

# I 형 및 Y 형 꼬리 날개 능동 예인 음탐기의 예인 자세에 대한 실험적 분석

이동섭

국방과학연구소 해양기술연구원

## Experimental Analysis of Towing Attitude for I-type and Y-type Tail Fin of Active Towed SONAR

Dong-Sup Lee

Maritime Technology Research Institute, Agency for Defense Development

**요 약** 수중 표적의 탐지 효율을 증대시키기 위하여 능동 예인 음탐기는 적정 심도에서 바른 자세로 예인 되어야 한다. 본 연구에서는 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상이 예인 자세 및 예인 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 축소 모형 실험 2회 및 해상 실험 1회를 수행하고 그 결과를 분석하였다. 축소 모형 실험은 선형 수조에서 꼬리 날개 형상에 따른 속력 별 예인 거동을 측정하였으며, 축소 모형 실험에 활용된 꼬리 날개 형상은 I 형 꼬리 날개 1개와 Y 형 꼬리 날개 4개로 총 2종 5개에 대하여 실험을 수행하였다. 1차 축소 모형 실험에서는 Y형 꼬리 날개가 I 형 꼬리 날개 대비 예인 자세 및 예인 안정성이 우수함을 확인하였다. 2차 축소 모형 실험에서는 Y형 꼬리 날개를 기본으로 수직 꼬리 날개 높이 증가, 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 형상에 대하여 속력 별 거동 특성을 확인하였으며, 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 형상이 가장 우수한 성능을 나타내었다. 축소 모형 실험 결과를 검증하기 위해 실물 모형을 제작하여 해상 실험을 수행하였으며, 축소 모형 실험 결과와 유사함을 확인하였다.

**Abstract** Increasing the detection probability of underwater targets necessitates securing the towing stability of the active towed SONAR. In this paper, to confirm the effects of tail wing fin on towing attitude and towing stability, two scale model experiments and one sea trials were conducted and the results were analyzed. The scale model tests measured the towing behavior of each of the tail fin shapes according to towing speed in a towing tank. The shape of the tail fin used in the scale model test was tested with an I-type tail fin and four Y-type tail fins, totaling five tail fins of the two kinds. The first scale model test confirmed that the Y-type tail fin was superior to the I-type tail fin in towing attitude and towing stability. The second scale model test confirmed the characteristics of the vertical tail fin height increase and the lower horizontal tail fin inclination angle application shape based on the Y-type tail fin. The shape of the application of the lower horizontal tail fin inclination angle showed the best performance. In order to verify the results of the scale model test, a full size model was constructed, sea trials were performed, and the towing attitude was measured. The results were similar to those of the scale model test.

**Keywords** : Towed Body, Tail Fin, Towing Attitude, Towing Stability, Scale Model Test

---

\*Corresponding Author : Dong-Sup Lee(Maritime Technology Research Institute, Agency for Defense Development)  
email: leeds@add.re.kr

Received May 20, 2019  
Accepted August 2, 2019

Revised June 14, 2019  
Published August 31, 2019

## 1. 서론

수중에서 음향을 이용한 표적 탐지는 자성, 광학, 전자 기장 등의 비음향 탐지 수단 대비 효과적인 탐지 수단으로 알려져 있다. 원거리에 위치한 수중 표적을 탐지하기 위해서는 음 수렴구역에서의 음파 전달이 필요하며, 이를 위해 적정 심도에서의 능동 예인 음탐기 운용이 필수적이다[1]. 표적 탐지 효율을 증대시키기 위하여 적정 심도에서 능동 예인 음탐기 운용 시 바른 자세가 유지되어야 한다. 또한, 조류 등의 외부 교란력이 가해지더라도 평형 상태로 되돌아오는 복원성과 예인 안정성이 확보 되어야 한다.

예인 시 바른 자세와 예인 안정성에 영향을 미치는 주요 설계 요소는 능동 예인 음탐기의 몸체 형상, 능동 예인 음탐기의 무게 중심, 부력 중심, 예인점의 위치로 구성되는 중량 파라미터 그리고 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상 등이 있다.

