

# 타이어 공기압 감지 시스템 기술 동향

Technical Trend of Tire Pressure Monitoring System

천재영 (J.Y. Chun)

기술기준연구팀 연구원

조평동 (P.D. Cho)

기술기준연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I. 도입 배경
  - II. TPMS 시스템
  - III. 차량용 센서 기술
  - IV. TPMS 기술기준
  - V. 결론

차량 운전자의 안전을 보장하고 운전의 편의를 돕기 위한 기술로는 차량용 레이더, 타이어 공기압 감지 장치, 원격시동 장치, 지리정보시스템 등이 있다. 그중 타이어는 차량의 수많은 부품들 중 도로와 직접 접촉하는 부품으로 타이어의 상태는 운전자의 안전에 직접적인 관련이 있다. 과거 포드 자동차에서는 파이어스톤에서 납품한 타이어 전량을 리콜하는 대규모 교체사례가 있었다. 초기 타이어 공기압 감지 장치는 일부 고급 차종에만 적용되었는데 최근 압력 및 온도 측정용 센서의 높은 신뢰성과 양산비용의 절감 및 국가의 정책적 요소가 복합적으로 작용하여 일반 차량에도 보급화가 진행 중이다. 본 논문에서는 오늘날 타이어 공기압 감지 장치를 양산하는 업체들의 기술 동향을 분석하여 타이어 공기압 감지 시스템의 도입 배경, 국내외 기술기준 현황, 타이어 공기압 감지 시스템을 형성하는 기본 구조, 높은 정밀도를 가지는 반도체 센서 및 관련 기술에 대해 살펴본다.

## I. 도입 배경

타이어에 금속파편이 박히거나 흠집이 생겨 조금 씩 공기압이 쉘 경우 보통 주행중인 운전자들은 타이어의 상태를 감지하기가 어렵다. 주행중 갑작스럽게 타이어가 파손되어 미끄러지거나 전복되는 등 대형 교통사고를 유발하는 원인이 될 수 있다. 실례로 세계적 타이어 제조사 중의 하나인 파이어스톤(Firestone)이 포드(Ford)사에 납품한 타이어 일부가 공기압이 낮을 경우 주행중 잇따라 파열되면서 차량전복사고가 있었다[1]. 약 119명의 사망자와 수천 명의 부상자가 발생했으며, 결국 포드와 파이어스톤은 특정 자동차모델에 장착된 타이어 650만 개를 전량 교체하는 사태가 발생하게 되었다.

차량용 공기압 감지 장치(Tire Pressure Monitoring System, 이하 TPMS라 한다.)는 운전자의 안전과 타이어의 수명연장까지 효용가치가 있는 장치이다. 과거 높은 단가로 고급 차량(BMW, NISSAN, CRYSLER)에만 적용되었으나, 2003년 11월 미국에서 TPMS 시스템의 의무사용이 법제화되면서 TPMS의 성장 가능성과 중요성이 부각되고 있다. 미국 정부는 2003년 11월부터 2006년 10월 31일까지 미국에 수출되는 모든 자동차에 TPMS 솔루션을 기본적으로 탑재하는 TREAD 법안을 발효시켰다. 따라서 차량용 공기압 감지 장치는 본격적으로 2006년 이후 일반 차량에도 장착되어 보급될 것으로 전망된다.

## II. TPMS 시스템

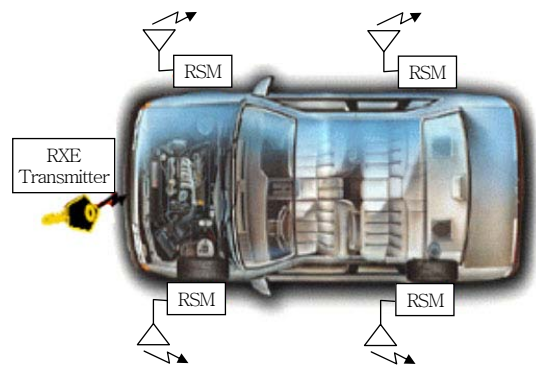
### 1. 타이어 공기압 감지 시스템의 개요

TPMS가 세계 최초로 적용된 차는 1980년대 등장한 포르쉐(Porsche) 959가 처음이지만, 보다 적극적으로 TPMS 개발의 동기가 된 것은 지난 1990년대 포드사의 익스플로러에 장착된 타이어 파손에 따른 사고로 인해 포드와 파이어스톤 사이에서 치열한 공방전이 일어나면서부터라고 할 수 있다. 이전까지

는 공기압에 대한 중요성을 인지하면서도 적절한 대안을 찾지 못했던 자동차 업계와 소비자들은 이 사건을 계기로 TPMS를 통해 사람과 차의 안전성을 높이고 차의 성능과 타이어의 수명까지 연장시킬 수 있는 발판을 마련하게 되었다.

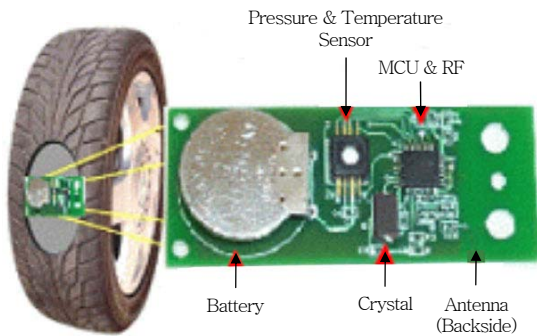
타이어 공기압 감지 장치는 차량의 타이어 내부에 직접 삽입되어 주행중 차량의 공기압 상태 및 온도 변화를 감지해 사용자에게 시청각적으로 알려준다. 타이어 내부에 삽입되는 TPMS 센서모듈은 특히 영하 40°~영상 180°의 가혹한 운행조건에서 최소 10년을 견뎌야 하기 때문에 일반차량용 전자기술과는 차원이 다른 기술이 필요하다. (그림 1)은 타이어 공기압 감지 장치 시스템의 구조에 관한 예이다. RSM로부터 TPMS 내부의 공기압 센서 및 온도 센서에서 생성된 패키화된 정보를 공중파를 통해 호스트 컨트롤러의 수신기에 송신하거나 호스트 컨트롤러에서 차량용 TPMS의 전원을 켜거나(wake up) 명령(command)을 실행하려 할 경우 수신 장치로 동작하는 무선 모듈이다. RKE는 차량의 도어를 on/off 하기 위한 무선기기로서 현재 유럽 및 미국의 단거리 무선기기에 관한 기술기준을 내용으로 참조할 경우 315MHz와 433MHz로 TPMS 시스템과 동일한 주파수 대역을 사용한다[2]. 본 동향분석지에서는 RKE는 다루지 않는다.

