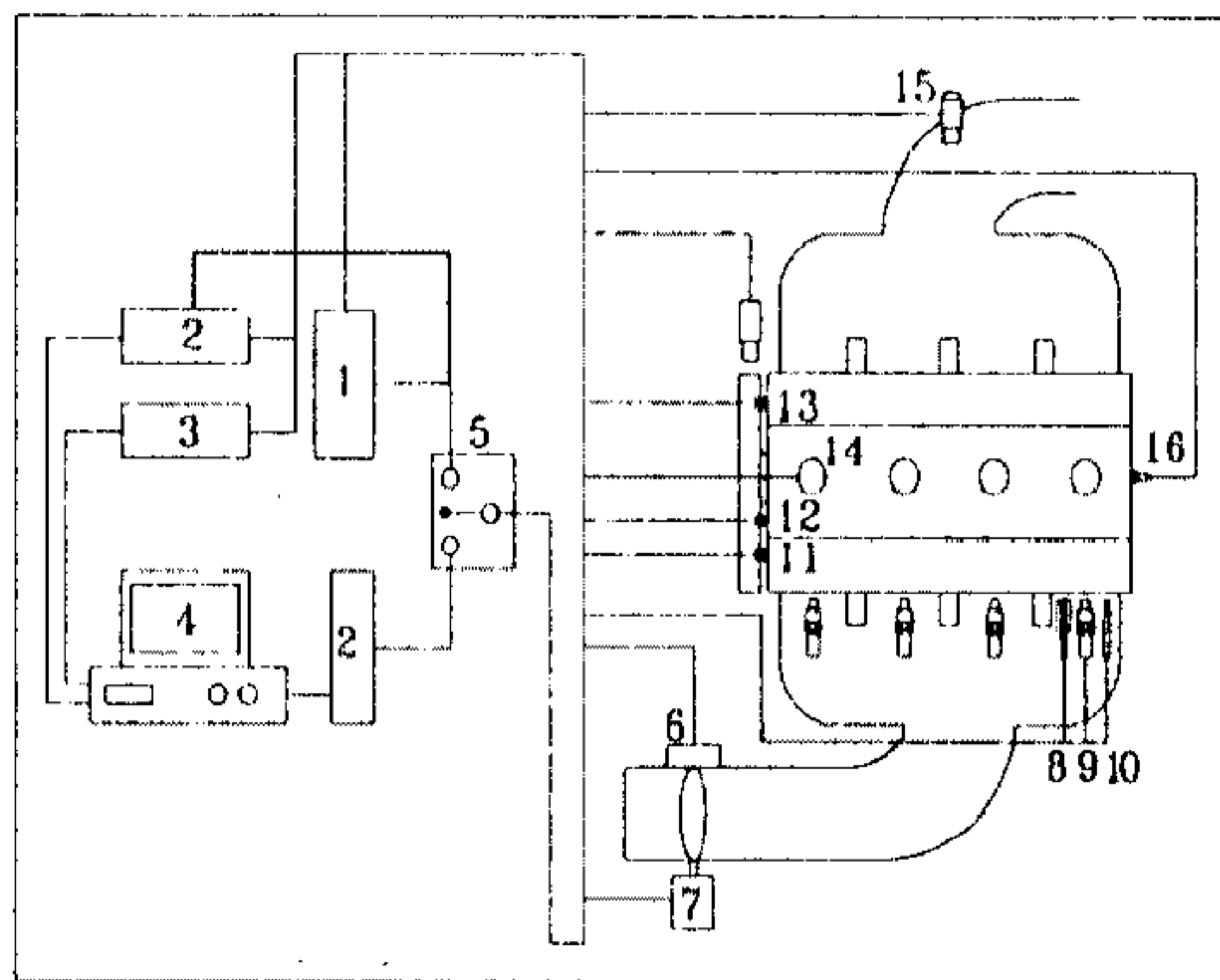
비에 대한 어려들을 예시하고, 이를 해결하기 위한 새로운 방법으로 응답성이 빠른 새로운 센서와 함께 프로그램의 개발 필요성을 주장하고 있다.⁽⁴⁾ 그러나, 다양한 제어특성과 엔진의 과도기적 운전 조건을 충분히 만족시킬 수 있는 실시간 제어와 관련한 대안은 아직까지 부족한 입장이다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 제어특성과 센서 등을 포함한 시스템의 종합화와 과도기적 운전 특성에 실시간 적용이 가능한 능동형 전자제어장치를 개발한다. 이를 실제의 기관에 적용하여 공회전 상태에서 공연비를 제어하는 알고리즘을 개발한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1은 실험장치의 구성도로서, 실제의 기관과 기관에 관련된 센서, ECU(Engine Control Unit), 연구용으로 개발된 PC-ECU(Personal Computer based - ECU) 및 추가로 장착된 센서, 변환장치로 구성을 하였으며, 기관의 운전에 필요한 냉각시스템을 별도로 장착하여 설정된 온도에서 기관을 구동할 수 있도록 하였다.

ECU의 제어신호와 PC-ECU의 제어신호는 변



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 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

환장치를 통하여 선택적으로 엔진을 제어할 수 있으며, ECU의 동작상태와 엔진의 동작상태는 PC-ECU의 입력으로 연결되어 있어 PC-ECU는 모든 동작상태를 확인하고 감시할 수 있다. ECU와 PC-ECU의 입·출력 신호들의 상호간섭을 없애기 위하여 아날로그 스위치, 입력 임피던스가 높은 연산증폭기 등을 사용하여 신호를 서로 분리하는 I/F(Interface)장치를 구성하였다. 또한 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 실드선을 사용하였고, 특히 고차압이 발생하는 점화장치 부분은 별도로 차폐를 하였다. 본 연구에 사용된 기관의 주요 제원은 Table 1과 같다. PC-ECU의 구성도는 Fig.2와 같으며, 크랭크축의 회전각도를 검출하기 위하