능동 음탐기의 예인 자세 및 예인 안정성 분석 기법으로는 사전에 도출된 운동 모델을 활용한 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD)에 기반한 해석적 방법과 선형 수조, 강제 선회 수조 등을 이용한 실험적 방법으로 나눌 수 있다[2]. Go et al.은 CFD 해석만으로 수중체의 유체력 미계수를 결정 할 수 있는 가능성과 직진 예인 거동 해석에서 나타난 수중 예인체의 자세변화에 대한 경향성이 회류수조 모형 실험 결과와 유사함을 확인하였다[3]. CFD 기반 해석적 방법만으로 신뢰도 높은 분석 결과를 얻기 위해서는 능동 예인 음탐기의 동유체력과 케이블 동역학, 그리고 능동 예인 음탐기와 케이블 간의 연성 효과에 대한 정확한 모델링 등이 선행되어야 한다.

선형 수조 또는 강제 선회 수조에서 축소 모형을 활용한 실험적 방법은 설계 결과를 직접 확인하고 평가 할 수 있다. 그러나 실선과 동일한 실험 환경을 모사하는 측면

에서 축척비에 따른 효과 등 부분적인 한계가 있으며, 실험 환경을 고려하여 결과를 분석해야 한다[4-5].

본 연구에서는 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상이 예인 자세 및 예인 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 실험적 방법을 적용하였다. 축소 모형을 제작하여 선형 수조에서 속력 별 예인 거동을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 이때, 능동 예인 음탐기의 몸체 형상 및 중량 파라미터는 변화가 없다고 가정하였다. 아울러, 선형 수조에서 수행한 축소 모형 실험 결과 및 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 설계 결과를 검증하기 위하여 실제 크기로 제작하여 해상 실험을 수행하였다. 해상에서 속력 별 직진 예인 실험을 통해 획득한 예인 자세 측정 자료를 분석하였으며, 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 설계 결과를 고찰하였다.

## 2. 본론

능동 예인 음탐기는 함정 내 제한된 공간에서 거치되어 운용되므로 몸체 및 꼬리 날개의 길이, 폭, 높이 등 설계 제원의 제약이 발생한다. 몸체의 형상은 유선형으로 설계하는 것이 예인 저항의 최소화 측면에서 유리하다. 상기 두 가지 제약 사항은 능동 예인 음탐기 내부에 장착되는 음원의 설치 위치를 제한시키며, 이는 능동 예인 음탐기의 중량 파라미터 설계 제약 사항이 된다. 이러한 점들을 고려하여 능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상 설계는 능동 예인 음탐기의 바른 자세, 예인 안정성 확보를 위한 중요 설계 요소이다.

능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상은 기본적인 I 형상 또는 복원성 및 안정성 증대를 위하여 꼬리 날개의 측면 투영 면적이 증가된 Y 형상으로 설계하는 것이 일반적이나, 예인 몸체 형상에 따라 예인 특성이 달라지므로 이에 대한 분석 및 검증을 위하여 축소 모형 실험 및 해

Table 1. The procedures and purpose of scale model test and sea trials

No.	Procedures	Purpose	Subject
1	1 <sup>st</sup> scale model test	Characteristic analysis of upper horizontal-tail fin	I type tail fin and Y type tail fin
2	2 <sup>nd</sup> scale model test	Characteristic analysis of lower horizontal-tail fin	with inclination angle
		Characteristic analysis of vertical-tail fin	with height increase
		Combine characteristic analysis of lower horizontal-tail fin with characteristic analysis of vertical-tail fin	with inclination angle and with height increase
3	Sea trials	Real test of the optimal shape of the 2 <sup>nd</sup> scale model test	-

상 실험을 수행하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 비용과 시간을 고려하여 I 형상 꼬리 날개와 Y 형상 꼬리 날개에 대하여 축소 모형 실험을 총 2회 우선 수행하였으며, 이의 결과를 바탕으로 선정된 꼬리 날개 형상의 실물 모형을 제작하여 해상 실험으로 축소 모형 실험 결과를 검증하였다.

