

자동차 시스템의 전자화와 제어기술

이 성 철

기아자동차(주) 기술센터

1. 서 론

자동차 기술은 흔히 system engineering 기술이라고 말한다. 2만여개의 많은 부품이 subsystem을 구성하고, subsystem이 main system을, 그리고 main system이 하나의 total system, 즉 차량을 구축하게 된다. 개별 기능부품의 정밀도와 system 상호간의 functional interface의 조화는 차량 전반적인 품질과 신뢰성을 보장하는 system 제어의 기본 요소이다. 이러한 system engineering 기술은 최근 급속히 팽창되는 자동차의 일반화와 전자화추세와 함께 안전, 편의, 성능, 그리고 환경기술 개발에 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

자동차의 system 제어는 크게 두 분야로, 일반적인 기계요소 부품을 이용하는 기계적 제어와 기계부품에 전자기술을 적용한 전자제어 방식으로 구분된다.

이 중 전자제어 system은 70년대초 배기가스 규제 of 시작과 2차에 걸친 oil shock에 따른 최적 엔진제어 system의 적용을 시초로 하여, micro computer 기술과 고성능 processor의 개발에 의해 전반적인 차량 system으로의 적용이 확대되어 왔다. 일반 기계적인 방법을 통한 정밀제어는 복잡한 구조와 제작의 한계를 가지고 있으나, system의 전자화는 전자장치가 정밀제어를 담당하고 실제 구동은 기계부품이 수행하는 소위 mechatronics 기술의 적용이다. 이러한 전자화 기술은 최근 10년간 자동차의 법적규제인 배기가스 대책, 연비향상, 그리고 승객의 안전대책을 강구하는 새로운 system의 개발을 통해 에너지 절약, 대체에너지 적용, 편리성과 안전성 향상을 목표로 발전하여 왔다.

향후 자동차 전자화 추세는 보다 보편화되어, 자동차 1대 당 가격에 전자부품이 차지하는 비율은 90년대 중반에 15%,

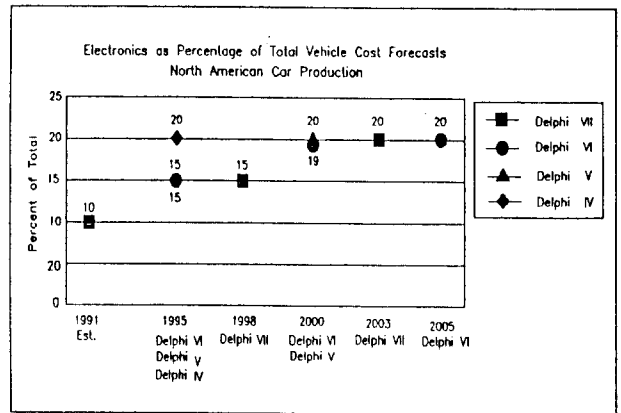


표 1. 자동차 전장품의 Cost 구성 (Delphi VII, 1994)

2000년대에는 20%에 달할 것이며, 이에 따른 전자제어 기술은 자동차개발에 있어 가장 중요한 핵심 요소기술로 나타나게 된다. 본고에서는 자동차 제품에 한정하여 각 system 별 전자화기술을 소개하며 향후 추세를 논하고자 한다.

2. 자동차 System의 전자화요소

자동차는 기능상 3개의 main system인 powertrain, chassis, body로 구분된다. 본론에서는 각 System별 전자화 분야의 포괄적인 분류와 최근 들어 급속히 적용되고 있는 digital 전자제어 system에 대해 기술한다.

