

# AESA 레이더 동시 운용 모드 부하 기반 빔 운용 알고리즘 설계 및 시험 결과 분석

## Load-Based Beam Operating Algorithm Design and Analysis of Test Results for the AESA Radar Interleaved Mode

원 진 주

Jin-Ju Won

### 요 약

동시 운용 모드(interleaved mode)는 AESA(active electronically scanned array) 레이더의 기민한 빔 조향 능력을 이용하여 두 가지 이상의 단일 모드를 시분할로 운용하여 동시에 여러 모드를 수행하는 효과를 가지는 모드로, 공대지/해 모드 운용 중, 대공 위협 표적에 대한 빠른 인식 및 대응을 위하여 공대공 모드를 함께 운용한다. 본 논문에서는 효율적인 동시 운용 모드를 위하여 운용 모드에 따라 최소 인터리빙 단위를 달리하여 일정한 부하를 유지함으로써 성능을 안정적으로 유지하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안 알고리즘과 기존 알고리즘 간 자원 사용량 비교와 비행시험 수행 결과 분석을 통하여 설계 내용을 검증하였다.

### Abstract

The interleaved mode has the effect of operating multiple modes simultaneously by operating two or more single modes in a time division using the agile beam steering capability of the AESA(active electronically scanned array) radar. During the air-to-ground/sea mode operation, the air-to-air mode is simultaneously operated for quick recognition and response to air threat targets. In this study, the processing unit was set differently according to the mode for an efficient interleaved mode. It is the design of the load-based beam operating algorithm that can maintain proper performance by designing to maintain a constant load. The resource usage of the proposed and existing algorithms was compared, and the flight test results were analyzed to verify the algorithm.

Key words: AESA Radar, Interleaved Mode, Beam Scheduling

### I. 서 론

항공기 탐제 AESA 레이더는 TWS(track while scan) 방식을 이용하던 과거의 기계식 레이더와는 달리 전자적으로 빔을 조향함으로써, 추적 빔과 탐색 빔을 따로 방사하

여 표적을 추적하는 AT(active tracking)를 이용한 다중 임무가 가능하다. AESA 레이더의 운용 모드에는 공대공 모드, 공대지 모드, 공대해 모드와 같은 단일 모드가 있으며, 2개 이상의 단일 모드를 시분할로 운용하여 동시에 여러 모드를 수행하는 동시 운용 모드가 있다. 동시 운용

「이 연구는 2023년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임.」

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received July 6, 2023 ; Revised July 27, 2023 ; Accepted August 8, 2023. (ID No. 20230706-049)

· Corresponding Author: Jin-Ju Won (e-mail: wonjj@add.re.kr)

모드는 공대지/해 모드를 운용 중인 상황에서 대공 위협 표적에 대한 빠른 인식 및 대응을 위하여 공대공 모드를 함께 운용한다. 동시 운용 모드는 한정된 가용 자원으로 다수의 모드를 운용하기 때문에 단일 모드 운용 시보다 성능이 열화될 수밖에 없다. 이러한 성능의 열화를 줄이기 위해 모드 간 운용 순서, 운용 빈도, 최소 인터리빙 단위, 각 모드의 자원 할당 비율 등 레이더 자원을 효율적으로 사용하기 위한 설계가 중요하다<sup>[1]</sup>. 기존 동시 운용 모드 빔 스케줄링 알고리즘은 공대지/해 탐색 주기를 고정하고, 공대지/해 탐색 수행 후, 남은 시간에 AT와 공대공 탐색을 수행하는 탐색 주기 기반 알고리즘<sup>[2]</sup>과 빔 처리율을 계산하여 공대공과 공대지/해 모드 처리율의 밸런스를 맞추는 알고리즘 등이 있다<sup>[3]</sup>. 그러나 기존 알고리즘은 일정한 부하를 유지하지 못하여 성능을 균일하게 내지 못하거나, 매 빔마다 처리율을 재계산하기 때문에 연산량이 많다. 본 논문에서는 항공기 탑재 AESA 레이더 동시 운용 모드의 효과적인 운용을 위하여 모드별 처리 단위를 다르게 설정하여 자원을 효율적으로 사용함과 동시에 부하를 일정하게 유지하도록 하는 알고리즘을 제안하고, 비행시험 결과 분석을 통해 알고리즘을 검증하였다.

## II. AESA 레이더 동시 운용모드 알고리즘

### 2-1 AESA 레이더 동시 운용 모드 개념

동시 운용 모드는 여러 단일 모드의 빔 할당 시간을 나누어 운용하는 모드로서, 다양한 단일 모드의 조합으로 동시 운용 모드를 설계할 수 있다.

공대공 모드는 크게 상황인식을 위한 SWT(search while track) 모드와 근접 교전 시 표적 탐지/추적을 위한 ACM(air combat mode) 모드로 나뉜다. SWT 모드는 AAST(all aspect search & track) 모드와 NAST(nose aspect search & track) 모드로 나뉘고, AAST 모드는 전 방향 표적 탐지 및 추적을 주목적으로 하는 운용 모드로 빠르고 넓은 영역을 탐색하여 표적 탐지/추적이 가능하다. NAST 모드는 원거리에서 고속으로 다가오는 표적 탐지 및 추적을 주목적으로 하는 모드로, AAST 모드보다 최대 탐지 거리가 길어 위협 표적에 대한 빠른 탐지/추적이 가능하다. 공대공 모드는 탐색 범위 내에 탐지 표적에 대하여 자동 추적

으로 진입 후, 추적 주기에 맞춰 active beam을 방사하여 추적을 유지하는 AT를 수행하며, 지정된 탐색 영역에서 벗어나도 빔 조향이 가능한 범위 내에서 추적을 유지한다.