## 2.1 축소 모형 실험

### 2.1.1 실험 환경 구성

축소 모형 실험은 서울대학교에서 보유하고 있는 길이 110 m, 폭 8 m, 깊이 3.5 m 선형 수조에서 대형 예인 전차를 활용하였다. 대형 예인 전차의 중심선 상에 예인 케이블을 축소 모형에 연결하여 직진 예인 환경을 모사하였으며, 이는 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

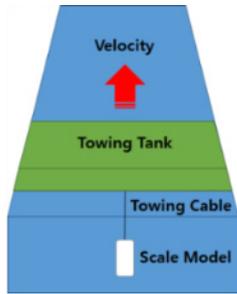


Fig. 1. Summary of scale model test

선형 수조의 운용 특성과 제한된 길이 등을 고려하여 축소 모형은 원형 대비 1/4 크기로 제작되었다. 레이놀즈 수(reynold's number)가  $10^6$ 에서  $10^7$ 사이의 난류 영역에서 예인되는 점을 고려하여 축소 모형 선수부에 난류 촉진 장치를 부착함으로써 임의로 모형 주위의 유동이 난류가 되도록 하였다. 또한, Fig. 2와 같이 꼬리 날개를 탈부착 할 수 있는 형태로 제작하고, 종동요(pitching) 및 횡동요(roll) 등에 대한 축소 모형의 예인 거동 자세는 3축 정보 계측 센서를 축소 모형 내부에 부착하여 측정하였다. 3축 정보 계측 센서는 20 Hz 간격으로  $\pm 0.1^\circ$ 의 정확도를 가지고 자료를 수집 할 수 있으며, 축소 모형의 무게 중심 위치는 내부에 장착된 무게 추를 이용하여 조정하였다. 적용된 축소 모형의 예인 몸체 선형은 NACA 0033을 기반으로 설계되었다.

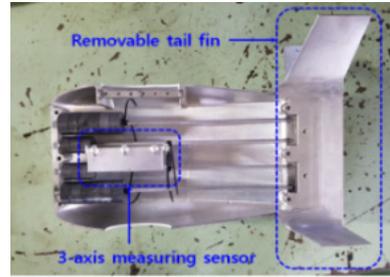


Fig. 2. 1/4 Scale model

예인 거동 특성을 측정하는 실험으로 예인 속력이 정상상태에 도달한 이후에 예인 자세가 안정화되기 때문에 운동체의 유체 성능을 파악하는 구속 모형 실험보다 더 긴 정속구간이 요구된다. 따라서, 사전 실험을 통하여 안정화 특성을 살펴본 후 실험 속도 범위의 산출이 필요하다. 또한, 예인 시 축소 모형의 수심이 변동하는 점과 선형 수조의 자유 수면과 바다면에 의한 흡입 효과 영향을 고려하여 적절한 예인 케이블의 길이를 선정하는 사전 실험 과정이 필요하다.

예인 케이블의 후보 길이는 축소 모형 높이의 약 6배 길이와 약 9배 길이로 설정하였으며, 프루드 수(froude number) 기준 각각 0.83, 0.67 속력으로 예인하였다. 사전 실험 과정에서 예인 케이블의 후보 길이 별 확인된 사항은 다음과 같다. 첫째로, 예인 속력이 안정화된 구간에서 획득한 자료의 평균값 기준 자세는 각각 종동요  $0.2^\circ$ , 횡동요  $1.5^\circ$  차이값을 보였다. 둘째로, 자유 수면과 바다면에 의한 흡입효과가 예인 거동에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단되었다. 이를 바탕으로 축소 모형 실험에서의 예인 케이블 길이는 축소 모형 높이의 약 6배 길이로 설정하여 실험을 수행하였다.

꼬리 날개 형상이 예인 자세 및 예인 안정성에 미치는 영향성을 살펴보기 위하여 총 2회에 걸쳐 축소 모형 실험을 수행하였으며, 실험 별 예인 속력은 프루드 수 기준 0.36, 0.60, 0.83 이다.