2.1 Powertrain System

powertrain system은 차량의 동력원 및 전달부분으로 엔진, 구동계, 보기류로 구성되며, 시동성, 가속성, idling 안정성, shift quality 등을 결정하는 engine과 transmission

control unit은 자동차의 가장 기본이 되는 제어장치라고 말할 수 있다. 전자화의 전형적인 예는 기화기, 원심진각, 진공진각 등의 기계적 방식이 feedback carburetor, electronic fuel injection과 같은 연료분사제어, distributor less ignition, electronic spark advance에 의한 점화기 제어, idle speed control과 같은 idle 제어, 그리고 engine의 부하변동과 운전영역의 변화에 따라 연비를 개선하고 배기가스의 질을 높이기 위해 open/closed/adaptive feedback 형태의 knock control system, exhaust gas recirculation, 과급압 제어 등을 들 수 있다. 엔진 RPM, throttle 개도, 흡입압력, 수온 등을 감지하여 분사시기 및 분사량을 제어하는 Direct Injection(DI) 방식의 적용과 diesel engine의 저온시동성과 배기가스 향상을 위한 glow plug system의 제어등은 운전 효율과 신뢰성을 높이며, 이러한 전자제어system은 차량의 주행성능을 고려한 포괄적인 의미에서 불리는 Engine Management System(EMS)의 핵심분야가 된다.

구동계의 대표적인 예인 자동변속기의 경우 초창기 기계적인 방법으로 유압회로를 제어하며 자동 변속했으나, 전자제어가 가미된 Electronic Controlled Automatic Transmission(ECAT)과 Continuous Variable Transmission(CVT)의 등장엔 엔진 회전수와 전달 torque를 감지하여 동력과 연비성능을 고려한 shift pattern의 제어, torque 변동률을 줄여 shift quality를 향상시키는 등 효율적인 유압 제어를 가능케 한다. 그 외 보기류의 주요장치로는 배기계와 관련된 기능의 이상유무를 진단하는 On Board Diagno-

sis(OBD) system을 들 수 있다. 북미 CARB의 인증 대응 사항인 OBD는 88MY의 부분적인 적용에서 94MY부터는 light/medium duty 차량을 대상으로 OBD I을 보완한OBD II로 강화되며, 이는 Low Emission Vehicle(LEV), Ultra Low Emission Vehicle(ULEV), 그리고 더 나아가 Zero Emission Vehicle(ZEV)에 대한 전자화의 필요성을 나타낸다고 말할 수 있다.

2.2 Chassis System

Chassis분야의 전자화기술은 차량주행시 자세제어에 관련되는 기술로 크게 제동, 현가, 조향system으로 구분한다. 제동system의 대표적인 예는 현재 많이 보급되고 있는 Anti-lock Brake System(ABS)으로 78년 Mercedes-Benz의 3 channel 4륜 system이 현대식 ABS의 시초이다. brake pumping에 의한 바퀴의 anti-lock기능은 미끄럼 방지뿐 아니라 제동시 방향의 안정성, 즉 최적의 제동성과 조타성을 유지하는 효과를 나타낸다. 이러한 ABS는 사람이 즉각적으로 반응할 수 있는 한계인 300ms 보다 훨씬 짧은 20-40ms내의 응답시간에서 작동하며 이는 전자제어기술의 적용과 함께 실용성있는 제품으로 등장하였다.

반면 제동시 ABS의 원리를 반대로 이용하면 가속시 바퀴의 spin을 방지하는 Traction Control System (TCS)을 구축할 수 있으며, 경사길의 출발과 low- μ 노면에서 저중속시의 가속과 선회시 차량의 안정성과 조정성을 향상시킨다. 최근 Mercedes-Benz는 Bosch와 함께 ABS와 TCS를 통합제어하는 Electronic Stability Program(ESP)을 추진하여 개발완료한바 있으며 이는 yaw, lateral acceleration, steering angle 등의 sensor를 통해 주행시 steer 특성을 조정하여 극한상황을 극복할 수 있는 system으로 전자제어를 통한 첨단 system 개발의 일례를 보여주고 있다.

차량의 조정안정성과 더불어 승차감 향상은 spring과 shock absorber로 구성된 기존 현가부품의 특성상 서로 상반된 물리적 한계를 가지고 있다. 상기 두 요소를 만족시키기 위해서는 다양한 형태의 Electronic Controlled Suspension(ECS)이 개발되어 왔으며, damper의 rate를 연속적으로 제어하는 semi-active type, 또는 항시 힘을 발생시키는 유압능의 power source를 사용하여 차 자세의 움직임을 임의로 제어하는 active suspension system이 그 대표적인 예이다. 그 외 조타력 향상을 위한 Electronic Power Steering System(EPSS)인 active steering 또는 4륜 조향장치 등이 있으며, 궁극적으로는 autonomous vehicle, 즉 무인자동운전system의 개발로 미래의 교통 system인 intelligent vehicle highway system과 연결되어진다.

