

자기 센서(2) - 자동차용 센서

양정필*

만도기계 (주) 중앙연구소

경기도 남양주시 와부읍 덕소리 95번지

* 만도기계 (주) 중앙연구소 선임연구원

(1997년 6월 20일 받음)

I. 머리 말

보다 높은 수준의 안락함과 편리함을 추구하는 소비자의 욕구와 안전 및 환경에 대한 국·내외의 법적 강화는 자동차 메이커로 하여금 시대의 요구에 맞는 정밀한 제어 시스템의 개발을 요구하고 있다. 최근 과학 기술의 진보는 다양한 기능을 가진 센서를 비교적 저가에 공급함으로써 자동차의 실시간 지능형 제어(real-time intelligent control)를 가능하게 하고 있다.

자동차에 센서를 포함한 전자적인 기능들이 본격적으로 도입된 것은 1970년대부터이며, 1980년대까지는 비용 절감과 신뢰성 향상의 필요성에 의하여 단순한 기계적인 기능들을 개별적인 전자 소자들로 대체되는 과정으로 특징 지을 수 있다. 오늘날에는 연소 과정의 모니터링, 능동형 현가(active suspension), 항법 시스템(navigation system), 통합 교통 안내 시스템(integrated traffic guide system) 및 유사 기능의 시스템 통합화(system integration) 등과 같은 전혀 새로운 개념들이 실생활에 응용되고 있다.

자동차 관련 기술의 발전 과정에서 센서는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 센서는 자동차의 제어에 필요한 인자들을 모니터링하여 얻어진 정보로부터 최적의 제어가 가능하도록 하는 역할을 하고 있다. 엔진에 흡입되는 연료의 양과 공기와의 혼합비, 기계 부품들의 상태를 나타내는 물리적인 상수들, 차량 속도와 운행 위치 및 방향을 감지하는 것 등이 모두 센서에 의해서 수행되고 있다.

본 고에서는 현재 자동차에 적용되고 있는 센서의 종류와 적용 분야에 대해서 알아 보고, 향후 자동차용 센서의 개발 방향에 대하여 간략히 하고자 한다. 센서들의 종류 및 작동 원리를 기술한 부분에서는 자기적 현상에 기초한 센서를 중심으로 하였다.

II. 몸 말

1. 자동차용 센서의 종류와 요구 특성

현재 세계적으로 판매되고 있는 중급 승용차는 약 40여 개의 센서를 장착하고 있다. 소형차의 경우에도 20여개의 센서가 사용되고 있으며, 최고급 승용차에는 80여 개가 넘는 센서가 사용되고 있다. 센서는 동력을 발생시키는 일련의 연소 과정을 모니터링하고, 차륜과 현가 장치에 가해지는 부하 상태를 파악하며, 충돌과 같은 외부적 위험 요소를 감지해내는 등 우리가 상상하지 못할 정도로 많은 양의 정보를 수집하여 제어장치에 보내주고 있다. Table I 과 II에는 현재 적용되고 있거나 향후 사용될 가능성이 있는 센서들을 사용 위치와 적용되고 있는 기술에 대하여 분류하였다.

자동차는 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 일반적으로 엔진과 트랜스미션으로 이루어진 파워트레인(powertrain), 브레이크, 현가 및 조향 장치를 포함하는 사시(chassis), 그 외의 나머지 부분을 차체(bodywork)로 분류한다. 각 부분에서 사용되는 센서의 장착 위치를 Fig. 1 ~ Fig. 3에 도시하였다. 엔진에 사용되는 센서는 대략 12개 정도로 연료 혼합, 연소 조절 및 엔진에 사용되는 유체, 배기 가스 모니터링과 같은 기능을 수행하기 위한 센

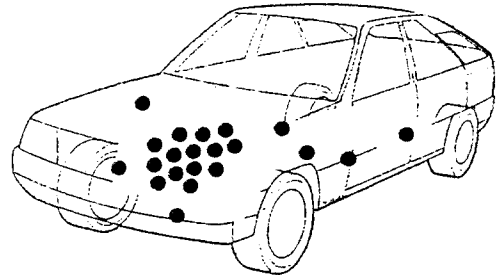


Fig. 1. Positions of sensors in powertrain- Currently most of the sensors are used to monitor the engine. Sensors are still rarely found in the rest of the transmission path.

