

〈논 문〉 SAE NO. 953795

## 마이크로컴퓨터를 이용한 가솔린 기관용 전자제어장치의 개발에 관한 연구

### A Study on the Development of an Electronic Control Unit for a Gasoline Engine using Microcomputer

김 태 훈,\* 조 진 호\*\*  
T. H. Kim, J. H. Cho

#### ABSTRACT

An ECU(Electronic Control Unit) with 16 bit microcomputer has been developed. This system includes hardware and software for more precise control on fuel injection, ignition timing, and idle speed. This control system employs an air flow sensor of the hot wire type, a direct ignition system, an idle speed control system using a solenoid valve, and a crank angle sensor. Especially, the crank angle sensor provides two separate signals : One is the position signal(POS) which indicates 180 degree pulses per revolution, and the other is the reference signal(REF) that represents each cylinder individually. The conventional engine control system requires at least two engine revolutions in order to identify the cylinder number. However, the developed engine control system can recognize the cylinder number within a quarter of an engine revolution. Therefore, the developed engine control system has been able to control fuel injection and ignition timing more quickly and accurately. Furthermore, the number of misfire reduces during the cold start.

주요기술용어 : ECU(전자제어장치), REF signal(기준신호), POS signal(위치신호) Simultaneous Injection(동시분사), Sequential Injection(순차분사), Rising Edge Signal(상승신호), Falling Edge Signal(하강신호)

#### 1. 서 론

1970년대 말 부터 전자제어식 연료분사장치<sup>1)~4)</sup>의 개발이 연구 과제로 등장한 이래 전자 기술의

급속한 진보에 의해 탄생된 마이크로컴퓨터는 최근 수년 동안 차량의 전자화에 매우 빠른 속도로 적용되었다. 특히, 최근에 자동차는 선진국이 중심이 되어 환경보호운동의 일환으로 자동차 배출 가스에 대한 각종 새로운 규제가 대폭적으로 강화되고 있으며, 또한 수요면에 있어서도 고출력화, 저연비화는 물론 운전성 및 안정성 등을 요

\* 정회원, 마산전문대학 자동차과  
\*\* 정회원, 한양대학교 자동차공학과

구하는 추세로서, 이에 대한 문제를 해결할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위해서는 종래 기술 연장으로는 불가능하며, 선진 자동차 공업국에서는 엔진의 구조 변경을 통한 연소 상태의 개선, 그리고 운전 상태에 따라 엔진을 최적 상태로 정밀하게 제어할 수 있는 EMS(Engine Management System)를 개발<sup>5)~7)</sup>하고 있다. 기관의 개발 경향은 연소과정의 개선을 목표로 대체연료 및 희박연소기관의 개발과 점화장치의 대폭적인 고에너지화에 의한 연소 속도의 증대 등의 연구로 원천적인 배출가스 저감에 주안점을 두고 있으며, 이의 개발과 더불어 자동차 기관용 전자제어장치는 배출가스의 최적제어, 운전성 및 안정성 향상등 자동차가 지니고 있는 제반 성능을 극대화 시킬 수 있는 가장 효율적인 방법으로써 개발이 필요하다. 특히 공연비 규제에 있어서는 배출가스중의 대표적인 유해물질인 HC, CO, NO<sub>x</sub>를 동시에 산화 및 환원 방식에 의하여 정화시킬 수 있는 촉매에 대한 연구결과로 개발된 삼원촉매<sup>8)</sup>의 정화율이 이론공연비 근처에서 최대의 전환 효과<sup>9)~10)</sup>를 나타낸다. 이를 위하여는 공기 과잉률이  $\lambda=1$ 인 이론 공연비 부근에 있어야 함은 주지의 사실이다. 이의 유지를 위하여 빈번한 가·감속, 급발진과 급정지 등의 운전 패턴에 대한 정밀한 제어로 배출가스의 청정화와 연료소비율을 최소로 하는 엔진용 전자제어장치를 개발할 필요성이 대두되었다. 한편, 현재 기관용 전자제어장치를 포함한 자동차 전자제어장치는 자동차의 원가에 있어서 차지하고 있는 비율이 커지고 있고, 또한 이들 전자제어장치의 개발은 절실한 처지에 있다. 그러나 국내 여건으로는 전자제어장치의 독자 개발의 기술적 기반이 성숙되어 있지 못하여 기술적 어려움이 뒤따르고 있는 실정에 있다. 이는 앞으로의 자동차 산업의 차원 높은 성장을 위한 측면에서 장애 요소가 되고 있으며 이와 같은 관점에서 볼 때 ECU에 관한 특성을 충분히 파악하지 못하고 특히, 실험 분야에 있어서도 이미 구축되어 있는 제어 시스템의 변경은 거의 불가능하여 자유스러운 실험 환경을 만드는 것은 어려운 실정이다. 이러한 추세는 성능의 제고를 위해

서는 하드웨어적인 측면이라 볼 수 있는 기계적 메카니즘과 소프트웨어적인 측면으로 볼 수 있는 제어 분야와는 개발초부터 상호 연관성을 가지고 동시에 개발되어야 한다. 이와 같은 관점에서 기존의 전자제어 시스템의 기능을 보완하고, 보다 정확도 높은 제어를 할 수 있는 제어 장치를 개발하는 것은 전자제어장치 및 기관 성능 향상을 위하여 매우 중요하다.

본 연구는 전자제어장치의 핵심이며 가장 복잡한 연료분사, 점화시기, 공전속도에 대한 제어장치와 제어 알고리즘을 구성하였다. 연료분사시기와 점화시기 제어에 있어서 시동시, 아이들 운전시, 통상운전시, 가속시 등으로 세분하여 각 운전패턴에 맞추어서 제어토록 하였다. 점화시기 제어방식은 기존의 장치와는 다르게 크랭크각 신호를 하드웨어적으로 180개로 세분하였고 기존 신호도 4개의 기준 신호로써 기통판별을 빠르게 하였다. 점화방식은 노킹 제어 등과 같은 급격한 점화진각제어시 응답성을 향상시킬 수 있고 전압 손실이 없는 전자식 직접점화방식(DIS)을 채용하였다. 공기유량 측정 방식은 비정상유동시 시스템의 응답성이 좋으며 센서의 특성상 주위온도에 따른 별도의 보상이 없이도 정밀한 측정이 가능한 질량유량방식인 열선식 에어플로 센서를 사용하였으며 연료분사방식은 순차 방식이고 인젝터는 전압구동방식이다. 따라서 본 연구는 H8 16 Bit 마이크로 컴퓨터<sup>11)</sup>를 이용하여 효율적인 자동차 기관용 전자제어장치를 제작하고 나아가서 자동차 기관의 전자제어장치의 고유 제어 로직의 기초 자료를 얻고자 한다.

## 2. 소프트웨어의 구성

### 2.1 제어를 위한 기본계산

#### 2.1.1 기준신호

기준신호(reference signal)는 연료분사, 점화시기 제어 및 기관의 회전수 측정등에 기준이되는 신호로서, 배전기 내장형인 크랭크각 센서(CAS)에서 하드웨어적으로 구성한 기준(REF) 신호와, 각도(POS) 신호와의 조합에 의하여 측정된다. 연료분사 및 점화시기는 기준(REF) 신

호의 상승(rising edge)이 기준이며, 이의 위치는 각 기통마다 BTDC 110°에 고정되어 있어 매 BTDC 110°마다 일정하게 발생하도록 하여 이 신호의 입력으로 ECU가 피스톤의 위치를 보다 정밀하게 판별하게 함으로써 연료분사시기, 점화시기 등을 정확도 높게 제어하도록 하였다.

2.1.2 엔진회전수 산출

엔진회전수의 산출은 Fig.1에서 처럼 크랭크 각 센서의 기준(REF) 신호를 받아 기준신호가 상승하고 나서 그 다음에 입력되는 상승신호까지의 시간을 계산하여 구한다. 즉 엔진이 1/2회전에 요구되는 시간( $T_{data}$ )을 Fig.1에서 구하여 이  $T_{data}$ 에 의해서 엔진회전수(N)를 다음과 같이 구한다.

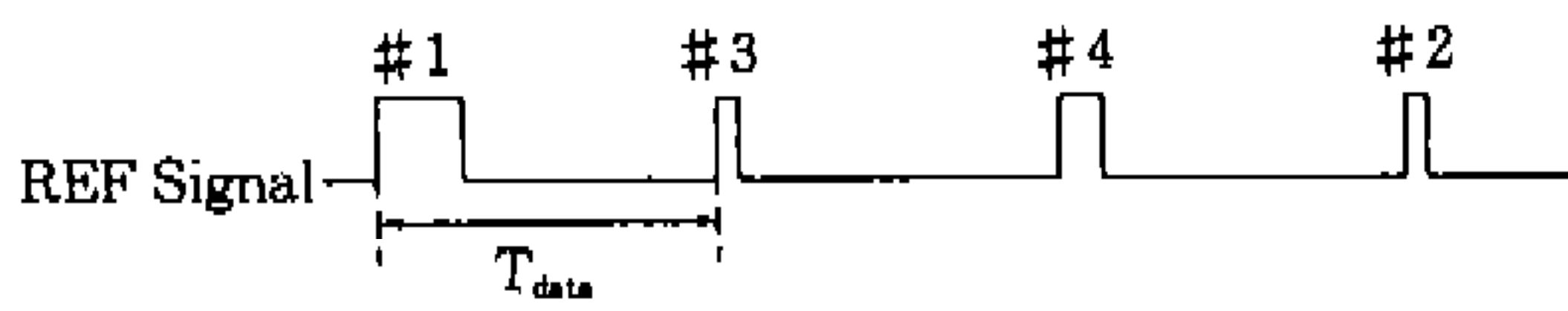


Fig.1 Measurement of engine speed

$$N = \frac{30}{T_{data}} \quad (1)$$

2.1.3 흡입공기량( $Q_a$ ,  $Q_{as}$ )계산

흡입공기량을 에어플로센서(air flow sensor)에 의하여 구할 때에는 센서의 출력전압( $V_{qa}$ )을 2[ms]마다 표본 추출하여 출력전압에 맞는 테이블( $Q_{tbl}$ )을 참조한 후 A/D 변환하여 출력 전압을 구하고 이 출력 전압( $V_{qa}$ )에 대응하는 값을 맵(MAP) 데이터를 참조하여 흡입공기량( $Q_a$ )를 구한 다음, 식 (2)와 같이 1/4 가중평균 처리한다.

$$Q_a = 1/4 \times (Q_{anew} - Q_{aold}) + Q_{aold} \quad (2)$$

식 (2)에서  $Q_{anew}$ 는 공기량 센서의 출력전압 변화에 상응하는 최신의 흡입 공기량이며  $Q_{aold}$ 는 2[ms]전의 흡입공기량이다. 또한 기본 분사시간( $T_p$ ) 계산에 이용되는 흡입공기량  $Q_{as}$ 는 맥동등 노이즈를 제거하기 위해 흡입공기량( $Q_a$ )을 식

(3)에서와 같이 10ms 마다 여과 처리하여 구한다.

$$Q_{as} = Q_{gain} \times (Q_{anew} - Q_{asold}) + Q_{asold} \quad (3)$$

식 (3)에서  $Q_{anew}$ 는 여과 처리된 최신의 흡입 공기량이며  $Q_{asold}$ 는 10ms 전의 기본 분사시간 계산에 사용된 여과 처리된 흡입공기량을 나타낸다. 또한  $Q_{gain}$ 는 필터량을 나타내는 값으로 엔진회전수와 부하치에 대한 맵 데이터( $Q_{\Omega map}$ )를 참조한다. 단, 검색된 최신의 필터량( $Q_{anew}$ )이 10ms전의 필터량( $Q_{asold}$ )과 같은 값이 아닐 때에는 필터량( $Q_{gain}$ )이 10ms마다  $T_{data}$ 의 증감 분인  $D_{lq}$ (7.42187%)씩 Fig.2와 같이 최신의 필터량에 근접해 간다.

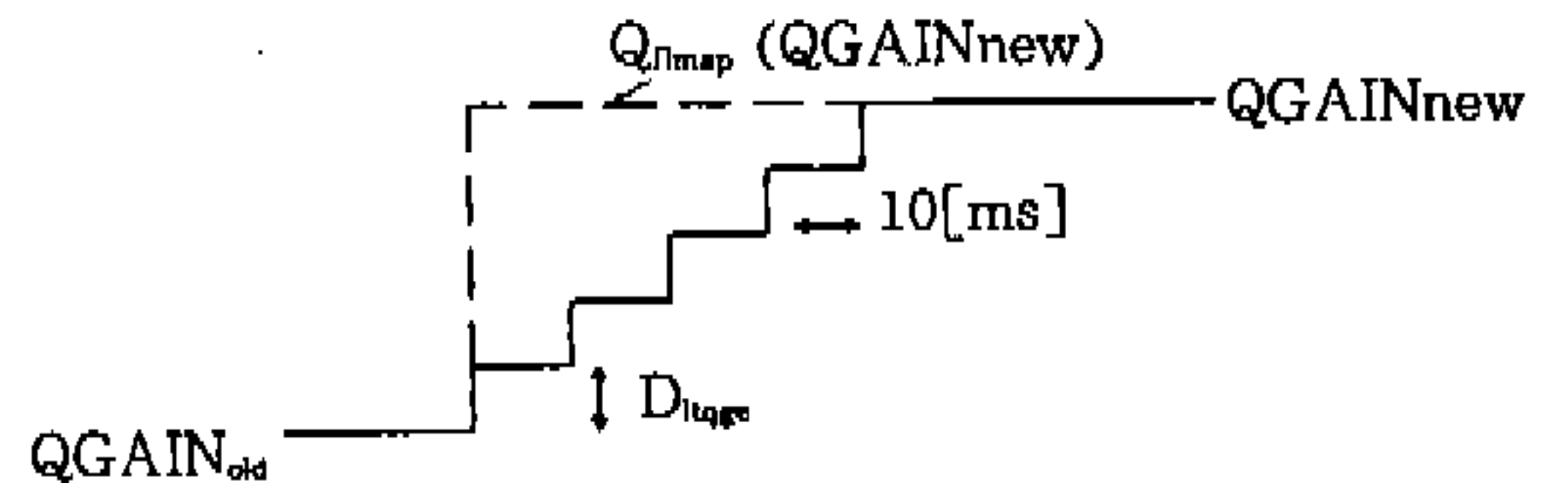


Fig.2 Coefficient value of digital filter gain

2.1.4 기본 연료 분사 시간( $T_p$ ) 계산

식 (3)의 흡입공기량을 엔진 회전수로 나누면  $Q_{as}/5N$ (g/min)이 된다. 이 값은 360°에서 측정된 값이므로 이를 180°에서 측정된 값으로 바꾸고 기본 분사량은 동시분사시 2번에 나누어 분할 분사 되므로  $Q_{as}/20N$ 로 나타낼 수 있다. 이것을 이론 공연비로 나누면 연료 질량이 되며, 또한 이것을 연료의 밀도  $\rho$ (0.748g/cc)로 나누면 식 (4)와 같은 연료의 체적유량  $Q_{ast}$ 이 된다.

