

공기주입이 가능한 저전력 외장형 TPMS 구현

고영민*, 임솔*, 김대진°

Implementation of Low Power Exterior TPMS with Air Injection Capability

Young-min Ko*, Lim Sol*, Dae-jin Kim°

요약

TPMS 의무 장착 이전에 판매된 차량에 TPMS를 설치하고자 할 경우 외장형을 선호하는데, 현재 판매 중인 외장형 제품은 공기주입 방식과 전력 문제의 개선이 필요하다. 본 논문에서 설계한 외장형 TPMS는 장착한 상태에서 공기 주입이 가능하고 저전력으로 운영되도록 설계하였다. 기구부는 센서노드 상단에 공기주입부를 설치하여 하단부까지 공기가 관통하도록 설계하였다. 저전력 운영을 위해 관리 데이터 프레임, 일반 데이터 프레임, 경고 데이터 프레임의 3 가지 형태로 나누고 프레임의 길이를 짧게 설계하였다. 일반 데이터 프레임은 느린 주기로 그리고 경고 데이터 프레임은 빠른 주기로 데이터를 전송한다. 구현한 제품은 정상프레임은 30초 주기로 그리고 경고 프레임은 3초 주기로 운영하여 220mA 용량의 코인 배터리로 5 년 이상 동작한다.

키워드 : 타이어 압력 모니터링 시스템, 저전력, 외장형 TPMS, 스마트그리드, 사물인터넷

Key Words : Tire pressure monitoring system, Low power, External TPMS, Smart grid, IOT

ABSTRACT

If you want to install a TPMS in a vehicle sold before the TPMS mandatory installation, an external one is preferred. Commercial exterior TPMS requires improvement of air injection and power saving technology. In this paper, a new external TPMS is designed to operate with low power and air injection capability while mounted. The mechanical structure is designed so that air can be penetrated to the lower end by installing an air injection unit on the sensor node top. For low power operation, the frame is divided into three types of management data frame, general data frame and warning data frame, and the frame length is minimized. The normal data frame is transmitted in a slow cycle and the warning data frame is transmitted in a fast cycle. The implemented product operates with a period of 30 seconds for the normal frame and a period of 3 seconds for the warning frame. It is designed to operate for over 5 years with a 220mA coin battery.

1. 서론

TPMS는 타이어 공기압이 낮아지는 것을 감지하여

운전자에게 알려주는 장치로 타이어 안전사고를 예방하고 연료 낭비를 줄여주는 에코 드라이브에 효과적이다.^[1] 스마트 타이어란 기존 고무 타이어에 각종 안

* 이 논문은 전남대학교 연구연교수 연구비 (과제번호 : 2016-2820) 지원에 의하여 연구되었음

• First Author : Chonnam National University, Department of Electronics and Computer Engineering, abc0202k@nate.com, 학생회원

° Corresponding Author : Chonnam National University, Department of Electronics and Computer Engineering, djinkim@chonnam.ac.kr, 종신회원

* Korean Broadcasting System, yimski0@naver.com, 학생회원

논문번호 : 201903-030-D-RN, Received March 25, 2019; Revised June 3, 2019; Accepted September 25, 2019

전 센서를 장착해 운전자의 위험 상황을 경고하는 기능까지 수행하는 미래형 타이어로 실제 주행 중인 타이어가 펑크가 나기 전에 타이어 공기압 정보를 운전자에게 알려주거나 노면조건을 감지하고 타이어 외부 형태까지 바꿀 수 있는 신기술이 장착된 자동차 타이어를 말한다²⁾. 스마트 타이어의 핵심기술인 TPMS는 4 개의 타이어 휠 내부에 장착된 압력·온도센서 모듈, 무선송신기, 운전석에 설치된 TPMS 모니터링장치로 구성되어 있다. 시동을 걸 때와 운행중에 모든 타이어의 압력 및 온도 상황이 체크되어 계기판으로 전송된다. 위험징후나 위급상황시 디스플레이에 경고 표시와 경고 알람이 울리게 하여, 타이어가 펑크나 위험 상황에 직면하기 전에 미리 예방하는 역할을 한다.¹³⁻⁵⁾

