

## 유인잠수항해장비(DTV) 개발

이 종 무 · 이 경 중 · 김 도 현 · 전 봉 환  
한국해양연구원 해양시스템안전연구소

### Development of a Diver Transport Vehicle

Chong-Moo Lee · Kyung-Joong Lee · Do-Hyun Kim  
· Bong-Hwan Jeon

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Taejon 305-600, Korea

**KEY WORDS:** Diver Transport Vehicle 유인잠수항해장비,

**ABSTRACT:** The ocean is vital to life on earth providing needed resources, particularly for mankind. Nowadays, space utilization of the ocean is a burgeoning research field. In the shallow water, an underwater transportation utility for diver is an effective tool for the ocean space utilization, and a Diver Transport Vehicle (DTV) is one of those utilities. The project which started in summer of 2000 is supported by the Korea research Council of Public Science and Technology. The objective of the project is to develop design techniques for DTV integrating the available technologies of KRISO research divisions. In this, the development of DTV is introduced.

## 1. 서 론

최근 들어 고조되고 있는 해양개발에 대한 관심과 더불어 우리 나라도 태평양 광구와 같은 심해의 자원 개발뿐만 아니라 연근해와 같은 천해역에 부존 하는 해양자원의 개발에 대한 관심도 높아지고 있는 형편이다. 심도 50미터 이내의 천해역에서는 일반적으로 수중에서의 작업이 잠수사에 의해서 이루어지는 경우가 대부분이며 이들 잠수사들은 발에 착용한 물갈퀴를 사용하여 수중 유영을 통해 이동하는 경우가 대부분이다. 이러한 경우 잠수사의 이동 속도에는 한계가 있으며 착용한 산소탱크의 용량에도 한계가 있으므로 이들의 활동 범위는 제약을 받기 마련이다. 이들이 수중에서 보다 빠른 속도로 이동이 가능하다면 주어진 시간 안에 좀더 넓은 지역을 탐사 할 수 있으므로 유인잠수항해장비(Diver Transport Vehicle)를 이용하여 그러한 목적을 달성할 수 있을 것이다.

당 연구소가 수십 년간에 걸친 연구로 보유한 관련 분야의 기술을 유인잠수항해장비 기술 분야에 적용하여 보유한 기술을 보다 세련시키고 집적된 설계 기술을 개발할 수 있었다.

또한 고성능의 유인 잠수항해장비 개발을 통하여 핵심 기술들을 고도화하는 기반 설계 기술을 확보함을 목표로 하여 2인승의 유인잠수항해장비에 대한 사양 설정 및 기초 설계를 수행하고 설계된 유인잠수항해장비의 요구 속도에 부합하는 추진기 시스템을 설계 제작하였으며 실선 스케일의 모형을 제작하여 선형 수조에서 설계된 선형의 저항 성능과 주어진

속도에서의 저항 여부를 판정하기 위한 저항시험, 저항시험 및 조종성능을 평가하기 위한 수평면 PMM시험, 수직면 PMM 시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 또한 실제 잠수사가 탑승할 수 있는 시제품을 개발 제작하였다.

## 2. 설 계

본 연구에서는 유인잠수항해장비의 국내외 개발 사례를 조사하여 본 연구개발의 목적에 적합한 요구 사양을 먼저 설정하여 이에 적합한 선형을 개발하였으며 실수요자들의 의견을 수렴하여 최종 선형을 결정하였다.

### 2.1 요구 사양

먼저 기술 개발을 할 수 있는 정도의 사양을 갖는 것으로 하기 위해 기본 사양을 2인승의 유인잠수항해장비를 개발하기로 하였으며 기술의 세련화를 위해 군수용의 사양에 준하는 것으로 그 사양을 설정하였다. 심도(depth rating)는 유인잠수항해장비가 배터리와 전자장비들이 탑재되는 내압용기의 크기와 재질에 따른 벽두께 등을 결정짓는 중요한 요소이며 추진부 축계의 방수설계에도 영향을 미치는, 수중장비에서는 중요한 사양 항목이다. 본 연구에서 설정한 50미터는 잠수사가 일반적인 수중호흡장비를 착용하고 잠수할 수 있는 최대 심도에 해당한다.

요구사항은 다음의 표와 같다.

**Table 1** Required Specifications of DTV

depth rating	50m
max. range	20km
max. speed	3kts.
max. duration	4hrs.
crew	2

최대범위(max, range)는 유인잠수항해장비가 자체전원으로 이동할 수 있는 최대 거리를 의미하며 전력계통과 배터리 용량을 결정 짓는 중요한 요소이며 배터리 용량에 따라서 시스템의 중량이 결정되므로 설계에 반영되는 중요한 사항 중에 하나이다.

