

# 자동차용 센서 기술 분석

## MEMS 적용 분야를 중심으로

21세기 자동차 기술의 전자화에 따라 자동차용 센서들도 성능, 규격 등 여러 면에서 진보되고 있으며, 이러한 추이에 있어서 MEMS 기술이 한 축을 담당하고 있다. 이번 회에는 자동차용 센서에 대한 MEMS 적용 분야를 위주로 설명한다.

글: 주병권 박사/KIST 디스플레이 및 나노 소자 연구실  
jbk@kist.re.kr, <http://diana.kist.re.kr>

### 1. 자동차의 전자화 기술

자동차의 전자 관련 주요 시스템 구성 부문은 4가지로 구분할 수 있는데, 엔진-구동 시스템 부문, 차량 진단 및 모니터링 시스템 부문, 안전 시스템 부문, 그리고 안락-편리-보안 시스템 부문이 이에 해당한다. 이들 각 부문들의 기술 발전으로 인해 자동차에 있어서 센서를 포함한 전자제품이 차지하는 비용이 1980년에는 2%에 불과했으나, 1997년에는 10%~20%선까지 증가했고, 2005년 내에 평균 30%를 상회할 것으로 예측되고 있다. 이러한 기술변환은 마이크로 센서와 이를 핵심소자로 하는 마이크로시스템 기술을 주축으로 이루어질 전망이다. 자동차용 전자 제어 시스템은 그림 1에 나타난 바와 같이 신호를 감지하는 센서부, 감지된 신호를 분석-연산-처리하는 마이크로프로세서부, 이를 수행하는 액츄에이터부, 그리고 이들 세 부문을 조절-제어하는 제어부로 이루어지며, 특히 센서부와 마이크로프로세서부에 전

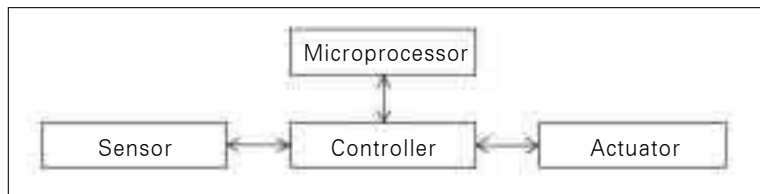


그림 1. 자동차의 전자 제어 시스템의 구성

자 기술이 집중된다고 볼 수 있다.

### 2. 자동차용 센서 기술

그림 2에 나타난 바와 같이 자동차 내에는 기본적으로 20여 개의 센서들이 위치하고 있으며, 전자화가 진행됨에 따라 그 수는 점차적으로 증가하고 있다. 대표적인 것들로는 압력 센서 (pressure sensors), 위치 센서(linear and angle position sensors), 흐름 센서(flow sensors), 온도 및 습도 센서 (temperature and humidity sensors), 배기가스 센서(exhaust gas sensors), 속도 및 가속도 센서 (speed and acceleration sensors), 엔진 노크 센서(engine knock sensors),

엔진 토크 센서(engine torque sensors) 등이 있다. 이러한 센서 및 센서 시스템들은 초기의 기계식 센서로부터 전자식 센서, 복합 센서, 지능형 센서 등으로 발전되어 오고 있다. 자동차용 주요 센서들과 관련하여 현재 적용중인 대표적인 규격들을 표 1에 요약, 정리한다. 이들 중 MEMS 기술의 접목이 구체화되고 있는 분야인 압력 센서, 흐름 센서, 속도 및 가속도 센서 등을 위주로 설명한다.

#### 2-1. 압력 센서

압력은 측정 방식과 기준 압력에 따라 그림 3에 나타난 바와 같이 3종류로 구분할 수 있다. 우선 게이지압(gauge pressure)은 대기압에 대해 상대적인

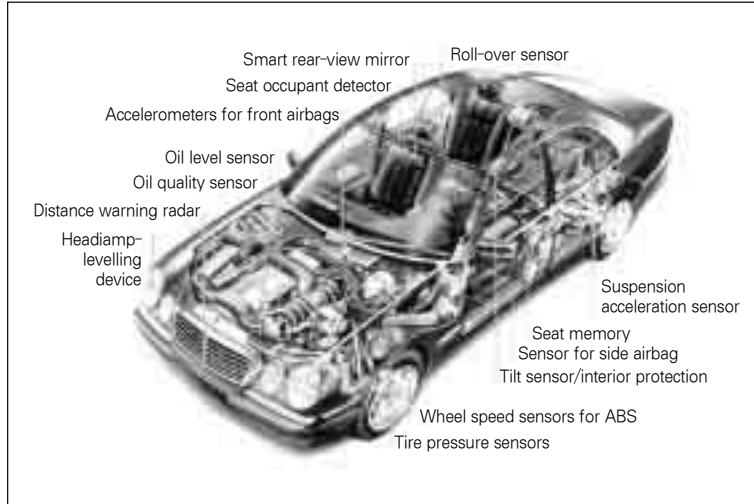


그림 2. 자동차용 센서

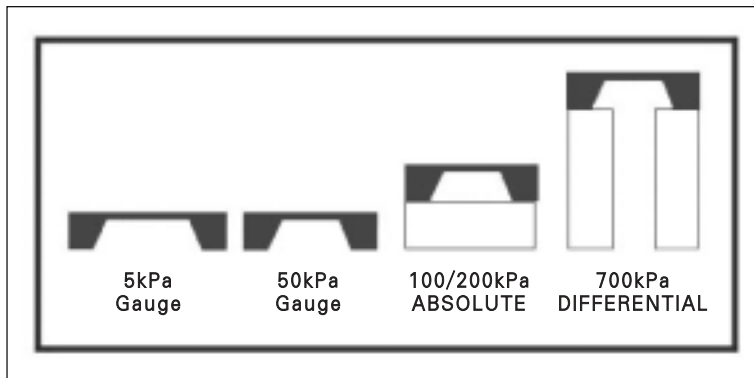


그림 3. 압력 측정 방식

압력을 측정하는 방식이다. 절대압 (absolute pressure)은 기준압을 밀폐된 공동을 이용한 진공으로 했을 경우이며, 차압(differential)은 서로 다른 두 압력간의 상대적인 차이에 해당한다.

자동차의 경우, 그림 4에 보여지듯 다양한 부문의 압력을 측정해야 하며, 그 측정 요소도 30여 개에 이른다. 현재 응용되고 있는 분야로서, 다기관(manifold), 터보 부스트 압력(turbo boost pressure) 등은 엔진 제어부에서 연료와 점화 조절을 위한 입력으로 사용되고, 이외에도 연료의 양을 측정하기 위한 연료압 및 증기압 측정이 있다.