서들이 기본적으로 장착되어 있다. 엔진에 비하여 트랜스미션에는 많은 센서가 사용되고 있지 않다. 클러치와 기어 등에 토크 센서의 필요성이 제기되고 있으나 비용상의 문제로 인하여 활발히 진행되지 못하고 있다.

자동차의 동력을 도로에 전달하고, 충돌이나 기타의 위험으로부터 운전자를 보호하는 기능을 담당하고 있는 샤시는 1978년 ABS 시스템(anti-lock braking system)이 도입되기 이전에는 거의 전적으로 운전자의 힘 또는 유압 시스템의 작용으로 동작하는 기계적인 구조로 구성

되어 있었다. 그러나, 현재 고급 승용차에는 차륜 속도, 유압, 타이어 압력, 조향각, 스프링의 휨 등을 감지하기 위하여 센서가 적용되고 있다. ABS(antilock braking system), ASC(automatic stability control) 및 4-WD(four wheel drive)가 적용된 차량에서 센서들의 위치를 Fig. 2에 도시하였다.

차체(bodywork)에 사용되는 센서로는 시트, 백미러 등의 위치를 감지하고, 연료와 세척 액의 양을 측정하고, 차내의 온도나 습도를 조절하는 간단한 기능의 센서에서

Table I. Applications, measuring parameters and principles of sensors in powertrain and chassis.

In Section		in Systems for	required for	mechanical contact	precision engineering, capacitor, inductors	potentiometers	conducting bodies, layers	piezoelectric	semiconductors	others
Powertrain	engine	engine fluid	1. cooling water temperature 2. oil level, 3. oil pressure, 4. oil temperature, 5. alcohol in petrol, 6. battery charge		2 3		2 5		1 3 4	1 2 4 5
		ignition	1. crank angle, 2. top dead center, 3. knocking, 4. suction pipe, 5. accelerator position				4 3	1 2		
		exhaust monitoring	1. λ -probe, 2. pollutant probe, 3. CAT temperature	4,3	2,5		4	1,4	1,3	
	transmission	clutch	1. oil temperature, 2. torque			1,2				
		gearing	1. gear position		2			1	1	
		differentials			1				1	
chassis	brakes	ABS, ASC	1. rotational wheel speed, 2. hydraulic pressure, 3. brake-lining abrasion	3	1,2			2	2	
	wheel suspension	active damping	1. tyre pressure, 2. acceleration, 3. road condition		1,2			1,2	1,2	3
		active suspension	1. spring deflection, 2. angle velocity		1,2	1		1	1	
	steering	active rear-wheel steering	1. steering angle, 2. wheel deflection		1,2	1,2				

* Upright : In production, Slanted : Sensors under discussion proposed

Table II. Applications, measuring parameters and principles of sensors in bodywork.

In Section	in Systems for	required for	mechanical contact	precision engineering, capacitor, inductors	potentiometers	conducting bodies, layers	piezoelectric	semiconductors	others	
body work	basic function	door/window remote control	1				3	3	2	
		screen wipers		1		1		2	1,2	
		tank monitor	1.fuel level		1		1		1	
		lighting	1.function test, 2.inclination angle, 3.blinding	1	2				3	2
	comfort	support systems	1.crash sensor, 2.fastening recognition	2	1			1	1	
		seat/mirror	1.position	1		1				
		air condition	1.outside temperature, 2.outside temperature, 3.humidity, 4.gases, 5.rain gauge				3 4 5		1,2 3,5	1 2
		burglary	1.screen condition							1
	navi-gation	collision prevention, parking guidance	1.radar systems, 2.ultrasonic radar							1 2
		autonomous vehicle	1.terrestrial magnetism sensor, 2.gyration							1 2

* Upright : In production, Slanted : Sensors under discussion/proposed

부터 주행 시 주위 차량과의 거리나 상대 속도를 측정하고 위험을 알려주는 충돌 경고 시스템, 목표 지점까지 주행 경로를 알려주는 항법 시스템(navigation system)에 사용되는 센서들이 있다(Fig. 3).

센서는 매우 열악한 환경에서 사용되므로 극한적인 환경에서도 신뢰성을 유지할 수 있도록 내구성과 내환경성을 가져야 한다. 센서는 사용 환경에 따라 -40~100 ℃의 온도 범위에서 사용되나, 엔진에 사용되는 센서는 150 ℃ 이상에서도 정상적으로 작동할 수 있어

야 한다. 브레이크와 연소 과정을 감지하는 센서는 1000 ℃에 가까운 고온에서 노출되기도 한다. 또한, 센서는 온도의 급격한 변화, 중력의 30배가 넘는 가속 환경, 각종 전기 기기에 의한 전자파 간섭(electro-magnetic interference) 환경에서도 정상적으로 작동해야 한다. 이외에도 습기, 부식성 물질, 유류에 손상 받지 않도록 내식성을 가져야 하는 등 매우 까다로운 요구 조건을 만족하여야 한다.

