

自動車 電子制御技術의 現況과 展望

金光培
(韓國科學技術院 電氣制御研究室長)

■ 차

레 ■

- 1. 序論
- 2. 가솔린 엔진의 電子制御技術
 - 2.1 엔진 電子制御의 背景
 - 2.2 엔진 電子制御 시스템
- 3. 自動車用 센서
- 4. 車輛電子制御技術
 - 4.1 變速機의 電子制御
 - 4.2 Chassis制御
- 5. 電子式 情報表示裝置
 - 5.1 表示素子
 - 5.2 情報表示裝置
- 6. 結論
參考文獻

1 序論

세계적으로 엄격해진 排氣가스規制에 대비하여 세계의 자동차업계는 電子化를 도입하여 이를 해결하고 燃費, 安全性, 商品性을 향상시켜 왔으며 연구 개발을 계속 진행중이다. 이러한 배경에는 micro-computer로 대표되는 반도체의 제조기술, 신뢰성, 가격이 자동차에 충분히 적합하여졌기 때문이다. 반도체업계는 VLSI 개발에 성공하여 관련분야에 큰 충격을 주었고 따라서 자동차업계도 이의 활용기술 개발을 활발하게 추진중에 있다.

자동차에 반도체가 도입된 예를 돌이켜보면 다음과 같다.¹⁾

1960년대—실리콘 다이오드가 alternator의 整流用으로 채용된 것이 자동차에 반도체가 적용된 최초의 예이다. 계속해서 點火器, regulator에 transistor가 채용되었다. (transistor가 1948년에 발명된 후 자동차에 채용될 때까지 15—20년이 소요)

1970년대—排氣가스規制가 적용되고 燃料噴射裝置 (Electronic Fuel Injection : EFI)를 중심으로 IC (analog, digital)가 채용되었다. (IC가 1958년에 발명된 후 10—15년이 소요)

1980년대—排氣가스規制에 대응하여 엔진性能과 燃費의 향상을 목적으로 엔진 controller에 mic-

roprocessor가 1970년대 후반기부터 도입되었고 1980년대에 들어와서는 suspension, steering, brake 등에도 채용되었다. (microprocessor가 1971년 개발된 후 5—10년이 소요)

이와 같이 기본적인 반도체소자가 발명되면서부터 자동차에 도입되는 시기가 점차 단축되고 있음을 알 수 있고 현재 전자부품은 자동차에 있어서 큰 비중을 차지하고 있다. 그림 1은 미국내 자동차에 탑

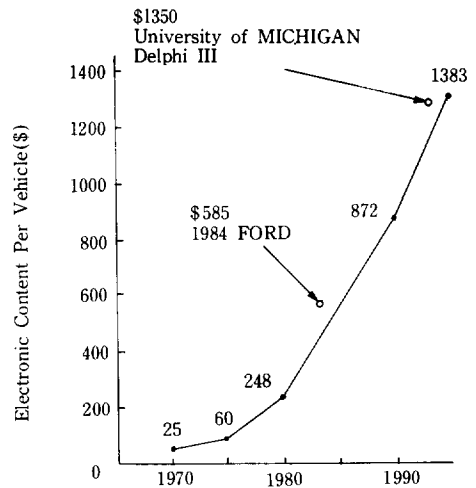


그림 1. 미국내 자동차에 사용되는 전자부품의 예상 금액

재된 전자부품의 평균적 예상금액을 나타낸 것으로³⁾ 1984년 Ford 자동차의 경우 \$585로 1985년의 예상액 \$550를 상회한다. 또 1984년에 실시된 Michigan 大學의 Delphi III 예상에 의하면 1992년에는 \$1,350로서 전자화는 더욱 빨리 추진될 것으로 예상된다.

지금까지 전자화를 추진해온 주요분야는 엔진 controller로 이것은 燃費와 排氣가스規制를 벗어나는데 중요한 역할을 하였으며 앞으로의 개발 방향은 엔진 controller와 transmission, chassis제어를 조합한 종합적인 제어가 될 것으로 예상된다. 또한 EG O (Exhaust Gas Oxygen) 센서를 이용한閉루우프 제어시스템 및 走行情報系의 전자화에도 많은 연구를 수행하고 있으므로 더욱 정확한 제어와 편리한 주행이 이루어질 것이다.