새로운 응용 분야로서는 변속기 오일압, 브레이크압, 연료 절감 및 안전성에 매우 중요한 타이어압, 배기가스 재순환 시스템(EGR: Exhaust Gas Recirculation)에 적용되는 가스압, 흐름 측정에 이용되는 차압, 그리고 액체 수위 측정을 위한 레벨압과 같은 것이 여기에 해당한다.

이외에도 흐름 측정에 이용되는 차압 센서와 연료, 냉각수 등 액체의 레벨을 측정하는 센서 등을 들 수 있다. 연소시의 압력을 측정하여 불완전 연

표 1. 자동차용 주요 센서의 규격

|          | 압력<br>센서      | 흡기온도<br>센서 | 수온<br>센서 | 공기량<br>센서     | 산소<br>센서   | 위치<br>센서     | Level<br>센서  | Pedal<br>센서 | 속도<br>센서      | 크랭크<br>센서 | Knock<br>센서  | Gas<br>센서     |
|----------|---------------|------------|----------|---------------|--|--------------|--------------|-------------|---------------|-----------|--------------|---------------|
| 핵심<br>기술 | metal<br>Si   | NTC        |          | Pt<br>박막      | ZrO <sub>2</sub><br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 가변 저항        |              |             | Hall effect   |           | piezo<br>세라믹 | 박막<br>세라믹     |
| 측정<br>범위 | 10~115<br>Kpa | -40℃~150℃  |          | 5~640<br>Kg/h | λ = 1  | 0~100<br>deg | 0~120<br>deg |             | 20RP<br>M     | 0<br>RPM  | 5~15<br>KHz  | HC, CO<br>NOx |
| 작동<br>온도 | -30℃~120℃     |            |          |               |  |              |              |             |               |           |              |               |
| 선진<br>회사 | RB<br>FE      | Siemens    |          | RB<br>Siemens | RB<br>NTK  | RB<br>TOCOS  | RB<br>ALPS   |             | RB<br>Siemens |           |              | RB<br>NGK     |
| 적용<br>엔진 | 가솔린, 디젤       |            |          |               |  |              |              |             |               |           |              |               |
| 적용<br>지역 | 국내, 국외        |            |          |               |  |              |              |             |               |           |              |               |

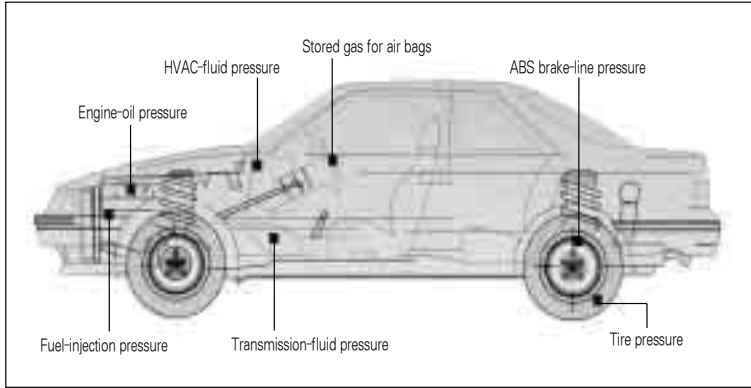


그림 4. 자동차에 있어서 압력 측정 부분

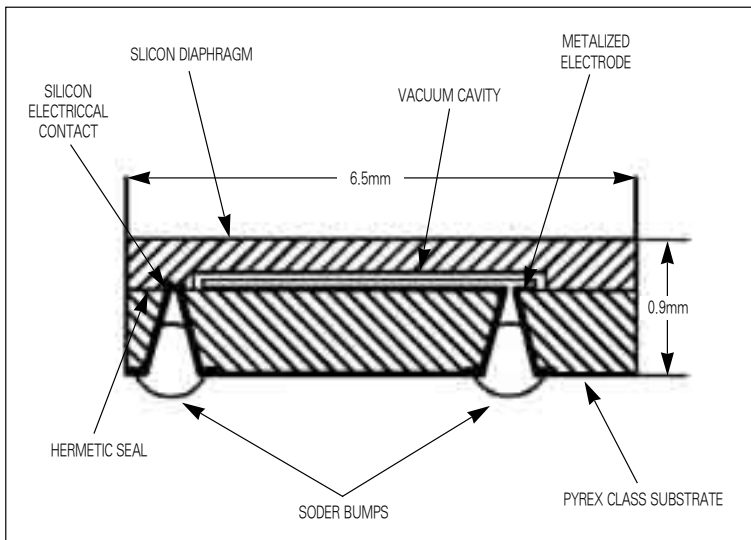


그림 5. 실리콘 정전용량형 압력 센서

소 등을 검사하는 압력 센서도 개발중이다. 이 경우에는 광파이버 센서 등을 이용해 연소 과정에서 발생하는 방사(emission)를 측정하는 비접촉식 방법이 적용된다. 아울러, 보다 미래형 응용분야로서, 능동 서스펜션 시스템(active suspension system)에서의 감폭 흡수장치(damping absorber)의 감폭 측정과 부하(load) 정도 측정 등을 고려할 수 있다. 그리고 HVAC(heating,

ventilating, air conditioning) 시스템에서 냉매(refrigerant)가 CFC-12에서 HFC-134a 등으로 대체됨에 따라 냉매압이나 콤프레서 방출 압력(compressor discharge pressure) 등을 측정하여 효율 및 경제성을 높이는 방법도 강구되고 있다. 또한 에어백의 탱크(tank)와 백(bag)의 압력 측정을 통한 안정성 향상, 운전자의 등받이 압력 측정-제어를 통한 안락함 제공 등이

가능성 있는 응용 분야이다.

자동차와 관련된 여러 종류의 압력을 측정하는 방식은 매우 다양하며, 다이아프램-분압기(diaphragm-potentiometer), 선형 가변 차동 트랜스포머(linear variable differential transformer), 아네로이드 다이아프램(aneroid diaphragm), 정전용량형 압력 센서(capacitive pressure sensor), 압저항형 변형 게이지(piezoresistive strain gauge), 압전형 압력 센서(piezoelectric pressure sensor), 광파이버형 센서(fiber optic sensor), 옵티컬 페이즈(optical phase) 등으로 모든 센서에 대해 얻어진 전자 신호와 마이크로컨트롤러(microcontroller)와의 접속을 간단히 하는 방법이 집중적으로 모색되고 있다.

정전용량형 압력 센서에서는 평행판 커패시터의 한쪽 플레이트가 동력 컬렉터(force collector - 주로 다이아프램 모양)로서 동작한다. 따라서,  $C = \epsilon A/d$  ( $C$ : 정전용량,  $\epsilon$ : 유전율,  $A$ : 면적,  $d$ : 간격) 관계에서 압력에 의해  $d$ 가 변화하고 따라서  $C$ 가 변화하는 원리를 이용한 것으로 자동차에서는 일반적으로 두 종류, 즉 실리콘형과 세라믹형이 사용되고 있다.