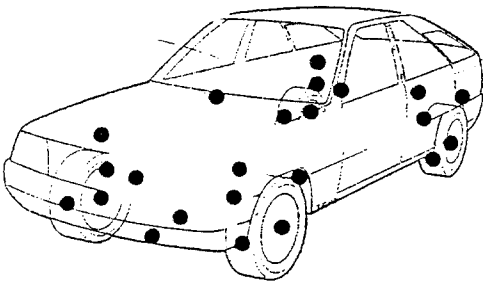


Fig. 2. Positions of sensors in chassis-The chassis sector makes particular use of engine speed sensors for the wheels and manometers for the brake hydraulics.

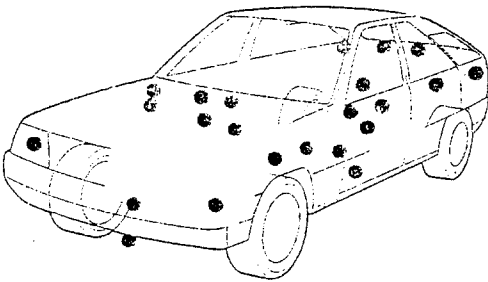


Fig. 3. Sensors in bodywork-Apart from standard functions such as door, window and engine fluid monitoring, the bodywork contains special sensors for convenience functions such as air conditioning and safety functions like the crash sector.

2. 자기적 현상을 이용한 센서의 작동 원리

본 절에서는 자기적 현상을 이용한 대표적인 센서들과 그 측정 원리에 대하여 알아보려고 한다. 여기에서 소개되는 대부분의 센서는 가장 기초적인 자기 현상을 이용한 것으로 일반적인 내용 위주로 소개하고자 한다.

2. 1. 각속도 및 각위치 검출 센서

자기 유도 센서 (magnetic inductive sensor)

Table I에 소개한 센서 가운데 crank angle이나 차륜의 회전 속도를 감지하는데 사용되는 대표적인 센서로서 Fig. 4에 도시한 자기 유도 센서가 있다. 이 센서는 치차 모양을 가진 강자성체의 디스크가 회전축에 부착되어 있고, 코일이 감겨진 영구자석이 차체에 가깝게 위치한

구조를 가지고 있다. 이 때 코일에 유도되는 전압은 자속의 변화에 비례하고, 잘 알려진 바와 같이 다음의 관계식에 따라 감지되는 전압과 자속의 변화로부터 각속도를 구할 수 있다.

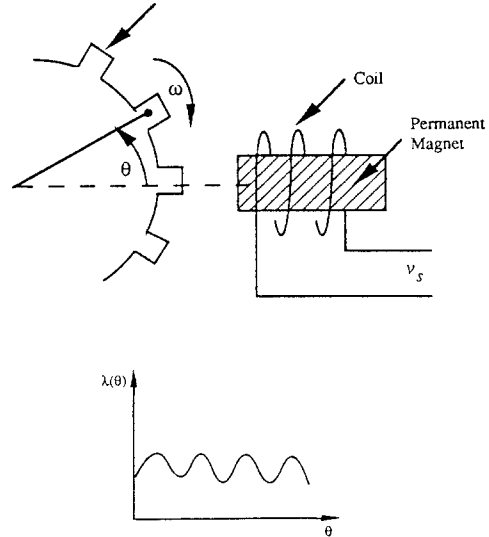


Fig. 4. Inductive angular position sensor.

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\lambda}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega \frac{d\lambda}{d\theta}$$

where, λ is the magnetic flux linkage in the coil (1)

이러한 자기 유도 센서는 구조가 간단한 장점이 있으나, 회전 속도에 따라 출력값이 변하고, 정지되어 있는 상태에서는 어떠한 출력 값도 낼 수 없다는 단점을 가지고 있어 모든 회전 속도에서 정확한 각 위치를 요구하는 경우에는 적용이 곤란하다.