최대 속도(max. speed)는 전력계통, 배터리 용량, 추진기의 설계에 영향을 주는 사항이며 특히 유체장 내에서의 저항은 속도의 제곱에 비례하므로 더 높은 속도를 내기 위해서는 추진기와 모터의 출력의 증가가 중량의 증가를 초래하게 되므로 복합적으로 설계에 영향을 미치는 중요한 요소이다.

최대 사용가능 시간(max. duration)은 전력계통, 배터리 용량, 최대속도에 영향을 받는 사항이며 최대범위를 결정짓는 사항이다.

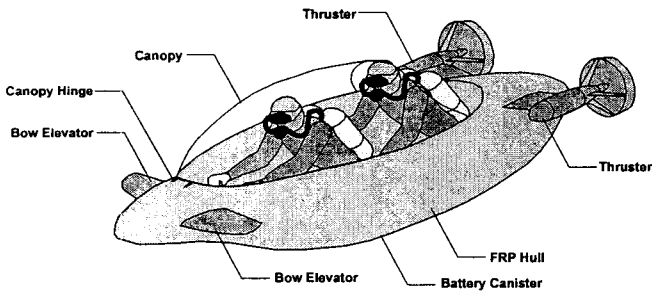
탑승인원(crew)은 선형의 전체적인 크기를 결정짓는 요소이다.

이와 같은 사양을 가지고 선형을 결정하고 요구사항을 만족하는 결과가 될 때까지 설계과정을 반복 수행하게 된다.

**2.2 선형의 결정**

선박의 경우 선형의 결정은 일반적으로 요구사항과 흡사한 모선(Mother Ship)을 정하고 그로부터 설계를 해나가게 된다. 본 연구에서 개발하게 되는 2인승의 유인잠수항해장비는 자료조사 결과에서 크게 만족되는 선형이 없었으므로 처음부터 선형의 크기와 형상을 설계해야만 했다.

개념적으로는 다음의 그림과 같은 모양으로 설계하는 것으로 생각하고 선형을 결정해 나가는 것으로 설계 방향을 잡았다.



**Fig. 1** Conceptual Design

그림과 같은 2차원적인 개념도를 가지고 선형의 실제 크기 등을 설정할 수 없었기 때문에 3차원적인 도면을 구성할 필요가 있었다. 3차원 CAD를 이용하면 컴퓨터 상에서 실제 크기의 가상 모델을 구성할 수 있을 뿐만 아니라 완성된 도면을 이용하면 설계 시 필요한 체적이란가 체적중심, 관성 모멘트 등을 손쉽게 구해낼 수 있다.

먼저 선형의 전체적인 크기를 가늠하고 저항을 추장하기 위해 3차원 모델을 만들어 선형의 외곽 선을 구성하고자 하였다. 3차원 가상모델로서 2개의 더미(dummy) 모델을 이용해 마치 오토바이를 타는 것과 같은 자세를 만들고 3면에는 10cm 간격의 격자를 그려 넣어서 3면도를 구성하고 선체의 외곽 선을 2차원 적으로 그려 넣는 방법으로써 선체의 외형을 설정하였다.

**2.3 저항추정**

선형의 외곽 선이 결정되면 시스템이 갖게되는 저항의 주된 종류를 결정하고 이에 따라 저항을 추정하여 추진기 시스템과 배터리 용량을 결정할 수 있게 된다. 만족할 만한 결과가 얻어질 때까지 이 과정이 반복되었다.

3차원 가상 모델을 이용하여 외곽 선을 얻고 이에 따라 전면 투영면적을 계산한 결과 다음과 같은 값을 얻을 수 있었다.

- 선형의 투영면적 : 0.75m<sup>2</sup>

주어진 사양에서 유인잠수항해장비의 최대 속도는 다음과 같으므로 계산의 편의를 위해 MKS 단위로 수치르 환산하면 다음과 같다.

- 최대 속도 : 3kts. = 3 × 0.514 = 1.542m/s

저항의 유형을 알아보기 위해서는 선체의 길이를 사용하여 레이놀드 수의 범위를 알아볼 필요가 있으므로 외곽 선으로부터 얻어진 선체 길이는 다음과 같고 이에 따라 최대속도를 사용하여 레이놀드 수를 구하면 다음과 같았다.

- 추정 선체길이 : 3m
- 레이놀즈 넘버 추정 :

$$Re = \frac{VL}{\nu} = \frac{1.542m/s \times 3.0}{1.56 \times 10^{-6}} \cong 3 \times 10^6 > 10^5$$

위의 결과에 표기된 것과 같이 레이놀드 수가 100,000 이상이므로 저항은 형상저항이 주된 저항일 것으로 판단되었다. 따라서 저항 값은 다음과 같이 전면 투영면적에 비례하는 식으로부터 계산할 수 있다. 형상에 따른 저항계수는 다음과 같이 추정하여 계산하였다.