실리콘 정전용량형 압력 센서(절대압)의 구조를 그림 5에 나타내었다. 이를 살펴보면, 미세 가공(micromachining) 공정에 의해 가공된 실리콘이 내열 유리(pyrex glass)와 정전열 접합되어 진공 공동(vacuum cavity)을 형성하고 있으며, 이외에 feed-through, 금속 박막 전극 등으로 구성되어 있다. 센서의 출력은 신호 처리 회로와 연결되어 주로 주파수 변화로 얻어지므로 마이

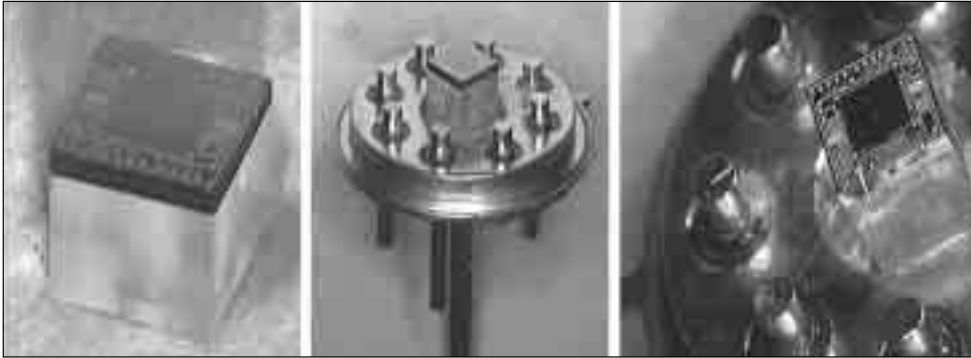


그림 6. 자동차의 MAP 센서용 압저항형 압력 센서 (KEC)

크로컨트롤러 등과 간단히 접속될 수 있다.

향후 표면(surface) 및 벌크(bulk) 미세 가공 공정이 다양하게 적용되어 신호 처리 회로가 동일 기판 상에 형성되어 있는 집적화 센서가 등장할 전망이다. 세라믹의 경우, 금속이 증착된 세라믹 재료로 다이아프램이 구성되며, 반대 전극으로는 금속판이 사용된다.

압저항형 변형 게이지의 경우, 휘트스톤 브릿지(Wheatstone bridge) 형태로 구성되어 있으며, 압저항 효과에 의하여 동작한다. 필라멘트선(filament-wire)이나 호일(foil), 금속 혹은 반도체, 벌크 재료 혹은 박막이 다이아프램 위에 형성되어 있으며, 압력이 다이아프램을 변형시키고 이로 인해 게이지의 길이가 변화하여 저항이 변화하는 원리를 이용한다. 즉,  $R = \rho L / A$  ( $\rho$ : 저항률,  $L$ : 길이,  $A$ : 단면적)에서  $L$ 이 주로 변화하게 된다. 압력을 측정할 경우에는 압력센서, 힘을 측정할 경우에는 「load cell」이라는 명칭을 사용한다. 집적화된 실리콘 압저항형 압력 센서의 경우에는 실리콘 기판이 가공되어서 만들어진 다이아프램

위에 압저항(piezoresistor)들을 배치한 구조로 되어 있으며, 기준 공동형성, 정전 열 접합 등 제반 공정과 구조, 그리고 집적화와 관련된 특징들은 정전용량형 실리콘 압력 센서의 경우와 유사하다. 그림 6은 KEC에서 자동차의 MAP 센서용으로 개발되고 있는 압저항형 실리콘 압력 센서의 모양을 나타낸 것이다.

향후 압력 센서는 반도체 공정을 더욱 집중적으로 적용함으로써 센서의

정밀도 향상, 자기 진단 기능, 통신 기능, 퍼지 로직(fuzzy logic) 및 뉴럴 네트워크(neural network) 개념 등이 가능하도록 발전될 전망이다. 그림 7에 자동차용 실리콘 압력 센서의 집적화 진화 과정을 표시했다. 이로부터 알 수 있는 바와 같이 센서의 집적화는 집적회로 공정의 발달과 궤를 같이 하고 있다. 이러한 집적화-지능화 과정과 함께, 센서의 패키징 문제도 매우 중요하며, 센서 패키징은 가격(cost), 크기(size), 그

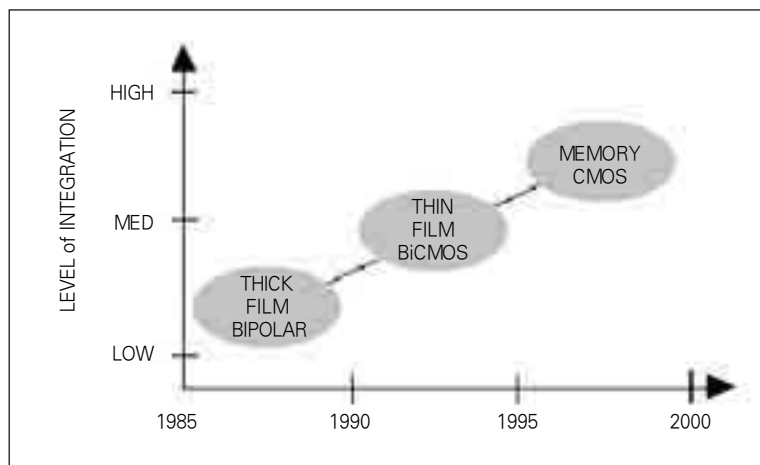


그림 7. 압력 센서 집적화 기술의 발전

리고 내환경성(survivability in a harsh environment)을 결정짓는 주요 인자이다. 특히 자동차용 실리콘 압력 센서의 경우 패키징과 측정에 소요되는 비용이 센서 가격의 50%~80%에 이르고 있고, 신뢰성과 관련된 문제도 패키징에 크게 의존하기 때문에 저가격의 고성능 패키징 기술 개발이 큰 이슈가 될 것이다. 자동차용 압력 센서와 관련된 정보는 SAE(Society of Automotive Engineers), ANSI(American National Standards Institute), 그리고 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 등에서 얻을 수 있다.

## 2-2. 흐름 센서

자동차에 있어서 흐름 센서는 주로 엔진 제어 시스템의 성능을 최적화하기 위해 사용된다. 흡입 공기 흐름 센서(intake air mass flow sensor)의 경우, 엔진에 유입되는 공기의 흐름을 정확히 측정하여 연료량과의 최적 공연비(air-fuel ratio,  $\lambda_{opt} = m_f/m_a$ )를 맞추으로써 성능 향상 및 배기가스 규제를 충족시킬 수 있도록 한다. 이외에도, 소비연료 당 주행거리(mileage) 등 운전자 정보 제공 시스템에서도 연료 흐름 센서가 요구되며, 배기가스의

재순환(EGR, exhaust gas recirculation) 시스템, 이차 공기 펌프 흐름(secondary air pump flow), 공연비 피드백 제어(fuel-air ratio feedback control) 등에도 흐름 센서가 적용된다. EGR의 경우, NO<sub>x</sub> 배기를 줄이기 위해 사용되는 방식으로 배기가스가 가스 주입구측으로 재주입되어 연소 온도를 낮춤으로써 배기량을 감소시키는 과정을 일컫는다. 공연비 피드백 제어의 경우, 주입되는 공기 흐름을 측정 한 뒤 이 데이터를 연료 주입기에 입력, 연료 흐름을 조절함으로써 공연비를 최적화시키는 작업을 말한다. 표 2에 자동차용 흐름 센서의 용도와 측정 규격을 요약했다.

