

---

# 간섭제거를 위한 TPMS 빔형성기들의 복잡도 비교

김성민\* · 황석승\*\*

## Computational Complexity Comparison of TPMS Beamformers for Interference Suppression

Seong-Min Kim\* · Suk-Seung Hwang\*\*

### 요약

타이어 파손으로 인한 사고를 사전에 방지하기 위해 개발된 TPMS(Tire Pressure Monitoring System)는 타이어에 장착된 센서부로부터 전송된 데이터를 기반으로 타이어의 이상 유무를 디스플레이 장치에 표시하고 운전자가 실시간으로 타이어의 온도, 압력 등의 정보를 수시로 파악하여 최적의 주행조건을 유지시켜주기 위한 안전보조시스템이다. 무선통신을 사용하는 TPMS는 측정된 데이터의 송수신 시 간섭이나 잡음으로 인해 데이터 전송 시 수신 오류가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 스위칭(Switching), MVDR (Minimum-Variance Distortionless-Response), GSC(Generalized Sidelobe Canceler) 빔형성기(Beamformer) 등과 같은 간섭제거에 효율적인 대표적인 빔형성 기술들을 사용한다. 본 논문에서는 이 세 가지 빔형성기의 복잡도를 계산하여, 복잡도 성능 비교에 대한 수학적 근거를 제시한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 고려된 세 가지 빔형성기의 복잡도 성능을 확인한다.

### ABSTRACT

TPMS (Tire Pressure Monitoring System) is a safety assistant system to prevent the serious accident due to the damaged tire by the abnormal tire pressure. It is designed to transmit the measured data for pressure and temperature of tires from the sensor unit installed in each tire to signal processing unit installed in a vehicle. Based on the received information, a driver monitors the condition of tires using a display device, to maintain the optimum travelling condition. Since TPMS should employ the wireless communication technique, it may suffer from various interferences from external electrical or electronics devices. In order to suppress them, the beamforming techniques such as switching, minimum-variance distortionless-response (MVDR), and generalized sidelobe canceler (GSC) have been considered for TPMS. In this paper, we calculate computational complexities of three beamformers and suggest mathematical basis to compare their performance of the complexity.

### 키워드

TPMS(Tire Pressure Monitoring System), Switching Beamformer, MVDR (Minimum-Variance Distortionless-Response Beamformer), (Generalized Sidelobe Canceler Beamformer), Computational Complexity

양방향통신, 스위칭 빔형성기, MVDR 빔형성기, GSC 빔형성기, 복잡도 계산

---

\* 조선대학교 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공)(millionairek@naver.com)

\*\* 교신저자 : 조선대학교 메카트로닉스공학과(hwangss@chosun.ac.kr)

접수일자 : 2012. 07. 31

심사(수정)일자 : 2012. 11. 21

게재확정일자 : 2012. 12. 10

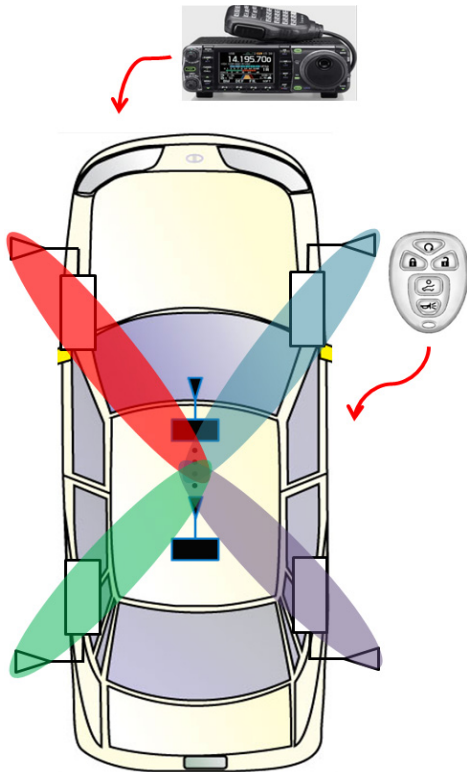


그림 1. TPMS에 적용되는 빔형성기 구조  
 Fig. 1 Beamforming antenna arrangement applied to TPMS