- 저항계수 Cd는 0.6으로 추정
- 저항추정 :

$$Drag = \frac{1}{2} \rho C_d A_p V^2 = 548.37N$$

추정된 저항 값으로부터 출력을 구할 수 있으며 구해진 출력은 추진용 모터의 용량과 필요한 전원이 되는 배터리의 용량을 정하는데 사용된다. 출력은 최대속도와 저항 값을 서로 곱한 것이므로 다음과 같이 구할 수 있다.

○ 소요 출력 추정 :

$$W = Drag \times V = 548.37N \times 1.542m/s = \underline{845.58W}$$

이상과 같이 구해진 값들로부터 추진기를 설계하였으며 소요되는 용량의 모터와 배터리의 용량을 산정하였다.

## 2.4 제안된 설계

설계에 대한 검증 과정을 거치기 위해 민수와 군수 분야의 실수요자 층을 대상으로 한 전문위원들을 구성하여 제안된 설계에 대한 토의 과정을 거쳤다. 이들 전문위원들에게 제안한 설계는 다음의 그림들과 같았다.

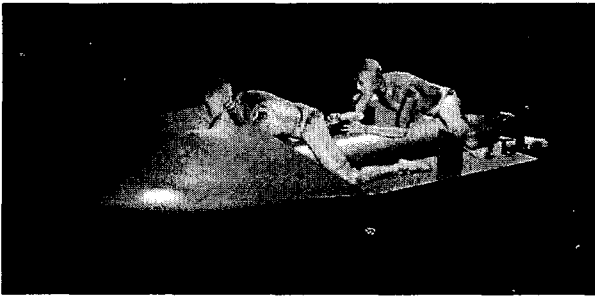


Fig. 2 3D Model of Type 1

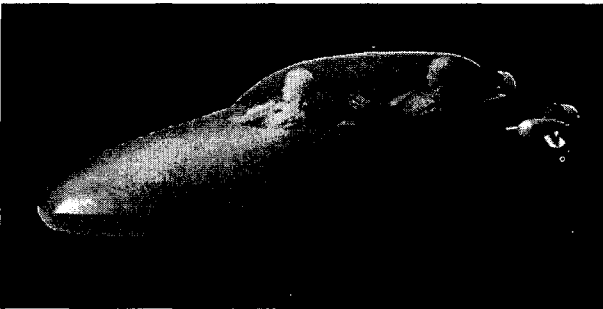


Fig. 3 3D Model of Type 2

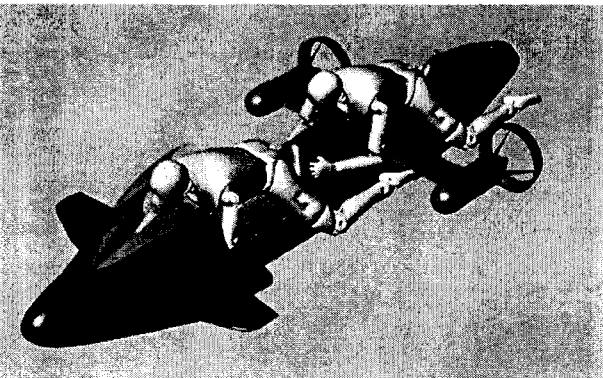


Fig. 4 3D Model of Type 3

이와 같은 설계에 대한 의견을 수렴하여 최종 설계에 반영하였다. 다음의 사항들은 의견을 받은 사항들로 선형 자체의

대폭적인 재설계를 요구하는 사항도 있었으므로 복수의 설계안을 만들어 다시 저항추정을 하여 그 중의 하나를 선택하여 재설계 하는 방법을 취하였다.

▷ 캐노피의 뒷부분을 열린 형태로 해서 뒷사람의 출입이 용이하도록 재설계

▷ 짐 실을 수 있는 공간이 필요할 수도 있음.

▷ 병렬 탑승 형태가 필요할 수도 있음.

▷ 추진기가 너무 바깥쪽으로 나와 있어 운용시 손상의 우려가 있음.

▷ 중앙부에 터널을 두어 그 내부에 추진기를 탑재하는 것이 좋겠음.

▷ 캐노피를 열고 흔들리는 선체에 두 사람이 탑승하는 것이 불편할 것으로 보임.

▷ 조종성을 위해서 탑승원의 신체(다리)가 노출되는 형태가 좋겠음.

▷ 단순한 형태의 선체로 제작되는 것이 바람직할 것임.