자동차용 흐름 센서의 경우, 측정 매체에 따라 기체 증정용과 액체 측정용이 있으며, 기체 흐름 센서로는 열선(hot-wire)형 센서, 차압(differential pressure) 센서, 카만 볼텍스(Karman vortex) 방식의 센서 등이 사용되고, 액체 흐름 센서로는 차압 센서, 터빈을 이용한 센서, 그리고 볼텍스 쉼딩(vortex shedding) 방식 센서 등을 들 수 있다. 열선형 센서에서는 연선을 통해 기체 흐름이 통과하면서 대류에 의해 열을 빼앗는 정도를 측정해 온도 변화를 유동비(flow rate)로 산출하며,

이 때 센서를 바이패스(bypass) 내에 설치하여 오염에 의한 열선 등의 손상을 방지한다.

최근에는 실리콘의 미세 가공 공정을 이용한 센서가 개발되고 있는데, 기본적으로 중간에 히터(heater)가 위치하고 양측에 온도 센서가 위치하는 구조를 갖는다. 이 때,  $(P = m_a C_p \Delta T)$ 인 관계가 성립되는데,  $\Delta P$ 는 흐름으로 인한 히터의 가열 전력 변화,  $m_a$ 는 공기 유동비(mass air flow rate),  $C_p$ 는 공기 온도 용량(air thermal capacity),  $\Delta T$ 는 공기와 센서간의 온도 차이에 해당한다. 이러한 기본 구조에 MEMS 개념을 도입할 경우, 역방향 흐름의 측정, 높은 감도, 빠른 응답 속도, 낮은 전력 소모, 소형화 및 일괄 공정에 의한 저가격화 등의 장점들을 취할 수 있다. 그림 8은 IC Sensors에서 개발한 흐름 센서의 모양이다.

액체 흐름을 측정하기 위해서는 차압 방식, 터빈 방식, 그리고 볼텍스 쉼딩 방식을 이용한다. 터빈 방식의 경우, 흐름 채널 내에 터빈 블레이드를 설치하고 회전수로 유동비(flow rate)를 측정하는데, 회전수 측정을 위해서는 홀(hall) 센서 등과 같은 비접촉식 방법을 이용한다. 이는 주로 연료 흐름의 측정에 이용된다. 볼텍스 쉼딩 방식

표 2. 자동차용 흐름 센서의 용도와 측정 규격

| Application   | Measurement type | Range, kg/h | Accuracy, % |
|---------------|------------------|-------------|-------------|
| Intake air    | Mass             | 10~1000     | ±4          |
| Fuel flow     | Mass/vol.        | 1~66        | ±10         |
| EGR flow      | Mass             | 30~100      | ±10         |
| Air pump flow | Vol.             | 50          | ±20         |
| Fuel flow     | Mass/vol.        | 1~66        | ±4          |

의 경우, 흐름 내에 장애물을 두고, 이로부터 발생하는 볼텍스의 진동 등을 측정하여 유동비를 산출하는데, 낮은 유동비에서는 볼텍스가 불안정하여 사용이 어려우며, 주입되는 공기의 흐름의 경우에도 측정 범위가 넓어 적당하지 않다.

### 2-3. 속도 및 가속도 센서

자동차에 있어서 속도 센서의 경우, 회전 속도 측정과 선형 속도 측정으로 구분할 수 있다. 회전 속도 측정은 엔진 속도의 모니터링, ABS(antilock brake system)과 트랙션 제어 시스템(traction control system)에 적용되며, 선형 속도 측정은 그라운드 스피드 모니터링(ground speed monitoring) 등에 적용된다. 가속도 측정의 경우,

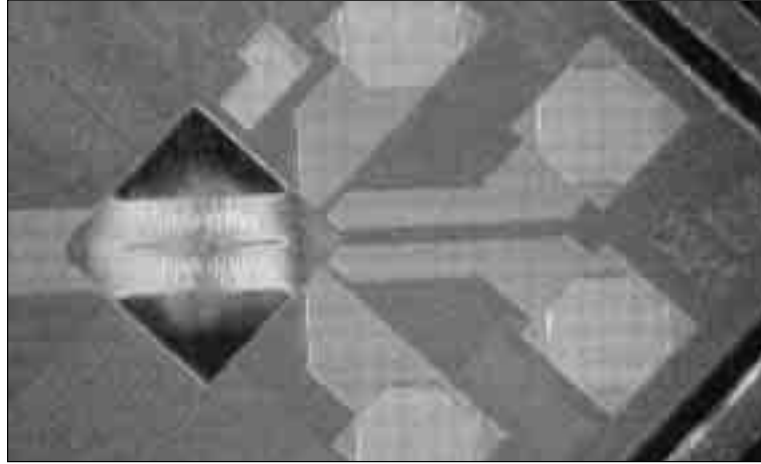


그림 8. 실리콘 미세 가공을 이용한 흐름 센서(IC Sensors)

에어백 시스템, 라이드 제어(ride control), ABS 및 트랙션(traction), 그리고 관성 항법 장치 등에 활용된다. 속도 및 가속도 센서 기술의 자동차 응

용 부문과 측정을 위해 적용되는 기술을 각각 표 3과 표 4에 정리했다.

회전 속도 측정 센서의 경우, 엔진 속도 측정에 의해 변속기 제어, 엔진

표 3. 속도 및 가속도 센서 기술의 자동차 응용 부문

| Sensor Applications   | Speed Rotation | Speed Linear | Acceleration | Vibration | Angular Rotation |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|------------------|
| Air bag deployment    | ◆              |              | ◆            |           |                  |
| Ride control          | ◆              |              | ◆            |           |                  |
| ABS                   | ◆              | ◇            | ◆            |           |                  |
| Engine control        | ◆              |              | ◆            |           |                  |
| Transmission          | ◆              | ◇            |              |           |                  |
| 4 wheel drive         | ◆              |              |              |           |                  |
| All wheel steering    | ◆              |              |              |           |                  |
| Engine vibration      |                |              |              | ◆         |                  |
| Cruise control        | ◆              | ◇            |              |           |                  |
| Seat belts            |                |              | ◆            |           |                  |
| Power steering assist | ◆              | ◇            |              |           |                  |
| Traction(ABS)         | ◆              | ◇            | ◆            |           |                  |
| Collision avoidance   |                | ◇            |              |           |                  |
| Obstacle detection    |                | ◇            |              |           |                  |
| Inertial navigation   |                | ◇            | ◆            |           | ◆                |

