

# 두 개의 항적 센서를 이용한 수상 항적 탐색 방법

## Robust Search Method for Ship Wake Using Two Wake Sensors

이영현\*, 구본화\*\*, 정석문\*\*\*, 홍우영\*\*\*, 고한석\*\*

(Young-Hyun Lee\*, Bon-Hwa Ku\*\*, Suk-Moon Chung\*\*\*, Woo-Young Hong\*\*\*, Han-Seok Ko\*\*)

\*고려대학교 영상정보처리학과, \*\*고려대학교 전기전자전파공학과, \*\*\*해군사관학교 전기전자공학과

(접수일자: 2009년 12월 1일; 수정일자: 2010년 1월 28일; 채택일자: 2010년 3월 2일)

본 논문에서는 두 개의 항적 센서를 이용한 수상함 항적 탐색 방법을 제안한다. 수상함의 항적은 수상함 후면의 수면 위에 그 이동 자취에 따라 생성된다. 본 논문에서는 항적 방향 강도가 수상함에 가까울수록 강하며 항적 탐지 센서는 항적 방향 강도를 탐지할 수 있다는 가정 아래, 항적 방향 강도를 이용한 효과적인 항적 탐색 방법을 제안하였다. 제안한 탐색 방법의 성능 평가를 위해 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하였으며, 실험 결과 제안한 탐색 방법이 기존의 단일 항적 센서를 이용한 탐색 방법에 비해 평균 탐색 시간 측면에서 약 45초 정도의 성능 향상을 나타내었다. 또한, 항적 길이가 짧은 경우에 본 논문에서 제안한 탐색 방법이 기존의 방법에 비해 효율적임을 알 수 있었다.

**핵심용어:** 항적 탐색, 두 개 항적 센서, 항적 추적 어뢰, 몬테카를로 시뮬레이션

**투고분야:** 수중음향 분야 (5,8)

This paper proposes a robust detection method for ship wake search using two wake sensors. A long trailing wake in the rear of a surface ship is generated along the track of surface ships. In this paper, we assume that the nearer the surface ship, the stronger wake strength is and a two-sensor based wake homing torpedo can sense for the wake strength. On this assumption we propose a simple wake detection and search method using information of wake strength. Experimental results using monte-carlo simulation demonstrate that the proposed method yields better performance in search time than previous method, which uses a single sensor. Our method is shown faster by about 45 seconds than previous method to achieve the same performance. Also, it can improve the detection performance of torpedo in the case of short wake length.

**Keywords:** Wake Search, Two Wake Sensors, Wake Homing Torpedo, Monte-Carlo Simulation

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5,8)

### I. 서론

어뢰 공격 무기 체계에서 사용하고 있는 음향 추적 어뢰 (Acoustic Homing Torpedo)는 어뢰에서 송출하여 표적에 반사되어 돌아오는 반향음 혹은 표적으로부터 발생하는 음향 신호 등의 음향 정보를 이용하여 표적을 추적한다. 그러나 최근 들어 기만기 등을 이용한 음향 대항수단의 발전으로 인해 음향 어뢰를 이용한 무기 공격 체계가 무력화 되고 있다. 이에 따라 표적의 후면에 생성되는 항적의 정보를 이용하여 표적을 추적하는 항적 추적 어뢰 (Wake Homing Torpedo)의 개발이 요구되었으며,

일부 선진국에서는 이에 대한 연구를 진행해 왔다 [1]. 항적 추적 어뢰는 표적이 이동할 때 표적의 후면에 생성되는 항적을 주변으로부터 식별하고, 그 정보를 이용해 표적을 탐지하고 추적하는 어뢰의 한 방식이다. 항적 추적 어뢰의 장점은 음향 정보를 이용하지 않기 때문에 기존 기만기의 동작에 영향을 받지 않으므로 위험도가 큰 무기 체계이다. 특히 수상 함정의 경우 항적의 면적이 넓고 지속 시간이 길기 때문에 위협적인 공격 무기 체계가 될 수 있다 [1].

항적 추적 어뢰의 성능은 항적 탐색 방법과 표적의 회피 기동에 크게 영향을 받으며, 단일 센서 하에서 수상함 회피 기동에 강인한 항적 탐색 방법이 연구되었다 [2]. 본 논문에서는 두 개의 센서를 이용하여 각 센서에 탐지된 항적의 정보를 비교하여 효율적으로 항적을 탐색하는

책임저자: 고한석 (hsko@korea.ac.kr)  
136-713 서울특별시 성북구 안암동 5가 고려대학교 전기전자전파공학과  
(전화: 02-927-6115; 팩스: 02-3291-2450)

방법을 제안한다. 실제 수상함의 항적은 표적의 종류 및 속도, 해상 상태에 따라 다르게 생성된다 [3-6]. 본 논문에서는 수상함의 폭, 항적 소멸 시간, 발산각 (spread angle) 정보를 사용하여 항적 생성 모델을 단순화하였다 [2]. 어뢰의 항적 탐지 유무를 결정하기 위해서는 항적 탐지기를 설계해야 한다. 그러나 본 논문에서는 항적 탐색 방법에 초점을 두고 있으므로 어뢰 상단에 부착된 빔 (beam) 폭 안에 항적이 들어가게 되면 항상 항적을 탐지 가능하다고 가정하였다. 또한 항적 내부에서 항적의 반향 세기는 표적에 가까울수록 증가한다고 가정하였다. 항적의 탐색 방법은 두 개의 센서에 측정된 항적 반향 강도를 비교해 어뢰의 회전 방향을 결정하는 부분과 항적 탐색 도중 항적이 소실될 경우 효과적으로 항적을 재탐지하는 부분으로 구성된다. Monte-Carlo 실험을 통해 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 성능을 고찰하고, 기존에 연구되었던 단일 센서 항적 추적 어뢰와의 성능 비교를 통해 두 개 센서 항적 어뢰의 효용성을 고찰한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 두 개 센서 항적 추적 어뢰 모델 및 항적 탐지 모델에 대해서 다룬다. 3장에서는 두 개의 센서를 이용한 항적 탐색 방법을 제시하며, 4장에서는 제안된 탐색 방법의 모의실험을 통해 탐색 방법의 효용성을 고찰한다.

