



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

무인 수중 글라이더의 설계 연구

A Study on Design for Underwater Glider



한국해양대학교 대학원

기계공학과

서 정 민

本 論文을 徐正頤의 工學碩士 學位論文으로 認准함.



2014년 1월

한국해양대학교 대학원

목 차

표 목차	iv
그림 목차	v
Abstract	vii
1. 서 론	
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
2. 무인 수중 글라이더의 설계	
2.1 무인 수중 글라이더의 구성 및 개념설계	6
2.2 무인 수중 글라이더의 형상 설계	12
2.2.1 선수부 설계	13
2.2.2 중앙부 설계	15
2.2.3 선미부 설계	19
2.2.4 내부 설계	22
3. 무인 수중 글라이더의 동체 내압 해석	
3.1 동체의 좌굴 해석 모델	25
3.2 해석 조건 및 경계조건	27
3.3 동체의 내압 해석결과	28
4. 무인 수중 글라이더의 자세 해석	

5. 무인 수중 글라이더의 동역학 모델링 및 시뮬레이션	
5.1 시스템 구성 및 수학적 모델링	36
5.2 시뮬레이션 및 해석	42
6. 결론	46
참고문헌	47



표 목차

Table 2.1 Parameters of myring profile for underwater glider	13
Table 2.2 Parameters of shaft	24
Table 2.3 Parameters of motors	24
Table 3.1 Analysis case	26
Table 3.2 Analysis condition	27
Table 3.3 Results of buckling analysis	29
Table 4.1 Definition of variables for static analysis	31
Table 5.1 Definition of variables for dynamic modeling	37
Table 5.2 Parameters of the underwater glider	38



그림 목차

Fig. 2.1 Driving principle of the underwater glider	4
Fig. 2.2 Four elements for navigation	5
Fig. 2.3 Conceptual design of the underwater glider	7
Fig. 2.4 Sketch design of the underwater glider	8
Fig. 2.5 Maximum horizontal velocity vs glider size and ballast fraction	9
Fig. 2.6 Outer flow velocity distributions	10
Fig. 2.7 Sketch design of buoyancy controller	11
Fig. 2.8 Shape of the underwater glider	12
Fig. 2.9 Vehicle hull radius as a function of axial position	14
Fig. 2.10 Shape of nose corn	14
Fig. 2.11 Shape of buoyancy controller	15
Fig. 2.12 Section view of buoyancy controller	16
Fig. 2.13 Schematic diagram of buoyancy controller	16
Fig. 2.14 2D drawing of buoyancy controller	17
Fig. 2.15 2D drawings of hull	18
Fig. 2.16 Shape of cowling	19
Fig. 2.17 Shape of cowling	20
Fig. 2.18 2D drawings of the end cap and the wing	21
Fig. 2.19 Structure of motion controller	22
Fig. 2.20 Motion control mechanism	23
Fig. 3.1 Shape of Hull	25
Fig. 3.2 FE Modeling	26
Fig. 3.3 Boundary condition	27
Fig. 3.4 Results of buckling mode shapes	28

그림 목차

Fig. 4.1	Coordinate system of the underwater glider	30
Fig. 4.2	Static balance of underwater glider	34
Fig. 5.1	The inertial earth-fixed frame and body-fixed frame	36
Fig. 5.2	3D illustration ald axis of the underwater glider	38
Fig. 5.3	Movement of the piston and movable mass	41
Fig. 5.4	Vertical plane motion	43
Fig. 5.5	Rotational angles	44
Fig. 5.6	Movable mass and buoyancy piston position	44
Fig. 5.7	Simulation of spiraling motion	45



A Study on Design for Underwater Glider

Seo, Jung Min

Department of Mechanical Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

A design study was performed on the torpedo-shaped underwater glider which can control the orientation using a weight shifter and buoyancy engine. An analysis on the structure of the glider was performed. The size of the glider was designed to have weight a little over the buoyancy and the shape of the hull was designed using Myring profile to reduce down the drag force. Also, the stress and strain analysis was performed. The interior parts of the glider including electronic components was designed. An analysis on the posture of the underwater glider was performed. In addition to this, the dynamics analysis in the underwater glider was performed with a numerical analysis.

KEY WORDS: Underwater Glider 수중 글라이더, Design of structures 형상 설계, Buckling Analysis 좌굴 해석, Static balance 정적 평형, Dynamics modeling 동역학 모델링

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

과학이 발달함에 따라 로봇 기술의 엄청난 발전이 가능하게 되어 이제 지구를 벗어나 우주의 미지의 영역까지 탐사가 가능하게 되었다. 그 중 지구 표면의 70%를 차지하고 있는 바다는 인류가 살고 있는 터전보다 훨씬 많은 공간을 지니고 있을 뿐만 아니라, 그 안에 담긴 자원의 활용성은 우주 못지 않게 무한하다. 하지만 바다에 대한 정확한 정보를 가지고 있지 못하다. 바다를 탐사하기 위해서는 엄청난 바닷물의 압력과 높은 염분 밀도, 그리고 빛 한 점 들어오지 않는 어둠 등의 자연환경을 극복해야 한다.

기존에 사용되어 왔던 탐사선과 ROV를 이용한 수중 탐사는 비용이 많이 들고 탐사할 수 있는 범위가 좁아 새로운 수중 탐사 방법이 필요하여 왔다. 최근 로봇 기술의 발달로 자율수중탐사체(AUV)가 개발되어 이러한 단점을 극복하고자 하였으나 동작시간이 짧음으로 인하여 장기간 관측은 불가능하였다. 이에 자율적으로 부력조절을 하여 수중에 뜨고 가라 앉고, 수집된 정보는 위성통신을 이용하여 전송하는 수직관측 뜰개(Profile Argo Float)가 개발되었는데[10] 적은 전력 소비량으로 인하여 장기간 관측할 수 있는 장점으로 여러 프로젝트에서 사용되었다. 그러나 수직관측 뜰개는 스스로 원하는 장소로 이동이 불가능하기 때문에 원하는 위치로 연속적으로 이동하여 자료를 관측하는데 한계가 있다. 이에 원하는 위치로 이동할 수 있고 장시간, 장거리 동작이 가능하며 깊은 수심에서 관측할 수 있는 새로운 기술이 필요하게 되었다. 이러한 요구에 맞춰 자율 수중 탐사체 기술과 수직관측 뜰개의 기술을 합하여 수중 글라이더가 개발되었다.

이러한 무인 수중 글라이더의 개념은 미국 우즈홀 해양연구소의 헨리 스톰멜(Henry Stommel) 박사가 1989년 해양학(Oceanography) 학술잡지에 미래 해양학

을 언급하면서 최초로 세상에 알려지게 되었으며, 그는 1000여개의 작은 중성 부력을 갖는 기기들이 자동으로 관측을 수행할 것이며, 이 기기들은 부력을 바꿈으로써 물속에서 활강하며, 날개를 이용해 수평적으로 약 0.5knot의 속력으로 이동할 수 있을 것이며, 이동하는 동안 연속 관측을 수행하고 얻어진 자료는 인공위성을 통하여 전송할 수 있을 것으로 예견했다[12].

무인 수중 글라이더는 앞서 언급한 개념과 같이 외부의 능동 추진체를 사용하지 않는 수중운동체이다. 외부의 물을 끌어들여 선체 무게와 무게중심을 전방으로 이동하여 수중으로 잠수하는 부력엔진과 내부의 무게중심을 이동하여 상하 각도를 제어하는 추진체로 구성되어 에너지 소비를 극소화하여 장기간 수중에서 운행하면서 수중의 필요정보를 획득하는 것이 글라이더의 목적이다. 초기에 개발된 글라이더로는 와싱턴 대학에서 제작한 Seaglider[2]와 Scripps 해양연구소에서 개발한 Spray[11] 그리고 Woods Hole 해양연구소에서 개발한 Slocum[14] 글라이더가 있다. 이들의 외형은 torpedo 형태 (Slocum, Spray) 또는 laminar-flow shape(Seaglider) 이며, 부력엔진과 내부 무게중심 이동장치 및 회전을 통한 무게중심 이동으로 yaw 각을 제어하는 추진장치로 구성된다.

무인 수중 글라이더는 수직적으로 수면의 상한과 하한을 반복적으로 이동하며 추진하며, 장시간 운용이 가능하기 때문에 넓은 해역에 대한 자동관측이 가능하여 그 활용방법이 매우 다양하다.

일반적으로 CTD 센서를 통하여 수온, 염분, 압력을 측정할 수 있으며, 용존 유기물의 자외선 흡수 정도를 기준으로 하여 해수중의 질소량을 측정하는 시스템 또한 개발되어 활용가능하다[13].

이 밖에도 해양 포유류 및 특정 소리를 발산하는 물고기의 위치를 추적하는데 활용할 수 있는 수중음집기도 이용이 가능하다. 실제로 Beaked Whale종이 내는 소리를 추적하여 무인 수중 글라이더로 이 고래의 위치를 실시간으로 파악할 수 있는 시스템이 이미 개발되었으며, 산업화에 따른 해양 포유류의 생태변화를 연구하는데 활용되고 있다[7]. 음파를 이용한 센서는 이밖에도 동물플랑크톤의 생태연구에도 활용되고 있다[1].

또한 무인 수중 글라이더를 운용함에 있어 여러 글라이더를 동시에 운용할

때 서로의 상대적인 위치를 조정함으로써 최대한의 영역을 최소한의 비용으로 운용할 때 이 수중음집기와 음파모뎀을 활용할 수 있으며[3], 수중에서 운용중인 글라이더의 위치를 인공위성 없이 추적하는데 또한 이 음집기 활용할 수 있다[6].

1.2 연구목적

연구배경에서 알 수 있듯이 무인 수중 글라이더는 다양한 역할을 수행할 수 있다. 본 논문에서는 어뢰형으로 개발 중인 무인 수중 글라이더의 수중저항을 최소화하는 경험식인 Myering Equation[9]을 이용하여 무인 수중 글라이더의 선수부와 선미부의 형상을 설계하였다. 또한, 본 글라이더의 목표속도 및 수심에 맞는 부력제어기와 동체 및 내부의 자세제어기를 설계 하였다. 목표 수심에서의 안정성 확인을 위해 좌굴해석을 하고, 무인 수중 글라이더의 정적 평형상태 및 동역학 모델링을 통하여 그 결과를 확인해 봄으로써 목표에 맞는 설계가 되었는지 검증하였다.



제 2 장 무인 수중 글라이더의 설계

무인 수중 글라이더의 운행방식은 프로펠러와 같은 일반적인 추진체를 사용하는 무인 수중 운동체와 다르게 하강상승운동을 반복하여 추진력을 얻는다.

Fig. 2.1은 무인 수중 글라이더의 주행원리를 설명하는 모식도이다. 최초 선박에서 진수 후 목표까지 정점추종방식으로 주행하게 되며, 일정 주기마다 해수면에서 통신 및 위치를 보정하게 된다.