◆ 사용중, ◇ 사용 가능

표 4. 속도 및 가속도 센서의 적용 기술

| Sensing technique \ Measurand | Speed Rotation | Speed Linear | Acceleration | Vibration | Angular Rotation |
|-------------------------------|----------------|--------------|--------------|-----------|------------------|
| Mechanical                    |                |              | ◆            |           |                  |
| Piezoelectric                 |                |              | ◆            | ◆         |                  |
| Piezoresistive                |                |              | ◆            |           |                  |
| Capacitive                    |                |              | ◆            | ◆         | ◆                |
| Optical                       | ◆              |              |              |           |                  |
| Infrared                      |                | ◆            |              |           |                  |
| Radar                         |                | ◆            |              |           |                  |
| Laser                         |                | ◆            |              |           |                  |
| Ultrasonic                    |                | ◆            |              |           |                  |
| Hall effect                   | ◆              |              |              |           |                  |
| Variable reluctance           | ◆              |              |              |           |                  |
| Magnetoresistive              | ◆              |              |              |           |                  |

◆ 사용중, ◇ 사용 가능

제어, 주행 제어 등을 위한 측정치를 제공한다. 또한 휠(wheel) 속도 측정에 의해 변속 및 주행 제어, 속도계, ABS, 파워핸들 등의 모니터링, 4륜 구동에서 휠 간의 회전 속도차 측정, 관성 항법, 에어백 구동 등을 지원한다. 여타 기능으로 라디에이터의 냉각 팬 회전 속도 등을 측정한다. 선형 속도 측정 센서의 경우, 그라운드 스피드 센싱(ground speed sensing)에 의해 ABS, 관성 항법 기능 등을 지원하며, 아울러 장애물 감지와 충돌 방지 등의 기능도 지원한다. 이러한 속도 측정의 경우, 자계 센서가 주류를 이루고 있는데, Hall 소자, 자기 저항 소자, 자기 효과 트랜지스터 등을 들 수 있다. 이러한 자계 센서는 속도 감지 이외에도, 위치, 연료 수위, 능동 서스펜션(active suspension) 등에도 사용된다.

가속도 센서의 가장 큰 응용 분야는 에어백 시스템으로, 전후 및 좌우

방향에서의 충돌을 감지하여 에어백을 동작시킬 수 있는 신호를 제공한다. 또한 라이드 제어(ride control) 응용으로, 능동 서스펜션 시스템에서 속도가 급격히 변화할 경우, 이를 감지하여 시스템을 작동시킴으로써 타이어와 샤시가 불안정한 동작을 하는 것을 방지하고, 아울러 전륜(front wheel)에서 도로상태 등에 관한 정보를 얻어 후륜(rear wheel)을 제어하는 기능을 지원한다. 가속도 센서는 진동 감지용으로도 응용되는데, 공연비 변화 등으로 인해 연소가 불안정할 경우 진동이 발생하고, 이를 측정-궤환하여 동작을 안정화시키는 역할을 비롯해 기타 진동과 관련한 시스템의 모니터링을 지원한다. 또한, ABS에서 브레이크 동작 후의 감속이나 스로틀 밸브 작동 후의 가속을 감지한다. 이와 함께 각속도 센서가 개발되고 있는데, 이는 휠의 각속

도나 차량의 회전각도 등을 감지한 뒤, 측정치를 차량의 동적 제어 시스템이 전달함으로써 급격한 감속이나 코너 링에서 의도한 주행 경로를 따르도록 한다.

Analog Devices의 실리콘 표면 미세 가공을 이용한 정전용량형 가속도 센서의 경우, 그림 9에 보인 바와 같이 회생층을 제거함으로써 형성되는 다결정 실리콘 구조체들을 이용한다. 이러한 구조체들은 그림 10에 보인 바와 같이 가속에 의해 움직임으로써 정전용량의 변화를 발생시키며, 이로 인해 가속의 정도를 측정할 수 있다. 그림 11은 이를 이용한 Analog Devices의 가속도 센서를 보인 것이다.

이와 함께 최근 연구 개발이 활발히 진행되고 있는 소자로서 집적화된 자이로스코프(gyroscope)를 들 수 있는데 유동성 구조체가 회전 방향으로 움직일 수 있도록 배열한 뒤 역시 정전

용량의 변화를 측정함으로써 회전 각도를 측정하고 있다. 표면 미세 가공을 이용한 다결정 실리콘 자이로스코프 구조체의 사례를 그림 12에 나타내었다.

### 3. 자동차 – MEMS 및 MST의 응용 현황

MEMS(microelectromechanical systems)와 MST(microsystem technology)는 1979년도에 MAP(manifold absolute pressure) 센서를 통하여 자동차의 엔진 제어에 중요한 역할을 하기 시작했다. 1990년대 초에 실리콘 가속도 센서가 에어백 시스템에 적용되면서 그 중요성이 더욱 부각되었으며, 그림 13에 나타난 바와 같이 향후 5년 이내에 상당한 수의 MEMS/MST 소자들이 자동차에서 새로운 응용도를 확보하거나 기존 기술들을 대체할 것이다. 더욱이 자동차의 수명이 더욱 장기화되면서(10년/150,000마일), 연료 효율, 배기, 안전성과 관련한 행정 규제, 성능 및 안락함, 저가격의 마이크로컨트롤러, 메모리, 디스플레이, 그리고 향상된 차량 진단 기능 등 제반 사항들이 더욱 신뢰성 있는 기술을 요구하고 있다.

#### 3-1. 미래형 자동차의 요구조건

자동차용 부품들은 후드(bonnet) 내에서의 가혹한 환경, 즉 열, 충격, 진동, 습기, 부식, 전자기파 등에서 동작해야 하며, 따라서 요구조건이 매우 엄격하다. 이러한 시험 검사 내역은 「SAE J1211 : Recommended Environmental Practices for Electronic Equipment Design」에 수