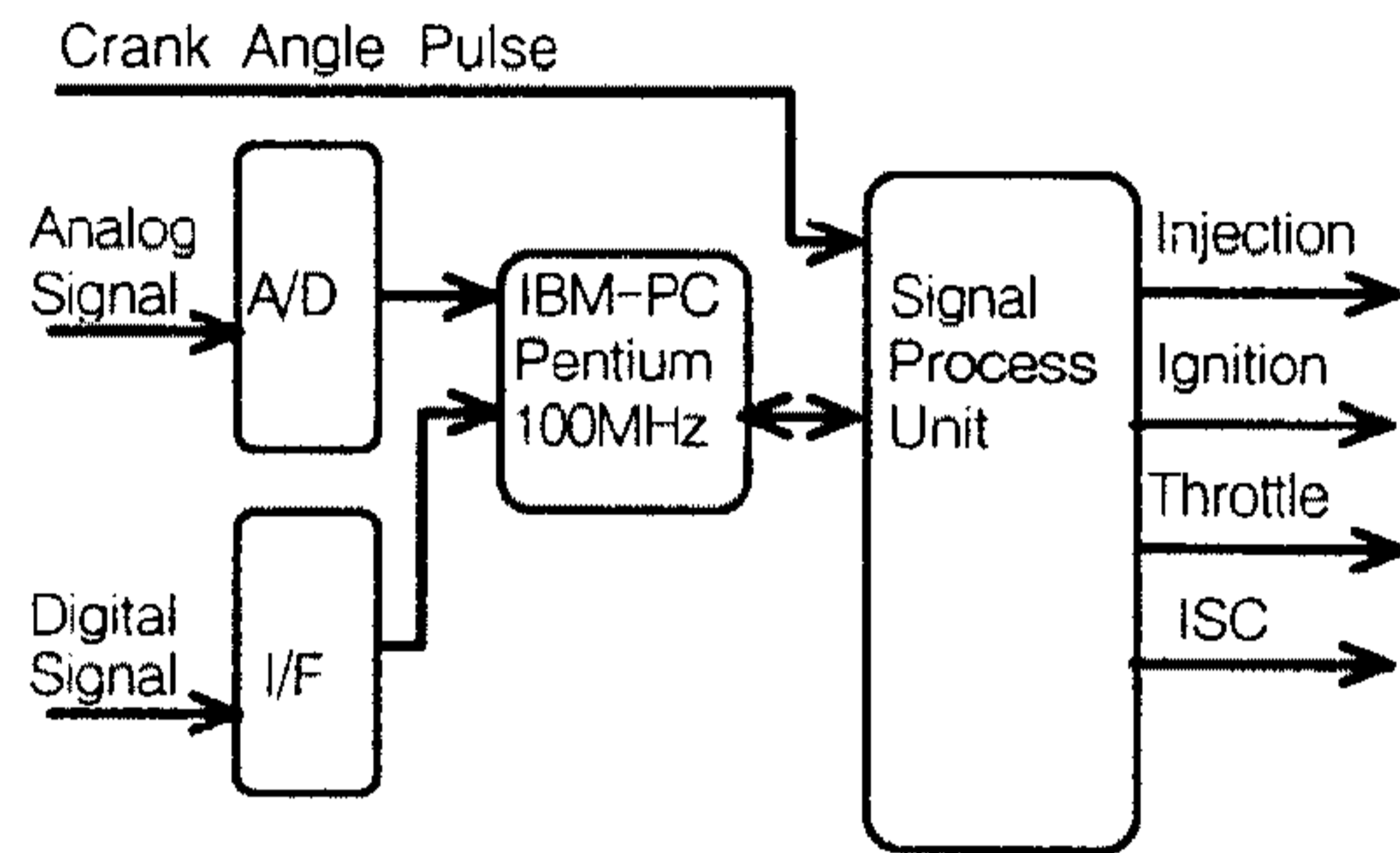


Fig.2 Block diagram of PC-ECU

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Type of engine	4-valve 4-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

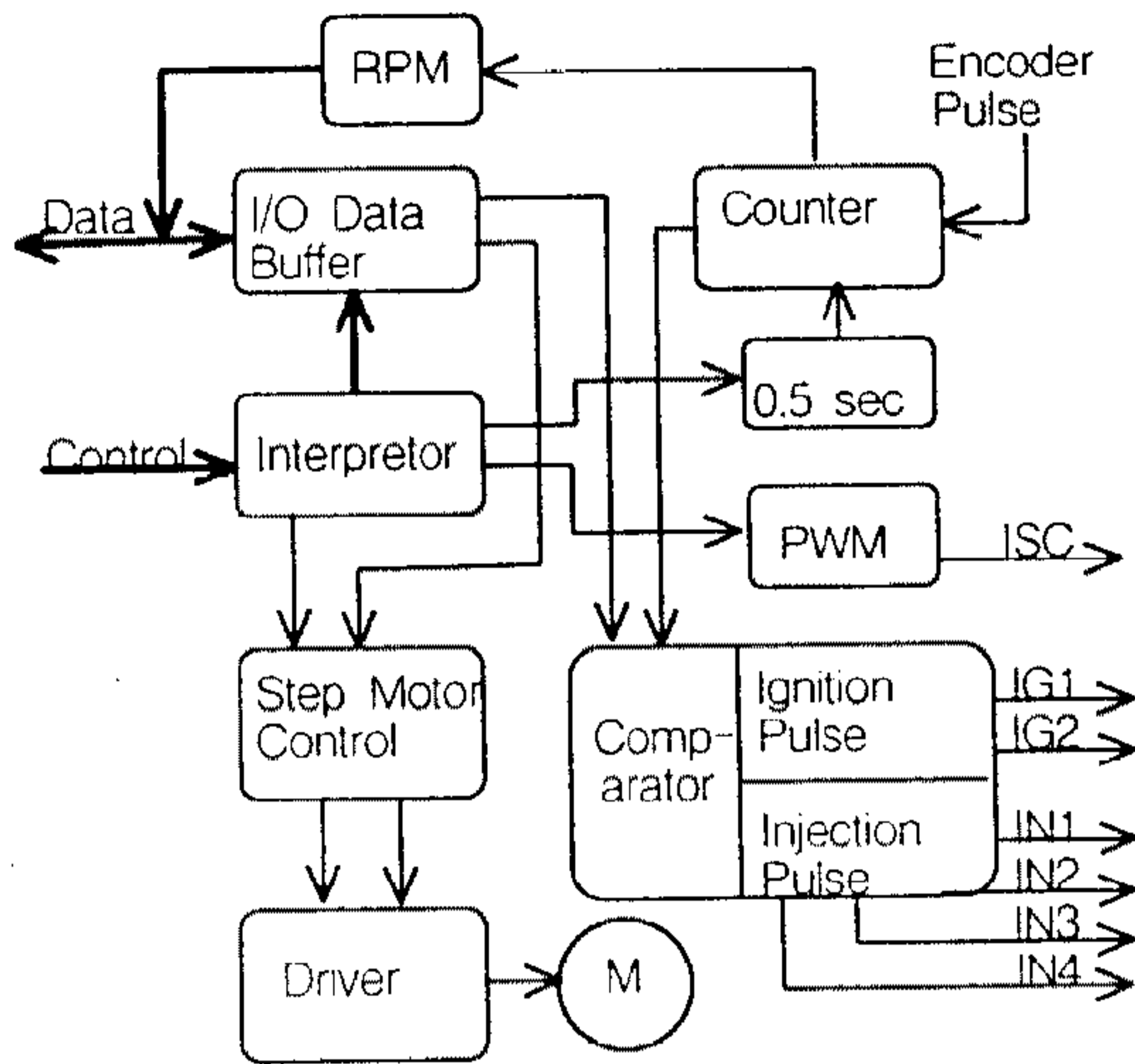


Fig.3 Block diagram of signal process unit

여, 캠 축에 1회전당 360펄스가 발생하는 엔코더를 설치하였으며, 펄스의 상승과 하강 Event를 검출하여 크랭크축의 회전각도에 대하여 1도의 정밀도를 가지도록 하였다. 엔진의 각종 센서들의 신호를 검출하기 위하여 A/D변환기를 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.

