

## 훈련함 탐색레이더 표적 속도 불안정 현상 개선에 관한 연구

이지혁\*, 심민섭  
국방기술품질원

### A Study on the improvement of ATH surveillance radar to solve the instability of the target velocity

Lee Ji-Hyeog\*, Shim Min-Seop  
Defense Agency for Quality and Technology

**요 약** 훈련함 탐색레이더 최대 탐지거리 측정 운용시험평가 수행 중 탐색레이더 표적의 속도 및 침로 불안정 현상이 발생하여 표적에 대한 속도가 불안정하여 OOknots로 접근하는 함정의 속도 편차가  $\pm 10$ knots 이상으로 정확한 표적 정보 산출이 불가하고 정보 불일치로 무장 교전 시 명중률 저하 및 표적관리 정확도 저하를 해결하기 위하여 속도 불안정 현상 개선에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 4M1E에 근거한 Fishbone Diagram을 이용하여 9가지의 원인을 식별하였으며 가장 큰 원인으로 탐색레이더의 표적 처리 소프트웨어의 표적 처리 알고리즘으로 분석되었다. 본 연구에서는 기존 속도 산출 알고리즘을 검토하였으며, 표적 속도 불안정 현상의 원인이 되는 속도 안정화 필터 알고리즘과 안테나 회전수와의 영향성 검토를 수행하여 안테나 회전수 변경시 달라지는  $\alpha$ ,  $\beta$ 값을 적용하지 못하는 문제점을 발견하여 이를 개선한 속도 안정화 필터 알고리즘을 표적 추적 관리 소프트웨어에 적용하였다. 본 개선사항에 대한 실선 시험을 통해 안테나 회전수 변경시에도 탐색레이더 표적 속도 정보가 일정하게 유지되는 개선 효과를 확인하였다.

**Abstract** The optimum solutions of the instability of the target velocity were studied to solve the case of the target velocity of the ship approaching at a speed of OOknots and deviated by more than  $\pm 10$ knots, while the surveillance radar rotating speed was varied, while the maximum search range of the radar was evaluated during the operational test & evaluation. The instability of the target velocity did not enable the radar to calculate the information of the target precisely and to degrade the probability of hit and the quality of the target management. The improvement to handle the deviation of the target velocity was optimally determined by using a fishbone diagram to find 9 reasons based on 4M1E, and the algorithm of the target management was identified as the crucial reason. In this study, the improvement was applied to the filter algorithm to stabilize the target velocity in the target tracking management SW by reviewing the current algorithm to find the velocity of the target and recognizing that the problem does not apply to different  $\alpha$ ,  $\beta$  values when the antenna changed the rotating speed. The ability of the improvement to work was tested on board.

**Keywords** : ATH(Auxiliary Training Helicopter), 4M1E(Man, Material, Method, Machine, Environment), TTM(Target Tracking Management), Surveillance Radar

---

\*Corresponding Author : Lee Ji-Hyeog(DTaQ)

email: sangcal@dtaq.re.kr

Received May 19, 2020

Accepted August 7, 2020

Revised June 12, 2020

Published August 31, 2020

## 1. 서론

훈련함(Auxiliary Training Helicopter, ATH)은 0,000톤 급의 수상함으로 실습생 000명을 수용할 수 있으며 이중함교를 갖추어 항해술, 갑판 운용술, 장비 운용 숙달 등을 지원할 수 있는 함정이다[1]. 위와 같은 레이더 장비 운용 숙달과 같은 훈련 임무 수행을 위해 탐색레이더를 포함한 다수의 장비를 탑재하고 있으며 유사 시 교전능력을 보유하기 위하여 탐색레이더의 표적 속도 정보의 정밀성은 요구되는 주요 능력이다[2]. 훈련함에 탑재되는 탐색레이더는 적의 전자전 위협과 해상 클러터 환경 하에서 대함/대공 표적에 대한 3차원 위치 정보(거리, 방위, 고도)를 제공하는 레이더이다[3]. 탐색레이더는 전투체계의 지휘 및 사격통제를 위한 주요 핵심 센서로써, 대공/대함 표적에 대하여 함포 사격지원을 위한 정보를 제공한다[4].