2013 년부터는 TPMS의 의무장착이 법제화되어⁶⁾ 2013 년 이후 출시된 자동차는 내장형 TPMS가 설치되어 출고되고 있다. 내장형 TPMS는 타이어의 공기주입구 외부노출부와는 무관하게 설치되어 편리하게 공기주입을 할 수 있지만 고장 또는 배터리 용량 부족으로 교체해야 할 경우 전문 수리점에 의뢰해야 하는 단점을 가지고 있다. 2013 년 이전의 차량에 설치하는 사후시장(after market)용 TPMS는 사용자가 손쉽게 교체가 가능하고 설치비가 따로 없는 저렴한 외장형이 주로 판매되고 있다.

TPMS 센서노드와 모니터링장치와의 통신 방식은 단방향 통신과 양방향 통신이 있다. 양방향 통신은 데이터의 정상 수신 여부를 바로 확인할 수 있고 비정상 데이터의 경우 재전송을 할 수 있어 신뢰성이 높으며 또한 운전자가 요구하면 바로 타이어 상태 확인이 가능하다. 다만 보내고 받는 두 개의 채널의 통신모듈 하드웨어가 구현되어야 하므로 가격이 비싸지는 단점이 있다. TPMS의 경우 타이어의 상태를 수 초 또는 수십 초에 한번씩 주기적으로 알려주는 것이 주된 업무이기 때문에 단방향 통신으로도 기능 구현이 가능하다. 실제 단방향 통신의 데이터 오류율이 높지 않게 구현하는 것이 가능하며 일부 약간의 오류가 있을 경우에도 문제가 되지 않도록 운영할 수 있어 외장형 TPMS는 단방향 통신을 많이 사용한다.

공기주입구에 연결하는 외장형 TPMS는 배터리가 기구의 상단에 위치하며 아래부분은 공기의 압력을 측정할 수 있는 센서와 타이어의 공기주입구에 장착되는 타이어결합부로 구성되어 있다⁸⁾. 참고문헌 [8]의 특허는 공기를 주입하기 위해서 TPMS를 탈착해야 하는 구조이며, 본 특허는 안테나의 구조와 모양을 개선하여 통신효율을 높이는 장점을 제시하고 있다. 외

장형 TPMS의 특징은 타이어의 공기압 충전이 필요시에는 외장형 TPMS 센서노드를 탈착 후 공기주입을 해야 한다는 것이다. 그런 이유로 만약 타이어의 공기압 충전시에는 외장형 TPMS 센서노드를 탈착 후 공기주입을 해야 하는 번거로움이 있다. 또한 단방향 통신을 사용하는 TPMS의 데이터 프레임은 하나로 운영이 되며 센서노드에서 하나의 일정한 주기로 데이터 프레임을 송신한다. 하나의 주기로 데이터를 전송할 경우에는 위급상황에서 빨리 사용자가 인지할 수 있도록 빠른 주기로 데이터를 전송해야 한다. 빠른 주기로 전송할 경우 전력 소비가 많아지게 된다. TPMS에서 타이어의 압력과 온도 정보를 획득하는 방식은 두 가지가 있다⁹⁾. 압력센서와 온도센서를 사용하여 직접 측정하는 방식과 속도센서와 바이브레이션 센서를 이용하여 간접측정하는 방식이 있다⁹⁾. 참고문헌 [9]번에서는 직접측정 방식을 물리적인 센서를 사용하기 때문에 배터리 소모가 크다는 점을 지적했다. 그러나 압력센서와 온도센서를 직접 이용하여 타이어 정보를 획득하는 것이 정확도 면에서 아주 우수하기 때문에 실제 차량에서는 직접센서를 사용하고 있다. 다만, 배터리 소모를 줄일 수 있는 저전력 설계가 필요하다.