### 2.1.2 1차 축소 모형 실험 및 결과 분석

1차 축소 모형 실험에서는 꼬리 날개 형상에 따른 영향성을 살펴보기 위하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 꼬리 날개 형상이 다른 I 형상과 Y 형상 2종에 대하여 직진 예인 실험을 수행하였다. 꼬리 날개의 높이는 축소 모형 기준 Y 형 꼬리 날개가 I 형 꼬리 날개 대비 높이가 약 30 mm 높으며, 폭은 동일하다. 무게 중심, 예인점의 위치 등의 실험 조건은 동일하게 설정하였다.

꼬리 날개 형상에 따른 예인 속력 별 예인 거동 특성 분석 결과는 예인 속력이 안정화된 구간에서 약 30초간 획득한 자료의 평균값 및 표준 편차를 중동요 자세와 횡동요 자세에 대하여 각각 정리하였다. 그 결과는 Table 2, Table 3 그리고 Fig. 4, Fig. 5에 나타낸 바와 같다.

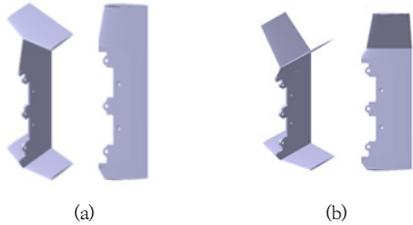


Fig. 3. Tail fins of the 1<sup>st</sup> scale model test  
(a) I type tail fin (b) Y type tail fin

중동요 자세는 꼬리 날개 형상에 따라 전체 예인 속력에 대하여 평균값 기준 최대 약 0.3° 이내의 차이를 보이며 유사한 결과를 나타낸다. 예인 속력이 증가함에 따라 I 형상 꼬리 날개의 경우 평균값 대비 8~37%로 표준 편차가 큰 변동성을 보이지만, Y 형상 꼬리 날개의 경우 전체 예인 속력에 대하여 표준 편차가 5% 이내로 변동성이 크지 않음을 확인할 수 있다. 상기 결과로부터 예인 시 중동요 자세 측면에서는 꼬리 날개 형상에 따른 큰 차이가 없으나, 자세 안정성 측면에서 Y 형상 꼬리 날개가 I 형상 꼬리 날개 대비 우수함을 알 수 있다.

횡동요 자세는 최저 예인 속력에서는 I 형상 꼬리 날개가 Y 형상 꼬리 날개 대비 약 0.6°의 차이를 보이며 바른 자세로 예인됨을 확인할 수 있다. 그러나 예인 속력에 비례하여 평균값 기준 I 형상 꼬리 날개의 경우 최저 예인 속력 대비 최대 예인 속력에서 약 875% 증가하였으며, Y 형상 꼬리 날개의 경우 약 175% 증가하였다. 최대 예인 속력에서 I 형상 꼬리 날개의 경우 평균값 기준 23%의 표준 편차를 보이며, Y 형상 꼬리 날개의 경우 평균값 기준 12%의 표준 편차를 나타내고 있다.

1차 축소 모형 실험 결과를 바탕으로 Y 형상 꼬리 날개가 I 형상 꼬리 날개 대비 예인 자세 및 예인 안정성 측면에서 우수한 성능을 가지고 있음을 확인하였다. 이는 I 형상 꼬리 날개 대비 Y 형상 꼬리날개의 측면 투영 면적이 약 7% 확장되어 복원 모멘트 증대에 따른 결과로 사료된다.

예인 자세 및 예인 안정성 확보를 위하여 설계 시 꼬리 날개에 작용하는 복원 모멘트의 증가는 필수적이다. 또한, 복원 모멘트는 꼬리 날개 단면에 작용하는 양력

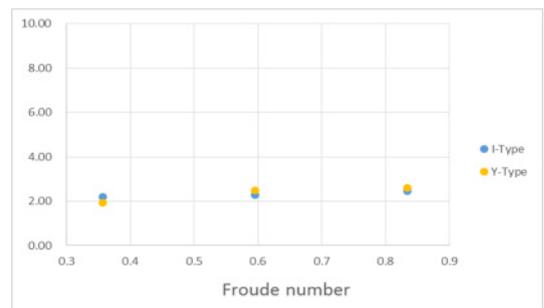
(lift force)과 연관이 있다. 이러한 사항들을 고려하여 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 형상 및 수직 꼬리 날개 면적 확장 형상을 고안했으며, 이의 영향성을 확인하기 위하여 2차 축소 모형 실험을 수행하였다.