## 2.5 최종 설계

설계 자문위원회의 자문 결과를 최대한 반영하여 선체의 길이를 2미터 내외로 하고 중량을 150kg 내외로 하는 것을 목표로 하여 선체를 재설계 하였다. 추진기를 가운데에 하나를 두는 것은 최대 속도와 항속거리의 요구 사항을 만족시키기 위해 수용하기 어려운 크기의 추진 모터와 추진기 직경을 필요로 하기 때문에 두 개의 추진기를 사용하는 것을 고수할 수밖에 없었다. 그러나 추진기가 선체 외부로 돌출 되는 정도를 줄이고 외부 장애물에 걸리는 것을 방지하기 위해 가이드 날개를 부착하도록 하였다.

선체를 최대한 작게 하기 위해서는 선수부의 투영면적을 줄이는 방향으로 밖에는 나아갈 수 없기 때문에 탑승자가 완전히 엎드린 자세로 탑승하도록 설계하였다.

다음의 그림들은 최종 설계된 유인잠수항해장비의 3차원적인 모습과 도면들을 보여주고 있다.

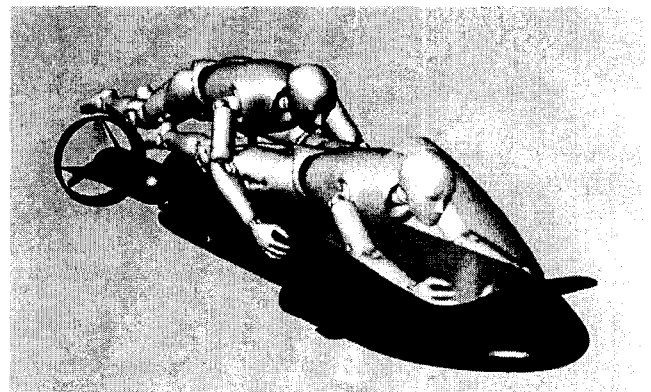


Fig. 5 3D View of Final Design (front)

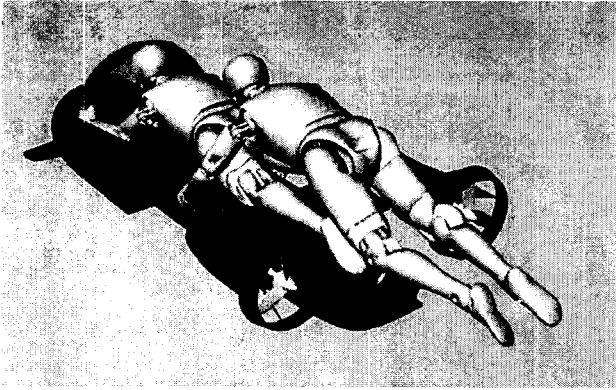


Fig. 6 3D View of Final Design (rear)

### 2.6 구조 해석

선체의 주요 부분은 경량화를 위해 FRP를 이용하여 제작하도록 하였으며 밧데리와 추진기 제어를 위한 전자부가 탑재되는 내압용기는 알루미늄과 FRP를 사용하였으므로 설계심도에 따른 내압 구조해석을 수행하였다.

구조해석은 ANSYS를 사용하였다. 다음의 그림들은 구조해석을 수행한 결과를 보여준다.

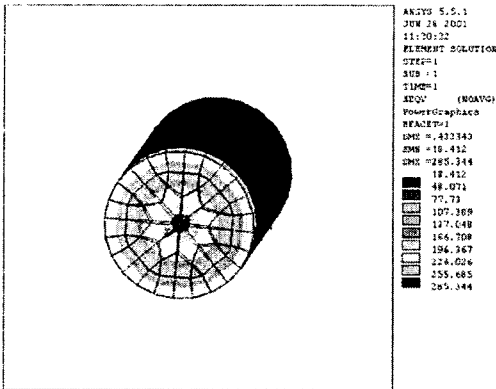


Fig. 7 Structural Analysis of OD Sonar Can

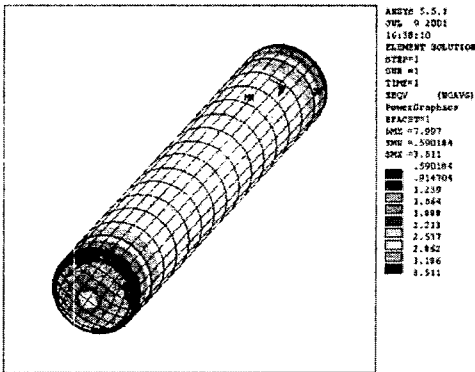


Fig. 8 Structural Analysis of Battery Can

### 2.7 추진기의 설계

본 장비의 특징은 비교적 추진기의 직경에 비하여 심해에서 운항하며 저속의 추진력을 필요로 하므로 가급적 전개면적비를 줄이고 직경을 크게 함으로써 효율의 증가를 도모하였다. 초기에 설계계수를 결정하기 위하여 추정된 자항결과는 Table 2와 같다. 추정된 자항추진 결과와 프로펠러 시리즈 자료로부터 최적의 직경 및 날개수를 결정하였으며 Table 3에 나타내었다.