## I. 서론

운전자의 안전을 위해 차량의 안전성을 증진시키는 시스템인 TPMS는 타이어의 휠이나 밸브 등에 장착된 센서부에서 타이어 내부의 압력, 온도 등의 측정된 정보를 신호처리부로 송신하고, 타이어 압력 및 온도 등의 실제 상태를 실시간으로 알려줌으로써 타이어 공기압이 낮아지거나 높아질 때 발생하는 예기치 못한 사고를 사전에 방지하도록 도움을 주는 안전보조 시스템으로 정의할 수 있다[1]. 차량 타이어의 공기압이 적정 압력보다 낮거나 높으면 타이어 파열사고 원인이 되기도 하고 제동 성능이 감소하며, 타이어의 수명이 줄어들고 연료소비량은 증가하게 된다[2]. TPMS는 전 세계적으로 433.92MHz의 주파수 대역을 주로 사용하는데 [3] 국내에서는 433.92MHz와 447MHz의 두 주파수 대

역을 주로 사용한다. 해외 수출을 고려했을 때, 433.92MHz 주파수 대역의 TPMS 개발이 필수적인데, 국내에서 이 주파수 기반의 TPMS를 사용할 경우, 비슷한 주파수 대역을 사용하는 각종 전기 및 전자 장치 (RKE, 컨테이너 용 RFID 장치, 아마추어 무선국 등)들의 고 출력 간섭신호로부터 TPMS 데이터 송수신에 영향을 받을 수 있다[4]. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 TPMS에 스위칭 빔형성기[5], MVDR 빔형성기 [6], GSC 빔형성기[7] 등의 다양한 빔형성기를 적용시키는 연구가 진행되고 있다. 이들은 각기 장단점을 지니고 있는데, 이들 빔형성기들은 각기 다른 복잡도를 가진다. 높은 계산량을 가질수록 처리 프로세스가 길어지며 이 경우 정형화된 프로세스에 적합하지 않는 예외상황이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 스위칭, GSC, MVDR 빔형성기들의 복잡도를 계산하고, 비교/분석하여 실제 TPMS에 적용할 경우 소프트웨어 및 하드웨어에 어느 정도의 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시한다. 복잡도 계산은 실질적 연산에 사용되는 사칙연산(덧셈, 뺄셈, 곱셈, 나눗셈)을 기반으로 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 수신신호 모델을 제시하고, 3장에서는 간섭제거를 위한 세 가지 빔형성기(스위칭, MVDR, GSC)들을 소개하며, 4장에서는 고려된 세 가지 빔형성기들의 계산 복잡도를 수식으로 나타낸다. 5장에서는 4장에서 구한 계산 복잡도를 실제 시뮬레이션을 통해 결과를 비교/분석하고, 6장에서는 연구결과를 제시한다.

## II. 수신신호 모델

본 장에서는 빔형성기 기반의 TPMS 수신신호 모델을 제시한다. TPMS에 빔형성 기술을 적용시키기 위해 자동차 중앙에 안테나를 일직선으로 배치시켜 각 타이어에 부착된 송신 안테나에서 전송된 데이터를 수신하는 안테나 구조를 제안한다. 제안된 수신 안테나의 구조는 그림 1과 같이  $M$  개의 배열 요소를 가지며, TPMS 수신신호는 샘플 인덱스  $k$ 에 대하여 식 (1)과 같이 주어진다.

표 1. 수신신호 모델의 요약 (1)  
Table 1. Summary of received signal model in (1)

부호	정의
$\mathbf{a}_i$	$i$ 번째 타이어에 대한 어레이 응답벡터
$x_i(k)$	길이 $N$ 의 $i$ 번째 타이어에 대한 사이클로스테이션너리 Golde Code
$b_i(k)$	골드코드의 한 사이클 동안 일정한 $i$ 번째 타이어에 대한 실제 측정된 데이터 비트
$\mathbf{A}$	어레이 응답 행렬
$\mathbf{s}(k)$	간섭신호들로 이루어진 간섭신호 벡터
$\mathbf{n}(k)$	i.i.d(independent and identically distributed) 원소로 구성되어있는 '0'과 $\sigma^2$ 을 평균과 분산으로 가지는 AWGN(additive white Gaussian Noise, 백색 가우시안 잡음)

표 2. 행렬 과 벡터의 크기 (1)  
Table 2. Sizes of the matrices and vectors in (1)

행렬/벡터	크기
$\mathbf{r}(k)$	$M \times 1$
$\mathbf{a}_i$	$M \times 1$
$\mathbf{A}$	$M \times L$
$\mathbf{s}(k)$	$L \times 1$

$$\mathbf{r}(k) = \sum_{i=1}^4 \mathbf{a}_i x_i(k) b_i(k) + \mathbf{A} \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (1)$$

식 (1)의 각 요소에 대한 설명은 표 1에 정리되어 있고, 행렬 및 벡터의 크기는 표 2에 정리되어 있다.  $L$ 개의 간섭에 대한 AOA(Angle-of-Arrival) 어레이 응답 행렬인  $\mathbf{A}$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[8].