신호처리제어장치(Signal process unit)는 컴퓨터로부터 제어신호 및 데이터를 입력받아 각종의 제어신호를 출력하며 이들의 구성도는 Fig.3과 같다. 신호처리제어장치는 One-Chip Microprocessor인 PIC16C74를 사용하였으며 이는 EPROM이 내장된 8Bit CMOS형의 CPU(Central Processing Unit)로서 동종의 CPU에 비하여 코드 압축 효과를 얻을 수 있어 처리능력이 매우 빠르며, 소비전력이 적은 특징을 가지고 있다.

PIC16C74는 엔진의 회전에 따라 캠축에 부착된 엔코더에 발생하는 펄스를 입력받아 각도를 계산한다. 또한 PC-ECU에서 보내온 데이터를 저장하고 PC-ECU의 제어신호에 따라 회전수의 검출과 함께 설정 값에 따른 점화 신호, 연료분사 신호, 스텝모터 제어 신호, ISC신호를 출력한다.

2.2 아날로그 신호 처리

본 연구에서 처리하는 아날로그신호는 엔진에 기본적으로 장착되어 있는 MAS#1(Mass Air Flow Sensor), WTS#1(Water Temperature Sensor), TPS(Throttle Position Sensor), O₂ Sensor와 정밀공연비 제어를 위하여 별도로 부착한 LMS (Lean Mixture Sensor), MAP(Manifold Air Pressure), MAS#2, WTS#2의 신호를 처리하며 센서의 출력은 Buffer와 변환기를 거쳐 A/D변환기로 입력한다. A/D 변환기의 각 채널은 12Bit($2^{12} = 4,096$)의 분해능을 가지며 디지털 카운터에 따른 전압은 식 (1)과 같다.

$$\text{Volt} = (\text{Digital count}) \times (5) / 4096 \text{ [V]} \quad (1)$$

2.3 엔코더 신호 처리

엔코더의 신호는 Fig.4와 같이 A상 펄스의 Event를 모두 카운터하여 엔코더 1회전당 720 Event (360 Pulse)를 얻어 크랭크 회전축에 대하여 1도의 정밀성을 가진다. 카운터 값은 Z상의 펄스가 발생되면 0으로 되어 다시 시작한다.

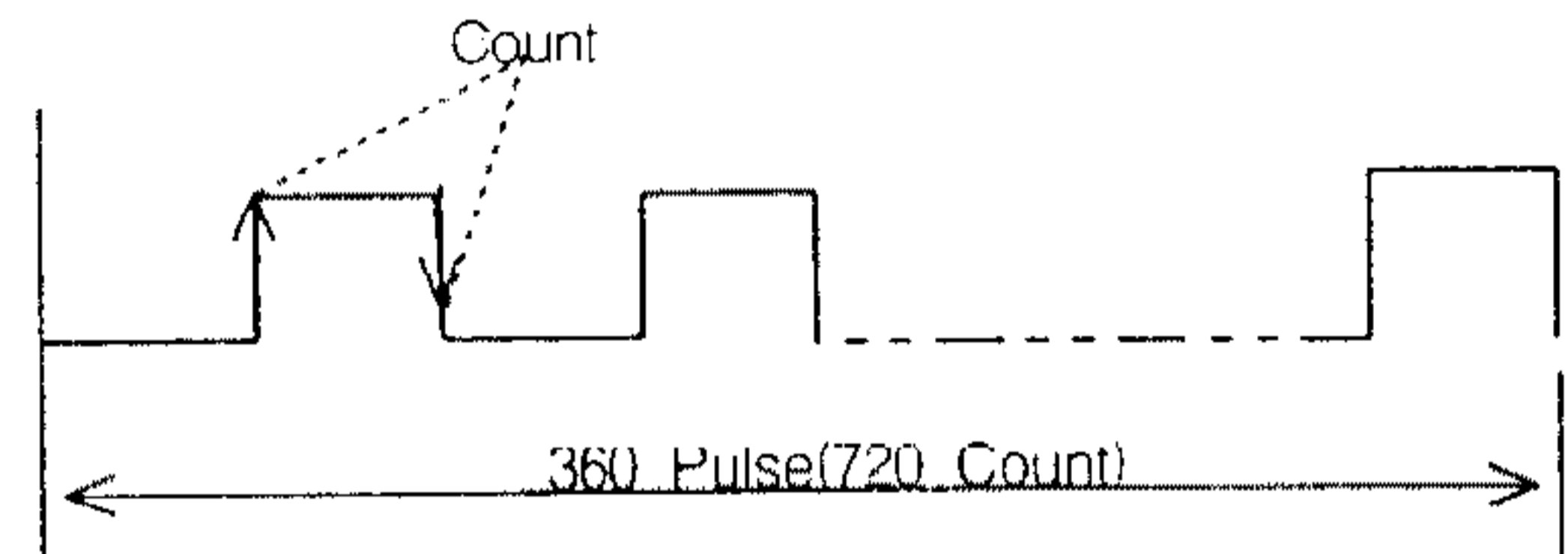


Fig.4 A phase of encoder

2.4 스톱 밸브 각도 제어

Fig.5는 스텝모터의 구동을 위한 회로를 나타낸 것이다. 스톱 밸브의 각도를 제어하기 위하여 스텝당 0.9°를 회전하는 스텝모터를 사용하였으며, 정·역제어가 가능하고 모터의 회전속도를 1~255단계로 변화시킬 수 있도록 하였으며, 프로그램으로 제어가 가능하다. 이를 이용하여 스톱 밸브의 각도를 원하는 속도 및 위치로 변화시킴으로써 흡입공기량의 조절이 가능하다.