Table 2. Mean and standard deviation of pitch

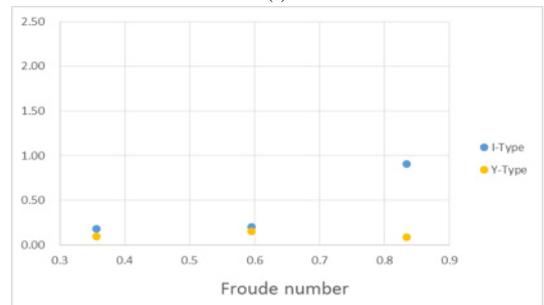
Tail fin type		Froude number		
		0.36	0.60	0.83
I type	Mean	2.20°	2.29°	2.47°
	Standard deviation	0.18°	0.20°	0.91°
Y type	Mean	1.93°	2.48°	2.60°
	Standard deviation	0.09°	0.15°	0.09°

Table 3. Mean and standard deviation of roll

Tail fin type		Froude number		
		0.36	0.60	0.83
I type	Mean	0.97°	3.64°	8.48°
	Standard deviation	0.06°	0.44°	1.91°
Y type	Mean	1.59°	2.24°	2.78°
	Standard deviation	0.07°	0.41°	0.34°



(a)



(b)

Fig. 4. Results of the pitch by speed according to upper horizontal-tail  
(a) mean (b) standard deviation

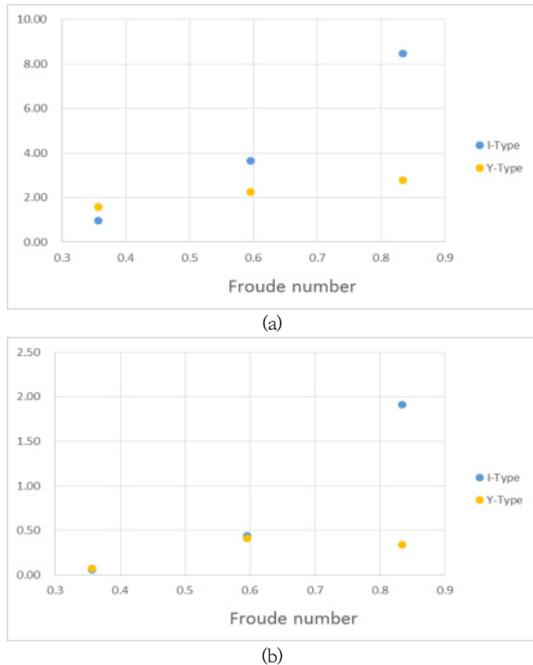


Fig. 5. Results of the roll by speed according to upper horizontal-tail  
(a) mean (b) standard deviation

2.1.3 2차 축소 모형 실험 및 결과 분석

1차 축소 모형 실험을 통하여 예인 자세 및 예인 안정성이 확인된 Y 형상을 기본형(A type)으로, 기본형 기준 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용형(B type), 수직 꼬리 날개 높이 증가를 통한 면적 확장형(C type), 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 및 수직 꼬리 날개 높이 증가를 통한 면적 확장형(D type)에 대하여 직진 예인 실험을 수행하였다. C type 꼬리 날개 높이는 A type 꼬리 날개 대비 50 mm 확장 되었으며, B type 및 D type에 적용된 경사각은 약 5°이다.

예인 속력 및 예인 케이블 길이는 1차 축소 모형 실험과 동일하게 설정하였다. 꼬리 날개 형상 간 상대적 비교 분석을 위해 예인 속력이 안정화된 구간에서 약 30초간 획득한 자료의 평균값을 전체 예인 속력에 대하여 자세 별로 각각 정규화 하였으며, 표준 편차는 정규화 하지 않았다. 그 결과는 Table 4, Table 5 그리고 Fig. 6, Fig. 7에 나타난 바와 같다.