2 가솔린 엔진의 電子制御技術

2.1 엔진 電子制御의 背景

가솔린 엔진의 전자제어는 排氣淨화와 燃料消費節減 등 사회적 요구에 부응하기 위하여 도입되어 반도체기술 특히 microcomputer의 발전과 더불어 급속하게 발전하고 있다. 美國內的 燃費와 排氣가스規制 상황을 표1, 표2에 나타내었으며, 괄호 속은 California州의 規制値이다.⁴⁾

전자제어의 적용으로 제어의 自由度가 높아지고, 高精度의 제어가 가능하며 특성이 장시간 변하지 않는 잇점이 발생하여 종래의 기계적인 제어제에 대

표 1. 燃費規制

년 도	MPG	KPL
'79	19	8.03
'80	20	8.45
'81	22	9.3
'83	24	10.15
'85	27.5	11.62

표 2. 排氣가스規制

년 도	단위 g/mile		
	HC	CO	NOx
'79	1.5	15.0	2.0
'80	0.41	7.0	2.0
'81	0.41	3.4 (7.0)	1.0
'83	" (0.39)	" (")	" (0.4)
-현재			

체되어 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 최근 고객의 요구 사항의 변화에 따라 새로운 제어요소가 개발되어 채용범위가 넓어지게 됨으로써 제어성능 이외에 실용성에 관한 연구가 진행되고 있다. 엔진 전자제어의 역사를 고찰하면 다음과 같다.⁴⁾

• 導入期 (1960년대)

1960년대에는 transistor式 點火裝置가 실용화되어 高에너지로 着火性이 좋고, 信賴度가 높은 點火系가 실현되었다.

1967년 Bosch社에 의해 吸氣管 壓力檢出에 의한 전자제어 燃料噴射裝置 (D-jetronics)가 개발되어 폭스바겐社에 채용되었으며 계속해서 1970년대 초까지 自動 定速走行裝置, 電子制御 變速機 등이 차례로 개발되었다. 그러나 당시의 전자제어 장치는 가격이 높고 analog회로로 구성되어 일부 자동차에만 채용되었다.

• 開花期 (1970년대)

미국과 일본의 대도시에서 排氣가스 公害問題가 대두됨에 따라 排氣가스 規制가 사회적으로 필요하게 되어 排氣가스 對策은 1970년대의 주요한 기술 과제가 되었다. 이것을 해결하기 위하여 排氣가스 還流시스템 (Exhaust Gas Recirculation : EGR), 触媒裝置 등의 淨化裝置가 필요하게 되었고 그 결과 IC식 點火裝置 및 전자제어 燃料噴射裝置 (EFI)가 널리 채용되었다. 또한 三元触媒 (Rh, Pd, Pt)에 의한 排氣가스 淨화를 행하기 위해 산소 센서를 이용한 空燃比 feedback 제어시스템이 EFI 및 전자제어 氣化器에 실용화되었다.

• 發展期 (1970년대 후반 이후)

제2차 오일쇼크 이후 자동차 산업은 小型車化, 前輪驅動化, 새로운 엔진 개발 등의 큰 변혁을 가져왔고 그 영향으로 엔진 전자제어기술도 크게 변화하였다. 排氣가스와 燃費問題를 동시에 해결하기 위하여 종래의 단독적인 제어에서 종합적인 제어로 되면서 microcomputer의 실용화가 가능하게 되었으며, 또한 microcomputer의 성능이 集積密度의 상승, 演算速度의 고속화, 메모리 용량의 확대, 신뢰성의 향상 등으로 자동차 부품에 요구되는 높은 품질수준을 만족시키게 되었다.

Microcomputer가 엔진 제어에 처음으로 사용된 것은 1976년 點火時期만을 제어하는 것이었고, 그 후 연료, EGR, Idle회전제어 등의 제어요소가 추가되어 가솔린 엔진의 종합전자제어 시스템이 확립되었다.