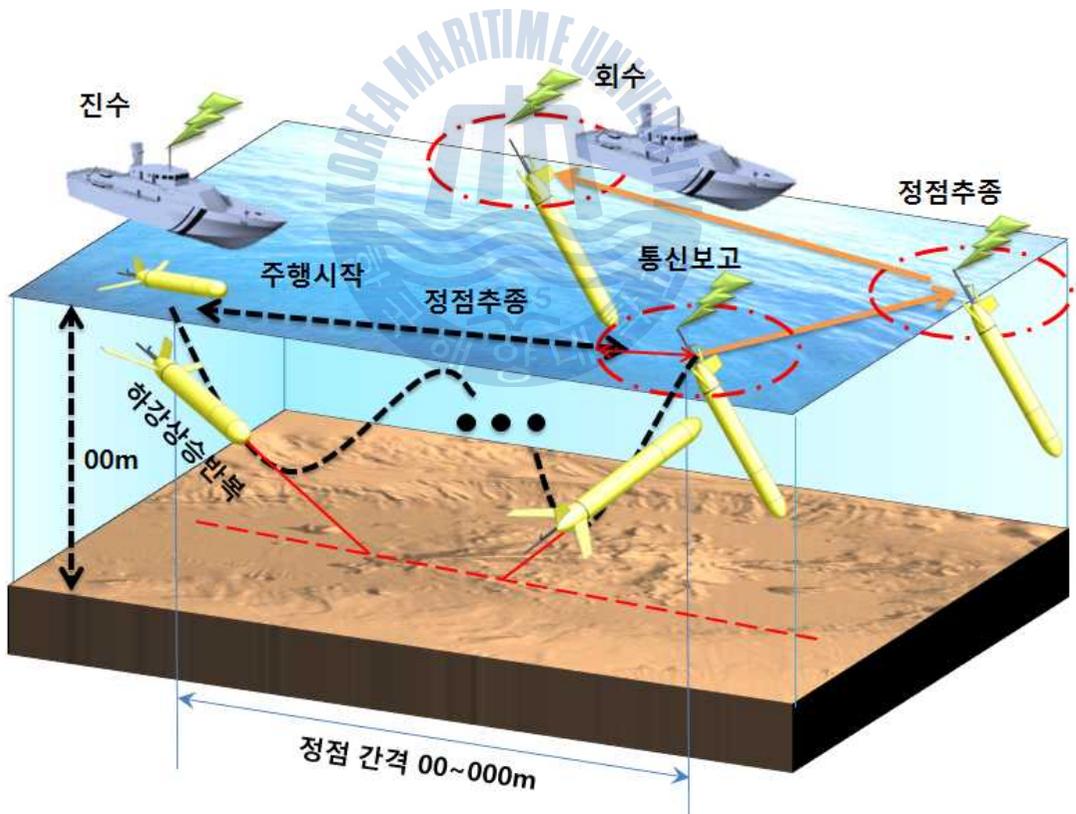


Fig. 2.1 Driving principle of the underwater glider

무인 수중 글라이더는 Fig 2.2와 같이 각각 종동요각 제어, 선수동요각 제어, 부력제어, 그리고 날개를 이용하여 주행된다. 종동요각 제어는 부력제어 및 날개를 통해 발생한 수평 추진력을 최적화하기 위한 자세 제어이며, 선수동요각 제어는 주행 방향을 조정하기 위한 무게중심 이동제어이다. 그리고 부력 제어의 경우 동체의 부피를 변화시켜 발생한 양성 및 음성 부력으로 수직 추진력을 생성시키는 제어이며, 마지막으로 날개는 이러한 부력제어를 통해 발생한 수직 추진력을 수평 추진력으로 변환시켜 줄 수 있는 장치이다.

무인 수중 글라이더는 부력제어와 자세제어를 통하여 주행을 한다. 선체의 부피를 변화시켜 부력제어를 하며, 자세제어의 경우 내부의 질량을 이동시켜 무게중심을 이동시킨다.

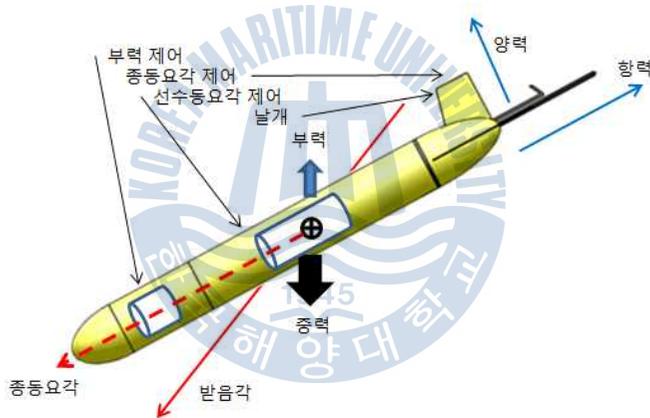


Fig. 2.2 Four elements for navigation

다음 장에서는 무인수중글라이더 선체의 기초설계와 형상 배치 및 구성과 각 구성의 설계에 대하여 기술한다.

2.1 무인 수중 글라이더의 구성 및 개념설계

무인 수중 글라이더의 주행은 수심의 상한과 하한사이를 부력제어를 통하여 하강과 상승을 반복하게 된다. 이때 발생하는 에너지를 이용하여 수직운동을 하게 되며 이와 동시에 자세제어를 통하여 받음각을 최적화 하게 된다. 이러한 제어를 통하여 무인 수중 글라이더는 추진력을 얻게 된다.

본 논문에서 수행하는 무인 수중 글라이더 동체 설계의 조건은 다음과 같다.

첫째, 형태는 Torpedo형태로 한다.

둘째, 무인 수중 글라이더의 속도는 수평속도로써 부력제어와 부피 제어비를 통하여 산술 최고 목표 속도를 결정한다.

셋째, 목표 최고 수심을 견딜 수 있도록 하며, 방수가 가능하도록 설계한다.

넷째, 선체의 외형은 운항이 용이하도록 하여 선체가 받는 유체저항계수를 최소화 할 수 있도록 설계한다.

상기와 같은 설계 조건을 설정한 이유는 본 수중 글라이더의 경우 기 개발된 수중 글라이더보다 외형이 작은 직경을 가지며, 길이가 긴 형태로 수상에서 작업을 용이하게 하고, 수중 운항에 있어서 항력을 줄여 주행 시 발생하게 되는 에너지의 손실을 최소화할 수 있으며, 기 개발된 수중 글라이더의 경우 장시간 운용이 가능한 장점을 가지고 있지만 상대적으로 속도가 느린 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하고자 산술 최고 속도를 구하여 본 글라이더의 수평 최대 속도를 결정할 수 있기 때문이다. 또한 본 글라이더의 수중 운용에 있어 속도를 내기위한 충분한 수직거리의 확보 및 근해에서 운용 시 수압을 충분히 견딜 수 있도록 하기 위함이다.

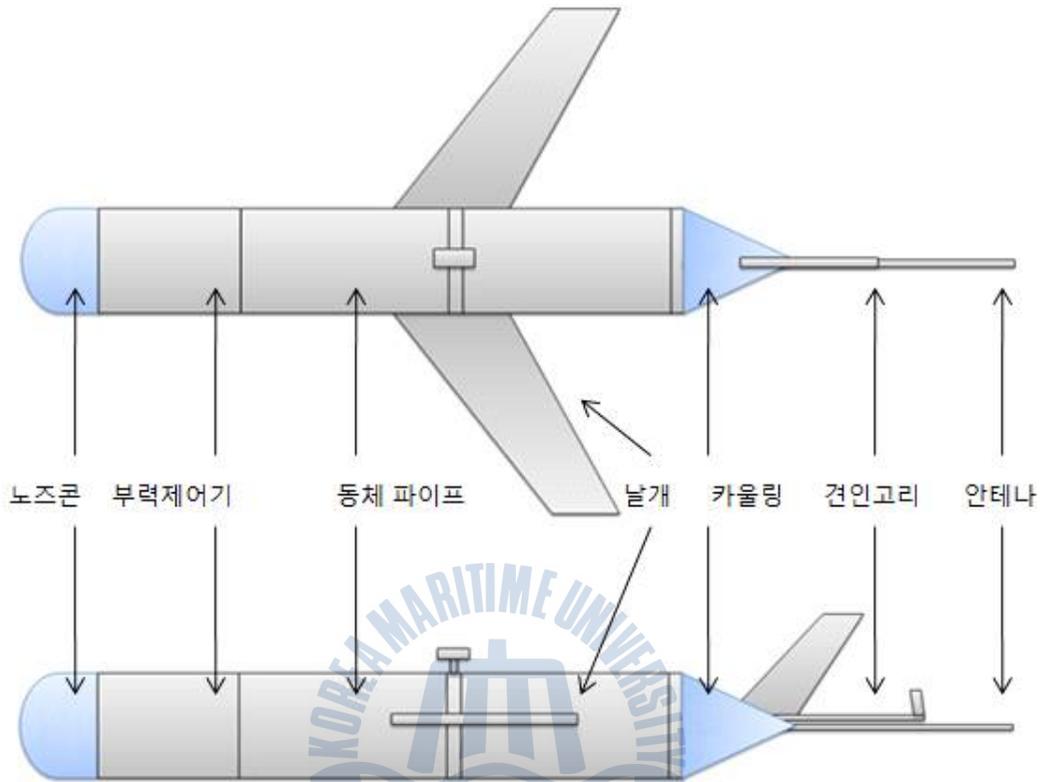


Fig. 2.3 Conceptual design of the underwater glider

최초 개념 설계한 글라이더의 모식도는 Fig. 2.3과 같다. 좌측에서부터 노즈콘, 부력제어기, 자세제어기가 위치하는 동체, 카울링과 날개, 안테나와 견인고리로 구성된다. 설계 조건에 맞게 형상은 Torpedo형태로 일반적인 무인 수중운동체와 다르게 외부 추력 및 조향 시스템이 없이 부력 및 자세를 제어함으로써 수중에서 추진하는 형태를 갖는다.

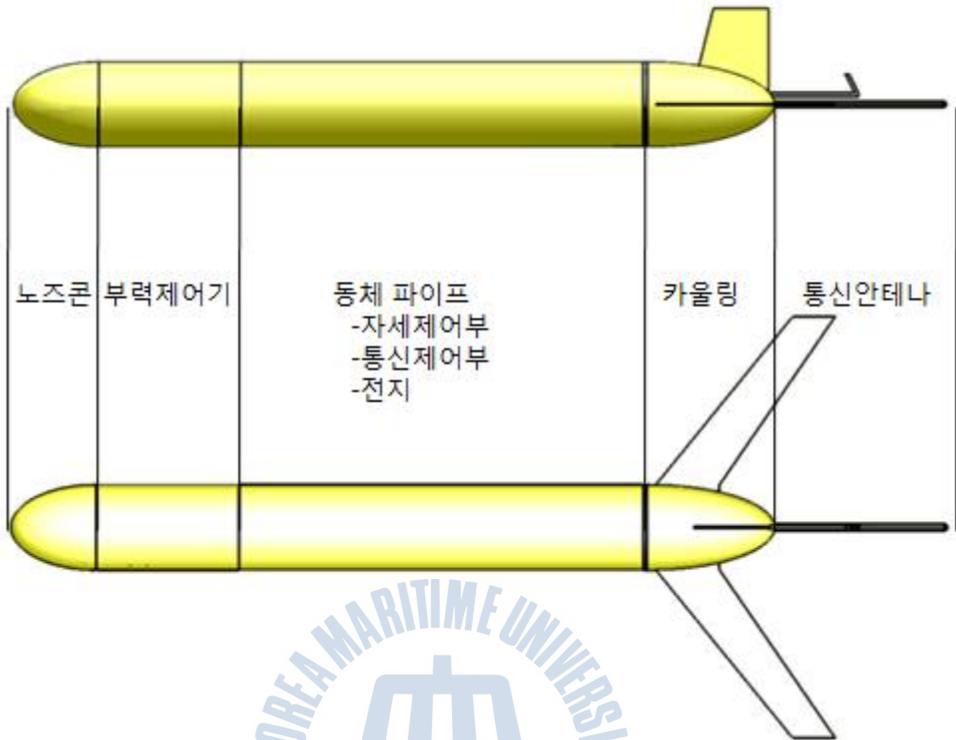


Fig. 2.4 Sketch design of the underwater glider

앞서 설계 조건에 맞도록 개념 설계를 바탕으로 Fig. 2.4와 같이 형상배치를 하였다. 개념 설계와 유사한 배치를 가지고 있으며, 특징으로는 날개를 후면부로 옮겨 배치를 하였다. 무인 수중 글라이더가 운항 시 자세제어기의 움직임을 최소화 하여 자세제어 양을 작게 하더라도 받음각과 종동요각을 제어할 수 있도록 함을 그 목적으로 하였다.

또한 노즈콘 및 카울링의 내부는 외부 유체의 출입이 자유롭게 하였다. 노즈콘의 경우 선체의 부력을 제어하는 부력제어기의 위치가 노즈콘 후면에 위치하며, 전자장비 및 방수가 필요한 부품이 없기 때문이며, 카울링 부분의 내측에 여러 가지 센서 및 케이블이 위치하고 있기 때문이다.

동체의 부피를 결정하기 위한 부력제어기의 부피 제어 용량의 선정은 글라이더 수평속도와 글라이더의 부력제어기 용량의 관계를 나타내는 도표인[5] Fig. 2.5를 이용하였다. 본 설계의 목표 최대 속도를 내기 위한 부피 제어비를 이용하여 전체의 부피를 결정하였다.

