HMC 엔진의 전자제어 시스템 소개

장익순 · 이재곤
현대자동차(주) 마북리 연구소

1. 머리말

대기오염의 문제가 날로 심각해지기 전까지만 하더라도 가솔린 엔진의 연료제어계는 오랫동안 기화기가 主流를 이루고, 점화계는 배전기가 사용되어 각각 엔진의 출력을 제어해 왔다. 그러나 1975년 배기가스 규제, 油類파동, 소비자의 엔진 고출력화 및 쾌적한 운전성 요구에 부응하기 위하여 高精度 및 多技能을 兼備한 엔진 전자제어 시스템이 필요하게 되었다.

특히 배기가스 규제가 강화됨에 따라서 삼원촉매를 필수적으로 사용하게 되었으며, 삼원촉매의 淨化率 特性上 엔진으로 흡입되는 混合氣를 이론 空燃比 중심의 좁은 폭으로 제어하는 것이 필수적이 되었다. 이로 인해 종래의 機械式 氣化機로부터 機械式 燃料噴射 장치, 전자제어 기화기(feedabck carburetor) 및 전자제어 연료분사장치를 가진 엔진전자제어 시스템으로 變遷되어 왔다. 현재 전세계적으로 연료량, 점화시기, 空回轉數, EGR(exhaust gas recirculation) 및 Purge Air 제어 등 여러가지 기능을 동시에 高精度로 제어할 수 있는 MPI(multi point injection) 방식을 이용한 엔진 전자제어 시스템이 널리 사용되고 있다.

當社에서도 배기가스 규제와 소비자의 다양한 요구에 능동적으로 대처하기 위하여 마이크로 프로세서를 이용하여 다양한 제어기능을 兼備한 MPI 방식의 엔진 전자제어 시스템을 채택하게 되었으며, 本시스템을 간략히 소개하고자 한다.

2. MPI 시스템 소개

2.1 MPI 시스템 구성

엔진 各 部位에 설치된 각종 센서의 출력신호를 마이크로 프로세서를 내장한 ECU(engine control unit)로 보내어 每 時刻마다 엔진과 차량의 상태를 파악함과 동시에 운전자의 조작조건을 感知하여 연료량 및 점화시기를 제어하여 最適狀態로 함으로써, 원하는 출력을 얻고 배기가스 발생을 억제하는 MPI 시스템의 전체 구성도를 그림 1에 표시하였다.

2.2 空氣量 計測

공기 유량 계측은 연료량 계산의 기본이 된다. 종래에는 主로 Vane式이라 불리우는 기계식 측정판을 사용하였는데, 이는 직접 흡입되는 공기량을 개량하는 방식이다. 그러나 현재에는 여러 종류의 공기량 계측방식이 사용되고 있으며, 각각의 특성은 표 1과 같다.

當社의 공기량 계측방식은 그림 2와 같은 Karman Vortex 타입으로 측정원리는 다음과 같다. 공기흐름속에 渦流 發生體를 설치하면 그 후면에 渦流가 발생한다. Karman Vortex

