

타이어 변형 측정을 위한 SAW 센서 및 패키지 연구

SAW sensor and packaging for tire deformation detection

*황우진¹, #좌성훈¹, 은경태¹, 오해관², 이기근², 양상식²

*W. J. Hwang¹, #S. H. Choa(shchoa@snut.ac.kr)¹, H. K. Oh², K. K. Lee², S. S. Yang²

¹ 서울산업대학교 NID 융합대학원, ² 아주대학교

Key words : tire, SAW sensor, package, deformation, simulation

1. 서론

지금까지의 지능형 차량 제어장치들은 차량-도로 간의 정보들(도로 하중, 도로 상태 등)은 정확히 알지 못하여 간접적인 방법으로 추정한 값을 사용하고 있다. 이것은 휠에서 발생하는 하중과 도로 접지 마찰계수 같은 주요한 값들을 확보하지 못하기 때문에, 제어 로직 개발 시 많은 한계점이 발생되며, 점점 지능화되어 가는 차량 제어를 만족할 수 없다. 따라서 최근에 타이어/휠 관련 정보(타이어 힘, 노면 마찰계수, 슬립각)에 대한 실시간 감지장치로서 intelligent tire monitoring system 이 새로운 기술로 등장하고 있다. Intelligent tire monitoring system 의 핵심기술 중의 하나는 타이어의 변형을 측정하는 기술이다. 타이어는 동작 시 최대 20%의 변형이 발생되며, 타이어 내부의 환경이 매우 극한 조건이기 때문에 이러한 조건에서 큰 변형을 측정할 수 있는 센서의 개발이 필수적이다. 타이어의 변형센서로서 스트레인 게이지 타입 센서[1], 고무수지를 이용한 정전용량형 변형 센서[2], SAW 를 이용한 변형센서[3] 등이 제안된 바 있다. 그러나 아직 타이어의 변형을 만족스럽게 측정할 만한 센서의 개발이 미흡한 실정이며, 특히 환경 신뢰성과 타이어 내부의 센서 부착성에 대한 연구는 거의 없다. 따라서 본 논문에서는 타이어 내부에 부착 시에 발생할 수 있는 신뢰성 문제에 대한 연구를 수행하고, SAW 센서 기반의 변형 센서를 제작하기에 앞서 SAW 센서의 해석을 통하여 변형센서로서의 가능성을 검토하였다.

2. 타이어에 부착된 패키지의 신뢰성 시험

차량 주행 시 타이어 내부의 변화를 측정하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다. 타이어 내부의 압력을 측정하는 TPMS 센서가 대표적인 예이다. TPMS 센서와 같이 휠에 장착하는 센서는 타이어의 압력, 온도를 측정하기에는 적합하나, 주행 시 타이어가 받는 변형량을 측정하기에는 무리가 따른다. 최근 연구된 자료에 의하면 타이어의 이너라이너 부분에 유연 기판을 소재로 한 스트레인 게이지 혹은 SAW 센서를 직접 부착하여 타이어의 변형을 측정할 예가 있다. 그러나 이러한 방법은 타이어의 과도한 변형량에 의하여 센서에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 차량 주행 시 타이어 표면에서 받는 온도는 약 120℃에 이른다. 또한 고속주행, 급 브레이크 등의 극악한 환경에서 타이어의 변형률은 약 20%에 이른다. 이러한 열악한 환경에서 타이어에 부착된 패키지의 부착성은 매우 중요한 사안이라고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 타이어의 이너라이너 부분에 부착된 패키지의 부착 신뢰성에 대한 연구를 진행하였다. Fig. 1 은 타이어에 부착된 패키지의 단면을 나타내고 있다. 패키지의 크기는 12×25mm 이다. 패키지는 20×50mm 크기의 사이드월(side wall) 위에 JB-weld epoxy 를 사용하여 부착하였다. 메탈 패키지와 PCB, PCB 와 SAW 기판과의 접착은 Loctite 401 접착제를 사용하였다. Loctite 401 접착제는 접착강도가 좋고 변형량을 전달하기에 적합한 제품으로 알려져 있다. 타이어를 인장시키기 위하여 Instron 사의 인장테스터(Instron 4467)를 사용하였다. 타이어의 변형 시험 시 변형률은 약 20%를 적용하였다. 시험 결과 타이어에 부착된 패키지의 부착은 강건성을 유지하고 있었다. 패키지의 각 층간의 변화 또한 보이지 않았다. 또한 시험을 타이어 내부의

최대 온도 조건인 120℃까지 올리면서 시험의 각 재료들이 변형 혹은 파괴 되는 지를 관찰하였다. 약 4 시간 동안 가열한 결과 SAW 기판 및 다른 재료의 변형 및 파괴는 발생하지 않았다.