2.2 엔진의 電子制御시스템

○MISAR시스템⁴⁾

1974년부터 Alpha IV Vehicle System 연구를 시작한 GM社는 1976년에 "Oldsmobile Toronado" 승용차에 처음으로 microcomputer를 이용한 點火時期制御裝置를 탑재하였는데 이것을 "MISAR (Micro-processed Sensing and Automatic Regulation) Spark Timing System"이라 하며 그림 2와 같이 구성되었다.

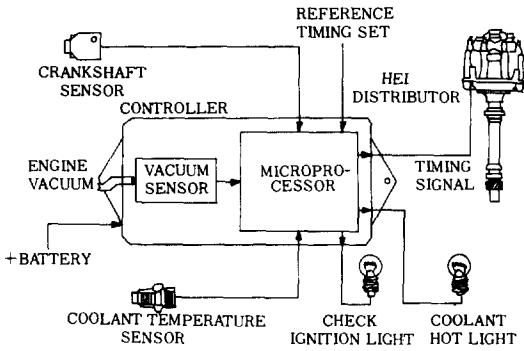


그림 2. MISAR 시스템의 블록선도

그림 2에서 點火時期 제어신호는 3개의 입력센서 즉, crankshaft센서, 진공센서 및 냉각수온도 센서로부터 만들어지며 메모리에 350data points의 최적 엔진 동작 신호가 기억되어 있다. 기본적인 시스템 구성은 Rockwell Microelectronics社의 Programmable Automotive Controller로서 10bit CPU, 1 K word RAM으로 되어 있으며, 이 시스템을 사용함으로써 효율을 증가시켜 9%의 연료를 절감하였다.

○EEC-I 및 EEC-II 시스템

Ford社에서 1977년 "Lincoln Versaille"에 탑재한 EEC-I (Electronic Engine Control) 시스템은 엔진 기능을 최적으로 하는 다출력 복합제어로서 그림 3과 같이 點火時期制御, EGR제어 및 2次空氣噴射制御의 기능을 가지고 있다. 또한 EEC-II 시스템은 EEC-I 시스템에 feedback carburetor제어, canister제어 및 throttle 위치제어 기능이 추가되었다.

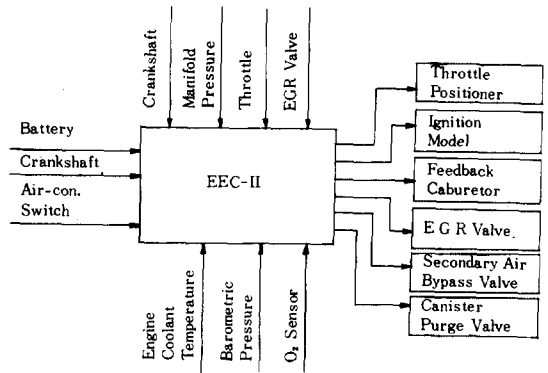


그림 4. EEC-II 시스템

○C-4 시스템⁴⁾

한층 엄격해진 排氣가스 規制에 대하여 1979년 GM社에서 개발한 C-4 (Computer Controlled Catalytic Converter) 시스템은 그림 5와 같이 기본적으로 閉루우프 carburetor제어 시스템으로서 三元触媒 變換器를 이용하여 空燃比를 일정하게 유지시킨다.

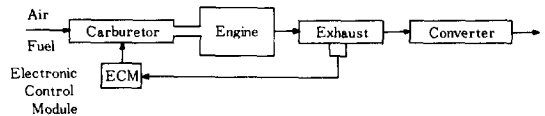


그림 5. C-4 시스템의 블록선도

그 외의 주요한 기능은 2次空氣噴射制御, 點火時期制御, 空回轉 速度制御, canister制御, 自動變速機 制御, EGR制御 및 自己診斷 機能이다.