## II. 두 개 센서 항적 추적 어뢰 모델 및 탐지 모델

두 개 센서 항적 추적 어뢰는 그림 1과 같은 센서 구조로 모델링한다. 그림 1 (a)와 같이 일정 수심에서 세 방향으로

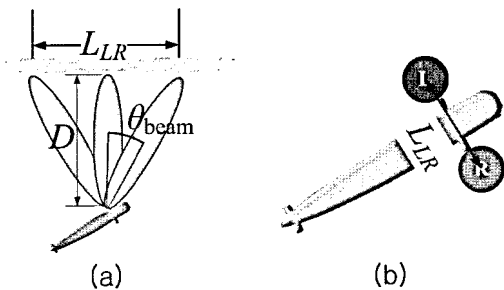


그림 1. 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 센서 구조  
 (a) 어뢰의 탐지 구조  
 (b) 단순화하여 나타낸 어뢰  
 Fig. 1. Sensor structure of two-sensor wake homing torpedo.  
 (a) Detecting structure of the torpedo  
 (b) Simplified representation of the torpedo

빔을 쬐, 어뢰의 좌우측과 중앙의 항적 탐지가 가능하다. 본 논문에서는 어뢰의 좌우측을 탐지하는 두 센서 값만 사용하므로 이후 본 논문의 그림에서는 그림 1 (b)와 같이 두 개 센서 항적 추적 어뢰를 단순화 하여 표현한다. 또한 어뢰의 수심에 따라 좌우측 센서 측정 지점 사이의 거리가 달라지며 거리 ( $L_{LR}$ )는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$L_{LR} = 2 \times D \times \tan \theta_{beam} \quad (1)$$

여기서,  $D$ 는 어뢰가 위치한 수심,  $\theta_{beam}$ 는 중심 센서와 좌우측 센서 간의 빔 각도이다.

수상함의 항적은 수상함의 종류와 속도, 해상 상태에 따라 다르게 나타난다 [3-6]. 본 논문에서는 그림 2와 같이 수상함의 폭  $W$ , 항적의 길이  $L$ , 항적이 퍼지는 각도  $\theta_{spread}$ 를 변수로 지정하여 항적을 모델링 한다. 수상함의 항적은 수상함의 후면에 생성되며, 수상함에서 멀어질수록  $\theta_{spread}$ 에 따라 너비가 넓어진다. 항적은 수상함이 지나간 자리의 좌우에 생성되므로 수상함의 위치와 진행 방향에 따른 자취 정보를 통해 수치적으로 항적 모델을 생성한다 [2]. 또한 항적 내부에서도 표적에 가까울수록 항적이 생성된 시간이 늦기 때문에 어뢰가 항적으로부터 얻을 수 있는 정보량이 많을 수 있다. 어뢰의 센서를 통해 얻을 수 있는 항적에 대한 정보적 신뢰도를 항적 반향 강도라 정의하고 표적에 가까울수록 항적 반향 강도는 세다고 가정한다.

본 논문에서는 어뢰의 항적 탐지 유무를 판단하기 위해 어뢰의 위치와 수상함의 자취 지점의 기하학적 구조를 이용한다. 또한 수상함 항적의 반향 세기를 나타내기 위해 수상함의 이동 자취 지점마다 수상함에 가까울수록 큰 비중 (weight)을 준다. 수상함의 진행 자취선에 투영된 어뢰의 위치에 해당하는 항적의 너비와 자취선과 어뢰 위치와의 거리를 비교하여 항적의 탐지 유무를 판단한다 [2]. 그림 3에서 별표는 어뢰의 위치이며, 네모 지점과 화살표는 수상함의 자취 지점과 진행 방향, 그리고 사각형 사선은 항적 경계면이다. 수상함 자취 지점의 숫자는 각 자취 지점이 가지는 항적 반향 강도값이며 항적 반향

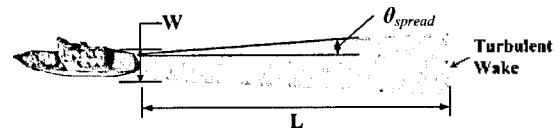


그림 2. 수상함 항적 모델  
 Fig. 2. Ship wake model.

강도값은 근접한 두 자취 지점 간의 거리 비율에 따라 결정된다. 그림 3 (a)는 어뢰가 항적을 탐지하지 못한 경우이며, 항적 방향 강도값으로 0을 가진다. 그림 3 (b)는 어뢰가 항적의 내부에 위치하고 있기 때문에 0보다 큰 항적 방향 강도값을 가지며, 근접한 자취 지점의 방향 강도 3과 4의 거리 비율에 따라 약 3.3의 항적 방향 강도값을 가진다.

### III. 두 개의 센서를 이용한 항적 탐색 방법

그림 4는 수상 표적을 위한 항적 어뢰의 표적 추적 과정을 보여준다. 초기화 과정에서 먼저 수상함 표적과 어뢰의 정보를 통해 어뢰가 항적에 진입할 수 있도록 초기 발사각을 계산한다. 발사된 어뢰가 항적을 처음 탐지하게 되면 표적 격침을 위한 항적 탐색을 실시한다. 항적 탐색 도중 항적을 소실할 경우에는 항적이 재탐지 될 때까지 항적 재탐색 운동을 하고, 항적이 재탐지 된 이후

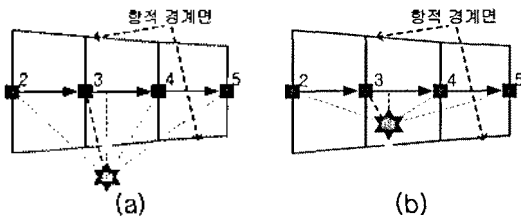


그림 3. 항적 탐지 모델  
(a) 항적을 탐지하지 못한 예  
(b) 항적을 탐지한 예

Fig. 3. Wake detection model.  
(a) Example of success in detection  
(b) Example of failure in detection

