

# 저전력 운영 TPMS에서 충돌 확률 분석을 통한 전송주기 최적화

임솔\*, 최한울\*, 김대진\*\*

## Transmission Interval Optimization by Analysis of Collision Probability in Low Power TPMS

Sol Lim\*, Han Wool Choi\*, Dae Jin Kim\*\*

**요약** 본 TPMS는 타이어의 공기압을 측정하여 운전자에게 현재 타이어의 상태를 알려주는 차량용 전장 시스템이다. TPMS 센서는 소형화, 경량화, 저가격성, 저전력을 위해서 단방향 통신을 사용한다. TPMS 센서 정보의 전송 주기는 운전자에게 제공하는 서비스의 질을 나타내는데, 최적의 전송 주기를 결정하기 위해서 프레임 충돌 확률과 생존 시간(Life time)에 대해서 분석하여야 한다. 본 논문에서는 정상모드와 경고모드가 존재하는 저전력 운영 TPMS에서 벤 다이어그램을 이용한 충돌 확률 모델을 설계하였고, 정상모드 전송 주기 대 경고모드 전송 주기에 대한 비율(n)에 따라 생존 시간과 충돌 확률을 분석하였다. 타이어 교체 시기를 5년, 7년으로 가정하고, 생존시간과 충돌 확률을 이용하여 최적화하였을 때, 5년에서  $T_{nP} = 31$  초,  $T_{wP} = 2.4$ 초이고, 7년에서  $T_{nP} = 71$ 초,  $T_{wP} = 2.5$ 초가 된다.

**Abstract** TPMS is a vehicle electric system that measures the air pressure of a tire, and informs the driver of current tire states. The TPMS sensor typically uses unidirectional communication for small size, light weight, and low power. The transmission period of the sensor indicates the service quality of monitoring the tire. In order to determine the optimal transmission period, frame collision probability and the life time of the sensor should be analyzed. In this paper, collision probability model using Venn diagram is designed in low power TPMS with the normal and warning mode. And the life time and a collision probability were analyzed with the ratio(n) of the normal mode to warning mode transmission period. As a result,  $T_{nP} = 31$  sec and  $T_{wP} = 2.4$  sec at 5 years, and  $T_{nP} = 71$  sec and  $T_{wP} = 2.5$  sec at 7 years.

**Key Words** : ALOHA, Collision probability, IoT, Sensor network, TPMS

### 1. 서론

차세대 자동차 기술의 연구개발은 친환경 기술과 안전 및 편의성 향상 기술에 대해 진행되고 있다. 특히, 차량 안전은 운전자 및 동승자의 안전과 관련된 문제로 매우 중요하다. 차량 사업계에서는 이러한 차량 안전성을 위해서 급제동 경보 시스템(ESS : Emergency Stop Signal)[1], 차체자세 제어장치(ESC : Electronic Stability Control)[2], 경사로 밀립 방지 장치(HSA : Hill Start Assist) 등과 같은 차량 스스로 안전성을 확보하는 안전 시스템에 대한 연구를 수행하고 있다.

특히 차량 운행 시, 외부적인 요인으로 인해 타이어의 공기압이 기준보다 높거나 낮아져 타이어

이러한 차량 안전성을 위해서 급제동 경보 시스템(ESS : Emergency Stop Signal)[1], 차체자세 제어장치(ESC : Electronic Stability Control)[2], 경사로 밀립 방지 장치(HSA : Hill Start Assist) 등과 같은 차량 스스로 안전성을 확보하는 안전 시스템에 대한 연구를 수행하고 있다.

This work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2014H1C1A1066568)

\*Department of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University

\*\*Corresponding Author : Department of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University(djinkim@jnu.ac.kr)

Received August 10, 2017

Revised August 21, 2017

Accepted September 14, 2017

의 이탈, 파손 등과 같은 상황이 발생하는 경우, 매우 심각한 사고로 이어질 가능성이 크다. 대다수의 운전자들은 주행 중에 이러한 타이어의 상태를 사전에 파악하기 어려운 편이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 시스템이 TPMS(Tire Pressure Monitoring System)이다. TPMS는 타이어의 상태, 즉 공기압을 측정하여 운전자에게 현재 타이어의 상태를 알려주는 시스템으로, 사고 예방, 연비 개선, 타이어 수명향상 등을 제공할 수 있는 차량용 전장 시스템이다.