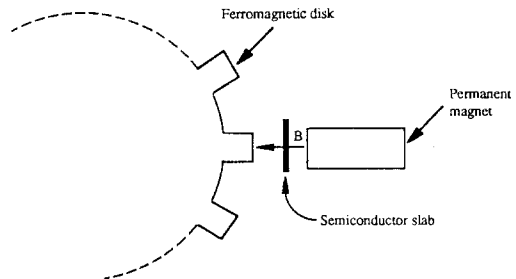


Fig. 5. Magnetoresistive sensor configuration.

자기 저항 센서 (magnetoresistive sensor)

회전 속도에 관계없이 정확한 출력을 내는 센서로는 자장의 크기 변화에 따라 저항이 바뀌는 원리를 응용한 자기 저항 센서가 있다. 이 센서는 얇은 판 형태의 반도체 재료를 치차와 영구자석 사이에 위치시켜 치차의 회전에 따른 자속의 변화를 이용하여 각속도를 측정한다. 자기 저항 재료의 저항은 가해지는 자장의 함수로 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\rho(B) = \rho_0(1 + \gamma B^2)$$

where, B is the magnetic flux density (2)

자기저항 재료는 Fig. 6와 같은 브리지 회로(bridge circuit)에 연결되어 자속 밀도 B에 비례하여 전압을 출력한다. Fig. 6에 도시한 브리지에서 세 개의 저항 값은 $R_0 = R(B)|_{B=0}$ 로 고정된다. 그러나, 강자성체인 디스크가 회전함에 따라서 자속 밀도가 주기적으로 변화하게 되고 브리지의 전압 v_o 도 회전축의 각도에 따라 주기적으로 변화하게 된다. 이 때 하나의 사이클은 톱니 모양의 강자성 치차에서 하나의 톱니에 해당된다. 자기 저항의 원리를 이용한 센서는 회전 속도에 무관하게 정확한 값을 출력할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

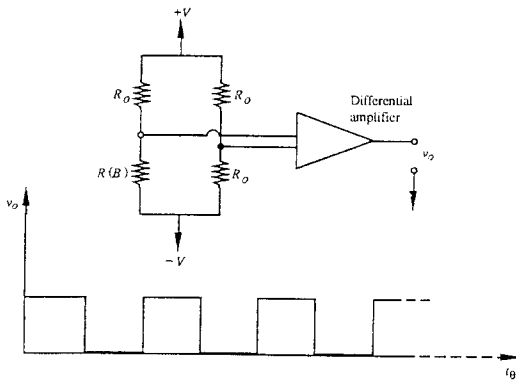


Fig. 6. Bridge configuration and output wave form of magnetoresistive sensor.

Hall-effect 센서

자기 저항의 원리를 이용한 센서의 가장 큰 장점은 회전 속도에 관계없이 전 속도 범위에서 정확한 출력을 낸다는 것이다. 이와 유사한 장점을 가진 센서로는 Hall-effect 센서가 있다. Hall-effect 센서는 반도체 재료를 이용하여 자기 저항 센서와 유사한 구조를 갖는다. 이 센

서의 작동 원리는 잘 알려진 "Hall-effect"에 기초한 것으로 자기장 내에 놓여진 회로에 전류가 흐를 때 전류의 흐름이 자기장에 의해서 왜곡되는 현상으로 Fig. 7에 그 원리를 도시하였다. 자기장 내에서 전류가 흐를 때는 항상 Lorentz force가 전자에 작용하게 되고 이 힘은 전자의 속도와 자기장의 방향에 비례한다. 또한, 이 힘은 자기장의 방향과 전자의 운동 방향에 수직한다. Fig. 7의 경우는 Lorentz force의 방향은 아래로 작용하게 되어 음전극으로 전자가 이동하게 된다. 이로 인하여 위쪽의 양전극과 전하의 불균형에 의하여 전기장이 형성되며, 치차가 회전함에 따라서 Fig. 7에 도시한 모양의 파형을 출력하게 된다.

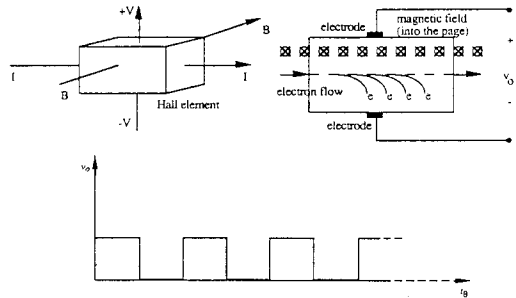


Fig. 7. Hall-effect sensor configuration and waveform.