(그림 2)는 타이어 공기압 감지 장치에 삽입되는 여러 업체의 TPMS 센싱 모듈 중의 하나이다[3]. 부품의 구성은 (그림 3)의 예에서 보는 바와 같이



(그림 1) TPMS 시스템 구성

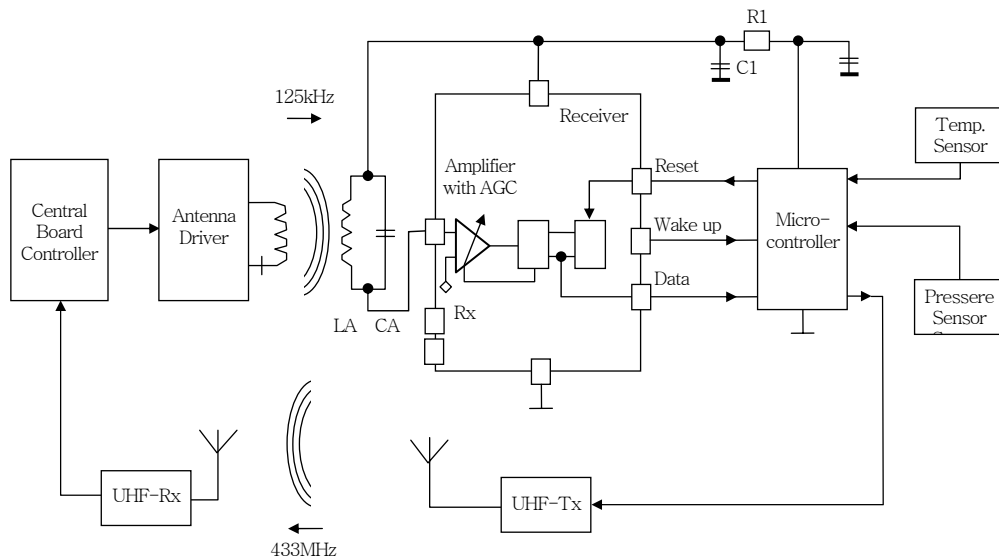
MCU, Pressure Sensor, Temperature Sensor, RF Transmitter, Battery로 구성된다. 마치 센서 네트워크를 구성하는 개개의 모듈이 그룹화되어 한 개의 네트워크 그룹을 구성한다. 여기서 동일한 주파수 대역을 사용하는 TPMS 시스템간 다른 차량에서 송신한 명령 신호에 의해 오동작할 가능성을 염려할 수 있으나 제한된 듀티사이클(duty cycle), 변조방식, 업체 자율의 독립 프레임 구조 및 프레임 인증 코드가 있어 오동작할 가능성은 매우 희박하다. 오히려 차량용 주파수로 분배가 고려되고 있는 433.92MHz 대역은 차량용 TPMS, RFID, 아마추어 무선 주파수로 인한 간섭이 정책적 화두가 되고 있



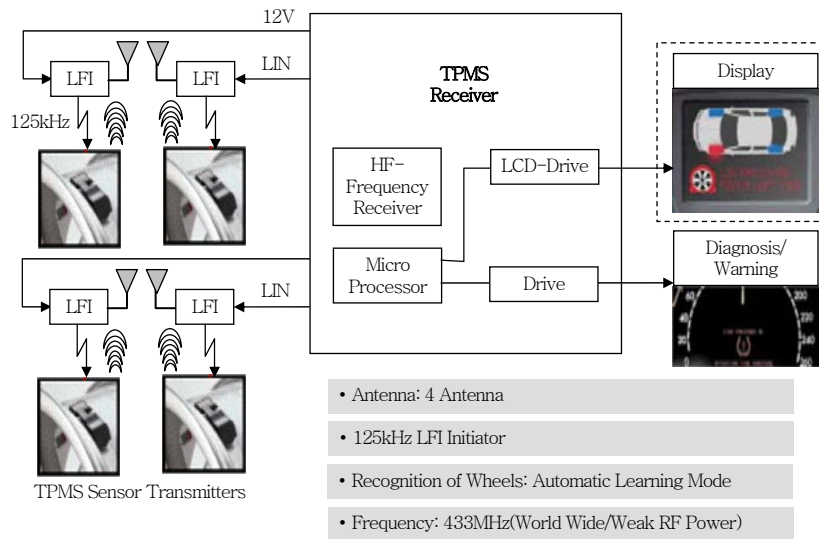
(그림 2) TPMS 센서 모듈의 구성

다. (그림 3)은 (그림 2) TPMS 센서 모듈의 구조를 블록다이어그램으로 도시한 예이다.

(그림 4)는 오늘날 주종을 이루는 차량용 TPMS 시스템의 블록구조이다. 과거 차량용 타이어 공기압 감지 장치는 각각의 타이어에 장착된 TPMS 센서 모듈(총 4개)에 대해 1개의 RF 트랜스미터가 장착되었으나 현대의 차종은 각각의 타이어에 장착된 TPMS 센서 모듈 각각에 대해 호스트 컨트롤러와 연결된 RF 트랜스미터가 1:1의 구조를 채택한다. 이는 동일한 주파수 대역을 사용하는 타 무선기로부터 방사되는 전파 방사로부터 간섭의 영향권에 덜 영향을 받으며 TPMS 센서 모듈이 높은 송신출력으로 데이터 프레임을 전송할 것을 요구하지 않아도 된다. 실제 2004년 7월 인천 부두 한진터미널에서 아마추어 무선국과 RFID, RKE, TPMS 간 상호 간섭 실험결과 차량용 TPMS가 외부 간섭에 대해 RKE 보다 간섭의 영향에 대해 덜 민감한 것으로 측정되었다. 이는 TPMS 시스템의 구조적 특성에 의한 것으로 확인되었다. 차량용 TPMS의 호스트 컨트롤러는 4개의 LFI 안테나로 125kHz 주파수 신호로 TPMS 센서 모듈을 동작시키고 TPMS 센서 모듈은 433MHz 주파수로 LFI 안테나의 역방향으로