$$Q_{ast} = \frac{Q_{as}}{20N \rho(A/F)_t} \quad (4)$$

그리고 이때 분사되는 연료유량을  $Q_{ast}$ , 인젝터 특성 상수를  $K_i$ (ms/min<sup>3</sup>)이라 하면  $K_{it}$ 는 다음 식으로 표시된다.



$$K_{ti} = 1000 \times Q_{as} \times K_i \quad (5)$$

이상의 식들을 이용하여 기본 분사시간( $T_p$ )을 구하면 다음 식 (6)과 같이 된다.

$$T_p = K_{ti} \times Q_{as} \times T_{data} \quad (6)$$

### 2.1.5 기통판별

연료분사의 제어는 크게 2가지로 나눌 수 있는데 시동이 걸리고 기통판별이 되기 전인 동시 분사와 기통판별이 된 후인 순차분사방식으로 나눌 수 있다. 기통판별 방법은 REF신호(reference signal), POS신호(position signal) 및 IGN(ignition)신호( $H_8$  내부)를 사용하고 Fig.3 처럼 하드웨어에서 기통판별을 행한다. 또한 기통판별조건은 Fig.4에서 보는 바와 같이 점화 신호인 IGN 신호의 하강 인터럽트 처리 과정(falling edge interrupt routine)에서 기통판별 신호

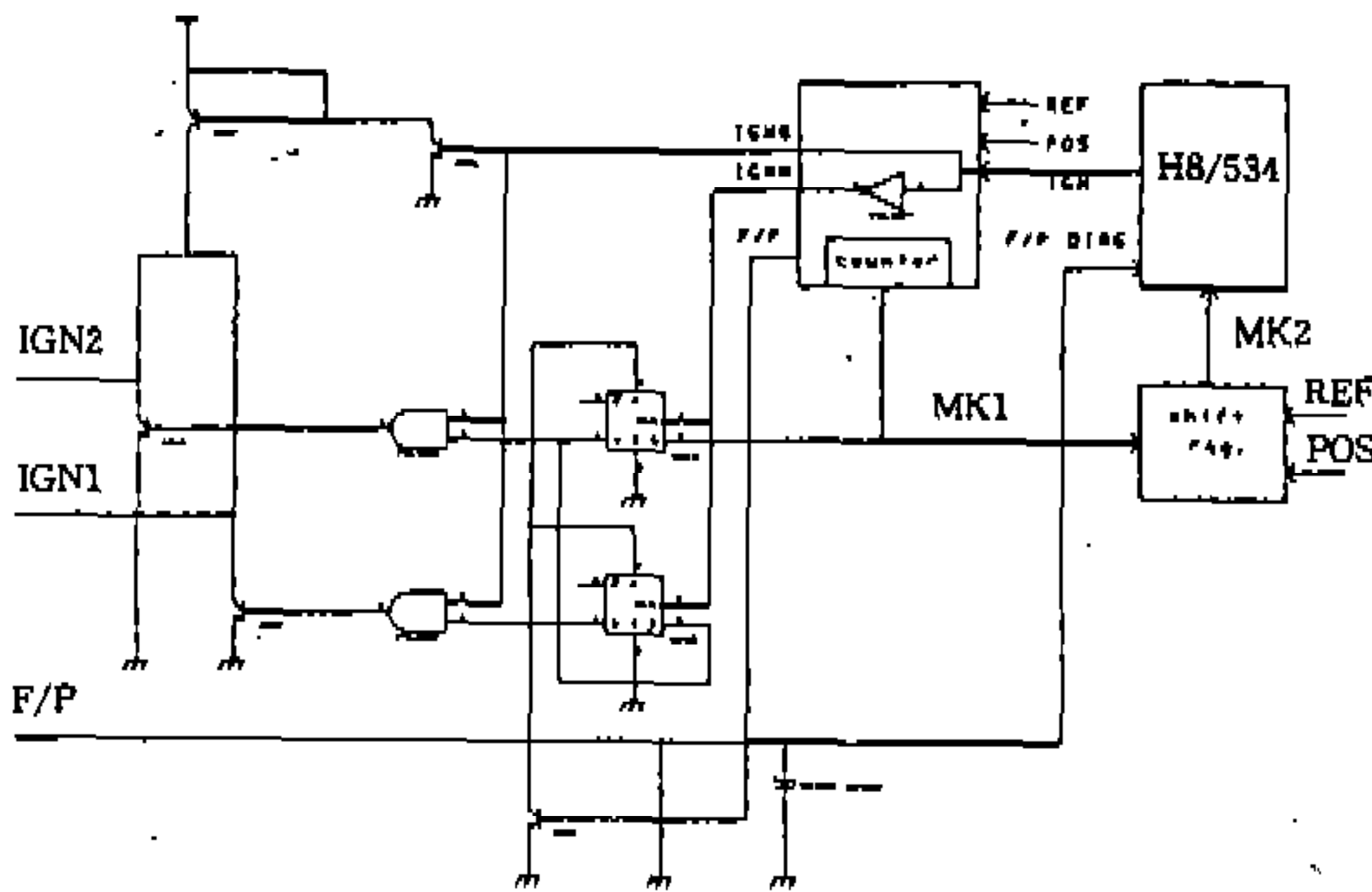


Fig.3 Control circuit of ignition timing

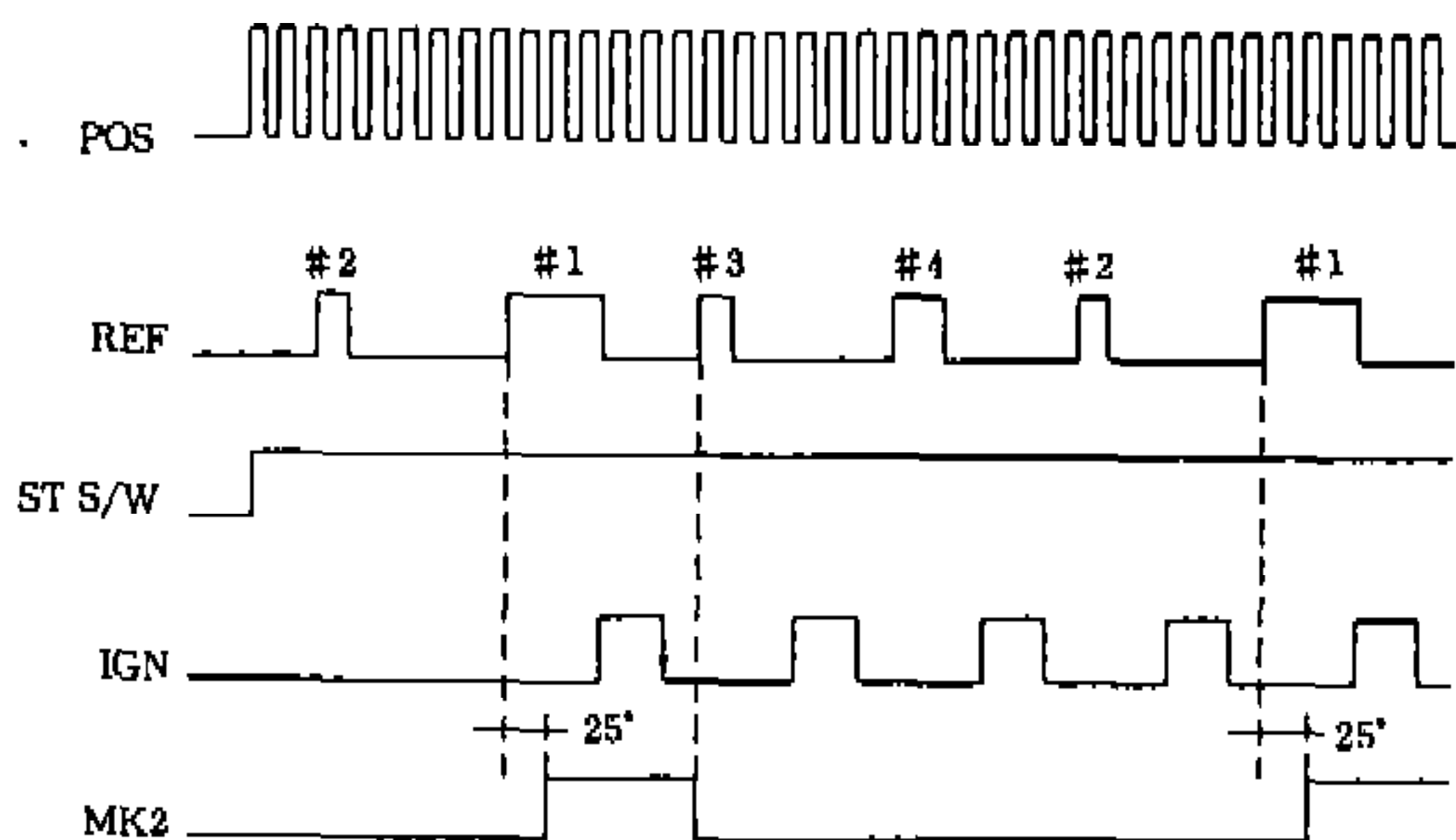


Fig.4 Timing Chart for Cylinder Identification

인 MK2의 레벨을 판정하고 "high"이면 1번 실린더로 판정한다. 최초의 기통판별 후 실린더 계산값을 지우고 그 실린더 계산값을 0으로 설정한후 다음 기준신호가 상승할 때마다 실린더 계산값이 증가(0→1→2→3→0→1→...)한다. 따라서 점화순서는 1→3→4→2의 순서대로 결정된다.

## 2.2 연료분사제어

통상시는 연료분사제어는 순차 분사방식이고 분사시기는 8비트 타이머에 의한 기준신호로 결정되며, 분사시간은 최수분해능이 3.2[μs]을 갖는 16비트 타이머에 의하여 제어된다.

### 2.2.1 출력타이밍

OFF 아이들시 비동기 분사, 가속시 비동기분사의 경우는 제외하고 엔진이 1/2회전마다 1회의 타이밍으로 순차적으로 분사한다. 또한, 시동개시로 부터 완폭까지는 분할분사를 한다. 동기 분사 펄스폭은 분사종료시기가 설정된 크랭크 각도가 되도록 제어한다. 다만, 어느 실린더도 제1실린더의 펄스폭을 기준으로 해서 분사개시 크랭크 각도를 구한다. 비동기분사는 비동기분사 조건이 성립된 즉시 1회제는 분사를 하지 않고 설정 회전수가 될때까지 동기분사에 비동기분사를 추가한다.

#### (1) 동기분사

분사기통 판별값(INJCT)과 기준 신호로부터 연료분사까지 각도( $TB_{3cnt}$ )는 기준신호가 상승할 때마다 식 (7)으로 구한다.

$$T_{itm} - M_{tia} = 180 \times INJCT + TB_{3cnt} \quad (7)$$

$T_{itm}$  : 기본연료분사 종료시기 테이블을 참조한 값

$M_{tia}$  : 통상시 분사시간( $T_i$ )을 각도로 환산한 값

INJCT: 분사기통 판별값(정수)

$TB_{3cnt}$  : 기준 신호로부터 연료 분사까지의 각도( $0 \leq TB_{3cnt} < 180$ )

#### (2) 비동기분사

비동기 분사가 발생할 때, 분사개시전 혹은 분사 진행 중이라면 그 분사펄스를 비동기 분사펄스폭분 만큼 연장한다. 또한, 그 기통이 분사를 종료시키고 있다면 동기 분사종료후 비동기 펄스폭과 무효펄스폭을 가산하여 분사한다.

2.2.2 분사제어방식

Fig.5는 분사제어 방식을 나타낸 그림이고 Fig.6과 Fig.7은 각각 기준신호가 1번 또는 3번으로 부터 입력된 경우와 기준신호가 2번 또는 4번으로 부터 입력된 경우 분사시기를 나타낸 그림이다. 단, Fig.6과 Fig.7에서 첫번째 입력 기준신호인 1번 3번 또는 2번 4번 신호가 처음부터 입력되지 않고 중간에서 입력될 경우를 대비해서 첫번째 기준신호는 무시한다. Fig.6과 Fig.7에서 보는 바와 같이 기통판별신호인 MK2가 25°를 카운터 하고 나서도 그 다음 기준신호의 상승신호가 들어오지 않을 경우는 바로 기통판별을 하고 연료는 순차분사 된다.