본 논문에서 설계한 외장형 TPMS는 다음의 특징을 가지고 있다. 첫째 외장형 TPMS의 공기 주입시 센서노드를 장착한 상태로 공기를 주입할 수 있도록 센서노드 상단에 공기주입부를 포함하도록 설계하였다. 그리고 센서노드의 센서회로 PCB 바깥 부분에 반원 형태의 구멍을 만들어 공기가 기구 하단부까지 관통하도록 설계하였다. 둘째 센서노드가 자체적으로 정상 상태와 위기 상태를 인지하여 구분할 수 있도록 설계하였다. 위기 상태에서는 운전자가 빨리 상황을 인지할 수 있도록 수 초에 한번씩 빠른 주기로 데이터를 전송하고, 정상 상태에서는 저전력 운영을 위하여 수십 초에 한번씩 느린 주기로 데이터를 전송한다. 셋째 저전력 운영을 위하여 데이터 프레임의 길이를 짧게 설계하였다. 센서노드 등록을 위한 72 비트의 관리프레임, 정상 상태의 32~48 비트의 일반 데이터 프레임, 위기 상태의 56 비트의 경고 데이터 프레임의 세가지 형태 프레임으로 나누어 설계하였다.

본 논문에서는 위의 세가지 특징을 갖는 TPMS의 센서노드와 모니터링장치의 하드웨어와 소프트웨어를 구현하고 동작을 확인한다.

II. 저전력 운영을 위한 프레임 설계

TPMS는 그림 1과 같이 타이어에 장착되어 공기압,

초로 도출되었다. 그러나 단일 프레임을 사용하고 그 단일 프레임의 전송 주기를 2.4 초로 가정하면 참고문헌^[10]의 그림 7의 결과를 참조하였을 때 배터리의 수명이 1 년 이하가 되어 원하는 5 년 사용을 보장할 수 없게 된다. 따라서 정상 상태와 위기 상태를 구분하여 전송 주기를 다르게 하는 것이 위기 상황을 빠르게 인지하게 할 수 있을 뿐만 아니라 배터리 수명도 5 년 이상으로 길게 사용할 수 있는 장점이 있다.

III. 하드웨어 및 소프트웨어 설계 및 제작

3.1 TPMS 센서 디자인 및 제작

TPMS 센서노드는 상단기구, PCB회로를 포함한 센서모듈, 하단기구 3개 부분으로 구성되어 있다. 상단기구 중에서 상단마개는 내부의 센서모듈을 충격에서 보호하기 위해 감싸는 형태로 구성되어 있으며 RF 신호가 방출되도록 PVC 재질로 제작되었다. 그리고 공기주입이 가능하도록 상단마개와 공기주입부를 결합하였다. 센서모듈은 센서회로 PCB와 배터리 PCB 2 단으로 제작하였으며 외부의 충격에 다소 약해 예폭 시를 도포하여 결합력을 높였다. 센서모듈의 바깥부분은 작은 반원형태의 구멍을 내어 상단기구에서 주입된 공기가 하단기구로 관통하도록 하였다. 하단기구 중에서 하단몸통은 센서모듈을 보호하기 위해 감싸는 형태로 구성된다. 하단기구는 타이어의 공기주입기에 돌려서 장착할 수 있도록 아래쪽 내부에 타이어결합부를 가공하여 설치하였다. 그래서 상단기구에서 주입된 공기는 타이어결합부를 통해서 타이어에 주입된다.

3.1.1 TPMS 센서 기구 설계 및 제작

그림 5는 공기주입구형 TPMS 센서노드의 설계도이다. 설계한 TPMS 센서노드는 일반인도 손쉽게 설

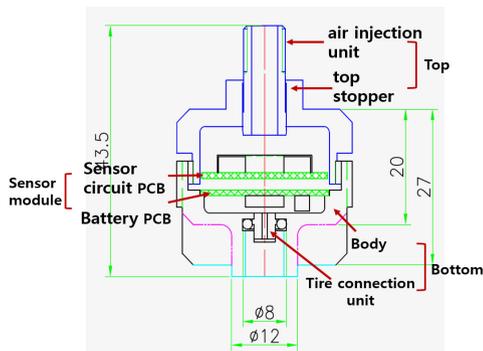


그림 5. 공기주입이 가능한 TPMS 센서노드 설계 도면
Fig. 5. Drawing of TPMS sensor node with air injection capability