(그림 3) TPMS 시스템의 회로 구성도

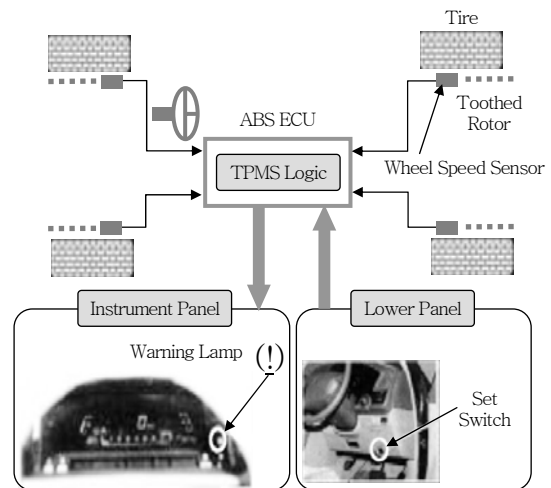


(그림 4) 현대의 TPMS 시스템 구성 방식

데이터 신호를 전송한다. 각각의 차량용 TPMS 모듈의 RF 트랜스미터에서 전송되는 데이터 프레임은 매우 짧은 듀티사이클을 가지며 실제로 스펙트럼 분석기로 관측 시 버스트(burst)한 데이터이다.

## 2. TPMS 기술의 발전 동향

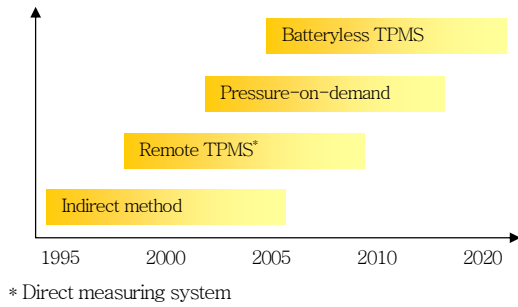
초기 TPMS는 오늘날과 같은 높은 분해능 감도를 갖는 센서가 차량용 타이어 내부에 탑재되는 직접 방식(direct method) 보다는 차량용 타이어휠의 회전 수의 편차를 이용하는 간접 방식(indirect method)을 사용하였다(그림 5 참조)[4]. 또한 현재의 보급형 타이어 공기압 감지 장치(TPMS)가 한 국가의 정책적 목표 하에 도로를 주행하는 차량에 의무적으로 장착할 것을 법제화된 것이 아닌 일부 고급 차종의 차량에 국한된 서비스 기술이었다. Indirect method는 타이어휠의 회전 수를 감지하는 ABS 브레이크 시스템의 개조를 통해 쉽게 구현할 수 있기 때문에 생산 업체 입장에서는 비용대비 단가를 절감할 수 있는 장점이 있다. 그러나 직접 방식에 비해 타이어의 공기압을 측정하는 데 필요한 분해능 감도의 레벨이 낮으며 또한 주행차량의 타이어 마모 정도가 심해 양측 타이어의 공기압 상태가 모두 불안



(그림 5) Indirect Method 기반 TPMS 시스템

정할 경우 정확한 측정이 어렵다는 맹점을 가진다. 때문에 업체에서는 이를 보완하기 위해서 타이어휠의 회전 수와 진동 수 모두를 측정하여 기술적 단점을 보완하는 방법을 주장하고 있으나 오늘날 센서 IC의 측정 감도의 고급화와 더불어 저전력 기술의 발전에 힘입어 직접 방식의 비중이 점차 증가하고 있다. (그림 6)은 타이어 공기압 감지 장치 시스템의 연도별 도입이 예상되는 기술을 그래프화한 예이다[5].

이미 앞서 그림에서 간접 방식에 대해서는 언급



(그림 6) 연도별 TPMS 기술의 예측 전망

하였으며, 직접 방식에 대해 소개하겠다. 직접 방식은 현재 대부분의 생산 업체에서 OEM 혹은 리테일 방식으로 차량 제조업체 및 소매처 마켓으로 공급되고 있다. 직접 방식의 특징은 타이어 내부에 TPMS 센서가 직접 삽입되어 주행중 차량의 온도 및 공기압의 변화를 지속적으로 모니터링하여 운전자에서 청각 혹은 시각적으로 정보를 전달해주는 시스템이다. 간접방식에 비해 공기압 레벨의 분해능이 우수하며 PCB 레이어 기판에 공기압 감지 센서, 온도 감지 센서 외 진동, 가속도, 그리고 타이어의 마모상태를 측정해주는 센싱 기술 등을 다양하게 복합적으로 응용할 수 있기 때문에 향후 오랫동안 차량용 공기압 감지 장치로 공급될 것으로 예상되고 있다. 국내에서는 현대오트넷, 현대모비스, 금호타이어, 자동차부품연구원 등을 중심으로 연구개발이 진행되고 있다.

POD 기술은 기존 타이어 공기압 감지 장치 기술의 전력 소모량을 개선하기 위한 기술로서 차량의 호스트 컨트롤러에서 타이어 상태 정보를 요구할 경우에만 TPMS 센서 모듈이 켜짐(wake up)되어 동작한다. 따라서 주차중인 동안 차량이 비주행상태에서 규칙적으로 타이어 상태 정보를 전송할 필요가 없기 때문에 기존 타이어 공기압 감지 장치가 가지는 전력소모로 인한 라이프 사이클을 개선한 것이 특징이다. 예를 들어, 미국 ATMEL(사)의 무선 수신기(ATA5283 IC)는 호스트 컨트롤러에서 송신한 125kHz 주파수대의 제어신호를 감지하면 TPMS 모듈의 마이크로컨트롤러를 동작 가능한 모드(wake up)로 전환하고 공기압 센서 및 온도 센서를 초기

화하여 호스트 컨트롤러의 제어를 수행할 수 있도록 한다.

오늘날 생산되는 차량용 타이어 공기압 감지 장치시스템을 구성하는 TPMS 센서 모듈은 배터리에 독립적이지 못하다. 때문에 타이어에 삽입되는 TPMS 센서 모듈의 라이프 사이클에 한계를 가진다. 향후 2008년부터 TPMS 센서 모듈은 배터리 무지향 시스템으로 대체될 것으로 예상되고 있으며 그 대표적인 기술로 RFID 기술이 적용될 것으로 예측되고 있다. RFID 기술은 데이터의 정보의 교환을 위해서 전원 및 접촉에 관하여 자장(magnetic field)이나 전자장(electromagnetic field)에 자체 충전하고 전파 방사한다는 점에서 기존 TPMS 센서 모듈의 배터리 의존성을 극복할 수 있는 방안을 제시한다. 프리스케일(Freescale)(사)에서는 2008년부터 배터리 무지향 RF 트랜시버를 기반으로 한 TPMS 센서 모듈을 공급할 계획을 갖고 있다.