공대지/해 모드는 RBGM(real beam ground map), DBS(doppler beam sharpening), SAR(synthetic aperture radar) 등 지상 영상을 형성하는 GM(ground map) 계열 모드, 공대지 이동 표적을 탐지/추적하는 모드인 GMTI(ground moving target indication), 공대해에서 고정 표적을 탐지/추적하는 SSS(sea surface search) 모드, 이동 표적을 탐지/추적하는 SMTI(sea moving target indication) 모드로 나뉜다. SSS, SMTI, GMTI 모드 동작 시에 GM 계열 모드에서 획득한 지상 영상 위에 표적 정보를 중첩시켜 운용한다. 또한, SSS, SMTI, GMTI 모드 운용 시 탐지된 표적을 지정하여 개별 추적 빔을 할당할 수 있는 AT 기능인 SSTT(sea surface target tracking), SMTT(sea moving target tracking), GMTT(ground moving target tracking)가 있으며, 최대 1개 표적을 추적할 수 있다.

동시 운용 모드는 공대지/해 모드 수행 중 위협이 되는 공대공 표적 확인이 주목적이다. 따라서, 운용을 위한 모드 구성 시, 근접 교전을 위한 모드인 ACM 모드와 원거리에서 고속으로 접근하는 표적만을 탐지/추적하는 NAST 모드는 운용 모드 조합에서 제외하였다. GM 계열 모드에서는 처리에 장시간이 소요되는 DBS, SAR 모드를 제외하고 real beam을 이용하여 지정된 영역에 대해 빔을 스캔하여 영상을 형성하는 RBGM 모드만을 포함시켰다. 단, GMTI의 배경으로 SAR 영상이 사용되는 경우에만 동시 운용 모드에서 SAR 모드를 수행할 수 있도록 하였다. 동시 운용 모드 수행 시, 공대지/해 표적을 사용자가 지정하여 AT 수행이 가능하나, 공대공 표적은 AT를 수행할 경우, 동시 운용 모드가 자동 종료되고 공대공 단일 모드로 전환된다.

본 논문은 공대공 모드에서는 AAST 모드와 GM 계열 모드인 RBGM, 공대지/해 모드에서 SSS, SMTI, GMTI 모드 등 단일 모드 일부를 조합하여 공대공과 공대지/해 모드를 동시 운용하도록 설계하였다. 모드 조합은 아래와 같이 4가지 조합으로 구성하였다.

- RBGM-AAST
- SSS(SSTT 기능 수행)-AAST

- SMTI(SMTT 기능 수행)-AAST
- GMTI(GMTT 기능 수행)-AAST

## 2.2 기존 빔 운용 알고리즘

기존 빔 스케줄링 알고리즘은 컨베이션 성능 곡선에서 자원 할당에 대한 효용함수의 변화가 큰 순서대로 할당량을 늘리는 QoS(quality of service) 기반의 Q-RAM<sup>[4]</sup> (quality of service based resource allocation model), 이전 측정 정보를 이용하여 현재 자원을 계산하여 빔 운용을 스케줄링하는 double auction 기반 알고리즘<sup>[5],[6]</sup>, 표적 위협도의 불확실도가 높은 표적에 자원을 우선 할당하여 빔 스케줄링하는 위협도 기반 자원 관리기법<sup>[7]</sup> 등이 존재하나<sup>[8]</sup>, 이는 단일 모드 운용을 위한 빔 운용 알고리즘으로, 동시에 다수의 모드를 운용하는 동시 운용 모드에 적용하기에는 한계가 존재한다.

기존 동시 운용 모드를 위한 알고리즘은 탐색 주기 기반 빔 운용 알고리즘과<sup>[2]</sup> 처리율 기반 빔 스케줄링 알고리즘<sup>[3]</sup>이 있다. 탐색 주기 기반 알고리즘은 그림 1과 같이 탐색 주기인  $T_G$ 를 고정하고, 공대지/해 탐색시간과 AT 수행시간을  $T_G$ 에서 뺀 나머지 시간 동안 AAST 탐색이 반복 수행하도록 설계되었다. 따라서 사용자가 공대공 수행시간을 결정할 수 없으며, 부하가 일정하지 않아 동일한 성능을 유지하는 것이 어렵다. 또한, 공대공/지/해의 AT 추적 시간이 늘어날수록 탐색 가능 시간이 줄어들기 때문에 추적 가능 표적 수에 대한 제한이 필요하다.  $T_G$ 로 탐색 주기를 변경하여 공대공 모드에서 사용되는 자원량을 조절이 가능하나, 탐색 영역 및 거리 등 파형이 바뀌는 시점에서 매번 추적 주기를 재계산 및 설정해야 하

는 어려움이 있다.

처리율 기반 빔 스케줄링 알고리즘은 동시에 운용하는 두 모드의 최소 인터리빙 단위가 동일하여, 레이다의 자원을 보다 효율적으로 사용하는 것이 어렵다. 처리율의 균형을 맞추기 위해 매 빔마다 처리율을 재계산해야 하는 번거로움이 있다.