2.2.3 시동시 분사시간(T<sub>ist</sub>)

점화 완폭되기 전, 시동시 분사시간의 특성식은 식 (8)과 같으며 이때 통상시 분사 시간(T<sub>i</sub>)은 시동시 분사시간(T<sub>ist</sub>)으로 된다.

$$T_{ist} = T_{strtr} \times K_{qst} \times K_{tst} \quad (8)$$

T<sub>strtr</sub> : 수온변화에 상응하는 값

K<sub>qst</sub> : 시동후 흡입공기량 보정계수로 흡입공기량 변화에 상응하는 보정값

K<sub>tst</sub> : 시동시 시간보정계수

2.2.4 통상시의 분사시간(T<sub>i</sub>)

기통판별이 된 후 통상시 분사시간은 식 (9)와 같다.

$$T_i = 2 \times \{ T_p \times Coef \times (\alpha + \beta) \times (1 + K_1) \times K_{dec} + T_{add} \} + T_s \quad (9)$$

T : 통상시 분사시간[ms]

T : 기본 분사시간[ms]

Coef : open loop 보정계수

α : feedback 제어 보정계수

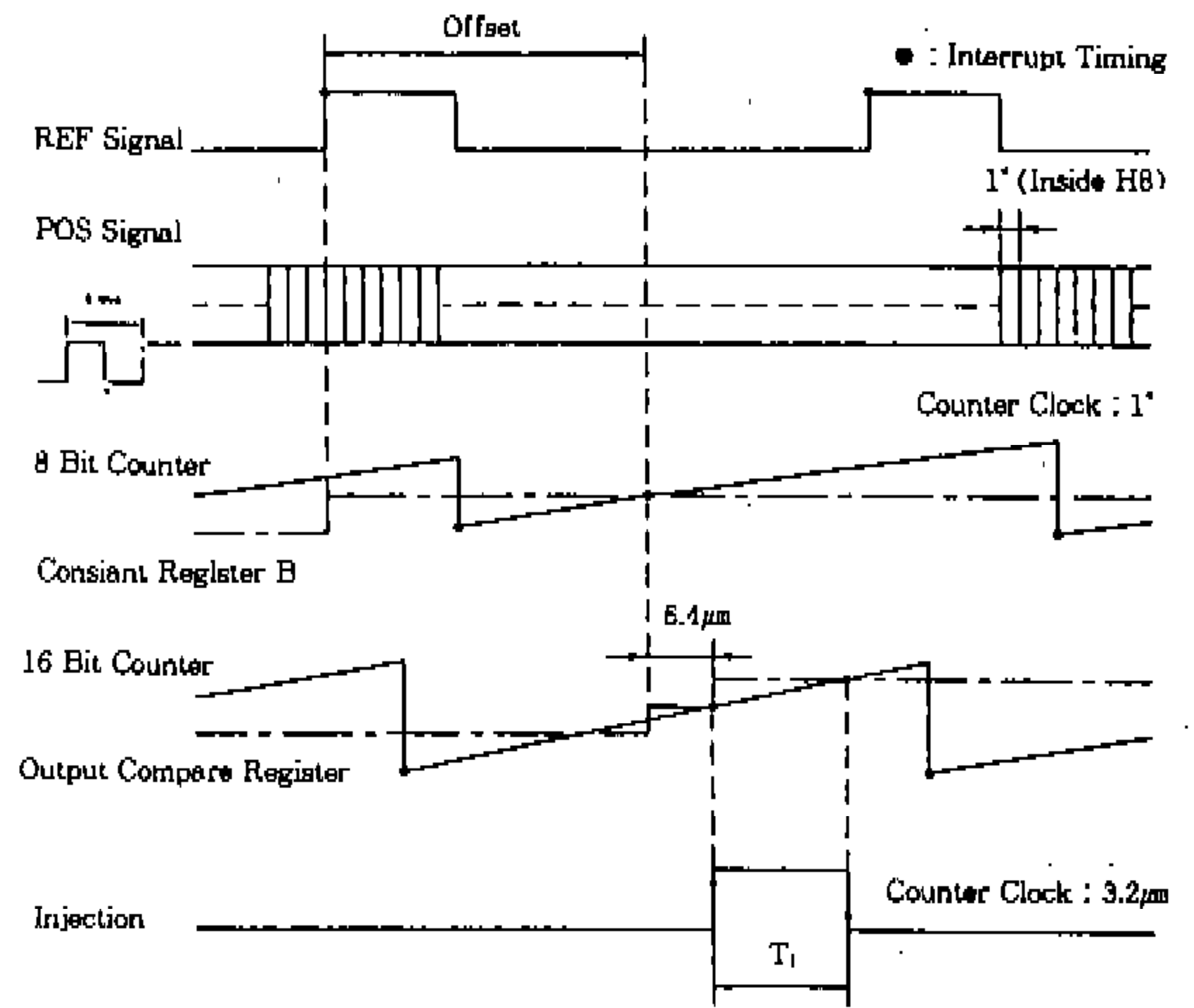


Fig.5 Timing diagram of fuel injection control

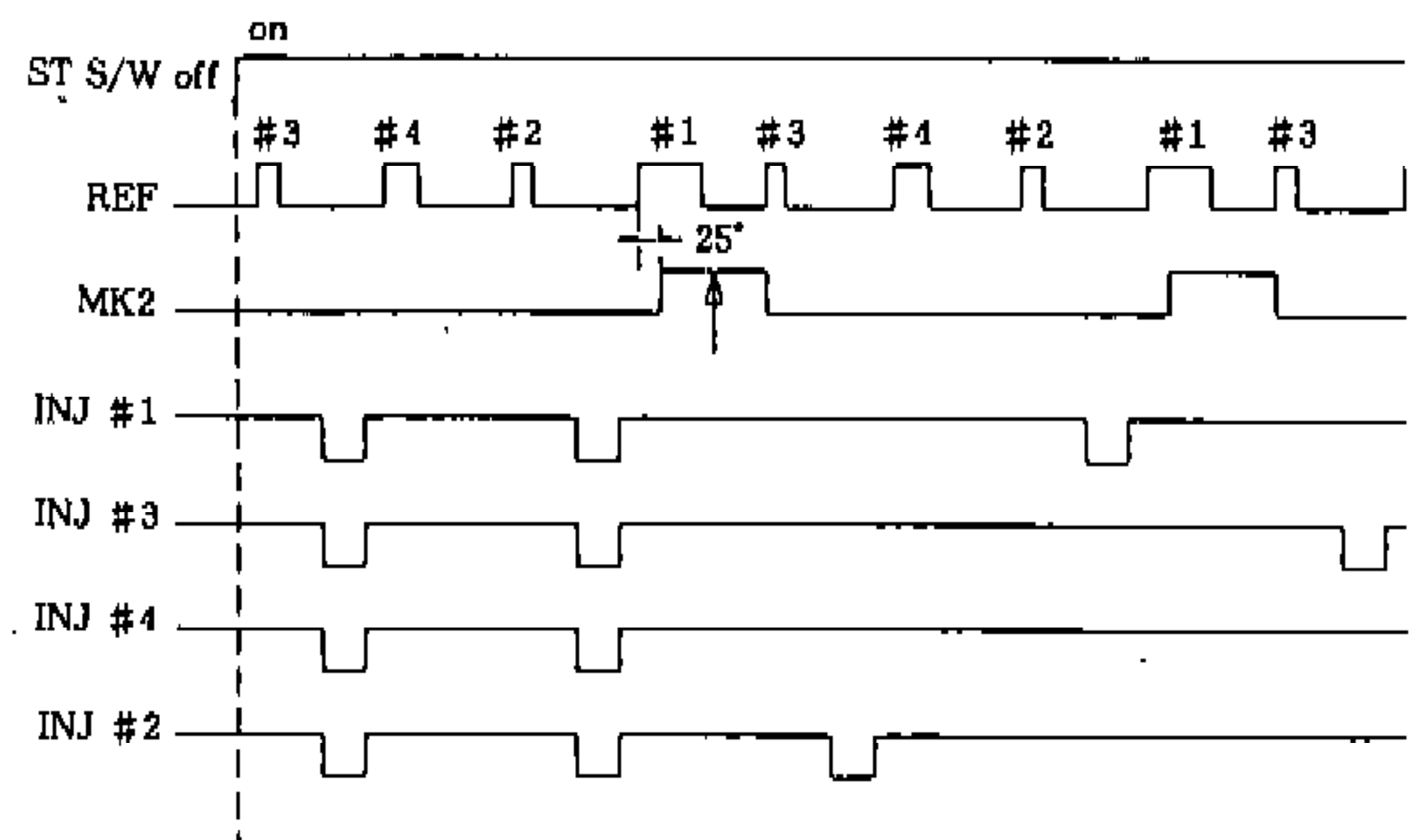


Fig.6 Timing diagram of injection control based on Ref. # 1 and # 3 signals

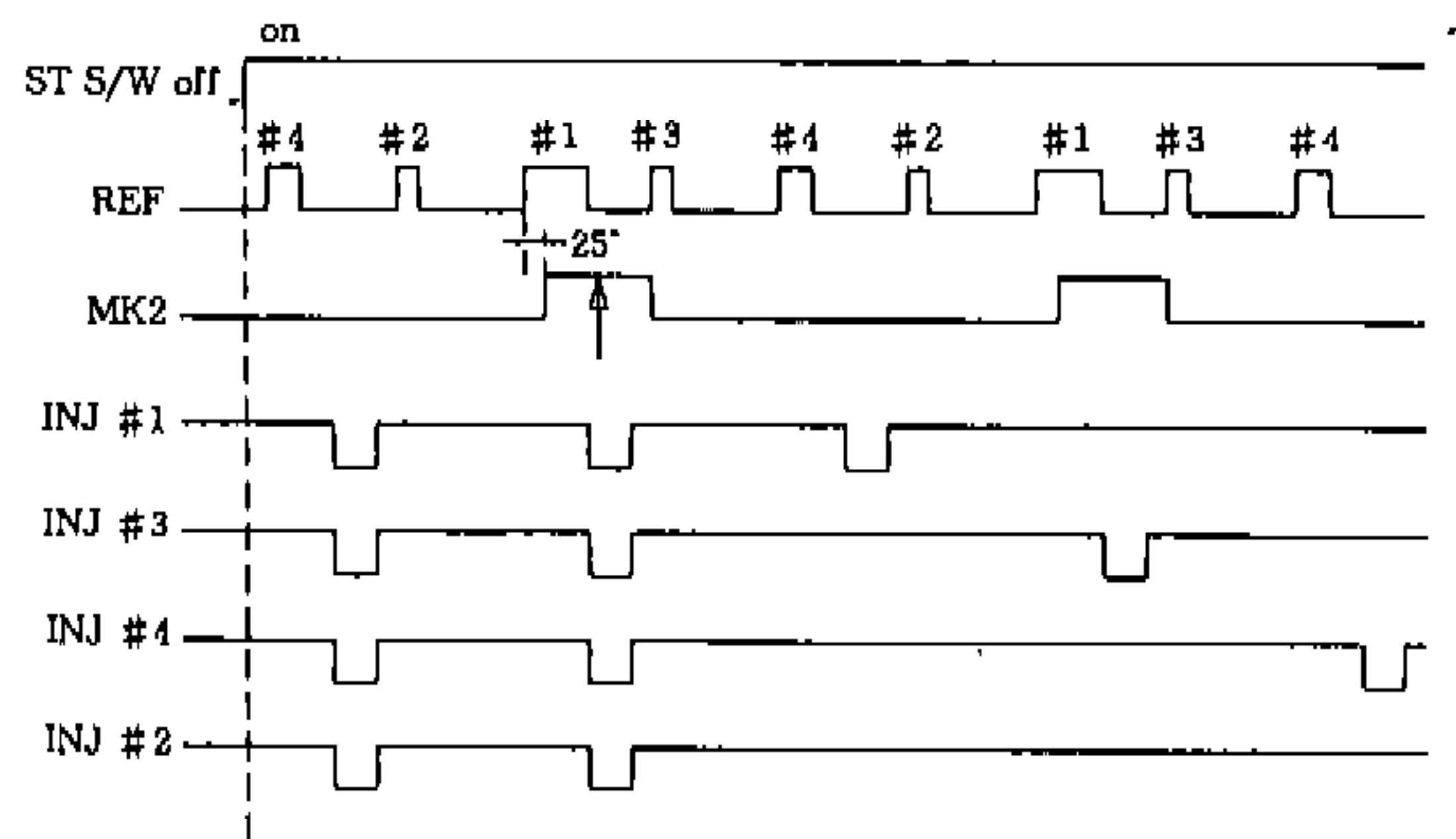


Fig.7 Timing diagram of injection control based on Ref. # 2 and # 4 signals

- $\beta$  : feedback clamp시 보정계수
- $K_1$  : 학습 보정계수
- $T_s$  : 무효 분사시간
- $K_{dec}$  : 감속 보정계수
- $T_{add}$  : 가속중량 분사시간

### 2.3 점화시기제어

점화진각은 8비트 타이머를 통해 제어되며 점화시기를 1[deg] 단위로 정밀하게 제어할수 있다. 점화신호의 기동분배는 기준신호의 길이를 시프트 레지스터(shift register)를 통하여 카운터 함으로써 2개의 그룹으로 나눈다. 이것은 각 기동마다 기준신호의 길이를 다르게 설정함으로써 가능하게 된다. Fig.8은 8비트 타이머가 점화시기제어를 하고있는 것을 나타낸 것이다.

#### 2.3.1 출력

점화시기의 출력 시기는 엔진 1/2회전 마다 발생하는 기준신호를 기준으로 하여 통전시간(DWELL)에서 ON으로 된 후 시동시의 진각, 통상시의 진각 및 아이들시의 진각에서 각각 OFF된다. 점화에 관한 데이터의 최소 분배는 1°로 하고 점화시기의 범위는 BTDC 41° ~ ATDC 6°이다.

#### 2.3.2 통전시간(DWELL)

통전시간은 엔진회전수와 축전지 전압에 따라 다음에 의하여 구해지는데 엔진 회전수가 200rpm 미만일 때는 통전시간을 40°로 고정한다. 또한 엔진 회전수가 200rpm 이상일 때는 통전시간은 식 (10)과 같다.

$$DWELL = \frac{N_{data} \times D_{wlvb} \div 25}{64} \quad (10)$$

식 (10)에서 사용한  $N_{data}$ 는 엔진 회전수이고  $D_{wlvb}$ 는 축전지 전압 변화에 상응하는 값이다.

#### 2.3.3 시동시 진각

점화 완폭전의 점화진각( $ADV_s$ )은 8°로 고정한다.