### Ⅲ. 차량용 센서 기술

#### 1. 차량용 공기압 · 온도 센서 기술

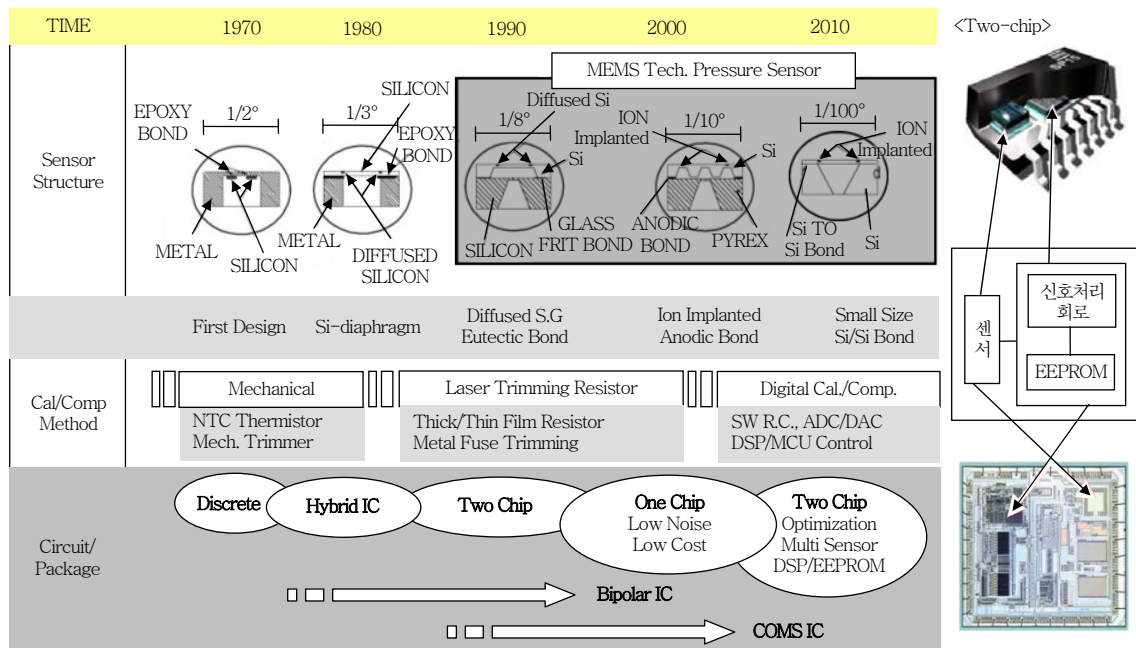
차량용 TPMS 시스템의 여러 부품 중 타이어는 도로상의 지면에 유일하게 접촉하는 부분으로서 TPMS 센서의 성능은 운전자의 안전에 영향을 줄 수 있다. 일반적으로 압력을 측정하는 센서로는 그 응용에 따라 공기압, 혈압계, 고도계, 수압계, 유체 압력측정계 용도로 활용할 수 있으며 기체나 액체의 압력을 전기적 신호로 변환하는 방법에 따라 스트레인 게이지 압력센서(strain gauge pressure sensor), 정전용량형 압력센서(capacitive pressure sensor), 전위차계식 압력센서(potentiometric pressure sensor), 압전기식 압력센서(piezoelectric pressure sensor), 실리콘 압력 센서(silicon pressure sensor), 광학식 압력센서(optical pressure transducer)로 나뉘어진다. 일반적으로 차량 공기압 측정용으로 실리콘 압력 센서 방식을 사용하며 반도체 MEMS 압력센서의 세계적인 메이커는 미국



의 Nova Sensor, Motorola, Delco, Honeywell, Silicon Microstructure사와 네덜란드의 Philips사 독일의 Siemens사 및 일본의 Toyota Motor, Yokogawa, Hitachi에서 코어 칩을 일반 제조업체에 공급한다. (그림 7)은 실리콘 압력센서의 기술동향에 관한 예이며, 점차 정확도 및 신뢰도면에서 향상되면서 하나 이상의 센서가 단일 IC로 통합되는 경향으로 발전하고 있다.

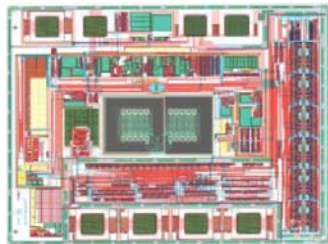
반도체 기반 실리콘 압력센서는 최근에 실용화가 가속되고 있는 센서로 크리프현상이 없고 선형성이 우수하며 소형·경량으로 진동에도 매우 강한 것이 특징이다. 또한, 기계식보다 신뢰성, 측정 감도 측면에서 우수한 동작특성을 보여준다. 실리콘 압력 센서는 압력을 응력으로 변환하는 다이어프램과 다이어프램에서 발생하는 동력을 전기신호로 변환하는 두 부분으로 구성되어 있다. 다이어프램(diaphragm)은 단결정실리콘을 화학적으로 에칭(etching)하여 형성하며, 다이어프램에서 발생하는 응력을 전기적인 신호로 변환하는 방법으로 진동자의 고유진동 수 변화와 표면탄성파를 이용하는 것도 있으나,

주로 압저항식과 정전용량식의 두 종류가 가장 많이 사용되고 있다. 이중 압저항식은 저항확산식 또는 확산식이라고도 하는데 압저항소자를 형성시킬 때에 반도체의 불순물 확산공정이 이용되기 때문이다. 정전용량식은 서로 마주보고 있는 전극판의 간격을 외부로부터의 응력에 의하여 변화시키면 전극간의 정전용량이 변화한다. 이 정전용량변화를 전기신호로 변화시키면 응력이 검출된다. 정전용량식은 압저항식에 비해 고감도이나 전극의 형성, 외부회로와의 연결이 복잡한 구조로 되어 있고 응답성이 나빠 수요는 적다. 그러나 온도특성이 우수하고 소형이며 고감도인 관계로 생체 등 미압의 영역에서 사용할 때는 이점이 많다. 이외에도 다결정실리콘 압력센서는 변형계이지가 다결정 Si 박막으로 되어 있고 다이어프램이 금속 위에 만들어져 있어서 측정압력의 범위를 확대시킬 수 있다. 또 고온과 부식성 분위기 등의 악환경 하에서도 사용할 수 있는 SOS 압력센서가 있다. 이것은 사파이어 기판 위에 실리콘 박막을 에피택셜 성장시켜, 이 SOS 막을 검출소자로 이용하는 센서이다.