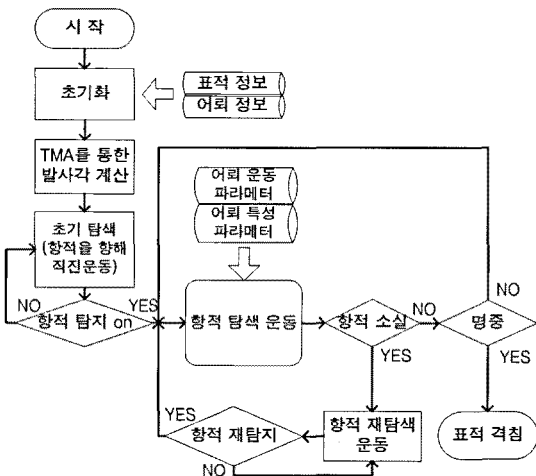


그림 4. 수상 표적을 위한 항적 어뢰의 운용 로직  
Fig. 4. Operation logic of wake torpedo for a surface target.

다시 표적 격침을 위한 항적 탐색 운동을 한다.

#### 3.1. 초기 발사각 설정

항적 추적 어뢰의 효과적인 운용을 위해 TMA (Target Motion Analysis)로 추정된 수상함 표적의 진행 방향과 속도, 항적의 길이 등의 표적 정보로 어뢰의 항적 진입을 위한 초기 발사각을 계산한다. 표적과 어뢰의 정보와 기하학적 구조를 통해 예상 요격 지점을 결정하고 표적 후면에 생성되는 항적에 어뢰가 도달할 수 있도록 발사각을 설정한다. 항적을 향한 초기 발사각  $\theta_{\psi_{psi}}$ 는 공격각에 따라 다르게 계산되며 표적을 향한 발사각  $\theta_{\psi}$ 와 입수 거리  $c$ 에 따른 발사 조절각  $\theta_{offset}$ 의 관계를 통해 식 (2) ~ (4)와 같이 구할 수 있다 [2,7].

$$\begin{cases} \theta_{\psi_{psi}} = \theta_{\psi} - \theta_{offset}, & \theta_{ASP} \leq 180 \\ \theta_{\psi_{psi}} = \theta_{\psi} + \theta_{offset}, & \theta_{ASP} > 180 \end{cases} \quad (2)$$

$$\theta_{\psi} = \sin^{-1} \left( \frac{V_T \times \sin \theta_{ASP}}{V_M} \right) \quad (3)$$

$$\theta_{offset} = \cos^{-1} \left( \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right) \quad (4)$$

여기서  $V_T$ 는 표적의 속력이고,  $a$ 는 어뢰 발사 위치에서 예상 항적 진입 지점까지의 거리,  $b$ 는 어뢰의 발사 위치와 예상 요격 지점 사이의 거리이다.

#### 3.2. 탐색 운동 방향 설정

초기 발사 후 직진 운동을 수행하던 어뢰는 항적이 탐지된 이후, 수상함 표적 격침을 위한 항적 탐색 운동을

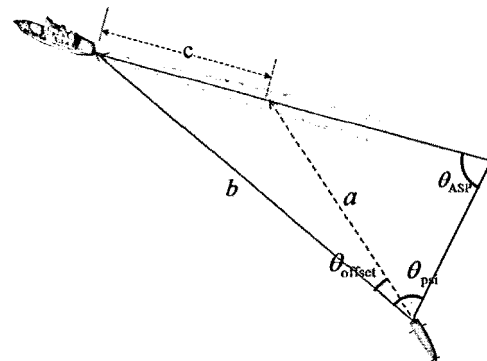


그림 5. 어뢰 초기 발사각 설정 (공격각이 180도 이하일 때)  
Fig. 5. Determining the initial angle of fire (when attack angle is smaller than 180°).

그림 6과 같은 방법으로 실시한다. 어뢰 좌우 양쪽의 항적 반향 강도를 비교하고 그 값에 따라 어뢰의 운동 방향을 결정한다. 두 항적 반향 강도 값이 같을 경우 어뢰는 현재 방향으로 직진 운동하고, 두 값이 다를 경우 반향 강도가 센 방향으로 회전한다.

그림 7은 본 논문에서 제시한 어뢰의 운용 로직에 따른 어뢰의 움직임을 보여준다. 그림 7 (a)의 경우, 왼쪽 센서의 반향 강도가 세서 두 센서의 반향 강도가 같아질 때까지 좌측 회전을 하고, 두 센서의 반향 강도가 같아지면 직진으로 표적을 쫓아간다. 그림 7 (b)의 경우, 처음 왼쪽 센서만 항적이 탐지되어 좌측 회전을 하다가 두 센서 모두 항적에 들어가게 되면 오른쪽 센서의 반향 강도가 세

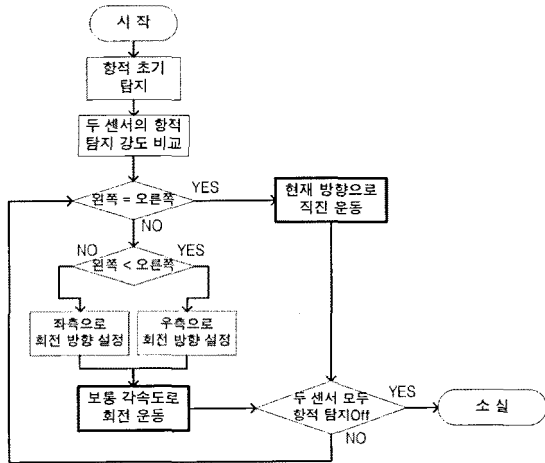


그림 6. 어뢰의 항적 탐색 운동 로직  
Fig. 6. Moving logic of torpedo for wake search.