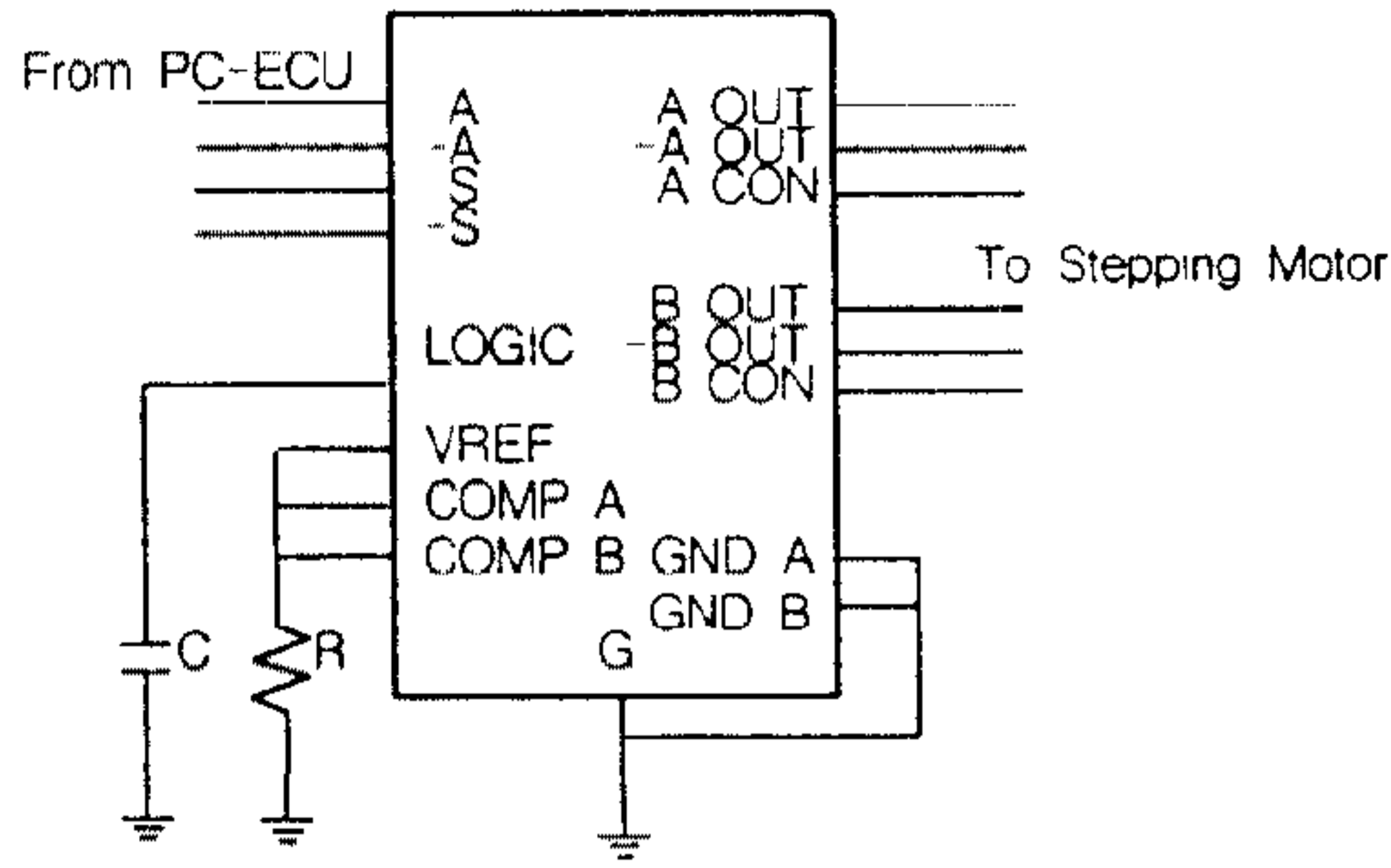


Fig.5 Driving circuit of stepping motor

2.5 공연비 및 연소압력 측정

본 연구에서는 흡입공기량의 계측을 위하여 열막형 유량센서와 열선 유량센서를 스로틀 밸브 상류와 1번 실린더에 인접한 흡기포트의 선단에 각각 설치하였는데, 스로틀 밸브 상류에는 상용으로 사용하고 있는 Bosch사의 것을, 흡기포트의 기관 쪽 선단에는 Kanomax사의 것을 각각 사용하였다. 연소압력의 계측을 위하여 1번 실린더의 연소실에 피에조 타입의 압력센서를 설치하였다. 또한, 공연비 계측을 위하여 광역산소센서(UEGO Sensor, NGK Spark Plug Co.)를 배기다기관에 설치하여 배기가스 중의 산소 농도에 따른 전압을 출력하여 공기-연료 혼합비를 구하였다.

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.

2.6 소프트웨어 및 제어방법

소프트웨어는 윈도우 95 환경에서 구축을 하였으며, Borland C++ Builder Ver1.0의 언어를 사용하였다. IBM-PC에서 기관의 운전상태를 점검하고 각종의 센서들의 신호를 분석하여 운전조건을 결정한 후 데이터를 신호처리장치로 전송하고 제어신호를 보내면, 기관이 주어진 조건에 따라 구동된다.

제어신호는 8Bit의 데이터레지스터, 상태레지스터, I/O 레지스터, 기능레지스터로 구성되어 있으며, I/O 레지스터는 입·출력 방향을 설정하고 기

Table 2 Description of Function Register

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	
Origin	R/W	Start	Load	Function Code				
				Function Code				Description
Bit3	Bit2	Bit1	Bit0					
0	0	0	0					No operation
0	0	0	1					Stepping motor speed
0	0	1	0					Stepping motor position 1
0	0	1	1					Stepping motor position 2
0	1	0	0					Ignition position 14-1
0	1	0	1					Ignition position 14-2
0	1	1	0					Ignition position 23-1
0	1	1	1					Ignition position 23-2
1	0	0	0					Injection position 1
1	0	0	1					Injection position 2
1	0	1	0					ISC duty rate
1	0	1	1					Stepping current Position 1
1	1	0	0					Stepping current Position 2
1	1	0	1					RPM 1
1	1	1	0					RPM 2
1	1	1	1					Injection duration

능레지스터에 동작기능을 기록하면 주어진 동작이 실행된다. 또한, 동작이 정상적으로 실행되었는지는 상태레지스터를 읽어 확인 가능하며 필요시 수정동작을 행한다. 기능레지스터의 기능은 Table 2에 나타내었다.

스테핑모터의 속도는 1~255단계로 조절이 되며, 점화위치는 크랭크축의 각도로서 TDC를 기준으로 720°까지 조절이 가능하다. 연료분사위치는 TDC를 기준으로 처음연료를 분사하는 4번 인젝터의 각도 값을 입력하면 순차적으로 180° 간격으로 2,1,3번 인젝터에 연료분사 신호를 인가한다. ISC 펄스는 10ms의 주기를 가지는 구형파로서 전구간 0단계로 나누어 제어한다. 제어값이 30이면(30×10ms/100=3ms) 펄스의 Low부분이 3ms, High부분이 7ms가 된다. 연료분사기간은 0.1ms 단위로 최대 20ms까지 조절이 가능하다. 기관의 회전수는 엔코더에서 발생하는 펄스를 0.5초 동안

카운터하여 환산하여 나타낸다.

3. 연구결과 및 고찰

Fig.6은 아날로그 및 디지털신호를 제어하는 화면이다.

아날로그 신호는 0.3sec마다 값을 읽어 10회 평균값을 취한 결과이다. 센서신호에 따른 실제 값을 환산하기 위한 환산 값을 언제든지 입력할 수 있도록 하여 제어의 편리성을 추구하였다. 디지털 값은 입력과 출력을 각각 제어할 수 있도록 하였으며 출력으로 설정된 신호는 값을 체크버튼에 설정한 후 출력 버튼을 누르면 값이 전송되도록 하였으며 정상적으로 제어가 됨을 확인하였다.