대부분의 TPMS에서는 차량용 주파수로 분배되어 있는 434 MHz 대역(RF)을 사용하여 센서의 데이터를 전송하고 있다[3]. 또한 현재 판매되고 있는 TPMS 센서 칩은 대부분 RF 대역에서 송신 기능과 125 kHz의 저주파 대역(LF)에서 수신 기능을 제공한다[4, 5]. 따라서 송신기를 보유한 RF 통신만을 사용하는 경우 단방향 통신으로 모델링되며, RF와 함께 수신기를 보유한 LF 통신을 사용하는 경우 양방향 통신으로 모델링된다. 단방향 통신은 센서가 모니터링 장치로 데이터를 전송하기 위해 필수적으로 필요하지만, 양방향 통신은 RF 뿐만 아니라 LF 통신 기능을 사용해야 하고, 센서는 추가적으로 LF 통신을 위한 코일 안테나를 포함하여야 할뿐만 아니라 이를 동작시키기 위한 전력이 소모된다. TPMS 센서는 타이어에 부착되기 위해 배터리 전원으로 동작되므로, 소형화, 경량화, 저가격성, 저전력을 위해서 시스템이 간단하여야 하기 때문에 주로 RF, LF 통신을 사용하는 양방향 통신보다는 RF 통신만을 사용하는 단방향 통신으로 모델링 된다.

TPMS 센서는 타이어의 정보를 주기적으로 측정하여 전송하는데, 정보의 제공 주기가 짧을수록 타이어의 상태를 더 자주 감시하여 사용자에게 질 좋은 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 정보의 제공 주기가 짧아지면 전송 주기가 짧아지며, 소모되는 전력량이 증가한다. 또한 전송 주기가 짧아지면 같은 대역을 사용하는 4 개의 센서들이 채널을 점유하는 시간이 늘어나서, 채널에서 다른 센서 간의 패킷 충돌로 인한 패킷 손실 발생률이

증가한다. 따라서 패킷 충돌 확률과 생존 시간에 대해 분석하여 최적의 서비스를 제공할 수 있는 전송 주기를 찾을 필요가 있다.

본 논문에서는 타이어 수명을 고려하여 센서의 생존시간(life time)과 센서의 채널 접근 시 충돌 확률을 분석하여 최적의 센서 전송 주기를 결정한다. 이를 위해서 2 장에서는 센서의 충돌 확률 분석에 대한 모델링을 하고, 3 장에서는 [6]에서 제시한 전송 주기에 따른 배터리 수명 분석과 본 논문에서 제시하는 충돌 확률 분석에 의한 최적 전송 주기를 찾으며, 4 장에서 결론을 맺는다.

## 2. TPMS 센서 충돌 확률 분석

TPMS는 승용차를 대상으로 하였을 때 4개의 센서와 1개의 모니터링 장치로 구성된다. 4개의 센서는 모두 1개의 채널을 사용하고 있으며, 각 센서에서는 특정 주기를 가지고 채널을 점유하게 된다. 각 센서에서 채널을 점유하는 것을 그림 1을 통해 도식적으로 나타낼 수 있다. 각 센서가 채널을 점유하고 있는 시간을 동작시간(active time), 동작 시간이 종료된 후 다음 동작 시간까지 기다리는 시간을 유휴시간(idle time)으로 정의한다.