훈련함 탐색레이더 최대 탐지거리 측정 운용시험평가 수행 중 탐색레이더 표적의 속도 및 침로 불안정 현상이 발생하여 대함표적 최대탐지거리 측정 시 표적에 대한 속도가 불안정하여 00knots로 접근하는 함정의 속도 편차가  $\pm 10$ knots 이상으로 정확한 표적 정보 산출이 불가하고 정보 불일치로 무장 교전 시 명중률 저하 및 표적관리 정확도 저하로 전술정보 전신 및 통제능력에 문제가 발생하여 군 운용상 개선이 필요한 부분으로 식별되어 본 연구에서는 탐색레이더의 표적 속도 불안정 현상을 해결하기 위한 개선안에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 연구의 방법론

본 연구의 목적인 훈련함 탐색레이더 표적 속도 불안정 현상을 해소하기 위하여 산업공학 분야에서 널리 사용되고 있는 Fishbone Diagram을 적용하여 주요 원인을 식별하였다. 가장 큰 원인으로 탐색레이더의 표적 처리 소프트웨어가 식별되어 표적 처리 알고리즘 개선에 대한 연구를 수행하였다. 기존의 탐색레이더 탐지 성능 개선을 위하여 함 운동에 의한 roll/pitch값 변경시 위상 변위기를 조정하여 빔을 보상하는 기법에 대한 연구는 수행되었으나[5], 안테나 회전수 변경시에 대한 연구는 수행되지 않아 이를 위해 기존 속도 산출 알고리즘을 검토하였으며[5][6][7], 표적 속도 불안정 현상의 원인이 되는 속도 안정화 필터 알고리즘과 안테나 회전수의 영

향성 검토를 수행하여 개선(안)을 수립 후 실선 시험을 통해 안테나 회전수 변경시에도 탐색레이더 표적 속도 정보가 일정하게 유지되는 개선 효과를 확인하였다. 본 연구의 전체 연구절차에 대한 개념도는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. The conceptual diagram of the study

### 2.2 장비 개요 및 구성

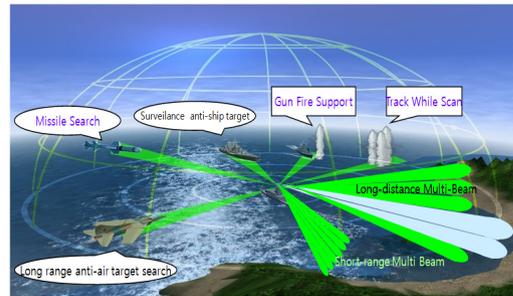


Fig. 2. Surveillance Radar Capability[3]

탐색레이더는 3차원 표적정보를 제공하는 다중빔 중거리 레이더로써 훈련함 전투체계의 주요 기본 임무를 수행하기 Fig. 2와 같이 적의 전자전 위협과 해상 클러터 환경 하에서 대함/대공 표적에 대한 3차원 탐색 정보(거리, 방위, 고도)를 제공하며, 유도탄, 대함표적 및 대공표적에 대한 표적 추적기능을 수행하여 훈련함 방위에 핵심적인 구성품이다. 본 함에 탑재된 탐색레이더는 두 가지 모드 자기방어와 탐색모드로 운용하며 각각  $\odot\odot$  RPM과  $\blacksquare\blacksquare$ RPM으로 안테나가 회전한다[4].

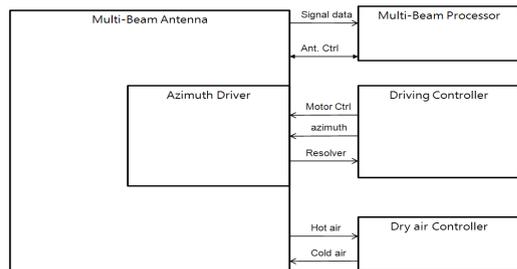


Fig. 3. Block Diagram of ATH surveillance radar

탐색레이더는 Fig. 3과 같이 다중빔안테나부, 환경제어부, 구동제어부 및 다중빔처리부로 구성되어 있으며 출력 무선주파수(RF) 신호를 발생하여 송신하고 표적으로부터 반사된 미약한 신호를 수신하여 증폭하고, 디지털신호 및 광신호로 변환하여 다중빔처리부로 전달하는 다중빔안테나부가 합정 마스트 위에 설치되어 있다[3].

탐색레이더는 빔을 송수신하는 다중빔안테나부로부터 수신된 디지털 신호를 다중빔처리부에서 신호처리 및 데이터처리를 수행하며 다중빔처리부에서 탐색레이더 운용 모드정보를 받아 다중빔안테나부 방위각구동장치의 회전속도를 변환시키고, 방위각구동장치에 장착된 레졸버를 통해 안테나 위치신호를 입력받아 방위각 정보로 변환하여 다중빔처리부에 전달하는 역할을 수행하는 구동제어부와 다중빔안테나부 환경을 제어하는 환경제어부가 있다[3].