Fig.7은 PC-ECU에서 제어값 및 데이터를 출력하고 그 결과를 피드백하여 검증하는 프로그램이다. 점화시기, 연료분사시기와 연료량, 스로틀

각 등의 제어신호를 입력하여 신호처리장치로 보내어 기관을 제어한다. 이때 필요한 아날로그 신호를 샘플링하여 데이터를 파일로 저장하여 분석한다. 모터속도제어, 점화시기, 연료분사시기 및 분사량, ISC제어, 스테핑모터 위치 신호 등이 정상적으로 동작하였으며, 피드백을 통하여 스로틀밸브의 위치를 검정하였다. RPM은 기관의 회전에 따른 Event의 개수를 0.5sec마다 읽어 환산하여 회전수를 계산하였으며 10회의 평균값을 취하였다. Fig. 8은 ISC에 대한 제어신호의 결과이다. ISC 제어는 듀티비를 조정하는 것으로서 전체 주기를 10ms를 100단계까지 조정할 수 있도록 하였으며 Fig. 8은 40단계로 제어하였을 때의 동작과형을 나타낸다.

Fig.9는 점화신호를 제어하는 신호이다. RPM 1580, 점화드웰 4.4(41.7°)ms일 때 점화신호를 BTDC 14°(1.5ms)에서 인가하였을 때, 점화방전이 ATDC