(그림 7) 실리콘 센서의 기술 개발 동향

차량용 공기압 측정 센서로 주로 응용되는 실리콘 압력 센서 혹은 압전형 실리콘 센서로 일컬어지는 센서는 계장설비 및 기계제작 그리고 자동화, 생산공정제어와 환경모니터링에 적합한 센서로서, 진동과 내맥동이 심한 환경에서 높은 특성을 보여준다. (그림 8)은 프리스케일(사)의 MPXY 8000 Series 실리콘 센서로 공기압과 온도를 동시에 측정할 수 있다[6]. 이 센서는  $-40^{\circ}\sim 125^{\circ}$  사이의 온도에서 액체 및 가스 등의 매체들을  $0.1\sim 350\text{kgf/cm}^2$ 의 압력범위에서 압력측정에 사용되며, 이 센서의 특징으로서 높은 직선성과 주파수 범위, 외부자극으로부터 거의 영향을 받지 않는 히스테리시스(hysteresis) 특성으로 고정밀 측정에 적합한 센서이다.



(그림 8) MPXY8000 Series 실리콘 센서

실리콘 압력센서 (그림 9a)는 외부에서 압력이 가해지면 압저항 효과(piezoresistive effect)를 응용 반도체에 압력이 인가되면 저항값이 변하는 현상을 이용한다[7]. 쉬운 예로, 실리콘 저항 (그림 9b)를 생각할 경우 수평방향으로만 작용하는 응력(longitudinal stress)이 작용한다고 가정할 경우 저항 변화율은 변형(strain)  $\epsilon_1$ 에 비례한다. 즉 (1)과 같다.

$$\frac{\Delta R}{R} = GF\epsilon_1 \quad \pi_l \text{은 종방향 압저항 계수 (longitudinal piezoresistance coefficient)}$$

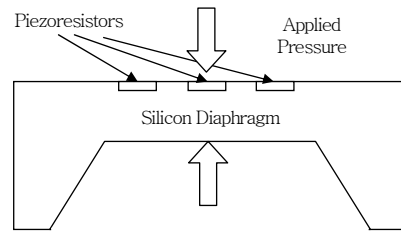
$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad \pi_t \text{는 횡방향 입력저항 계수 (transverse piezoresistance coefficient)} \quad (1)$$

압저항형 실리콘 압력 센서는 실리콘 단결정을 얇게 애칭하여 수압용 다이어프램을 만들고 여기에 IC와 동일한 제조 방법으로 불순물 확산에 의해 4개의 압저항(piezoresistive)을 (그림 9c)와 같이 휘스톤 브리지(Wheatstone-bridge) 회로로 접속한다.

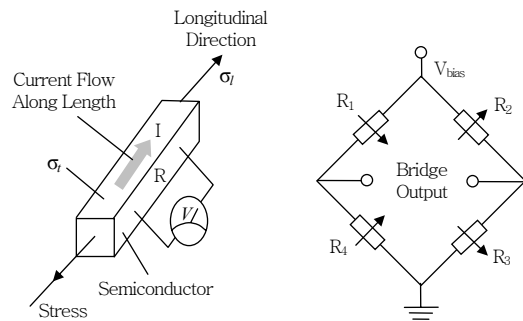
압력이 가해지면 다이어프램이 변형을 일으키고 이로 인해 압저항의 저항값이 변하면 브리지 회로에 의해 압력에 비례하는 신호를 출력한다.

(그림 9d)와 같이 정사각형 실리콘 다이어프램에 형성된 4개의 P-형 압저항으로부터 출력값을 구하려면, 다이어프램에 압력이 가해지면, 저항  $R_2 \cdot R_4$  와 저항  $R_1 \cdot R_3$ 에 작용하는 응력은 그림과 같은 성분으로 구성된다. 이 경우 압저항 계수  $\pi_l, \pi_t$ 는 (2)와 같이 주어진다[8].

$$\pi_l = \frac{\pi_{44}}{2} \quad \pi_t = -\frac{\pi_{44}}{2} \quad (2)$$

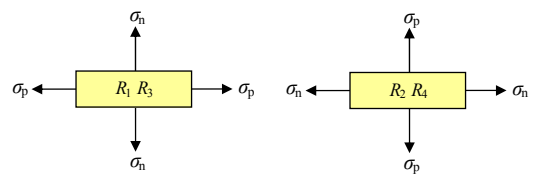


(a) 압저항형 실리콘 압력 센서



(b) 종방향 실리콘 압저항 예

(c) 휘스톤 브리지 회로



$\sigma_l$ : 다이어프램 가장자리에 수직인 응력  
 $\sigma_t$ : 다이어프램 가장자리에 수평인 응력

(d) 압저항에 작용하는 응력

(그림 9) 실리콘 압력 센서

p-형 실리콘 압저항의 경우  $\sigma_l \approx \sigma_t$  이다.

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = \frac{\pi_{44}}{2} (\sigma_{ix} - \sigma_{iy}) \quad (3)$$

$$-\frac{\Delta R_1}{R_1} = -\frac{\Delta R_3}{R_3} = \frac{\pi_{44}}{2} (\sigma_{ix} - \sigma_{iy})$$

저항  $R_2 \cdot R_4$ 는 증가하고, 저항  $R_1 \cdot R_3$ 는 감소한다. 위의 결과를 사용하면, (4)로 쓸 수 있으며

$$R_2 = R_4 = R_0(1 + \alpha_1) \quad (4)$$

$$R_1 = R_3 = R_0(1 - \alpha_2)$$

출력전압  $V_0$  는 (5)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_4} = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)} \quad (5)$$

$$= \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{1 + \alpha_1 - \alpha_2}$$

압력  $p$ 에 의한 저항 값 변화를 (6)과 같이 가정하면

$$R_2 = R_4 = R_0 + \Delta R \quad (6)$$

$$R_1 = R_3 = R_0 - \Delta R$$

출력전압은 (7)과 같다.