2.3 Body System

body분야의 전자화기술은 주로 소비자의 다양한 요구사

표 2. Powertrain의 전자화 요소

▶ Engine	.FBC (Feed Back Carburetor) .EFI (Electronic Fuel Injection) .DLI (Distributor Less Ignition) .ESA (Electronic Spark Advance) .KCS (Knock Control System) .ISC (Idle Speed Control) .EGR (Exhaust Gas Recirculation) .Glow Plug Control
▶ 구동계	.ECAT(Electronic Control Auto Transmission) .CVT (Continuous Variable Transmission)
▶ 보기류	.Pre-Heat Timer .Voltage Regulator .On Board Diagnosis (OBD) .Dual Voltage System
▶ 기타	.Alternator, Starter, Ignition Coil, Spark Plug, Battery .EHC (Electric Heated Catalyst), Cable 및 Harness

표 3. Chassis의 전자화 요소

▶ Brake Control	<ul style="list-style-type: none"> • ABS(Anti-lock Brake System) • ABCS(Auto Brake Control System : 역진제어) • TCS(Traction Control System)
▶ Suspension	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-step Damper • Auto Levelizer • Active Suspension
▶ Steering	<ul style="list-style-type: none"> • ECPS(Electronic Controlled Power Steering) - 속도감응형, Progressive • 4WS(Four Wheel Steering)
▶ 기타	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomous Drive, Auto Cruise Control

표 4. Body의 전자화 요소

정보표시 및 통신	
▶ Display	<ul style="list-style-type: none"> • Electronic Cluster(LCD, VFD, CRT) • Trip Computer, Electronic Compass • Head Up Display • Touch Screen • Monitor(Rear View, Diagnosis, TV)
▶ Audio	<ul style="list-style-type: none"> • AM/FM Radio, Cassette, CD • Digital Sound System
▶ 통신	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplexed Wiring System • Mobile Phone, Facsimile • Car Navigation System
▶ 기타	<ul style="list-style-type: none"> • Diversity Antenna, Glass Antenna
쾌적성 및 편리성	
▶ 공조	<ul style="list-style-type: none"> • Auto Climate Control • Ionizer, Auto Ventilation System
▶ 조명	<ul style="list-style-type: none"> • Auto Light Control System • Moving Light, Flasher Unit
▶ 운전환경	<ul style="list-style-type: none"> • Memory Seat & Mirror • LCD Room Mirror (편광) • 전동 격납식 Door Mirror • Full/Semi 가변 Consealed Wiper System
▶ 경보	<ul style="list-style-type: none"> • 주행 경보장치(Back Sonar, Radar, Laser) • 상태 경보장치(Lock-out, 소등, 과속, 줄음)
▶ 편리성	<ul style="list-style-type: none"> • Remote Key Entry • Power Sun Roof • Heated Seat • 음성인식
▶ 안전	<ul style="list-style-type: none"> • Pretensioning Seat Belt • Air Bag • Anti-theft System(Security, Immobilizer) • Auto Wiping(우량 감응식, 차속 감응식) • Auto Door Lock

항에 관련된 상품성 향상에 있다. 기존기능의 고급화에 따른 탑승자의 안락성, 편의성 및 안전기술에 중점을 두고 있으며, 정보표시 및 통신과 편리성 및 안전으로 분류된다.

정보표시 및 통신분야는 display unit의 기술 발전이 큰 역할을 한다. 즉 electronic instrument cluster와 관련된 기술로 LED, VFD, CRT, ELD와 같은 active lighting display 소자와 LCD, TN-LCD 등의 passive lighting display 소자를 이용한 digital display type이 적용되고 있으며, 이와같은 소자기술은 windshield에 투영하여 정보를 전달하는 Head Up Display (HUD)와 같은 첨단 system으로 발전되었다. 또한 audio system 분야에서는 radio 수신, cassette, CD player 등의 system 통합의 digital signal processing 기술을 이용한 음질의 synthesizing 기능과 실내에 유입되는 외부소음과 배기계 소음 등의 과형을 감지하여 반대과형을 발사하는 Anti Noise Control(ANC) system을 들 수 있다.