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ e^{-j\zeta_1} & \dots & e^{-j\zeta_L} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ e^{-j(M-1)\zeta_1} & \dots & e^{-j(M-1)\zeta_L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서  $l$ 번째 열의  $\zeta_l$ 는 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$\zeta_l = 2\pi \left( \frac{d}{\lambda} \right) \cos \phi_l \quad (3)$$

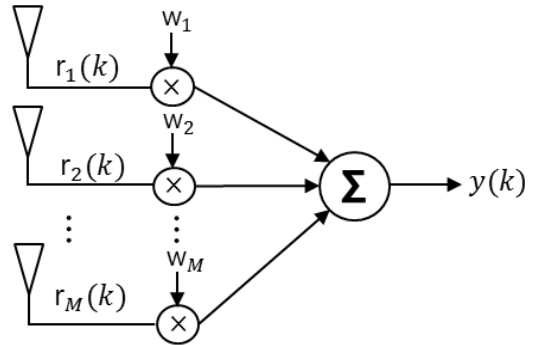


그림 2. 일반적인 빔형성기 구조  
Fig. 2 Architecture of conventional beamformer

식 (3)에서  $\phi_l$ 은 수신안테나로 입사되는  $l$ 번째 간섭신호에 대한 수신 방향 각도이며, 안테나 사이의 간격을 나타내는  $d = \lambda/2$ 에서  $\lambda$ 는 신호의 파장이다.

### III. 간섭제거를 위한 빔형성기

본 장에서는 TPMS의 간섭제거에 우수한 성능을 가지는 세 가지 빔형성기(스위칭 빔형성기, GSC 빔형성기, MVDR 빔형성기)에 대해 소개한다. 이들 빔형성기법을 이용하여 계산된 가중치 벡터는 그림 2의 가중치에 적용된다.

#### 3.1. 스위칭 빔형성기

스위칭 빔형성기는 외부로부터의 간섭을 최소화하고 센서부에서 측정된 데이터의 정확한 수신을 위해 각 타이어의 송신안테나로부터 차량 내부 수신안테나로의 AOA 벡터를 기반으로 하는 일반적인 빔형성기를 교대로 사용하는 기법이다. 빔형성기 가중치에 의한 각 타이어에 대한 빔형성기 출력은 식 (4)와 같이 주어진다.

$$y_i(k) = \mathbf{w}_i^H \mathbf{r}(k) \quad (4)$$

식 (4)의 빔형성기 출력  $y_i(k)$ 는 원하는 타이어의 TPMS 데이터 신호와 잡음, 그리고 작은 전력의 억제된 간섭 신호를 포함한다. 또한, 식 (4)의 빔형성기 가중치 벡터는 스위칭 빔형성기의 경우 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\mathbf{w}_i = \frac{\mathbf{a}_i}{\sqrt{\mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_i}} \quad (5)$$

식 (5)에서  $^H$ 는 켈레복소수 전치(transpose)를 나타낸다. 식 (5)는  $i$ 번째 타이어에 대해 크기 '1'의 빔 팩터(beam factor)를 생성하여, SIR(Signal-to-Interference Ratio)값을 향상시킨다.

### 3.2. MVDR 빔형성기

MVDR 빔형성기는 원하는 방향의 신호는 일정하게 유지되면서 빔형성기의 출력신호의 전력을 최소화하는 적응 빔형성 기법이다[9]. MVDR 빔형성기는 원하는 신호에 크기 '1'의 빔 팩터를 형성하여 수신방향으로 빔을 형성하고, 간섭들의 방향으로 null을 형성하여 간섭을 제거한다.  $i$ 번째 타이어에 대한 MVDR 가중치 벡터는 식 (6)에 의해서 계산된다.

$$\min_{\mathbf{w}_i} \mathbf{w}_i^H \mathbf{R} \mathbf{w}_i, \text{ subject to } \mathbf{a}_i^H \mathbf{w}_i \quad (6)$$