중동요 자세 측면에서는 B type 꼬리 날개가 A type 꼬리 날개 대비 76% ~ 91%, D type 꼬리 날개가 C type 꼬리 날개 대비 74% ~ 82% 우수함을 확인하였다. 이로부터, 바른 자세로 예인되기 위해서는 하부 수평 꼬리 날개에 경사각 적용이 반드시 필요하며, 이는 수직 방

향 양력 발생에 의한 복원 모멘트에 기인한 결과로 판단된다. 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 형상 기준 수직 꼬리 날개 높이 증가 유무에 따른 B type과 D type 간 비교 분석 결과는 3% 이내의 차이를 보이며 중동요 자세 특성이 유사함을 확인하였다.

횡동요 자세 측면에서는 A type 꼬리 날개가 C type 꼬리 날개 대비 9% ~ 40%, D type 꼬리 날개 대비 13% ~ 27%, B type 꼬리 날개가 A type 꼬리 날개 대비 6% ~ 46% 안정적으로 예인되었다.

상기 결과로부터 횡동요 자세에 영향을 미치는 주요 인자로 꼬리 날개의 측면 투영 면적임을 재확인 하였다. 또한, 일정 범위 이상의 수직 꼬리 날개 면적 증가는 복원 모멘트 증가보다 양력 작용점 변화에 의한 영향이 지배적으로 작용하여 예인 시 거동의 불안정성을 초래할 수 있는 것으로 분석되었다. 한편, 중동요 및 횡동요 자세의 표준 편차는 꼬리 날개 형상 별 예인 속력에 따라 유의미한 상관 관계가 없는 것으로 사료된다.

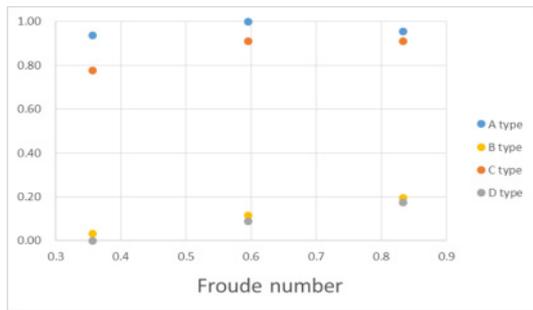
2차 축소 모형 실험 결과를 바탕으로 4개 꼬리 날개 형상 중 B type 꼬리 날개가 가장 우수한 성능을 나타내는 것으로 확인하였다.

Table 4. Mean and standard deviation of the pitch according to lower horizontal-and vertical-tail of Y-Type

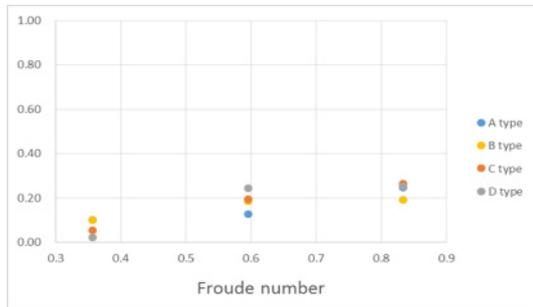
Pitch		Froude number		
		0.36	0.60	0.83
A type	Normalization of mean	0.94	1.00	0.95
	Standard deviation	0.10	0.13	0.25
B type	Normalization of mean	0.03	0.12	0.20
	Standard deviation	0.10	0.18	0.19
C type	Normalization of mean	0.78	0.91	0.91
	Standard deviation	0.05	0.19	0.26
D type	Normalization of mean	0.00	0.09	0.17
	Standard deviation	0.02	0.24	0.25

Table 5. Mean and standard deviation of the roll according to lower horizontal-and vertical-tail of Y-Type

Roll		Froude number		
		0.36	0.60	0.83
A type	Normalization of mean	0.19	0.31	0.67
	Standard deviation	0.23	0.32	0.33
B type	Normalization of mean	0.00	0.25	0.21
	Standard deviation	0.17	0.28	0.37
C type	Normalization of mean	0.27	0.70	1.00
	Standard deviation	0.22	0.44	0.18
D type	Normalization of mean	0.32	0.58	0.91
	Standard deviation	0.22	0.27	0.21