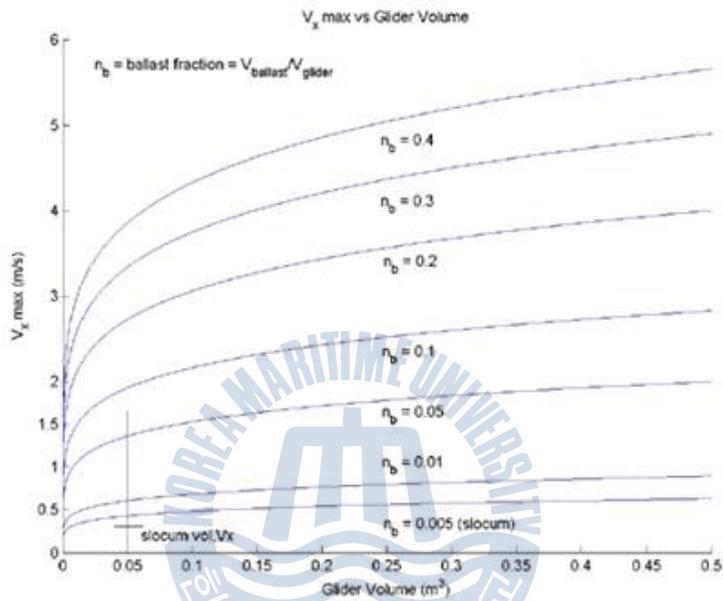


Fig. 2.5 Maximum horizontal velocity vs glider size and ballast fraction

본 무인 수중 글라이더를 설계함에 있어서 선수부와 선미부는 유선형으로써 설계조건에 맞게 운항이 용이하도록 유체저항계수를 최소화 할 수 있는 Myring Profile을 적용하였다. 이는 선체가 받는 유체 저항을 최소화 할 수 있는 경험식이며, 아래 Fig. 2.6은 수중 운동체의 외형에 따른 표면에서 유체의 유속 정도를 나타낸다. 이를 바탕으로 본 글라이더의 형상은 선수와 선미부에 유선형이며, 동체부분은 직선으로 이루어진 형상을 선정하여 설계를 진행 하였다.

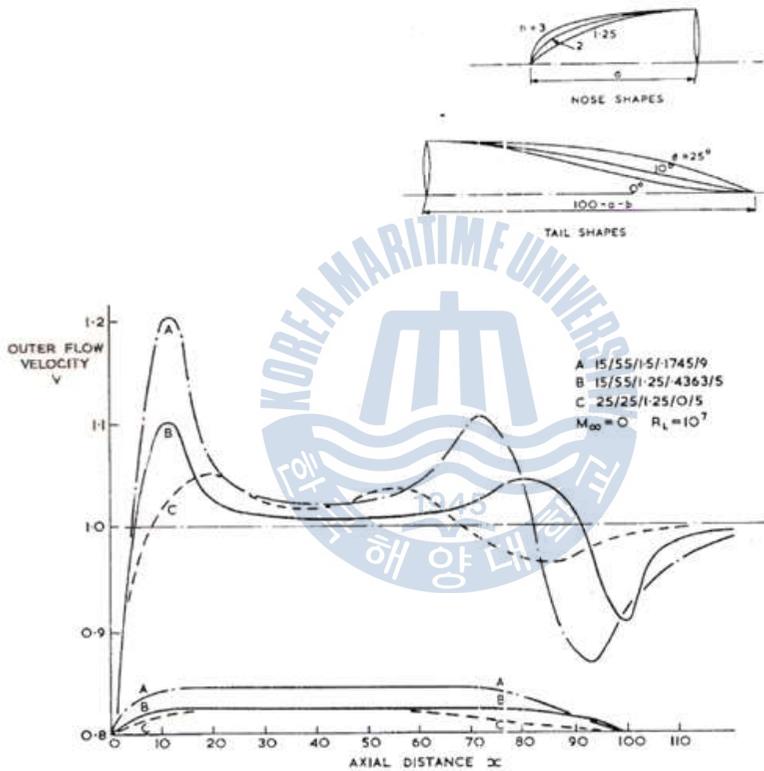


Fig. 2.6 Outer flow velocity distributions [9]

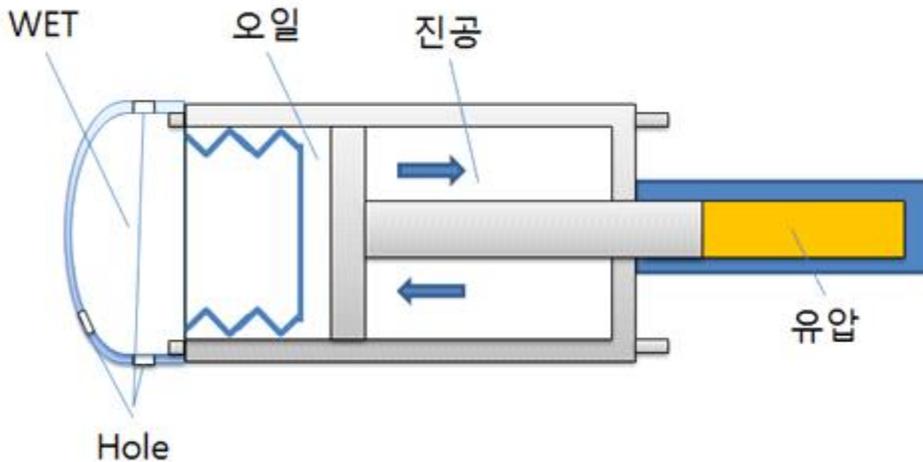


Fig. 2.7 Sketch design of buoyancy controller

부력제어부의 경우 단동식 유압 구동장치로 구성하며 피스톤을 밀어내어 양성부력을 형성할 때에는 모터를 구동하여 Fig. 2.7의 오른쪽 실린더에 유압을 채우고, 음성부력을 맞추고자 할 때에는 체크밸브를 열어 진공압력을 이용하여 유압을 회수하는 방식을 선정하였다.

동체는 부력제어부와 선미부 사이에 위치하며, O-Ring을 통하여 수밀구조를 가지도록 하며, 또한 내부에 저기압을 형성하여 서로의 체결력을 높일 수 있는 구조가 될 수 있도록 하며, 내부에 자세제어기가 위치할 수 있도록 구성한다.

2.2 무인 수중 글라이더의 형상 설계

앞서 고려된 사항들을 바탕으로 무인 수중 글라이더의 형상을 다음 Fig. 2.8 과 같이 상세 설계하였으며, 그 구성은 크게 선수부와 중앙부 그리고 선미부로 나눌 수 있다.

선수부는 카울링 하나로 구성되며, 중앙부는 부력제어부와 동체로 이루어져 있다. 동체의 내부에 자세제어부와 통신제어부가 위치하며, 선미부의 경우 후면 커버부터 날개, 안테나, 견인고리 등으로 구성되어 있다.

여기서는 선수부, 중앙부, 선미부 그리고 내부로 나누어 각 구성에 대하여 기술하였다.

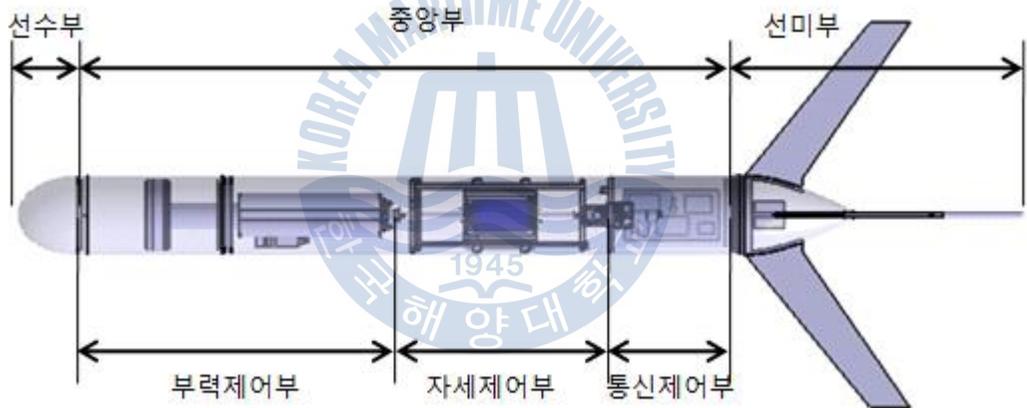


Fig. 2.8 Shape of the underwater glider

2.2.1 선수부 설계

무인수중글라이더가 해수에서 운항하는데 있어 맨 먼저 해수와 부딪치며 앞으로 나아가야 하는 부분이 선수부이다. 이에 선수부는 해수의 저항을 최소한으로 하는 구조를 가져야 하므로, 선수부를 저항을 최소화할 수 있는 경험적인 Myring profile을 적용하여 설계하였다. 선수부의 Myring profile식은 식 2.1과 같다.

$$r(x) = \frac{1}{2}d \left[1 - \left(\frac{x + a_{offset} - a}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2.1)$$

또한 Myring profile에 필요한 변수들은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Parameters of myring profile for Underwater Glider

parameters	Description
a	Nose Length
a_{offset}	Nose Offset
b	Mid Length
c	Tail Length
c_{offset}	Tail Offset
n	Exponential Coefficient
θ	Include Tail Angle
d	Max. Hull Diameter
l_f	Forward Length
l	Total Length

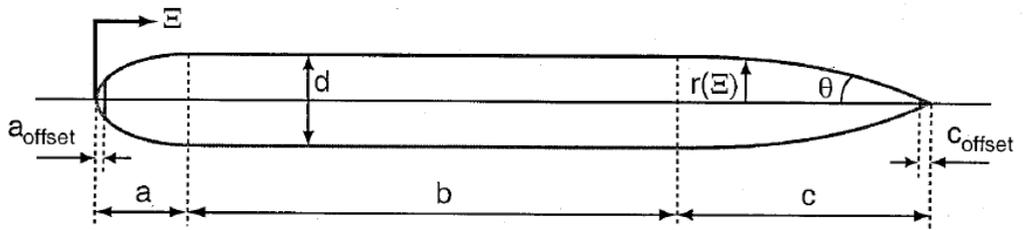
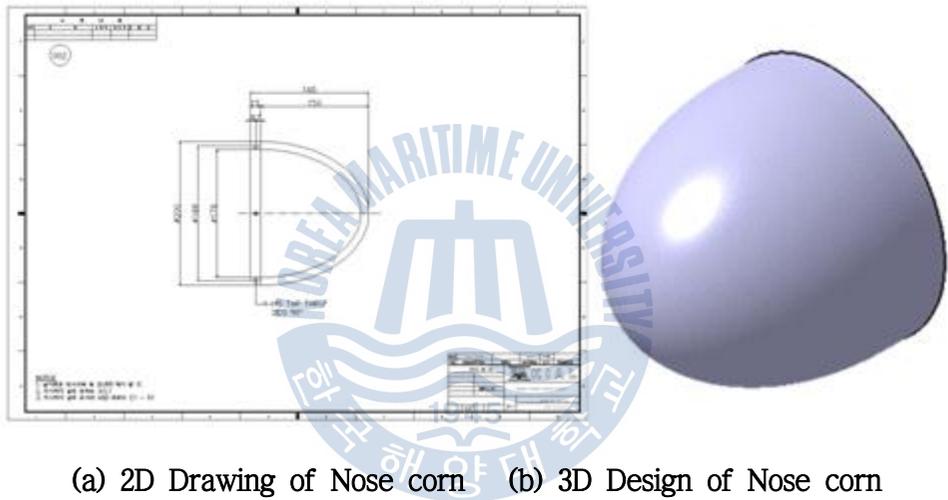


Fig. 2.9 Vehicle hull radius as a function of axial position [9]



(a) 2D Drawing of Nose corn (b) 3D Design of Nose corn

Fig. 2.10 Shape of nose corn

선수부를 Myring profile을 적용하기 위한 형태는 Fig. 2.9와 같으며, 단위길이에 대한 높이를 연산하여 설계에 적용하였으며 Fig. 2. 10(a)과 같다. 설계한 선수부 내부의 경우 불필요한 무게를 제거하기 위해 안쪽을 비웠으며, 다음으로 채결되는 부력제어기의 빈 공간에 해수가 유입되어야 하기 때문에 특별한 방수 장치 없이 자유롭게 해수가 유입 가능하도록 설계하였다

2.2.2 중앙부 설계

중앙부는 앞서 설명한 구성과 같이 부력제어부와 동체로 나뉘며, 동체 내부에는 전지 및 자세제어부와 통신제어부가 위치하게 된다. 이 항에서는 중앙부의 외형을 결정하는 부력제어부와 동체에 대하여 기술한다.