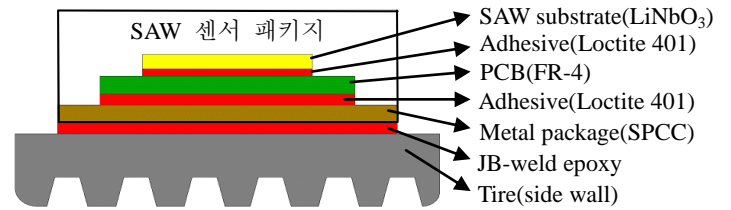


Fig. 1 Cross section of SAW sensor package at reliability test

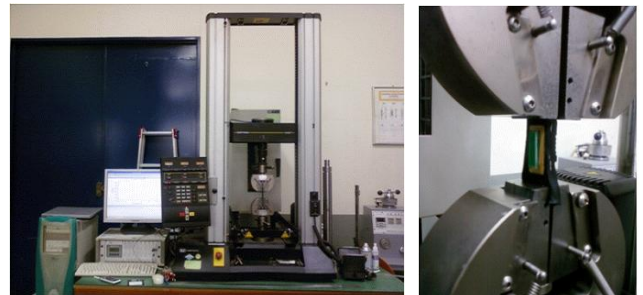


Fig. 2 Stretching tester(Instron 4467)

3. SAW 센서의 변형 센서로서의 가능성 검토

일반적인 SAW 센서의 재료로써 LiNbO₃ 는 다른 재료에 비하여 감도가 좋기 때문에 널리 사용되고 있다. 변형량 센서로서 사용이 가능 하려면 재료가 파괴되는 시점의 변형률이 필수적이다. 그러나 현재 SAW 기판의 경우 기계적 특성 자료가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 PCB 기판 위에 접착된 SAW 기판이 파괴되는 시점의 PCB 의 변형률을 실험을 통하여 알아보았다. Fig. 3 은 PCB 를 인장하였을 때 PCB 위에 접착된 SAW 기판이 파괴된 그림을 나타낸다. PCB 의 변형률이 약 2%일 때 SAW 기판의 파괴가 발생하였다. 접착제로 사용한 Loctite 401 의 완충작용을 고려하여 볼 때, SAW 기판의 파괴 변형률은 2%보다 작은 값이라고 판단된다. 본 연구에서는 PCB 기판의 2% 이내의 변형률을 바탕으로 SAW 센서를 설계하였다. Fig.4 는 설계된 two-port SAW 센서의 개략도이다. SAW 센서 설계에 있어 가장 중요 요소는 IDT 설계이다. 본 연구에서는 기존의 양방향성(bidirectional) IDT 가 아닌, Split IDT 구조를 적용하고자 한다. Split IDT 구조를 사용함으로써, 삽입손실을 줄일 수 있으며, LiNbO₃ 기판의 특성으로 생기는 TTE(triple transit echo)로 중심주파수에서의 교란 현상을 최소화 할 수 있다. 외부 힘에 의한 센서의 변형으로 두 IDT 사이에 존재하는 지연선(delay line)의 실제 길이가 증가하게 되며, 그 결과 지연선을 통과하는 표면탄성파(SAW)는 변형이 있기 전에 비해 시간 지연을 경험하게 된다. 그 결과 SAW 센서의 중

심주파수가 변화 하게 된다.

설계된 SAW 센서를 COM(couple of mode) 모델링을 통하여 결과를 예측하였다. Fig. 5 는 변형이 없는 경우와 가장 큰 변형(1%)이 인가된 경우의 예상되는 SAW 센서의 S21 데이터이다. 약 4MHz 의 중심주파수 변화와 약 -2dB 의 손실의 증가가 나타났다. 손실의 증가는 인위적인 외부의 힘에 의한 에너지 손실로 예상되며, 그 수치는 매우 적은 편이다. Fig. 6 은 변형이 없는 경우부터 1%의 변형까지 0.1% 단위로 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 완벽한 선형성을 보이지는 않지만, 예상한 것과 같이 변형에 의해 중심 주파수가 변화하는 결과를 보였다.

