

차량 안전성 강화 MEMS 센서 응용 현황



자동차의 안전 기능이 소비자의 욕구와 관련 법제를 통하여 더욱 강화되면서 자동차의 물리적인 신호를 보다 다각도로 측정하는 MEMS 센서의 중요도는 더욱 강조될 것이다. 이와 관련하여 객관적인 자료를 토대로 MEMS 센서의 응용 현황을 조사, 분석해 보고자 한다.

글 | 주 병 권 교수 <bkju@korea.ac.kr>
고려대학교 전기전자전파공학부
<http://diana.korea.ac.kr>

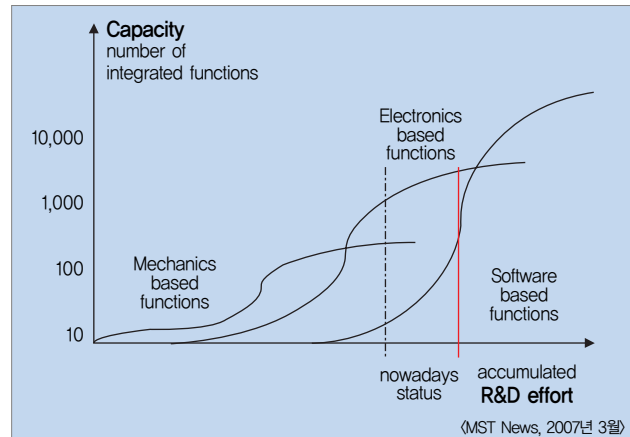
기계공학을 기반으로 한 자동차 기술에 전자기술과 소프트웨어 기술이 부가되면서 차량 사고 및 이로 인한 손실의 감소, 차량에 의한 환경오염 감소, 그리고 연비 향상 등이 이루어져 온 것은 분명하다. 이러한 동작 메커니즘의 상당 부분은 각종 신호들이 센서를 통하여 감지되면서 시작되고, 특히 물리적인 신호와 직결되는 MEMS (Microelectromechanical Systems) 센서의 기여도는 보다 명확해지고 있다.

자동차의 전자화

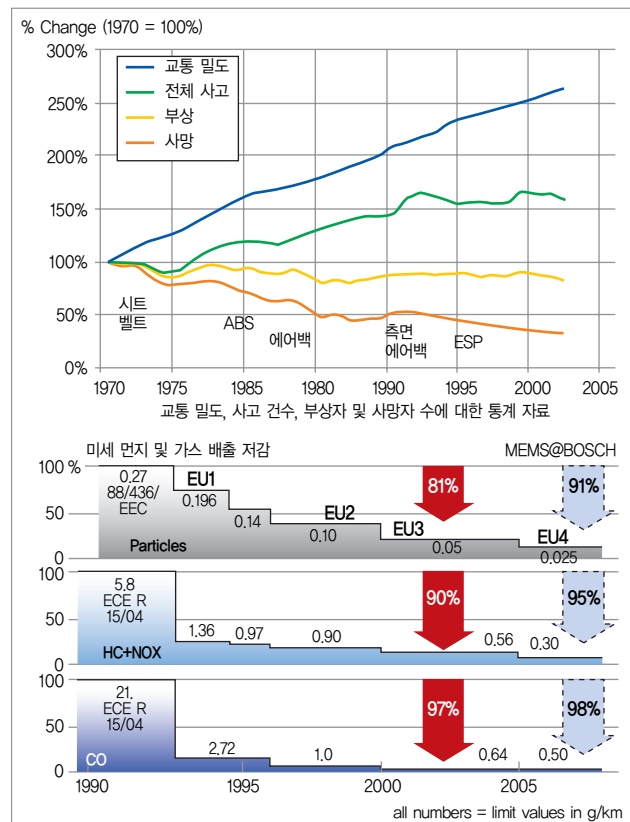
운송이라는 기본 기능 외에 안락, 안전, 정보 습득, 주변 환경과의 통신 등 자동차에 요구되는 기능이 증대하면서 기계공학만이 갖는 한계가 전자공학과 IT 기술로 극복되고 있다(그림 1 참조). 자동차의 기능 증가는 전자화 및 소프트웨어 기술의 접목과 함께 지수적으로 증가하고 있다. 따라서 현재와 미래의 자동차는 기계공학-전자공학-IT 공학의 집합체임은 당연하다.