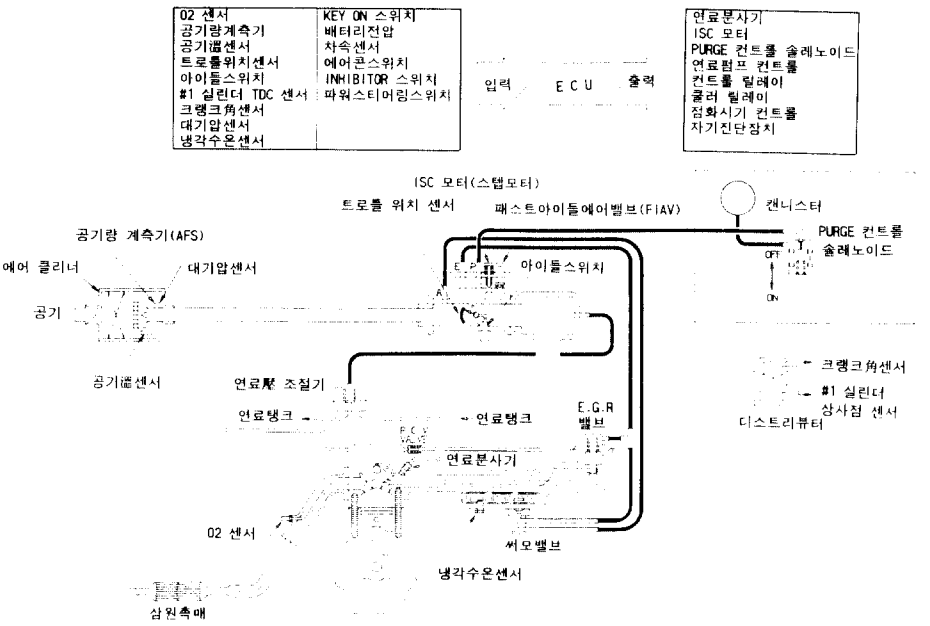

그림 1 MPI 시스템 구성도

의 發生 周波數 f와 流速 V 사이에는 식 (1)의 관계를 갖는다.

표 1 공기량 계측방식과 특징

방식 / 항목	Hot wire	Vane	Kar-man vortex	압력센서 방식	드로틀 센서방식
공기계량 응답성	○	△	○	○	◎
IDLE 안전성	○	○	○	△	○
EGR영향	○	○	○	△	△
엔진 經時변화	◎	◎	◎	○	○
고도보정	◎不要	△要	△要	△要	△要
흡기온 보정	◎不要	△要	△要	△要	△要
장착성	○	○	○	◎	◎
비용	○	○	○	◎	◎

◎ : 좋음 ○ : 보통 △ : 나쁨

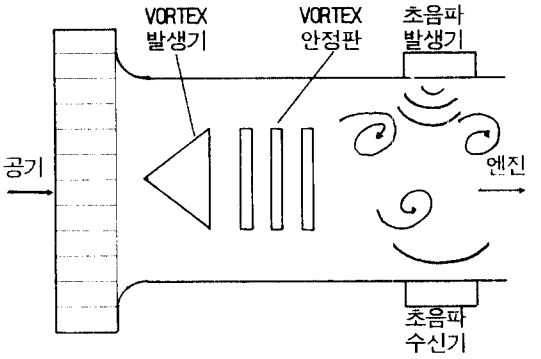

그림 2 공기량 계측기(AFS) 구조도

$$f = St \times V/d \qquad (1)$$

여기서, d는 渦流 發生體의 Dimension, St는 Strouhal 數이다.

이 St 數는 실제유동에서 Reynolds 數 $10^3 \sim 5\times10^4$ 범위에서 일정한 값을 갖는다. 이 원

리를 이용하여 엔진 흡입공기량의 범위가 上記 Re 數 범위내에 존재하도록 통로와 Vortex 발생체의 치수를 설정한다. Karman Vortex 周波數를 측정하면 流速 V를 알 수 있고 공기량 계측기(AFS ; air flow sensor)의 공기통로 유효 단면적을 곱하면 엔진으로 흡입되는 공기량을 구할 수 있다.

2.3 연료제어

그림 3과 같이 공기량 계측기로 구한 엔진 흡입공기량을 기준으로 기본 분사량을 구한 후, 여기에 各 센서의 신호를 받아 보정하여 최종 분사량을 구한다. 이렇게 구한 量을 크랭크 角 센서 신호의 吸氣上死點 185°에 同期하여 연료 분사기를 驅動하여 연료를 분사함으로써 연료량을 제어한다.

(1) 기본 분사량의 계산

Karman Vortex 타입의 공기량 계측기로 엔진에 흡입되는 單位行程當의 공기량을 측정하며, 측정된 공기량을 기준으로 이론공연비 유지에 필요한 연료량을 식 (2)와 같이 계산한다.

$$\text{공연비}=\frac{M_{air}}{M_{fuel}}=14.6(\text{이론공연비})$$

$$M_{fuel}=M_{air}/14.6=G_i\times T_b\times\rho_f$$

$$T_b=M_{air}/(14.6\times G_i\times\rho_f) \qquad (2)$$

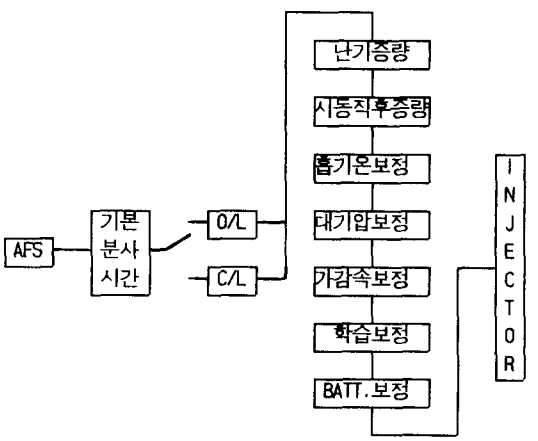

그림 3 연료 제어 블록 다이아그램

여기서, M_{air}는 단위행정당 흡입공기량(g/stroke), M_{fuel}은 단위행정당 이론공연비 유지에 필요한 연료량 (g/stroke), G_i는 연료분사기의 Gain(mcc/msecl), T_b는 연료분사기의 기본구동시간(msec)이다.