#### 2.3.4 통상시 진각

시동시 진각 및 아이들시 진각을 제외한 통상시 점화진각은 식 (11)에 의해 구해진다.

$$ADV_s = SPK_{std} + SPK_{tw} + ADV_{sug} - SPK_{fcr} - IGD_{ec} + ADV_{adj} + DEC_{adv} - RT_{dat} \quad (11)$$

- $SPK_{std}$  : 기본 점화 진각
- $SPK_{tw}$  : 수온 보정
- $ADV_{sug}$  : 안정화 보정
- $SPK_{fcr}$  : 연료 회복 보정시
- $IGD_{ec}$  : 가속 회복 보정
- $ADV_{adj}$  : 최종 출력 점화시기 조정
- $DEC_{adv}$  : 감속시 진각 보정
- $RT_{dat}$  : 토크 저감 실행량

#### 2.3.5 아이들시 점화시기

아이들 스위치가 ON인 상태에서 차속이 5km/h 이하 일 때와 아이들 스위치가 ON인 상태에서 D/N스위치가 ON인 상태를 만족할 때 점화진각은 다음의 특성식 (12)에 의하여 산출되어진다.

$$ADV_s = ADV_{ido} + SPK_{twi} + ADV_{sug} - SPK_{fcr} + ADV_{adj} + DEC_{adv} - RT_{dat} \quad (12)$$

- $ADV_{ido}$  : Idle시 진각
- $SPK_{twi}$  : Idle 진각수온 보정
- $ADV_{sug}$  : Idle 안정화 보정
- $SPK_{fcr}$  : 연료 차단 회복시 보정
- $ADV_{adj}$  : 최종출력 점화시기 조정
- $DEC_{adv}$  : 감속시 진각보정
- $RT_{dat}$  : 토크저감실행량

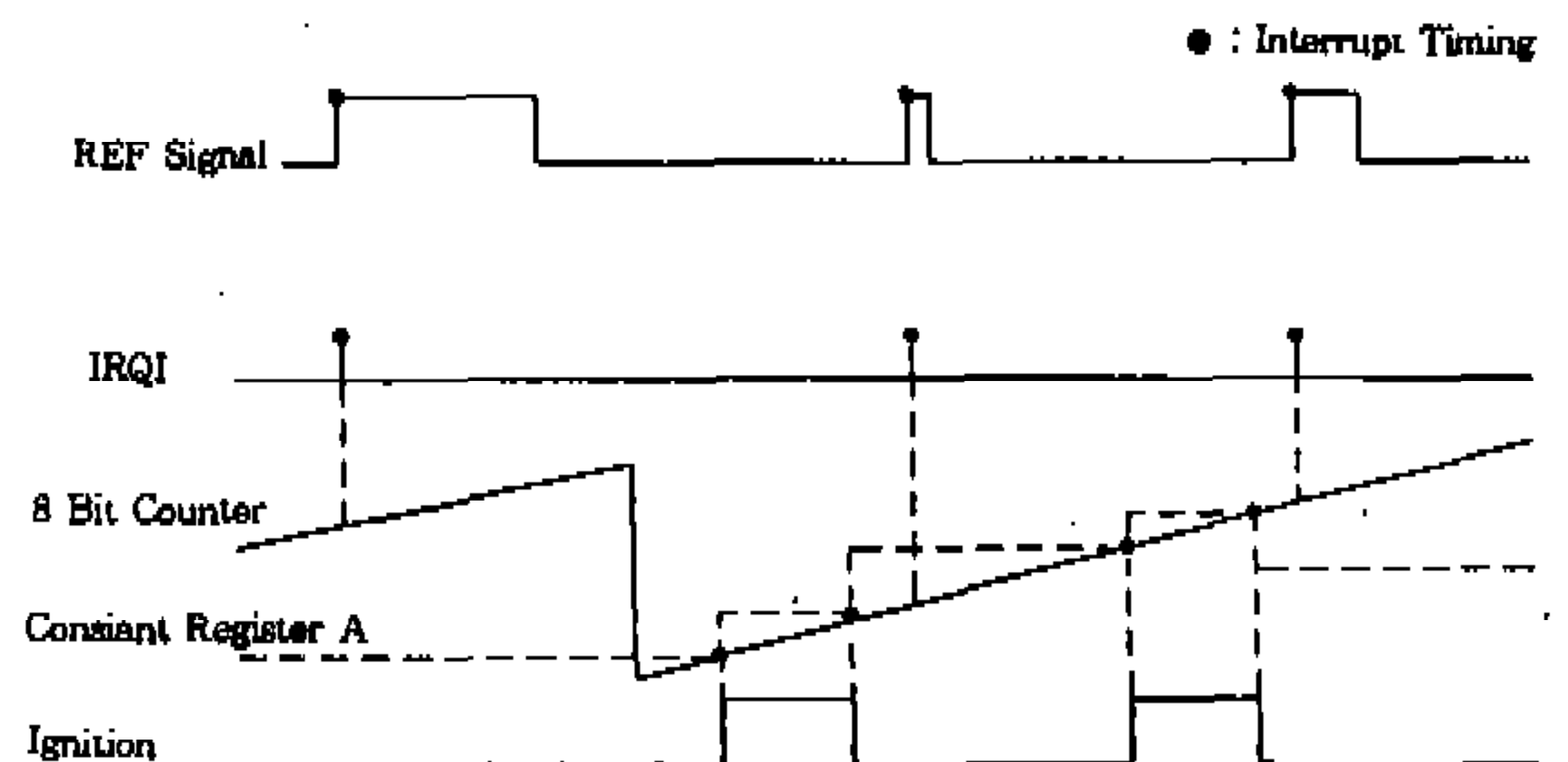


Fig.8 Timing diagram of ignition control



### 2.4 공전속도(ISC) 제어

공전속도의 기본제어량인  $ISC_{on}$ 은 운전상태에 맞게 시동모드, 완폭모드, 엔진정지 모드에 의해 제어한다.

#### 2.4.1 시동 모드

시동모드시의  $ISC_{on}$ 은  $ISC_{st}$ 로 한다.

#### 2.4.2 완폭 모드

완폭모드시의  $ISC_{on}$ 은, OPEN/CLOSED LOOP 판정조건에 맞게 식 (13)과 식 (14)으로 산출된다.

(a) OPEN LOOP제어 시의  $ISC_{on}$ 는 식 (13)으로 산출한다.

$$ISC_{on} = ISC_{as} + ISC_{ac} + ISC_{at} + ISC_{ps} + ISC_{el} + ISC_{dsp} + LN_{isc} \quad [\%] \quad (13)$$

(b) CLOSED LOOP제어시의  $ISC_{on}$ 는 식 (14)로 산출한다.

$$ISC_{on} = ISC_{as} + ISC_{ac} + ISC_{at} + ISC_{ps} + ISC_{el} + ISC_{bcv} + ISC_i + ISC_p + ISC_d \quad [\%] \quad (14)$$

- $ISC_{ac}$  : 에어컨 보정량 [%]
- $ISC_{at}$  : A/T Drive영역 보정량 [%]
- $ISC_{ps}$  : Power Steering 보정 [%]
- $ISC_{el}$  : 전기부하 보정 [%]
- $ISC_{as}$  : 시동후 보정량 [%]

- $ISC_{bcv}$  : 부압 보정량 [%]
- $ISC_{dsp}$  : Dash Pot 보정량 [%]
- $LN_{isc}$  : 학습 보정량 [%]
- $ISC_i$  : CLOSED LOOP 적분분 보정량 [%]
- $ISC_p$  : CLOSED LOOP 비례분 보정량 [%]
- $ISC_d$  : CLOSED LOOP 미분분 보정량 [%]

#### 2.4.3 엔진 정지모드

시동모드시의  $ISC_{on}$ 은 0으로 한다.

## 3. Hardware의 구성

### 3.1 전자제어장치(ECU)

ECU(Electronic Control Unit)는 센서로 부터 입력되는 신호를 변환하는 입력 인터페이스, 정해진 순서에 따라 입력 데이터의 산술연산 또는 논리연산을 행하는 컴퓨터 부(마이크로 컴퓨터)와 그 결과를 작동 신호로 변환하는 출력 인터페이스 부로 구성된다. Fig.9는 본 연구에서 제작한 전자제어장치이며 본 연구의 ECU 적용된 Microcomputer는 H8 16bit one chip을 사용하여 연료분사 제어뿐만 아니라, 점화시기 제어, 아이들 회전속도제어등 많은 성능을 구사하여 기관 제어를 할 수 있게 제작하였다. 즉 ECU는 먼저 기관으로 흡입되는 흡입공기량과 기관의 회전속도로 부터 기본분사량을 계산하고, 각종 센서로부터 전기적 신호에 보정을 받은 후 운전상태에 적합한 연료분사량을 결정, 이 분사량에 알맞는 인젝터의 통전시간, 점화시기 및 공회전시 엔진 회전수를 제어하고 엔진이 가열된 후 산소센서로부터 배기가스 중의 산소농도를 판단하여 연료분사량을 자동적으로 조절하는 기능을 갖는다.

#### 3.1.1 입력 인터페이스

ECU로 들어오는 입력신호는 입력 종류별로는 Analog와 Digital 및 Frequency의 형태를 지니고 있다. Table 1은 아나로그 입력처리 신호 사양을 나타낸 것이다.

#### 3.1.2 A/D 컨버터

컴퓨터는 디지털 값 밖에 취급할 수 없기 때문에 아나로그 값으로 출력하는 센서의 신호를 A/

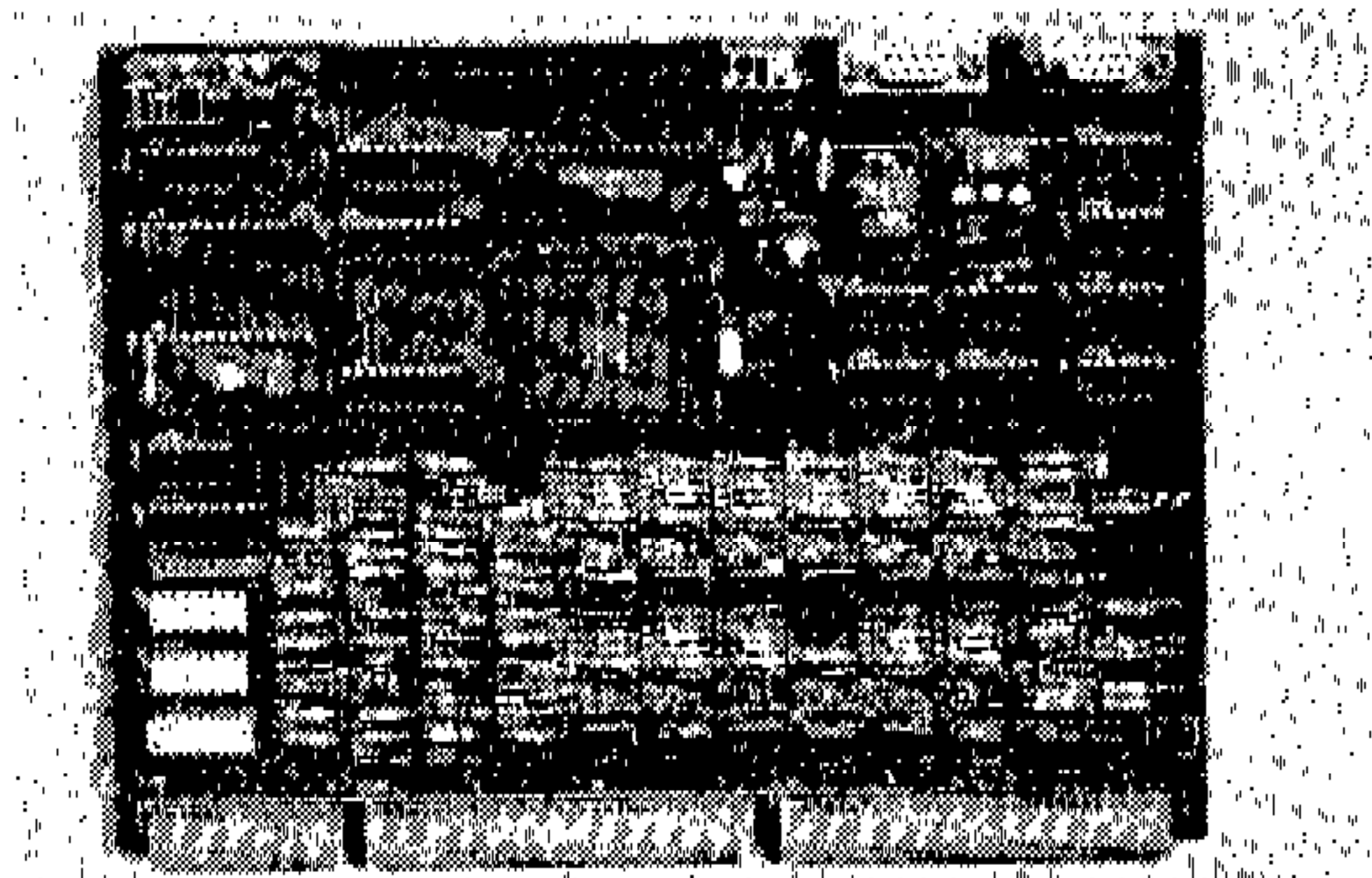


Fig.9 Photograph of ECU

Table 1 Designation of analog input signals

NO	Designation	Symbol	Sampling Period	Unit	Bit length
1	Air Flow Sensor	$V_{qa}$	2[ms]	5[mv]	10
2	Water Temperature Sensor	$T_w$	320[ms]	20[mv]	8
3	O <sub>2</sub> Sensor	$V_{o2}$	10[ms]	10[mv]	9
4	Throttle Position Sensor	$V_{tvs}$	10[ms]	5[mv]	10
5	Ignition 1	$V_{igd1}$	40[ms]	20[mv]	8
6	Ignition 2	$V_{igd2}$	40[ms]	20[mv]	8
7	Battery Voltage	$V_b$	80[ms]	80[mv]	8
8	Barometric Pressure Sensor	$V_{pre}$	10[ms]	10[mv]	10

Table 2 Accuracy and resolution of output signals

Item	Accuracy	Resolution	Data Period	Output Period	Output Range
T <sub>i</sub> Pulse : 0.4~210[ms]	±0.01[ms]	0.01[ms/bit]	10[ms]	REF	T <sub>i</sub> Pulse 0.2~524[ms]
IGN : BTDC50° ~ ATDC16°	±0.5[deg]	1[deg/bit]	10[ms]	REF	BTDC 50° ~ ATDC 16°
ISC Signal Period : 160[Hz]	±1[%]	0.5[%/bit]	10[ms]	10[ms]	Duty : 0~100[%]
Pulse Output Period : 20[Hz]	±1[%]	0.5[%/bit]	40[ms]	40[ms]	Duty : 0~100[%]
F/P Relay	—	—	—	40[ms]	
A/C Relay	—	—	—	10[ms]	

D 컨버터에 의해 디지털 값으로 변환할 필요가 있다. 본 연구에서는 열선식 에어 플로센서로부터 입력되는 공기유량신호의 경우, 분해 능력이 고 정밀도가 요구되어서 10비트의 정밀도인 것을 채용하였다. 이것은 에어플로센서의 아날로그 출력의 최고 전압값을 2<sup>10</sup>까지 양자화하고 2진 코드로 출력한다.