본 논문에서는 모드별로 운용 가능 최소 단위를 다르게 설정함으로써, 시간의 손실을 줄여 효율적으로 공대공/지/해 모드를 동시에 운용할 수 있고, 사용자가 설정한 부하량을 일정하게 유지하여 적절한 성능을 안정적으로 유지할 수 있는 부하 기반 빔 운용 알고리즘을 제안한다.

## 2.3 제안 동시 운용 모드 빔 운용 알고리즘

동시 운용 모드는 모드별 성능 열화를 줄이고, 레이다를 효율적으로 운용하기 위해서 효과적인 모드 빔 운용 알고리즘의 설계가 중요하다. 본 논문에서는 사용자가 설정한 부하량에 맞춰 공대공/지/해 모드를 운용할 수 있는 빔 운용 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 탐색 영역 및 거리 등 환경의 변화에도 일정한 자원 사용량을 유지하기 때문에 성능을 안정적으로 유지할 수 있으며, 운용 시 고려해야 할 항목을 간소화하여 사용자의 편의성을 높였다.

제안 알고리즘은 식 (1)과 같이 공대지/해 모드의 frametime을 기준으로 할당된 부하 비율에 따라 공대공 모드 할당 시간을 계산한다. 이때,  $T_{\text{공대공}}$ 은 공대공 모드 수행시간,  $T_{\text{공대지/해}}$ 는 공대지/해 모드 수행시간,  $Load_{\text{공대공}}$ 은 공대공 모드 할당 부하,  $Load_{\text{공대지/해}}$ 는 공대지/해 모드 할당 부하를 뜻한다.

$$T_{\text{공대공}} = \frac{Load_{\text{공대공}}}{Load_{\text{공대지/해}}} \times T_{\text{공대지/해}} \quad (1)$$

계산된 모드별 수행시간을 기준으로 수행시간이 끝나면 다른 모드로 천이를 반복한다. 공대지/해 모드 frametime은 설정된 탐색 영역에 따라 달라지는데, 운용 중 탐색 영역 변경 시 부하에 맞게 공대공 모드 할당 시간을 재계산한다.

동시 운용 모드 운용 중에는 공대지/해 영상형성 업데이트 주기가 매우 중요하다. 배경영상 업데이트 주기가

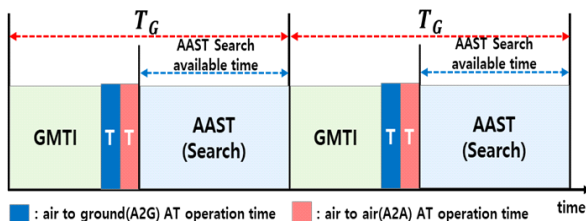


그림 1. 탐색주기 기반 빔 운용 알고리즘 운용 개념  
Fig. 1. Concept of beam scheduling algorithm based search period.

길수록 현재 탐지/추적되는 공대지/해 표적과의 sync가 맞지 않아, 실제 표적이 위치한 곳과 배경영상 위의 위치가 달라 운용자에게 혼동을 줄 수 있다. 반대로, 배경영상의 업데이트 주기가 너무 빠를 경우 표적 탐지/추적의 성능에 영향을 줄 수 있다. 공대지/해는 TWS 방식으로 표적을 탐지/추적하며, 연산량을 고려하여 매 Scan의 마지막 dwell에 TWS 추적에 대한 예측을 수행한다. 1 Scan 중 인터리빙 될 경우, 추적에 대한 예측에 대한 정확도가 떨어져 TWS 추적 간의 연관이 어렵다. 그러나, 공대공 모드는 Scan 단위로 추적 간 연관을 하지 않아 1 Scan 중 인터리빙되어도 추적 성능에 영향을 받지 않는다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 최소 인터리빙 단위를 모드별로 다르게 공대지/해 모드는 1 Scan, 공대공 모드는 1 dwell로 설정하여 효율적으로 모드가 천이될 수 있도록 설계하였다. RBGM 영상형성 단위 역시 1 Scan으로 설정하여 동시 운용 중에도 생성된 공대지/해 탐지/추적 표적 심벌의 위치와 영상의 위치가 달라지는 현상을 방지하였다. AT의 경우, 추적 빔의 방사 시간이 Scan 시간에 비해 매우 짧고, 추적을 안정적으로 유지하기 위해 공대지/해 모드의 최소 인터리빙 단위와 무관하게 추적 주기에 맞춰 추적 빔을 방사한다.

그림 2는 RBGM-AAST 조합에서 모드 천이 예시를 나타낸 것이다. 이때 할당 부하는 7:3이고, RBGM의 1 Scan을 70 ms, AAST 1 dwell을 10 ms로 가정하였다. 그림과 같이 RBGM을 1 Scan 수행 시간인 70 ms 동안 수행한 후 AAST는 30 ms를 수행하기 위하여 3개의 dwell를 방사한다. 추적이 발생했을 경우, RBGM 또는 AAST 탐색 수행 중 추적 주기에 맞게 끼어들어 추적을 유지한다.