치가 가능한 구조이며 장착한 상태에서 공기주입이 가능한 형태이다. 상단마개 외부에서 공기주입이 가능하도록 공기주입부를 추가하였으며 센서회로 PCB의 바깥 부분에 반원 형태의 구멍을 만들어 하단기구까지 관통하도록 설계하였다. 상단마개는 센서모듈에서 RF 송출이 가능하도록 PVC재질로 설계하였으며 하단몸통은 외부의 충격에 견딜 수 있도록 견고하면서도 가벼운 알루미늄 재질로 제작하였다. 센서노드가 타이어의 공기주입구에 장착되므로 안전성을 위하여 최대한 작은 사이즈로 설계하여 높이가 43.5 mm 폭이 32 mm이다. 배터리 교체 시 사용자가 손쉽게 해체하고 조립이 가능하도록 상단기구와 하단기구 2 개를 분리하면 센서모듈이 드러나도록 하였다.

그림 6은 설계한 내용을 바탕으로 실제로 제작된 공기주입이 가능한 TPMS 센서노드 기구이다. 제작은 CNC 밀링과 CNC 선반을 사용하였으며 상단기구는 RF 방출을 하기 위해 PVC 재질로 제작되었으며 하단기구는 알루미늄으로 제작되었다. 상단기구는 공기를 주입할 수 있는 구조이고 하단기구는 타이어의 공기주입기와 밀착되는 구조이다.

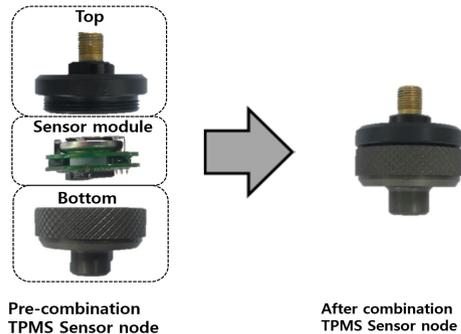


그림 6. 공기주입구형 TPMS 센서노드 사진
Fig. 6. Picture of TPMS sensor node

3.1.2 TPMS 센서 소프트웨어 설계

그림 7은 TPMS 센서노드의 소프트웨어 동작을 표시한 순서도이다. 센서노드는 주정차일 때와 주행중일 때 나누어서 동작한다. 주기적인 깨우기(Wake-Up) 인터럽트에 의해 실행된 센서노드는 차량의 가속도 값을 측정한다. 측정된 가속도의 값이 없을 경우 주차 상태로 판단하고 전력손실을 줄이기 위해 수면(Sleep) 상태로 전환한다. 측정된 가속도 값이 있을 경우 센서노드는 주행중으로 판단하며 다음의 타이어 위치등록 알고리즘을 실행한다. 타이어 위치등록 알고리즘은 TPMS 설치, 타이어 교체, 타이어 위치변경으로 인해

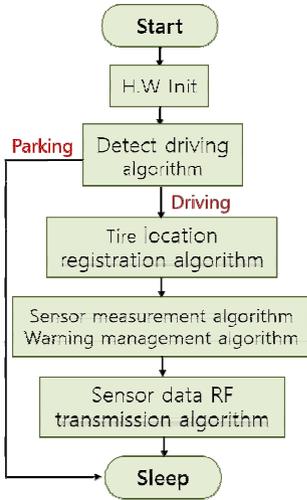


그림 7. TPMS 센서노드 소프트웨어 동작 순서도
Fig. 7. Flowchart of TPMS sensor node software

센서노드의 위치가 변경되었을 경우 실행된다. 각 타이어에 장착된 센서노드는 자신의 센서ID와 가속도 값을 포함한 시스템 관리 데이터 프레임을 전송하며 모니터링장치는 센서노드가 전송한 데이터를 분석하여 위치등록을 한다.

센서 측정 알고리즘은 압력, 온도, 전력, 가속도 데이터를 측정한다. 저전압은 센서 측정 알고리즘에 의해 파악이 된다. 위기관리 알고리즘은 고온, 고압, 저압, 빠른유출, 느린유출을 감지하고 분류한다. 센서 데이터 RF 전송 알고리즘은 일반 데이터 프레임 또는 경고 데이터 프레임을 전송하고 수면상태로 들어간다. 이후 센서노드는 일정 주기 후에 깨우기 인터럽트에 의해 다시 알고리즘을 시작한다.