이와 같은 기존기능의 향상과 함께 새롭게 대두되는 분야는 통신이다. 차량보급의 급속한 팽창에 따른 도로 교통조건 악화는 Global Pointing System (GPS) 라는 위성통

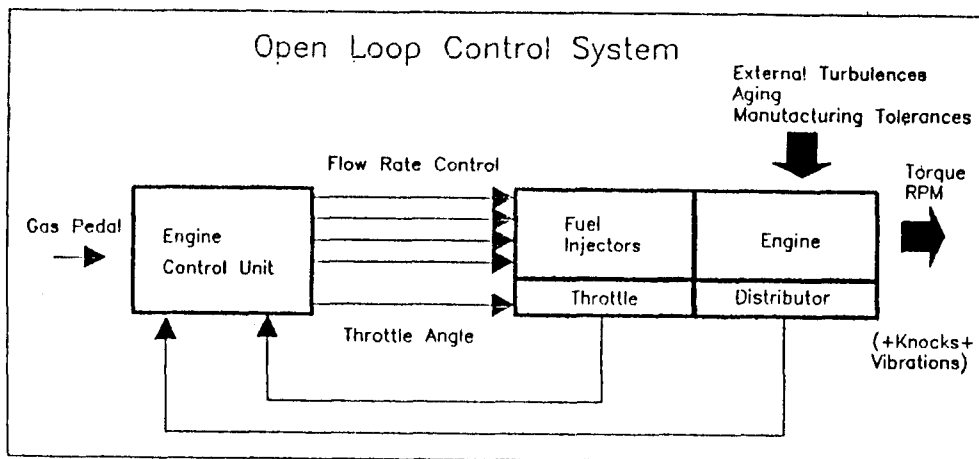


그림 1. Open Loop Type의 엔진 제어기

신수단을 이용하여 현위치를 파악하고 목적지까지의 최적 경로를 제공하는 car navigation system의 개발과 차량 실내에서의 사무처리가 가능한 phone, facsimile, TV/video system의 통합화인 소위 car multi media system의 개발을 유도하고 있다.