Table 2 Predicted self-propulsion factors

V(KTS)	EHP(PS)	T	W	ETAR
1.00	0.0	0.080	0.120	1.000
2.00	0.1	0.080	0.120	1.000
3.00	0.3	0.080	0.120	1.000
3.50	0.5	0.080	0.120	1.000

Table 3 Initial propeller design parameters and performance estimation

항목	제원
추진기 직경	30 cm
추진기의 최대 회전수	700 rpm
추진기 날개 수	3 개
Shaft Sub.	10.00 m
Ship Speed	3.388 knots
Expanded Area Ratio(Ae/Ao)	0.350
Pitch Ratio(P/D)	0.775
Advanced Coeff.	0.4382
KT	0.1750
10*KQ	0.2044
Open Water Eff.	0.5972

결정된 기본 제원으로 부터 프로펠러의 추진효율과 캐비테이션 발생의 저하를 도모하기 위하여 상세설계를 하였다. 특히 전통적인 시리즈 프로펠러의 피치분포와 달리 날개끝에서의 하중을 약간 감소시킴으로써 날개끝에서 발생하는 날개끝 보오텍스의 세기를 감소시키려고 노력하였다. 또한 코오드 방향으로의 하중분포를 완만하게 분포하여 하여 캐비테이션 발생시 안정적인 캐비테이션이 발생하도록 시도하였다.

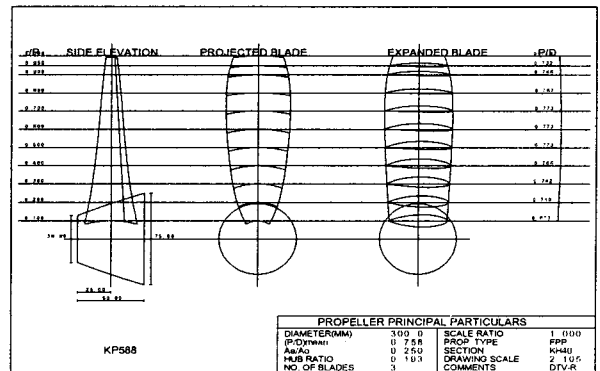


Fig. 9 Drawing of DTV propeller

그러나 본 DTV의 경우 매우 저속이며 상대적으로 수심이 깊어서 캐비테이션수가 크기 때문에 캐비테이션의 영향은 크게 고려하지 않아도 될 것으로 생각된다.

전통적으로 프로펠러에 설치하는 덕트의 경우 효율증가를 위한 덕트와 캐비테이션의 저감을 위한 덕트등 목적에 따라 덕트의 형상을 결정하게 된다. 본 DTV의 경우 캐비테이션의 발생율이 매우 적기 때문에 효율증가를 피함과 동시에 프로펠러의 보호를 위하여 덕트를 설계하여 프로펠러에 설치하였다. 설계된 프로펠러와 덕트는 원형인 알루미늄 재를 복사하여 공업용 플라스틱으로 제작하였으며 제작된 프로펠러의 오프셋을 Table 4에, 사진을 Fig. 10에 도시하였다.

Table 4 Offset of DTV propeller

r/R	P/D	Rake	Skew	C/D	fo/C	to/D
0.10	0.6773	0.0000	0.0000	0.1457	0.0000	0.0336
0.20	0.7097	0.0000	0.0000	0.1517	0.0204	0.0308
0.30	0.7417	0.0000	0.0000	0.1573	0.0352	0.0280
0.40	0.7660	0.0000	0.0000	0.1630	0.0389	0.0252
0.50	0.7730	0.0000	0.0000	0.1667	0.0384	0.0224
0.60	0.7730	0.0000	0.0000	0.1703	0.0370	0.0196
0.70	0.7730	0.0000	0.0000	0.1710	0.0353	0.0167
0.80	0.7673	0.0000	0.0000	0.1680	0.0329	0.0140
0.90	0.7460	0.0000	0.0000	0.1567	0.0268	0.0111
0.95	0.7323	0.0000	0.0000	0.1453	0.0188	0.0097
1.00	0.7187	0.0000	0.0000	0.1277	0.0026	0.0083

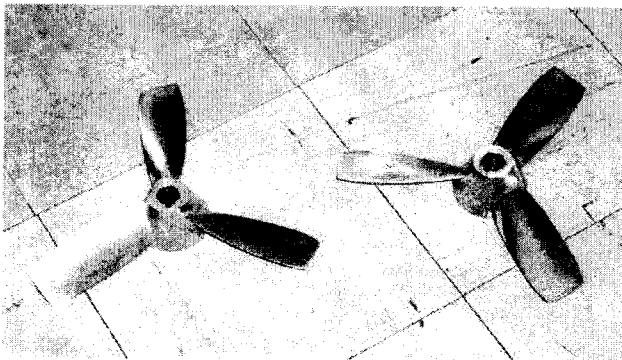


Fig. 10 Photograph of manufactured propellers

### 3. 수조 시험

최종 설계된 유인잠수항해장비의 실선 스케일 모형을 제작하여 인형을 탑재시켜서 저항 및 자항과 조종성능 시험을 수행하였다. 추진기와 추진 모터는 원형에 사용되는 플라스틱제를 그대로 사용하였다. 또한 추진기의 단독 성능 시험도 수행하였다.