자동차의 기계적인 기능에 센서에 의한 고정밀 계측, 전자적인 제어 기능 그리고 IT 기능이 접목되면서 자동차는 안전, 환경, 경제적인 면에서 급격한 진보를 이루고 있다(그림 2 참조). 즉, 1970년 대비 자동차 대수, 교통사고는 각각 3배와 1.5배 이상 증가했지만, 부상자와 사망자 수는 오히려 감소하고 있다. 이는 시트벨트 시스템, ABS(Anti-lock Braking System), 에어백, ESP®(Electronic Stability Program)^{※1} 등과 같은 안전 시스템의 도입에 의한 것으로 볼 수 있다. 또한 자동차로부터 미세 먼지, 탄화수소, 산화질소, 일산화탄소 등의 오염도도 센서를 바탕으로 한 정화 및 제어 시스템에 의해 급격히 줄어들고 있다. 이와 함께 연비 향상에 따른 경제적인 효과도 큰 발전을 이루고 있으며, 이는 모두 자동차의 전자화, 지능화가 가져온 혜택이다.

앞으로도 자동차의 전자화가 진전됨에 따라 다양한 기능이 개발될 것이다. 따라서 시스템의 다양화를 통한 안전, 안락 기능, 특히 ABS, ESP, EPS(Electric Power Steering)를 통한 안전 기능의 강화, 차량 내 각종 시스템 간의 네트워킹, 전자장치의 수와 종류가 증가하면서 겪게 되는 전자파간섭(EMI)과 정전기방전(ESD)에 대한 내구성, 차량과 차량 또는 차량과 도로 간 통신, 충돌 회피 기능, 기능의 향상과는 별도로 요구되는 가격 절감에 대한 요구 등이 중요한 요소가 되고 있다. 이와 함께 안전, 환경과 관련된 각종 의무사항도 자동차의 전자화를 더욱 가속화하고 있다. 일례로 미국 고속도로교통안전위원회(NHTSA)가 제정한 차량 자세 제어(Electric Stability Control, ESC)의 적용 의무화 등이 이에 해당한다. 궁극적으로는 안전성이 강



【그림 1】 자동차의 기능 증가와 기술의 접목



【그림 2】 자동차의 전자화 및 기능화에 의한 안전, 환경적 효과

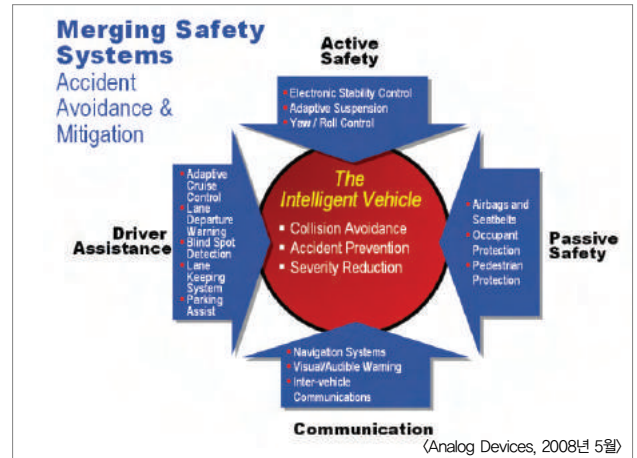
※1 ESP®는 전자식 주행 안전 시스템으로, 보쉬가 처음 소개했다. ESP는 각각의 바퀴를 선별적으로 제동함으로써 운전자가 원래 의도했던 방향으로 자동차가 주행할 수 있도록 해준다. 또한 제동 시 개입할 뿐만 아니라, 엔진 출력 및 구동축의 변속을 제어해 준다. ESP는 보쉬의 상표권 등록에 따라, 2008년부터 사용이 제한돼 ESC라는 명칭을 사용하고 있다. 그러나 그 기능과 원리는 ESP와 동일하다.

화된 지능형 자동차의 완성이 목표이며, 이를 위해 능동안전 기능, 수동안전 기능, 통신 기능, 그리고 운전자 보조 기능과 관련된 연구개발의 집약이 필요하다(그림 3 참조).