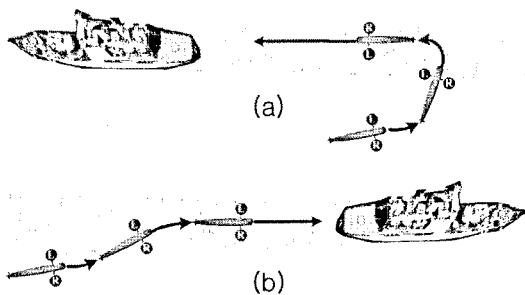


그림 7. 운용 로직에 따른 어뢰 움직임의 예 (어뢰 초기 이동 2시 방향 일 때)  
(a) 왼쪽 방향 진행 표적 추적  
(b) 오른쪽 방향 진행 표적 추적  
Fig. 7. Example of torpedo moving according to operation logic (when initial direction of torpedo is in 2 o'clock).  
(a) when direction of target is left  
(b) when direction of target is right

져서 두 센서의 반향 강도가 같아질 때까지 우측 회전을 하고, 두 센서의 반향 강도가 같아지면 직진으로 표적을 쫓아간다.

### 3.3. 항적 소실 대응

그림 6 흐름도의 오른쪽 아래 부분처럼 어뢰가 항적 탐색 운동을 하던 중 좌우 센서 모두 항적을 탐지하지 못하면 어뢰는 항적을 소실한 것으로 판단한다.

항적 내에서 어뢰의 회전 방향은 표적에 가까워지는 방향이므로 항적을 소실한 어뢰는 그림 8 (a)와 같이 항적을 재탐지할 때까지 같은 방향으로 회전한다. 그러나 어뢰가 한 바퀴 도는 동안에도 항적을 재탐지하지 못하면 그림 8 (b)와 같이 방향을 반대로 바꾸어 다시 회전한다. 이후 어뢰가 항적을 재탐지하게 되면 다시 두 센서의 반향 강도를 비교하여 회전 방향을 결정하고 표적 격침을 위한 항적 탐색 운동을 실시한다.

## IV. 모의실험

본 장에서는 임의의 환경 내에서의 모의 실험을 통해 본 논문에서 제시한 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 성능을 실험적으로 고찰한다. 어뢰의 초기 위치는 (0 m, 0 m)이고, 수상함 표적은 초기 위치 (3000 m, 0 m)에서 공격각에 따른 방향으로 움직인다. 입수 거리는 표적과 표적 후면의 어뢰 목표 항적 입수 지점과의 거리를 의미하며, 항적 축소비에 의해 결정된다. 항적 축소비는 항적 접촉 최대 가능 거리 대비 입수 거리의 비율이다. 공격각은 어뢰

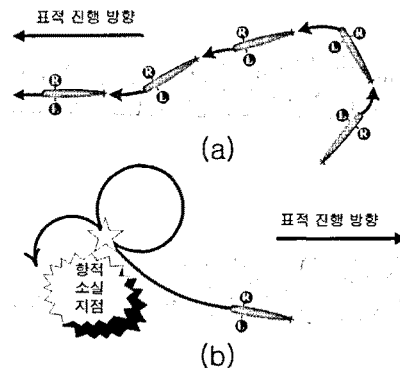


그림 8. 어뢰의 항적 재탐색 운동의 예  
(a) 재탐지를 위한 회전 방향 유지  
(b) 재탐지를 위한 회전 방향 변경  
Fig. 8. Example of torpedo moving for wake re-search.  
(a) Turning direction maintenance for wake re-search  
(b) Turning direction change for wake re-search

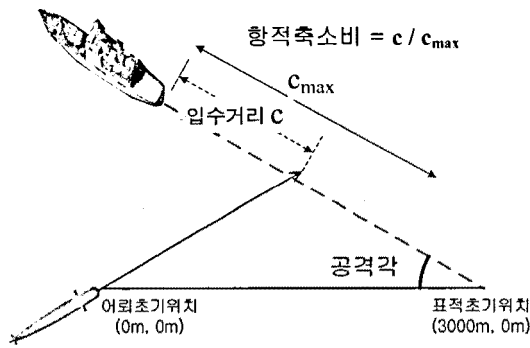


그림 9. 모의 시나리오 (공격각 30도 일 때)  
 Fig. 9. Simulated scenario (when attack angle is equal to 30°).

표 1. 기본 파라미터  
 Table 1. Basic parameters for simulation.

변수명	변수값
어뢰 속도	35 knot
항적 접촉 최대 가능 거리	4500 m
항적이 퍼지는 각도	2°
배터리 수명	20 min
탐색 형태	두 개 센서 탐색
선회 각속도	8° /sec
재탐색 어뢰 속도 / 재탐색 선회 각속도	40 knot / 6° / sec
표적 속도	25 knot
표적 재원(길이 x 폭 x 높이)	100 x 20 x 5 m
표적 속도 오차	5 knot
공격각 오차	5°

의 초기 위치와 표적의 초기 위치를 지나는 선을 기준으로 하여 표적 진행 방향까지의 시계 방향 각도를 의미한다. 그림 9는 공격각이 약 30도인 방향으로 표적이 운동하는 예이다. 그림 9에서  $c_{max}$ 는 항적 접촉 최대 가능거리를 나타내며,  $c$ 는 항적 축소비에 따른 입수 거리를 나타낸다. 또한 본 실험에서는 어뢰가 경보 거리 내에 들어오게 되면 표적은 회피 기동 및 음향 대항 수단을 사용한다고 가정하였다. 어뢰가 경보 거리 내에 들어오게 되면 칩로를 변경함과 동시에 부유식 기만기 4기를 발사한다. 회피 칩로와 기만기 두하 방위는 어뢰 접촉 방위에 따라 정해진다 [2, 8-9]. 어뢰 및 표적의 기본적인 세부 파라미터 항목은 표 1과 같다고 가정한다.