- 다중빔안테나부는 송신신호를 다중빔안테나부를 통하여 방사하고, 표적에서 반사된 신호를 수신한다. 다중빔처리부와 RF 신호를 연동하며, 구동제어부와 전원, 제어신호를 연동한다[3].
- 다중빔처리부는 다중빔안테나부로 송신신호를 전송하고 수신신호를 받으며, 전투체계와 탐색레이더 간 연동을 수행한다[3].
- 구동제어부는 다중빔처리부로부터 운용모드 정보를 받아 방위각구동장치의 회전속도를 변환시키고 방위각구동장치에 장착된 레졸버를 통해 각도 신호를 입력받아 방위각정보로 변환하여 다중빔처리부로 전송한다[3]. 탐색레이더의 주요 성능 및 특성은 Table 1. 과 같다.

Table 1. Surveillance Radar Specification[3]

Contents	Spec. & Performance
Max. Detection Range	OO km >(@RCS 0.1m2) OO Km >(@RCS 1.0m2)
Min. Detection Range	OO mm <
Frequency	OO ~ OO GHz
Antenna Rotation	Mode 1: OO RPM Mode 2: OO RPM

### 2.3 문제점 및 원인 분석

훈련함 시험평가 중 평균 약 20~ 22knots 속도로 기동중인 참수리 고속정에 대한 탐색레이더 최대 탐지거리 측정을 실시하였다. 고속정은 일정 속도로 유지하여 기동하도록 하였으나, Fig. 4와 같이 최초에는 정상적인 표적

속도가 전시되나, 안테나 모드 변경시 동일 표적에 대해서도 속도가 변경되는 현상이 발생하였다.

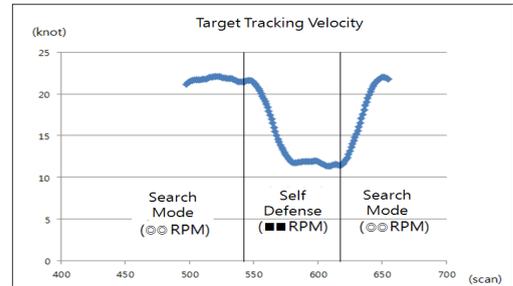


Fig. 4. Target Tracking Velocity by two modes

이후 최초 표적 탐지시의 안테나 모드로 변경시 정상적인 표적 속도가 전시되어 안테나 회전수 변경시 속도가 변경되는 문제점이 나타났다. 이는 표적 정보에 대한 신뢰성이 저하되고 자함에 대한 방어가 취약해지는 문제점으로 식별되었다.

탐색레이더 표적 속도 불안정 문제의 주요 원인분석을 수행하기 위하여 산업분야에서 널리 사용되고 있는 Fishbone Diagram을 적용하였다.

어골도(漁骨圖)라고 불리는 Fishbone Diagram은 문제를 일으킬만한 원인과 조건에 이르기까지의 단계를 탐구하고 문제를 일으킬 가능성이 있는 원인들에 대해서 생각하며 각각의 원인들을 분석 및 결과를 도출하는데 사용된다[8]. 본 연구에서는 품질문제점 원인 분석을 위해 통상적으로 사용되는 4M1E(Man, Material, Method, Machine, Environment) 요인으로 구분하여 예상 원인 9가지를 식별하였으며 Fig. 5와 같이 표현된다.

우선 인력(Man)과 관련하여 일습씨 부족과 측정시 숙련도 부족은 실제 설치검사 결과 일부 미흡한 사항이 식별되었으나 품질검사 과정에서 보완되어 설치되었기 때문에 영향이 적은 것으로 나타났다.

자재(Material) 관련해서는 불량 RF 부품 사용과 지나치게 민감한 안테나 수신감도가 원인으로 나타났으나, 보완을 거쳐 국방 규격에 적합한 제품으로 안테나 수신감도는 정상으로 해당 문제와 연관성이 적은 것으로 분석되었다.

장비(Machine) 관련하여 검교정 미실시가 예상 원인으로 식별되었으나 계측장비 들은 유효한 검교정 성적서를 득한 장비로 해당 문제점의 원인은 아닌 것으로 식별되었다.

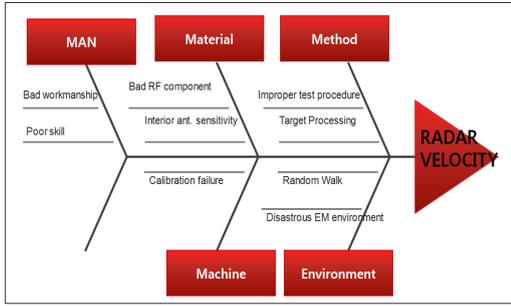


Fig. 5. Fishbone Diagram

환경(Environment) 관련 표적이 임의로 기동하여 실제 속도가 변경되거나 가혹한 전자기 환경으로 인해 클러터(clutter)에 의한 레이더 오작동이 원인으로 식별되었으나 측정 표적은 해군 고속정으로 끊임없이 교신하여 일정 속도인 00knots로 기동하고 있는 상태로 임의로 속도를 변경하지 않았으며 시험 당시 군함 등이 기동하여 방사하는 레이더 신호는 감지되지 않아 가혹한 전자기 환경에는 해당되지 않아 해당 문제점의 원인은 아닌 것으로 분석되었다.