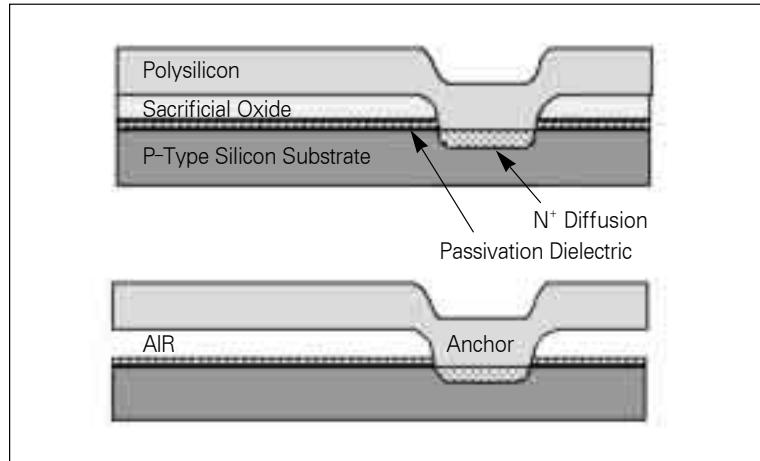


그림 9. 실리콘 표면 미세 가공을 이용한 다결정 실리콘 구조체

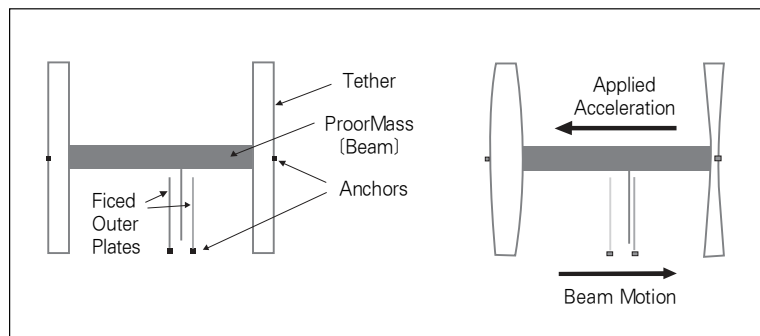


그림 10. 실리콘 표면 미세 가공을 이용한 정전용량형 가속도 센서(Analog Device)

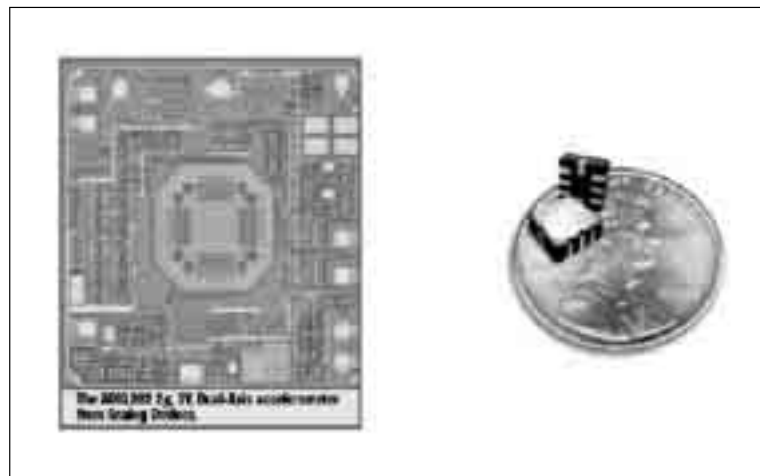


그림 11. Analog Devices의 가속도 센서



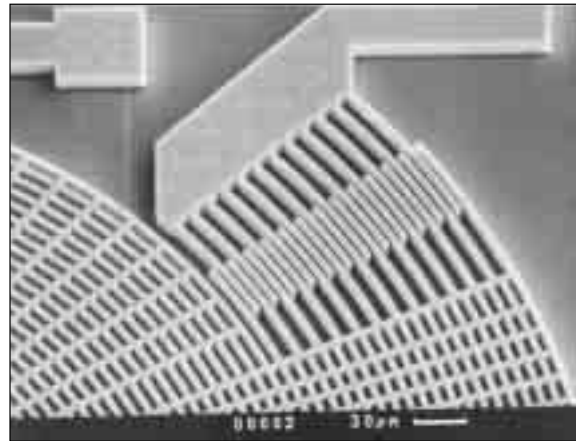
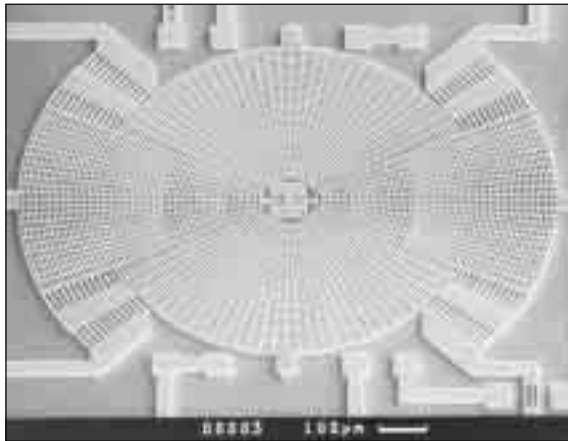


그림 12. Gyroscope 용 다결정 실리콘 구조체의 모양

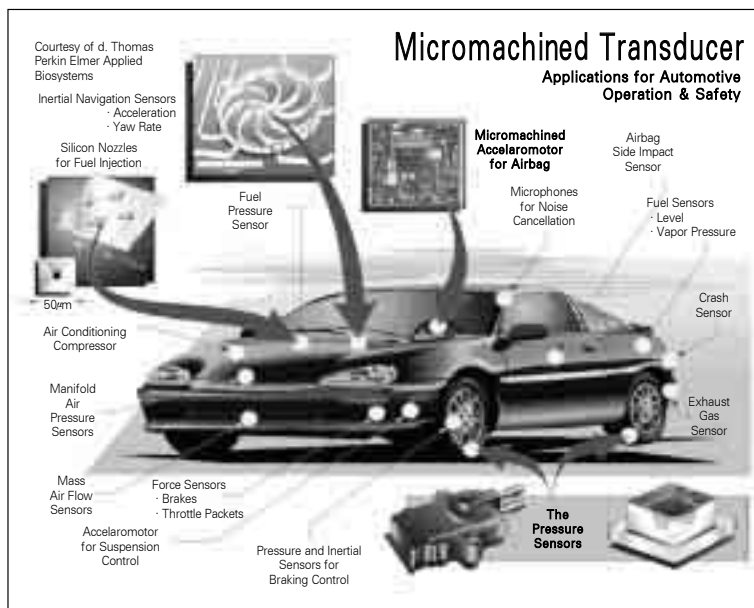


그림 13. 자동차용 MEMS/MST 센서 시스템

록되어 있다. 아울러, 차량용 부품은 새로운 모델을 충족시키고 원가 및 이득 충족을 위해 부품별로 년 100만 개 이상씩 대량으로 생산되어야 한다. 생산된 부품은 10년/150,000마일의 장수명과 저가격의 요건을 함께 충족시켜야 하며, 결과적으로 군수용 부품의

신뢰성과 민수용 부품의 경제성을 공히 갖추어야 한다. 이러한 요건을 충족시킬 수 있는 기술이 MEMS/MST이다.