(2) 各種 補正

1) 始動 直後 補正

엔진을 시동하는 경우 始動後 수십초 동안 시동직후 增量을 行한다. 시동직후 보정은 시동직후에 흡기밸브, 흡기 포트 벽면 및 실린더 벽면에서의 가솔린 氣化 不足을 補正하여 시동직후 엔진 회전의 安定性을 確保하고자 하는 것이다.

2) 暖機 增量 補正

시동직후 증량과는 달리 냉각수온이 일정치 이상될 때까지 暖機增量 補正을 한다. 엔진시동후 흡기밸브, 실린더 벽면 및 연료분사기 주위 벽면 온도는 화염전파에 의해 어느 정도까지는 급속히 상승하지만, 이후에는 冷却水溫度에 따라 서서히 상승하여 完全 暖機 狀態로 된다. 완전 난기상태에 도달하기까지는 가솔린 氣化不足으로 인해 엔진 흡입혼합기가 희박하게 되며, 이로 인한 엔진 出力 變動幅이 증가하여 運轉性이 惡化된다. 暖機增量補正으로 이를 補正해준다.

3) 加減速 補正

기본 연료 분사량만으로는 加速 및 減速과 같은 過渡運轉時에는 공연비가 目標値(차량에서 요구되는 공연비)와 차이가 생긴다. 이는 연료분사기 주위의 온도와 吸氣多機關 內의 압력에 따른 분사기주위 벽면에 부착된 연료의 氣化特性 때문이다. 加速時에는 吸氣多機關內의 압력증가로 분사기 주위벽면에 연료액막 존재량이 증가하게 되고, 이에 따라 엔진은 필요로 하는 연료량보다 연료를 적게 흡입하게 되어 혼합기는 목표치보다 稀薄해진다. 이와 반대로 減速時에는 혼합기가 過濃狀態가 된다. 이를 보정하기 위하여 연료의 가속시 증량 및 감속시 감량을 행한다.

加減速時 연료보정을 하지 않으면 加速性不

良 또는 After Burn 현상이 발생하여 운전성 악화와 배기가스의 증가를 초래한다.

4) 피드백(Feedback) 補正

배기가스 규제에 대응하기 위해 삼원 촉매가 대다수의 차량에 장착되어 있다. 삼원촉매는 이론공연비 부근에서 규제대상이 되는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC)의 酸化, 산화질소 혼합물(NOx)의 還元을 동시에 行하여 CO_2, H_2O, O_2 및 N_2의 無害한 가스로 변환시킨다. 이 삼원촉매를 효과적으로 사용하기 위해서는 정밀하게 이론공연비로 유지시켜야 하는데, 이는 CO, HC, NOx를 동시에 충분히 淨化시킬 수 있는 공연비 범위가 그림 4와 같이 극히 좁기 때문이다. O_2 센서 신호를 이용하여 이론공연비가 유지되도록 피드백 제어(비례 및 적분제어)를 한다. 단 냉각수온이 어느 값 以下일 때는 운전성 확보를 위하여 피드백 보정을 하지 않는다.

5) 學習 補正

學習補正은 이론공연비로의 제어 정도를 보다 향상시킬 목적으로 채택되었으며, 학습보정량은 피드백 보정계수를 이용하여 구한다. 이는 엔진을 구성하는 각 부품, 센서 및 액튜에터의 製造時의 個體 차이와 사용에 따른 특성 변화를 보정해 주는 것이다. 학습보정량은 운전상태에 따라 수정되며 항상 ECU 內의 메모