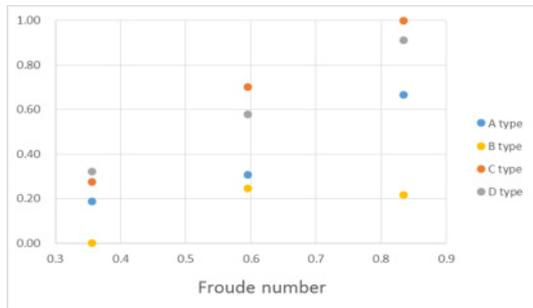


(a)

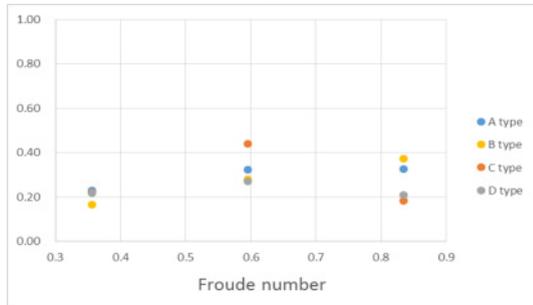


(b)

Fig. 6. Results of the pitch according to lower horizontal-and vertical-tail of Y-Type (a) normalization of mean (b) standard deviation



(a)



(b)

Fig. 7. Results of the roll according to lower horizontal-and vertical-tail of Y-Type (a) normalization of mean (b) standard deviation

## 2.2 해상 실물 모형 실험

1차 및 2차 축소 모형 실험을 통하여 몸체 형상 및 증량 파라미터를 고려한 최적의 꼬리 날개 형상을 도출하였다. 이의 검증을 위하여 예인 몸체 및 하부 수평 꼬리 날개에 경사각이 적용된 Y 형 꼬리 날개(B type)의 실제 크기 모형을 제작하였으며, 국방과학연구소에서 보유한 해상 실험선을 이용하여 2018년 7월 동해 해상에서 직진 예인 실험을 수행하였다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 실물 모형은 해상 실험선 함미부에 배치하고, 예인 윈치와 해상 실험선의 A-프레임을 사용하여 실물 모형을 투하 및 인양하였다. 예인 속력은 프루드 수 기준 0.05, 0.09, 0.12 로서 축소 모형 실험과 동일하게 설정하였다.

해상 실험 결과 분석은 축소 모형 실험과 동일하게 예인 속력이 안정화된 구간에서 약 200초간 획득한 자료의 평균값과 표준 편차를 중동요 및 횡동요 자세에 대하여 각각 수행하였으며, 축소 모형 실험 결과의 비교를 위하여 Table 6과 같이 정리하였다.

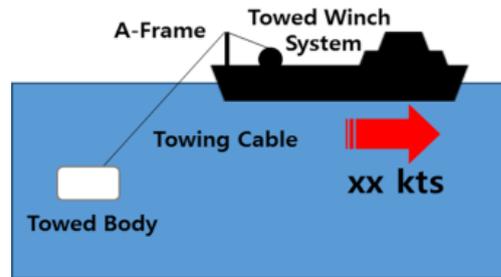


Fig. 8. Summary of sea trials

Table 6. Comparison results of the sea trials and the scale model test

Towing attitude		Froude number		
		0.05	0.09	0.12
Pitch	Mean of the scale model test	0.07°	0.27°	0.46°
	Mean of the sea trials	1.27°	0.98°	0.60°
	Standard deviation of the sea trials	3.70°	0.60°	0.40°
Roll	Mean of the scale model test	0.10°	1.07°	0.95°
	Mean of the sea trials	0.15°	0.93°	1.36°
	Standard deviation of the sea trials	0.35°	0.40°	0.60°