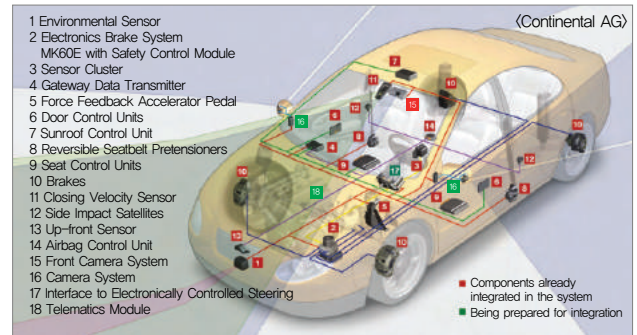
안전성 강화를 위한 '센서'

능동 및 수동 안전 기능의 강화에는 대표적으로 다음과 같은 기능들이 요구된다. 충돌 경고 및 대비, 충돌 전 자동 브레이킹, 차선 이탈 경고, 자동주차, 전복 방지 및 완화, 적응 주행, 측면 충돌 대비, ESC, 시트벨트의 자동 조절 등이 이에 해당한다. 이를 위해 환경 센서, 전동 브레이크, 데이터 송신기, 도어 및 선루프 관리 장치, 시트벨트 제어 장치, 속도/가속도/각속도 센서 시스템, 에어백 제어 장치, 카메라 모듈, 텔레매틱스 모듈 등과 같은 다양한 센서 및 관련 시스템들이 준비되어야 한다(그림 4 참조).

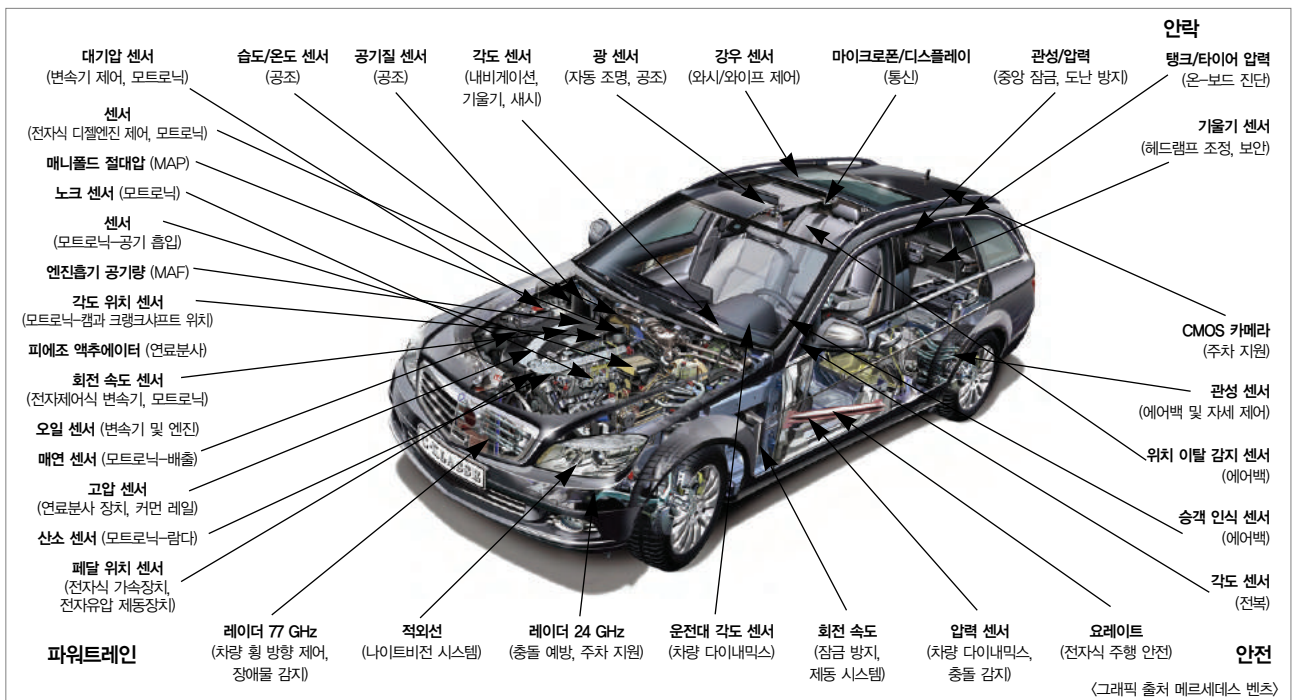
자동차용 센서는 적용 분야별로 볼 때 엔진용, 차량 제어용, 충돌 회피용, 안전용, 승객의 안락/편이용 등으로 구분되며, 감지 대상별로는 기계량 센서, 화학 센서, 전자기 센서, 온도 센서, 광/적외선 및 방사선 센서 등 감지 영역과 범위가 다양하다(그림 5 참조). 이들 중에서 안전성 강화와 직결된 센서는 압력 센서와 관성 센서류, 즉 가속도 및 각속도 센서이며 대부분 MEMS 기술에 의해 제작되는 MEMS 센서이다.