무인 수중 글라이더는 부력을 제어하여 추진력을 얻는다. 부력은 글라이더의 부력제어부의 피스톤의 위치를 제어하여 전체 부피를 변화시키며, 이때 선체에 발생하는 중력 및 부력을 자세제어를 통하여 중동요각을 제어한다. Fig. 2. 11은 현재 무인수중글라이더의 목적에 맞는 부피 제어량을 가진 부력제어기의 3D Modeling 형상이며, 피스톤과 실린더 이외에도 이를 구동하기 위한 장치로 전동모터와 유압펌프, 밸브, 그리고 솔레노이드 밸브와 작동유체를 저장할 수 있는 오일탱크로 구성된다. 부력 피스톤의 경우 앞서 중앙부 설계에서 언급했듯이 외경은 동체의 외경과 일치하며, 그 두 개가 조립 되는 부분에 O-ring을 삽입하여 방수 가능하도록 설계하였다. 또한 피스톤 로드주변의 여유공간에 오일탱크 및 유압모터 등을 구성하여 공간을 활용할 수 있도록 하였다.

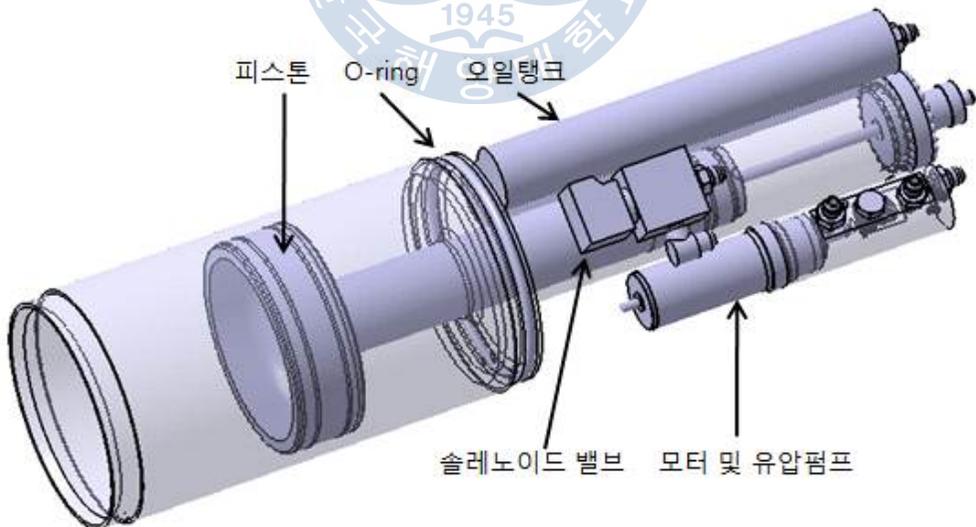


Fig. 2.11 Shape of buoyancy controller



Fig. 2.12 Section view of buoyancy controller

또한 부력을 제어할 수 있기 위해서 피스톤의 정확한 위치를 알 수 있도록 Fig. 2.12과 같이 리니어 스케일을 배치하여 작동 시 피스톤의 위치를 추정할 수 있도록 설계하였다.

제어장치의 구성은 아래의 Fig. 2.13와 마찬가지로 단동식 유압밸브를 사용하여 피스톤을 밀어낼 때에만 모터를 사용하고 끌어당기는 경우 체크 밸브만을 열어 피스톤 내에 생긴 낮은 압력과 외부의 높은 압력 차를 이용하여 후퇴할 수 있도록 설계하였다.

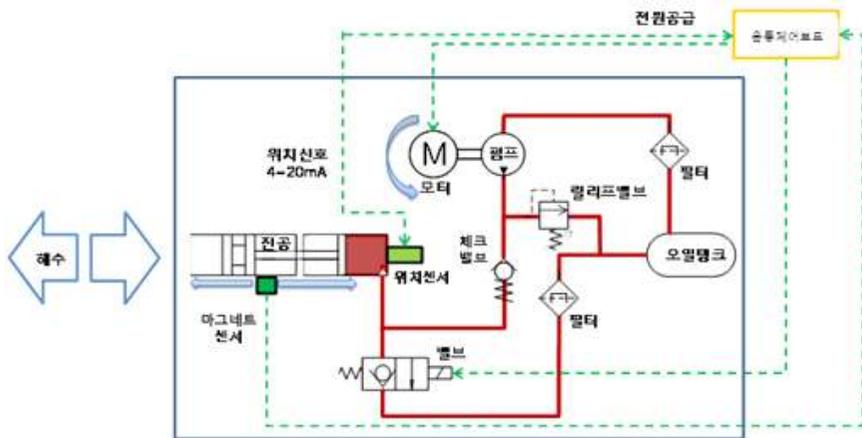


Fig. 2.13 Schematic diagram of buoyancy controller

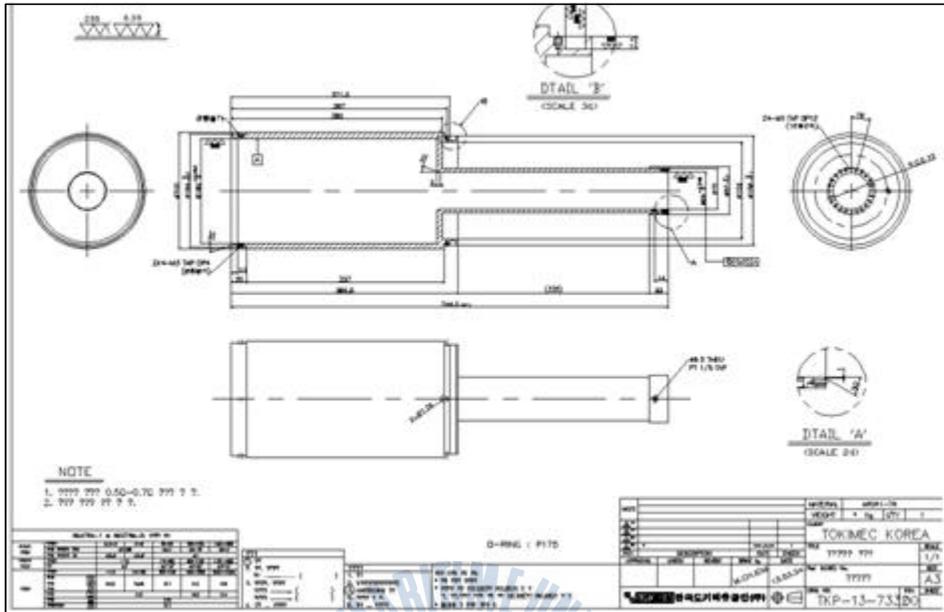


Fig. 2.14 2D drawing of buoyancy controller

무인수중글라이더는 부력제어기의 피스톤 부분에서 동체의 끝부분까지 수밀 구조를 이루고 있어야 한다. 그 이외의 부분(노즈콘 및 카울링)은 특별한 방수가 필요하지 않으며 노출되는 센서들 또한 수중에서 사용하는 제품을 사용하기 때문에 특별한 처리가 필요치 않기 때문에 부력제어기와 동체 그리고 덮개까지의 수밀 구조는 O-ring 을 사용하여 물리적으로 해수 유입을 차단할 수 있도록 하였으며 조립 시 동체의 내부를 저기압 상태로 만들도록 하여 내 외부의 기압 차이에 의하여 체결력을 가질 수 있도록 설계하였다.

위의 Fig. 2.14은 부력제어기의 설계도면 중 일부를 나타낸 것으로, 부력제어기의 실린더 부분이다.

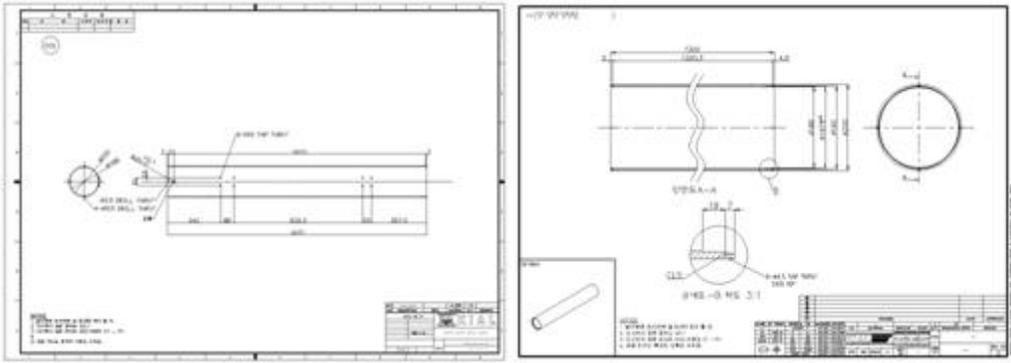
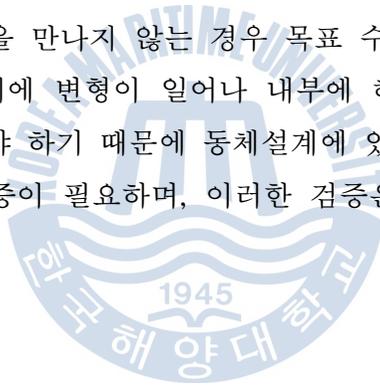


Fig. 2.15 2D drawings of hull

다음 선체의 구성으로는 동체 파이프가 있는데 이 부분의 설계는 Fig. 2.15와 같이 설계를 하였다. 동체의 경우 수중에서 상하 왕복운동을 통하여 전진하는 형태로 수면에서 장애물을 만나지 않는 경우 목표 수심까지 잠항을 하기 때문에 그때의 수심에서 동체에 변형이 일어나 내부에 해수가 유입되거나 외형의 변형이 이루어지지 않아야 하기 때문에 동체설계에 있어서 좌굴해석을 통한 목표수심에서의 안전성 검증이 필요하며, 이러한 검증은 다음 장에서 자세히 기술하였다.



2.2.3 선미부 설계

선미부는 아래 Fig. 2.16과 같이 크게 후면 커버, 카울링, 날개, 견인고리, 안테나 그리고 비상 양성부력 장치로 구성된다.

후면 커버의 경우 동체와 결합되며, 동체내의 수밀을 위해 O-ring홈이 있으며 날개를 제외한 후면부의 모든 부분과 결합된다. 그리고 날개는 후면 커버와 카울링의 사이에 조립식으로 결합된다.