예인 속력이 증가함에 따라 축소 모형 실험 결과 대비 중동요 평균 자세 값이 약 1.2°, 약 0.7°, 약 0.1°의 차이를 나타내었으며, 횡동요 평균 자세 값은 최대 0.4° 이내의 차이를 보였다. 전반적으로 중동요 및 횡동요 자세 평균값 측면에서 축소 모형 실험 결과와 비교적 잘 일치하였으나, 프루드 수 0.05의 예인 속력에서는 중동요 평균 자세 값 및 표준 편차 값이 다른 예인 속력 대비 크게 발생하였다. 이는 저속 예인 시 해상 실험선의 상하 운동으로 예인 케이블의 장력 변화에 기인한 결과로 보여진다. 아울러, 축소 모형 실험 대비 해상 실험에서의 표준 편차 값이 상대적으로 크게 분석된 원인은 조류, 파도 등 해양 환경의 영향으로 발생한 결과로 판단된다. 중동요 자세 측면에서는 예인 속력이 증가함에 따라 평형 상태의 바른 자세로 예인되었는데, 이는 예인 속력 증가 시 예인 케이블의 수직 방향으로의 장력 증가에 기인한 결과로 사료 된다.

상기 결과를 바탕으로 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 Y 형상 꼬리 날개에 대한 예인 거동 특성 검증을 위한 해상 실물 모형 실험 결과는 축소 모형 실험 결과와 유사한 것으로 분석된다.

### 3. 결론

능동 예인 음탐기의 꼬리 날개 형상이 예인 자세 및 예인 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 I 형 및 Y 형 2종 5개의 꼬리 날개 형상에 대하여 축소 모형 실험 2회, 해상 실물 모형 실험 1회를 수행하였다.

Y 형 꼬리 날개가 I 형 꼬리 날개 대비 예인 자세 및 예인 안정성 측면에서 우수함을 확인하였으며, Y 형상을 기반으로 4개 꼬리 날개 형상 중 하부 수평 꼬리 날개에 경사각이 적용된 Y 형 꼬리 날개가 중동요와 횡동요 자세 및 예인 안정성 측면에서 최적 형상임을 도출하였다. 축소 모형 실험을 통하여 도출된 꼬리 날개 형상은 실물 모형으로 제작하여 해상에서 검증하였으며, 그 결과 해양 환경의 영향을 고려하여 예인 자세는 비교적 잘 일치되는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 활용된 예인 몸체 선형에 대하여 2종 5개 꼬리 날개 중 하부 수평 꼬리 날개 경사각 적용 Y 형상 꼬리 날개가 예인 자세 및 예인 안정성 측면에서 가장 우수한 형상으로 결론지을 수 있다.

## References

- [1] A.D. Waite, "Sonar for Practising Engineers 3rd Edition", John Wiley and Sons, LTD, pp.1-12, 2002.
- [2] Philip Mandel, "Principles of Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers", New Jersey, pp.795-806, 1984.
- [3] G. Go, E. Lee, H.T. Ahn, S. Kim, S. Y. Chun, J. S. Kim, B. H. Lee, "6DOF Simulation and Determination of Hydrodynamic Derivatives of Underwater Tow-Fish Using CFD" (in Korean), Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol.53, No.4, pp.315-328, 2016.  
DOI : <http://dx.doi.org/10.3744/SNAK.2016.53.4.315>
- [4] Latorre R., "Scale Effect in Towed Barge Course Stability Tests", Ocean Engineering, Vol.15, No.4, pp305-317, 1998.
- [5] B. W. Nam, S. Y. Hong, J. H. Kim, S. K. Choi, J. W. Kim, "Experimental and Numerical Study on Towing Stability of Transportation Barge". (in Korean) J. Ocean Engineering and Technology, Vol.28, No.2, pp102-110, 2014.  
DOI : <http://dx.doi.org/10.5574/KSOE.2014.28.2.102>

이 동 섭(Dong-Sup Lee)

[정회원]



- 2010년 9월 : 부산대학교 조선해양공학과 학사
- 2012년 8월 : 부산대학교 조선해양공학과 석사
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방과학연구소 해양기술연구원 연구원

<관심분야>

능동 예인 음탐기, 수중 예인체