[그림 3] 전자 기능의 강화에 의한 지능형 자동차 실현



[그림 4] 능동/수동 안전 시스템의 집적화



[그림 5] 오늘날 자동차용 센서 포토폴리오

MEMS 센서의 동작 원리

MEMS 센서의 대표적인 특징으로는 집적화/지능화-소형화-저가 격화를 들 수 있다. 이러한 특징을 바탕으로 압력 센서를 필두로 하여 1960년대부터 개발되기 시작했다. 1990년대 초반에는 압력 센서가 상용화되었고 1990년대 후반과 2000년대 초반에는 각각 가속도 센서와 각속도 센서가 상용화되었다(그림 6 참조). 종래의 기계적인 센서로부터 소형화된 MEMS 센서로 발전하면서 기능은 추가되고 소비 전력과 가격은 감소하는 효과를 보이고 있다. 이러한 MEMS 센서는 신호처리용 ASIC과 함께 패키징된 마이크로시스템 수준으로 자동차의 각 요소에 적용되고 있다.

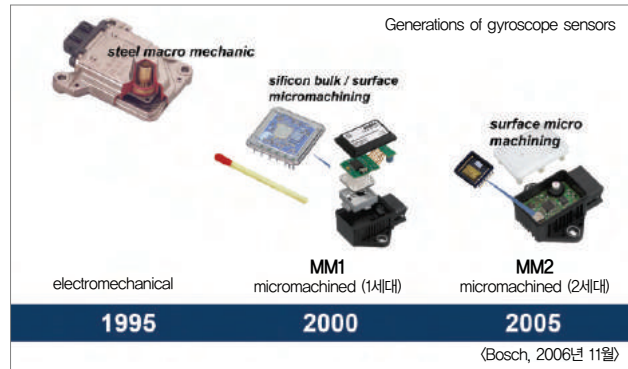
자동차용 기계량(관성) 센서의 센싱 축은 전진 및 후진 방향(X축), 좌우 방향(Y축), 상하 방향(Z축), 수평 회전 방향, X축을 중심으로 한 전복 회전 방향, 그리고 Y축을 중심으로 한 전복 회전 방향으로 구분할 수 있다(그림 7 참조). 따라서, 총 여섯 종류의 축을 중심으로 한 직선 운동 및 회전 운동을 감지하기 위한 여섯 종류의 센서가 있으며, 이들은 각각 충돌 감지 시스템, 전자 안정성 제어, 내비게이션/운전자 정보 시스템, 바디/세시 제어 시스템, 그리고 적응 순항 제어 등과 관련된 기타 시스템 등에 적절한 조합을 이루면서 설치된다(그림 8 참조).

압력 센서는 MEMS 센서로서 가장 먼저 연구되고 상용화된 소자이다. 이는 실리콘의 압저항 특성을 이용하는 압저항형과 평행판 커패시터의 전극 간 거리 변화를 이용하는 용량형이 있으며, 두 경우 모두 실리콘의 결정 의존성 식각, 미세 가공으로 제작된 두께 20 μ m 이하의 다이어프램을 이용한다(그림 9 참조). 센서와 함께 신호처리 회로가 집적화된 경우도 있으며, 센서 칩은 압력 인가 홀이 가공된 파이렉스 유리와 정전 열 접합되어 실장되고, 와이어 본딩 후 금속 뚜껑을 덮거나 플라스틱 패키지로 몰딩 된다.