편리성과 안전분야는 표4에 요약된 공조, 조명, 운전환경 등 실내 쾌적성을 향상

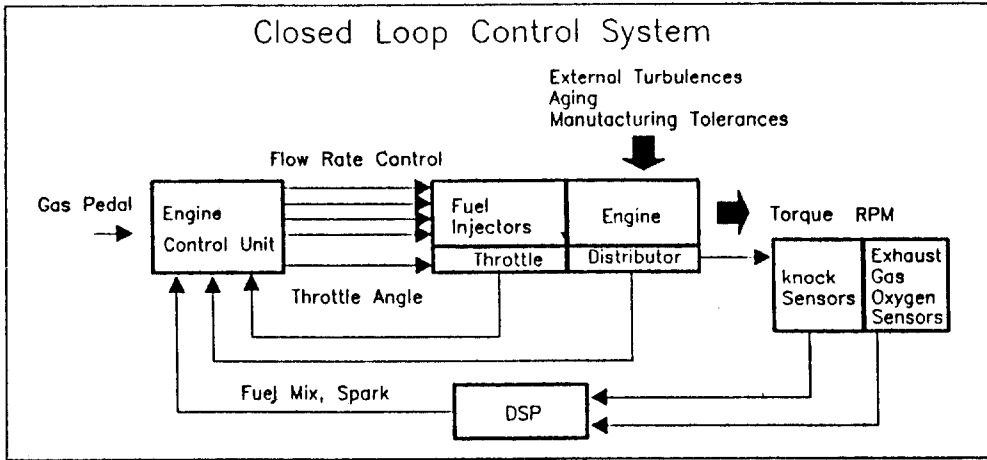


그림 2. Knock Sensor와 Oxygen Sensor를 사용한 Closed Loop 엔진 제어기

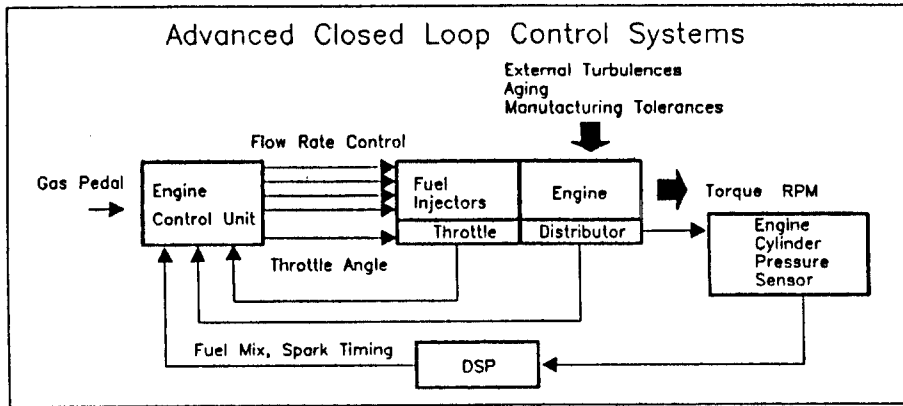


그림 3. Cylinder Pressure Sensor를 사용한 Closed Loop 엔진 제어기

시키는 다양한 subsystem이 전자화기술과 접목되어 고기능화되며, 특히 안전분야에 있어 차량충돌시 승객보호장치인 seat belt system과 air bag system이 대표적인 예이다. seat belt system의 경우는 충돌시 belt slack을 방지하는 triggering/retractor system에 active pretensioning 기술 적용을 들 수 있으며, Supplemental Restraint System (SRS) 중 가장 많이 보급된 air bag system은 미국의 FMVSS와 같은 선진국의 안전법규에 대응키 위한 필수장비로 인식되고 있다. 차량 충돌시 20~40ms내에 bag이 부풀어 올라 승객의 안면부를 보호하고 20~60ms내에 부풀어 오른 bag의 가스가 빠져나가 전방의 시야를 확보해야 하는 Air bag은 40~100ms내의 total system response가 요구된다. bag, inflator, sensor, 그리고 ECU로 구성되는 전체 system은 오작동시 오히려 사고의 위험성을 가중시키기 때문에 확실한 충돌의 경우에만 작동이 되는 충돌감지/작동 system의 고도의 정밀성과 안정성이 필수조건이다. 이와 같은 원리를 이용, 측면충돌, 또는 보행자 충돌 등의 경우에

대해 side air bag, hood air bag 등 다양한 목적의 system들도 개발되고 있다.

2.4 Digital 제어 System의 적용

자동차의 각 분야별 전자화기술의 적용은 앞서 기술되어진 바와 같이 매우 급속히 넓은 범위로 확대되어가고 있으며, 각각의 system integration을 통한 compact한 설계가 점차 실용화에 근접하고 있다. 많은 양의 data 처리, 빠른 응답시간과 정밀성이 요구되는 첨단 system 개발은 digital electronic control 기술에 의해 점차 가속화되고 있다. 초기 digital 기술은 dynamic range, controller size, 신뢰성과 가격면에서 한계가 있었으나 최근 새로이 개발되는 Digital Signal Processor(DSP)의 separate instruction, data bus, 내장된 math function, 특화된 register와 stack 기능은 real time signal processing, 즉

실시간 신호 처리를 가능케 하고 있다.

아래에서는 이러한 DSP 기술이 자동차 system개발에 효율적으로 사용되고 있는 몇 가지 전형적인 예를 소개한다.

그림 1은 전형적인 open loop type의 엔진제어 system을 나타낸다. 제어기는 distributor의 신호와 throttle position을 sampling하고 공기와 연료 공급량을 제어한다. 그러나 이와같은 lookup table에 의한 제어를 사용하는 엔진은 output 성능에 영향을 미치는 external disturbance, manufacturing tolerance의 차이, aging등의 인자들을 feedback하지 않으므로 knocking이나 진동문제를 유발하게 된다.