그림 8은 타이어 위기감지 알고리즘의 순서도이다. 타이어 위기감지 알고리즘은 스파이크성 노이즈를 제거하고 평균을 구하는 형태로 측정 데이터의 평균값을 계산하여 80 °C 이상의 고온, 40 PSI 이상의 고압 그리고 28 PSI 이하의 저압을 먼저 분류한다. 온도와 압력이 정상범위인 경우 공기유출 여부를 검사하는데 압력의 기울기를 계산하여 기울기가 일정수준 값(G_s)을 넘지 않으면 정상 상태로 판정한다. 압력의 기울기가 G_s 보다 크면 공기 유출이 있다는 것이고, 압력 기울기가 G_F 보다 크면 빠른 유출로 판정한다. G_F 값은 G_s 값 보다 실험을 통하여 최대 약 3.5배 정도 큰 값으로 설정하였다.

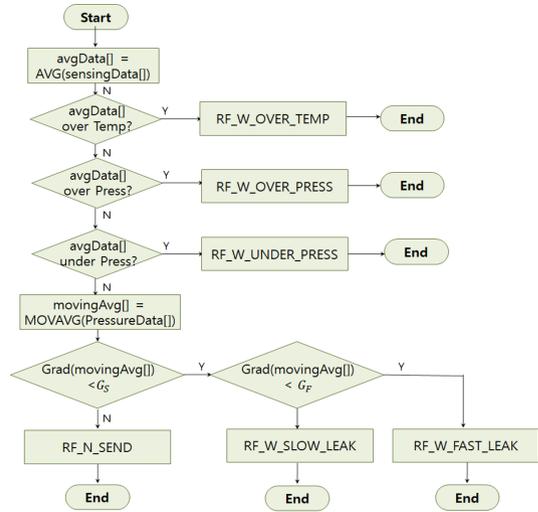


그림 8. 타이어 위기 감지 알고리즘 순서도
Fig. 8. Flowchart of tire crisis detection algorithm

3.2. 모니터링장치 설계 및 제작

3.2.1 TPMS 모니터 기구부 회로 디자인

그림 9는 TPMS 모니터링장치의 블록 다이어그램이다. TPMS 모니터링장치의 RF 수신부(A), 중앙제어부(B), 전원부(C) 3 가지로 구성되어 있다. RF 수신부(A)는 434 MHz 대역을 수신하기 위한 필터회로, RF 신호를 복조할 수 있는 수신 모듈을 포함한다. 중앙제어부(B)는 수신된 데이터를 해석하여 관리프레임, 일반 데이터 프레임, 경고 데이터 프레임으로 구분하고 각각에 맞는 프로세서를 수행하여 타이어 상태 정보를 LCD 패널에 디스플레이한다.

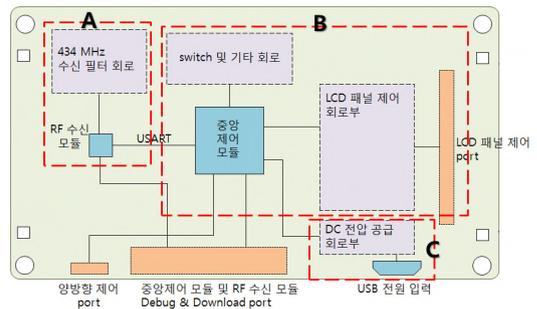


그림 9. TPMS 모니터링장치 블록 다이어그램
Fig. 9. Block diagram of TPMS monitoring device

3.2.2 모니터링장치 펌웨어 S/W 개발

그림 10은 TPMS 모니터링장치의 운영을 위한 탑재 레벨 설계 순서도이다. 모니터링장치는 크게 초기화

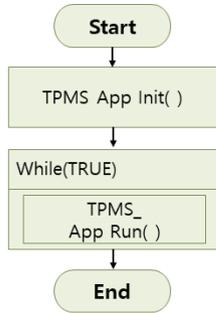


그림 10. TPMS 모니터링장치 탑 레벨 설계
Fig. 10. Top level design of TPMS monitoring device software

단계와 프로세서 실행 부분 두 가지로 나뉜다. 초기화 단계에서는 GUI 초기화, LCD 초기화, RF 수신을 위한 수신모듈 초기화, 데이터 입력 버퍼의 초기화 등을 수행한다. 프로세서 실행 부분은 초기화 단계를 제외 하면 항상 실행되도록 루프 형태로 설계하였다.