3.1.3 출력 인터페이스

컴퓨터에서 출력 신호를 증폭하여 액츄에이터를 작동시키는 것으로 컴퓨터의 출력은 미소 전류이어서 큰 일을 하는 액츄에이터를 직접 구동할 수 없다. 따라서 인젝터에 ON신호를 가하면 인터페이스는 인젝터 구동 전압 레벨을 조정한다. Table 2는 본제어의 출력의 정밀도와 분해능

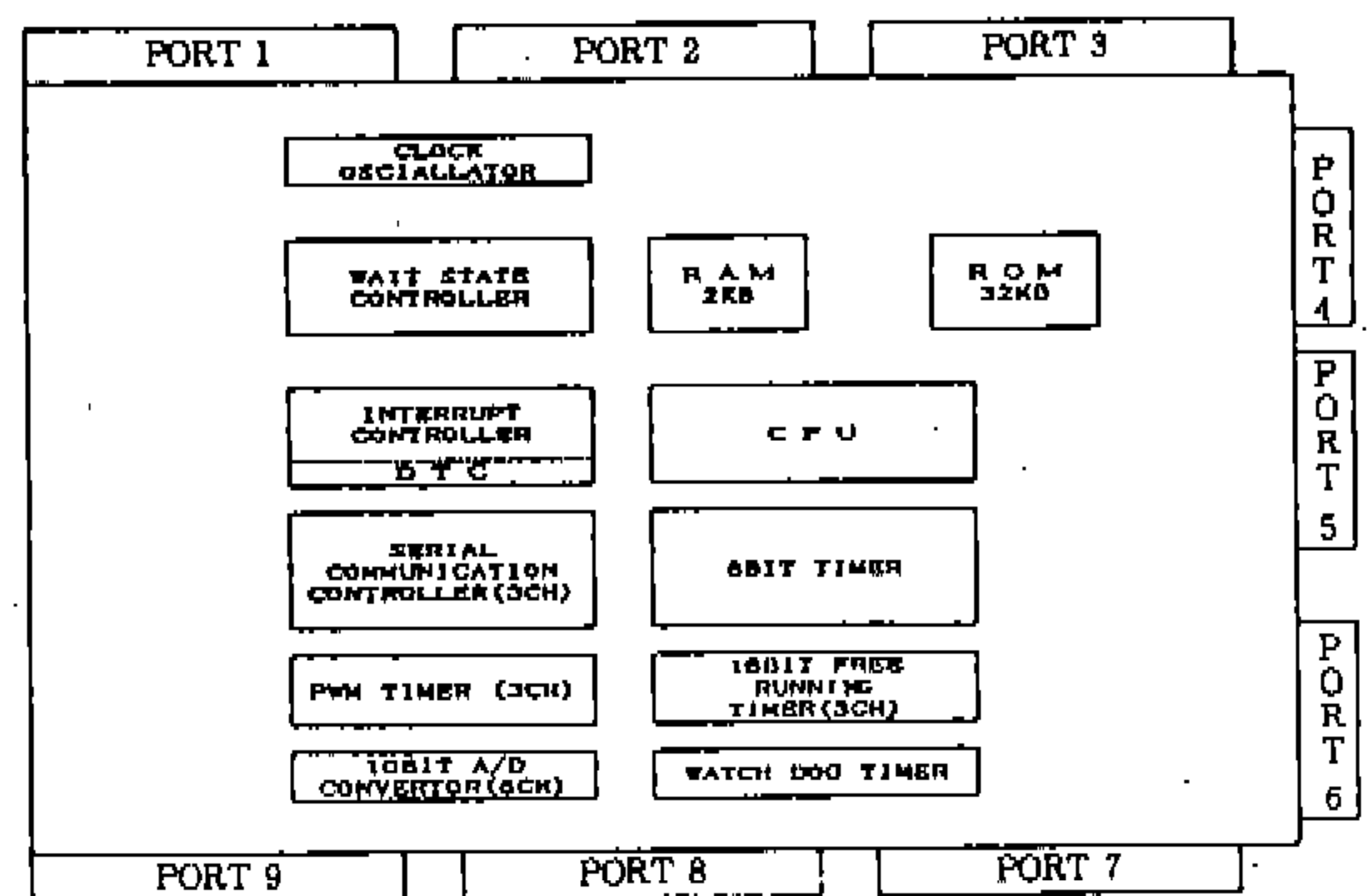


Fig.10 Block diagram of H8 microcomputer

을 나타낸 것이다.

3.1.4 마이크로 컴퓨터

본 연구에서 사용된 마이크로 컴퓨터는 H8 고



속 16비트 one chip 기종으로서 이의 블록도는 Fig.10과 같다. 주된 특징은 내부 16비트 데이터 처리 능력을 강화하고 내장 메모리에 16비트로 접근(access)하여 명령 실행 속도의 향상을 도모함으로써 실제 엔진의 제어에 있어서 요구되는 운전 조건의 변화에 대한 제어의 정확도를 향상시킬 수 있고 또한 응답성이 빠른 특징을 가지고 있다. 통신 기능으로는 데이터 전송 장치인 DTC(Data Transfer Controller)를 갖추고 있다. 따라서 현재 엔진의 제어 요구 사항에 대하여는 16비트 마이크로컴퓨터 기능과 최대 6 기통 분사가 가능하다. 또한 16비트 타이머 기능으로 Output Compare Interrupt는 Output Port의 출력을 설정 (또는 반전)시킬 수 있게 구성되어 있어서 시간 단위로 제어되는 펄스를 만들 수 있다. 이는 연료 분사에 필요한 펄스를 만드는데 매우 적합하며, Input Capture Interrupt로써 카운터 값을 읽어 낼 수 있어서 특성 신호의 주기(또는 Duty)를 측정할 수 있다. 그리고 이 기능은 기동신호의 주기를 측정함으로써 엔진 회전수의 계측에 이용할 수 있고 타이머는 내, 외부 클락(clock)을 사용할 수 있게 되어 있다. 외부 클락으로 크랭크각을 입력하여 각도 단위의 제어에 적합한 신호를 만들 수 있으며, Compare Match Interrupt에 의한 펄스 출력 기능을 이용하여 점화시기 제어와 연료 분사시기 제어에 응용할 수 있다. 외부 클락을 사용할 때

는 상승 신호와 하강 신호에 의해 모두 카운트할 수 있게 만들어져 입력 클락보다 두배의 분해능을 얻을 수 있다. 8비트 PWM(Pulse Width Modulation) 타이머는 PWM 펄스를 발생시킬 수 있는 타이머로서 듀티(duty) 제어, 솔레노이드 밸브 등의 제어에 이용되며 이의 분해능은 0.4%의 정밀도를 가지고 있다. 또한 펄스 주기는 내부 클락을 분주하여 사용하고 9.8Hz-20Hz의 펄스까지 출력할 수 있는 3개의 채널이 있으며 공회전은 물론 EGR 및 Purge의 최적 제어를 위한 비례 제어가 가능하다.