반면 그림 2와 같은 제어 system은 knock sensor를 통해 구조진동 signal을 감지하고 processor에 전달, FFT를 통한 time domain상에서의 실시간 처리를 행하며, 또한 배기가스의 산소함유량을 감지하여 연소의 상태를 파악함으로써 적절한 Air/Fuel(A/F) ratio와 spark timing을 조정한다.

또한 그림 3은 knock sensor와 oxygen sensor 대신 각각

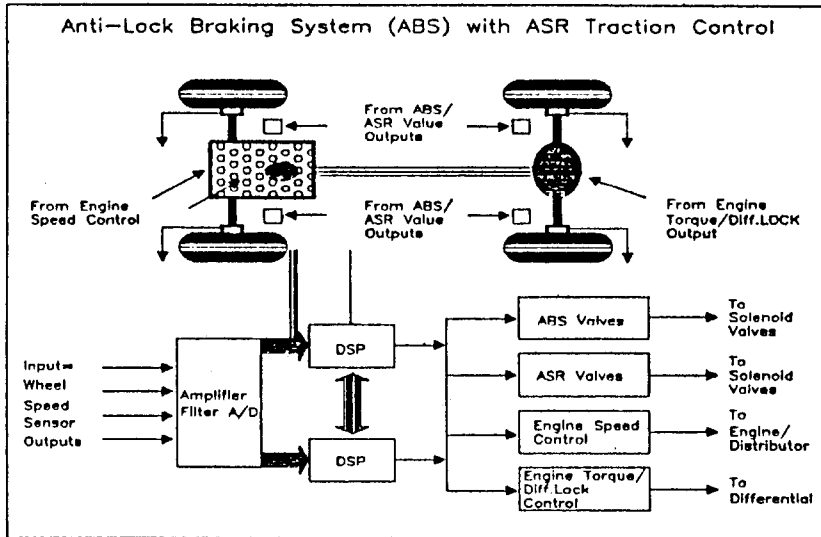


그림 4. ABS와 TCS의 통합제어 System

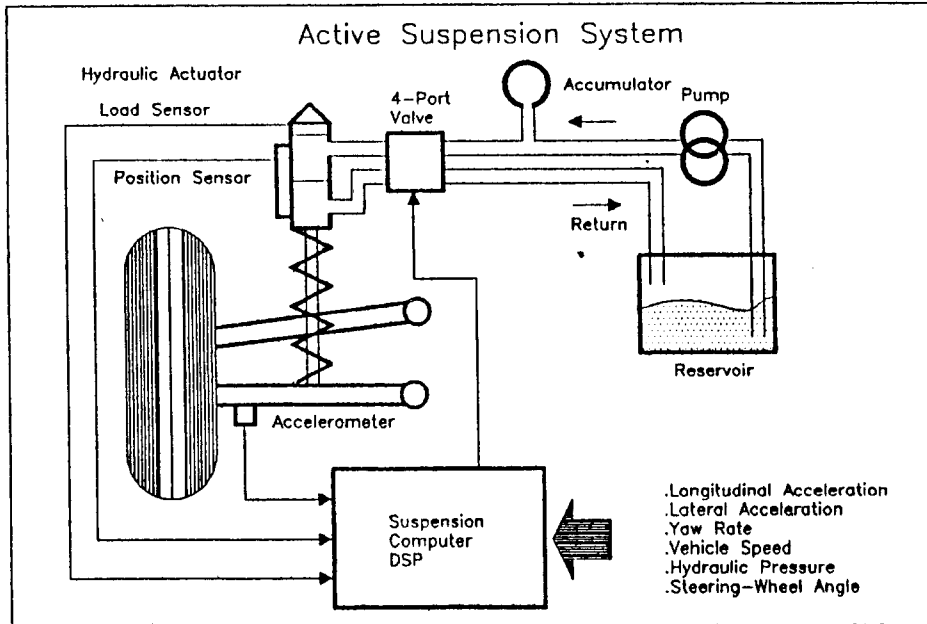


그림 5. Hydraulic Active Suspension의 1/4 Model

의 cylinder 내부 pressure sensor의 signal을 받아 최적의 timing과 A/F ratio를 결정하는 한 단계 더 진보된 제어 방법을 보여준다. 이와 같은 system제어 방법과 data 처리량은 engine의 RPM이 높아질수록 많은 sampling 양을 처리하여야 한다. 일례로 4 cylinder engine의 5000RPM의 경우 cylinder pressure의 신호, spark timing, 연료량의 sampling rate는 일반적으로 333 Hz 또는 3ms의 sampling cycle이 요구된다. 이와 같은 매우 짧은 cycle time을 처리하기 위해서는 연산과 신호처리를 μs 단위로 처리하는

DSP와 같은 processor가 필수적이며, 일반적으로 DSP의 빠른 처리속도에 대응하는 sensor와 actuating device의 능력이 전체 system 제어에 주요 사항으로 대두된다.

또다른 DSP 적용의 전형적인 예는 ABS와 TCS의 통합 제어 system이다. wheel의 locking과 spin을 감지하여 brake의 유압을 제어하는 solenoid valve, engine throttle과 변속기의 torque제어를 동시에 수행하는 제어 system이 그림 4에 보여지며, 그림 5는 전형적인 능동현가 장치의 1/4 model로서 차량의 운동상태를 감지하여 제어 logic에 의해 유압actuator로 신호를 보내 차량자세를 바로잡는 최첨단 현가장치이다.