MEMS/MST는 자동차 응용을 위하여 매우 적합한데, 일괄 공정에 의하여 균일한 특성의 소자를 대량으로 저가격에 공급할 수 있으며, 소자의 크기가 매

우 작아질 뿐 아니라, 다수 신호 측정을 위한 복합화, 주변 회로 내장을 위한 기능화 개념을 실현할 수 있다. 이와 함께 현재 잘 확립되어 있는 실리콘의 전자-기계적 특성, IC(integrated circuit) 공정을 활용할 수 있다. 특히 자동차의 전자화 추세가 급속히 진행됨에 따라 마이크로프로세서와 호환성이 있는 집적화 센서로서 실리콘 MEMS/MST 분야는 중요성이 더욱 강조될 수 있다.

### 3-2. 안전 시스템 응용

에어백 응용은 이후에도 주요 분야로 지속할 것이다. 50g 범위의 실리콘 가속도 센서들은 Analog Devices, GM/Delco, Motorola, Ford/Visteon 등의 미국 회사들과, Sensoror (Norway)를 비롯한 유럽계 회사들, 그리고 Nippondenso를 비롯한 일본 회사들에 의해 지속적으로 공급될 것이다. 공급되고 있는 가속도 센서의 경우 대부분 센서와 신호 처리 기능을 함께 제공할 수 있는 멀티 칩 형태이며, Analog Devices만 단일 칩 소자를 개발·제조하고 있는데 다른 회사들도

단일 칩 개념으로 접근해 갈 것이다. 이와 함께 에어백 시스템의 가스압 측정을 위한 압력 센서도 몇몇 회사들에 의해 개발중이다. 한편 자동차 제조 업체들은 고속 코너링, 급격한 감속 및 가속에 있어서 운전자에게 최적의 차량 성능을 제공할 수 있도록 서스펜션 시스템의 개발에도 전념하고 있으며, 이 경우 대부분이 폐루프 제어(closed loop control) 방식을 적용한다. 완성된 능동형 서스펜션 시스템의 가격은

3,000~5,000달러 정도이며, 펌프 구동을 위한 전력소모와 탑재 중량에서 부담이 되어 일정 규모 이상의 대형 차량에만 국한되는 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 반능동형 시스템(semi-active system)이 개발되고 있는데 충격 완화기(shock absorber)용 변위 센서, 다수의 가속도 센서 등을 사용하고 있다. 이러한 기능은 MEMS/MST 도입이 매우 적당하며, Analog Devices, Breed, 그리고 Motorola 등이  $\pm 2g$ 의

범위를 갖는 센서를 개발중이다.

1995년도에 Mercedes가 브레이크압의 측정을 위해 실리콘 압력 센서를 적용했으며, 이후 휠의 각도 측정을 위한 각속도 센서, 차량의 동적 제어(ABS, 트랙션 제어 등)를 위한 속도 센서 등이 도입되었다. Bosch의 표면 가공된 소자나 Matsushita의 tuning fork model의 판매 가격이 약 30달러 정도로 주로 고급 차종(Mercedes S Class, BMW, Cadillac 등)에만 적용되고 있으며, 이

표 5. MEMS/MST의 안전 시스템 응용도

| Application<br>(Sensors and actuators)       | Status             | MEMS/MST Opportunity |
|--|--------------------|----------------------|
| Antilock Braking/Vehicle Dynamics/Suspension |                    |                      |
| Steering position                            | Production         | Medium               |
| Wheel rotation                               | Production         | Medium               |
| Pressure Limited                             | production         | Medium               |
| Acceleration Limited                         | production         | High                 |
| Valve  | Future             | Low                  |
| Rate   | Limited production | High                 |
| Displacement                                 | Limited production | Low                  |
| Rollover                                     | Limited production | High                 |
| Air-bag Actuation                            |                    |                      |
| Acceleration                                 | Production         | High                 |
| Pressure canister                            | Future             | Medium               |
| Pressure (side impact)                       | Limited production | Medium               |
| Seat Occupancy/Passenger Position            |                    |                      |
| Presence/force                               | Limited production | Medium               |
| Displacement                                 | Limited production | Medium               |
| Seatbelt Tensioner                           |                    |                      |
| Acceleration                                 | Limited production | High                 |
| Object Avoidance                             |                    |                      |
| Presence/displacement                        | Limited production | Medium               |
| Navigation                                   |                    |                      |
| Yaw rate/gyroscope                           | Limited production | High                 |
| Wheel rotation                               | Limited production | Medium               |
| Road Condition                               |                    |                      |
| Optical                                      | Future             | High                 |

로 인해 차량 제조업체와 타이어 공급업체들(Bosch, Lucas, Temic, Siemens 등)이 가격경쟁력이 있는 부품 개발을 위해 노력중이다. C.S.Draper Lab.과 GM, Analog Devices, Bosch, 그리고 BEI 등에 의하여 개발된 저가격 MEMS/MST 각속도 센서들이 시스템 저가격화를 실현할 수 있을 것으로 보인다. 자동차 자동 항법 장치(CNS: car navigation system)는 GPS(global positioning system)과 CD-ROM 맵이 결합되어 이루어지며, 휠 회전 센서, 자이로스코프 등이 요구된다. CNS의 경우 약 2,000달러 정도에 제공되는데, 그 응용도가 매우 급격하게 확대되고 있다. MEMS/MST 소자에 의해 향후 약

900달러 정도로 가격이 낮추어질 것이며, 장기적으로는 500달러 선까지 예측하고 있다. 자동차에 적용되는 MEMS/MST 안전 시스템 응용도를 표 5에 정리한다.

### 3-3. 안락-편리-보안 시스템 응용

에어 컨디셔닝 시스템(air conditioning system)의 콤프레서 압력 측정에 MEMS/MST가 주로 적용될 수 있으며, 이 외의 안락-편리-보안 분야에 이 기술을 적용하기 위해 Measurement Specialties, Texas Instruments, Fasco, Keller 등이 노력하고 있다. 표 6에 이와 관련한 응용 분야 및 기술 수준을 요약했다.

### 3-4. 엔진-구동 시스템 응용

전자 엔진 제어는 가장 중요한 부분으로 MEMS/MST의 큰 응용 분야가 될 것으로 보인다. Delco와 Motorola는 수 백만 개의 MAP(manifold absolute pressure) 센서를 생산하고 있으며, 이 소자는 주입되는 분기관의 압력을 측정함으로써 적당한 공연비(air-fuel ratio)를 제공하는 역할을 한다. 이를 대체하기 위한 MAF(mass air flow) 센서도 매우 활발히 개발되고 있으며, Hitachi에 의해 개발된 열선 풍력계(hot-wire anemometer) 소자 등이 있다. 1995년도에 Bosch가 MEMS/MST를 이용한 박막형 소자를 제안했으며 그 실용성을 평가하고 있다.