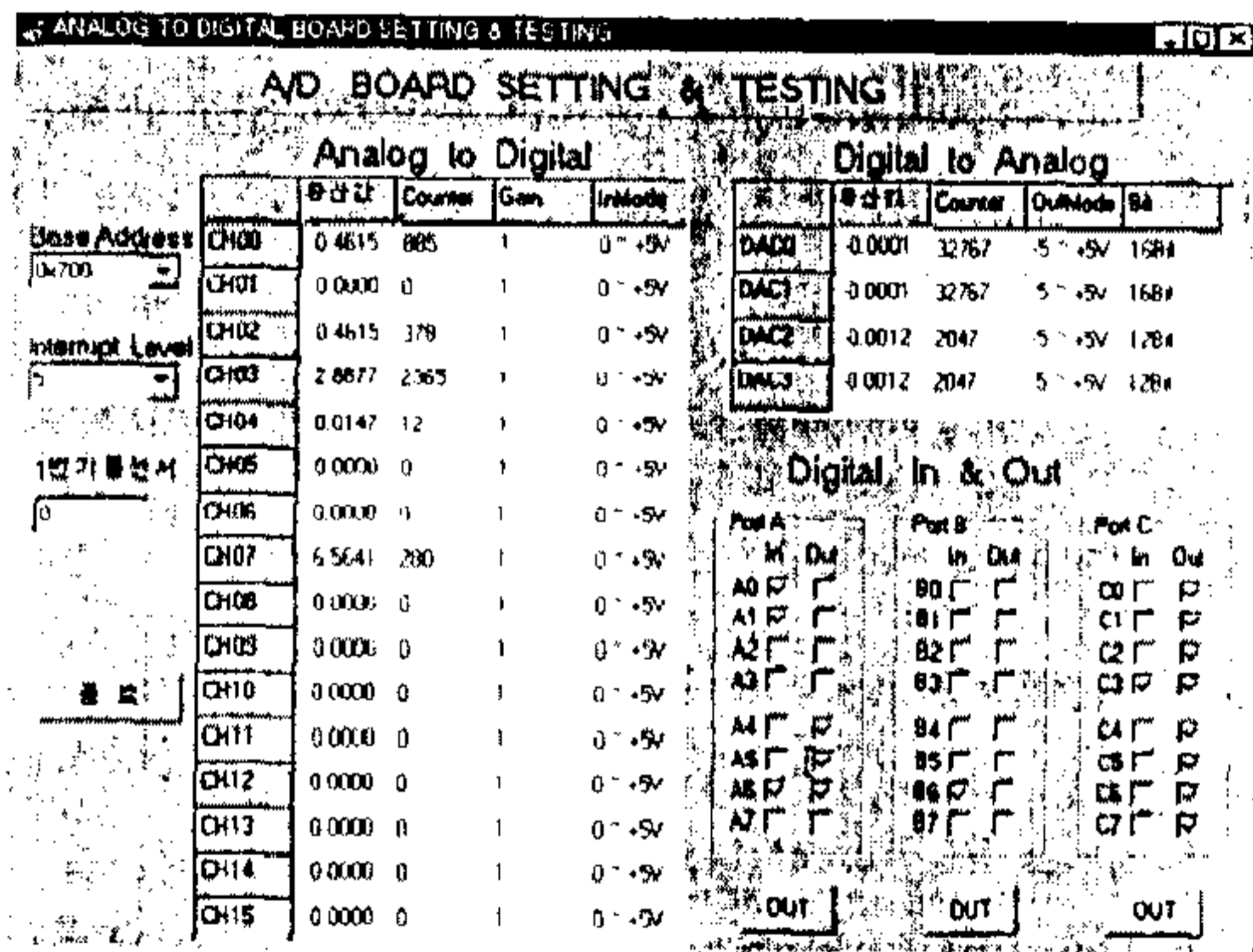


Fig.6 Program for analog and digital

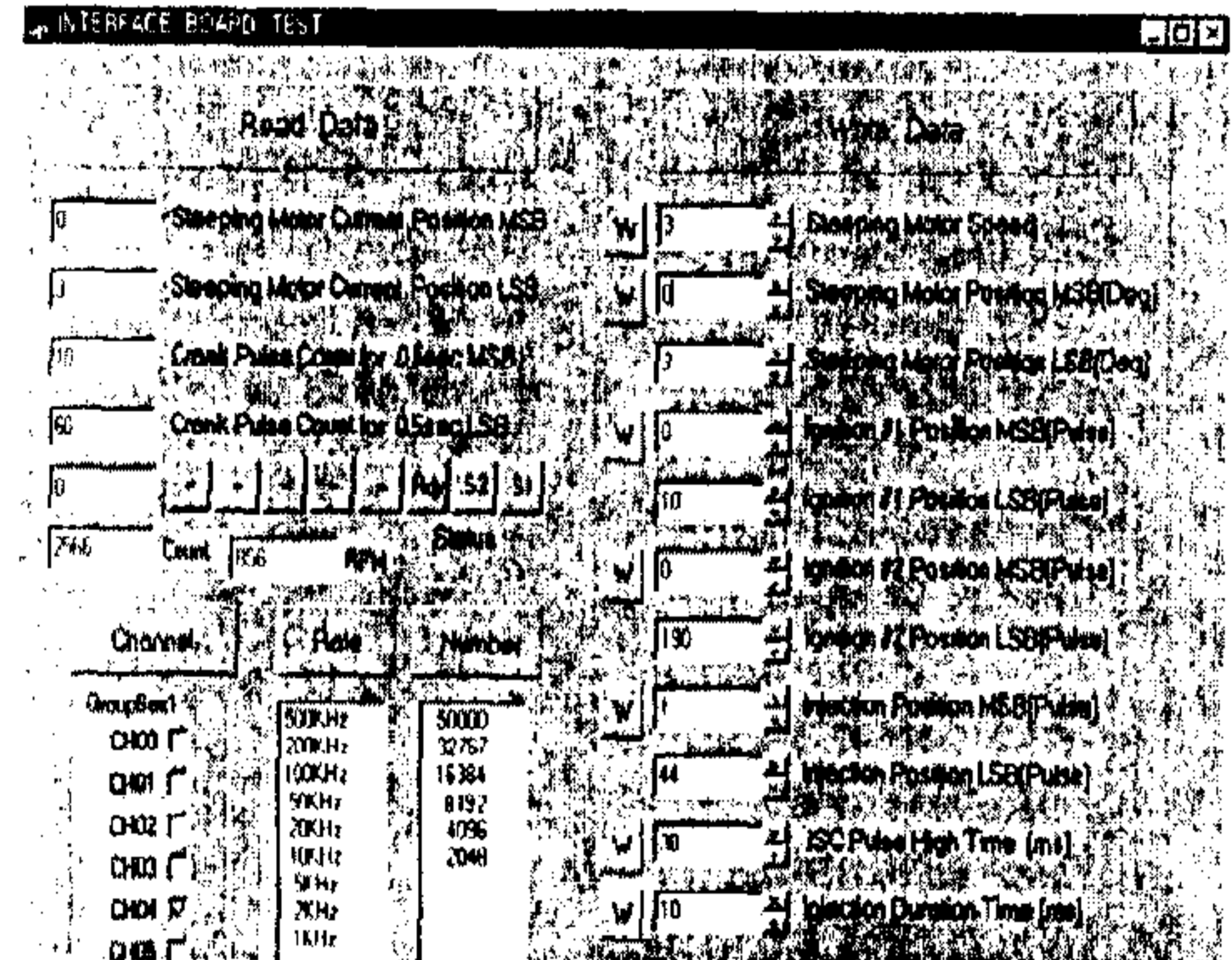


Fig.7 Program for control data and feedback

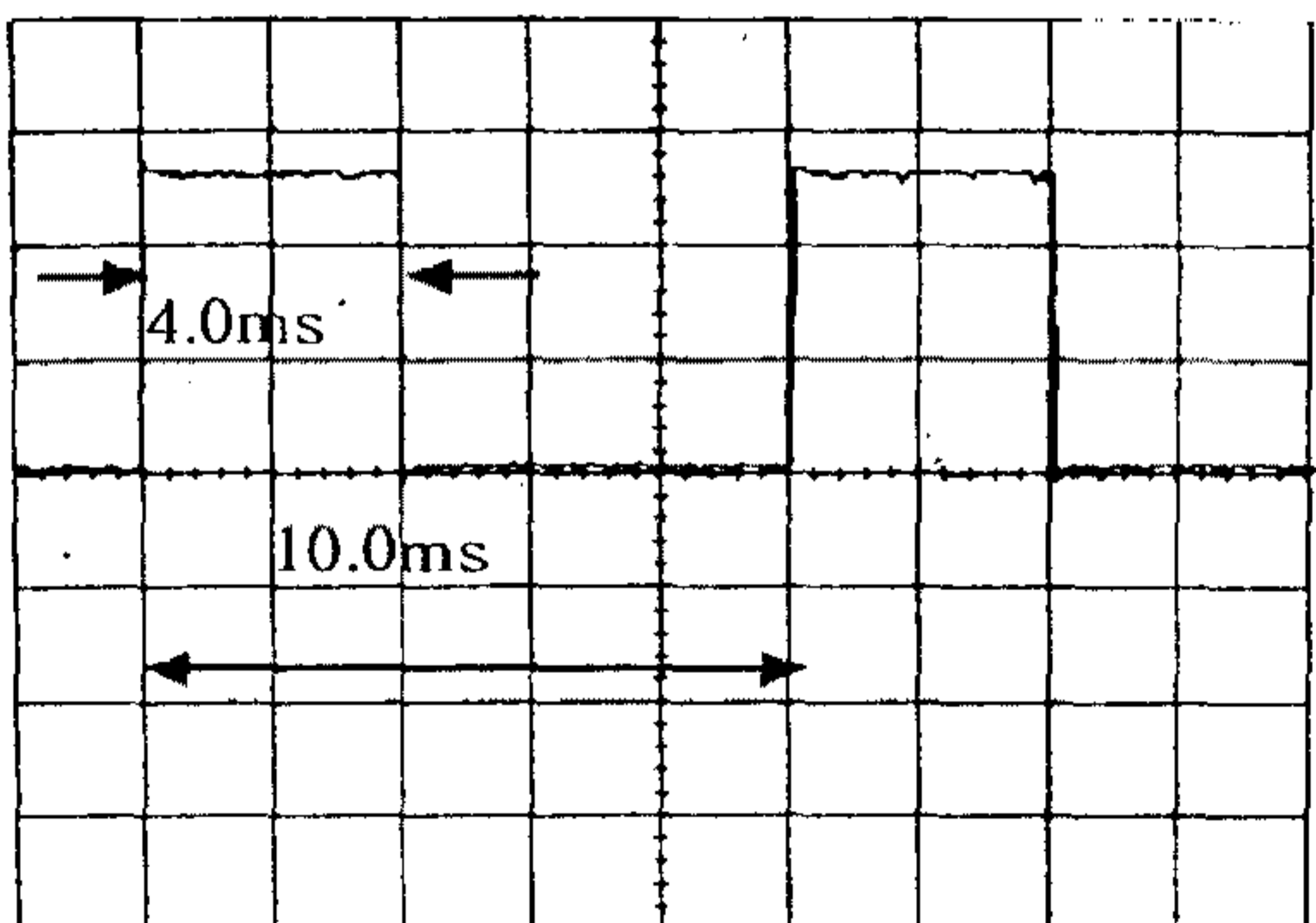


Fig.8 Control result for the duty rate 40% of ISC

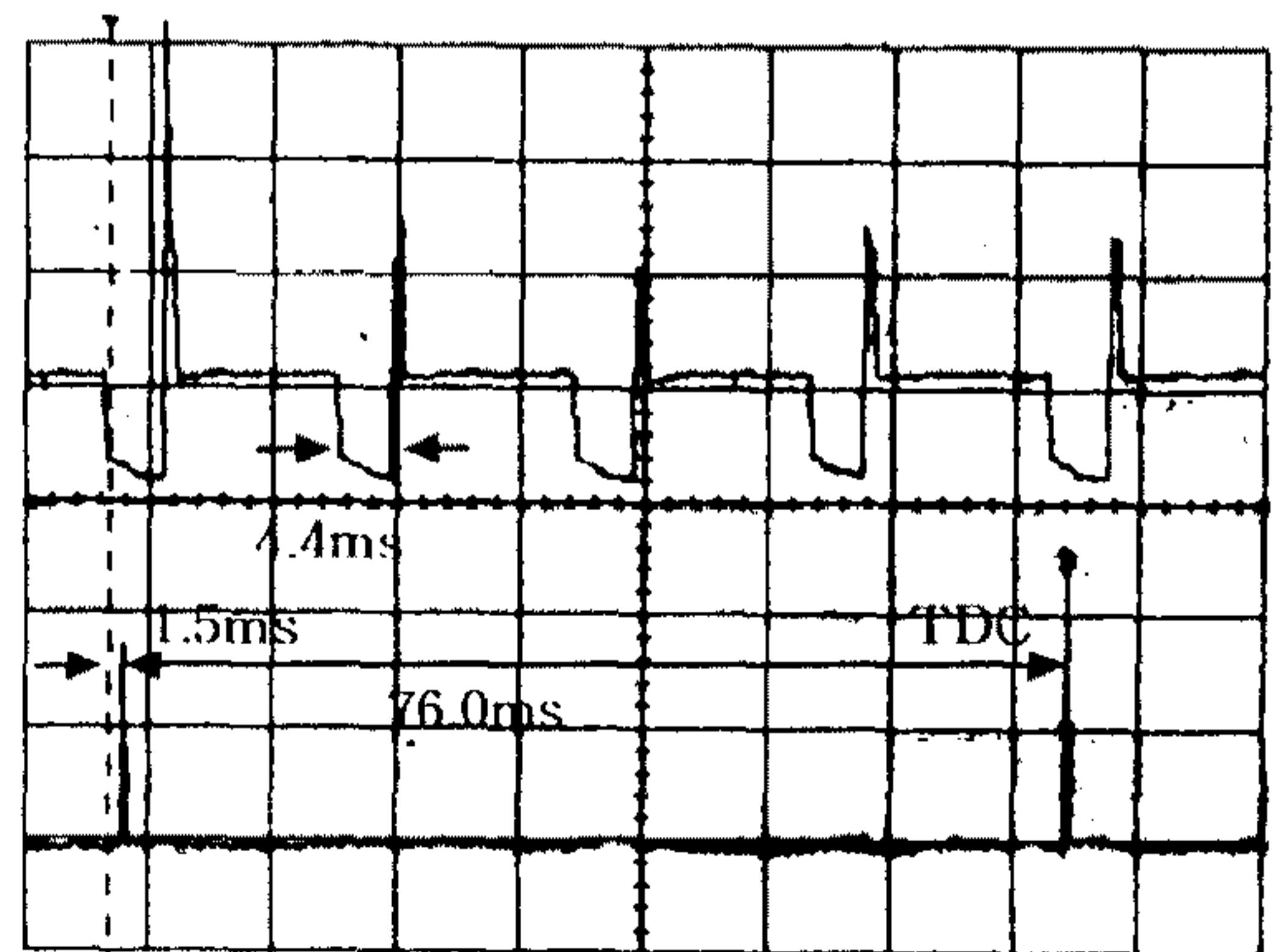


Fig.9 Ignition signal

27°(2.9ms)에서 이루어진다. 높은 전압이 발생하는 부분(Low에서 High로 이동부분)에서 고전압에 의한 잡음이 발생되고 있으나 점화신호를 제어하는 데에는 영향을 주지 않았다. 이들 신호는 1,4번과 2,3번 실린더 각각에 쌍으로 동시에 입력된다.