4. 실험

4.1 실험장치 및 방법

본 연구에서 개발한 ECU를 시험 하기 위해 사용한 대상 엔진은 1,500cc DOHC 엔진이며

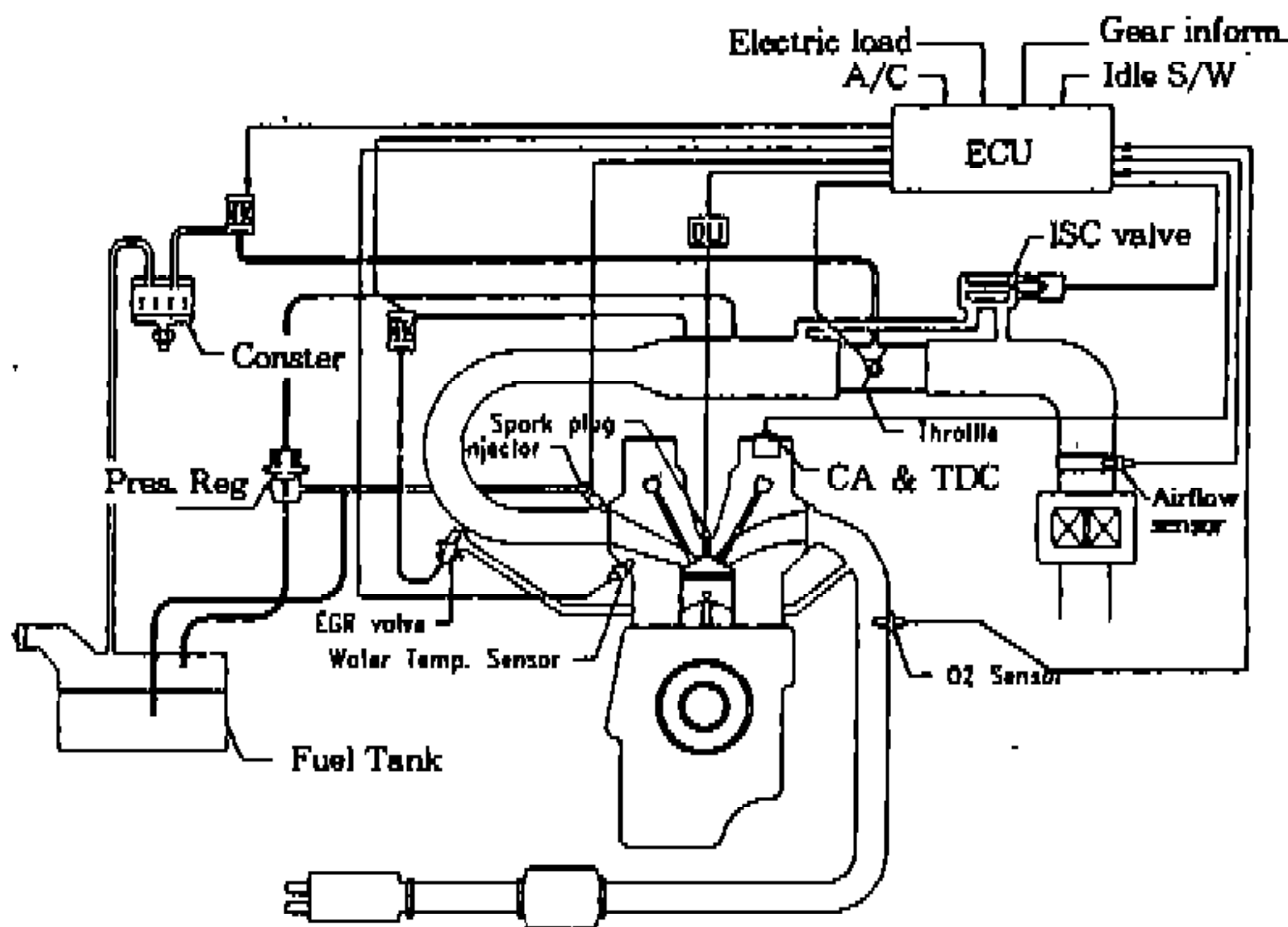


Fig.11 Pictorial diagram of engine management system

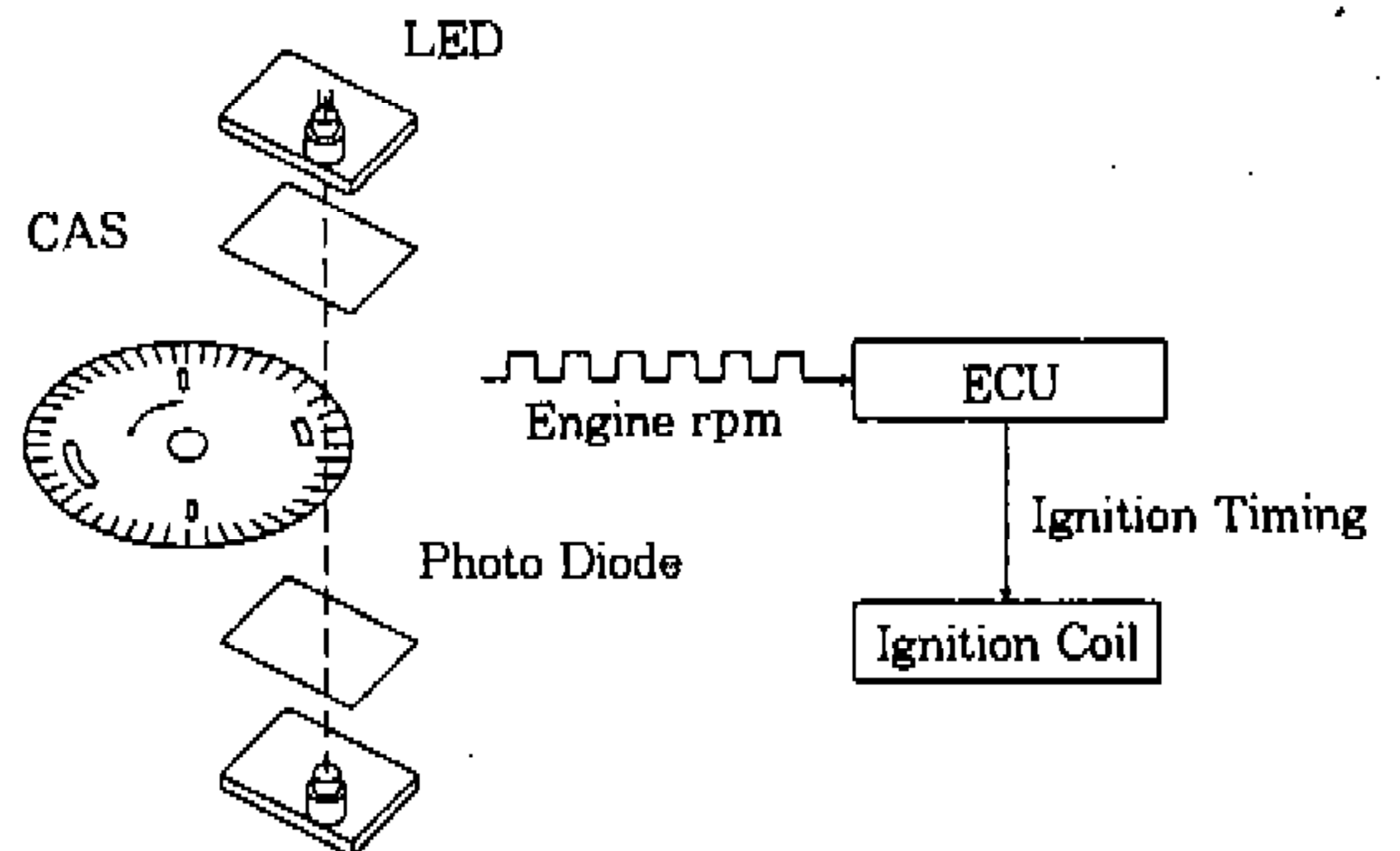
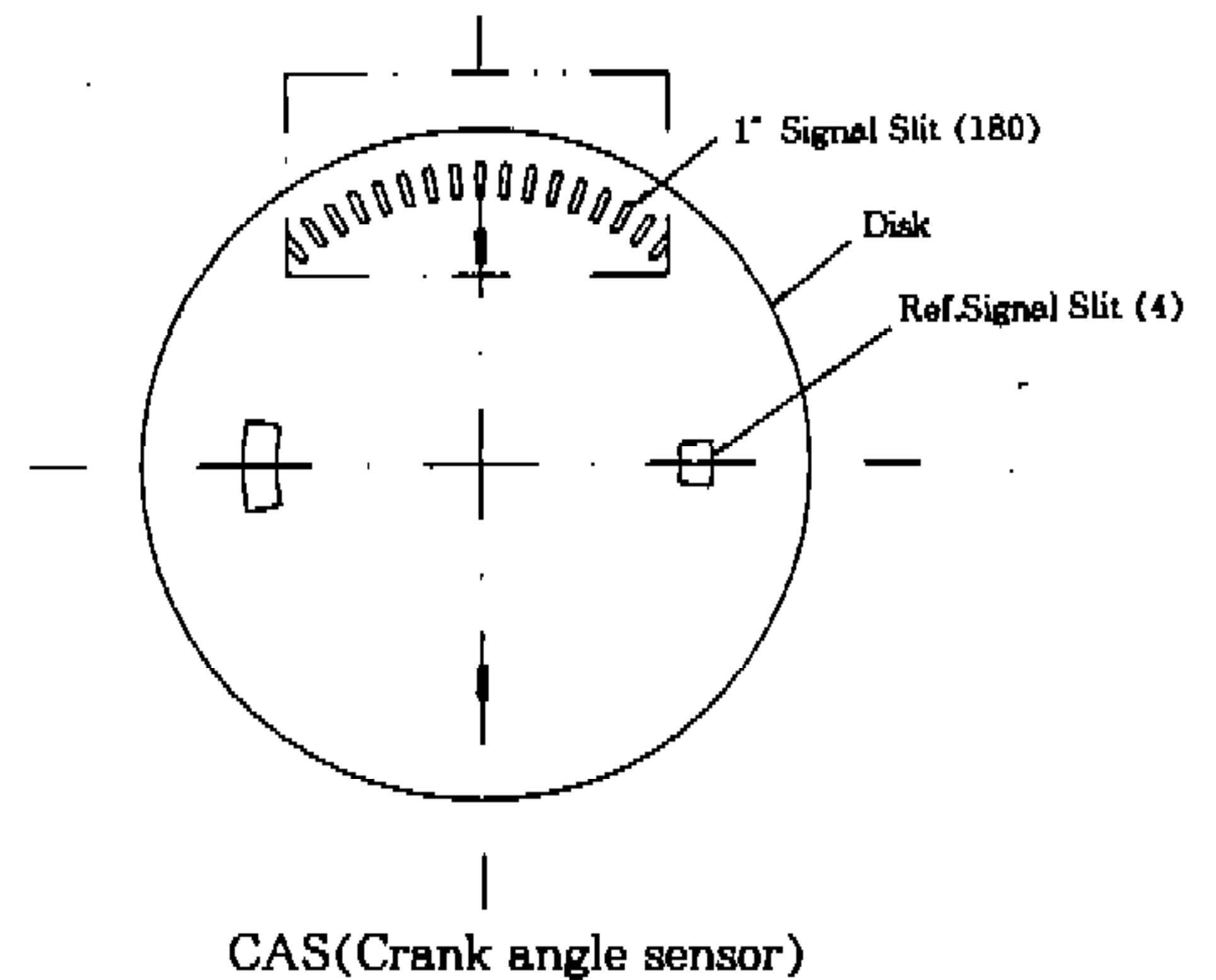


Fig.12 Crank angle sensor

기존의 ECU를 제거하고 본 연구에서 개발한 ECU와 센서들을 Fig.11과 같이 엔진에 장착하였다. CAS는 기존의 장치와는 다르게 Fig.12처럼 크랭크각 센서 내부의 디스크는 얇은 금속제 원판으로 되고 있고 그 디스크 외주에는 엔진 회전수를 검출하기 위하여 180개의 등간격의 슬릿과 안쪽에는 피스톤 상사점 위치를 검출하기 위하여 90° 간격으로 길이가 각각 다른 4개의 원도(원도 폭은 각각 32-4-18-4 teeth)를 하드웨어적으로 설정하여 기존 시스템에 비해 정확한 크랭크 각도 신호와 점화기통 판별 시간을 단축할 수 있어서 기존 시스템에서 급가·감속시 비정상 상태에서 일어날 수 있는 실제 상태와 제어 상태와의 편차를 최소화하였다. 또한 기존 크랭크각 센서는 기통판별이 최대 720° CA의 지연이 발생할 수 있으나 본 연구에서는 기통판별이 최대 180° CA의 지연만이 발생함으로 기통판별이 빨라 시동시 동시분사에서 신속히 순차분사로 진입이 가능하고 동시분사시 발생하는 분사량의 낭비를 막을 수 있다. 점화방식은 노킹 제어등과 같은 급격한 점화진각 제어시 응답성을 향상시킬 수 있고 전압 손실이 없는 전자식 직접점화방식(DIS)을 채용하였다. 공기 유량 측정 방식은 비정상유동시 시스템의 응답성이 좋으며 센서의 특성상 주위 온도에 따른 별도의 보상이 없이도 정밀한 측정이 가능한 질량유량방식인 열선식 에어플로센서를 채용 하였으며 공전속도제어(ISC)는 스로틀 밸브를 바이패스하는 통로에 밸브를 설치하여 공기량을 엔진상태에 따라 듀티(Duty) 제어를 하여 함으로써 아이들링을 향상시킬 수 있는 방식을 채용 하였다. 실험방법은 기관용 전자제어장치의 핵심이며 가장 복잡한 연료분사, 점화시기에 대해 평가를 하였다. 이때 신호들은 디지털 오실로스코우프를 통해 측정하였다.

#### 4.2 실험결과 및 고찰

Fig.13, Fig.14, Fig.15 및 Fig.16은 본 연구에서 제작한 ECU를 정착하여 실험 하였을 때 엔진 회전수가 각각 800rpm, 1,000rpm이며 무부하시의 시간에 대한 각도(POS)신호, 기준

(REF)신호, 기통판별신호, 연료분사 신호를 나타낸 것이다.

Fig.13은 엔진 회전수가 800rpm일 때 2번 4번의 기준신호가 입력된 경우, 시간 변화에 따른 기준신호(Ch1), 기통판별신호인 MK2(Ch4), 1번 실린더의 연료분사 신호(Ch3)를 위에서부터 차례로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 1번 실린더 기준 신호가 상승할 때부터 정확히 25°가 지난 후에 기통판별 신호인 MK2신호가 상승함으로써 기통판별을 함을 알 수 있고 기통판별후 바로 1번 실린더가 연료를 순차 분사하

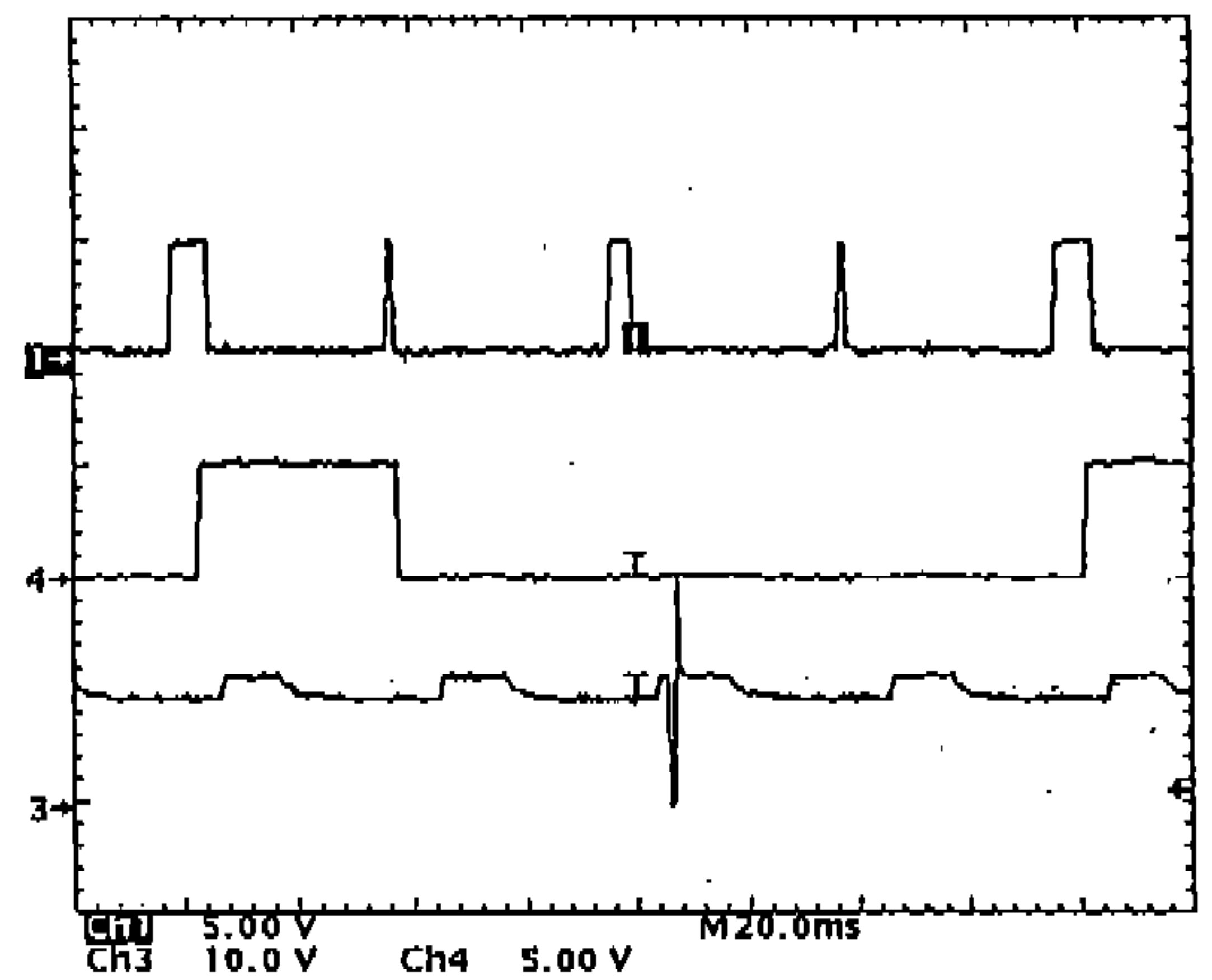


Fig.13 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and INJ # 1 at 800rpm

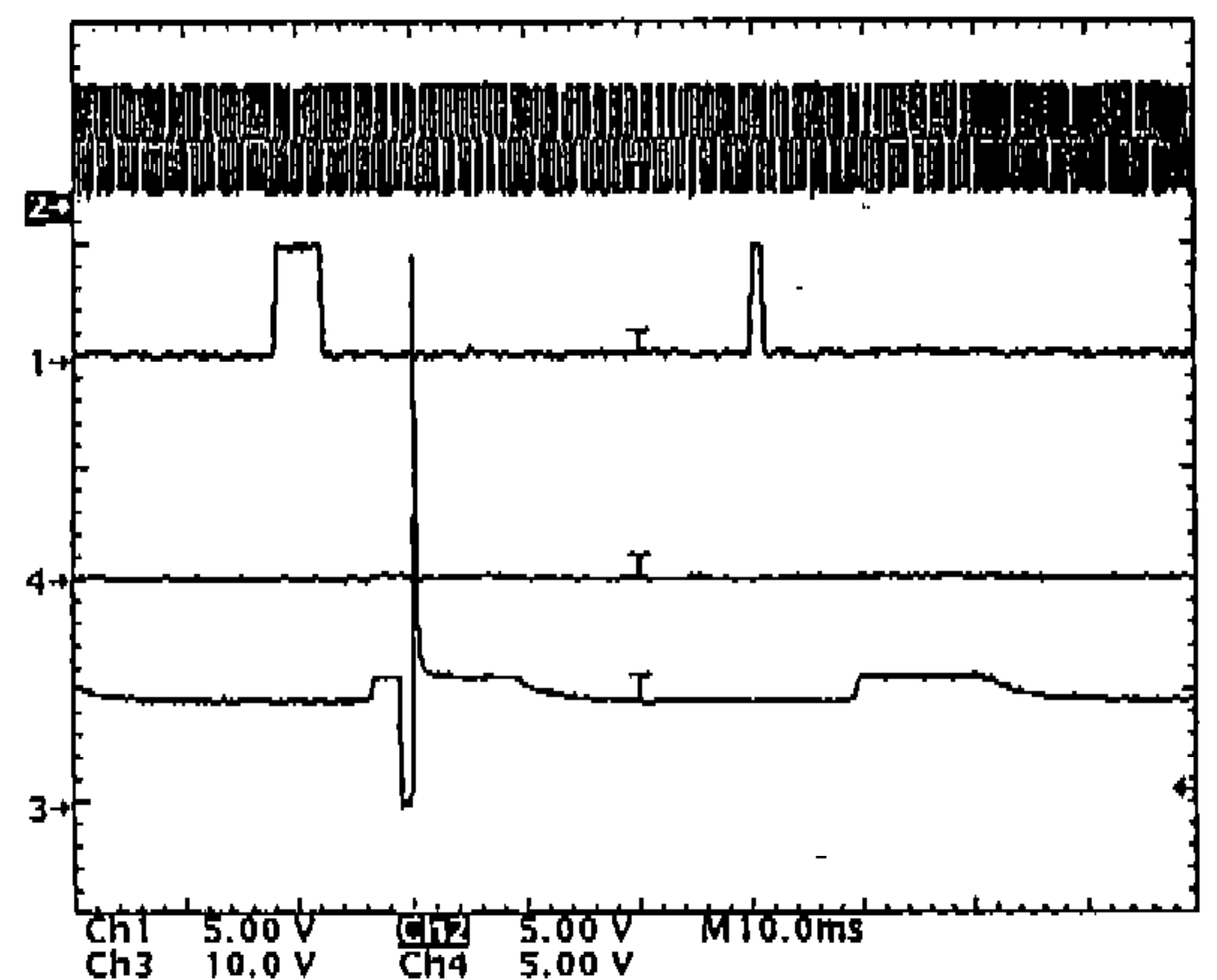


Fig.14 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and INJ #3 at 800rpm

는 결과를 나타내고 있다.