예시의 그림과 같이 RBGM 1 Scan 중 50 ms 완료 후 추적 주기를 맞추기 위해 추적 빔이 할당된 경우, 우선순위가 높은 추적을 먼저 수행하고, 남은 RBGM 20 ms를 완료한다. AAST도 동일하게 탐색 수행 중 추적 빔이 할당된 경우 추적 빔을 먼저 방사한 후, 남은 AAST 탐색을 수행한다.

그림 3은 모드 천이 알고리즘 흐름도를 나타낸 것으로 동시 운용 모드에 진입 시, 공대지/해 모드 중 RBGM 영상형성 여부부터 확인한다. RBGM 영상형성이 완료되어 있지 않다면(Flag.RBGM=0) RBGM 영상형성을 먼저 수행하고, 영상형성이 되어 있다면(Flag.RBGM=1), 공대지/해 모드 탐색을 시작한다. 공대지/해 모드 탐색 후 다시 RBGM 영상형성을 위하여 RBGM flag(Flag.RBGM)를 0으로 설정하여 영상형성과 탐색이 1:1 비율을 유지하도록 한다. 탐색 영역에 따른 frametime과 할당 자원 비율을 고려한 공대지/해 모드 수행 가능 시간과 현재 공대공 모드 누적 수행 시간을 비교하여 공대공 모드의 누적 수행 시간이 공대지/해 모드의 수행 가능 시간을 초과하였을 경우, 다음 수행 모드는 공대지/해 모드로 전환이 되고, 초과하지 못하였을 때는 다음 수행 모드를 공대공 모드로 유지한다.

## 2.4 동시 운용 모드 빔 운용 알고리즘 성능 비교

제안 알고리즘 성능 검증을 위하여 동일한 레이더 운용 조건에서 알고리즘별 부하 운용 결과를 비교하였다. 용이한 결과 비교를 위하여 탐색 빔 운용만 고려하였으며, 모드는 SSS-AAST로 설정한다. 표 1은 모드별 탐색 시

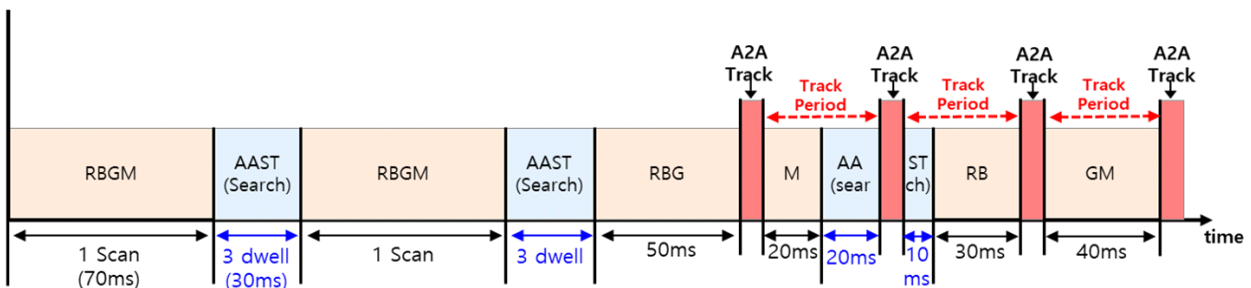


그림 2. 동시 운용 모드 천이 예시(RBGM-AAST)  
Fig. 2. Example of interleaved mode convert (RBGM-AAST).

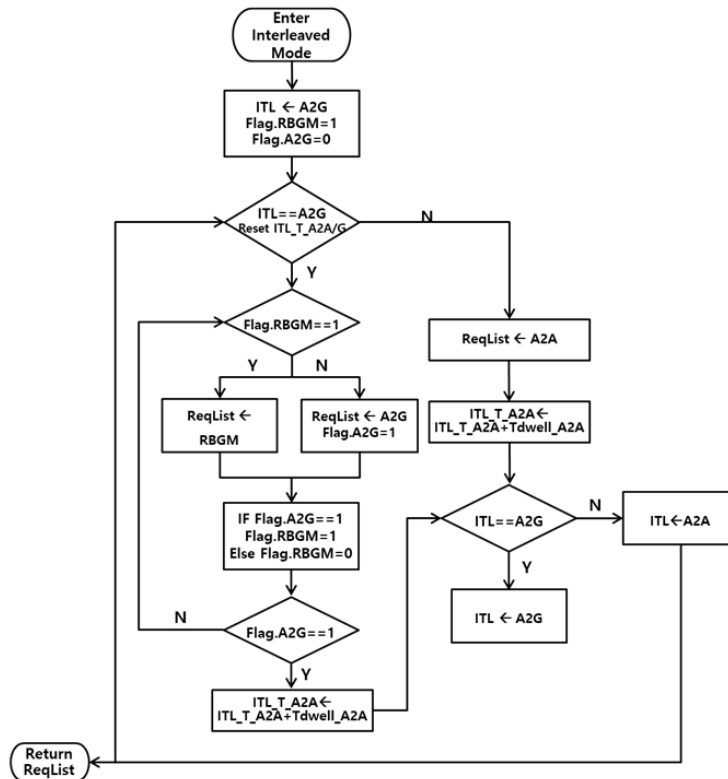


그림 3. 동시 운용 모드 천이 흐름도

Fig. 3. Interleaved mode convert flow.