본 논문의 상황은 초기 발사각 계산 시 사용되는 TMA를 통해 추정된 표적의 속도와 진행 방향이 오차를 가질 수 있는 랜덤 프로세스 상황이다. Monte-Carlo 실험은 랜덤 프로세스 환경에서 제안되는 알고리즘의 검증에 위해 사용되는 통상적인 실험 방법이다 [10-11]. 본 논문에서는 표적의 진행 방향과 공격각을 랜덤 변수로 하는

Monte-Carlo 실험을 통해서 어뢰의 탐색 성공률 ( $P_s$ ), 평균 탐색 시간 ( $t_a$ )을 구하고, 이 값을 통해 어뢰의 성능을 평가하였다. 식 (5)의  $success(i)$ 는 탐색 성공 여부로서 어뢰가 표적 근방 100 m 이내로 접근한 경우 탐색 성공으로 간주되어 그 값이 1이 되며, 실패할 경우는 0이 된다. 식 (6)의  $success_{time}(i)$ 는 탐색 성공까지 걸린 시간을 의미한다. 두 식에서의  $m$ 은 Monte-Carlo 실험 회수를 의미하며, 본 실험에서는 100회의 반복 실험을 통해 성능 지수를 계산하였다.

$$탐색 성공률(P_s) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m success(i) \times 100 \quad (5)$$

$$평균 탐색 시간(t_a) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m success_{time}(i) \quad (6)$$

#### 4.1. 표적 회피 기동과 입수 거리에 따른 실험 결과

본 실험에서는 표적의 회피 기동 유무와 입수 거리에 따른 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 성능을 비교하였다. 두 개 센서의 반 각도는 15도로 설정하였다.

표 2 (a)는 표적이 회피 기동을 하지 않을 때, 입수 거리와 공격각에 따른 실험 결과이다. 공격각이 작은 상황에서는 입수 거리가 짧은 경우 표적에 더 빨리 접근할 수 있기 때문에 탐색 성공 시간이 짧아지는 경향을 보인다. 그러나 입수 거리를 너무 길게 잡으면 표적에 접근하기까지 시간이 많이 걸려 어뢰의 배터리 수명 한계로 인한 실패 확률이 커진다. 공격각이 180도에 가까워질수록 성공률이 떨어지는 이유도 표적이 어뢰와 멀어지는 방향으로 운동하기 때문에 어뢰의 표적 접근 시간이 길어지기 때문이다. 그리고 입수 거리 4500 m에서 공격각이 작을 때 성공률이 급격하게 떨어지는 이유는 입수 거리가 너무 길고, 어뢰가 표적 진행 방향과 반대 방향으로 항적에 접근하여 어뢰가 항적에 들어가지 못하기 때문이다. 표 2 (a)에서 어두운 부분은 공격각에 따라 탐색성공률과 평균 탐색시간을 고려하였을 때 가장 효율적인 입수 거리를 나타낸 것이다. 표적이 회피 기동을 하지 않을 경우 공격각이 작을수록 입수 거리를 짧게 설정하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

표 2 (b)는 표적이 회피 기동을 할 때, 입수 거리와 공격각에 따른 실험 결과이다. 입수 거리가 길 때는 표 2 (a)의 결과와 비슷한 성능을 보였으나, 입수 거리가 짧아지면 공격각이 180도에 가까워질수록 성능이 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 표적이 회피 기동을 했기

표 2. 입수거리에 따른 성능 비교

(a) 표적 회피 기동 (b) 표적 회피 기동

Table 2. Comparison of performances for entering distances:

(a) For the non-evading target (b) For the evading target

		(a)										
입수거리	공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
4500	P <sub>s</sub>	33	0	0	6	31	70	81	84	81	80	69
	t <sub>a</sub>	1024	-	-	895	918	733	655	591	577	586	575
3000	P <sub>s</sub>	84	80	88	95	96	89	81	81	77	68	64
	t <sub>a</sub>	948	1035	1000	871	733	568	517	497	533	550	570
1500	P <sub>s</sub>	100	100	100	97	93	85	76	70	68	59	60
	t <sub>a</sub>	606	623	569	475	425	406	407	454	493	535	568
500	P <sub>s</sub>	100	99	98	88	69	67	67	61	66	58	58
	t <sub>a</sub>	399	371	308	295	293	299	362	427	485	534	568
300	P <sub>s</sub>	98	94	92	67	67	64	51	56	42	46	62
	t <sub>a</sub>	350	346	277	263	271	303	352	419	477	533	567

		(b)										
입수거리	공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
4500	P <sub>s</sub>	33	0	0	6	31	66	69	68	59	57	44
	t <sub>a</sub>	1015	-	-	877	917	758	705	633	614	610	582
3000	P <sub>s</sub>	84	80	88	95	95	70	52	44	46	40	35
	t <sub>a</sub>	938	1020	976	860	729	637	604	567	570	568	576
1500	P <sub>s</sub>	100	100	100	95	89	48	26	19	24	14	29
	t <sub>a</sub>	606	621	570	481	437	462	485	525	527	556	576
500	P <sub>s</sub>	100	100	99	76	51	3	8	8	13	15	26
	t <sub>a</sub>	365	320	308	331	348	407	454	482	521	557	580
300	P <sub>s</sub>	100	100	94	47	44	2	2	2	2	7	14
	t <sub>a</sub>	318	278	286	322	343	405	445	489	528	557	577

때문에 어뢰의 예상 항적 입수 지점에 항적이 존재하지 않아 어뢰가 표적을 탐지하지 못하기 때문이다. 표 2 (b)에서 어두운 부분은 공격각에 따라 탐색성공률과 평균탐색시간을 고려하였을 때 가장 효율적인 입수 거리를 나타낸 것이다. 표적이 회피 기동을 하는 경우 회피 기동을 하지 않을 때와 마찬가지로 공격각이 작을수록 입수 거리를 짧게 설정하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

4.2. 빔 각도에 따른 성능 비교

본 실험에서는 어뢰 상단에 부착되어 있는 두 개 센서의 빔 각도에 따른 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 성능을 비교해 보았다. 표적은 회피 기동을 하지 않는다고 가정하였다.