#### 3.1 추진기의 수조 시험

설계된 프로펠러에 대하여 성능시험을 수행하였으며 Fig. 11에 도시하였다. 성능시험은 당 연구소의 수조에서 수행하였으며 우현과 좌현 두 프로펠러에 대하여 각각의 시험을 수행

하였다.

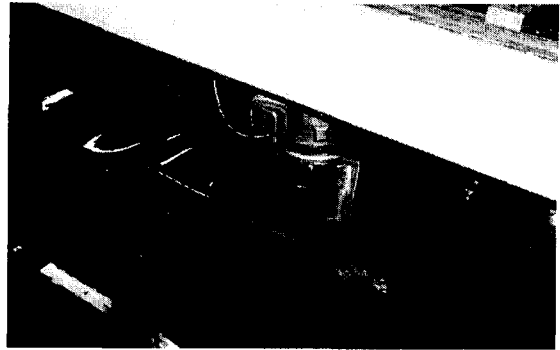


Fig. 11 Propeller open water test

또한 Fig. 12에 보이듯이 덕트 및 Pod와 스트럿의 영향을 파악하기 위하여 전체적인 추진 시스템에 대하여 성능시험을 수행하였다.

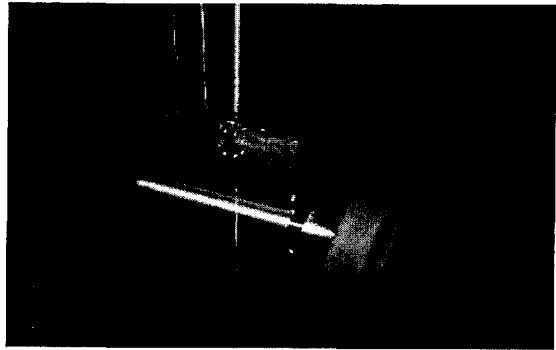


Fig. 12 Podded propeller with duct for DTV

앞에서 언급하였던 성능시험 결과를 Fig. 13에 도시하였다. 두 개의 프로펠러가 거의 동일한 추력과 토크를 발생하고 있다. 따라서 모형 프로펠러의 제작상태가 매우 우수한 것으로 판명되었으며 초기 추정치와 매우 근사한 것으로 판명되었다.

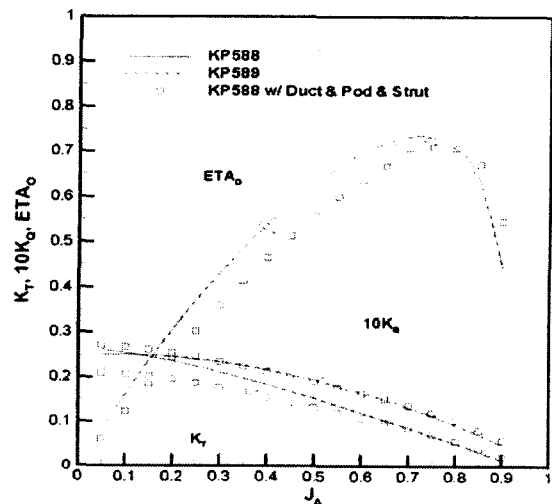


Fig. 13 Performances from propeller open water test

### 3.2 저항, 자항 시험

모형선은 Fig. 14처럼 연직 스트럿에 의하여 강제 동요 장치에 취부되어 수조 예인 전차로 예인된다. 모형선의 정적 시험과 동적 시험은 VPMM(Vertical Planar Motion Mechanism) 장비에 의하여 수행된다. 모형선에 작용하는 세 방향의 힘(X,Y,Z)과 Roll 모우멘트(K)는 모형선 내부에 설치된 Block 게이지들에 의하여 측정되도록 되어 있다. X,Y,Z 게이지는 선 수, 선미에 각각 1개씩 설치되어 있다.