이와같은 첨단system의 개발은 새로운 제어 algorithm의 적용과 복합성을 갖는 logic의 개발을 의미하며, 시제품 개발과정에서의 system identification 과 tuning에 필수적인 real time 계측장비로의 DSP 사용은 점차 증가되고 있다.

3. 결 언

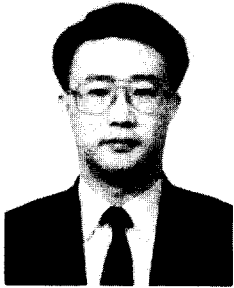
자동차의 고기능화와 상품성 향상에 있어 전자제어기술은 여러 system 분야로 확대 적용되고 있으며, system engineering에 가장 중요한 핵심요소 기술로 대두된다. 전자부품의 일반화와 processor의 고성능화는 향후 pedal, steering wheel 등의 기계적인 linkage들을 processor, sensor, servos, wire network 등으로 바꾸는 소위 "drive-by-wire" 개념을 실현시키며, ECU들은 steering과 바퀴가 직접 연결되지 않더라도 실제 운전자가 느낄 수 있는 "road feel"도 제어할 수 있을 것이다.

system의 compact화와 이에 따른 고도의 정밀한 제어

logic의 개발은 향후 자동차의 많은 기능 요소와 system의 변화를 가져오리라 예측된다. 이와 같은 고정밀도가 요구되는 system에서 반드시 따라야 되는 “fail-safe” 기능, 즉 “safe-default-status-upon-failure”의 개념이 보다 더 중요시되어져야 한다. 또한 전자화를 통한 intelligent 그리고

active한 개념의 첨단 system 개발은 기존 passive system에 근간을 두고 성능의 향상과 편리성을 추구해야 한다. 모든 engineering의 기본인 “laws of physics”에 충실한 system 설계 위에 전자제어가 가미될 때 보다 실용성이 있는 고성능의 system 개발이 이루어지게 될 것이다.

저 자 소 개



이성철(李聖哲)

1953년 10월 16일생

1975년 연세대학교 기계공학과
졸업(학사)

1978년 미국 WEST VIRGINIA
UNIV. 기계공학과졸업(석사)

1983년 미국 OHIO STATE
UNIV. 기계공학과졸업(박사)

1983~85 미국 ASI(WASHINGTON, D.C) 선임연구원

1985~88년 미국 General Motors Corp. 선임연구원

1988~93 기아자동차(주) 기술센터 차량연구실장

1993~현재 기아자동차(주) 기술센터 이사 담당임원

연락처 TEL/(02)894-6347 FAX/(02)804-3222

서울시 금천구 시흥동 992-28