Fig.14는 엔진 회전수가 800rpm에 대한 위치 신호(Ch2), 기준신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), 4번 실린더의 연료분사 신호(Ch3)를 나타낸 결과이며 그림에서 보는 바와 같이 2개의 상승 기준신호(Ch1)에서 첫번째 상승신호의 "high" 레벨의 윈도우폭이 18°에 해당되므로 4번 기준 신호임을 알 수 있고 그 다음 상승신호는 2번 기준 신호(4°)임을 알 수 있다. 따라서 연료 분사가 4번 기준신호와 2번 기준신호 사이에 이루어지므로 연료분사는 4번 실린더(Ch3)에서

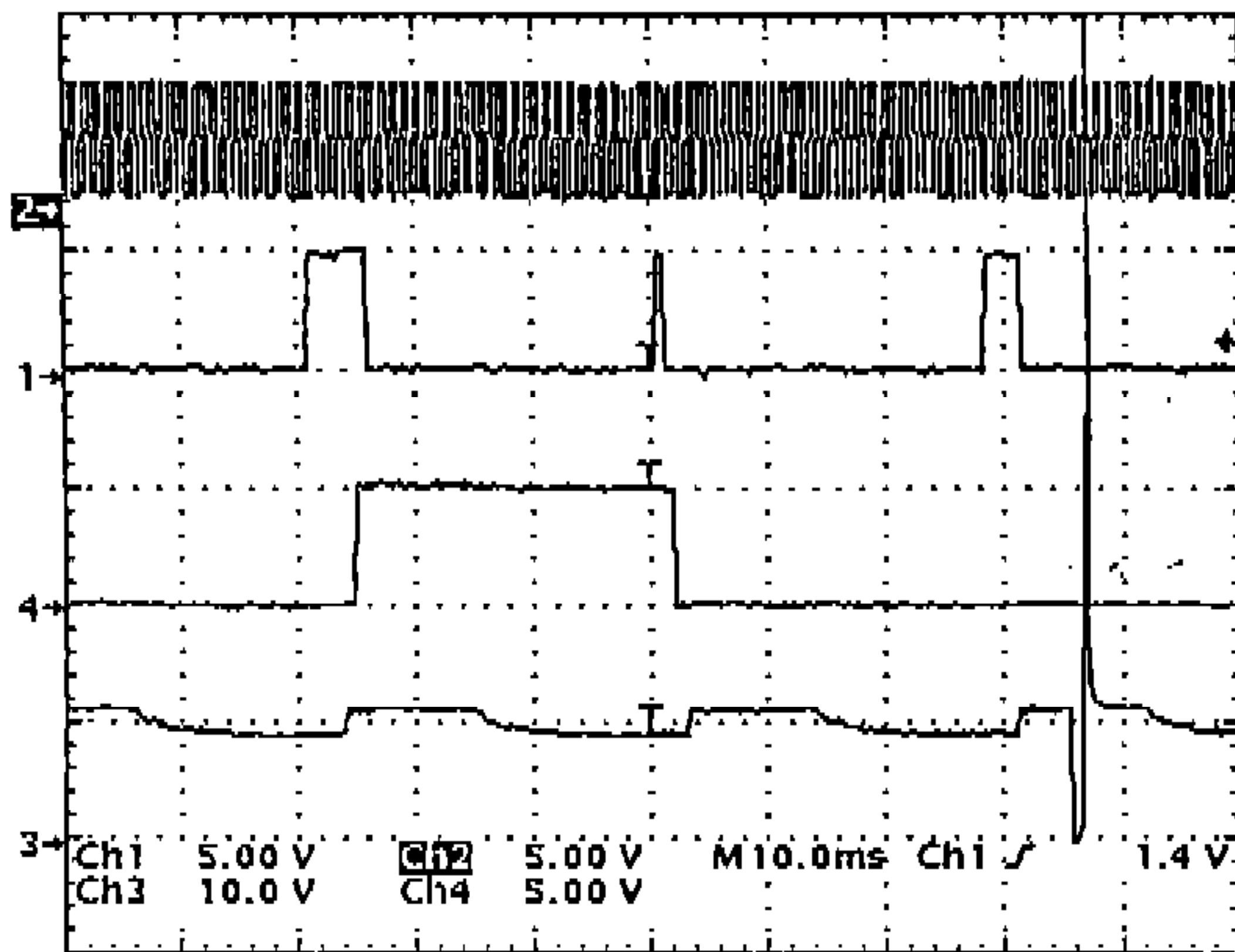


Fig.15 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and INJ #1 at 1000rpm

일어남을 알 수 있다.

Fig.15는 엔진 회전수가 1,000rpm일 때의 시간 변화에 따른 위치신호(Ch2), 기준신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), 1번 실린더의 연료 분사 신호(Ch3)를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 800rpm과 같은 제어 방식으로 연료를 분사를 하며 엔진의 회전수가 높아짐에 따라 800rpm일 때와 분사시간의 차이가 있음을 보여주고 있다.

Fig.16은 엔진 회전수를 800rpm에서 1,500rpm으로 급 가속시켰을 때의 시간 변화에 따른 위치 신호(Ch2), 기준신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), 1번 실린더의 연료분사 신호(Ch3)를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 급 가속시에서는 순차분사를 하지 않고 동시분사를 함을 알 수 있다. 즉 급 가속시 일시적으로 혼합기가 희박하여지는 현상을 방지하기 위하여 순차분사에 비동기 분사를 추가하여 엔진의 응답성을 향상시킴을 알 수 있다.

Fig.17과 Fig.18 및 Fig.19는 엔진 회전수가 각각 800rpm, 1,000rpm, 1,500rpm에서의 무부하시 시간에 대한 위치신호, 기준신호, 기통판별 신호, 점화신호(IGN)를 나타내 것이다.

Fig.17은 엔진 회전수가 800rpm일 때의 시간 변화에 따른 기준신호(Ch1), 기통판별신호

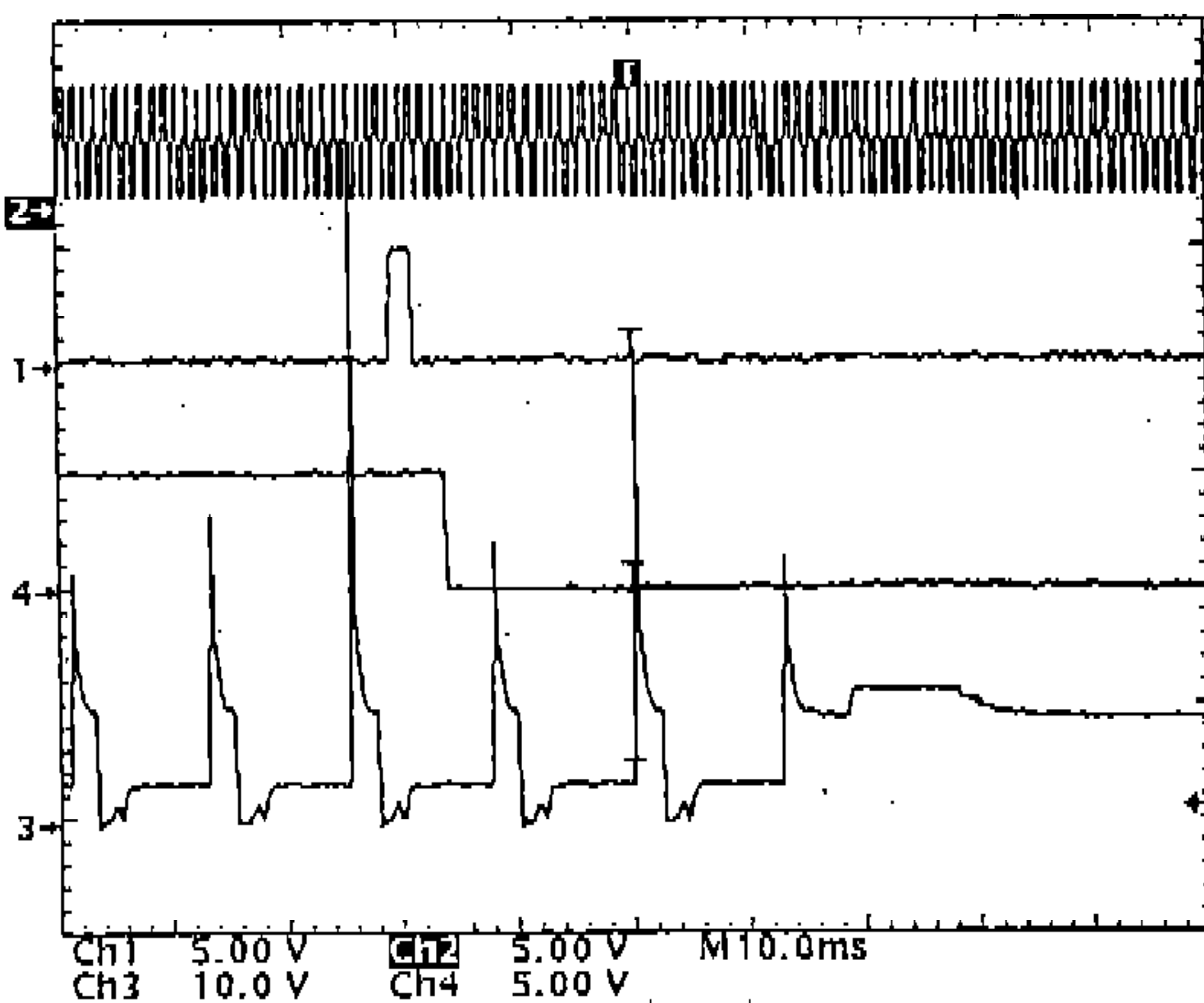


Fig.16 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and Simultaneous INJ #1 at variation from 800rpm to 1500rpm.

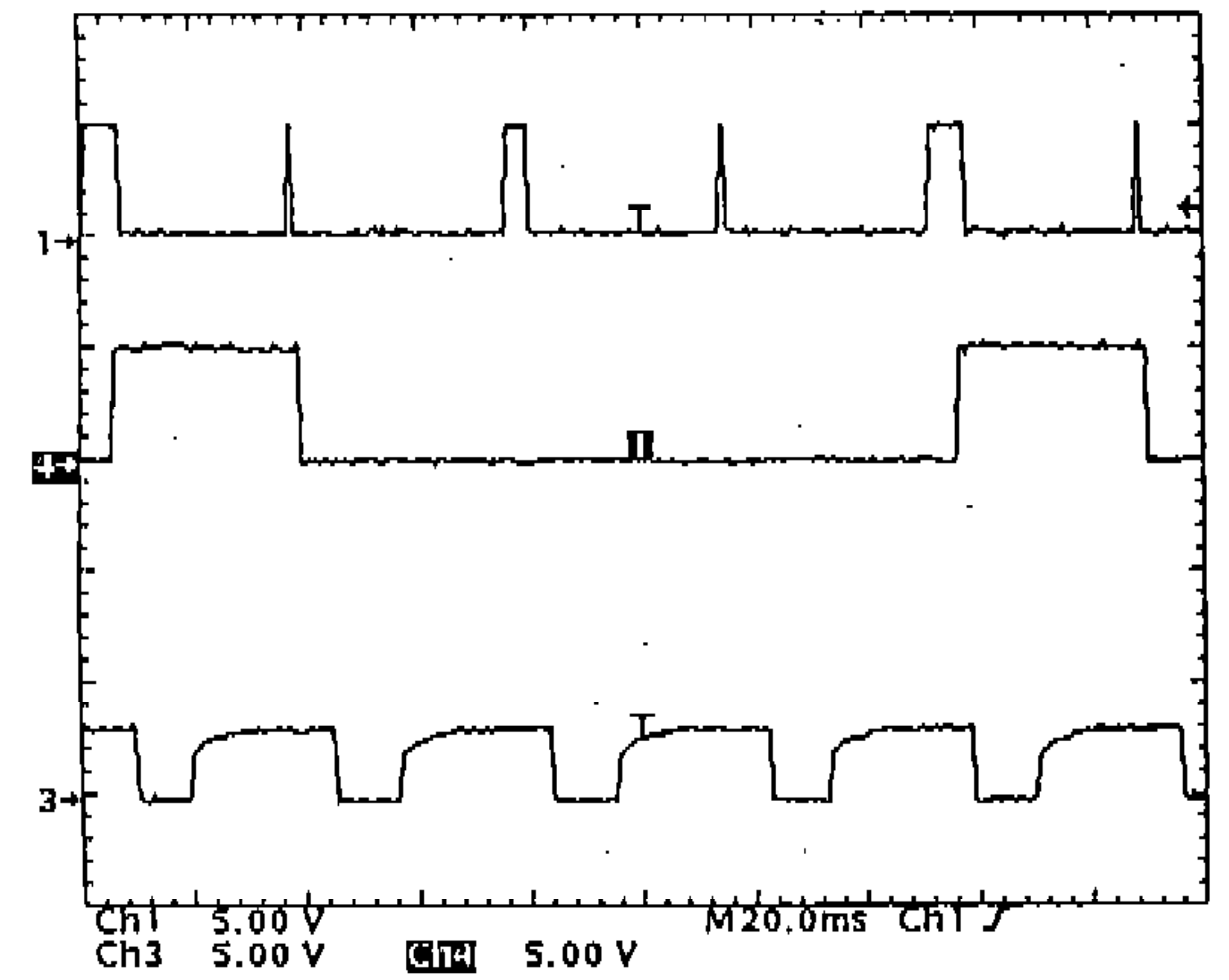


Fig.17 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and IGN at 800rpm.



(Ch4), 점화 신호인 IGN(Ch3)를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 점화신호(Ch3)가 하강할 때 기통판별신호의 레벨이 "high"이므로 그 실린더는 1번 실린더를 판정하는 것을 알 수 있고 그 다음 기통판별신호의 레벨이 "high"일 때까지 차례로 3번, 4번, 2번 실린더 순으로 점화 순서가 정해짐을 알 수 있다.