그림 11은 TPMS 모니터링장치의 실행 프로그램의 순서도이다. 먼저 센서노드의 데이터의 입력을 확인하는 TPMS_StateMachine()을 수행한다. 수신받은 데이터가 없을 경우 종료하고 입력 데이터가 존재하는 경우에는 프레임 해석 과정을 수행한다. 이후 해당 프레임에 맞는 기능을 수행하며 시스템 관리 프레임의 경우 타이어 위치 등록 알고리즘을 통해 센서의 타이어 위치를 등록하고 사용자에게 그 정보를 제공한다. 정상 데이터 프레임은 노이즈성 값을 필터링을 통해

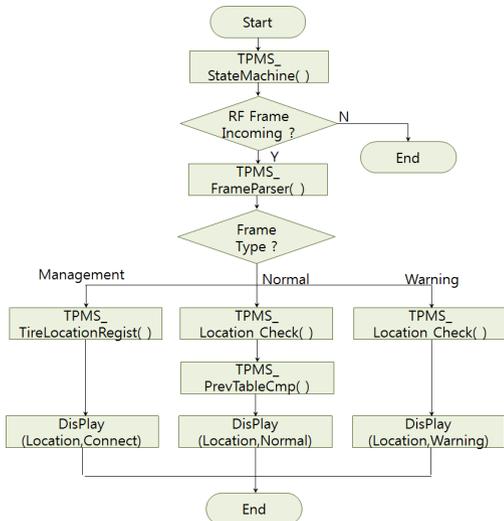


그림 11. TPMS 모니터링장치의 실행 프로그램 순서도
Fig. 11. Flowchart of TPMS monitoring device software

보정하여 압력 및 온도 값을 사용자에게 제공한다. 마지막으로 경고 데이터 프레임은 현재 타이어가 위기 상태임을 표시하므로 곧바로 사용자에게 위기 상황을 제공한다.

IV 공기주입이 가능한 TPMS 구현 및 테스트

본 장에서는 개발된 TPMS 센서노드와 TPMS 모니터링장치를 실제 차량에 장착한 후 동작 테스트를 진행하였다. TPMS는 크게 등록 전후 상태, 정상 상태, 위기 상태 3가지 상황에서 동작한다. 등록 전 상태는 TPMS 모니터링장치와 TPMS 센서노드에 전원을 인가한 직후 서로 간 통신이 활성화되지 않는 상태이다. 등록 후 상태는 TPMS 모니터링장치가 TPMS 센서노드의 타이어 위치등록을 위해 전송한 시스템 관리 프레임을 수신하여 해당 센서노드의 타이어 위치를 등록한 이후의 상태이다. 등록이 완료되면 모니터링장치는 타이어 상태를 표시하는 데이터 프레임들을 수신할 수 있다. 정상 상태는 TPMS 센서노드가 해당 타이어의 압력과 온도가 정상 범위 내에 존재함을 나타내는 것이다. 위기 상태는 하나 또는 그 이상의 TPMS 센서노드가 해당 타이어의 온도 또는 압력에 문제가 생긴 경우이다.

위의 3가지 상태에 대하여 TPMS 센서가 각 상황을 구분하여 동작하고, TPMS 모니터링장치가 해당 상황을 잘 인식하여 모니터링하는지 확인하는 테스트를 수행하였다. 또한 개발된 TPMS 센서노드를 장착한 상태에서 공기를 주입하여 공기주입구형 TPMS의 기능이 정상 작동하는지 확인하였다.