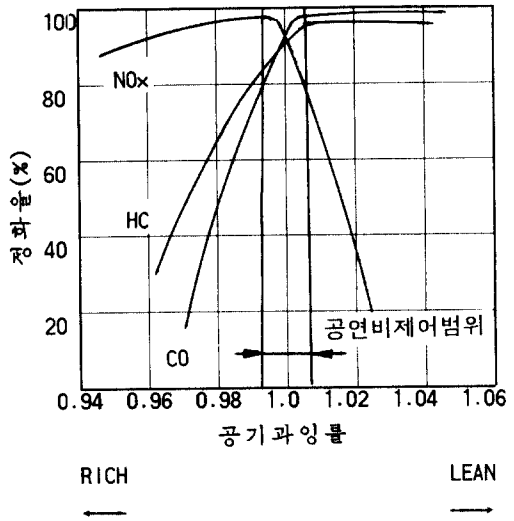

그림 4 삼원 촉매의 정화율 곡선

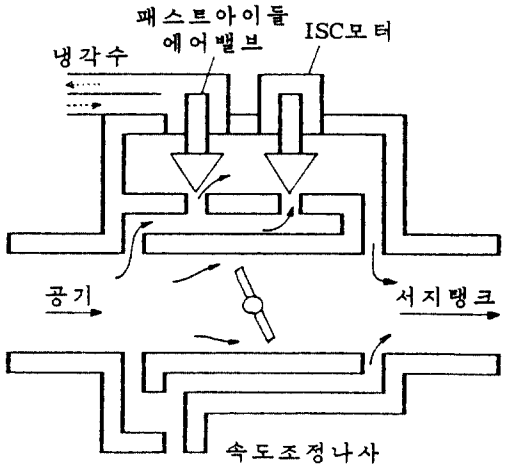

그림 6 바이패스 방식

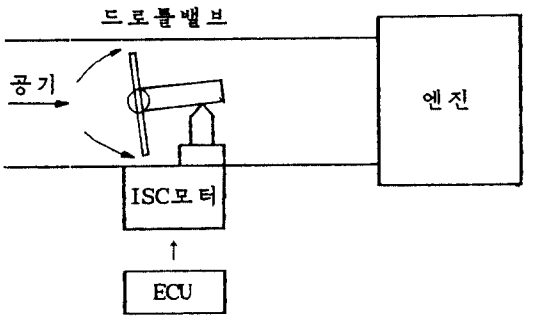

그림 5 직접 구동식 드로틀밸브 구조

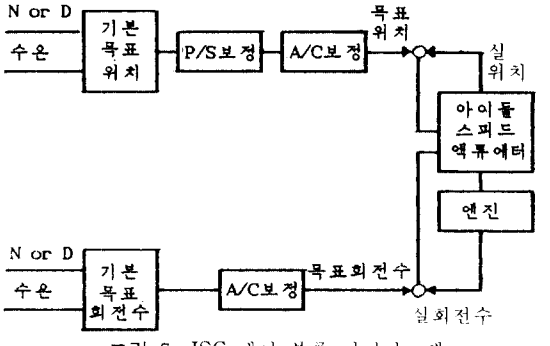

그림 7 ISC 제어 블록 다이어그램

러에 기억된다.

6) 大氣壓 및 吸氣溫 補正

Karman Vortex 타입의 공기량 계측기는 엔진으로 흡입되는 공기량을 체적기준으로 측정하기 때문에 연료량 계산에 필요한 질량단위의 공기량으로 환산하기 위하여 공기량 계측기 근처에 장착된 대기압과 흡기온센서 信號를 이용하여 보정한다.

2.4 空回轉 制御

空回轉 제어는 ISC(idle speed control)라 하며, 靜肅한 성능과 연비측면에서 중요하다. ISC는 드로틀 밸브가 완전히 닫혔을 때, 또는 空回轉 조건 성립時 엔진으로 흡입되는 바이패스 공기량을 적절히 조절하여 엔진 출력이 엔진 마찰력 및 負荷와 平衡을 이루도록 한다.

空回轉時의 공기량 제어방식은 그림 5와 같이 드로틀 밸브를 직접 구동하는 방식과 그림 6과 같이 드로틀 밸브를 우회하여 엔진으로 공기가 흡입되게 하는 두 가지 방식으로 大別된다. 空回轉時 정밀한 공기량 제어는 드로틀 바디에 정착된 모터에 의해 행해진다.

空回轉제어는 파워스티어링(P/S) 및 에어콘(A/C)의 ON/OFF와 같은 急激한 負荷變動에 따른 空回轉 안정성을 확보하기 위해, 모터 위치를 제어하는 위치 피드백 제어 모드와 정상상태에서 空回轉 안정성을 제어하기 위한 회전수 피드백 제어 모드로 구별된다.