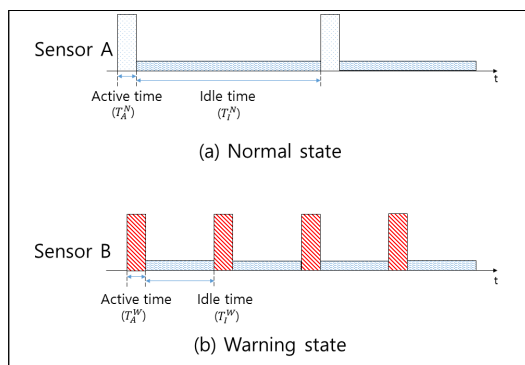


그림 1. 각 센서의 채널 점유 시간

Fig. 1. channel access time of each sensor

그림 1에서 Sensor A는 정상 상태에 있는 타이어에 부착된 센서의 동작을 나타내고, 정상 모

드로 동작한다. 정상 모드에서는 타이어에 위험이 없으므로 센서의 소모 전력을 최소화하기 위해 긴 유희시간을 갖는다. Sensor B는 위험 상태에 있는 타이어에 부착된 센서의 동작을 나타내며, 센서는 경고 모드로 동작한다[7]. 경고 모드에서는 타이어가 현재보다 더 심각한 상태로 가는 것을 방지하기 위해 더 짧은 주기로 감시하며 더 긴 프레임 길이를 가지고 타이어의 위기 상황을 지속적으로 운전자에게 경고한다. 이로 인해서 다른 센서에 비해 유희시간이 짧으며, 채널에 접근하는 횟수가 증가한다.

센서의 충돌 확률을 분석하기 위해 먼저 모든 센서가 정상 모드로 동작하는 경우에 대해 분석을 하고, 이후에 1개의 센서가 경고 모드로 동작하는 경우에서의 충돌 확률을 분석한다.

**2.1. 정상모드에서 충돌 확률 분석**

TPMS 센서들이 전송하는 프레임이 충돌하는 상황을 벤 다이어그램으로 표현하면 그림 2와 같다. 그림 2에서 Sensor A, B, C, D의 프레임이 서로 충돌하지 않는 상황은 A, B, C, D에 해당하는 영역이고, 충돌이 일어나는 부분은 각 집합 간의 교집합 부분에 해당한다. 따라서 TPMS에서 각 센서들 간의 프레임이 충돌하는 확률은 다음과 같다.

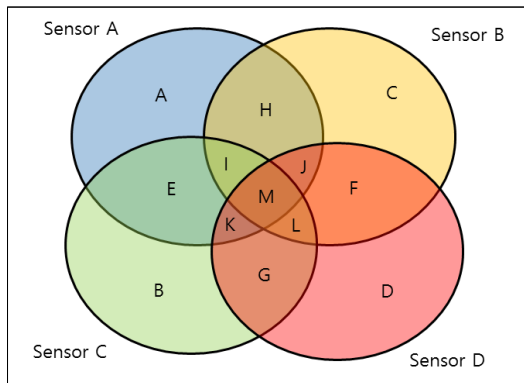


그림 2. 프레임 충돌 사건에 대한 벤 다이어그램  
Fig. 2. venn diagram for frame collision events

$$\begin{aligned}
 P(S_1, S_2, S_3, S_4) = & \quad (1) \\
 & P(S_1 \cap S_2) + P(S_2 \cap S_3) + P(S_3 \cap S_4) \\
 & + P(S_1 \cap S_3) - P(S_1 \cap S_2 \cap S_3) \\
 & - P(S_1 \cap S_2 \cap S_4) - P(S_1 \cap S_3 \cap S_4) \\
 & - P(S_2 \cap S_3 \cap S_4) + P(S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap S_4)
 \end{aligned}$$

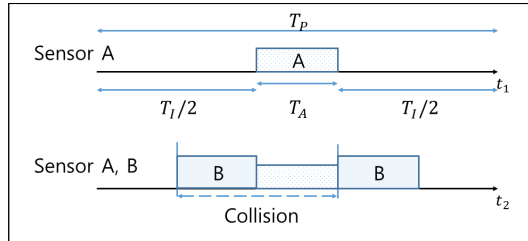


그림 3. 2개 센서 프레임의 충돌  
Fig. 3. collision of two sensor frames

2개 센서의 프레임이 충돌하는 경우는 그림 3과 같다. 센서 A가 이미 채널을 동작시간동안 점유하고 있을 때, 센서 B에서 충돌이 발생하는 경우는 센서 A의 프레임과 겹치는 구간동안이다. 각 센서의 채널 점유 시간, 즉 동작시간을  $T_A$ , 유희시간을  $T_I$ , 센서의 동작 주기를  $T_p = T_A + T_I$ 라 하였을 때, 2개 센서의 프레임이 충돌하는 확률( $P(S_x \cap S_y)$ )는 식 2와 같다.