마지막으로 방법(Method) 관련하여 부적절한 시험 절차 수행 및 표적 처리 알고리즘이 식별되었다. 시험 절차는 타함정에도 적용되는 동일한 시험절차를 적용하였으며 타 함정에는 문제가 식별되지 않아 부적절한 시험 절차에는 해당되지 않으며, 표적 처리 알고리즘의 경우 살펴보면 Fig. 6과 같이 총 10개의 CSU(Computer Software Unit)로 구성되어 있으며. 이 중 표적 속도 안정화와 관련 있는 CSU는 Target Management CSC (Computer Software Component) 중 Target Tracking Management CSU(이하 'TTM CSU')이며 TTM CSU에 대한 표적 속도 알고리즘을 분석하고 해당 문제점에 대한 연관성을 분석하고 원인분석을 수행하는 것이 필요한 것으로 Fishbone Diagram을 통하여 분석되었다.

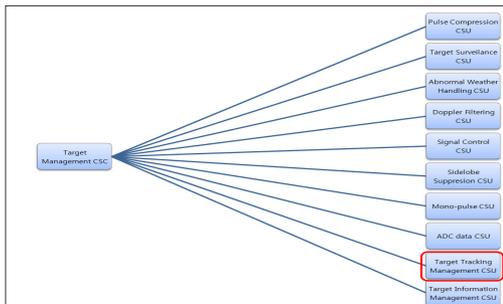


Fig. 6. The SW structure of Target Management CSC

## 2.4 이론적 고찰 및 표적 속도 알고리즘 검토

본 함에 탑재되는 탐색레이더는 3차원 위치 정보를 탐지할 수 있으나, 본 연구에서는 대함표적에 대한 표적 속도 불안정 현상에 대한 알고리즘을 탐구하기 위하여 2차원 위치정보(x,y)로 한정하여 표현하였다. 2차원 표적정보에 대하여 TTM CSU에서 표적속도를 산출하는 알고리즘에 대한 알고리즘을 간략하게 표현하면 Fig. 7과 같다.

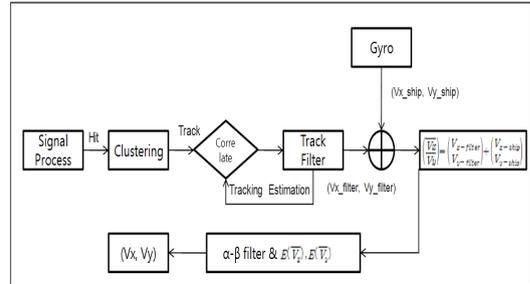


Fig. 7. Target Velocity Process Algorithm

탐색레이더 다중빔처리부에서의 수신신호는 신호처리기(Signal Process)를 거쳐 실제 표적 정보인지 여부를 판단하여 육상 및 해수면 반사에 의한 클러터 정보를 제거하여 이전 스캔의 표적 추적 정보와 Correlate하여 자함 기준의 표적 상대속도( $V_{x\_filter}$ ,  $V_{y\_filter}$ ) 정보를 획득하고 자함 속도( $V_{x\_ship}$ ,  $V_{y\_ship}$ )과 더하여 표적의 측정 속도( $\overline{V_x}$ ,  $\overline{V_y}$ )를 산출해 내며 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} \overline{V_x} \\ \overline{V_y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x\_filter} \\ V_{y\_filter} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} V_{x\_ship} \\ V_{y\_ship} \end{pmatrix} \quad (1)$$

표적의 측정속도( $\overline{V_x}$ ,  $\overline{V_y}$ )는 탐색레이더 안테나 회전 수 마다(매 Scan시) 획득되는 정보로 클러터 등에 의한 외부 잡음 환경에 의해 변이가 심한 특성을 가지고 있어 표적속도 안정화 알고리즘을 적용하여 속도 정보를 안정화시켜 운용자에게 표적의 속도 정보를 전시한다.