기본적인 시스템 구성은 전자제어 모듈(ECM), carburetor, EGO센서, 엔진 냉각수온도 센서, 엔진 속도 센서 그밖에 흡기관 압력 센서와 throttle위치

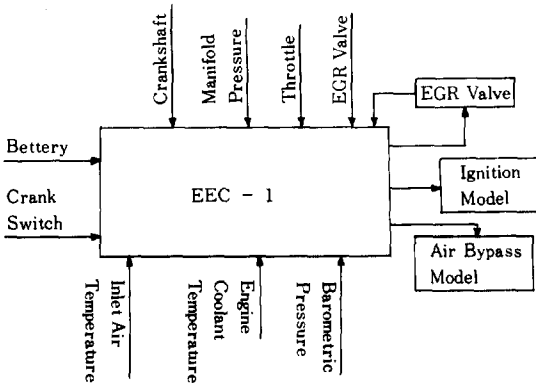


그림 3. EEC-I 시스템

센서로 되어 있다. 전자제어 모듈에는 CPU, 프로그램 메모리로서 ROM, calibration 메모리로서 PROM, 동작메모리로서 RAM이 있으며 M6800 계열의 칩과 GM의 custom microcomputer 칩을 사용하였다. OEEC-IV 시스템⁷⁾

1982년 Ford社は 연료경제성을 유지하면서 더욱 엄격해진 排氣가스規制에 대응하기 위하여 엔진 제어 시스템의 용량, 가변성, 신뢰성 등을 한층 높은 EEC-IV 시스템을 개발하였다. EEC-IV用 microcomputer는 Ford社와 Intel社가 공동제작한 8061 microprocessor와 8361 ROM으로 구성되어 있으며 그림6과 같은 특징을 갖고 있다.

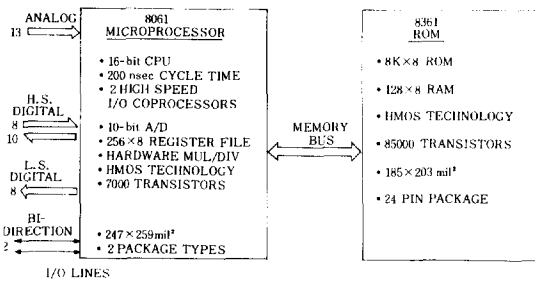


그림 6. EEC-IV用 microcomputer의 블록선도

③ 自動車用 센서⁸⁾

센서 및 actuator의 성능은 시스템 성능을 좌우하는 중요한 구성요소로서 제어시스템의 설계 및 기능은 센서 및 actuator의 선택단계에서 결정된다. 일반적으로 센서는 물리적 양을 전기적 신호로 변환하고 센서로부터의 전기적 신호는 processor를 통하여 적당한 신호로 만들어져 actuator를 구동시킨다.

그림7과 같이 자동차 엔진의 전자제어에서 기본적 입력은 공기 및 연료이고 출력은 구동력과 배기가스이며 배기가스 농도를 적절한 농도이하로 유

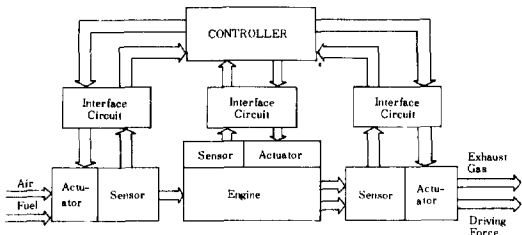


그림 7. 엔진전자제어 시스템의 블록선도

지시켜 연료에서 구동력간의 변환효율을 최대로 하는 것이 목적으로서 空燃比가 가장 중요한 제어변수이다.

여기서 주요한 측정변수는 다음과 같다.

- (1) 냉각수 온도
- (2) 흡입공기온도
- (3) 多岐管 絶對壓 (MAP)
- (4) 대기압
- (5) crankshaft 각도위치
- (6) 엔진회전속도
- (7) 배기가스중 산소농도

위에서 냉각수온도는 thermistor를 이용하여 측정하고, MAP센서는 吸氣多岐管壓力의 평균치에 비례하는 전압을 발생시키는 것으로 aneroid형, strain-gage형, 용량형 등이 있다. 또 crank각도 위치 센서에는 영구자석을 이용한 磁氣抵抗式이 많이 사용된다. 한편 EGO센서는 배기가스중 산소농도에 비례하는 전압을 발생시켜 간접적으로 空燃比를 측정함으로써 배기가스 제어에 큰 역할을 하는데 크게 다음의 두 종류가 있다.^{9),10)}

(1) ZrO₂ EGO센서

排氣가스중에 삽입된 ZrO₂ 센서에서 발생하는 전압은 엔진 空燃比에 따라 변화하는데 EGO 센서 내부의 산소이온의 분포를 이용하여 출력을 얻게 된다.