표 1. 모드별 탐색 시간 정보

Table 1. Information of search time for each mode.

| Scan area                      | $\pm 10^\circ$ | $\pm 30^\circ$ | $\pm 60^\circ$ |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| SSS 1 scan time                | 0.7            | 2.1            | 4.2            |
| The number of SSS search beam  | 7              | 21             | 42             |
| AAST 1 scan time [sec]         | 1              | 3              | 6              |
| The number of AAST search beam | 10             | 30             | 60             |
| Dwell time [sec]               | 0.1            |                |                |

간 정보를 나타낸다.

표 1의 정보를 이용하여 탐색 주기 기반 알고리즘에서 탐색 영역 별 할당 시간을 계산하면 표 2와 같다. 이때 탐색 주기  $T_G$ 는 5초로 설정하였다. 탐색영역  $\pm 10^\circ$ 의 경우를 예로, SSS의 탐색시간이 0.7 sec이므로,  $T_G$ 에서 0.7 sec을 뺀 나머지 시간인 4.3 sec 동안 AAST 탐색을 수행한다.

모드별 처리율 비교 알고리즘 스케줄링 결과는 표 3과

표 2. 모드별 할당 시간(탐색주기 기반 알고리즘)

Table 2. Allocation time for each mode (search period based algorithm).

| Allocation time in 1 interleaving period [sec] |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|
| SSS scan area                                  | $\pm 10^\circ$ | $\pm 30^\circ$ | $\pm 60^\circ$ |
| SSS scan time                                  | 0.7            | 2.1            | 4.2            |
| AAST scan time                                 | 4.3            | 2.9            | 0.8            |
| Total  | 5.0            | 5.0            | 5.0            |

같다. 결과 계산을 위한 입력 조건은 아래와 같고, 이는 탐색 영역  $\pm 10^\circ$  기준으로 작성하였다.

(입력 조건)

Modes=[SSS, AAST]

ModeInfo<sub>SSS</sub>=[TWS, 0.7 sec, 0.7 sec, 100 msec, 1, 7]

ModeInfo<sub>AAST</sub>=[AT, 1 sec, 1 sec, 100 msec, 1, 10]

표 3. 스케줄링 결과(처리율 기반 알고리즘)

Table 3. Scheduling result (processing ratio based algorithm).

| Scan area              |      | ±10° |      |      |      |      |      |     | ±30° |      |      |      |      |      |     | ±60° |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Current operation mode |      | S    | A    | S    | S    | S    | A    | ... | S    | A    | S    | S    | S    | A    | ... | S    | A    | S    | S    | S    | A    |
| Scheduling<br>result   | SSS  | 7    | 0    | 7    | 7    | 7    | 0    | ... | 21   | 0    | 21   | 21   | 21   | 0    | ... | 42   | 0    | 42   | 42   | 42   | 0    |
|                        | AAST | 0    | 10   | 0    | 0    | 0    | 10   | ... | 0    | 30   | 0    | 0    | 0    | 30   | ... | 0    | 60   | 0    | 0    | 0    | 60   |
| Processing<br>ratio    | SSS  | 1/10 | 1/10 | 2/10 | 3/10 | 4/10 | 4/10 | ... | 1/10 | 1/10 | 2/10 | 3/10 | 4/10 | 4/10 | ... | 1/10 | 1/10 | 2/10 | 3/10 | 4/10 | 4/10 |
|                        | AAST | 0    | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 2/3  | ... | 0    | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 2/3  | ... | 0    | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 1/3  | 2/3  |
| Next operation mode    |      | A    | S    | S    | S    | A    | S    | ... | A    | S    | S    | S    | A    | S    | ... | A    | S    | S    | S    | A    | S    |

LoadOption=LB1

LB1\_value=[70,30]

Int\_Unit=F

CalcType=SearchOnly

다음은 본 논문에서 제안한 알고리즘의 탐색 영역별 스케줄링 결과이다. 제안 알고리즘은 공대지/해 모드의 수행시간을 기준으로 할당된 비율에 맞게 공대공 모드의 수행시간을 계산한다. 2-3절 식 (1)에 따라 부하에 따른 탐색 영역별 수행시간은 표 4와 같다.

기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 자원 할당량 변화를 그림 4에서 비교하였다. 그림 4의 첫 번째 그래프와 같이 공대지/해 모드 탐색 영역을  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ 로 변경하며 탐색 영역별로 동일한 시간 동안 모드를 운용하였다. 이때, 자원 할당량은 레이더가 사용한 전체 시간 중 각 모드가 차지하는 비율을 의미하며, 이동 평균을 적용하여 시간에 따른 모드별 자원 할당량 변화를 확인하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 탐색 주기 기반 알고리즘은 부하를 기반으로 하여 수행하는 알고리즘이 아니므로, SSS의 탐색 영역이 변경되어 탐색시간이 바뀔 때마다 AAS의 부하의 변동량이 큰 것을 확인할 수 있다. 처리율 기반 알고리즘 또한 SSS 탐색 시간이 짧은 탐색 영역

표 4. 모드별 할당 시간(제안 알고리즘)

Table 4. Allocation time for each mode (proposed algorithm).

| Scan area          | $\pm 10^\circ$ | $\pm 30^\circ$ | $\pm 60^\circ$ |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| SSS scan time[sec] | 0.7            | 2.1            | 4.2            |
| AAS scan time[sec] | 0.3            | 0.9            | 1.8            |