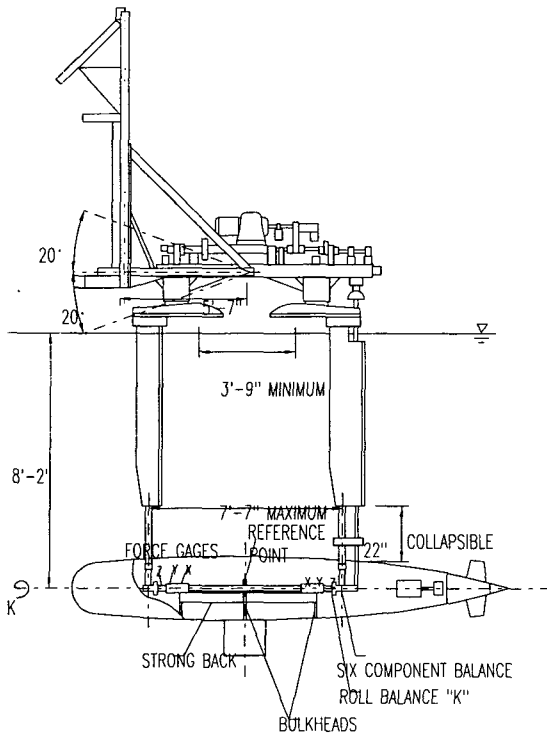


Fig. 14 Schematics of VPMM

저항 및 자항 시험에서는 DTV의 전진 방향으로의 힘만이 필요하기 때문에 동력계에서 X 게이지만을 사용하였다. Fig. 15 이후에 잠수부를 포함한 DTV 선형의 저항 실험 장면을 보였다. 두 잠수부의 저항이 전체 저항중 많은 부분을 차지 할 것으로 추정되었기 때문에 본 연구에서는 잠수부가 있는 경우와 없는 경우에 대한 저항시험을 수행하였다.

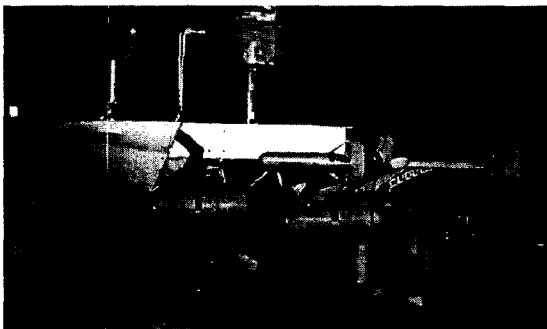


Fig. 15 Experimental set-up of DTV with divers

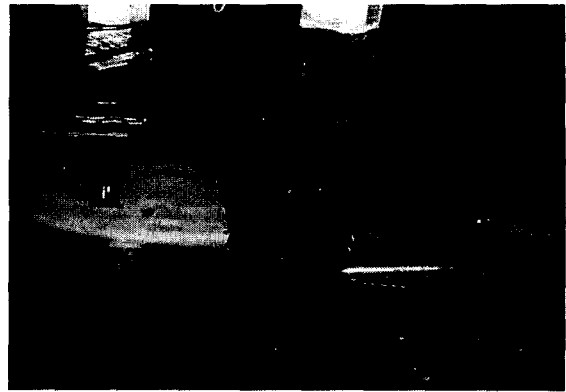


Fig. 16 Resistance test of DTV with divers

자항시험 결과 자항점은 원래 설계된 추진기의 회전수보다 약간 낮은 수치에서 이루어졌는데 이는 밧데리를 사용하는 DTV의 경우 보다 안정된 상태에서 설계된 성능을 달성하게 됨을 의미한다고 볼 수 있다. 다음의 Fig. 17에 자항성능 시험 결과의 그래프를 보여주고 있다.

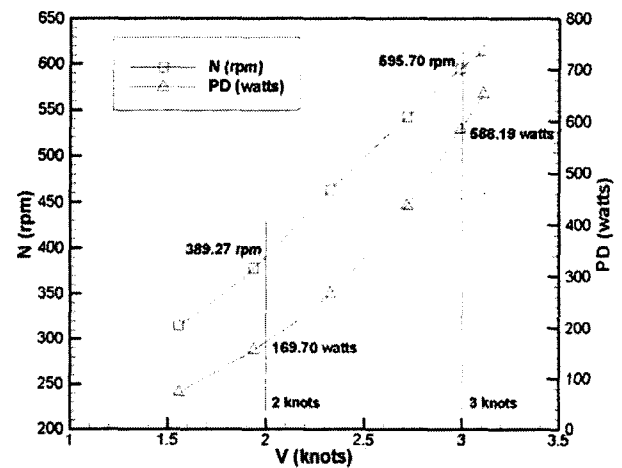


Fig. 17 Powering performance of DTV

### 3.3 동적 안정성

동적 안정성을 보기 위해 VPMM 시험을 수행하였으며 시험결과를 바탕으로 수치 시뮬레이션을 수행하였다.

수치 시뮬레이션 결과는 조종장치의 설계에 반영되었으며 수평안정성에대한 배려가 필요함을 보여 주었다.