(2) TiO₂ film EGO센서

절연성 기판위에 TiO₂ film을 부착하고 여기에 백금전극을 접촉시킨 구조 또는 귀금속 전극위에 TiO₂

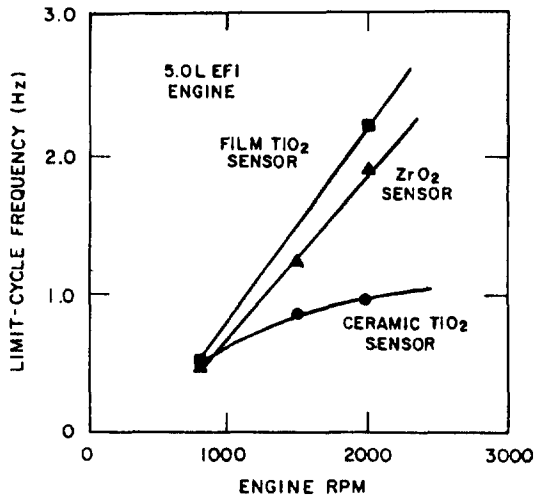


그림 8. TiO₂와 ZrO₂센서에 대한 f_{LC}의 변화

film을 부착하고 여기에 제2전극을 접촉시킨 구조를 가지며 값이 저렴하고 ZrO_2 센서와 ceramic TiO_2 센서보다 우수한 과도응답 특성을 갖는다. 현재까지 널리 실용화되지는 못하였지만 三元触媒變換器에 이용되며 우수한 과도응답특성을 갖고 있으므로 閉루우프제어에도 개선을 가져오게 된다.

그림8은 엔진이 limit-cycle feedback 동작중에 있을 때 세 종류의 EGO 센서에 대하여 엔진의 회전수 (rpm)에 따른 limit-cycle 주파수 f_{lc} 를 나타낸다.

엔진의 정상상태 동작에서 常數利得으로 limit-cycle 제어를 행할 때 f_{lc} 가 높을 수록 空燃比의 변화폭은 작게되며 따라서 TiO_2 film 센서는 EGO 센서중에서 空燃比의 가장 적은 변화를 가져온다.

4 車輛電子制御技術

자동차의 전자제어는 燃費와 排氣가스規制, 사회적 필요를 배경으로 하여 엔진을 중심으로 이루어져 왔는데 이에 비하여 엔진이외의 차량제어는 발전 속도가 늦어 일부를 제외하고는 이제부터가 본격적으로 도입하고 있는 현황이라고 말할 수 있다. 그림9는 1979년 전후의 기술진전을 나타내는데 최근에는 最適燃料噴射, 可變밸브타이밍, 可變吸氣·排氣시스템 등도 채용되어 엔진 단독이 아니라 종합적으로 最適制御를 하는 방향으로 되어가고 있다.¹¹⁾

	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84
• 엔진								
• 변속기								
• 브레이크								
• Auto-Levelizer								
• Suspension								
• Power Steering								
• Engine Mount								

그림 9. 차량전자제어의 동향

4.1 變速機의 電子制御

일반적으로 자동차의 주행에 필요한 토오르크는 저속에서 크고 중·고속에서는 작다.

자동차 엔진(내연기관)의 출력 토오르크는 회전수에 대하여 대체로 편평하므로 자동차는 변속기에 의해서 토오르크비를 조절한다. 변속기에는 수동식과 자동식이 있는데 자동식은 유체의 slip 현상으로 인

하여 전달효율이 떨어져 수동식에 비하여 연료비가 10%정도 더 쓰이는 관계로 소형차에는 50%정도 보급되어 있다. 이러한 결점을 전자제어에 의하여 해결하려는 시도가 이루어지고 있다.