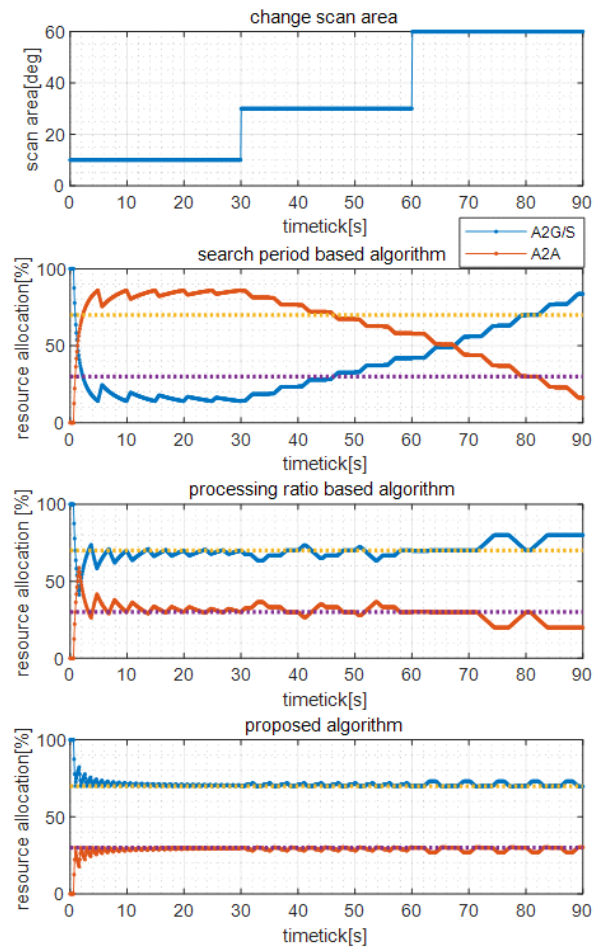


그림 4. 알고리즘별 결과 비교

Fig. 4. Compare of results for each algorithm.

$\pm 10^\circ$ 의 경우에는 설정한 부하를 잘 유지하였으나, 탐색시간이 길어질수록 한 모드만을 수행하는 시간이 길어져 설정 부하 유지가 어려웠다. 마지막으로 제안한 알고리즘



의 결과는 탐색 영역 변경과 관계없이 설정한 부하를 잘 유지하는 것을 확인할 수 있다.

### Ⅲ. 동시 운용 비행시험 및 분석 결과

본 절에서는 동시 운용 모드 빔 운용 알고리즘 설계에 대한 검증에 대한 비행시험 분석 결과에 대하여 소개한다.

#### 3-1 비행시험 시나리오

동시 운용 알고리즘 설계 검증 및 성능 확인을 위하여 SSS(SSTT)-AAST 조합으로 비행시험을 수행하였다.

본 시험에서는 공대공/지/해 실제 표적을 운용하지 않고, 기회 표적을 이용하여 동시 운용 모드 비행시험을 수행하였다. 공대공 모드에서는 다수의 기회 표적의 안정적 추적이 목적으로 가장 넓은  $\pm 60^\circ$ ,  $4\text{bar}$ 로 탐색 영역을 설정하였고, 공대지/해 모드 탐색 영역은  $\pm 30^\circ$ 로 설정하였다. 공대지/해 모드에서 기회 표적 탐지 후, 무작위로 1개 표적을 선정하여 AT를 수행하였다.

#### 3-2 비행시험 결과 분석

그림 5는 공대지/해 모드에서 배경 영상형성과 표적 탐지/추적 빔의 비율이 설계와 동일하게 수행되었는지 확인하기 위하여 RBGM과 SSS 탐색 빔에 대한 빔 그리드를 그린 것이다. 붉은색은 GM 계열 모드인 RBGM, 파란색은 SSS이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 탐색 영역인  $\pm 30^\circ$ 에 대하여 1 Scan씩 번갈아 가며 1:1로 수행한 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 운용 모드 천이 과정을 시간에 따라 나타낸 것으로 노란색은 AAST, 붉은 색은 SSS, 파란색은 RBGM의 빔 방사 시점을 나타낸 것이다. 탐색 빔 방사 시 설계한 것처럼 SSS를 그리기 위한 RBGM 1 Scan 방사 후, SSS 탐색 빔 방사, AAST 탐색 빔 방사가 순차적으로 수행되었다. RBGM 및 SSS 수행 중에는 AAST의 탐색 빔이 끼어들지 않는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 SSS-AAST 모드 수행 중에 사용 부하량을 나타낸 것으로 설정한 공대지/해 7, 공대공 3의 비율에 맞게 수행되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 설계/분석 기반 예

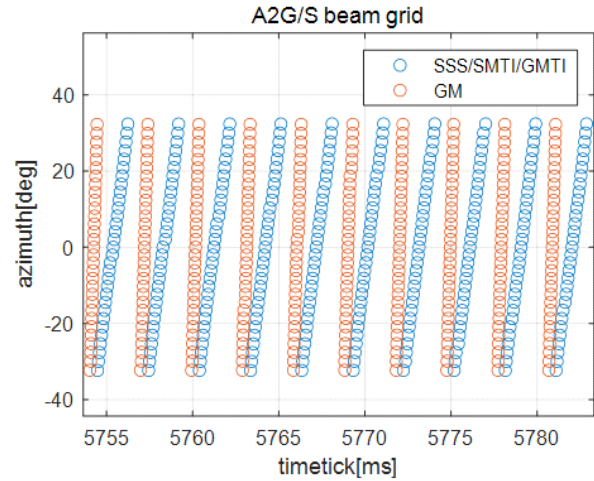


그림 5. SSS-RBGM 빔그리드

Fig. 5. SSS-RBGM mode beam grid.