표 6. MEMS/MST의 안락-편리-보안 시스템 응용도

| Application<br>(Sensors and actuators) | Status             | MEMS/MST Opportunity |
|--|--------------------|----------------------|
| Seat Control                           |                    |                      |
| Pressure                               | Limited production | Low                  |
| Valve                                  | Future             | Medium               |
| Displacement                           | Future             | Low                  |
| Climate                                |                    |                      |
| Mass air flow                          | Future             | Low                  |
| Temperature                            | Production         | Low                  |
| Humidity Limited                       | production         | Low                  |
| Air quality                            | Future             | High                 |
| Compressor Control                     |                    |                      |
| Pressure                               | Production         | High                 |
| Temperature                            | Production         | Low                  |
| Security                               |                    |                      |
| Proximity                              | Limited production | Low                  |
| Motion                                 | Limited production | Medium               |
| Vibration                              | Limited production | Medium               |
| Displacement                           | Limited production | Low                  |
| Keyless entry                          | Limited production | Low                  |
| Tilt                                   | Limited production | High                 |

MAP/MAF 센서와 함께 여러 종류의 압력이 측정되어 엔진 제어부에 전달됨으로써 공기-연료간의 rich/lean 상태를 보상해야 하며, 여기에도 MEMS/MST가 적용되고 있다. 실린더압의 경우, 온도가 매우 높아 압전 센서나 광파이버 센서가 적용되고 있다. Ford와 Chrysler의 시스템에는 배기가스 재순환(EGR : exhausted gas recirculation) 과정이 필요한데, 현재로서는 Kavlico의 세라믹 정전용량형 센서가 적당하나, 향후 MEMS/

MST 소자가 대체할 가능성이 매우 높다고 볼 수 있다. 이외에도, 변속기에서의 유체의 압력, 연료의 흐름 등을 측정하기 위한 센서들이 요구되며, Measure Specialties, Integrated Sensor Solutions, SSI Technologies 등이 MEMS/MST 소자 응용을 추구하고 있다. 이와 함께, 연료 주입용 노즐 등과 같은 MEMS/MST를 이용한 극소형 부품들이 Ford 등에 의해 연구 개발되고 있다. 자동차용 엔진 / 구동 시스템에 있어서 MEMS/MST의 응

용도를 표 7에 요약했다.

### 3-5. 차량 진단-모니터링 시스템 응용

이 분야에서 가장 대표적인 MEMS/MST 응용 부문은 타이어 압력 모니터링이다. 안전성과 연료 효율을 증가시키기 위해 타이어압을 적당하게 유지하는 것이 반드시 필요하며, 이를 실시간 측정할 수 있는 몇몇 시스템들이 개발되고 있다. 타이어압의 실시간 측정 및 이를 통한 일정 압력 유지 기능을 갖는 시스템이 향후 실용화될

표 7. MEMS/MST의 엔진 / 구동 시스템 응용도

| Application                        | Function(Sensors) | Status             | MEMS/MST Opportunity |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|
| Digital Engine Control             |                   |                    |                      |
| Fuel                               | Level             | Production         | Low                  |
| Cylinder                           | Pressure          | Future             | Low                  |
| Manifold(MAP)                      | Pressure          | Production         | High                 |
| Barometric                         | Pressure          | Production         | High                 |
| Engine knock                       | Vibration         | Production         | Medium               |
| Air mass flow                      | Flow              | Limited production | Medium               |
| Exhaust                            | Gas analysis      | Production         | Low                  |
| Crank shaft                        | Position          | Production         | Medium               |
| Cam shaft                          | Position          | Limited production | Medium               |
| Throttle                           | Position          | Limited production | Medium               |
| EGR                                | Position          | Production         | High                 |
| Fuel Pump                          | Position          | Future             | High                 |
| Torque                             | Torque            | Limited production | Medium               |
| Continuously Variable Transmission |                   |                    |                      |
|                                    | Temperature       | Future             | Low                  |
|                                    | Pressure          | Limited production | High                 |
| Microvalve                         |                   | Future             | Low                  |
| Fuel Injection                     |                   |                    |                      |
|                                    | Pressure          | Limited production | High                 |
| Nozzle                             |                   | Limited production | High                 |
| Diesel Turbo Boost                 |                   |                    |                      |
|                                    | Pressure          | Limited production | High                 |

표 8. MEMS/MST의 차량 진단 / 모니터링 시스템 응용

| Application(Sensors) | Status             | MEMS/MST Opportunity |
|----------------------|--------------------|----------------------|
| Coolant System       |                    |                      |
| Temperature          | Production         | Low                  |
| Level                | Limited production | Low                  |
| Tire                 |                    |                      |
| Pressure             | Production         | High                 |
| Engine Oil           |                    |                      |
| Pressure             | Production         | High                 |
| Level                | Production         | Low                  |
| Contamination        | Limited production | Medium               |
| Brake System         |                    |                      |
| Pressure             | Limited production | High                 |
| Level                | Future             | Low                  |
| Transmission Fluid   |                    |                      |
| Pressure             | Limited production | High                 |
| Level                | Future             | Low                  |
| Fuel System          |                    |                      |
| Pressure             | Limited production | High                 |
| Level                | Future             | Low                  |
| Pressure(Vapor)      | Limited production | High                 |
| Vehicle Speed        |                    |                      |
| Velocity             | Production         | Medium               |

전망이며, 이를 위한 센서들이 Lucas NovaSensor, Motorola, 그리고 Sensor 등에 의하여 개발되고 있다.

또한 엔진 오일의 모니터링도 매우 중요한데, 현재 가격이 가장 큰 문제가 되고 있다.

이 때 사용되는 압력 센서는 고온의 엔진 오일에 견딜 수 있어야 한다. 따라서 완충 물질, 절연 등 패키징에 있어서 고려할 점이 많다. 현재 신호 처리 회로가 탑재된 센서가 5~7달러 정도의 가격을 목표로 하여 개발되고 있다. 아울러 최근의 자동차에 대한 법적 규제 방침으로 인해 압력 센서가 연료

탱크 내부를 모니터링하여 연료 증발과 관련한 데이터를 제공할 필요가 있다. 차량 진단/모니터링 시스템 응용과 관련한 MEMS/MST 응용 부문을 표 8에 요약한다.

#### 4. 결론

2002년 도를 기점으로 하여 MEMS/MST 부문 전반에 걸쳐 이의 자동차 응용 분야가 매우 큰 시장 규모를 갖게 될 전망이다. 이러한 현상은 MAP 센서로부터 시작되어 가속도 센서를 거쳐 전술한 대부분의 분야로 확장될 것이다. 이러한 MEMS/MST의

자동차 응용 동향은 자동차의 전자 시스템회로에 대한 법적 규제 등을 토대로

#### 참고문헌

1. 주병권, 자동차용 센서 기술 분석, Thermometrics Technology 의뢰 분석 보고서(2000. 12.)
2. R.H.Grace et al., "The growing presence of MEMS and MST in automotive applications," Sensors(1999.9.)
3. Automotive Electronics Handbook, edited by R. Jurgen, McGraw-Hill Book Co., pp.2.3-9.14 (1997)