식 (6)에서  $\mathbf{R} = E[\mathbf{r}(k)\mathbf{r}^H(k)]$ 는 수신신호 벡터의 자기상관행렬이며, 크기는  $M \times M$ 이다.  $i$ 번째 타이어에 대한 MVDR 빔형성 가중치 벡터는 식 (7)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{w}_i = [\mathbf{a}_i^H \mathbf{R} \mathbf{a}_i]^{-1} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{a}_i \quad (7)$$

### 3.3. GSC 빔형성기

GSC 빔형성기는 MVDR 빔형성기와 비슷한 간섭 제거 성능을 보유하면서 자기상관 행렬 계산이 필요하지 않아 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 가지는 효율적인 간섭제거기이다. GSC 빔형성기 가중치 벡터를 구하기 위한 주요식은 아래와 같이 요약할 수 있다. GSC 빔형성기의 경우  $i$ 번째 타이어에 대한 가중치 벡터는 식 (8)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{w}_i(k) = \frac{1}{M} \mathbf{a}_i - \mathbf{K} \mathbf{w}_{g_i}(k) \quad (8)$$

식 (8)에서  $\mathbf{w}_{g_i}(k)$ 는 LMS 알고리즘에서 시간에 따라 적응되는  $(M-1) \times 1$  크기의 가중치 벡터이고,

$\mathbf{K}$ 는  $M \times (M-1)$  크기를 가지는  $\mathbf{a}_i$ 의 left null space 행렬이다.  $i$ 번째 타이어에 대한 GSC의 LMS 알고리즘 가중치 벡터는 식 (9)에 의해 계산된다[10].

$$\mathbf{w}_{g_i}(k+1) = \mathbf{w}_{g_i}(k) + 2\mu z(k) y_{g_i}^*(k) \quad (9)$$

$\mu$ 는 스텝사이즈 매개변수로서  $0 < \mu < 1$ 이고,  $\mathbf{z}(k)$ 는 입력신호 벡터,  $y_{g_i}(k)$ 는 추정오류이며, 식 (10)과 같다.

$$y_{g_i}(k) = z_i(k) - h(k) \quad (10)$$

$z_i(k)$ 는 LMS 알고리즘의 학습(reference) 신호와 같은 기능을 가지며 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_i(k) = \frac{1}{M} \mathbf{a}_i^H \mathbf{r}(k) \quad (11)$$

LMS 알고리즘의 출력  $h(k)$ 는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$h(k) = \mathbf{w}_{g_i}^H(k) z(k) \quad (12)$$

$z(k)$ 는  $(M-1) \times 1$  크기의 벡터로 식 (13)과 같다.

$$z(k) = \mathbf{K}^H \mathbf{r}(k) \quad (13)$$

## IV. 빔형성기의 계산 복잡도

본 장에서는 고려된 빔형성기들의 복잡도[11]를 계산하여 각 빔형성기들의 복잡도 특성을 비교 분석한다.

### 4.1. 스위칭 빔형성기

스위칭 빔형성 방식은 미리 몇 개의 방향에 대한 가중치 벡터를 설정하여 원하는 방향에 교대로 빔을 형성시키는 방식이다. TPMS 스위칭 빔형성기 기반으로 송신 데이터를 추정하는데 필요한 곱셈/나눗셈의 총 복잡도는 다음과 같이 나타낸다.

$$M+N \quad (14)$$

그리고 덧샘/뺀샘의 총 복잡도는 다음과 같이 나타낸다.

$$M+N-2 \quad (15)$$

스위칭 빔형성기는 원하는 신호의 방향으로 빔을 형성하지만, 간섭신호의 방향으로 null을 형성하지 않아 GSC, MVDR 빔형성기에 비해 간섭제거 성능은 좋지 않다. 하지만, 복잡도 면에서는 두 빔형성기에 비해 월등히 우수한 성능을 가진다.

#### 4.2. MVDR 빔형성기

MVDR 빔형성에 필요한 자기상관 행렬을 계산하기 위해 식 (16)의 시간 평균을 활용한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(k) &= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \mathbf{r}(j)\mathbf{r}^H(j) \\ &= \frac{k-1}{k} \mathbf{R}(k-1) + \frac{1}{k} \mathbf{r}(k)\mathbf{r}^H(k) \end{aligned} \quad (16)$$