표적속도 안정화 알고리즘은  $\alpha$ - $\beta$  filter를 적용한 추정값( $V_{x\_filter}$ ,  $V_{y\_filter}$ )과 측정속도의 산술평균값( $E(\overline{V_x})$ ,  $E(\overline{V_y})$ )을 합산하여 표적속도( $V_x$ ,  $V_y$ )로 나타내며 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} V_{x-filter} \\ V_{y-filter} \end{pmatrix} + B \begin{pmatrix} E(\overline{V_x}) \\ E(\overline{V_y}) \end{pmatrix} \quad (2)$$

이때, A, B는 해당 속도 성분의 가중치를 나타낸다. 측정속도 산술평균값( $E(\overline{V_x}), E(\overline{V_y})$ )은 현재 5스캔 값을 적용한 산술 평균값을 의미하며 식(3)과 같이 표현된다.

$$E(\overline{V_x}) = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 \overline{V_{x,n}} \quad (3)$$

$$E(\overline{V_y}) = \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 \overline{V_{y,n}}$$

이때,  $\overline{V_{x,n}}, \overline{V_{y,n}}$ 은 n 스캔시 측정속도 성분을 의미한다. 5스캔을 적용한 사유는 훈련함 탑재 이전에 적용한 함정(PKX-B)에서 130mm 유도 로켓 유도를 위하여 스캔값을 5스캔으로 적용하였다. w적용된 측정속도의 산술평균값은 일종의 Moving Average Filter로 작동하며 측정속도 스캔수가 증가할수록 표적의 속도가 일정하게 유지되는 평탄화(Flattening)되는 효과를 가지게 되어 속도 성분이 안정화되는 장점이 있으나 속도 성분이 급격히 바뀌는 표적에 대한 속도를 추적하는데 한계가 있으며 역으로 스캔수가 줄어들 경우 고속으로 기동하는 표적에 대한 측정속도가 빠르게 갱신되는 효과는 있으나 전시되는 속도 정보가 빠르게 변화하여 사용자에게 속도 정보가 불안정한 것으로 판단될 수 있는 약점이 있어 스캔수마다 표적속도 갱신률과 속도 안정성 사이에는 Trade-off 관계가 성립한다[9].

표적 속도 추정값 ( $V_{\alpha-filter}, V_{\beta-filter}$ )는  $\alpha$ - $\beta$  filter 결과값으로 식(4)와 같이 표현된다.  $\alpha$ - $\beta$  filter는 이동하는 표적을 추적하기 위해 널리 사용되고 있는 Kalman filter의 한 가지 종류이며 표적의 실제 속도(True Value)에 대하여 측정값(measurement)을 가지고 예측하고 다음번 측정값을 가지고 값을 최신화하여 실제 속도를 추정하게 되며 측정횟수가 증가할수록 추정값이 실제 속도에 근사화하여 표적 속도를 산출한다[10].  $\alpha$ - $\beta$  filter를 적용한 표적의 속도 추정값( $V_{x-filter}, V_{y-filter}$ )은 식(4)와 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} V_{x-filter,n} \\ V_{y-filter,n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{x-filter,n-1} \\ V_{y-filter,n-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{Z_{x,n} - X_{n-1}}{\Delta t} \\ \frac{Z_{y,n} - Y_{n-1}}{\Delta t} \end{pmatrix} \beta \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{n-1} \\ Y_{n-1} \end{pmatrix} + \alpha \begin{pmatrix} Z_{x,n} - X_{n-1} \\ Z_{y,n} - Y_{n-1} \end{pmatrix}$$

이때,  $\alpha, \beta$ 값은 가중치로 레이더 정밀도에 따라 결정되며  $V_{x-filter,n}, V_{y-filter,n}$ 은 n번째 스캔에서 추정된 값이며  $X_{n-1}, Y_{n-1}$ 은 n-1번째 스캔에서 추정된 표적의 좌표이며  $Z_{x,n}, Z_{y,n}$ 은 n번째 스캔에서 측정된 표적의 좌표값을 의미하며  $\Delta t$ 는 스캔 값 사이의 시간으로서 탐색레이더의 표적 획득 시간에 해당된다. 속도 추정값의 정확성 및 안정화를 위하여 기존에 구현된 알고리즘에서는 스캔수가 20 이상일 경우에만  $V_{x-filter,n}, V_{y-filter,n}$  속도 성분이 전시된다.

$\alpha, \beta$ 값은 탐색레이더 표적 처리 정확도와 관련 있으며 본 함에 탑재된 탐색레이더는 두 가지 모드의 안테나 회전수가 상이하므로 모드별로 서로 다른  $\alpha, \beta$ 값이 적용되어야 한다. 예를 들어, Self defense mode로 안테나를 회전할 경우, Search mode보다 표적 정확도는 향상되나 표적 최대 탐지거리가 짧아지게 된다. 따라서 안테나 회전수에 따라  $\alpha, \beta$ 값은 상수가 아니라 변수값에 해당된다.