그림 12는 정상 상태의 모니터링장치 디스플레이

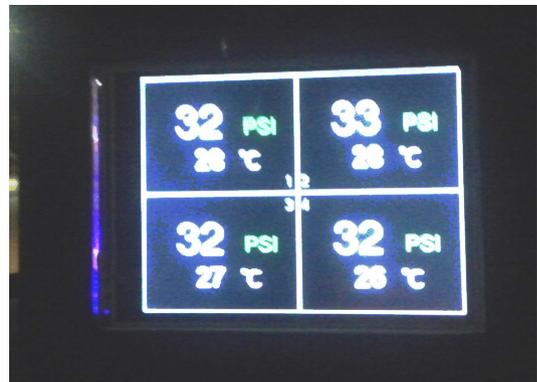


그림 12. 정상 상태에서 모니터링장치 디스플레이
Fig. 12. Display of monitoring information in normal state

를 나타낸다. 정상 상태는 자동차의 4 바퀴에 장착된 TPMS 센서로부터 받은 데이터가 모두 정상 범위 내에 있는 경우이다. 정상 상태에서 TPMS 모니터링장치는 각각의 TPMS 센서로부터 받은 데이터 프레임을 해석하여 현재 타이어의 온도와 압력을 표시하고 있다.

그림 13은 특정 바퀴의 타이어 상태를 TPMS 모니터링장치의 LCD 전체 화면으로 나타낸 것이다. 분할된 화면으로 타이어 정보들을 표시할 경우에는 온도 및 압력은 정수만을 출력한다. 하지만 한 개 타이어의 상세 정보를 전체 화면에 표시하는 경우에는 압력의 범위를 소수점 아래 한자리까지 확장시켜 자세히 확인할 수 있도록 하였다.

그림 14는 센서노드를 장착한 상태에서 공기주입 과정을 보여준다. 실험을 통해 센서노드를 장착한 상



그림 13. 타이어 상세정보 확인
Fig. 13. Detail information of a tire

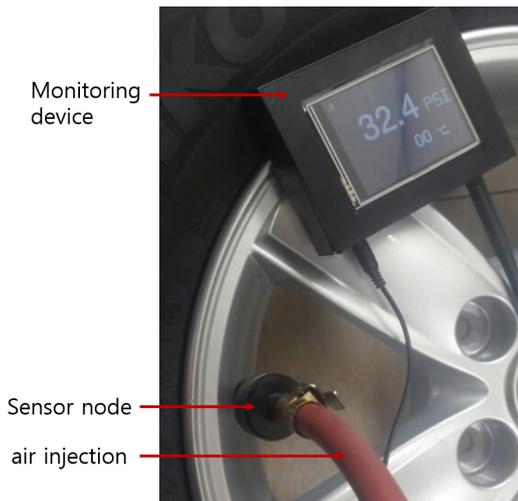


그림 14. 센서노드 장착 상태에서 공기주입
Fig. 14. Air injection through the top of a sensor node

태에서도 공기주입이 가능하며 화면을 통해 타이어의 상태를 확인하였다.

그림 13은 특정 바퀴의 타이어 상태를 TPMS 모니터링장치의 LCD 전체 화면으로 나타낸 것이다. 분할된 화면으로 타이어 정보들을 표시할 경우에는 온도 및 압력은 정수만을 출력한다. 하지만 한 개 타이어의 상세 정보를 전체 화면에 표시하는 경우에는 압력의 범위를 소수점 아래 한자리까지 확장시켜 자세히 확인할 수 있도록 하였다.

V. 결 론

TPMS 의무장착 이전에 출고된 차량에 TPMS를 설치하고자 할 경우 외장형 TPMS를 선호하는데, 공기주입 방식과 배터리 수명에서의 개선이 필요하다. 본 논문에서 설계한 외장형 TPMS는 장착한 상태에서 공기주입이 가능하고 저전력 운영이 되도록 설계하였다. 센서노드는 센서노드의 상단마개와 공기주입부를 결합하여 공기주입을 할 수 있으며 주입된 공기는 센서모듈 바깥 부분의 반원 구멍을 통하여 하단기구까지 관통한다.

저전력 TPMS 소프트웨어는 짧은 프레임 길이를 갖는 32~48 비트의 일반 데이터프레임, 56 비트의 경고데이터 프레임, 72 비트의 시스템 관리프레임 3 개를 설계하고 구현하였다. 그리고 센서노드는 위기 상태에서 주기를 짧게 조정하여 사용자에게 보다 신속하게 정보를 제공하며, 정상 상태에서는 저전력을 위해 수 십 초에 한번씩 느린 주기로 데이터를 전송한다. 실제 제품에서 정상 프레임의 주기는 30 초 그리고 경고 프레임의 주기는 3 초로 운영하였다. 위와 같은 저전력 운영을 통하여 220 mA 용량의 CR2032 코인 배터리로 5년 이상 동작이 가능하다.