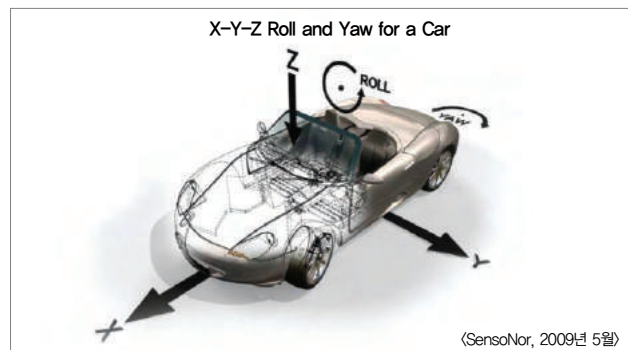
압력 센서는 TPMS, 엔진 압력, 충돌 감지 등에 사용되며, 특히 노면 상태 등의 변화에 따른 타이어의 압력을 실시간으로 측정해 조절하는 TPMS 기능이 최근 강조되고 있다. TPMS는 자동차의 최적 주행과 안전성, 연비 절감을 위해 중요한 역할을 한다.

관성 센서에 해당하는 가속도 및 각속도 센서는 자동차의 속도 변화, 충돌, 회전, 전복 등을 감지한다(그림 10 참조). 일례로 차량의 전복을 감지하기 위해서는 각속도계와 가속도계의 신호가 함께 감지됨으로써 시스템의 알고리즘이 매 순간마다 각속도 ω X 뿐만 아니라 차량과 Z축 간의 각도도 결정한다. 이를 통하여 전복 센싱 알고리즘은 에어백이나 벨트 조절기가 동작해야 하는 정확한 시점을 결정하게 된다.

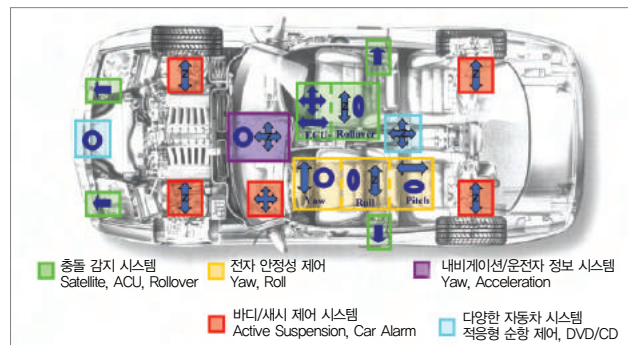
가속도 센서는 움직이는 구조물을 평행판 커패시터의 한 쪽 전극으로 하여 동작하는데, 속도 변화에 따른 커패시터의 전극 간 거리 변



【그림 6】 MEMS형 각속도 센서의 발전 과정



【그림 7】 자동차용 기계량 센서의 센싱 축의 정의



【그림 8】 자동차에 설치된 관성 센서 및 시스템



【그림 9】 실리콘 압력 센서 및 TPMS 응용

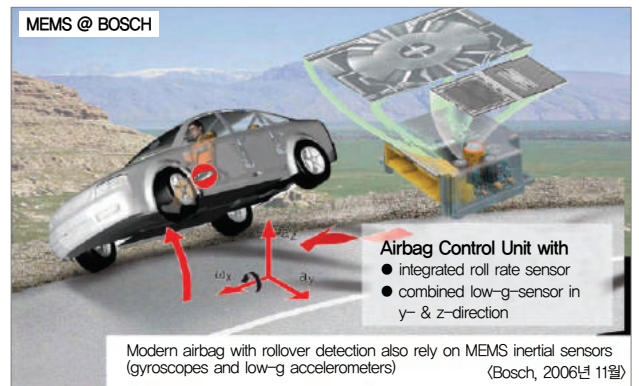
화나 겹쳐지는 전극 면적의 변화에 따라 정전용량이 바뀌는 특성을 이용한다(그림 11 참조). 일례로, 빗살형 구조물(Comb actuator) 형태의 전극이 평행판 커패시터를 이루고 있고, 가속이 발생하면 유동성이 있는 전극 부분이 움직여 정전용량의 차이를 유도하며, 이 값은 신호처리 회로에 의하여 전압이나 혹은 주파수의 변화로 얻어지기도 한다. 즉, '속도 변화 → 정전용량 변화 → 전압(혹은 주파수) 변화' 과정을 거쳐 동작한다. 따라서 가속도계 내에서는 가속도 센서 칩과 함께 신호처리용 ASIC이 내장돼 있다. 각속도 센서의 경우, 액추에이터가 회전축을 중심으로 움직이는 것을 제외하고는 가속도 센서와 동작원리가 유사하다(그림 12 참조).