점화장치를 통하여 발생하는 잡음은 다른 회로에 심한 방해로 하여 시스템의 정상작동에 문제를 야기 시켰다. 제어장치의 접지선로에 발생하는 잡음전압이 약 400Volt이고 다른 선로는 이보다도 더 심하였다. 이를 방지하기 위하여 점화장치의 전원과 서로간섭이 있는 선로는 분리하였으며, 또한 신호선들을 차폐하여 사용하고, 가능한 한 선로의 길이를 짧게 하였다. 잡음제거소자(Surge Absorber, TNR 등)를 잡음발생 위치에서부터 단계적으로 부착하여 해결하였다.

RPM 1580, 연료분사시기 ATDC 390°(한 Cycle을 720°로 계산), 연료분사기간 4ms일 때의 제어 결과를 Fig.10에 나타내었다.

크랭크축을 기준으로 실린더 별로 순차적으로 연료를 분사하기 위하여 1번 피스톤이 압축TDC 위치에 있을 때 흡입행정 시작되는 4번 실린더를 기준으로 크랭크각이 180° 증가할 때마다 2, 1, 3번 실린더 순서로 제어를 하며 정상적인 신호가 출력됨을 확인하였다.

Fig.11은 ISC 40%, 냉각수는 85°C일 때 공회전 운전속도 760RPM으로 제어한 결과이다. 공기량 센서를 기준으로 하여 각 사이클에 대하여 기