$$P(S_x \cap S_y) = \frac{2T_A}{T_p} \quad (2)$$

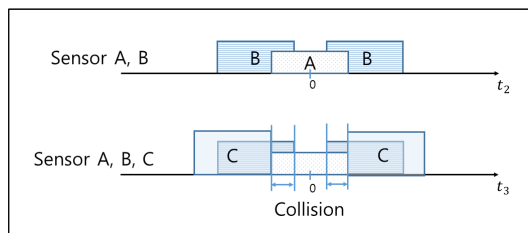


그림 4. 3개 센서 프레임의 충돌  
Fig. 4. collision of three sensor frames

3개 센서의 프레임이 충돌하는 경우는 그림 4와 같다. 3개 센서의 프레임이 동시에 충돌하는 경우는 센서 A와 B가 이미 충돌이 발생한 후, 센

서 C의 프레임이 충돌하는 경우이다. 먼저 센서 A, B가 충돌하는 경우를 센서 A 프레임의 중간을 기준으로 2 부분으로 나눈다. 이 후에 센서 B가 충돌하는 확률에, 센서 C가 센서 B와 충돌하는 확률을 곱하면 식 3과 같다.

$$P(S_x \cap S_y \cap S_z) = P(-T_A < t_2 < 0)P(-T_A < t_3 < t_2 + T_A) + P(0 < t_2 < T_A)P(t_2 - T_A < t_3 < T_A) \quad (3)$$

각각의 확률은 그림 4에서의 면적을 크기를 의미하므로 각 면적의 크기를 계산하면 식 4, 5와 같다.

$$P(-T_A < t_2 < 0)P(-T_A < t_3 < t_2 + T_A) = \int_{t_2=-T_A}^0 \frac{1}{T_P} \int_{t_3=-T_A}^{t_2+T_A} \frac{1}{T_P} dt_3 dt_2 \quad (4)$$

$$P(0 < t_2 < T_A)P(t_2 - T_A < t_3 < T_A) = \int_{t_2=0}^{T_A} \frac{1}{T_P} \int_{t_3=t_2-T_A}^{T_A} \frac{1}{T_P} dt_3 dt_2 \quad (5)$$

따라서 3개 센서의 프레임이 충돌하는 확률은 식 6과 같다.

$$P(S_x \cap S_y \cap S_z) = \frac{3T_A^2}{T_P^2} \quad (6)$$

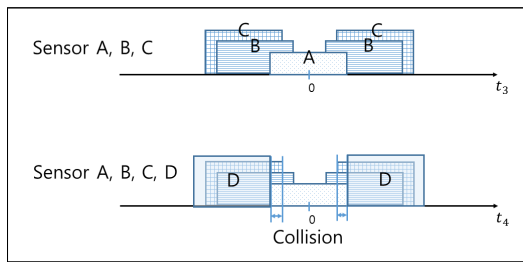


그림 5. 4개 센서 프레임의 충돌  
Fig. 5. collision of four sensor frames

마지막으로 4개 센서의 프레임이 충돌하는 경우는 그림 5와 같다. 4개 센서의 프레임이 동시에

충돌하는 경우는 센서 A, B, C가 이미 충돌이 발생한 후, 센서 D의 프레임이 충돌하는 경우이다. 3개 센서의 프레임이 충돌하는 경우와 동일한 방법으로, 충돌하기 위해 추가되는 프레임의 중간 시간을 기준으로 충돌하는 경우는 나뉘어 해석하면 총 4 가지 부분으로 나뉘어 해석할 수 있고, 각각의 확률을 계산하면 식 7과 같다.

$$P(S_x \cap S_y \cap S_z \cap S_w) = \frac{14T_A^3}{3T_P^3} \quad (7)$$

식 2, 6, 7을 이용하여 TPMS에서 각 프레임들이 충돌하는 확률을 계산하면 식 8과 같다.

$$P(S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap S_4) = \frac{8T_A}{T_P} - \frac{12T_A^2}{T_P^2} + \frac{14T_A^3}{T_P^3} \quad (8)$$