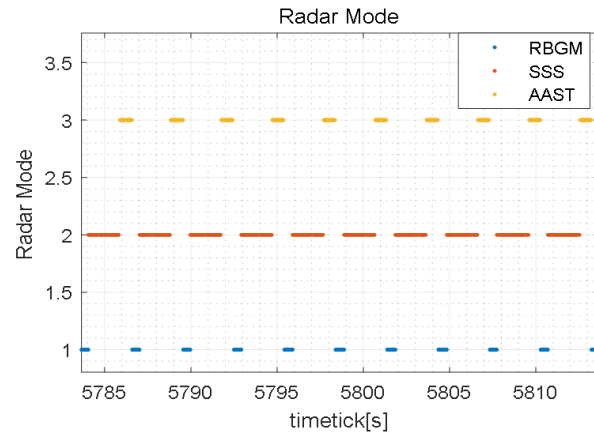


그림 6. SSS-AAST 모드 천이

Fig. 6. SSS-AAST interleaved mode convert flow.

측한 성능을 안정적인 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 그림 8은 시험 중 탐색 영역이 변경되었을 경우, 모드별 부하가 안정적으로 유지되는지 확인하기 위한 결과 그래프로, y축 1은 azimuth 각도  $\pm 10^\circ$ , 2는  $\pm 30^\circ$ , 4는  $\pm 60^\circ$ 를 의미한다.  $\pm 60^\circ$ 에서  $\pm 30^\circ$ 로 탐색 영역 변경 시에도 그림 9와 같이 설정 부하 할당량인 7:3을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

5,936 s 이후, 동시 운용 모드를 종료하여 공대지/해 단일 모드로 진입하였기 때문에, 자원 사용량은 공대지/해

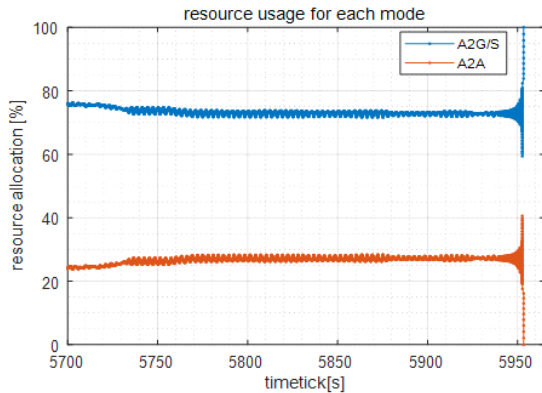


그림 7. SSS-AAST 모드 자원 사용량  
Fig. 7. SSS-AAST interleaved mode resource usage.

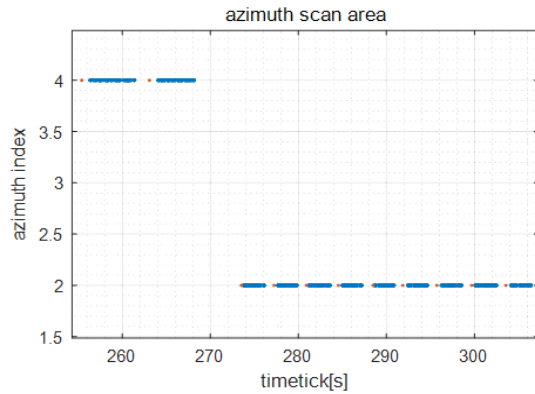


그림 8. SSS 모드 방위각 탐색 영역  
Fig. 8. SSS mode azimuth scan area.

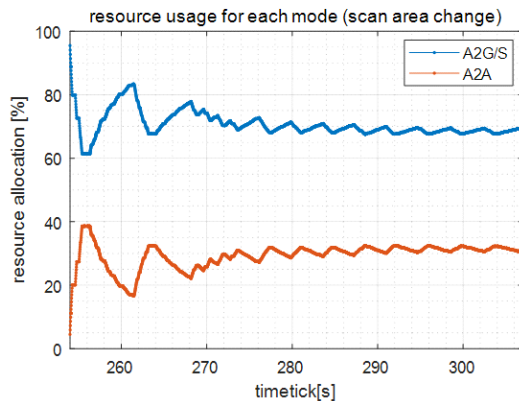


그림 9. SSS-AAST 모드 자원 사용량(탐색 영역 변경)  
Fig. 9. SSS-AAST interleaved mode resource usage (scan area change).

100 %가 된다.

그림 10은 동시 운용 모드 수행 중 탐지/추적된 공대공 표적에 대한 시간에 따른 거리 그래프를 나타낸 것이다. 해당 표적은 추적 개시 이후, 소실 없이 추적이 종료될 때까지 안정적으로 추적을 유지한 것을 확인할 수 있다.