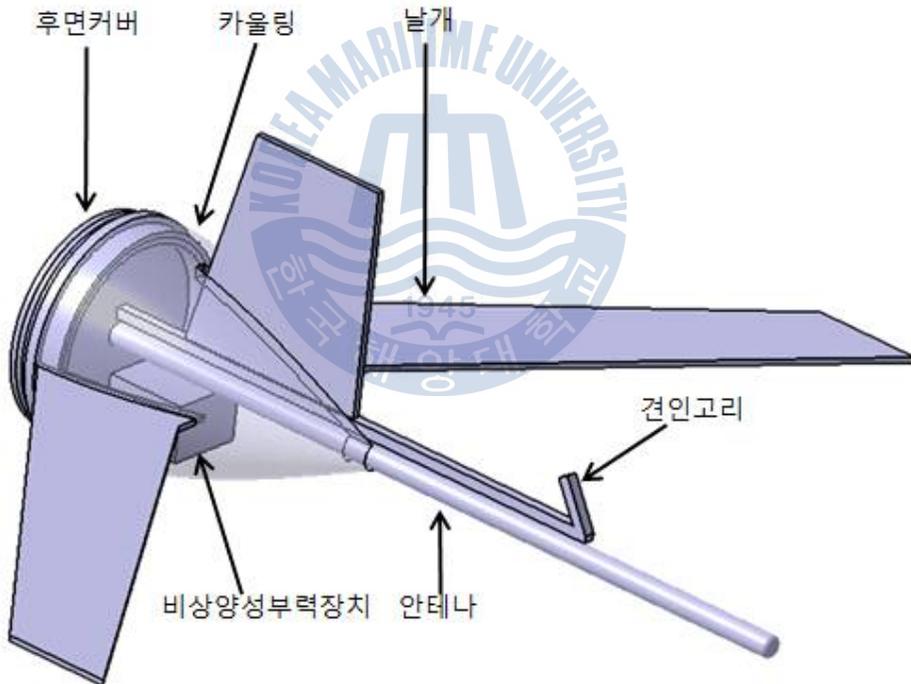
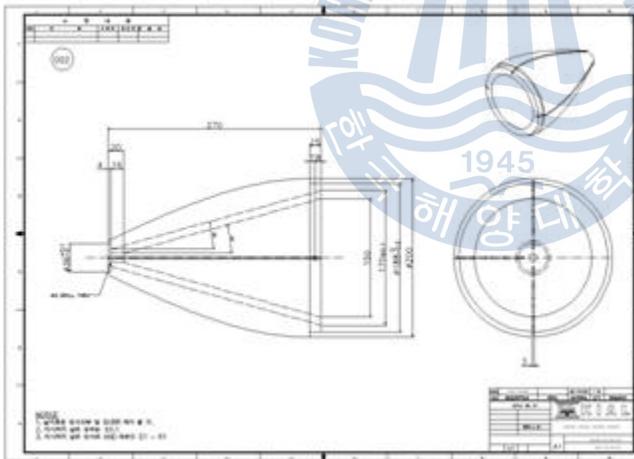


Fig. 2.16 Shape of cowling

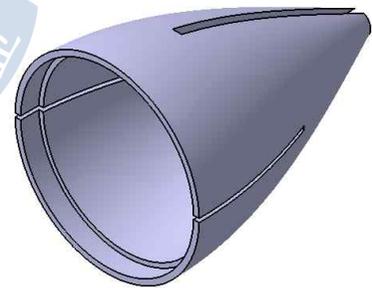
선미부의 외형(카울링)에도 선수부와 마찬가지로 유체의 저항을 최소화하여 운항가능하도록 Myring profile을 적용하였다. 선미부의 Myring profile의 형상에 대한 식3.2이다.

$$r(x) = \frac{1}{2}d - \left[\frac{3d}{2c^2} - \frac{\tan\theta}{c} \right] (x-l)^2 + \left[\frac{d}{c^3} - \frac{\tan\theta}{c^2} \right] (x-l_f)^3 \quad (2.2)$$

카울링 설계에 필요한 제원은 Table 3.1과 같으며, 위 식 2.2를 통하여 설계한 선미부의 카울링 형상은 Fig. 3.2와 같다.

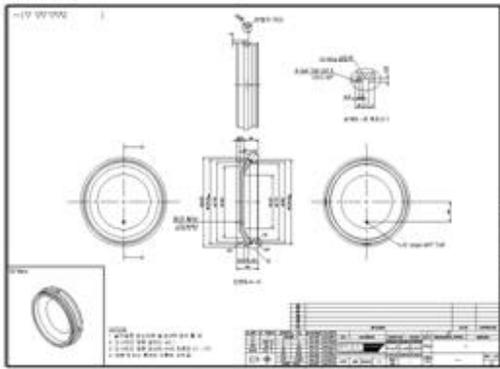


(a) 2D Drawing of cowling

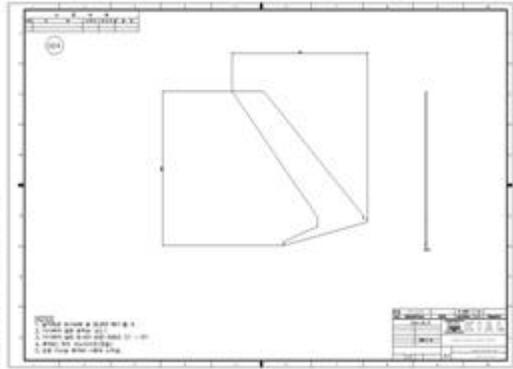


(b) 3D Design of cowling

Fig. 2.17 Shape of cowling



(a) Drawing of the end cap



(b) Drawing of the wing

Fig. 2.18 2D drawings of the end cap and the wing

카울링 이외에도 Fig. 2.18과 같이 후면 커버 및 날개 형상에 대한 설계를 하였다.



2.2.4 내부 설계

무인수중글라이더의 경우 외부에 자세를 제어할 수 있는 장치가 따로 없기 때문에 내부에서 자세제어를 통하여 진행방향을 제어한다. 내부의 한정된 공간에 충분한 무게의 자세제어장치가 요구되는데 여기서 전지가 가장 많은 무게를 차지하고 있기 때문에 전지를 두 개의 축으로 지지하며, 하나의 나사를 이용하여 전 후 이송운동을 하고, 전 후방에 크로스 롤러 링으로 고정하여 복합하중을 견딜 수 있는 구조로 회전운동을 통한 자세제어를 할 수 있도록 설계하였다. 또한 전지가 선체 가운데 위치하고 있어서 Fig. 2.19와 같이 아래에 추를 더하여 무게중심을 낮출 수 있도록 구성하였다.

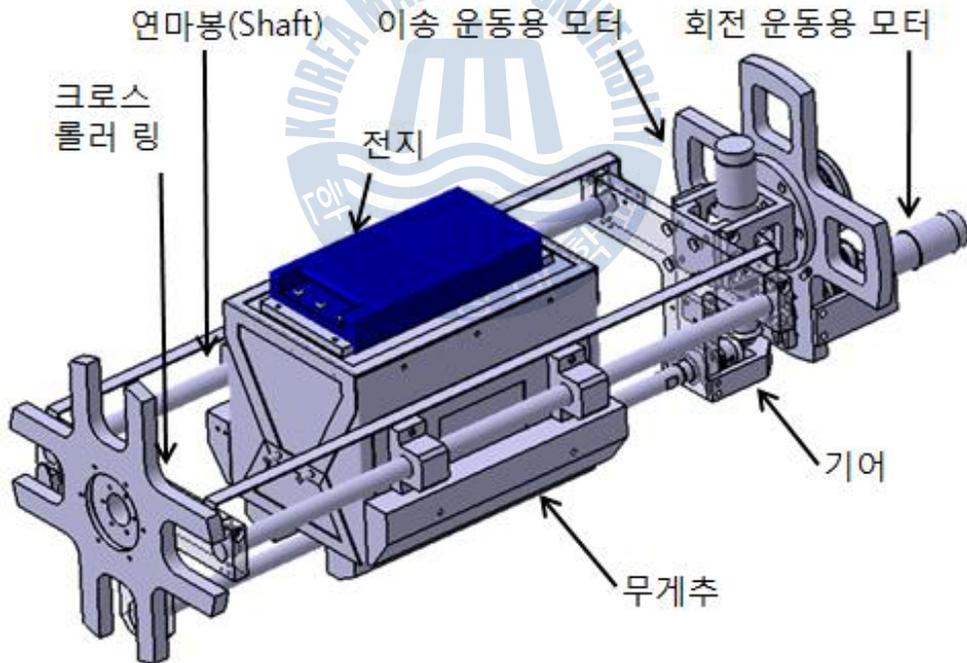
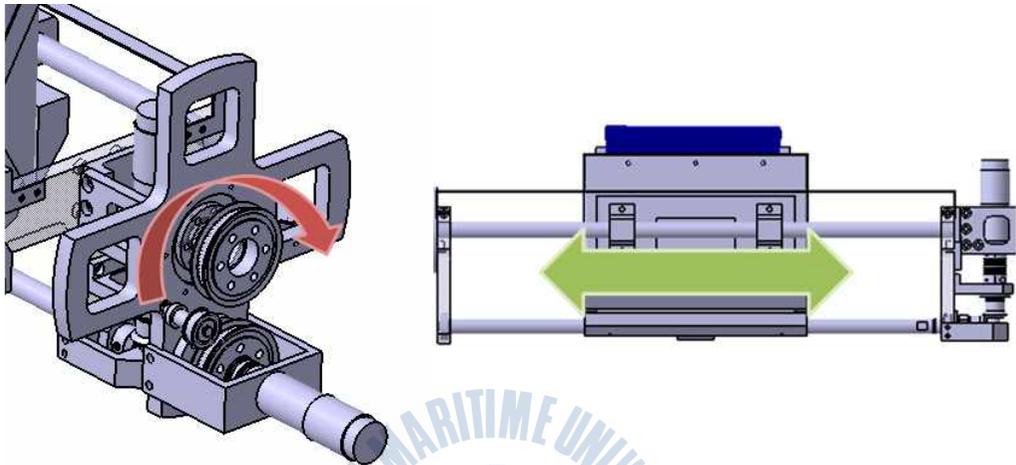


Fig. 2.19 Structure of motion controller

자세제어장치의 경우 Fig. 2.20(a)와 같이 회전운동을 통하여 Roll motion을 제어하고, Fig. 2.20(b)과 같이 이송운동을 통하여 Pitch motion을 제어할 수 있는 구조로 설계하였다.



(a) Roll motion mechanism

(b) Pitch motion mechanism

Fig. 2.20 Motion control mechanism

전지를 지지하는 축의 경우 연마봉을 사용하였으며, 전지 및 무게추를 지지하는 경우의 최대 변위량은

$$\delta_{\max} = \frac{Pl^2}{48EI} \quad (2.3)$$

양단 자유인경우의 축 변위량의 연산을 위한 식 2.3을 사용하였으며, 이 식에 사용된 변수들은 다음의 Table 2.2에 정리하였다.

Table 2.2 Parameters of shaft

Variables	description
δ_{\max}	Maximum displacement (mm)
P	Concentrated load (N)
l	Length of shaft (mm)
I	moment of inertia (mm^4)
E	Module of direct elasticity $2.06 \times 10^5 (N/mm^2)$

자세제어기의 모터를 선정함에 있어 토크와 추력간의 관계식을 사용하였으며, 관계식은

$$T = \frac{Fb \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta_1} \quad (2.4)$$

으로 표현할 수 있다.

이 식 2.4에 사용된 변수들은 Table 2.3에 정리하였다. 또한 안전율과 모터의 구동효율 및 감속기의 효율을 함께 연산하여 모터를 선정하였다.

Table 2.3 Parameters of motors

Variables	description
Fa	Generate force
Fb	Frictional resistance of guide surface ($\mu \times m_m \cdot g$)
μ	Frictional resistance
m_m	Mass of movable mass
g	Acceleration of gravity ($9.8m/s^2$)
T	Driving torque
Ph	Read of screw
η_1	Efficiency of screw

제 3 장 무인 수중 글라이더의 동체 내압 해석

이 장에서는 무인 수중 글라이더의 동체가 목표 수심에서의 안정성을 확인하기 위하여 ANSYS ver.12.1을 사용하여 모델링되어 있는 동체를 해석하였다. 좌굴해석을 해 봄으로써 동체가 견딜 수 있는 최대압력에 대하여 사전에 예측할 수 있으며, 최적화된 설계할 수 있다.

3.1 동체의 좌굴 해석 모델

해석을 위하여 설계된 동체를 3D로 모델링한 것을 Fig. 3.1에 나타내었다.



Fig. 3.1 Shape of Hull

해석에 사용된 동체의 형상은 Fig. 3.2와 같은 형상에 제원은 현재 설계된 동체와 동일하다.

해석은 두 가지 경우에 대하여 시행하였다. 두께를 제외한 형상 및 제원은 같으며, 서로 다른 두께의 차이에 따른 결과를 확인할 수 있도록 하였으며, 치수는 Table 3.1에 정리하였다.