4.1.1 토오르크 變換機式 變速機의 電子制御

현재 대부분의 자동변속기는 토오르크 변환기와 遊星齒車로 구성된다. 치차선택의 제어는 유압에 의해서 이루어져 왔으나 최근에는 microcomputer에 의한 map 제어가 이루어져 精度가 높아지고 자유도가 대폭 향상됨으로써 다음과 같은 효과를 얻게 되었다:

- a. 연료절감
- b. 주행성능 개선
- c. 자기진단 가능성

4.1.2 多段式 기어 變速機의 電子制御

종래의 수동식 변속기를 전자제어하는 것으로 여러 회사에서 연구 개발중이다. 전달효율은 수동식과 동일하고 변속시간을 제외하면 98%의 높은 효율을 나타낸다. 또한 다단화 하는 것에 의해서 엔진의 最適 燃費map에 近似한 방법으로 운전이 가능하다.

4.2 Chassis 制御¹²⁾

전자제어 기술은 엔진 및 transmission의 제어분야 뿐만 아니라 자동차의 주행기본성능을 보다 높은 수준으로 유지시키기 위하여 1983년부터 suspension, steering, brake 등의 chassis 요소에도 널리 활용하게 되었다. 이러한 기술개발의 배경은 자동차측의 필요에 따라 microcomputer, actuator, 각종 센서 등의 소형화, 저가격화, 그리고 전자부품의 신뢰성 향상 등이 이루어졌기 때문이다.

4.2.1 Suspension의 電子制御

주행상태에 따라 suspension 특성을 제어할 필요가 있는데 과거의 기계적인 제어를 이용한 차높이 조정 시스템 및 감쇄력 가변장치에 전자제어를 활용하여 높은 精度의 제어가 가능하게 되었다. 최근의 승용차에 채용된 전자제어 suspension을 기능상 분류하면 다음과 같다.

- (1) 차높이 조정기능
- (2) 감쇄력 제어기능
- (3) 스프링 정수(탄성계수) 제어기능
- (4) (1)~(3)중의 2 가지 이상을 동시에 행하는 복합제어기능

4.2.2 Power Steering의 電子制御

Steering은 인간과 차의 접점으로서 操舵특성이 운전자에 따라서 다르게 느껴지므로 다양하게 조정

이 가능할 필요가 있다. steering의 전자제어는 1974년 "Crown(日)" 차종에 2段式 車速感應型 power steering이 설정된 이후 1981년 "Fiat(伊)"에 장착되어 주목을 받게 되었으며, 최근에는 전자제어steering을 채용한 차가 증가하고 있다. 특히 1983년에는 이상적 操舵感覺을 구하기 위하여 각종의 정밀제어를 행하는 시스템이 속출하였다.

이와 같이 power steering이 급속히 채용되는 배경에는 actuator인 solenoid밸브의 선형제어 기술의 발전에 있다.

5 電子式 情報表示裝置

자동차의 정보표시장치는 계기판의 제한된 공간 내에서 운전자에게 주행정보를 신속·정확하게 전하는 동시에 엔진과 차체의 동작상태를 확실하게 알리는 기능을 가지고 있다. 또한 이 정보표시 장치는 운전자의 목전에 설치되어 있기 때문에 피곤을 주지 않도록 설계되어야 하며 동시에 高信賴度, 高性能, 高精度를 요한다.

종래의 표시장치는 거의 analog표시의 기계식이었으나 표시소자의 개량과 전자기술의 발전으로 최근 수년사이에 digital 정보표시장치가 많이 나타나고 있다. 또한 microprocessor의 발달과 더불어 1978년에 처음으로 "Cadillac(美)"에 microprocessor를

사용한 전자식 정보표시 시스템이 등장하였다. 전자식 정보표시 시스템은 여러가지 센서로부터 주행 속도, 주행거리, 목적지까지의 잔여거리, 사용가능한 연료량, 냉각수온도, battery전압, 현재시각 및 기타 여행자료를 운전자에게 제공한다.¹³⁾⁻¹⁵⁾

5.1 表示素子

현재 사용되는 표시소자들은 자동차에 채용되는 경우 일장일단이 있기 때문에 장점을 살리고 단점은 보충하여 사용하는 것이 필요하다. 전자식 표시소자로는 형광표시관이 주류를 이루고 있으나 최근에는 액정표시기(LCD)의 사용이 증가하고 있다. 이것은 액정표시기의 개량이 진전되어 자동차의 가혹한 환경조건에서도 견딜 수 있고 또 생산기술의 향상으로 대형표시관의 제작도 가능하게 되었기 때문이다. 또한 tachometer에는 형광표시관, 액정표시관 외에 발광 다이오드(LED)도 많이 사용되고 있다.