각 샘플  $k$ 에 대하여 식 (16)에서 요구하는 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺀셈의 수는 각각  $2M^2+M$ 과  $M^2$ 으로 주어진다. 또한, 자기상관 행렬의 역행렬 계산에 필요한 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺀셈의 수는 각각  $M^3$ 과  $M^3-2M^2+M$ 으로 주어진다. MVDR 빔형성을 사용하여 TPMS 데이터를 추정하는데 필요한 곱셈/나눗셈의 총 복잡도는  $K$ 번째 샘플에서 식 (16)이 수렴한다고 가정하였을 때, 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} K > N \text{ 일 때,} \\ K(M^3+4M^2+4M) + N \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} K \leq N \text{ 일 때,} \\ K(M^3+4M^2+4M) + (N-K)M + N \end{aligned} \quad (18)$$

$K$ 번째 샘플에서 식 (16)이 수렴한다고 가정하면, 덧샘/뺀샘의 총 복잡도는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} K > N \text{ 일 때,} \\ K(M^3+M^2+M-2) + N-1 \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} K \leq N \text{ 일 때,} \\ K(M^3+M^2+M-2) + (N-K)(M-1) + N-1 \end{aligned} \quad (20)$$

MVDR 빔형성기의 간섭제거 성능은 스위칭 빔형성기 보다 월등히 우수하고, GSC 빔형성기 보다 조금 더 우수하다. 하지만, MVDR 빔형성기는 자기상관 행렬 계산이 요구되므로 복잡도는 스위칭, GSC 빔형성기 보다 높다.

#### 4.3. GSC 빔형성기

적용 GSC 빔형성기의 복잡도 계산을 고려하여 식 (11)의  $z_i(k)$ 와 식 (13)의  $\mathbf{z}(k)$ 를 얻기 위한, 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺀셈의 수는 각 샘플  $k$ 에 대해 각각  $M^2$ 과  $M(M-1)$ 로 주어진다. 식 (9)이  $K$ 번째 샘플에서 수렴한다고 가정하면, GSC 빔형성을 사용하여 TPMS 데이터를 추정하는 곱셈/나눗셈의 복잡도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} K > N \text{ 일 때 대략,} \\ KM(M+2) + N \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} K \leq N \text{ 일 때,} \\ KM + NM(M+1) \end{aligned} \quad (22)$$

GSC 빔형성을 사용하여 TPMS 데이터를 추정하는 덧샘/뺀셈의 복잡도는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} K > N \text{ 일 때,} \\ K(M^2+M-3) + N-1 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} K \leq N \text{ 일 때,} \\ NM^2 + K(M-1) \end{aligned} \quad (24)$$

표 3. 빔형성기 성능비교 표  
Table 3. Performance comparison of beamformer

	간섭제거 성능	복잡도 계산
스위칭	낮음	낮음
MVDR	매우 좋음	높음
GSC	좋음	보통

GSC 빔형성기의 간섭제거 성능은 MVDR 빔형성기에 근접한 성능을 가진다. MVDR 빔형성기와 다르게 자기상관 행렬 계산이 필요하지 않으므로 MVDR에 비해 복잡도는 낮지만, 스위칭 빔형성기의 복잡도 보다는 높다. 이와 관련된 내용은 표 3에 정리되어 있다.

### V. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 세 가지의 빔형성 기술들의 복잡도 성능을 확인하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 보인다. 시뮬레이션을 위해 각각의 빔형성기의 곱셈/나눗셈과 덧셈/뺄셈의 복잡도를 계산하였고,  $M$ ,  $N$ ,  $K$  변수들에 대한 각 빔형성기의 복잡도를 시뮬레이션을 통하여 비교한다.

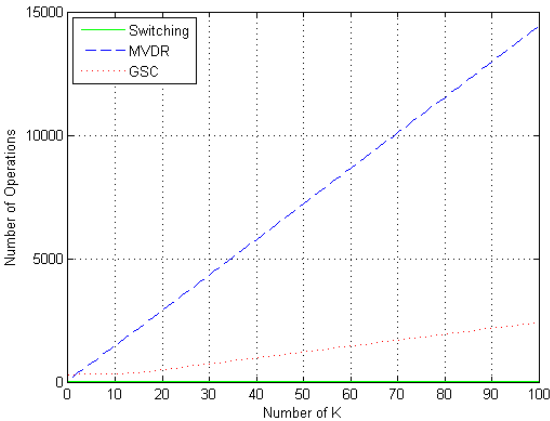


그림 3.  $M=4$ ,  $N=15$ 일 때,  $K$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(곱셈/나눗셈)

Fig. 3 Comparison of computational complexity via number of samples for convergence.  $M=4$ ,  $N=15$ . (Multiplication/Division)