표 3 (a)는 입수 거리가 1500 m일 때, 빔각도와 공격각에 따른 실험 결과이다. 탐색성공률 측면에서는 모든 공격각에 걸쳐 세 개의 빔 각도가 유사한 성능을 보였으나, 탐색시간 측면에서는 전체 공격각에 걸쳐 빔 각도가 30도인 경우 5도나 15도일 때에 비해 평균 83초 정도 오래

걸리는 것을 확인하였다. 이는 빔 각도가 30도인 경우 5도나 15도일 때에 비해 양쪽 센서 측정 지점 사이의 거리가 멀기 때문이다. 이런 경우 어뢰가 표적에 근접하였을 때, 센서 측정 지점 사이의 거리가 항적의 폭보다 넓어져 항적을 소실하는 경우가 생기게 되고, 항적 탐색 운동과 재탐색 운동을 반복적으로 수행하기 때문에 더 많은 시간이 소요된다. 반대로 센서 측정 지점 사이의 거리가 너무 짧으면 양쪽 센서에 측정된 항적 탐지값의 비교가 어렵기 때문에 효과적인 어뢰의 회전 방향 결정에 문제가 생길 수 있다. 그러나 센서 측정 지점 사이의 거리가 짧은 경우에 대한 문제는 실험 결과에 반영되지 않았다.

표 3 (b)는 입수 거리가 300 m일 때, 빔각도와 공격각에 따른 실험 결과이다. 표 3 (a)와 마찬가지로 탐색성공률 측면에서는 대부분의 공격각에서 세 개의 빔 각도가 유사한 성능을 보이고 있으며, 탐색 시간 측면에서는 빔 각도가 30도인 경우 5도나 15도일 때에 비해 평균 91초 정도 오래 걸리는 것을 확인하였다.

그림 10은 표 3의 결과의 일부를 그래프로 나타낸 것이

표 3. 빔 각도에 따른 성능 비교

(a) 표적 회피피 기동 / 입수거리 1500 m (b) 표적 회피피 기동 / 입수거리 300 m

Table 3. Comparison of performances for beam angles.

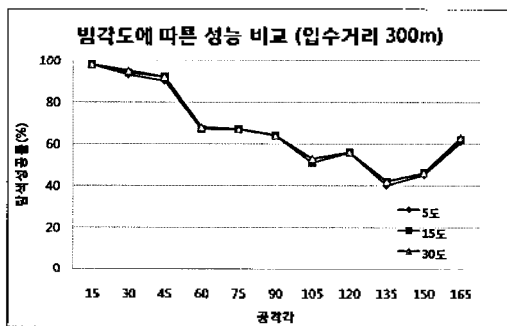
(a) For the non-evading target / entering distance is equal to 1500 m

(b) For the non-evading target / entering distance is equal to 300 m

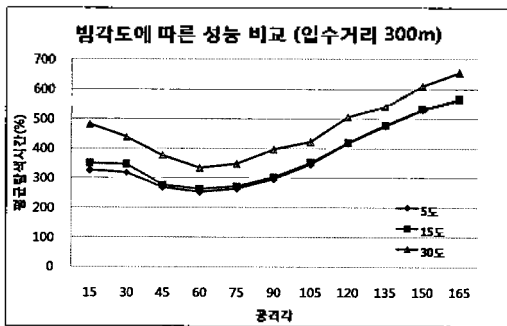
		(a)										
빔각도	공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
5도	$P_s$	100	100	100	96	93	85	75	70	68	59	59
	$t_a$	647	626	570	477	421	403	404	451	491	532	565
15도	$P_s$	100	100	100	97	93	85	76	70	68	59	60
	$t_a$	606	623	569	475	425	406	407	454	493	535	568
30도	$P_s$	99	100	100	96	94	85	76	71	69	59	61
	$t_a$	666	700	648	554	513	493	483	535	580	623	650

		(b)										
빔각도	공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
5도	$P_s$	98	93	90	67	67	64	51	56	40	45	61
	$t_a$	327	319	269	253	264	295	346	417	475	530	563
15도	$P_s$	98	94	92	67	67	64	51	56	42	46	62
	$t_a$	350	346	277	263	271	303	352	419	477	533	567
30도	$P_s$	98	95	92	68	67	64	53	56	42	46	63
	$t_a$	481	438	377	334	347	396	422	506	540	611	657



(a)



(b)

그림 10. 세 가지 빔 각도에 따른 성능 비교

(a) 탐색성공률 - 입수 거리 300m

(b) 평균탐색시간 - 입수 거리 300m

Fig. 10. Comparison of performances for three cases beam angles.

(a) Hitting probability - entering distance is equal to 300 m

(b) Average hitting time - entering distance is equal to 300 m

다, 그림 10 (a)는 입수 거리가 300 m일 때의 빔 각도별 탐색성공률을 나타내며, 공격각이 작을 경우 높은 탐색 성공률을 보이는 것을 확인할 수 있고, 그림 10 (b)는 입수 거리가 300 m일 때의 평균탐색시간을 나타내며, 전 공격각에 걸쳐 빔 각도가 30도인 경우 더 많은 탐색 시간을 소요하는 것을 확인할 수 있다.

### 4.3. 단일 센서 함적 추적 어뢰와의 성능 비교

본 실험에서는 기존에 연구된 단일 센서 함적 추적 어뢰와 본 논문에서 제안한 두 개 센서 함적 추적 어뢰의 성능을 비교해 보았다. 단일 센서 함적 추적 어뢰는 단측 모드 함적 탐색 방법을 사용하였다 [2]. 표적은 회피 기동을 하지 않는다고 가정하고, 두 개 센서의 빔 각도는 15도로 설정하였다.

표 4 (a)는 입수 거리가 1500 m일 때, 단일 센서 함적 추적 어뢰와 두 개 센서 함적 추적 어뢰의 성능을 비교한 것이다. 결과를 보면 탐색성공률 측면에서는 거의 유사한 성능을 보였으나 탐색시간 측면에서는 전체 공격각에 걸쳐 두 개 센서 함적 추적 어뢰가 평균 54초의 향상을 보였다. 단일 센서의 단측 모드 탐색 방법의 경우 함적 내외부를 넘나드는 운동을 통해 표적을 추적하나, 두 개 센서의 함적 탐색 방법의 경우 함적 내부에서 주로 직진 운동에 의해 표적을 추적하기 때문에 시간적인 측면에서 유리하다.