최근 TPMS에 영구적으로 전원을 공급할 수 있는 차량용 나노 발전기(V-TENG)를 개발하였다¹³⁾. 향후 TPMS는 배터리 없는 TPMS로 전환이 될 것으로 예측된다. 전력을 TPMS 내에서 자체 생산하는 것이 가능해짐에 따라 통신 방식도 단방향 통신에서 양방향 통신으로 그 기능이 향상될 것이므로 배터리가 없는 양방향 TPMS가 향후 연구해야 할 분야이다.

References

- [1] HYUNDAI MOBIS monthly magazine, no. 423, pp. 22-23, Nov. 2016.
- [2] D. Lee, Trends of MEMS technology for tire

pressure monitoring system, *Auto J.*, pp. 40-46, 2012.

[3] S. Oh, J. Ahn, and B. Kim, "Design and fabrication of a rectangular spiral type antenna for 433 MHz," *J. KIEES*, pp. 752-755, Jun. 2012.

[4] Q. Zhang, B. Liu, and G. Liu, "Design of tire pressure monitoring system based on resonance frequency method," *IEEE/ASME Int. Conf.*, pp. 781-785, Singapore, Jul. 2009.

[5] J. Zhang, Q. Liu, and Y. Zhong, "A tire pressure monitoring system based on wireless sensor networks technology," *Multimedia and Inf. Technol.*, pp. 602-605, Dec. 2008.

[6] Ministry of Land, Infrastructure and transport, Announcement No. 2010-631, Jul. 2010.

[7] J. Ahn, "Zigbee and vehicles (TPMS, RKE) study on the frequency distribution method," *Korea Radio Promotion Assoc. Res. Report on Ministry of Sci. and ICT*, Dec. 2005.

[8] T.-M. Peng, "Tire temperature and tire pressure wireless sensing device," United States Patent, Apr. 12, 2016.

[9] A. Elfasakhany, "Tire pressure checking framework: A review study," *Reliability Eng. and Resilience*, vol. 1, no. 1, pp. 12-28, Apr. 2019.

[10] J. Chun and P. Cho, "Technical trend of tire pressure monitoring system," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 6, no. 20, Dec. 2005.

[11] G. Sravanthi, "Low power tire pressure monitoring system," Ph.D. dissertation, Dept. of Science, University of Akron, Dec. 2008.

[12] S. Lim, H. Choi, and D. J. Kim, "Transmission interval optimization by analysis of collision probability in low power TPMS," *J. Korea Inst. Inf., Electron., and Commun. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 364-371, Oct. 2017.

[13] H. Noh, "Chonnam national Univ. Development of 'Nano generator' to prevent tires from breaking," May 25, 2018, Retrieved Jan. 10, 2019 from http://www.wikitree.co.kr/main/news_view.php?id=346622.

고 영 민 (Young-Min Ko)



2015년 2월 : 전남대학교 토목공학과 학사

2017년 8월 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 석사

2017년 9월~현재 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 전자공학, 통신공학, 인공지능

[ORCID:0000-0001-9387-5567]

임 솔 (Sol Lim)



2015년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사

2017년 8월 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 석사

2017년 9월~현재 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학

과 박사과정

2018년 9월~현재 : 한국 KBS

<관심분야> 디지털통신, IoT, 센서 네트워크, 디지털방송

[ORCID:0000-0002-4885-0624]

김 대 진 (Dae-Jin Kim)



1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 학사

1986년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1991년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1991년 7월~1996년 12월: LG 전자 멀티미디어연구소 책임연구원

2009년 3월~2011년 2월: 지식경제부/한국산업기술 평가관리원 디지털TV/방송 PD

1997년 1월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 디지털통신, IoT, 센서 네트워크, 디지털방송

[ORCID:0000-0002-0767-2526]