탐색레이더 표적속도 정보는 스캔마다 갱신되며 n 스캔시 표적 속도 ( $V_{x,n}, V_{y,n}$ )는 측정속도 평균값을 의미하는 식(3)과  $\alpha$ - $\beta$  filter 결과값을 표현하는 식(4)의 합으로 나타나며 식(5)와 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} V_{x,n} \\ V_{y,n} \end{pmatrix} = A \left\{ \begin{pmatrix} V_{x-filter,n-1} \\ V_{y-filter,n-1} \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} \frac{Z_{x,n} - X_{n-1}}{\Delta t} \\ \frac{Z_{y,n} - Y_{n-1}}{\Delta t} \end{pmatrix} \right\} + \frac{B}{5} \left( \sum_{n=1}^5 \overline{V_{x,n}} \right)$$

$$\begin{pmatrix} X_n \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{n-1} \\ Y_{n-1} \end{pmatrix} + \alpha \begin{pmatrix} Z_{x,n} - X_{n-1} \\ Z_{y,n} - Y_{n-1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

## 2.5 표적 속도 안정화 개선안 검토

본 함에 탑재된 탐색레이더의 표적 속도 추적 알고리즘은 Fig. 8과 같이 최초 표적을 탐지 시 속도를 안정화시키기 위하여 20스캔 이후에 속도를 전시한다.

이때 적용된  $\alpha, \beta$ 값은 ◎◎RPM 기준이며, 안테나 회전수가 변하는 경우 ■■RPM 기준의 새로운  $\alpha, \beta$ 값이 적용되어야 하나 그렇지 않아 속도 오차가 발생하였다. 따라서 기존 알고리즘에서 실시간으로 안테나의 회전수를 실시간으로 확인하여 안테나 회전수별로 서로 다른  $\alpha, \beta$ 값을 적용하여 표적의 속도 추정값  $V_{x-filter,n}, V_{y-filter,n}$ 을 산출할 수 있도록 알고리즘을 개선하였다. 개선된 알고리즘은 Fig. 9와 같이 표현되며 RPM 정보는 매 스캔마다 갱신되며 set\_RPM 변수에 저장되며 해당 정보는 표적 속도 계산시 적용된다.

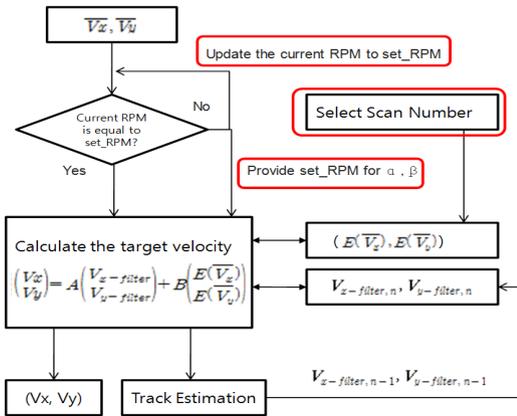


Fig. 8. Proposed target velocity algorithm

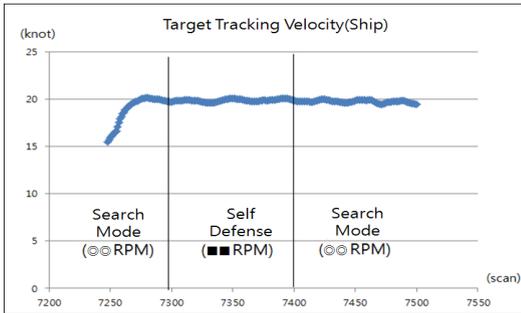


Fig. 9. The results of the ship velocity by two modes

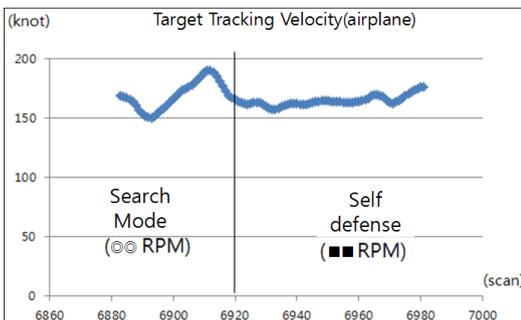


Fig. 10. The results of the airplane velocity by 5 scans

m 스캔시( $0 < m < n$ ) 안테나 회전수가 변경될 경우 m-1 스캔은 ◎◎RPM의  $\alpha, \beta$ 값에 적용되며 n-m+1 스캔은 ■■RPM의  $\alpha', \beta'$ 값에 적용되기 때문에 안테나 회전수 변경시에도 안정화 시간은 필요하며 m 스캔 이후에 정상 속도로 전시되는 특징을 가지게 된다. 이를 보완하기 위해 측정속도 산술평균값( $E(\bar{V}_x), E(\bar{V}_y)$ )을 가중

치 B를 적용하여 식(2)와 같이 사용자에게 전시속도로 제공한다.