수치시뮬레이션 프로그램은 2차년도 연구에서 가시화 프로그램과 연계해서 완성할 예정이다.

## 4. 원형의 제작

유인잠수항해장비의 원형은 최종설계를 바탕으로 FRP로 제작되었으며 우리 나라의 연안 수중 시계가 매우 불량한 점

을 고려하여 선수에 장애물 탐지 소나를 개발하여 장착하였으며 수중에서 부이식 안테나를 수면으로 내보내어 GPS에 의한 위치 확인이 가능하도록 하였다.

다음의 Fig. 18은 개발된 장애물 탐지소나(Obstacle Detection SONAR)의 모습을 보여주고 있다. 소나의 최대 탐지 거리는 100미터로 설정하였으며 50미터 이내에 장애물을 탐지하였을 경우 경고등을 점멸하도록 하였으며 거리를 수치로 보여주게 설계하였다.

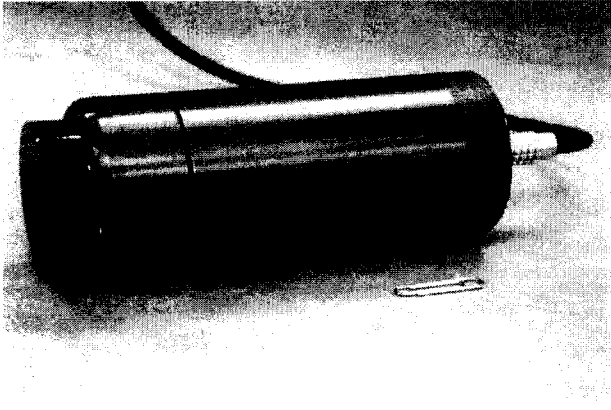


Fig. 18 Photo of Developed OD Sonar System

다음의 Table 5에 최종 설계된 DTV의 주요 크기를 나타내었다.

Table 5 Dimensions of Final Design

Principal Dimensions	Length	2.1M
	Height(Bow)	0.54M
	Height(Midship)	0.205M
	Breadth(Midship)	0.47M
	Breadth(Bow)	0.674M
	Breadth(Propeller)	1.115M
	Breadth(Bow Fin)	1.09M
	Distance of the Axis of Propeller	0.778M

다음의 Fig 19는 최종 제작된 원형 DTV의 모습을 보여주고 있다.

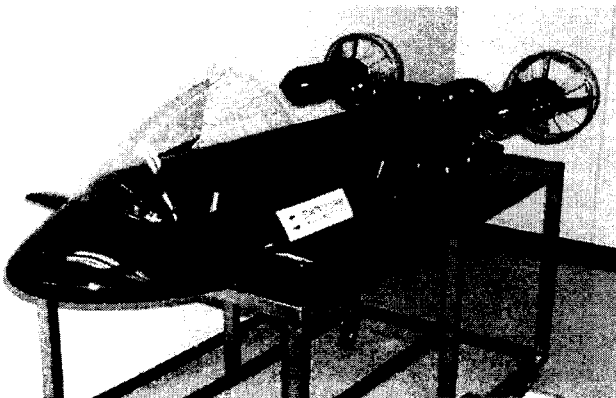


Fig. 19 Photo of Prototype DTV

## 5. 결 언

본 유인잠수항해장비는 현재 2차년도 연구를 통해 제어 시스템의 개발을 진행 중이며 수조와 실해역에서의 탑승시험을 통해 성능 개선 연구를 수행할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 한국해양연구원에서 수행한 공공기술연구회의 정책연구 사업인 ‘유인잠수항해장비 기술 개발’ 사업의 연구 결과 중 일부임을 밝히는 바이다.

## 참 고 문 헌

- Hideki Tagaki, Yukmaru Shimzu, Toshimasa Yanai, Barry Wilson, "The Relationships among the Coefficients of Active and Passive Drag and Swimming Performance", <http://133.67.87.80/takaki/Abstract/ASB97 /ASB97.htm>
- Sighard F. Hoerner, Fluid-Dynamic Drag, Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance, Hoerner Fluid Dynamics, 1965.
- J.N. Newman, Marine Hydrodynamics, The MIT Press, 1986.
- Edward V. Lewis, Editor, Principles of Naval Architecture, Second Revision, Volume II, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- Alex Goodman, "Description and Operation of Sub Planar Motion Mechanism System", Hydronautics, Incorporated Technical Manual 7942-1(Revised TM 754-1), January 1979.
- 김연규의, "물수체의 유체력 계수 추정 정도 향상", 선박해양공학연구원 보고서, UCE557-1917.D, 1995.
- 신용구의, "수중합 자유운항 모형시험장치의 유체동역학 특성 해석 연구(I)", 국방과학연구소 보고서, 1996.