일례로, ST마이크로일렉트로닉스의 자동차용 3축 가속도계(모델명: AIS326DQ)는 도난 방지 및 경보, 관성 내비게이션, 움직임 기반 기능, 진동 계측 및 보상, 그리고 차량용 블랙박스 기록제 등에 적용할 수 있다(그림 13 참조). 규격을 살펴보면 3축 측정 가능, 2.0 V ~ 3.6 V의 동작전압, $\pm 2 \text{ g} / \pm 4 \text{ g} / \pm 8 \text{ g}$ 의 동작 영역 선택, 10 Hz ODR에서 10 μA 의 소비전력, 0.2 $\text{mg}/^\circ\text{C}$ 이하의 오프셋 드리프트, 12 비트의 데이터 정확도, 28핀 QFPN의 4 mm×4 mm 패키지 등이 해당한다.

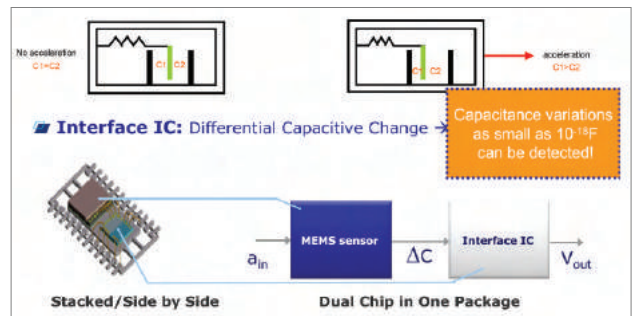
MEMS 센서의 제조공정 및 패키지

실리콘을 기반으로 한 MEMS 센서가 갖는 대표적인 장점은 센서와 회로를 함께 집적화할 수 있다는 점이다. 그러나, 센서와 ASIC을 단일 칩으로 구성하는 것이 장점만을 가진 것은 아니다. 단일 칩 구성의 경우, 신호 대 잡음비(SNR)는 증가하고, 전기적 연결선 수가 감소하며, 패키지 크기가 줄어든다는 장점은 있으나 MEMS 공정과 회로 공정 간의 친화성 문제로 인한 공정 및 소자 성능에서의 제한, 수율과 생산성에 관련된 문제 등 불리한 점이 있을 수 있다. 반면에 센서와 ASIC을 별도 칩으로 제작하여 패키징하는 경우, 신호 대 잡음비의 감소, 패키징에서의 복잡성 문제는 있지만 설계 및 공정의 자유도가 증가하고 테스트와 수율 등의 문제로 상대적으로 해결될 수 있다(그림 14 참조). 이 때는 한 패키지 내에 센서와 마이크로컨트롤러, 전원부 등과 같은 다수의 칩이 내장된다.

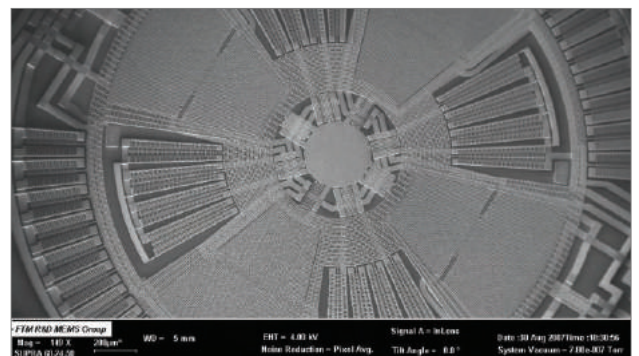
MEMS 센서와 패키지 공정은 전공정과 후공정으로 구분된다(그림 15 참조). 전공정에서는 실리콘 기판 위에 마이크로머시닝 공정과 반도체 공정을 이용하여 센서를 만들고, 이를 상부 및 하부용 유리 기판과 정전 열 접합하고, 테스트, 칩 다이싱, 검사 과정까지 진행이 된다. 후공정은 센서 칩과 별도로 제작된 ASIC 칩을 리드프레임 위에 실장, 플라스틱 패키지 내에 조립, 예폭시 몰딩, 단자에 전기 도금, 트