2. 2. 가속도계 (accelerometer)

가속도계가 자동차에 적용되기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 현가 장치나 운전자를 보호하기 위해 에어백에서 가속도계는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 적용 기술에 따라 다음과 같은 종류의 가속도계가 있으며, 그 원리를 간단히 요약하였다.

압전 가속도계 (piezoelectric accelerometer)

수정이나 일부 세라믹 소재는 응력을 전기적인 신호로 변환할 수 있는 특성을 가지고 있다. Fig. 8은 압전 세라믹을 이용한 가장 간단한 형태의 가속도계이다. 두 개의 얇은 세라믹 디스크가 금속판에 부착되어 세 개의 층을 형성하는 구조를 가지고 있다. 금속판은 세라믹 디스크가 회로에 전기적으로 접촉하도록 하며, 동시에 세라믹 디스크를 지지하는 역할을 한다. 세라믹 디스크의 중심에 놓여진 부하는 상하 운동 시 세라믹 소재에 하중을 가함으로써 전기적인 신호를 만들어 낸다.

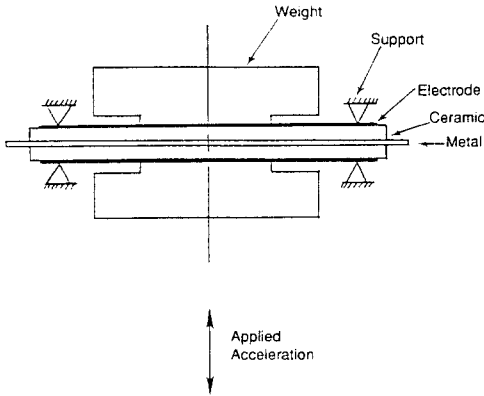


Fig. 8. Piezoelectric accelerometer.

후막 기술을 이용한 가속도계 (accelerometer using thick film technology)

후막을 이용한 가속도계의 전형적인 예를 Fig. 9에 도시하였다. 알루미늄 세라믹 빔의 양쪽 면에 압전 재료를 후막의 형태로 입힌 후 세라믹 빔의 끝 단에 부하를 놓은 이 구조는 빔이 진동함에 따라 상하면에 프린트된 압전체의 막이 인장 또는 압축을 받게되어 전기적인 신호를 출력하는 것으로 근본적으로 압전 현상을 이용하고 있다.

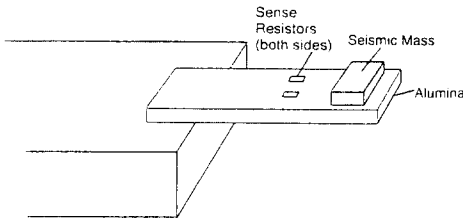
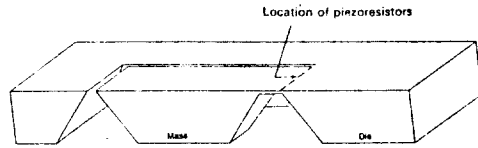


Fig. 9. Thick film accelerometer.

마이크로머시닝에 의한 가속도계 (micromachined accelerometers)

마이크로 머시닝 분야의 기술적인 발전은 Fig. 10과 같은 형태의 압전형 가속도계의 개발을 가능하게 하였다. 마이크로 머시닝을 이용한 가속도계의 구조는 후막형 가속도계와 매우 유사하며, 앞의 두 예와 같이 압전 현상을 응용하고 있다. Fig. 10은 실리콘을 이용한 가속도계의 전형적인 예이다. 마이크로 머시닝에는 주로 실리콘이 사용되고 있다. 실리콘의 우수한 기계적 특징은 전기회로의 고집적화를 가능하게 한다. 실리콘의 가장 큰 특징으로는

취성을 들 수 있다. 실리콘은 소성 변형이 거의 없고, 깨지기 직전까지 거의 완전히 탄성적인 거동을 나타낸다.



Cross-section of silicon piezoresistive accelerometer.

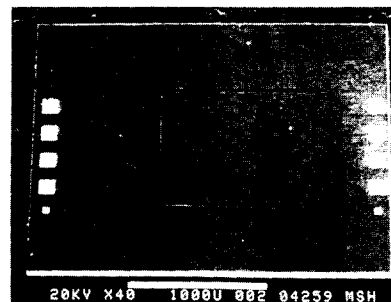
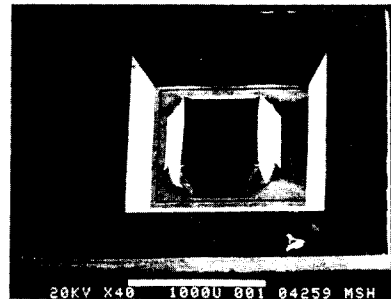


Fig. 10. Cross-section and SEM micrograph of silicon piezoresistive accelerometer.