## 2.2. 경고모드에서 충돌 확률 분석

경고모드는 정상모드와 달리 프레임의 길이에 차이로 나타낸다. 경고모드에서 사용되는 프레임은 정상모드일 때와 다른 프레임 구조를 지니고 있다. 경고모드에서 사용되는 프레임은 현재 위험 상태인 타이어의 정확한 위치를 나타내기 위하여, 센서의 32 bits의 고정 주소와 해당 위험 상태를 나타내는 8bits의 정보를 포함하고 있다. 또한 센서의 전송 주기 또한 정상모드보다 더 자주 데이터를 전송하는 특징을 가지고 있다.

경고모드에서의 충돌이 발생하는 경우는 그림 2의 벤 다이어그램과 동일하게 발생한다. 하지만 앞서 계산한 센서 2, 3, 4개가 있는 상황에서의 해석은 경고모드에 있는 센서의 프레임이 달라지는 점과 주기가 달라지는 점에서 해석을 달리하여야 한다.

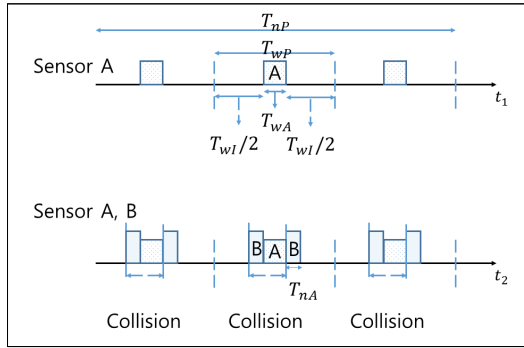


그림 6. 경고모드에서의 채널 점유 시간  
Fig. 6. channel access time in warning mode

그림 6은 경고모드에 있는 Sensor A와 정상모드에 있는 Sensor B가 채널을 점유하고 있는 시간을 나타낸다. 경고모드의 센서 주기( $T_{wP}$ )는 정상모드의 센서 주기( $T_{nP}$ )보다 짧다.  $T_{wP}$ 를 기준으로 봤을 때, 정상모드의 해석과 동일하며,  $T_{nP}$ 는  $T_{wP}$ 의  $n$  배로 표현할 수 있다. 여기서  $n$ 은 실수이다.

$$T_{nP} = n T_{wP} \quad (9)$$

식을 통해 정상 모드와 동일하게 해석하여 각 센서의 충돌 확률을 구하면 다음과 같다.

$$P(S'_x \cap S'_y) = \frac{T_{nA} + T_{wA}}{T_{wP}} \quad (10)$$

$$P(S'_x \cap S'_y \cap S'_z) = \frac{3(T_{nA} + T_{wA})^2}{4T_{wP}^2} \quad (11)$$

$$P(S'_x \cap S'_y \cap S'_z \cap S'_w) = \frac{13T_{nA}^3 + 31T_{nA}^2 T_{wA} + 31T_{nA} T_{wA}^2 + 13T_{wA}^3}{16T_{wP}^3} \quad (12)$$

여기서  $T_{nA}$ 은 정상모드의 프레임 길이,  $T_{wA}$ 는 경고모드의 동작시간이다. 식 10, 11, 12을 이용하여 경고모드에서 TPMS 프레임들이 충돌하는 확

률을 계산하면 식 13과 같다.

$$P(S'_1, S'_2, S'_3, S'_4) = \frac{4n(T_{nA} + T_{wA})}{T_{nP}} - \frac{3n^2(T_{nA} + T_{wA})^2}{T_{nP}^2} + \frac{n^3(13T_{nA}^3 + 31T_{nA}^2 T_{wA} + 31T_{nA} T_{wA}^2 + 13T_{wA}^3)}{16T_{nP}^3} \quad (13)$$