그림 11(a)는 동시 운용 모드 중 형성된 RBGM 영상이며, RBGM 영상 중 영상이 형성된 부분은 내륙, 반사가 적어 검게 나타나는 부분은 바다로 대략적인 지형과 해안선 등이 식별 가능하다. 그림 11(b) SSS 모드 중 TWS로 탐지/추적된 표적 심벌을 형성된 RBGM 영상 위에 중첩시켜 표시한 것으로 표적이 정상적으로 탐지/추적된 것을 확인할 수 있다.

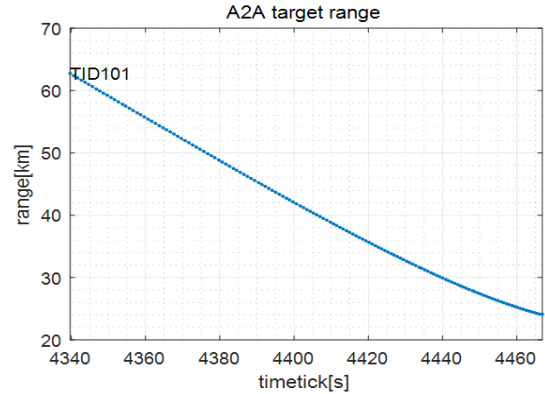


그림 10. 동시 운용 모드 중 추적 공대공 표적 거리  
Fig. 10. Target track range in interleaved mode.

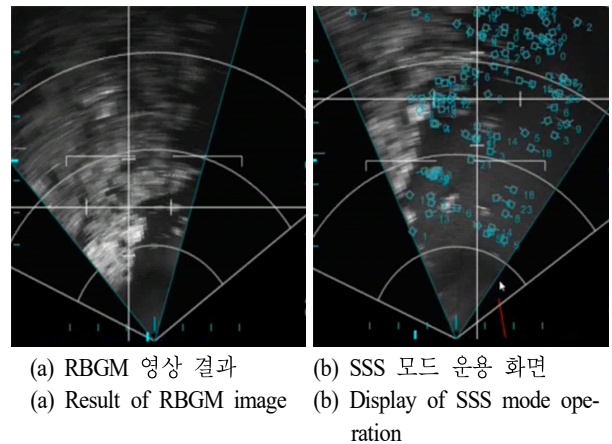


그림 11. 동시 운용 모드 비행시험 중 공대지/해 결과  
Fig. 11. A2G/S results in flight test for interleaved mode.



#### IV. 결 론

동시 운용 모드는 공대지/해 모드 운용 중 위협이 되는 공대공 표적에 대한 빠른 대응을 위한 모드이다. 본 논문에서는 동시 운용 모드의 효율적인 임무 수행 및 안정적인 성능 유지를 위한 부하 할당 기반 빔 운용 알고리즘 설계 방안을 제안하였고, 기존 알고리즘 간 성능 비교 및 실제 비행시험 데이터를 이용하여 제안한 알고리즘에 대한 분석 결과를 제시하였다.

추후 SSS-AAST 조합뿐만 아니라 다른 동시 운용 모드 조합에 대한 시험 및 분석을 진행할 예정이며, 모드별 제어 표적을 활용하여 부하에 따른 최대 탐지 거리 성능 열화 분석과 추적 개시 지연 결과 분석 및 다양한 부하 할당량에 따른 성능 열화에 대한 분석을 수행할 예정이다.

#### References

[1] A. Irci, A. Saranlı, and B. Baykal, "Study on Q-RAM and feasible directions based methods for resource management in phased array radar systems," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 46, no. 4, pp. 1848-1864, Oct. 2010.

[2] D. U. Kim, W. C. Lee, H. L. Choi, J. T. Park, J. H. Park, and J. Seo, "Multi-functional fighter radar scheduling method for interleaved mode operation of airborne and ground target," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, vol. 49, no. 7, pp.

581-588, 2021.

[3] J. E. Roh, J. J. Won, and J. H. Yoon, "Beam scheduling algorithm for interleaved mode of AESA radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 377-385, Apr. 2021.

[4] M. Rezaeian, B. Moran, "Constrained multi-object Markov decision scheduling with application to radar resource management," in *2010 13th International Conference on Information Fusion*, Edinburgh, Jul. 2010, pp. 1-8.

[5] A. Charlish, K. Woodbridge, and H. Griffiths, "Multi-target tracking control using continuous double auction parameter selection," in *2012 15th International Conference on Information Fusion*, Singapore, Jul. 2012, pp. 1269-1276.

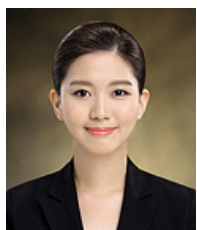
[6] A. Charlish, K. Woodbridge, and H. Griffiths, "Phased array radar resource management using continuous double auction," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 51, no. 3, pp. 2212-2224, Jul. 2015.

[7] F. Katsilieris, H. Driessen, and A. Yarovoy, "Radar resource management for improved situational awareness," in *2014 International Radar Conference*, Lille, Oct. 2014, pp. 1-6.

[8] W. Komorniczak, J. Pietrasinski, "Selected problems of MFR resources management," in *Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion*, Paris, Jul. 2000.

원 진 주 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7733-2474>



2015년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)

2017년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)

2017년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 항공기 레이더 시스템,

AESA Radar, 동시 운용 모드 등