2. 3. 연소 과정에 사용되는 센서

일련의 연소 과정을 모니터링하고 제어하는 과정에 적용되는 센서로는 흡입 공기의 온도, 흡입량, 냉각수 온도, 오일의 온도, 압력과 양을 조절하기 위한 센서 등 10 여개에 이르는 센서가 적용되고 있다.

압력 센서

연소 과정을 모니터링하고 연소 시 압력의 변화를 측정하기 위하여 각 실린더마다 저가의 압력 센서를 사용하고 있으며, 이 압력 센서에는 내열성 압전 세라믹 소자가 사용되고 있다. 이 센서 하나로 실린더의 압축 정도, 점화 순서를 한번에 알아낼 수 있으며, 소프트웨어적으로 적정

점화 시기를 정확히 조절할 수 있어 불완전 연소 등에 의한 연료의 낭비와 유해 가스의 배출을 최소화할 수 있다.

Lambda probe

연료와 공기의 혼합비를 감지하는 센서인 lambda probe는 그 값을 정확히 측정하기 위하여 이전에는 약 50 회 이상의 실린더 행정을 필요로 했다. 그러나 최근에 개발된 lambda probe는 기존의 zirconium oxide 소결체 대신에 약 1 μm 이하의 strontium titanate (SrTiO₃) 박막을 사용함으로써 각각의 실린더로부터 감지되는 혼합비를 5 ms의 속도로 구별할 수 있게 되었다.

Ⅲ. 맺 음 말

자동차는 센서의 시장 규모면에서 볼 때 공장 건설 및 프로세스 공학 분야(plant construction & process engineering) 다음으로 큰 시장이며, 그 적용 분야 역시 끊임없이 증가하고 있다. 현재의 자동차 관련 기술의 발전 양상으로 볼 때 배기 가스 정화 장치, 능동형 사시(active chassis), 주차 도움 장치(parking aids), 충돌 방지 레이더 시스템(radar systems to avoid collisions), 안전 항법 시스템(safe navigation system) 내지는 자동 항법 시스템, 더 나아가서는 통합 교통 안내 시스템(integrated traffic guide system) 등이 머지 않아 실용화될 전망이다. 일부 시스템은 실생활에 적용되고 있다. 최근의 정보 저장 및 처리 능력의 급격한 증가와 더불어 자동차용 센서 분야의 가장 두드러진 특징은 기능 중심으로 부품을 통합하는 모듈화(modularization)와 서로 다른 기능들을 유기적으로 연결하는 네트워크화를 들 수 있으며, 이에 따라 센서의 적용도 크게 확대될 전망이다.

자동차 분야에 얼마나 많은 센서가 장착될 것인가의 문제는 앞서 서술한 기술적인 측면 이외에도 비용에 크게 의존하고 있다. 이는 센서를 도입함으로써 비용이 높아지지 않은 범위 내에서 현재 쓰이고 있는 부품에 비하여 높은 신뢰성을 가져야 하며, 보다 정밀한 감지가 가능해야 한다. 최근의 박막 기술의 발전과 더불어 자기 저항(magnetoresistivity)과 자왜(magnetostriction) 현상 등을 이용한 새로운 저비용 고기능 센서의 개발은 자동차 분야에 있어 자기 현상에 기초한 센서의 적용 가능성을 높여 주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Christopher O. Nwagboso, Automotive sensory systems, Chapman & Hall, London(1993).
- [2] Peter Kleinschmidt and Frank Schmidt, Sensors and Actuators A, 31, 35(1992).
- [3] U. Lampe, S. Kornely, W. Hanrieder and H. Mixner, Proc. 24th ISATA Int. Symp. On Automotive Echnology and Automation, Florence, Italy, May 20-24, 1991.
- [4] J. Gerblinger and H. Meixner, Sensors and Actuators B, 4, 99-102(1992).
- [5] J. Gerblinger and H. Meixner, Sensors and Actuators B, 6, 231-235(1992).
- [6] J. Binder, Sensors and Actuators A, 31, 60(1992).
- [7] G. Cotignoli et al., Sensors and Actuators, 75 (1989).
- [8] W. Yun and R. Howe, Proceedings of Sensors Expo, Chicago(1991).