急激한 부하 변화에 대응하기 위한 空回轉中의 위치제어는 MPS(motor position sensor)로 위치를 검출하여 수온에 따라 미리 설정된 위치를 유지하도록 모터를 구동하기 때문에 응답성이 좋아 負荷 變動에 따른 迅速한 空回轉 安定性을 유지할 수 있다. 반면 정상상태에서의 회전수 제어는 수온으로 미리 설정된 목표 회전수를 유지하도록 목표 회전수와 實 회전수의 차이에 따라 모터를 구동하여 空回轉 안정성을 확보한다.

ISC 제어 블록 다이어그램은 그림 7과 같다.

2.5 点火 制御

점화장치는 베터리, 점화코일, 배전기, 점화플러그 및 高壓線(high tension cable) 등으로 구성되며, ECU의 신호에 따라 공기와 연료의 혼합기에 点火時 필요한 에너지를 공급하는 장치이다. 적절한 시기에 점화를 일으키는 것은 엔진 출력 향상과 연비 향상에 중요하다. 초기에는 기계식 점화장치가 主流를 이루었으나, 현재에는 대부분 전자식 점화장치가 이용되고 있다. 전자식 점화장치에는 그림 8과 같은 배전기를 지닌 점화장치와, 그림 9와 같은 배전기가 없는 점화장치(DLI ; distributorless ignition system)가 사용되고 있다.

배전기가 있는 점화장치에는 배전기 내부에

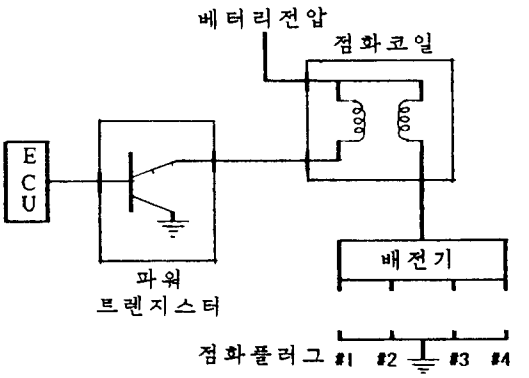

그림 8 배전기 방식 점화 시스템

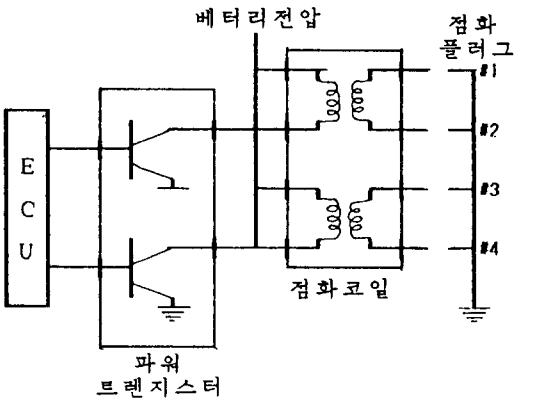

그림 9 DLI 시스템

설치된 光다이오드形 크랭크 角 센서의 上死點 75° 및 5° 신호와 1번 실린더의 상사점 신호에 따라 점화될 실린더를 결정한다. ECU는 엔진 회전수와 부하에 따라 기본 점화시기를 결정하며 여기에 수온, 흡기온 및 대기압 보정을 하여 최종적인 점화시기를 결정한다. 이렇게 계산된 최적의 점화시기를 종래 기계식 점화장치의 接點스위치 대신에 반도체 스위치인 파워 트랜지스터로 보내어 1차 코일의 전류를 遮斷하여 2차 코일에서 고압을 誘導하여 점화 플러그에 불꽃을 생성시킨다.

반면 배전기가 있는 시스템과 DLI 시스템을 비교해 보면 DLI 시스템은 캠축에 크랭크角 센서가 연결되어 있고, 점화코일과 파워 트랜지스터가 하나 더 있으며 압축행정과 배기행정 말기에 있는 두 개의 실린더가 동시에 점화되는 특징이 있다.

또한, 혼합기가, 점화하기 위해 필요한 에너지를 공급하기 위해 베터리 전압과 엔진 회전수에 따라 점화 코일의 1차 전류의 通電시간을 제어한다. 제어 블록 다이아그램은 그림 10과 같다.