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{\Delta R}{R} \quad (7)$$

그렇다면 압력 감도(pressure sensitivity)는 (8)과 같다.

$$S = \left( \frac{V_0}{V_s} \right) \cdot \frac{1}{P} = \frac{V_0}{P} \cdot \frac{1}{V_s} = \frac{\Delta R}{P} \cdot \frac{1}{R_0} \quad [mV / V \cdot bar] \quad (8)$$

휘트스톤 브리지의 중요한 장점은 출력전압이 압저항의 절대치에 무관하고, 저항변화율( $\Delta R/R_0$ ) 과

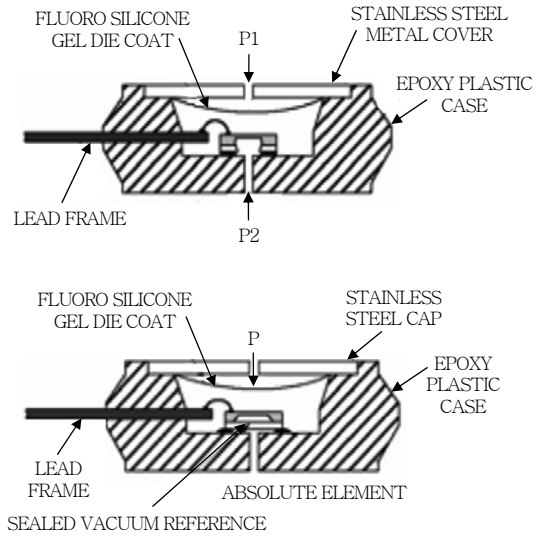
브리지 전압( $V_s$ )에 의해서만 결정된다는 점이다.

브릿지가 정전류에 의해서 구동되면, 압력 감도는 (9)와 같아야 한다.

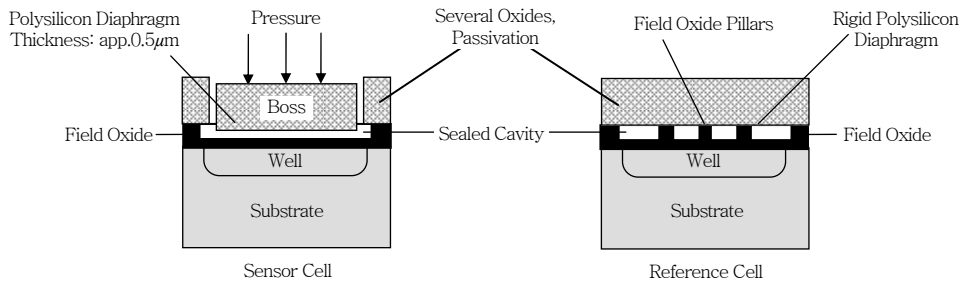
$$S = \frac{V_0}{I_s} \cdot \frac{1}{P} = \frac{\Delta R}{P} \quad [mV / mA \cdot bar] \quad (9)$$

(그림 10)은 일반적인 실리콘 압력센서의 기본구조이다. (상)에서는 유리 기판에 압력을 도입하는 큰 홀(hole)이 만들어지는 반면, (하)에서는 실리콘 기판과 유리기판 사이를 진공으로 하여 밀봉된다.

(그림 11)은 정전용량형 실리콘 압력센서의 블록 구조이다. 압력을 감지하는 정전용량형은 센서는 하부전극과 폴리실리콘 다이어프램 사이에 형성된다. 압력이 가해지면 탄성체인 폴리실리콘 멤브레인이

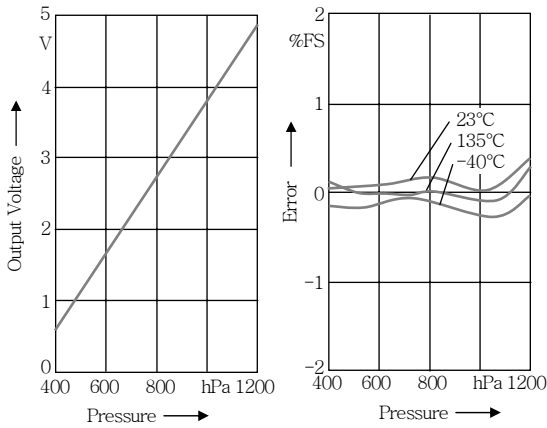


(그림 10) 실리콘 압력 센서



(그림 11) 정전용량형 실리콘 압력 센서





(그림 12) 센서의 특성

회어져 정전용량이 변하게 되는 원리를 이용한다. 높은 분해능을 갖는 센서를 구현하기 위해 거의 동일한 용량을 갖는 기준 셀(reference cell)을 다수의 셀을 어레이 구조로 설계하여 센싱 감도와 SNR을 개선시킬 수 있다. (그림 12)는 온도 변화에 따른 실리콘 압력 센서의 출력 전압에 관한 그래프이며, 주행중 타이어의 온도가 최대 약 125°까지 상승한다는 점을 감안한다면 일반적인 도로주행 환경에서의 기준조건을 만족시킬 수 있다.

## 2. 그외 차량용 센서 관련 기술

이미 앞서 설명하였듯이 차량용 TPMS 센서에 장착되는 공기압 센서는 원칩화되는 경향을 보이고 있으며 -40°~125°까지 안정적인 성능을 보여주는 공기압 센서들이 프리스케일과 인피니온 업체를 통해 공급되고 있으며 자사의 RF 트랜시버와 마이크로 컨트롤러를 포함한 통합 솔루션까지 제공하고 있다[9]. 마이크로컨트롤러(MCU)는 TPMS 시스템에서 공기압 센서, 온도 센서, 그리고 RF 트랜시미터를 제어하는 유닛으로서 차량의 호스트 컨트롤러에 의해 수신 받은 제어 및 명령에 대한 오퍼레이션을 수행한다. 마이크로컨트롤러는 TPMS 센서 모듈을 구성하는 부품들 중 가장 많은 전력을 소모하는 부품으로 마이크로컨트롤러의 선택은 민감한 부분 중의 하나이다. 아무리 좋은 성능의 마이크로컨트롤

러라도 소모전력이 크다면 결국 TPMS 센서 모듈의 수명(life cycle)을 단축시키는 결과를 초래할 수 있기 때문에 기능적으로 RF 트랜시미터가 마이크로컨트롤러를 일시적 전원컴(wake up) 상태를 유지함으로써 비주행중 혹은 주차상태에서와 같은 불필요한 동작시간에 기계적 작동을 쉴(sleep) 상태를 유지함으로써 전원의 불필요한 누수를 방지하고 RF 트랜시버와 마이크로컨트롤러가 통합된 원칩 IC를 양산함으로써 전력낭비로 인한 TPMS 센서 모듈의 라이프 사이클 단축 방지를 위한 다양한 기법들을 제공하고 있다. TPMS용 마이크로컨트롤러(MCU)는 일반적으로 4비트, 8비트, 16비트 중에서 사용하며 대표적인 제조 업체로는 프리스케일(FreeScale), 인피니온(Infineon), 애트멜(ATMEL), 맥심(MAXIM)사 등의 제품이 주를 이루며 이들 업체에서는 TPMS 센서 모듈 구성을 위한 솔루션까지 애플리케이션 노트로 정리하여 양산업체 및 소매점(retail market)에 공급하고 있다.