위의 개선안을 적용하여, 이전과 동일한 환경으로 20~22knots로 자함 기준 퇴각하는 것으로 고속정을 기동하여 훈련함에서 탐색레이더 표적에 대한 속도 안정 효과를 측정하였다. 측정결과, Fig. 10과 같이 안테나 회전수 변경시 기존에는 10knots이상 속도 변화에서 속도 편이가  $\pm 1$ knots 내외로 속도 성분이 일정하게 유지되어 속도 안정화 효과가 큰 것으로 나타났다.

탐재된 탐색레이더는 2차원 대함표적 이외에도 3차원 대공표적에도 탐지가 가능한 장비로 대공표적에 대해서도 동일한 개선효과가 있는지를 측정하였다. 160~180knots로 자함으로 접근하는 해군 항공기에 대해 표적 속도 측정결과, 표적의 속도 성분은 Search mode에서 속도가 불안정 하였으나 이는 항공기가 변침하면서 발생한 속도 변경 사항으로 분석되었으며 Self defense mode에서는 속도 성분이 160~180knots로 안정적으로 전시되고 있으나 대함표적에 비해 속도 편이는 약  $\pm 5$ knots 내외로 있는 것으로 나타났다. 이는 항공기의 경우 바람과 같이 외부 조건에 의해 등속도를 유지하는 것이 어려움이 있고 대함표적에 비해 속도가 빨라 n 스캔시 측정속도 ( $\bar{V}_{x, n}, \bar{V}_{y, n}$ )의 편차가 큰 것으로 분석되었다.

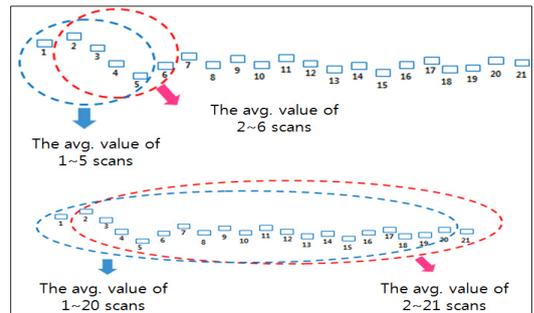


Fig. 11. The average velocity between 5 and 20 scans

이를 보완하기 위하여 측정속도 산술평균값( $E(\bar{V}_x), E(\bar{V}_y)$ )의 스캔값을 증가시켜 속도 성분의 평탄화 효과를 증대하여 전시 속도의 안정성을 개선하고자 하였다. 현재 구현된  $\alpha$ - $\beta$  filter값은 20스캔 이후에 정상 속도 산출이 가능하기 때문에 Fig. 11에서 5스캔과 20스캔의 표적 속도의 평균값 비교해보면 20스캔의 평균값을 전시 속도에 적용하는 것이 최대한의 평탄화 효과를 가질 수 있으며 20스캔 이상의 평균값은 이미 안정화된 속도 성분을 평균하는 결과가 되어 의미가 없다. 현재 5스캔 평균값 대

신 20스캔 값의 평균값을 적용하는 것이 속도 안정화 측면에서 개선 효과가 있을 것으로 예상되어 개선안에 적용하였다.

20 스캔값을 적용한 개선안으로 160~180knots로 기동하는 항공기 속도 측정결과, Fig. 12와 같이 나타났으며 개선안 적용 전의 Fig. 10의 측정 결과와 비교하여 보면 속도 안정화 효과가 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

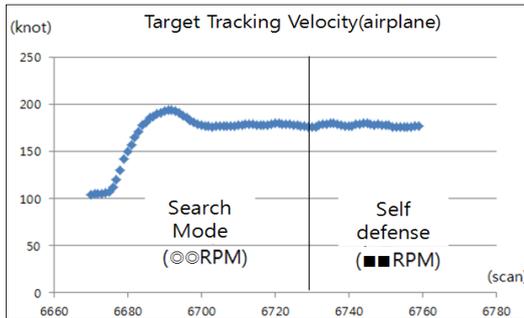


Fig. 12. The results of the airplane velocity by 20 scans

그러나 측정속도 산술평균값( $E(\overline{V_x})$ ,  $E(\overline{V_y})$ )의 스캔 수가 20스캔으로 고정될 경우 고속으로 기동하는 표적에 대한 측정속도가 부정확해지는 단점이 존재하고, 기존 고속정에서 130mm 유도로켓 등에 대한 자함 방어가 취약해질 수 있기 때문에 하나의 최적화된 값을 결정하는 것보다 작전 환경에 적합하게 5스캔값과 20스캔값을 운용자가 선택 가능하도록 반영하여 빠른 표적에 대해서는 5스캔값을 적용하고 대함표적과 같이 상대적으로 느린 표적에 대해서는 20스캔값을 선택적으로 적용할 수 있도록 Fig. 8과 같이 평균 속도 계산시 select scan number를 입력할 수 있도록 TTM CSU에 개선안을 적용하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 훈련함에 탑재된 탐색레이더 최대 탐지 거리 시험 중 발생한 안테나 회전수 변경시 표적 속도가 불안정하게 전시되는 문제점을 해결하기 위하여 원인분석을 수행하고 속도 안정화 알고리즘 개선안을 연구하였다.