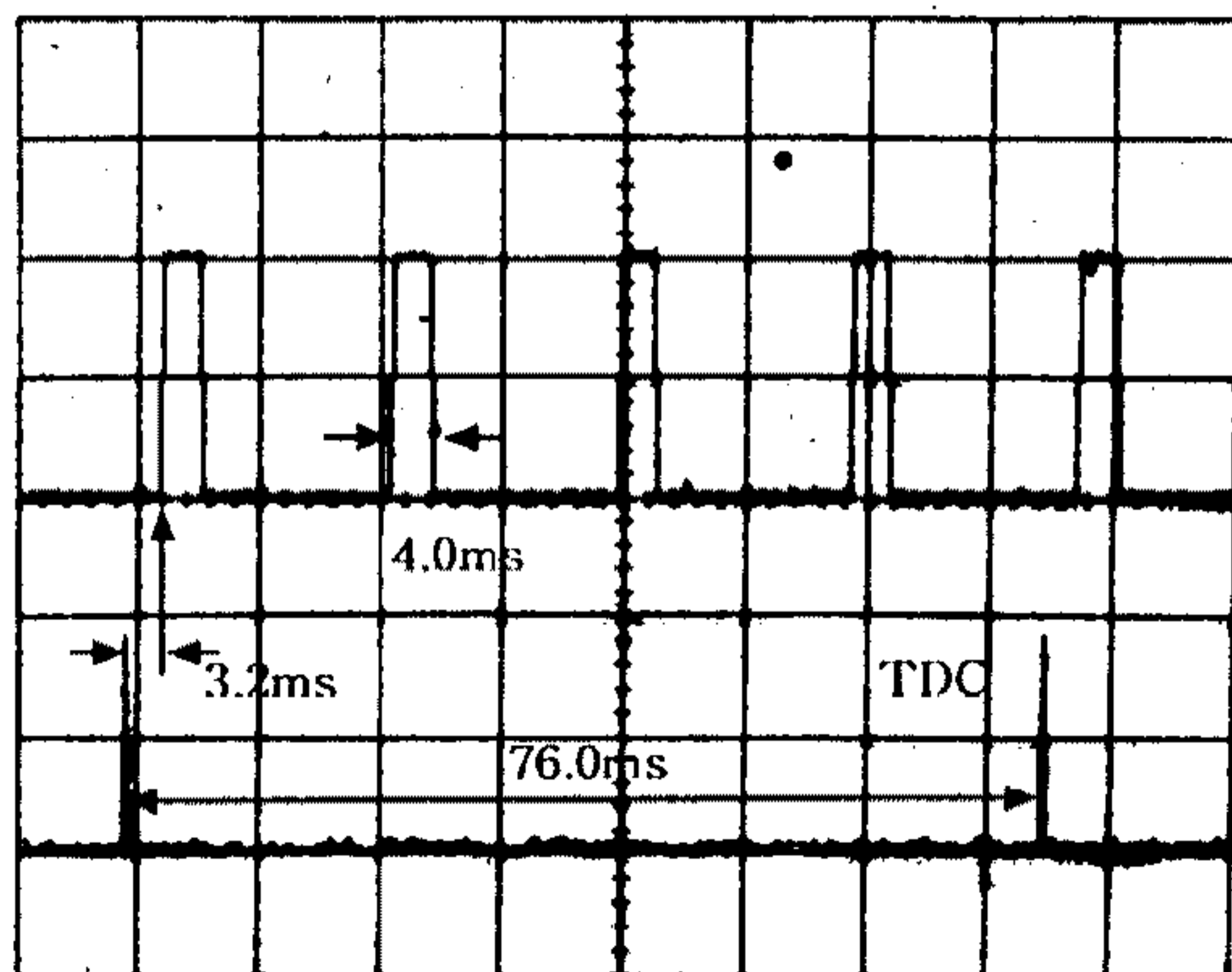


Fig.10 Injection timing and duration

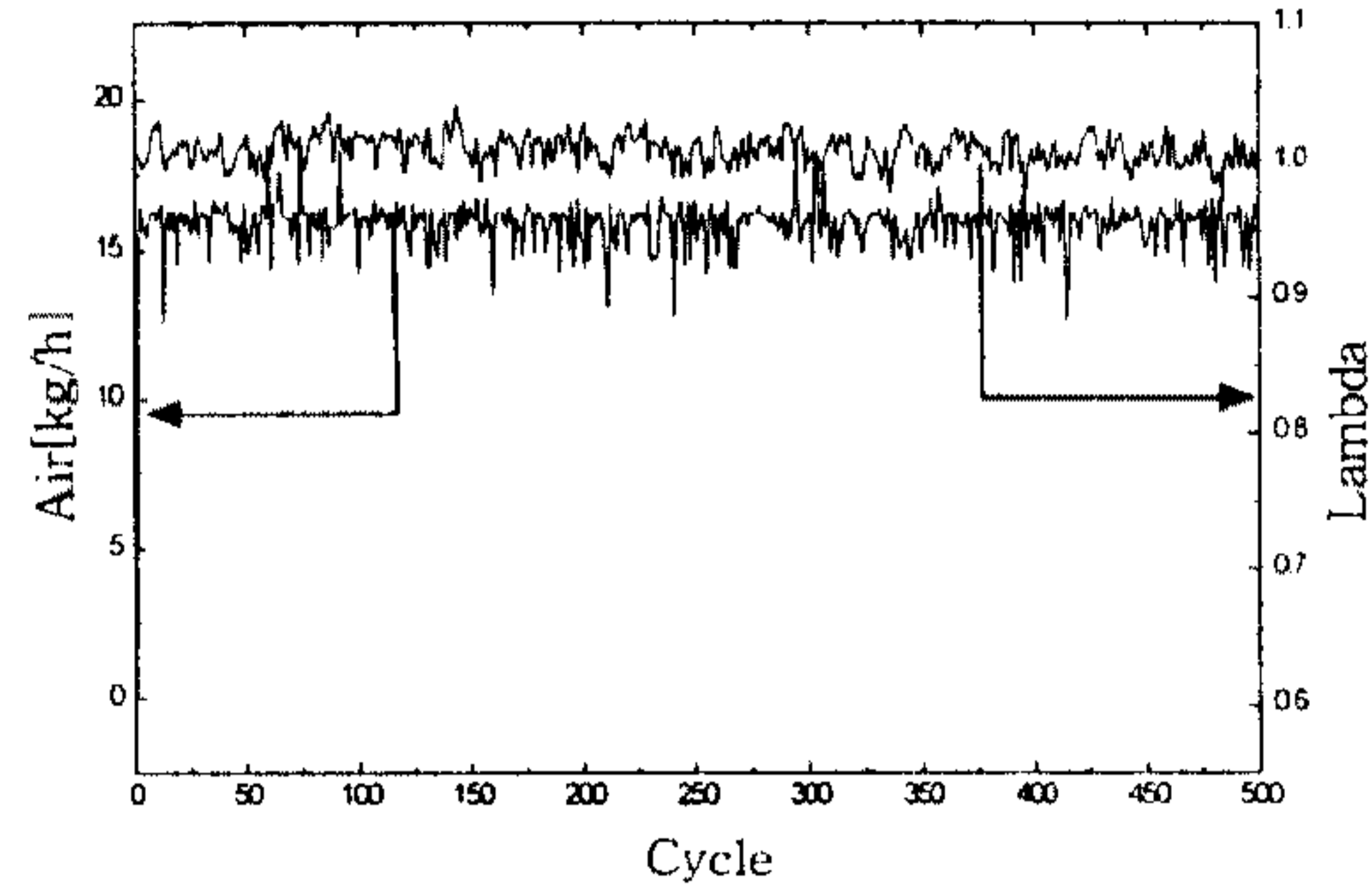


Fig.11 Results of control of air and lambda sensor

준 제어 연료량을 계산하고, 광역산소센서의 값을 피드백하여 PID⁵⁾방법으로 보정 연료량을 산출하였다. Fig.11에 나타낸 것과 같이 당량비 1.0을 거의 유지하고, 당량비의 표준편차 1.4%(500개의 표본데이터)인 좋은 제어결과를 얻었다.

4. 결 론

- 1) 기관의 운전을 PC-ECU로서 제어가 가능하도록 시스템을 개발하였으며 여러 가지 변수를 주어 기관을 동작함으로써 SI엔진의 운전특성을 확인할 수 있는 시스템을 구축하였다.
- 2) 엔진의 기본신호인 점화, 연료분사시기 및 연료분사기간, ISC 신호를 One-Chip Microprocessor를 이용하여 제어할 수 있도록 하였다.
- 3) 본 PC-ECU 제어장치로써 시험기관의 운전 조건 ISC 40%, 760rpm, 당량비 1.0으로 제어한 결과 당량비의 표준편차가 1.4%인 양호한 운전특성을 나타냄을 확인하였다.

후 기

본 연구는 1996년도 교육부 기계공학 학술 연구 조성비(ME96-A-03)지원에 의해 수행된 결과로 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 고상근, 선우명호, "저공해 엔진 전자제어 시스

- 템 기술 개발”, 제2회 G7 차세대 자동차기술 워크샵 논문집, pp. 179~182, 1994.
2. 김태훈, 조진호, “마이크로 컴퓨터를 이용한 가솔린 기관용 전자제어 장치의 개발에 관한 연구”, 한국자동차공학회 논문집 제3권 제6호, pp. 224~237, 1995.
 3. Patrick Kaidantzis, Per Rasmussen, Michael Jensen, Thomas Vesterholm and Elbert Hendricks, “Advanced Nonlinear Observer Control of SI Engines”, SAE Paper No. 930768, 1993.
 4. Patrick Kaidantzis, Per Rasmussen, Michael Jensen, Thomas Vesterholm and Elbert Hendricks, “Transient A/F Ratio Errors in Conventional SI Engine Controllers”, SAE Paper No. 930856, 1993.
 5. Benjamin C. Kuo, “Automatic Control Systems”, Fourth Edition, Tower press, pp. 536~539.