그림 3과 그림 4는 각각 안테나의 개수  $M=4$ ,  $M=8$ 일 때, 골드코드의 길이를  $N=15$ 로 가정하고,  $K$ 의 변화에 따른 곱셈/나눗셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 두 그림에서 나타나듯이  $K$ 값이 증가할수록 MVDR 빔형성기가 가장 높은 복잡도를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 또한,  $K$ 값이 증가할수록 GSC 빔형성기가 MVDR 빔형성기에 비해 월등히 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가지고,  $K > N$ 일

때와  $K < N$ 일 때의 각 복잡도가 달라  $K=15$ 에서 값이 변하는 것을 확인할 수 있다. 스위칭 빔형성기의 계산 복잡도는 MVDR 및 GSC에 비해 월등히 낮으므로 그래프의 '0' 값 가까이 분포하여 눈으로 확인하기 어렵다. 그림 5와 그림 6은 각각 안테나의 개수  $M=4$ ,  $M=8$ 일 때, 골드코드의 길이를  $N=15$ 로 가정하고,  $K$ 의 변화에 따른 덧셈/뺄셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림 5와 그림 6의 결과도 그림 3과 그림 4의 결과와 유사함을 확인할 수 있다.

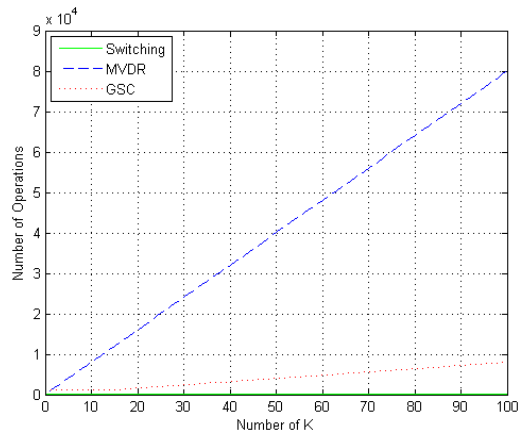


그림 4.  $M=8$ ,  $N=15$ 일 때,  $K$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(곱셈/나눗셈)

Fig. 4 Comparison of computational complexity via number of samples for convergence.  $M=8$ ,  $N=15$ . (Multiplication/Division)

그림 7과 그림 8은 각각 안테나의 개수  $M=4$ ,  $M=8$ 일 때,  $K=100$ 으로 가정하고, 골드코드의 길이  $N$ 의 변화에 따른 곱셈/나눗셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이  $N$ 의 값이 증가할수록 GSC 빔형성기가 MVDR 빔형성기에 비해 낮은 복잡도를 보이지만, 스위칭 빔형성기가 세 가지 빔형성기 중 가장 낮은 복잡도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 그림 9와 그림 10은 각각 안테나의 개수  $M=4$ ,  $M=8$ 일 때,  $K=10$ 으로 가정하고, 골드코드의 길이  $N$ 의 변화에 따른 덧셈/뺄셈에 대한 계산 복잡도를 비교한 결과이다. 그림 9와 그림 10의 결과도 그림 7과 그림 8의 결과와 유사함을 확

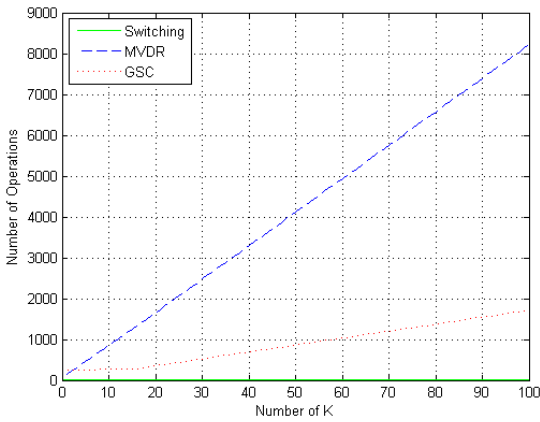


그림 5.  $M=4, N=15$ 일 때,  $K$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(덧셈/뺄셈)  
 Fig. 5 Comparison of computational complexity via number of samples for convergence.  $M=4, N=15$ .(Addition/Subtraction)