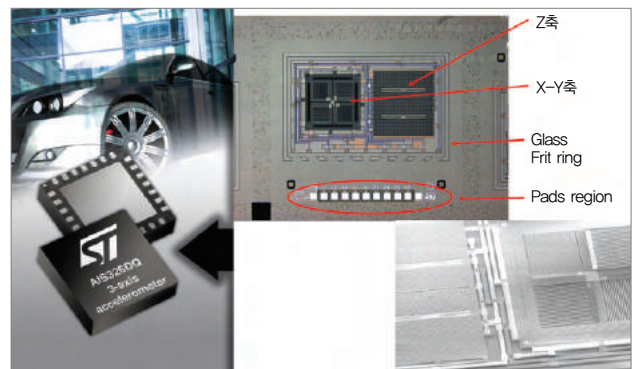
【그림 10】 MEMS 관성 센서를 이용한 차량의 자세 감지 및 제어



【그림 11】 MEMS 가속도계의 동작원리 (ST마이크로일렉트로닉스, 2009년 6월)



【그림 12】 MEMS 각속도 센서 (ST마이크로일렉트로닉스, 2009년 6월)

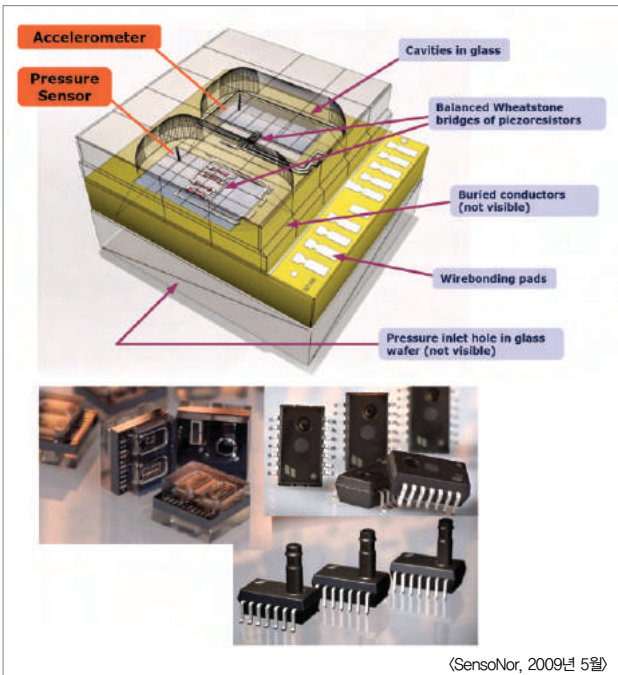


【그림 13】 3축 측정용 가속도계의 일례 (ST마이크로일렉트로닉스, 2009년 6월)

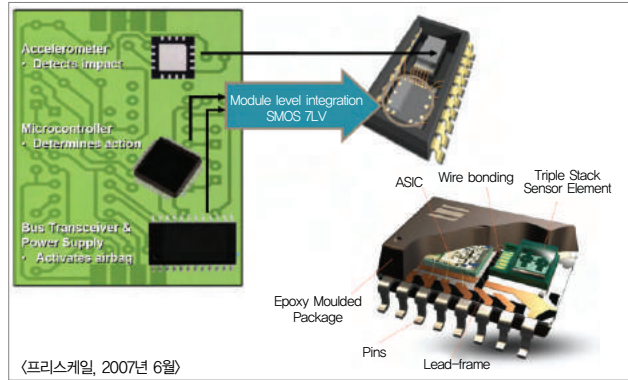
리밍, 테스트, 레이저 마킹, 그리고 최종 패키징을 거치는 과정을 포함한다.