형광표시관은 비교적 구동전압이 낮고 輝度가 높기 때문에 digital clock을 비롯하여 광범위하게 사용되고 있다. 액정표시기는 사용온도가 -20℃~+80℃이지만 저온이 될수록 응답시간이 길어지므로 표시가 중복되어 나타나는 수가 있다. 그러나 이러한 단점은 액정관 전체를 평면heater로 가열해서 전자회로가 일정한 온도를 유지하도록 함으로써 개선

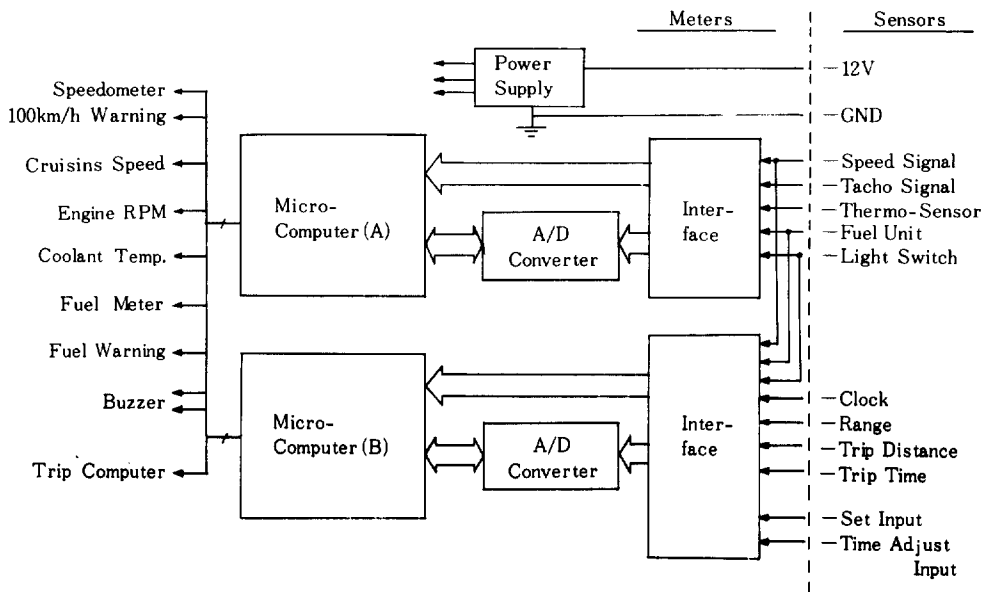


그림10. 정보표시 시스템의 블록선도

할 수 있다.

5.2 情報表示裝置

정보표시장치는 여러가지 센서의 신호를 CPU를 통하여 필요한 정보를 운전자에게 보여주는 역할을 한다. 이러한 시스템의 일반적인 구성은 그림 10과 같다.

정보표시 시스템중에서 특히 중요한 속도계와 연료계에 대하여 고찰해 보았다.

(1) 속도계 (Speedometer)

analog식과 digital식 속도계의 평균 판독시간은 1.12sec와 0.85sec로서 digital식이 훨씬 유리한 것을 알 수 있다. 또한 LED를 연속적으로 배열한 graph표시는 운전자가 감지하기 편리하므로 최근에는 graph표시와 digital표시를 병행하는 방법도 나타나게 되었다.

속도의 演算方式으로는 pulse count 방식과 pulse 주기 측정방식의 두가지가 있다. 전자는 일정시간 동안 gate를 열고 그 시간동안 속도센서로부터 발생한 pulse수를 count 하여 속도를 산출한다. 이 방식은 회로구성이 간단하여 널리 채용되고 있으나, 표시주기를 짧게 하기 위하여 출력 pulse수를 증가시키면 센서의 부피가 커져 장착상의 문제가 발생한다. 후자의 방식은 속도센서의 pulse간격을 측정하고 그 역수를 산출한 다음 여러개의 평균값으로 속도를 구한다. 이 방식은 출력pulse수에 관계없이 표시주기를 자유롭게 선택할 수 있는 잇점이 있다.