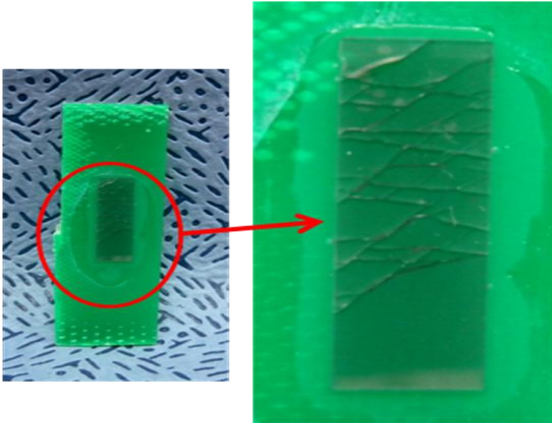


Fig. 3 Occurred crack at SAW substrate on the PCB(FR-4)

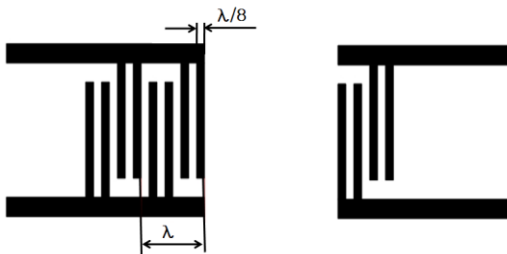


Fig. 4 Split IDT design on SAW substrate(LiNbO₃)

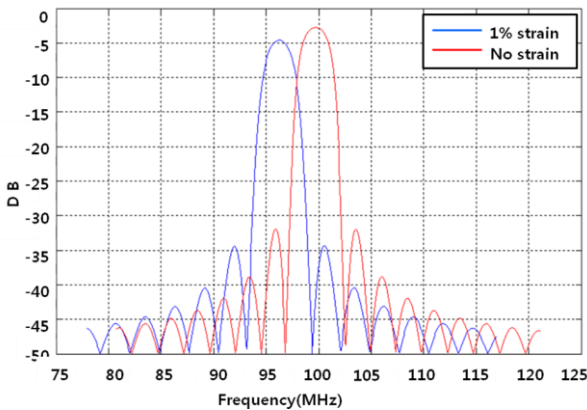


Fig.5 S21 data of no strain and 1% strain

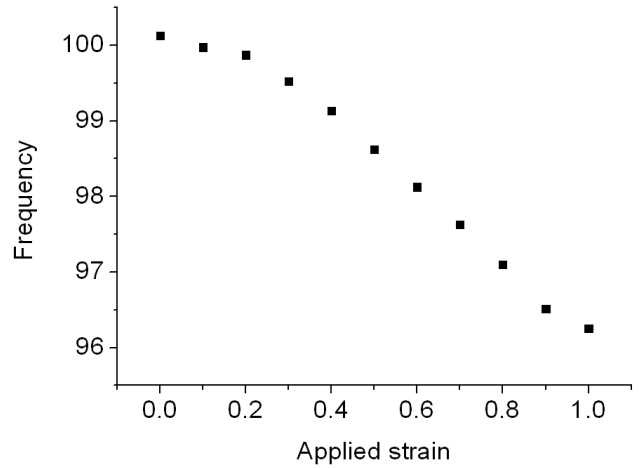


Fig.6 Frequency at 0.1% increased strep

4. 결론

본 논문에서는 타이어 변형량 센서를 타이어 내부에 부착 시에 발생할 수 있는 신뢰성 문제에 대한 연구를 수행하였다. 타이어에 부착된 패키지는 인장 변형률이 약 20%에서 안정적인 부착 신뢰성을 나타내었다. 또한 PCB 기판에 부착된 SAW 기판의 경우 기판의 변형률 2%에서 파괴가 일어났다. SAW 기판의 변형률은 2% 내에서 발생할 것이라 추측되며 결과를 토대로 SAW 센서를 설계하였다. 설계된 SAW 센서는 약 1%의 변형률에서 약 4MHz 의 중심 주파수 변화와 약 -2dB 의 손실의 증가가 나타났다. 차후 본 설계를 바탕으로 센서를 제작할 예정이다.

후기

본 연구는 지식경제부, 산업원천기술개발산업의 일환인 "인텔리전트 타이어 시스템 개발 과제"의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. R, Matsuzaki, A, Todoroki, "Wireless flexible capacitive sensor based on ultra-flexible epoxy resin for strain measurement of automobile tires," Sensors and Actuators, A 140, 32-42, 2007.
2. R, Matsuzaki, A, Todoroki, "Wireless strain monitoring of tires using electrical capacitance changes with an oscillating circuit," Sensors and Actuators, A 119, 323-331, 2005.
3. A, Pohl, "The "Intelligent Tire" Utilizing Passive SAW Sensors—Measurement of Tire Friction," IEEE Instrumentation and Measurement, 48, 1041-1046, 1999