### 3. TPMS 전송 주기 최적화

TPMS 전송 주기를 최적화하기 위해서는 배터리 소모량과 충돌 확률을 분석하여야 한다. 배터리 소모량을 분석하기 위해서 [6]의 분석 방법을 사용한다. TPMS에서 센서 장치는 소형화, 경량화를 위해서 크기가 작은 코인 배터리(CR1632, CR2032)를 주로 사용한다. CR1632와 CR2032의 배터리 용량은 각각  $150\text{mAh}$ ,  $220\text{mAh}$ 인데, 비교적 범용적으로 많이 사용되고 있는 CR2032를 사용한다고 가정한다. 정상모드의 프레임은 약 95%를 사용하고, 경고모드의 프레임은 약 5%를 사용한다고 가정하였다.  $n = 1$ 인 경우에는 경고모드와 정상모드의 전송 비율이 같이 때문에 경고모드를 사용하지 않는 시스템과 성능이 동일하다.

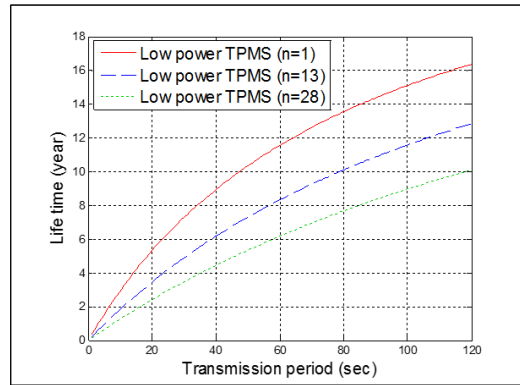


그림 7. 저전력 TPMS의 생존 시간  
Fig. 7. life time of low power TPMS

그림 7은 [7]에서 제시한 방법으로 구현된 저전력 TPMS의 배터리 소모량을 나타낸다.  $T_{nP}$ 가 증가하면 센서의 유휴시간이 상대적으로 증가한다. 따라서 전력 소모량이 줄어들어, 센서의 생존 시간이 증가된다. 또한  $T_{nP}$ 가 일정 할 때,  $n$ 이 증가할수록  $T_{wP}$ 는 짧아져 경고모드의 프레임이 더 많이 전송되어 전력 소모량이 증가한다. 따라서  $n$ 이 증가할수록 센서의 생존 시간은 감소된다.  $T_{nP}$ 가 짧은 경우에는 생존 시간이 짧아  $n$ 에 따른 변화의 폭이 좁으나,  $T_{nP}$ 가 긴 경우에는 생존 시간이 증가하면서  $n$ 에 따른 변화의 폭이 크다.

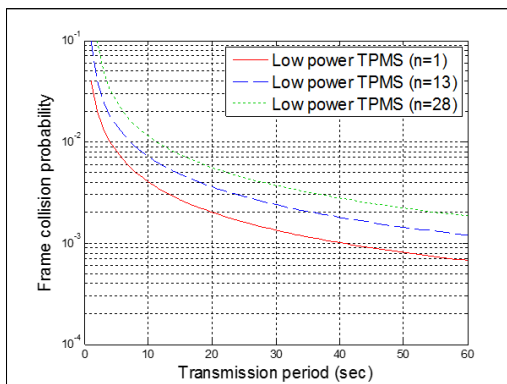


그림 8. 저전력 TPMS의 충돌 확률  
Fig. 8. collision probability of low power TPMS

그림 8은 정상모드와 경고모드를 사용하는 저전력 TPMS의 충돌 확률을 나타낸다.  $T_{nP}$ 가 증가할수록 유휴시간이 증가하여 채널이 비어 있는 시간이 많아 충돌 확률은 감소한다.  $T_{nP}$ 가 일정 할 때,  $n$ 이 증가할수록  $T_{wP}$ 가 짧아져서 전송되는 패킷의 수는 증가하게 되어 충돌 확률이 증가하게 된다.