TPMS 시스템을 구성하는 또 다른 중요한 부품 중의 하나로서 RF 트랜시버(transceiver)가 있다. RF 트랜시버는 TPMS 시스템의 무선네트워크를 구성하는 데 중요한 부품으로서 호스트컨트롤러와 TPMS 센서 모듈의 중요한 통신 인터페이스를 제공한다. 호스트 컨트롤러와 TPMS 센서 모듈간의 데이터 통신을 위해서는 다양한 형태의 패킷 프레임이 존재하며 업체의 자유에 따라 그 프레임 구조도 상이하게 다르다. 현재까지 국제적으로 TPMS 전송 프레임에 대한 패킷의 통일된 형태는 없다.

TPMS 센서에서 송수신되는 데이터 프레임은 그 크기가 작고 버스트하기 때문에 송수신하기 위한 RF 트랜시미터는 높은 데이터 전송 처리율(throughput)을 보장하지 않아도 된다. 또한 동일한 주파수 대역을 사용함으로써 발생 가능한 패킷간의 충돌 제어방식 또한 IEEE 802.11a/b/g 무선랜의 제어방식과 크게 다르지 않다. 일반적으로 TPMS 센서의 RF 트랜시버는 ASK 방식과 FSK 방식을 사용하고, 특정 제조업체에서는 ASK/FSK 방식 모두를 지원하며 차량의 상태에 따라 모드를 선택할 수 있도

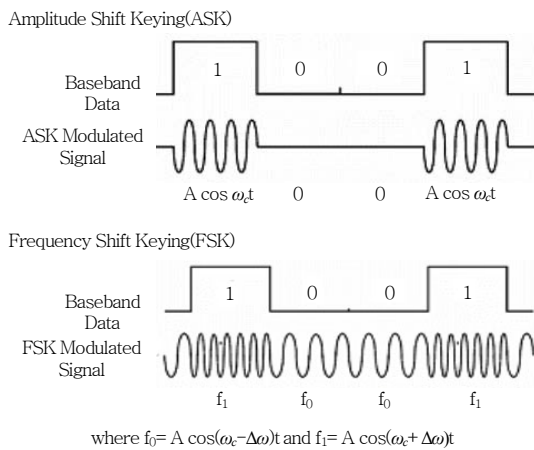
록 기술적 솔루션도 제공한다. (그림 13) TPMS 시스템에서 TPMS 모듈과 호스트컨트롤러 시스템간의 통신에 사용되는 변조 방식에 대한 예로 (상) ASK, (하)FSK에 대한 예이다. (상)ASK는 디지털 데이터 전송에서, 외부로 나가는 신호의 크기변화에 의해 비트를 표현하는 방식이다. (하)FSK는 디지털 데이터를 하나의 캐리어로 합치는 단순한 주파수 변조 기술이다. 이것은 주파수 내에서 0과 1의 오직 두 개의 변화만을 만든다. 장점으로는 잡음에 대한 면역성이 강하고, 연속진폭의 특성을 가지므로 레벨

변동에 강하다. (그림 14)는 TPMS 센서 모듈에서 데이터 패킷을 송신하였을 때 스펙트럼 분석기로 캡처한 사진이다.

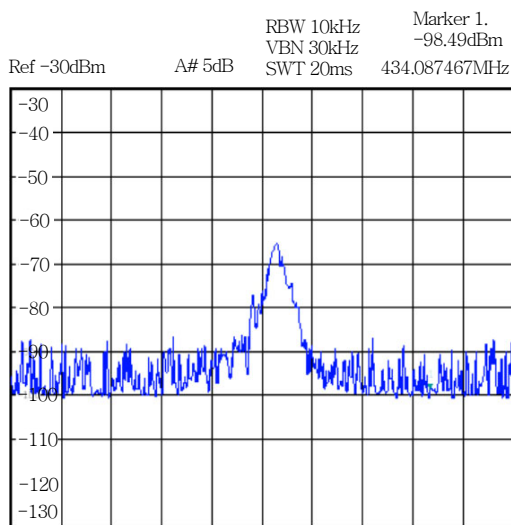
## IV. TPMS 기술기준

국내에서는 TPMS 시스템의 주파수 대역으로 433.92MHz를 검토중에 있다. 미국에서는 315MHz를 이미 사용중이며 433.92MHz 대역은 북미 일부 지역에서 사용되고 있다. 유럽의 경우 433.92MHz 주파수와 그 외 868MHz 대역의 주파수를 차량용 주파수로 사용하고 있다. 현재 국내에서 차량용 주파수로 분배된 대역은 173MHz, 311MHz, 447MHz 대역으로 산업용 중장기, 차량의 자동문제어장치, 시동장치 용도로 기 분배되어 있으며 현재 정보통신부에서는 433.92MHz 대역 차량용 신규 주파수 분배를 위한 기술적 논의가 검토중에 있다. 2005년 10월 중에 공청회 및 각계 각 분야의 산업 학계 연구기관의 의견을 수렴하여 신규주파수 분배 여부에 대한 발표가 있을 예정이다.

현재 미국에서는 TPMS 무선기기 주파수 분배 및 기술기준이 마련되어 있지 않은 상황이며 기준 주파수대에서 전계강도 기술기준을 만족하면 허가 없이 무선국을 개설해서 운용할 수 있다. 유럽 역시 미국과 사정은 동일하며 TPMS 차량에 대한 기술기준은 없으며 미국의 경우 FCC Part 15.231 표준, 유럽의 경우 ERC/REC 70-03 및 ETSI EN 300-220 기술기준을 적용하고 있다. <표 1>은 현재 국내 TPMS 장착차량이 준수하여야 하는 허용 기술기준이며, <표 2>는 마찬가지로 유럽내 TPMS 장착차량이 준수하여야 하는 기술기준이다. 국내에서는 차량용 주파수 분배를 위하여 2004년부터 차량용 주파수 연구반을 구성하여 각계 산업체, 연구기관, 학계 전문가들의 의견 수렴, 국제 동향 분석, 현장 실증 실험 결과를 분석하여 2005년 7월 공청회를 통하여 공고한 바가 있다. 구체적인 기술기준은 2005년 하반기에 각계 각 분야의 전문가들로 구성