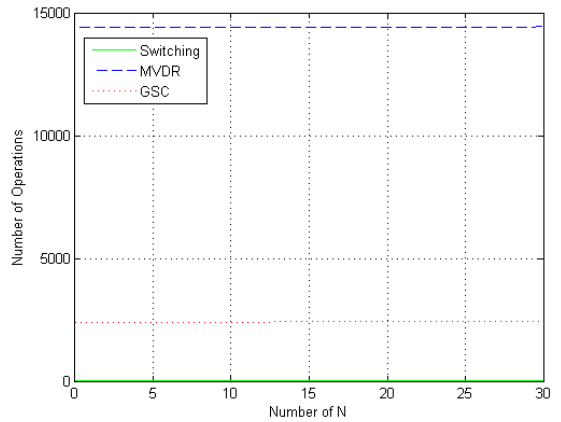


그림 7.  $M=4, K=100$ 일 때,  $N$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(곱셈/나눗셈)  
 Fig. 7 Comparison of computational complexity via length of gold code.  $M=4, K=100$ .(Multiplication/Division)

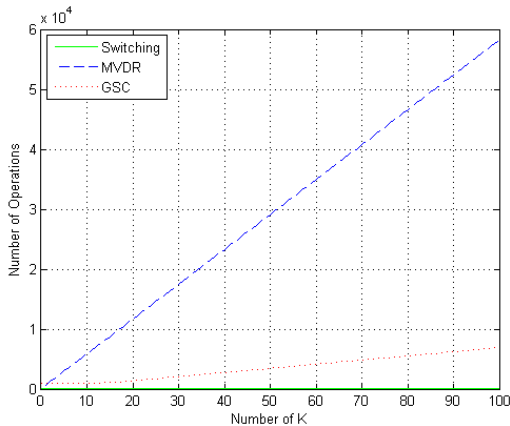


그림 6.  $M=8, N=15$ 일 때,  $K$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(덧셈/뺄셈)  
 Fig. 6 Comparison of computational complexity via number of samples for convergence.  $M=8, N=15$ .(Addition/Subtraction)

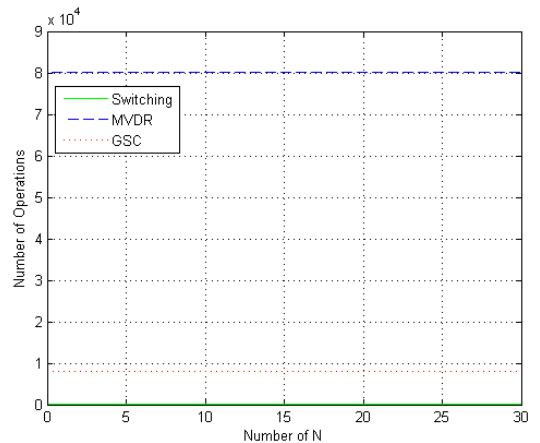


그림 8.  $M=8, K=10$ 일 때,  $N$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(곱셈/나눗셈)  
 Fig. 8 Comparison of computational complexity via length of gold code.  $M=8, K=10$ .(Multiplication/Division)

인할 수 있다. 그림 3~10로부터 변수를 바꿔 시뮬레이션을 실행한 결과 모든 경우에 MVDR 빔형성기의 복잡도가 가장 높고 GSC, 스위칭 빔형성기 순으로 복잡도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

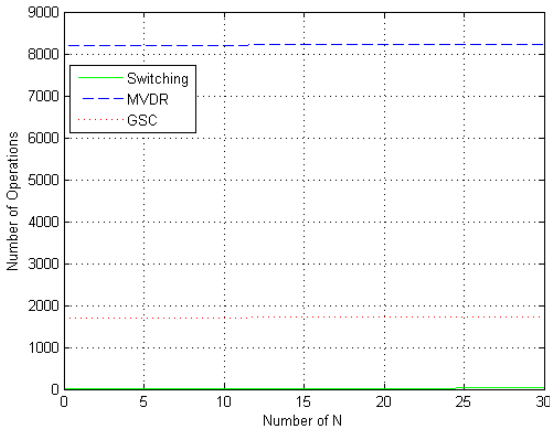


그림 9.  $M=4, K=100$ 일 때,  $N$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(덧셈/뺄셈)

Fig. 9 Comparison of computational complexity via length of gold code.  
 $M=4, K=100$ .(Addition/Subtraction)