TPMS의  $T_{nP}$ 를 최적으로 결정하기 위해서는 다음의 몇 가지 사항들을 고려하여야 한다. 첫 번째, 센서의 생존시간은 타이어 교체 시기 이상이 되어야 한다. 두 번째, 서비스의 질을 향상시키기 위해  $T_{nP}$ 는 최소로 하여야 한다. 세 번째, 충돌 확률은 정상모드만을 사용하는 시스템의 성능과

유사하여야 한다. 충돌 확률은  $n$ 이 증가할수록 충돌 확률은 증가하여 성능이 저하된다. 따라서 이전 시스템과 유사한 성능을 나타내어야 하는데, 정상모드의 확률과의 차가  $10^{-3}$ 이하인 경우를 성능 차이가 거의 없다고 한다. 마지막으로  $T_{wP}$ 가 작을수록 경고모드에서 더 많은 서비스를 제공하므로,  $T_{wP}$ 를 최소로 하기 위해 허용하는 조건 내에서  $n$ 은 최대로 한다. 본 논문에서  $n$ 을 1 단위로 계속 증가시키면서 실험을 진행하였다.

타이어의 교체 시기는 타이어의 종류와 운전자의 운전 습관, 또는 주행 조건 등의 다양한 요소로 인해 교체 시기를 정확히 결정하기에 어렵다. 하지만 일반적으로 5년이 지나면 타이어 점검을 받으며, 이 시점을 TPMS 센서의 수명으로 보며, 일부 해외 선진사들에서는 7년을 수명으로 고려하고 있다[8]. 그림 9의 (a)는 타이어 교체시기가 5년으로 가정하였을 때, 배터리 수명과 충돌 확률에 따른 그래프를 나타낸다. P 포인트는  $n = 2$ 에서 센서의 생존 시간이 타이어 교체시기를 앞서기 시작하는 시점이다. P 포인트에서는  $T_{nP}$ 를 최소로 할 수 있는 장점이 있으나,  $n$ 의 값이 낮아  $T_{wP}$ 를 최소로 할 수가 없어 최적의 전송 주기라 할 수 없다. R 포인트는  $n = 28$ 에서 센서의 생존 시간이 타이어 교체시기를 앞서는 지점이지만, 센서의 충돌 확률이 이전 시스템과 비교하여 많이 증가되어 최적의 전송 주기라 할 수 없다. Q 포인트는  $n = 13$ 에서 센서의 생존 시간이 타이어 교체시기를 앞서는 지점으로, 충돌 확률이 낮으며,  $n$ 을 최대로 할 수 있다. 따라서 Q 포인트의 지점이 최적의 전송주기라 할 수 있으며,  $T_{nP}$ 는 약 31초,  $T_{wP}$ 는 약 2.4 초이다. 그림 9의 (b)는 타이어 교체시기가 7년으로 가정하였을 때이며, 동일한 방법으로 해석하였을 때,  $n = 28$ 에서 최적화가 되며  $T_{nP}$ 는 약 71 초,  $T_{wP}$ 는 2.5 초이다. 타이어 교체 시기가 증가되면 생존 시간에 영향을 더 많은 영향을 주는  $T_{nP}$ 를 증가시켜야 한다는 것을 알 수 있다.

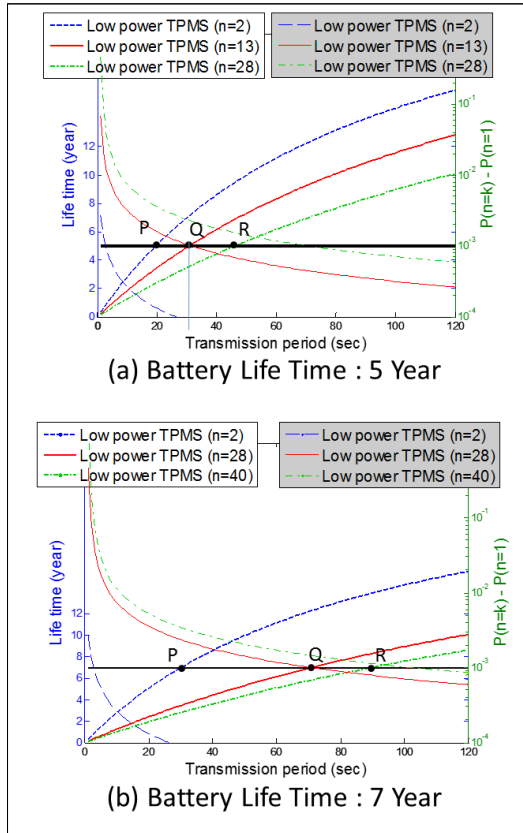


그림 9. 생존시간과 충돌 확률을 이용한 전송주기 최적화  
 Fig. 9. transmission interval optimization by life time and collision probability