(그림 13) ASK/FSK 변조방식



(그림 14) TPMS 센서 모듈의 송신 스펙트럼

〈표 1〉 미국의 근거리 무선기기 기술기준 비교

Section	15.231(b)	15.231(e)	15.231(Proposal)	15.240(new)
응용	제어신호/코드인식	모든응용(데이터전송 포함)	위치, 식별, 데이터 교환	위치, 식별, 데이터 교환
주파수	70MHz 이상	70MHz 이상	425~435MHz	433.5~434.5MHz
데이터허용	No/Yes	Yes	Yes	Yes
음성허용	No/Yes	Yes	No	No
평균전력세기	11,000 $\mu$ V/m	4,400 $\mu$ V/m	11,000 $\mu$ V/m	11,000 $\mu$ V/m
최대전계강도	110,000 $\mu$ V/m	44,000 $\mu$ V/m	110,000 $\mu$ V/m	55,000 $\mu$ V/m
운용 주기	Off time	1시간	30초	10초
	On time	5초	1초	120초
주기동작	0.14% 이하	3.2% 이하	92% 이하	86% 이하
기타		15.231(b)에 비해 운용주기가 짧아서 데이터 전송률은 커지지만 출력이 낮아져서 운용거리가 짧아짐	Savi사가 운용주기, 출력, 주파수를 확대해서 제안함(수정해서 채택됨)	Savi사의 제안은 기존 시스템 등에 영향을 주기 때문에 이를 최소화 할 수 있는 운용주기, 출력, 주파수로 수정해서 결정

〈표 2〉 유럽의 근거리 무선기기 기술기준

주파수 대역	출력전력(e.r.p.)	채널간격	Duty Cycle(%)
433.050~434.790MHz	10mW	채널간격 없음	10% 이하
433.050~434.790MHz	1mW 또는 -13dBm/10kHz(광대역)	채널간격 없음	Duty Cycle 제한 없음
433.050~434.790MHz	10mW	25kHz	Duty Cycle 제한 없음

(1) 오디오와 음성 신호는 433.05~434.79MHz 대역에서 사용할 수 없음  
 (2) 250kHz보다 더 넓은 대역폭을 갖는 광대역 채널에서 전력 밀도는 -13dBm/10kHz이어야 함  
 오디오와 음성 신호는 433.05~434.79MHz 대역에서 사용할 수 없음  
 (3) 오디오와 음성 신호는 433.05~434.79MHz 대역에서 사용할 수 없음

된 연구반을 구성하여 TPMS 기술기준안을 마련할 계획이다.

## V. 결론

타이어는 운전자의 차량을 구성하는 많은 부품들 중 유일하게 도로 노면에 접촉하는 부품으로 타이어의 상태는 운전자의 안전과 직결된다. 2006년 10월 부터 미국내 생산되는 차량은 물론 수입차량까지 TPMS 시스템의 설치는 의무이며 유럽에서도 자국 운전자의 안전을 위해 서둘러 TPMS 시스템의 도입을 준비하고 있다. 초창기 타이어 공기압 감지 장치는 오늘날과 같은 높은 분해능 감도와 이를 위한 마이크로컨트롤러 및 RF 트랜시버 기술이 마련되어

있지 않아 바퀴의 회전 수에 의한 공기압 측정 및 기계식 압력 센서에 의존할 수 밖에 없었다. 그러나 오늘날에 미국에서는 인간의 오감이라 할 수 있는 센서 기술 분야에 1950년대부터 Bell Technology Lab을 중심으로 Honeywell, Westinghouse 등지에서 실리콘 압력센서제조에 핵심기술인 실리콘 식각기술에 관한 기초 연구를 시작하여 1970년대부터 Stanford Univ., Case Western Reserve Univ., U.C. Berkely, Univ. of Michigan, MIT, Univ of Wisconsin을 중심으로 실리콘 센서에 대한 연구개발이 활발하게 이루어졌고 이를 토대로 Honeywell, Kulite Semiconductor, GM Delco, Motorola, Ford, IC Sensor, Lucas Nova Sensor, Foxboro ICT 등의 업체에서 실리콘 압력센서를 양산하고 있다. 차량용 TPMS 시스템의 센서로는 실리콘 기반 정전용

량형 실리콘 압력 센서가 주류를 이루고 있으며 향후 2008년 이후로도 지속될 전망이다. 2008년 이후로는 각 업체에서 RFID 기반 TPMS 센서 모듈 양산을 준비하고 있으며 기존 TPMS 센서 모듈의 배터리 기반으로 인한 라이프 사이클 한계를 극복할 수 있는 대안을 제공할 것으로 검토되고 있다.

### 약어 정리

ASK	Amplitude Shift Keying
FCC	Federal Communications Commission
FSK	Frequency Shift Keying
IC	Integrated Circuit
ITU	International Telecommunication Union
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MCU	Micro Control Unit
POD	Pressure-On-Demand
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RKE	Remote Keyless Encryption
RSM	Remote Sensing Module
SOS	Silicon On Sapphire
TPMS	Tire Pressure Monitoring System

### 참고 문헌

- [1] 서태석/정보서비스팀, “스마트 타이어 최신동향,” 삼성종합기술원, 2003. 6.
- [2] APPLICATION NOTE 3395, “Requirements of Remote Keyless Entry(RKE) Systems,” korea.maximic.com, 2004. 11.
- [3] Application Note AN1951/D, “Motorola Tire Pressure Monitor System Demo,” Freescale Semiconductor, Inc., 2003. 5.
- [4] Niclas Persson, Fredrik Gustafsson, Markus Drevo, “Indirect Tire Pressure Monitoring Using Sensor Fusion,” 2002 Society of Automotive Engineers, Inc., 2002.
- [5] “ICs for Tire-pressure Monitoring Systems,” www.atmel.com, 2004.
- [6] Application Note AN1953, “MPXY8020 Series Tire Pressure Monitoring Sensor,” Freescale Semiconductor, Inc., 2003.
- [7] 고려대학교, cie.korea.ac.kr/microsensor/notefile/sensor/8-1.pdf, 2003. 5.
- [8] Ranjit Singh, Low Lee Ngo, Ho Soon Seng, and Frederick Neo Chwee Mok, “A Silicon Piezoresistive Pressure Sensor,” *IEEE Computer Society*, 2002.
- [9] Infineon Technical Documents, “Sensors Databook 2005,” www.infineon, 2005.