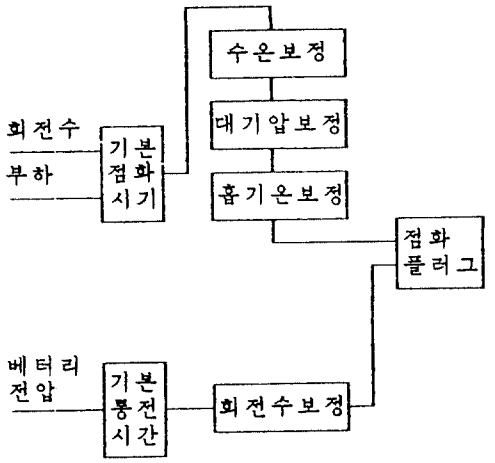

그림 10 점화제어 블록 다이어그램

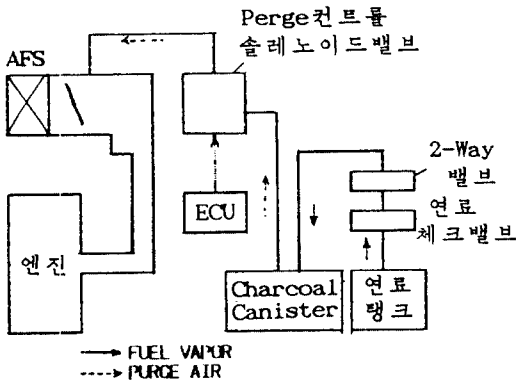

그림 11 Purge Air 제어 시스템

2.6 Purge Air 制御

연료 탱크內의 온도 변화에 따라 연료의 증발이 促進되어 기화된 연료가 大氣로 放出되면 스모그의 원인이 된다. 大氣로 방출되는 未燃炭化수소를 억제하기 위해 연료의 蒸發가스를 목탄(charcoal)으로 가득찬 캐니스터(canister)로 보내 목탄에 흡착시켜 저장한다. 이렇게 포집된 연료 증발 가스는 운전상태에 따라 엔진운전 중에 솔레노이드 밸브를 개폐시켜 엔진 흡기측으로 再流入시킨다.

표 2 자기진단장치(OBD) 규제항목

항 목	판 정 내 용
촉매효율	· HC 정화율 기준치 이하
실화	· 실화율 일정치 이상
Evaporative purge 시스템	· Purge 시스템 정상 작동 여부 · Canisier로부터의 Purge Flow
O_2 센서	· 출력 전압 및 응답속도 · 히터형 O_2센서의 히터회로 판정
EGR 시스템	· 上下限 유량
입력 센서 및 출력 엑튜에터	· 크랭크角 센서 · 드로틀 위치 센서 · 냉각수온 센서 · ISC 모터 · 車速 센서 · 기타

그림 11과 같이 솔레노이드 밸브가 열리는 동안에, 드로틀 밸브 하류의 압력과 大氣의 압력차이로 新氣가 캐니스터 下部를 거쳐 上部로 이동하는 동안에 목탄에 吸着되어 있던 蒸發가스를 脫着시켜 吸氣測으로 유입한다.

2.7 自己診斷 技能

미국 캘리포니아주 관계 법령에 의해 시작된 것으로 배기가스 관련 각종 센서 및 엑튜에터의 정상 작동 여부를 판정하여 고장 발생時 계기판의 특정 램프("check engine" lamp)를 점등시킨다. 이와 같이 엔진 이상여부를 迅速하게 운전자에게 알려 배기가스의 비정상적인 증대를 사전에 방지하는 시스템이다. 종래의 자기진단 기능(OBD ; on-board diagnosis)은 자기진단 항목이 적었으나, 1994 MY(model year)부터 규제는 한층 더 강화되어 강화된 자기 진단 항목은 표 2와 같다. 이 규제에 대응하기 위하여 세계 각국의 자동차 제조 업체는 대응책 수립에 몰두하고 있으며, 當社도 국내에 서비스性 向上등의 목적으로 全 量産 모델에 이 시스템을 적용하여 판매하고 있다.

3. 맺음말

여기에서는 삼원촉매 장착엔진을 정밀하게 제어(연료 제어, 空回轉 제어, 점화시기 제어, Purge Air 제어 등)하여 삼원촉매의 효율을 향상시키고, 그 결과 排氣가스를 감소시킴과 더불어 운전성 및 동력성능을 향상시킨 엔진 전자 제어 시스템의 개요를 간단히 소개하였다.

앞으로도 북미지역의 배기가스 관련법규가 더욱 강화될 것으로 예상되며, 이에 대응한 엔진 제어 시스템에 대한 지속적인 연구 개발이 필요하리라 생각된다.