표 4. 단일 센서 / 두 개 센서 성능 비교

(a) 표적 비회피 기동 / 입수거리 1500 m (b) 표적 비회피 기동 / 입수거리 300 m

Table 4. Comparison of performances between single sensor and two-sensor.

(a) For the non-evading target / entering distance is equal to 1500 m

(b) For the non-evading target / entering distance is equal to 300 m

센서종류		공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
단일	$P_s$		100	100	100	96	93	85	75	70	68	59	59
	$t_a$		725	729	647	537	468	447	431	481	516	556	592
두개	$P_s$		100	100	100	97	93	85	76	70	68	59	60
	$t_a$		606	623	569	475	425	406	407	454	493	535	568

센서종류		공격각	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
단일	$P_s$		44	70	88	67	66	64	51	56	40	44	61
	$t_a$		388	406	368	332	294	312	367	440	495	552	593
두개	$P_s$		98	94	92	67	67	64	51	56	42	46	62
	$t_a$		350	346	277	263	271	303	352	419	477	533	567

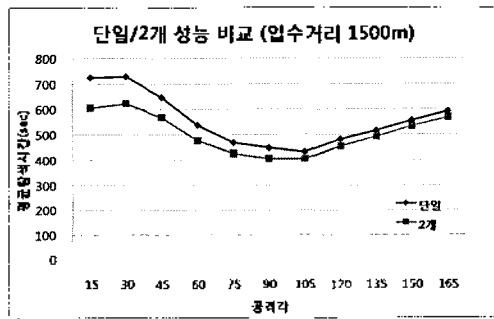
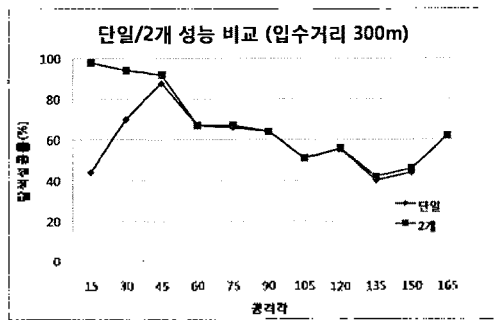


그림 11. 단일 센서 / 두 개 센서 성능 비교

(a) 탐색성공률 - 입수거리 300m

(b) 평균탐색시간 - 입수거리 1500m

Fig. 11. Comparison of performances between single sensor and two-sensor

(a) Hitting probability - entering distance is equal to 300 m

(b) Average hitting time - entering distance is equal to 1500 m

표 4 (b)는 입수 거리가 300 m일 때이며, 표 4 (a)와 달리 공격각이 작을 때 단일 센서 항적 탐지기의 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 입수 거리가

짧을수록 어뢰가 입수된 지점의 항적의 폭도 좁기 때문이다. 어뢰가 표적 진행 방향과 반대 방향으로 항적에 접근하게 되면 어뢰가 표적 진행 방향으로 회전하기까지 회전 반경이 커지게 되는데, 회전 반경이 항적의 폭보다 크면 어뢰가 표적 진행 방향으로 회전하기 전에 항적을 이탈하게 된다. 단일 센서 항적 추적 어뢰는 항적을 이탈한 후 표적 진행 방향을 올바르게 추정할 수 없지만, 두 개 센서 항적 추적 어뢰는 표적 진행 방향을 추정할 수 있으므로 더 높은 성공률을 보인다. 탐색시간 측면에서도 전체 공격각에 걸쳐 두 개 센서 항적 추적 어뢰가 평균 36초의 항상을 보였다.

그림 11은 표 4의 결과의 일부를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 11 (a)는 입수 거리가 300 m일 때의 탐색성공률을 나타내며, 공격각이 작을 경우 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 성능이 높은 것을 확인할 수 있고, 그림 11 (b)는 입수 거리가 1500 m일 때의 평균탐색시간을 나타내며, 전 공격각에 걸쳐 두 개 센서 항적 추적 어뢰가 더 적은 탐색 시간을 소요하는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 본 논문의 실험에 대해 표적 탐색에 성공한 경우와 성공하지 못한 경우의 어뢰의 이동 경로이다. 그림 12 (a)는 격침에 성공한 경우이고, 그림 12 (b)는 격침에 실패한 경우이다. 두 경우 모두 표적의 실제 진행 방향은 120도, 입수거리는 500 m로 같게 설정하였으나, 추정된 표적 속도와 공격각의 오차에 따라 초기 발사각이 다르게 계산되어 서로 다른 결과를 나타내었다.



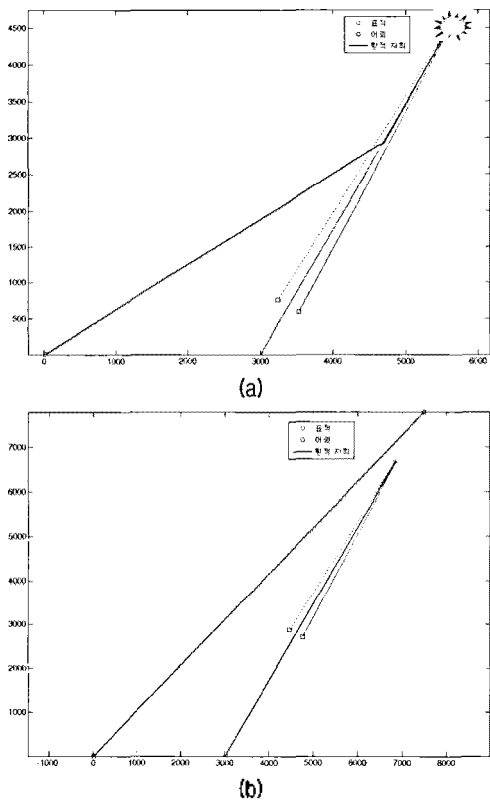


그림 12. 표적과 어뢰의 이동 경로의 예 (표적 진행 방향 120도, 입수거리 500 m)  
 (a) 표적 탐색에 성공한 경우  
 (b) 표적 탐색에 실패한 경우

Fig. 12. Example of the tracks of a torpedo and a ship (when direction of the ship is equal to 120 degree and entering distance is equal to 500 m).  
 (a) Example of success in searching  
 (b) Example of failure in searching