(2) 연료계

현재 사용되고 있는 연료계는 10~12segment의 분해능을 갖고 있지만 최근에는 20segment까지 증가시키고 있다. 일반적으로 사용되는 digital식 연료계의 시스템을 그림 11에 나타내었다. Center gage의 출력을 A/D변환하여 microcomputer에 입력시키

는데 적절한 샘플링 시간과 평균화 처리가 필요하다.

6 結 論

현재까지 전자화가 주로 추진된 분야는 엔진제어로서 排氣가스와 燃費規制에 대처하는데 큰 공헌을 하였고 최근에는 driveability, 동력성능의 향상을 위해 最適制御 및 適應制御理論을 적용하고 있다.

앞으로는 엔진제어와 transmission제어를 조합한 power train제어가 가장 발전될 전망이며 쾌적·편리한 주행을 위하여 주행정보시스템과 chassis제어에도 전자화가 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다.

또한 자동차용 音聲認識裝置, 通信 시스템에 대해서도 활발히 연구되고 있다.

參 考 文 獻

- 1) 水谷集治, 大竹敏一, "自動車エレクトロニクスはどこまで進歩するか", Vol. 39, No. 2, 自動車技術, 1985
- 2) J. G. Rivard, "Automotive Electronics," Technologies for the '80s, Convergence, 1984
- 3) 田地一行, "公害問題", Vol. 39, No. 6, 自動車技術, 1985
- 4) 秦好孝, 保坂明夫, "ガソリンエンジン電子制御の動向", Vol. 38, No.2, 1984
- 5) T.W.Evernam, D.G.Guetersloh, "MISAR-The Microprocessor Controlled Ignition System", SAE Paper No. 780666
- 6) R.A.Grimm, R.J.Bremer and S.P.Stonestreet, "GM Microcomputer Engine Control System", SAE Paper No. 800053
- 7) D.F.Hagen, D.F.Wilkie, "EEC-IV Tomorrow's Electronic Engine Controls Today", SAE Paper No. 820900
- 8) W. J. Fleming, "Engine Sensors : State of the Art," SAE Paper No.820904
- 9) M.A.Shulman, D.R.Hamburg, "Non-ideal Properties of ZrO₂ and TiO₂ Exhaust Gas Oxygen Sensors", SAE Paper No. 800018
- 10) W. J. Kaiser, E.H.Logothesis, "Exhaust Gas Oxygen Sensors based on TiO₂ films", SAE Paper No. 830167
- 11) 吉川信之, 慇谷直武, 田中忠夫, 高田弘之, "シ

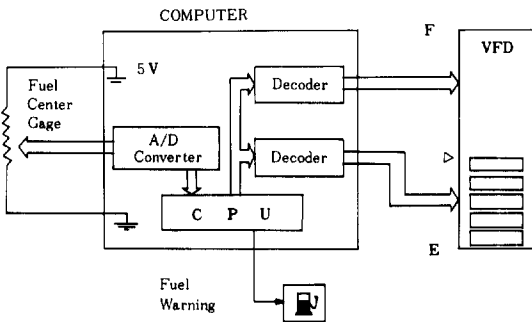


그림 11. 연료계 시스템

- シ 電子制御技術の 現状と 將來展望”, Vol.39
No. 1, 自動車技術, 1985
- 12) 窪田昌史, 澁谷正敏, “車輛電子制御の 現状と動
向”, Vol. 37, No.2, 自動車技術, 1983
- 13) 伊藤肇, 萩里安雄, “エレクトロニック ディスプ
レイメータ”, Vol. 39, No.2, 自動車技術, 1985
- 14) 態谷直武, 豎本 實, “電子メータの現状と將來動
向 について”, Vol. 38, No.2, 自動車技術, 1984
- 15) 諏訪昭夫, “エレクトロニックインストルメント
パネル”, Vol. 37, No. 4, 自動車技術, 1983
- 16) W. B. Ribbens, N. P. Mansour, Understanding
Automotive Electronics, Texas Instruments
Inc., 1982