Fig.18은 엔진 회전수가 1,000rpm일 때 시간 변화에 따른 기준신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), IGN(Ch3)을 나타낸 것이고 Fig.19는 엔진 회전수가 1,500rpm일 때의 위치신호

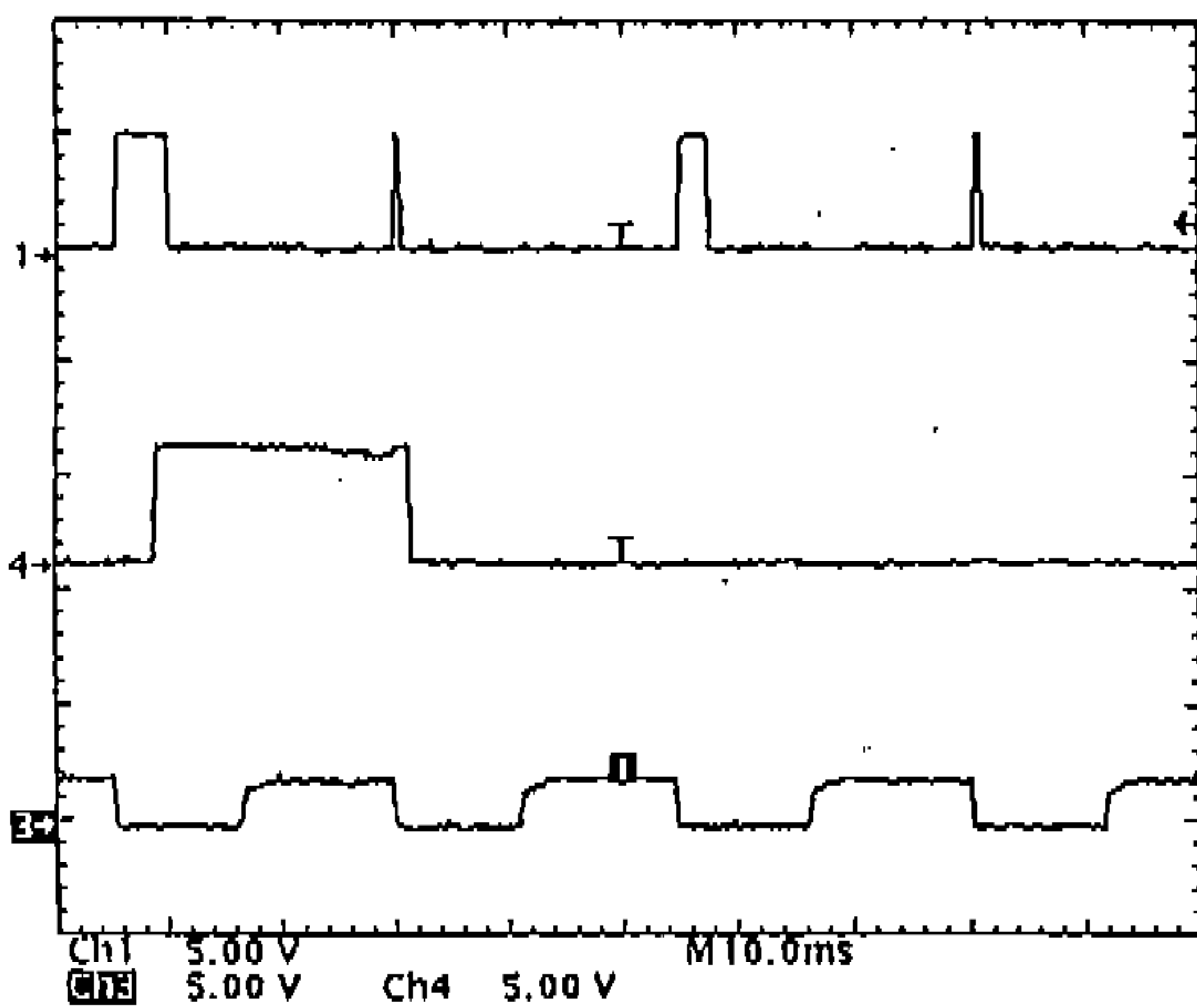


Fig.18 Signals of REF, MK<sub>2</sub>, and IGN at 1000rpm

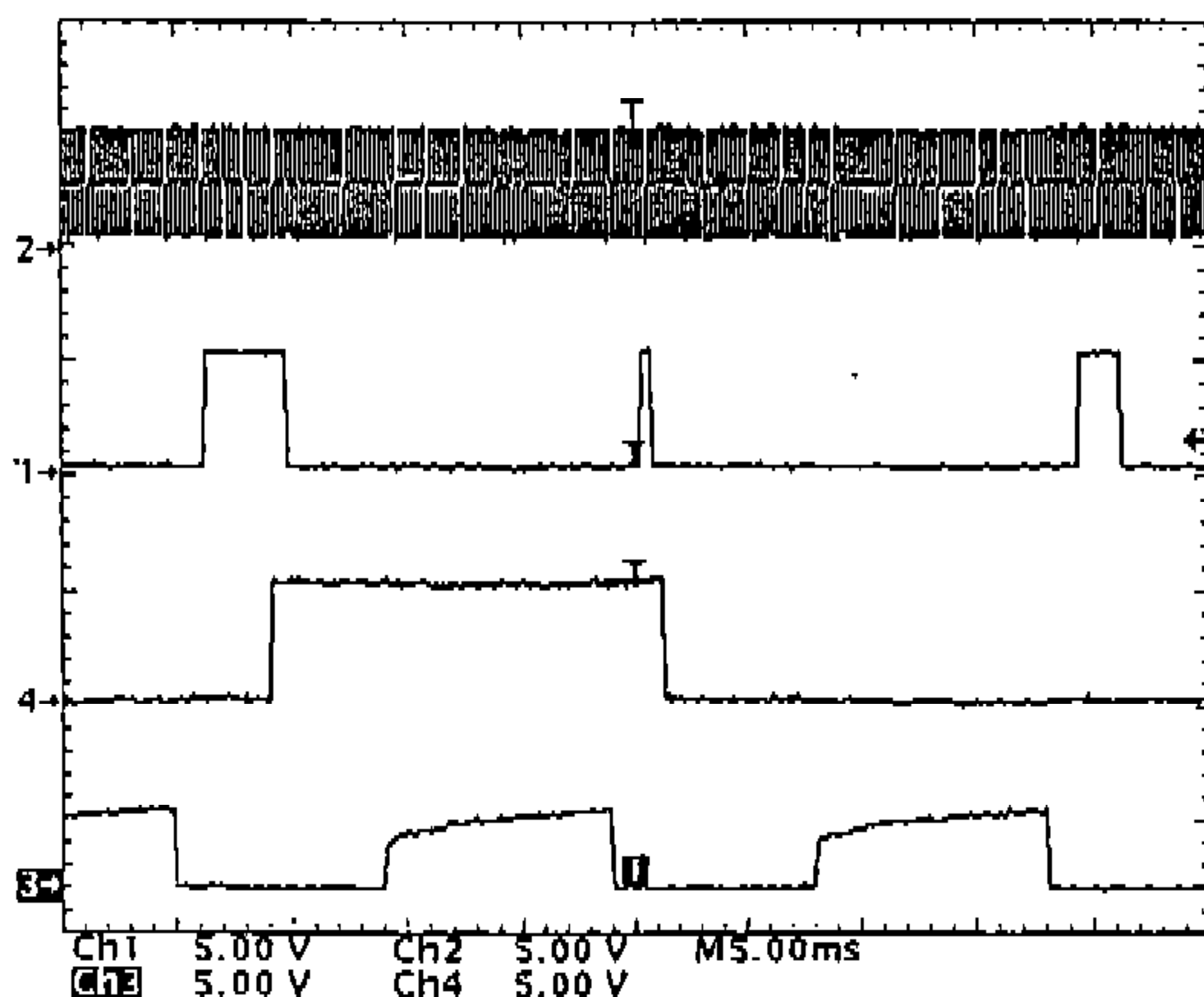


Fig.19 Signals of POS, REF, MK<sub>2</sub>, and IGN for 1500rpm

(Ch2), 기준신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), IGN(Ch3)를 나타낸 결과이다. 역시 엔진 회전수가 800rpm일 때와 같은 경향을 보이며 엔진 회전수가 1,000rpm, 1,500rpm으로 증가함에 따라 점화신호의 차이를 보임을 알 수 있다.

이상 위의 결과들은 기존의 크랭크각 센서가 각 기통의 판별이 불가능한 것과는 달리 본 연구에서는 기준신호의 하강 신호 간격을 하드웨어적으로 다르게 설정함으로써 해당 실린더를 정확하고 빨리 판별함을 알 수 있다. 또한, 기존 크랭크각 센서는 최대 720°CA의 지연이 발생할 수 있으나 본 연구에서 제작된 크랭크각 센서는 180°개의 위치 신호와 90°마다 하나씩 4개의 기통 판별신호로 인하여 기통판별이 빨라서 최대 180° CA의 지연만이 발생하므로 시동시 동시분사에서 순차분사로 신속한 진입이 가능하여서 동시분사시 발생하는 연료의 허실을 막을 수 있으며, 이로 인하여 냉간시동시 과대 분사에 의한 점화 플러그의 젖음 현상이 적고 실화의 가능성이 줄어들며, 또한 기통간의 공연비 차이에 의한 폭발력의 차이가 줄어 안정된 시동이 가능하다.

### 5. 결 론

가솔린 엔진용 전자 제어장치의 제어 시스템의 정밀도를 높이기 위하여 180°의 위치신호 및 90° 간격으로 원도 폭이 각각 다른 구조를 갖는 크랭크각 센서와 전자 제어 장치를 제작하여 연료 분사시기, 점화시기 등 제어 특성을 실험한 결과로부터 결론은 다음과 같다.

- 1) 각 실린더별 판별에 의하여 점화시기 및 분사시기를 정밀하게 제어하기 위하여 기준 신호를 매 BTDC 110°마다 일정하게 발생케 하여 보다 빠르고 정확한 점화 및 연료분사를 할 수 있었다.
- 2) 기존 크랭크각 센서는 기통판별이 최대 720°CA의 지연이 발생하는데 대하여 본 연구에서의 크랭크각 센서를 사용한 경우는 기통 판별이 최대 180°CA의 지연만이 발생하므로 기통판별이 전자에 비하여 보다 빨라 시동시 동시분사에서 순차분사로

신속히 진입 할수 있어서 동시분사시에 발생하는 연료의 낭비를 막을 수 있고, 이로 인하여 냉간 시동시 과대 분사에 의한 점화 플러그의 젖음으로 일어나는 실화의 기회가 줄어들고, 또한 기통간의 공연비 불균질에 의한 폭발력의 차이가 줄어들게 되어 보다 안정된 시동이 가능하다.

- 3) 내부 16비트 데이터 처리능력을 강화하고 내장 메모리에 16비트 접근을 가능케 하여 명령 실행속도의 향상을 도모함으로써 실제 기관의 제어에 있어서 요구되는 운전조건의 변화에 대한 정밀제어의 정도를 향상시킬 수 있어 응답성이 빠르다.
- 4) 가솔린 기관용 전자제어 장치를 개발 함으로써 엔진의 고유 제어로직 개발 및 자체 설계 능력을 키울수 있으며 새로운 엔진 개발시 필요로하는 제어장치 변경이 가능하다.

### 참 고 문 헌

1. Thomas, W. E., Donald, G. G., "MISAR-The Microprocessor Controlled Ignition System," SAE Paper No.780666, 1978.
2. Kenji Ikeura, et al., "Microprocessor Control Brings About Better Fuel Economy with Good Drivability," SAE Paper No. 800056, 1980.
3. Fukui, T., et al., "A New Type Electronically Controlled Fuel Injection System," SAE paper No.811418, 1981.
4. Aquino, C. F., "Transient A/F Control Characteristics of the 5 Liter Central Fuel Injection Engine," SAE Paper No.810494, 1981
5. Salamon, P. F., "Real-Time Electronic Engine Control(EEC). Microprocessor Software Productivity," SAE Paper No. 840444, 1984.
6. Laurent, H., Hoonhorst, H., "Fenix II-The Engine Control System of Tomorrow," SAE Paper No.860483, 1986.
7. Jan Lillelund, Elbert Hendricks, "A PC Engine Control Development System," SAE paper No.910259, 1991.
8. Falk, C. D., Mooney, J. J., "Three-way Conversion Catalysts: Effect of Closed-Loop Feed-Back Control and other Parameters on Catalyst," SAE Paper No. 800462, 1980.
9. Sadayasu Ueno, et al., "Wide Range Air-Fuel Ratio Sensor," SAE Paper No. 860409, 1986.
10. Junichi Ishii, et al., "Wide Range Air-Fuel Ratio Control System," SAE paper No.880134, 1988.
11. 千葉憲昭, H8 活用全科, 技術評論社, 1990.
12. Sasayama, T., Hirayama, T., Amano, M., Sakamoto, S., Miki, M., Ninshimura, Y., Ueno, S., "A New Electronic Engine Control System Using a Hot-wire Air Flow Sensor," SAE Paper No.820323, 1982.
13. Klenk, M., Moser, W., Mueller, W., Wimmer, W., "Misfire Detetion by Evaluating Crankshaft Speed-A means to Comply with OBD II," SAE No.930399, 1993.
14. Ishii, J., Amano, T. Y., Kurihara, N., Shida, M., "Wide range Air-Fuel Ratio Control System," SAE Paper No.880134, 1988.
15. Hendricks, E., Sorsenson, S. C., "Mean Value Modeling of Spark Ignition Engines," SAE Paper No.900616, 1990.
16. Hendricks, E., Sorsenson, S. C., "SI Engine Control and Mean Value Engine Modeling," SAE Paper No.910258, 1991.
17. Katsunori Oshiage, et al., "New Fuel Injection Method for Better Driveability," SAE Paper No.880420, 1988.
18. Hatsuo N., et al., "An Analysis Wall Flow and Behavior of Fuel in Induction Systems of Gasoline Engines," SAE

Paper No.890837, 1989.

19. William, P. M., Stephen, J. C., "An Adaptive Idle Mode Control System," SAE Paper No.84043, 1983.
20. Tohru Takahashi, et al., "A Simple Engine for Idle Speed Control," SAE Paper

No.850291, 1985.

21. Jhon James, et al., "Microprocessor Based Data Acquisition for Analysis of Engine Performance," SAE Paper No.870386, 1987.