### V. 결론

본 논문에서는 두 개 센서 항적 추적 어뢰의 탐색 방법을 연구하였다. 표적에 가까울수록 항적의 반향 강도가 세다는 항적 탐지 모델을 가정하였고, 어뢰 좌우측면의 항적 반향 강도를 측정할 수 있는 센서를 이용해 두 센서에서 측정된 반향 강도를 서로 비교함으로써 어뢰의 회전 방향을 결정하는 탐색 운동 모델을 제시하였다. 또한 항적을 소실하여도 표적의 진행 방향을 추정할 수 있는 항적 재탐색 운동 모델을 제시하였다. 모의실험을 통해 입수 거리가 짧을수록 탐색 성공률과 평균 탐색 시간 측면에서 효율적임을 알 수 있었으나, 표적이 회피 기동을 하는 경우 공격각에 따라 성능이 떨어질 수 있는 것을 확인했다. 센서 간의 빔 각도 또한 탐색 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 빔 각도가 너무 클 경우 표적 근처에서 항적 소실이 많아져 성능이 떨어질 수 있으며, 빔 각도가

너무 작을 경우 어뢰의 회전 방향 결정이 어려워 성능이 떨어질 수도 있다. 마지막으로 단일 센서 항적 추적 어뢰와의 성능 비교를 통해 두 개 센서 항적 추적 어뢰가 탐색 시간 측면에서 보다 효율적임을 확인할 수 있었다. 그러나 두 개 센서 항적 추적 어뢰는 표적에 가까워수록 항적 반향 강도가 세다는 가정 아래에서 탐색 모델이 연구되었으므로, 본 논문에서 제시된 탐색 모델을 사용하기 위해서는 실제 항적 탐지 및 센서에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 '항적 탐지기의 효과도 분석 및 운용 방안 연구' 과제의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. Norman Friedman, "Start Worrying about Wake Homing Torpedoes", *Proceeding, Naval Institute*, pp.123-124, 1994.
2. 구본화, 이영현, 박정민, 정석문, 홍우영, 김우식, 임모택, 고한석, "회피 기동에 강인한 수상 항적 탐색 방법", *한국군사과학기술학회지*, 제12권 제1호, pp. 8-17, 2009.
3. H. Medwin, "In Situ Acoustic Measurements of Bubble Populations in Coastal Ocean Waters", *Journal of Geophysical Research*, vol. 75 no. 3, pp. 599-611, 1970.
4. H. Medwin, "In Situ Acoustic Measurements of Microbubbles at Sea" *Journal of Geophysical Research*, vol. 82 no. 6, pp. 971-976, 1977.
5. E. W. Miner and O. M. Griffin, "Bubble Motions in Sea Water" *Ocean Physics and Engineering*, vol. 12 no. 1, pp. 25-46, 1987.
6. J. B. Conant, *The Physics of Sound in the Sea*, Summary Technical Report of Div. 6, NDRC, vol. 8, 1946.
7. 이영현, 구본화, 홍우영, 정남식, 한동완, 정석문, 임모택, 김우식, 고한석, "항적 탐지 어뢰의 효과도 분석", *제22회 수중음향학 학술발표회 논문집*, 2007.
8. 최성환, 송광섭, 허성필, 이상용, 김연선, 이형욱, "함정 회피 확률 분포의 최적화 기법 연구" *국방과학연구소*, NWS-417-950227, 1995.
9. 최성환, 허성필, 정석문, 신성철, "어뢰 대항 전술 개발을 위한 알고리즘 연구( I )", *국방과학연구소*, NWS-413-990150, 1999.
10. 허성필, "몬테칼로 시뮬레이션을 이용한 유도어뢰 회피전술 체계의 효과도 분석", *한국경영과학회 학술대회 논문집*, no.1, 1997.
11. 윤현규, "어뢰 탐지 효과도 분석 기법 연구", *국방과학연구소*, NWS-519-960331, 1996.

저자 약력

•이 영 현 (Young-Hyun Lee)



2007년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)  
 2007년 3월~ 현재: 고려대학교 영상정보처리학과 석박사통합과정  
 ※ 주관심 분야: 신호처리, 개체 검출, 영상 인식

•구 본 화 (Bon-Hwa Ku)



2000년 2월: 광운대학교 제어계측 공학과 (공학사)  
 2002년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2008년 2월: 고려대학교 영상정보처리학과 (공학박사)  
 2009년 6월~ 현재: 고려대학교 연구 교수 재직  
 ※ 주관심 분야: 표적 탐지/추적, 데이터 융합

•정 석 문 (Suk-Moon Chung)



1985년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)  
 1987년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1993년~ 현재: 해군사관학교 전기전자공학과 교수  
 ※ 주관심 분야: 합내통신, 항적 탐색

•홍 우 영 (Woo-Young Hong)



1982년 3월: 해군사관학교 전자공학과 (공학사)  
 1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 10월: 미국 University of Minnesota 전기공학과 (공학박사)  
 1997년 12월~2000년 1월: 미국 해군사관학교 전기공학과 교환교수  
 2008년 1월~2008년 12월: 국방대학교 안전보장대학원  
 1985년 3월~ 현재: 해군사관학교 전기전자공학과 교수  
 ※ 주관심 분야: 수중음향 신호처리, 무기체계 효과도 분석

•고 한 식 (Han-Seok Ko)



1982년 5월: Carnegie-Mellon University 전기공학 (공학사)  
 1986년 5월: University of Maryland 시스템공학 (공학석사)  
 1988년 5월: Johns Hopkins University 전기공학 (공학석사)  
 1992년 5월: Catholic University of America 전기공학 (공학박사)  
 1983년 9월~1995년 2월: White Oak 연구소 Principal Engineer  
 1992년 9월~1995년 2월: University of Maryland Part-time Assistant Professor  
 1995년 3월~ 현재: 고려대학교 전기전자전파공학부 교수  
 ※ 주관심 분야: 영상 및 음성 신호처리, 패턴 인식