Table 3.1 Analysis case

CASE	Thickness	Length	Diameter
Case 1	t_1 mm	l_h mm	D mm
Case 2	t_2 mm	l_h mm	D mm

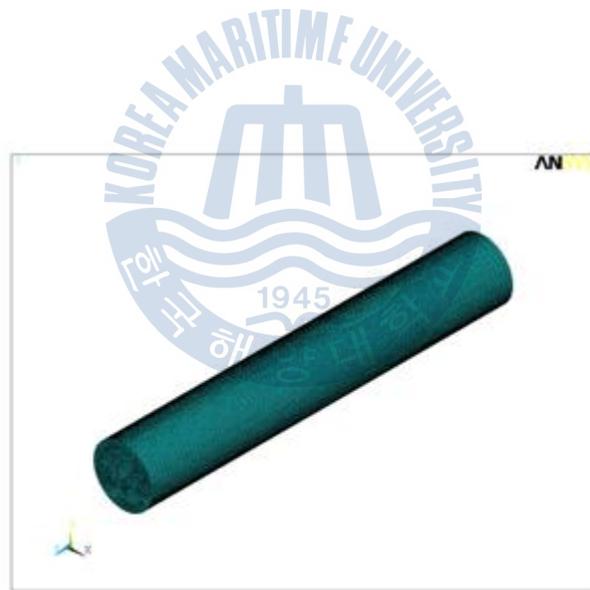


Fig. 3.2 FE Modeling

3.2 해석조건 및 경계조건

요소는 Shell181(4-Node structural shell)을 사용하였고, 격자(Mesh)는 균일 사각 격자(Uniform quad method)로 생성하였으며 해석조건은 아래 Table 3.2에 정리하였다.

유한요소해석을 위한 변위 경계조건은 동체와 부력제어기가 결합되는 부분의 모든 병진 및 회전 자유도를 구속하였으며, 외부압력의 경우 모든 방향으로 압력이 고르게 작용하도록 하였다. Fig. 3.3의 붉은 원 부분이 부력제어기와 결합되는 부분으로 위와 같은 구속한 부분임을 확인할 수 있다.

Table 3.2 Analysis Conditions

Property	Value
Material	Aluminum Alloy 6061-T6
Modulus of Elasticity	68 GPa (Room Temperature)
Poisson' s Ratio	0.3
Element Type	Shell184
External Pressure	1 Pa (On All Area)

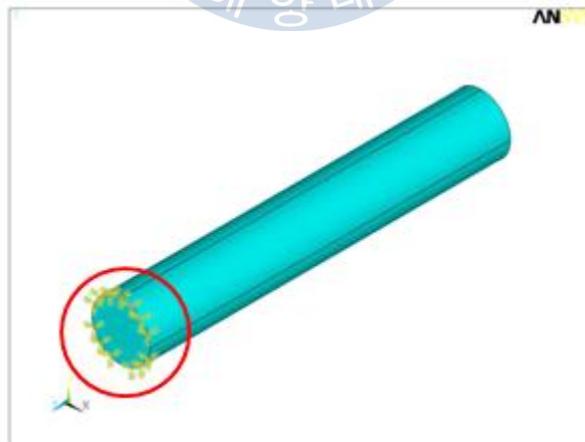


Fig. 3.3 Boundary condition

3.3 동체의 내압 해석 결과

Case 1의 경우 최초 3.30MPa에서 좌굴이 발생하였고, Case 2의 경우 5.35MPa에서 발생하는 것을 알 수 있었다.

아래의 Fig. 3.4는 좌굴해석 결과로 각 경우의 영구 변형된 형태를 확인할 수 있다. 좌굴로 인한 변형된 형태가 육안으로 확인하기 힘든 정도로 작을 것이기 때문에 비율적으로 확대하여 그 형태를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

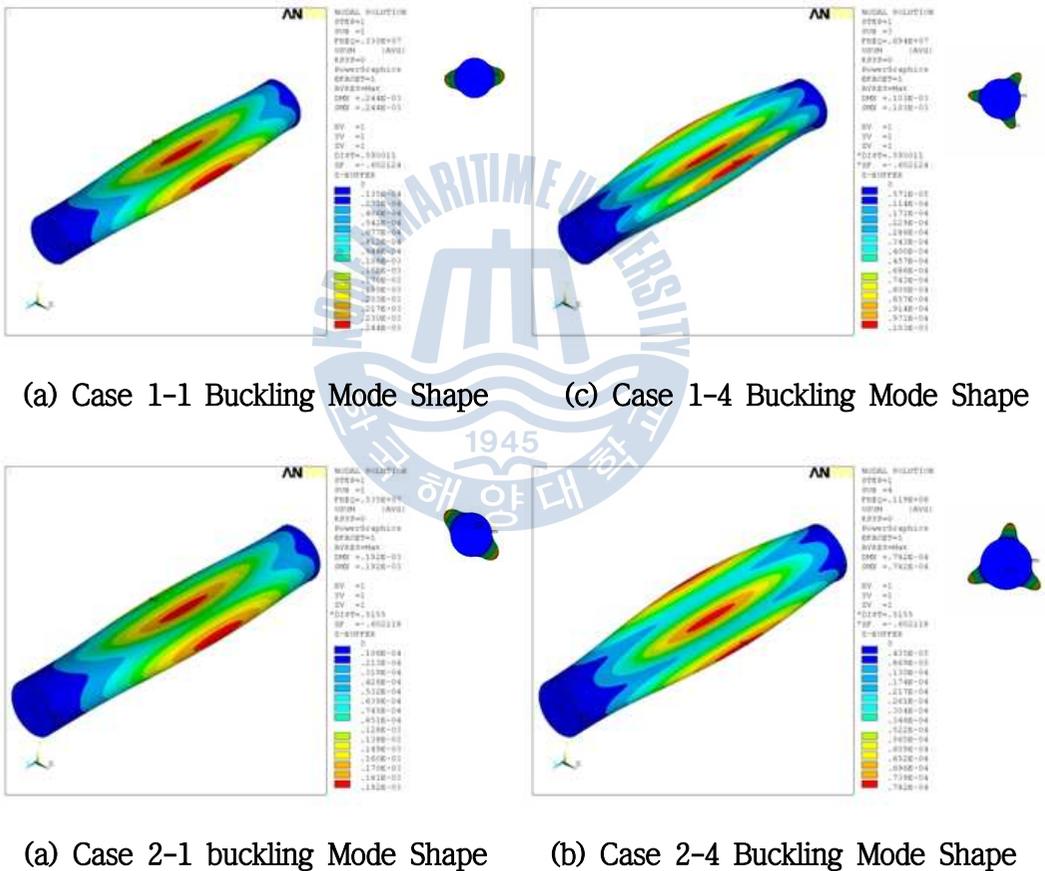


Fig. 3.4 Results of buckling mode shapes

Table 3.3 Results of buckling analysis

(a) Result of case 1

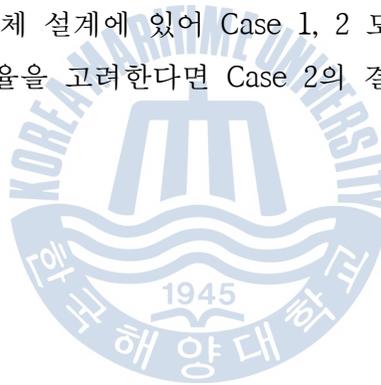
Case 1	
Mode Number	Buckling Pressure
Case 1-1	3.30 MPa
Case 1-2	6.94 MPa
Case 1-3	7.65 MPa
Case 1-4	8.83 MPa

(b) Result of case 2

Case 2	
Mode Number	Buckling Pressure
Case 2-1	5.35 MPa
Case 2-2	11.93 MPa
Case 2-3	12.11 MPa
Case 2-4	12.09 MPa

이번 해석을 통하여 동체가 수중에서 압력을 받을 때 두께에 따른 좌굴하중을 해석하였다. 각각의 경우에 따른 좌굴하중을 Table 3.3 에 나타내었다.

이번 해석을 통하여 동체 설계에 있어 Case 1, 2 모두 목표 수심에서 안전함을 알 수 있었으나 안전율을 고려한다면 Case 2의 결과가 동체설계에 더욱 적합함을 알 수 있었다.



제 4 장 무인 수중 글라이더의 자세 해석

무인 수중 글라이더의 운행에 있어서 필요한 운동성능으로 수중에서 주행할 때에 필요한 동적성능과 해수면에서 통신을 위한 자세유지 성능으로 나눌 수 있다.

운동성능은 다음 장에 기술하도록 하며, 이 장에서는 무인 수중 글라이더가 수상에서 통신을 하기 위한 글라이더의 자세에 대한 해석을 하였다.

아래의 Fig. 4.1에 무인 수중 글라이더의 정상상태 확인에 사용한 좌표계를 나타내었으며, 좌표계의 원점은 글라이더의 부력중심점에 위치한다. 선체의 진행방향을 x 축으로 하였으며 수심방향을 y 축으로 하였다.

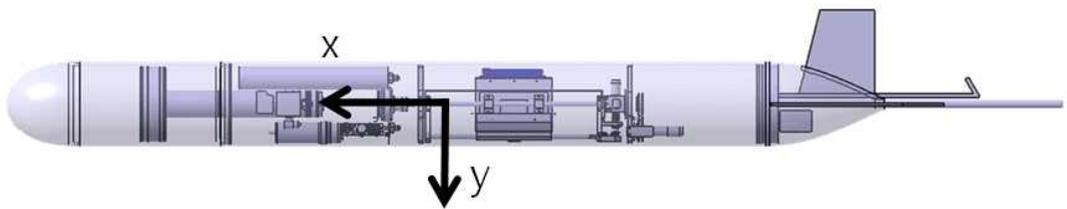


Fig. 4.1 Coordinate system of the underwater glider

Table 4.1 Definition of variables for static analysis

Variables	Description
P_B	Position of total buoyancy center
P_t	Position of total mass center
m_t	Total mass of the underwater glider
m_m	Movable mass of the underwater glider
m_c	Static block mass without movable mass
x_B	x -axis length of buoyancy
x_t	x -axis length of total mass
x_m	x -axis length of movable mass
x_c	x -axis length of Static block mass
y_t	y -axis length of total mass
y_m	y -axis length of movable mass
y_c	y -axis length of Static block mass
d	Variable length of movable mass
x_l	x -axis length of total mass
y_l	y -axis length of total mass

정상상태 확인에 사용된 각각의 변수는 Table 4.1에 정의 하였다.

앞서 좌표계의 경우 점 O 을 점 P_B 에 맞추었으며, 이때의 점 P_B 을 기준으로 x 축과 y 축으로 나누어 각각을 연산하는 방식으로 글라이더의 모멘트 합을 확인 해 본다.

x 축 방향의 경우 기본적으로 축 방향으로 무게와 부력중심점의 거리가 같으 므로

$$x_B = x_t = 0 \tag{4.1}$$

식 4.1이 성립하며, x 축의 전체 모멘트는

$$m_t \cdot (x_B - x_t) = m_c \cdot x_c + m_m \cdot x_m \quad (4.2)$$

이다. 식 4.2에 식 4.1을 대입하면

$$m_c \cdot x_c + m_m \cdot x_m = 0 \quad (4.3)$$

을 만족한다. 따라서 무인 수중 글라이더가 초기의 정적인 상태인 경우 식 4.3을 만족하고 있다고 볼 수 있다.

만약 글라이더의 전지 및 무게추를 x 방향으로 최대한 이동시켰을 경우, 자세 제어기의 무게중심점은 거리 d 만큼의 x 축 방향으로 변위가 생기게 되며, 전체 무게중심점 또한 변하게 된다.

이때의 x 축 방향으로 변한 무게중심점의 거리 x_l 에 대하여

$$m_t \cdot x_l = m_c \cdot x_c + m_m \cdot (x_m + d) \quad (4.4)$$

식 4.4가 성립하게 되며, 식 4.4에 식 4.3을 대입하면

$$m_t \cdot x_l = m_m \cdot (x_m + d) - m_m \cdot x_m \quad (4.5)$$

이 되며, 식 4.5를 정리하면

$$m_t \cdot x_l = m_m \cdot d \quad (4.6)$$

가 된다.

다음으로 y 축 방향 모멘트 합이 경우

$$m_t \cdot y_t = m_c \cdot y_c + m_m \cdot y_m \quad (4.7)$$

이 된다. 전지 및 무게추의 움직임이 x 축 방향으로만 운동을 하기 때문에 거리 d 에 대한 y 축 변위는 없으므로

$$y_l = y_t \quad (4.8)$$

이 성립하게 된다.

위의 식 4.6~8을 통하여 얻은 값은 무인 수중 글라이더의 전지 및 무게추를 이송했을 때의 전체 무게중심점의 변화에 대한 값을 나타내며 최초 선정된 좌표계에서 (x_l, y_l) 만큼의 전체 질량중심점의 변위차가 있음을 알 수 있다.