이를 위해 4M1E 요인을 중심으로 Fishbone Diagram을 적용하여 예상 원인 9가지를 식별하였으며 그 중 표적 속도 산출과 관련 있는 소프트웨어 TTM CSU에 대한 알고리즘을 분석하고 해당 문제점에 대한 개선 방안을 도

출하기 위한 연구를 수행하였다.

우선 기존에 구현된 TTM CSU에서 표적속도를 산출하는 알고리즘에 대한 검토를 수행하고, 적용된  $\alpha$ - $\beta$  filter에 대한 이론적 원리 탐구와 측정속도 평균값의 스캔수의 적절성 검토를 수행하였다. 본 함의 경우 안테나 회전수 변경시  $\alpha$ ,  $\beta$ 값을 다르게 적용하여야 하나, 최초 표적을 탐지시 적용된  $\alpha$ ,  $\beta$ 값을 지속적으로 사용하여 속도 오차가 발생하였다. 기존 표적 속도 안정화 알고리즘에서 안테나 회전수를 실시간으로 확인하여  $\alpha$ ,  $\beta$ 값을 회전수 마다 선택하여 속도를 산출할 수 있도록 개선안을 적용하였다.

본 개선사항에 대한 표적 속도 안정화 효과를 확인하기 위하여 등속도로 기동하는 고속정에 대하여 훈련함에서 탐색레이더 표적에 대한 속도 안정성이  $\pm 10$ knots 이상에서  $\pm 1$ knots 내외로 개선되었음을 확인하였다. 3차원 대공표적에 대한 실선시험에서도 동일한 개선효과가 있음을 확인하였으나 대함표적 대비 속도 편차가  $\pm 5$ knots 내외로 있었으며, 이를 해결하기 위하여 측정속도 평균값의 스캔수를 기존 5에서 20스캔으로 증가시켜 항공기에 대한 실선시험 측정결과, 표적 속도는 보다 평탄화(Flattening)되어 전시되고 있어 속도 안정성이 향상되었다. 스캔수 증가시 고속 표적 추적 속도 단점을 극복하기 위하여 작전 환경에 적합하도록 측정속도의 스캔값을 운용자가 선택할 수 있도록 TTM CSU에 개선안을 적용하였다.

### References

- [1] Jeong C. S., "Launching of a navy ATH", The munhwa news, 2018.11.16., <https://www.munhwa.com/news/view.html?no=2018111601070330114002>
- [2] Republic of Korea Joint Chiefs of Staff, "Test & Evaluation Master Plan of ATH", 2018.
- [3] Korea Navy Technical Manual, "SPS-550K", 2-00-12(726)-01, 2017.12.29.
- [4] Lig Nex1 Co. Ltd., "Improving Electronic Beam Stabilization for Surveillance Radar", DTaQ-18-5854-R, 2018.
- [5] Y. J. Lee, Improvement of Electronic Beam Stabilization Algorithm for Surveillance radar, *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 56, pp 69-74, 2019. 06. DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2019.56.6.69>
- [6] Peter J.Kahrilas, Design of Electronic Scanning Radar System(ESRS), *Proceedings of the IEEE*, vol. 56, no. 11,

pp. 1763-1771, 1968.

DOI: <https://doi.org/10.1109/PROC.1968.6748>

- [7] Balanis, C. A., Antenna Theory, Wiley-Interscience, ISBN 9780471667827, 2005
- [8] Korean Society for Learning and Performance, HRD Terminology, ISBN 9788970172422, JoongAng Economics, 2010
- [9] Ya-lun Chou, Statistical Analysis, Holt International, ISBN 0-03-089422-0, 1975.
- [10] Steven R. Rogers, "alpha-beta filter with correlated measurement noise", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System*, Vol. AES-23, Issue: 4, July, 1987, DOI: <https://doi.org/10.1109/TAES.1987.310893>

---

이 지 혁(Ji Hyeog Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2006년 6월 :USC(University of Southern California) M. S. in Electrical Engineering.(공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임 연구원

<관심분야>

정보처리, EMI/EMC, 영상 표적 추적

---

심 민 섭(Min-Seop Sim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 (공학사)
- 2014년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학부 (공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

신호처리, 수중음향