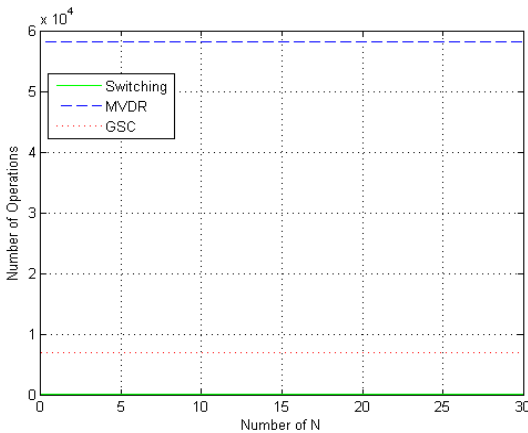


그림 10.  $M=8, K=100$ 일 때,  $N$ 의 변화에 따른 계산 복잡도 비교(덧셈/뺄셈)

Fig. 10. Comparison of computational complexity via length of gold code.  
 $M=8, K=100$ .(Addition/Subtraction)

## VI. 결론

자동차 타이어 파손으로 인한 사고가 증가함에 따라 이에 대한 대비책으로 개발된 TPMS는 전 세계적으로 많은 관심을 받고 있다. 국내 TPMS는 433.92MHz와 447MHz의 주파수 대역을 사용하는데

수출을 고려하였을 경우, 433.92MHz의 주파수를 고려해야한다. 하지만 국내에서는 같은 주파수 대역을 사용하는 외부 전기 및 전자 장치의 신호들로 인해 통신오류가 발생할 수 있는 문제점이 있다. 이러한 문제점 해결을 위해 TPMS를 위한 각종 빔형성기들에 대한 연구가 진행 중이며, 이들 빔형성기가 소프트웨어나 하드웨어 개발에 얼마나 많은 영향을 미칠지 판단할 수 있는 근거를 제시하기 위해 본 논문에서는 TPMS의 간섭제거에 우수한 성능을 가지는 스위칭, GSC, MVDR 빔형성기의 복잡도를 계산하여 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이들 빔형성기의 복잡도 성능을 확인 할 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012-0008837)  
 이 논문은 2012학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] Jiaming Zhang, Quan Liu, Yi Zhong, "A Tire Pressure Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks Technology", International Conference on, Multimedia and Information Technology 2008, MMIT '08, 2008.
- [2] Hasan N.N, Hassam M, Ul Husnain S.S, Pervez U, "Implementation of Tire Pressure Monitoring System with Wireless Communication", 2011 International Conference on, Communications, Computing and Control Applications(CCCA), 2011.
- [3] M. Brzeska, J. Pontes, G. A. Chakam, and W. Wiesbeck, "RF-Design Characterization and Modelling of Tyre Pressure Sensors," in Proc. EuCAP 2007, Edinburgh, 2007.
- [4] 정보통신부, "차량용 주파수 분배방안" 차량용 주파수 분배 공청회, 2005.
- [5] 박철, 김성민, 황석승, "간섭제거를 위한 TPMS 스위칭 빔형성기", 한국전자통신학회 추계학술대회논문지, 4권, 2호, pp. 385~390, 2010.



- [6] 황석승, 김성민, 박철 "Beamforming을 이용한 TPMS 간섭제거", 한국전자통신학회논문지, 6권, 2호, pp.180-185, 2011.
- [7] 박철, 황석승, "Generalized Sidelobe Canceler 기반의 TPMS 간섭제거", 한국전자통신학회 추계학술대회논문지, 5권, 2호, pp. 153-156, 2011.
- [8] Suk-Seung Hwang, John J. Shynk, "Multi-component Receiver Architectures for GPS Interference Suppression", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 42, No. 2, pp. 489-502, 2006.
- [9] M. D. Zoltowski and A. S. Gecan, "Advanced Adaptive Null Steering Concepts for GPS," in Proc. of the IEEE Military Communications Conf., (San Diego, CA), 1995.
- [10] B. Widrow and S. D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall, 1985.
- [11] 김성민, 황석승, "TPMS 빔형성기의 복잡도 계산", 한국전자통신학회 춘계학술대회논문지, 6권, 1호, pp. 171-176, 2012.



**황석승(Suk-Seung Hwang)**

1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업(공학박사)

2006.5~2008.3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008.4~현재 조선대학교 메카트로닉스공학과 조교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동 로봇용 위치추정, 간섭제거

저자 소개



**김성민(Seong-Min Kim)**

2011년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업

2012년 8월 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공) 졸업 (공학석사)

2012년 9월 조선대학교 대학원 첨단부품소재공학과(정밀기계설계공학전공) 박사과정

※ 관심분야 : 적응신호처리, 신호 및 시스템, 저전력 통신 시스템, 양방향 통신 시스템