앞서 연산한 결과 무인 수중 글라이더가 수면에서 목적을 가지고 자세를 제어하고자 하는 경우 좌표계에서 (x_l, y_l) 만큼의 전체 질량중심점의 변위차가 있음을 알 수 있었다. 또한 수중에서의 운동체는 부력과 무게중심점이 앞서 선정된 좌표계에서 y 축 방향으로 항상 평행하기 때문에 아래의 그림과 같은 각도 θ 를 가진다. 이때의 각도 θ 는 좌표값에 대하여 다음과 같은 식 4.9, 10이 성립한다.

$$\tan\theta = \frac{y_l}{x_l} \quad (4.9)$$

즉,

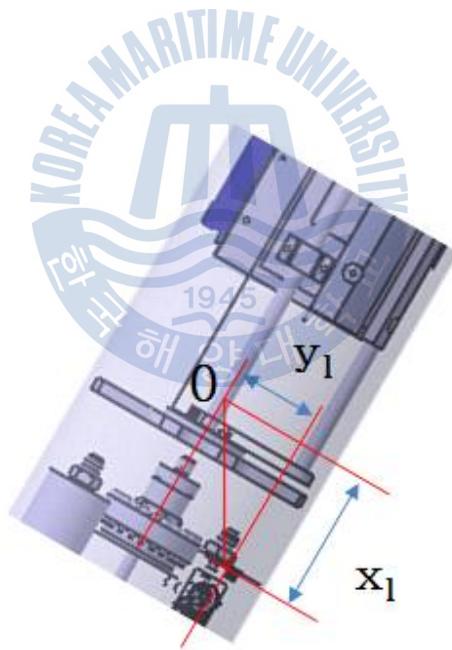


Fig. 4.2 Static balance of underwater glider

$$\theta = \arctan(y_l/x_l) \quad (4.10)$$

이 된다.

위와 같은 관계식에 본 글라이더의 파라미터 값을 대입하여 무인 수중 글라이더의 정적 평형상태를 확인하고 수면에서 본 글라이더의 자세각을 확인하였다.



제 5 장 무인 수중 글라이더의 동역학 모델링 및 시뮬레이션

이 장에서는 무인 수중 글라이더의 운동 모델링을 통하여 운동성능을 확인하고자 한다.

이 장에서는 무인 수중 글라이더의 운동 모델링을 통하여 운동성능을 확인하고자 비선형 6자유도 동역학 모델링을 수행하였으며 이를 통해 운동특성을 해석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 설계한 수중 글라이더의 부력과 수심제어의 관계성과 내부 이동질량의 운동에 따른 수중 글라이더 자세제어의 관계성을 해석하였다.

5.1 시스템 구성 및 수학적 모델링

무인 수중 글라이더의 운동 모델링을 위하여 아래 그림 Fig. 5.1과 같이 지구 고정좌표계 및 선체 고정좌표계를 선정하였다.

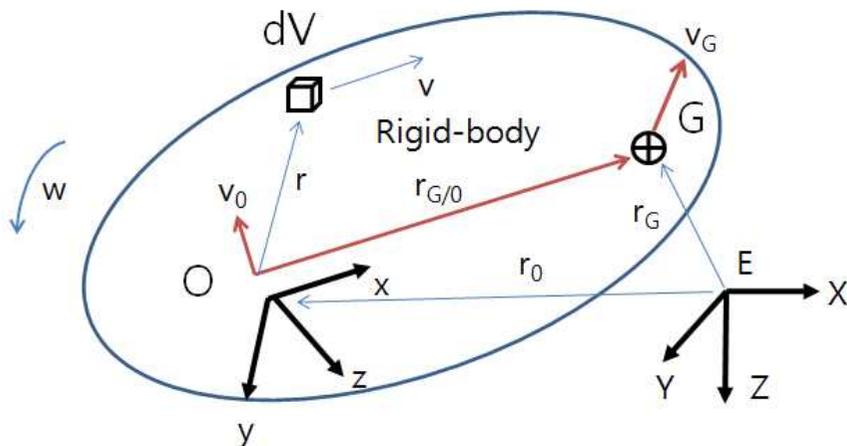


Fig. 5.1 The inertial earth-fixed frame and body-fixed frame[4]

동역학모델링에 사용된 각각의 변수는 Table 5.1과 같이 정의 하였다.

Table 5.1 Definition of variables for dynamic modeling

Variables	description
\mathbf{v}_0	$[u, v, w]^T$, translational velocity vector in the body-fixed frame
$\boldsymbol{\omega}$	$[p, q, r]^T$, angular velocity vector in the body-fixed frame
L_G	linear momentum in the earth-fixed frame
H_G	angular momentum in the earth-fixed frame
\mathbf{F}_G	$[X, Y, Z]^T$, external forces
\mathbf{M}_G	$[K, M, N]^T$, moment of external forces about O
I_0	inertia tensor in the body-fixed frame
m_t	total mass of the glider
m_h	mass of the hull
m_s	mass of the static block inside glider
m_m	movable mass of the glider
r_m	position vector to movable mass in the body-fixed frame
r_h	position vector to center of hull
r_s	position vector of static block
r_{cb}	position vector from origin of the body-fixed frame to CB
r_{cg}	position vector from origin of the body-fixed frame to CG
V_{var}	variable volume due to buoyancy device
V_{fix}	fixed volume of the glider
Φ_m	rotational angle of movable mass
x_p	variable length of buoyancy piston
x_m	variable length of movable mass

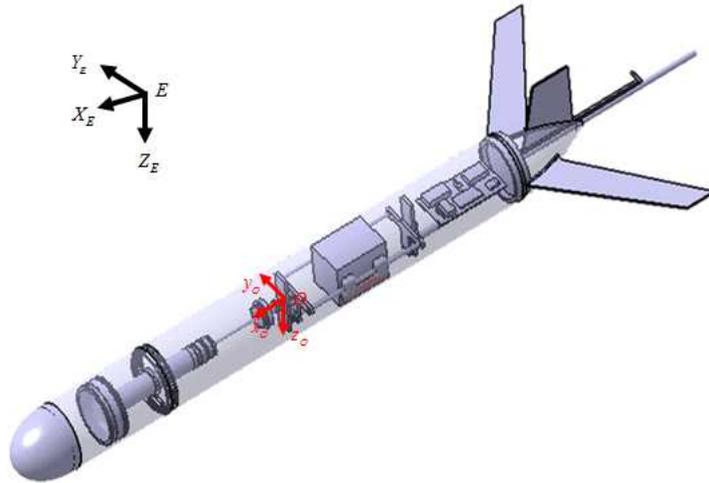


Fig. 5.2 3D illustration ald axis of the underwater glider

위의 Fig. 5.2는 앞서 좌표계의 설정에 대하여 무인 수중 글라이더에 적용한 모습이다.

선체 고정좌표계의 원점은 선체의 기하학적 중심에 있으며 글라이더 선체의 진행방향을 x_0 축으로 하였으며 수심방향을 z_0 축으로 하였다. 또한 오른손 법칙에 의해 y_0 축의 방향을 결정하였다. 선체 고정 좌표계에 각축에서의 위치-방위, 속도-가속도, 유체력 기호는 위의 Table 5.2와 같다.

Table 5.2 Parameters of the underwater glider

	위치-방위	속도-가속도	유체력
전후 운동(Surge)	x	u	X
좌우 운동(Sway)	y	v	Y
상하 운동(Heave)	z	w	Z
회동요(Roll)	ϕ	p	K
중동요(Pitch)	θ	q	M
선수동요(Yaw)	ψ	r	N

무인 수중 글라이더의 전체 질량 m_t 은

$$m_t = m_h + m_s + m_m \quad (5.1)$$

식 5.1과 같이 선체의 질량 m_h 과 선체 내부의 고정된 질량 m_s , 내부의 이동질량 m_m 의 합으로 정의된다.

무인 수중 글라이더의 병진운동의 운동방정식은

$$\sum \vec{F}_G = \frac{d}{dt}(\vec{L}_G) \quad (5.2)$$

$$m(\dot{v}_0 + \omega \times v_0 + \dot{\omega} \times r_G + \omega \times (\omega \times r_G)) = F_0 \quad (5.3)$$

와 같이 표현되고, 식 5.2의 \dot{v}_0 , $\dot{\omega}$ 는 선체 고정좌표계에 대한 글라이더 속도의 미분이다. 회전운동의 운동방정식은

$$\sum \vec{M}_G = \frac{d}{dt}(\vec{H}_G) \quad (5.4)$$

$$I_0 \cdot \dot{\omega} + \omega \times (I_0 \cdot \omega) + m r_G \times (\dot{v}_0 + \omega \times v_0) = M_0 \quad (5.5)$$

와 같이 표현된다.

m 은 질량이며, $\dot{\quad}$ 은 선체 고정좌표계에 대한 미분이다. 식 5.2~5을 이용하여

유도된 수중에서의 글라이더를 포함하는 강체의 6자유도 운동방정식을 다음과 같이 유도하였다.

$$m[\dot{u} - vr + wq - x_G(\dot{q}^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + Z_G(pr + \dot{q})] = X \quad (5.6)$$

$$m[\dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(pq + \dot{r})] = Y \quad (5.7)$$

$$m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(pr - \dot{q}) + y_G(qr + \dot{p})] = Z \quad (5.8)$$

$$I_{xx}\dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr - I_{yz}(q^2 - r^2) + I_{xy}(pr - \dot{q}) - I_{zx}(pq + \dot{r}) + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] = K \quad (5.9)$$

$$I_{yy}\dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})pr - I_{zx}(r^2 - p^2) + I_{yz}(pq - \dot{r}) - I_{xy}(qr + \dot{p}) + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] = M \quad (5.10)$$

$$I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq - I_{xy}(p^2 - q^2) + I_{zx}(qr - \dot{p}) - I_{yz}(pr + \dot{q}) + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr + wq)] = N \quad (5.11)$$

식 5.6은 무인 수중 글라이더의 Surge, 5.7은 Sway, 5.8은 Heave, 5.9는 Roll, 5.10은 Pitch, 5.11은 Yaw를 나타낸다[8].

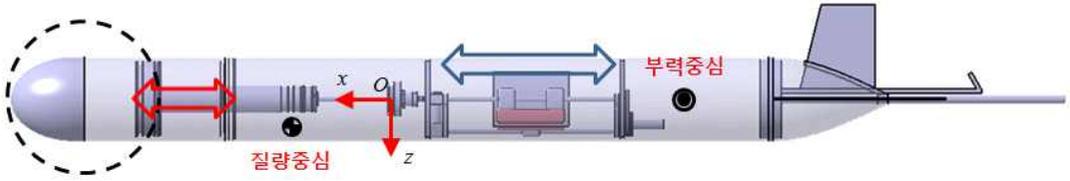


Fig. 5.3 Movement of the piston and movable mass [15]

일반적인 수중 운동체와 다르게 부력 및 무게중심을 제어하기 때문에 무인 수중 글라이더의 동역학 모델링 시 추가적으로 Fig. 5.3와 같이 내부 이동 질량의 이송 및 회전운동과 부력조절장치의 피스톤의 운동에 따라 무인 수중 글라이더의 질량중심, 부력중심, 질량 관성모멘트의 실시간 변화를 추가적으로 고려해야 한다.

운동시뮬레이션 시 앞에서 유도한 글라이더의 운동방정식을 완성하기 위해서는 수중에서 운항하는 글라이더에 작용하는 유체력이 필요하다. 글라이더에 작용하는 유체력은 글라이더의 가속-감속 운동에 의해 발생하는 동유체력으로 나눌 수 있다. 정유체력은 부력과 중력에 의한 항으로 나타내어지며 동유체력은 부가질량, 선형감쇠, 비선형감쇠 등 여러 가지 항으로 나타내어진다. 동유체력에서 가장 지배적인 항의 유체력계수는 부가질량, 선형감쇠, 비선형감쇠 항이다. 이외에도 글라이더의 운동에 따라 또는 글라이더의 형상에 따라 각 방향의 운동이 서로 연성관계를 갖는 계수도 존재한다.