SensoNor의 압력 및 가속도 복합 센서가 패키지의 일례를 잘 묘사하고 있다(그림 16 참조). 실리콘 기판 위에는 압력 센서와 가속도 센서가 함께 제작돼 있으며, 상부 유리 기판에는 밀폐된 여유 공간이 제공되고 있고 하부 유리 기판에는 압력 인가용 홀이 가공돼 있다. 밀폐 공간 내로부터 외부의 패드까지 전기적인 연결선이 형성돼 있으며, 상부와 하부의 유리 기판과 센서용 실리콘 기판이 정전 열 접합에 의해 적층으로 결합돼 있다. 이러한 센서 칩과 ASIC 칩이 한 개의 플라스틱 패키지 내에 내장돼 있으며, 패키지에는 압력 인가용 튜브가 설치돼 있다.

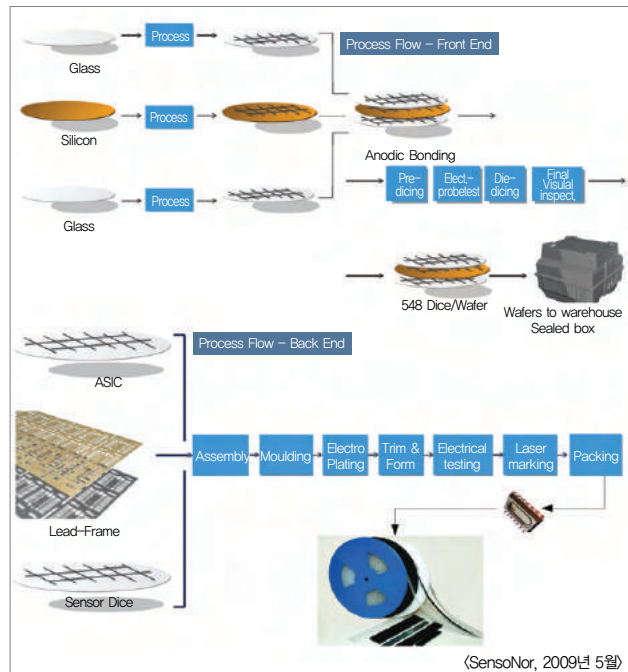
궁극적으로 센서와 신호처리 회로의 집적화는 SOI(Silicon-on-Insulator), 표면 및 몸체 미세 가공 등을 통한 보다 다양한 센서 기술의 복합화와 고집적 인터커넥션, 전원, 고성능 집적회로 기술, 그리고 이를 제어하기 위한 소프트웨어 기술이 결합되어 가면서 시장을 열어갈 것으로 예측되고 있다(그림 17 참조). 이와 함께 자동차의 네트워킹, 안전성, 환경적인 요소가 더욱 강화되어 가면서 수요가 새로운 제품, 보다 다양한 기능을 갖는 제품을 요구할 가능성은 더욱 높아지고 있다.



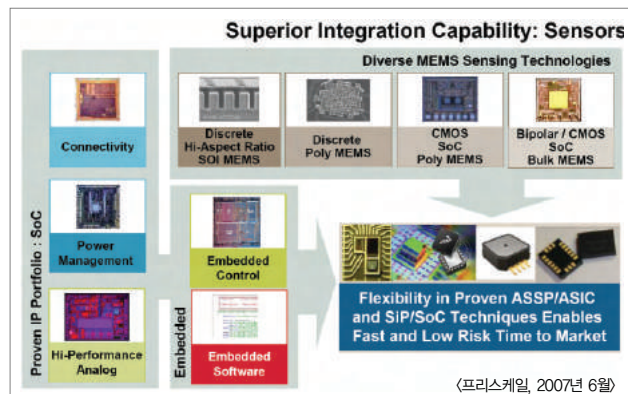
【그림 16】 유리 기판과 접합된 실리콘 센서와 패키징 과정



【그림 14】 멀티칩 패키지의 일례



【그림 15】 MEMS 센서 및 패키지 공정도



【그림 17】 센서와 신호처리 회로의 집적화 기술의 발전