#### 4. 결론

본 논문에서는 단방향 통신을 사용하는 TPMS에서 전송 주기에 따른 TPMS의 생존 시간과 충돌 확률에 대해서 분석하였다. 논문에서 고려하는 TPMS 시스템은 정상모드와 경고모드 2가지가 존재하는 시스템을 가정하였으며, TPMS 센서의 점유 시간에 따른 충돌 확률 분석을 위한 벤 다이어그램을 이용한 확률 모델을 설계하였다. 또한 센서 생존 시간 분석 방법과 함께 정상모드 전송 주기 대 경고모드 전송 주기에 대한 비율(n)에 따라 생존 시간과 충돌 확률을 분석하였다. 타이어 교체 시기를 5년과 7년으로 가정하고 생존시간과 충돌 확률 분석을 이용하여 전송주기를 최적화하

였을 때, 5년에는  $T_{n,P}$ 가 31초,  $T_{w,P}$ 는 2.4초이고, 7년에는  $T_{n,P}$ 가 71초,  $T_{w,P}$ 는 2.5초가 된다.

#### REFERENCES

- [1] DongHyuk Jeong, Tae Young Yu, Hyoung Geun Kwon, Hyun Chul Bae, "Development of Emergency Stop Signal(ESS) System Using Wheel Speed", 2010 Proceedings of the Korea Society of Automotive Engineers Conference (KSAE), 1256-1262, 2010. 5.
- [2] Eunhye Ryu, Dooyong Kim, Minwoo Soh, Jaejoon Kwon, Taewook Hong, Kihong Park, "A Study on the Securing of Vehicles Stability after Impacts to Mitigate Secondary Collision", 2014 Proceedings of the Korea Society of Automotive Engineers Conference(KSAE), 540-549, 2014. 5.
- [3] J. Y. Chun, P. D. Cho, "Technical Trend of Tire Pressure Monitoring System", Electronics and Telecommunications Trends, 166-177, Vol. 20, No. 6, 2005. 12.
- [4] Freescale Semiconductor, "FXTH871x7 Tire Pressure Monitor Sensor data sheet : Advance Information", 1-1, 2015. 2.
- [5] Infineon Technologies AG, "Product Brief : SP37 450kPa Tire Pressure Sensor", 1-1, 2012. 6.
- [6] Choi Han Wool, Chae Chang Seok, Kim So Yeon, Kim Dae Jin, "Calculation of Battery Lifetime in TPMS Sensor Modules", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, 250-251, 2015. 6.
- [7] So Yeon Kim, Sol Lim, Chang Seok Chae, Han Wool Choi, Intae Hwang, Dae Jin Kim, "Design of Low Power Operational TPMS System", 2015 IEEE PACRIM, 344-347, 2015. 8.
- [8] Hyeong Min Kim, Sin Hwan Wi, Hee Bok Lee, "Life Time Expectancy Through Accelerated Life Test of Tire Air Pressure Sensor", Proceedings of the Korean Reliability Society, 41-48, 2011. 6.

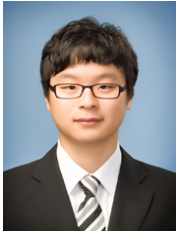
---

## 저자약력

---

**임 솔 (Sol Lim)**

[정회원]



- 2013년 2월 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2015년 2월 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 석사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야>

디지털통신, IoT, 센서 네트워크, 디지털방송

**최 한 울 (Han Wool Choi)**

[학생회원]



- 2015년 2월 : 순천대학교 전자컴퓨터공학과 학사
- 2017년 8월 : 전남대학교 일반대학원 전자컴퓨터공학과 석사

<관심분야>

디지털통신, 센서 네트워크

**김 대 진 (Dae Jin Kim)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1991년 7월 ~ 1996년 12월 : LG전자 멀티미디어연구소 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 지식경제부/한국산업기술평가관리원 디지털TV/방송 PD
- 1997년 1월 ~ 현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<관심분야>

디지털통신, IoT, 센서 네트워크, 디지털방송,