앞의 고려사항에 대하여 완성된 6자유도 유체력식은

$$X = x_{u|u}|u|u| + X_u \dot{u} + X_{wq} wq + X_{qq} qq + x_{vr} vr + X_{rr} rr - (W - B) \sin \theta \quad (5.12)$$

$$Y = Y_{v|v}|v|v| + Y_{r|r}|r|r| + Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} + Y_{ur} ur + Y_{pw} pw + Y_{pq} pq + Y_{uv} uv + (W - B) \cos \theta \sin \phi \quad (5.13)$$

$$Z = Z_{w|w}|w|w| + Z_{q|q}|q|q| + Z_w \dot{w} + Z_q \dot{q} + Z_{uq}uq + Z_{vp}vp + Z_{rp}rp + Z_{uw}uw + (W+B)\cos\theta\cos\phi \quad (5.14)$$

$$K = K_{p|p}|p|p| + K_p \dot{p} + (y_G W - y_B B)\cos\theta\cos\phi - (z_G W - z_B B)\cos\theta\sin\phi \quad (5.15)$$

$$M = M_{w|w}|w|w| + M_{q|q}|q|q| + M_w \dot{w} + M_q \dot{q} + M_{uq}uq + M_{vp}vp + M_{rp}rp + M_{uw}uw - (z_G W - z_B B)\sin\theta - (x_G W - x_B B)\cos\theta\cos\phi \quad (5.16)$$

$$N = N_{v|v}|v|v| + N_{r|r}|r|r| + N_v \dot{v} + N_r \dot{r} + N_{ur}ur + N_{pw}pw + N_{pq}pq + N_{uv}uv + (x_G W - x_B B)\cos\theta\sin\phi + (y_G W - y_B B)\sin\theta \quad (5.17)$$

이다. 식 5.12~17은 정유체력 및 동유체력을 고려한 식이다.

본 연구에서는 주요 유체력 계수들을 PWM 실험, CFD 해석 및 경험식을 사용하여 구하였다.

5.2 시뮬레이션 및 해석

앞서 유도한 비선형 6자유도 운동방정식의 유효성을 검증하기 위하여 Matlab/Simulink를 사용한 시뮬레이터를 구성하였고, 부력제어기와 내부이동질량의 위치를 제어하기 위한 PID제어기를 설계하여 수중글라이더의 운동특성을 알아보는 시뮬레이션을 수행하였다.

제어 입력은 내부 이동질량의 x_0 방향의 이동거리 x_m 과 회전각도 ϕ_m 그리고 부력조절장치의 피스톤의 위치 x_p 로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션에서 사용된 유체력 미계수는 설계한 수중글라이더와 형상이 비슷한 REMUS의 유체력 미계수를 사용하였다. 시뮬레이션 시 조류의 흐름등 어떤 외란의 영향 없다고 가정 후 시뮬레이션을 수행하였다.

수직방향의 운동특성을 알아보기 위하여 부력 조절제어 장치를 이용하여 수심제어를 수행하고 내부 이동질량의 회전운동을 제외한 전후 운동만을 고려하여 특정 종동요각을 유지할 수 있도록 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5.4에서 보이듯 특정한 목표수심에 도달 하게 되면 부력제어기와 내부이동질량의 전후 운동을 통하여 수중 글라이더가 수직운동을 하며 전진 하는 것을 알 수 있다.

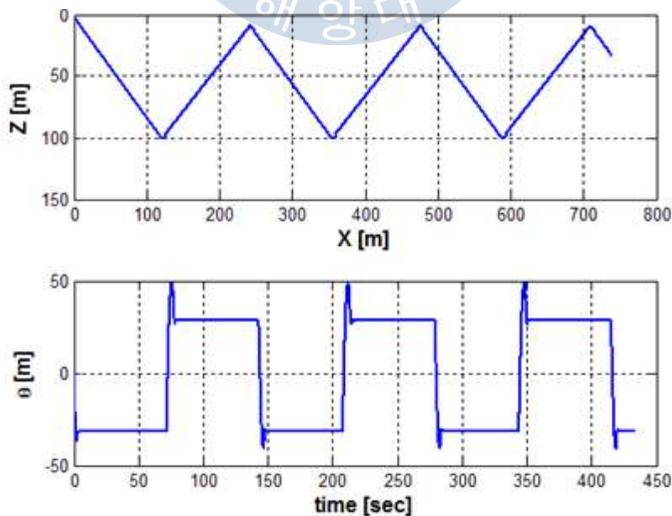


Fig. 5.4 Vertical plane motion

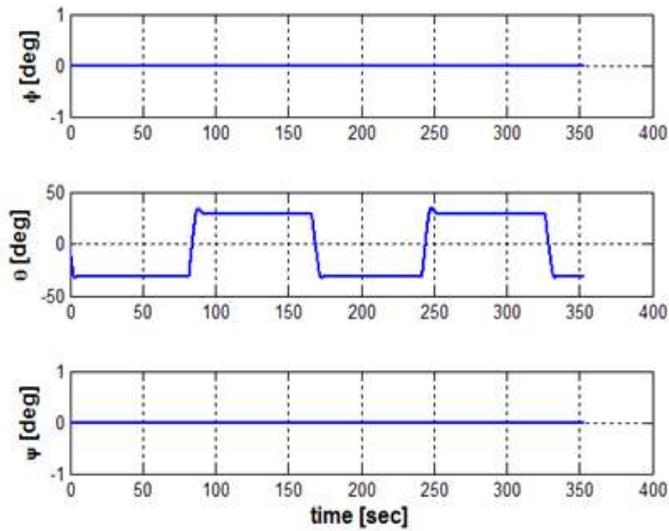


Fig. 5.5 Rotational angles

이때 글라이더의 방향은 Fig. 5.5와 같이 횡동요 각도는 0° 이고 하강 운동 시에 종동요 각도는 -30° 를, 상승 운동 시에는 $+30^\circ$ 를 유지하는 것을 볼 수 있다.

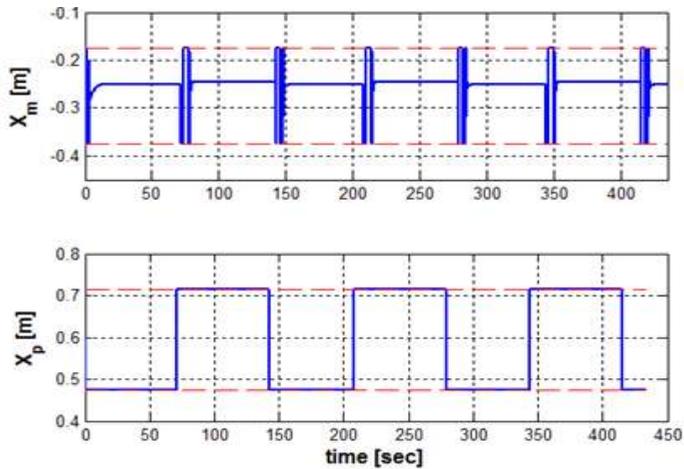


Fig. 5.6 Movable mass and buoyancy piston position

수직방향 운동의 시뮬레이션을 수행했을 경우 제어 입력값의 변화를 Fig. 5.6에 나타내었다. 중동요각을 유지 하기위해서 내부 이동질량체가 이동하는 것을 확인할 수 있다. 또한 하강 운동 시에 부력제어기의 피스톤이 뒤로 움직여 내부 체적을 줄이고 상승 운동 시에 부력제어기의 피스톤이 앞으로 움직여 내부 체적을 늘리는 것을 확인할 수 있다.

내부 이동질량의 회전운동을 고려하여 내부 이동질량의 각도가 ϕ_m 를 가질 때의 시뮬레이션을 수행하였다. 내부 이동질량의 각도를 10° 로 하였을 시 수중 글라이더의 운동궤적을 Fig. 5.7에 나타내었다. 아무런 외부 힘이 작용하지 않을 때 내부질량의 각도만을 가지는 것으로도 나선형의 궤적을 그리며 하강운동을 하는 것을 알 수 있다. 내부 이동질량의 일정한 각도로 인해 초기 글라이더의 횡동요각과 중동요각이 일정하지 못하지만 10초 이후에 일정해지는 경향을 보이는데 이는 내부 이동 질량체의 이동속도를 고려하지 않고 이동위치만을 고려하였기 때문에 발생하는 것으로 보인다.

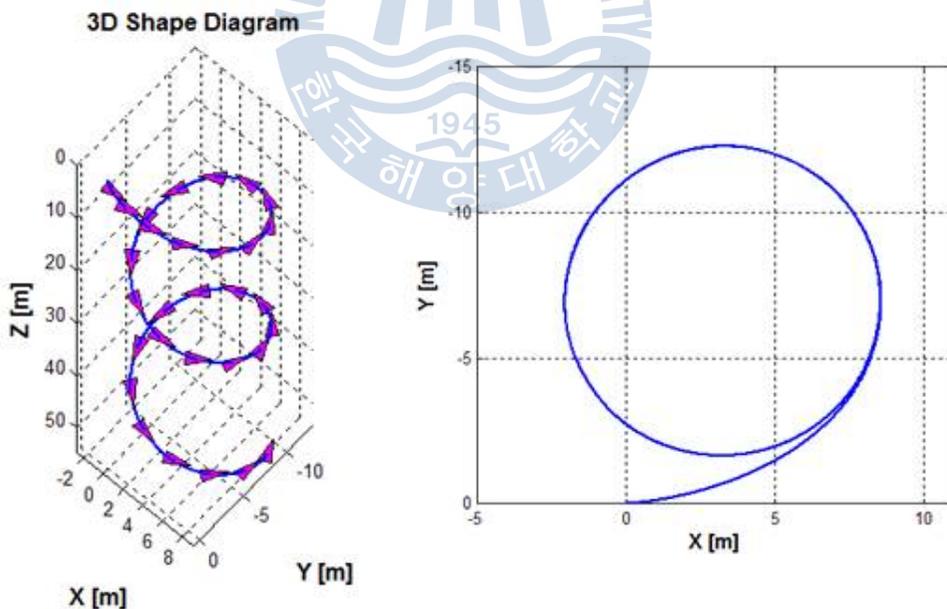


Fig. 5.7 Simulation of spiraling motion

제 5 장 결 론

본 논문에서는 무인 수중 글라이더의 형상설계 및 검증을 통하여 목표에 적합한 형태의 본 글라이더를 설계하였다.

선체 형상을 결정함에 있어 항력을 최소화하여 낮은 유체저항을 갖도록 Myring Profile을 적용하여 선수부 및 선미부의 형상을 설계하였고, 단동식 유압밸브를 사용한 부력제어기와 동체로 구성된 본 글라이더의 선체 및 동체 내부에서 무게중심의 변화를 통하여 자세를 제어할 수 있는 자세제어기의 설계를 하였다. 이 자세제어기는 한정된 내부 공간에 있어 많은 중량을 차지하는 전지를 활용하여 내부공간을 확보할 수 있도록 설계하였고, 수밀은 O-Ring을 사용하여 경제적 및 효율적인 구조로 설계 개발하였다.

무인 수중 글라이더가 최대 목표 수심에서 수압을 견딜 수 있도록 좌굴해석을 통하여 동체의 두께선정 및 설계에 대한 검증을 하였다.

또한 수중에서 최대 각을 가져야 하는 환경인 해수면에서의 정적 평형상태를 확인해 봄으로써 본 글라이더의 자세 제어능력 및 자세제어기의 설계 신뢰성을 뒷받침할 수 있었다.

마지막으로 무인 수중 글라이더의 비선형 6자유도 동역학 모델링 및 운동특성을 해석하기 위하여 시뮬레이션을 수행함으로써 운동성능을 파악할 수 있었다.

향후 설계된 무인 수중 글라이더를 제작하여 수조 및 해양에서 실험 및 수정을 통한 성능평가 및 검증할 예정이다.

참고문헌

- [1] Baumgartner, M.F., & Fratantoni, D.M., 2008. Diel periodicity in both sei whale vocalization rates and the vertical migration of their copepod prey observed from ocean gliders. *Limnol Oceanogr* 53, 2197-2209.
- [2] Eriksen, C.C., et al., 2001. Seaglider: A longrange autonomous underwater vehicle for ceanographic research. *IEEE J Oceanic Eng.* 26:424-436.
- [3] Fiorelli, E., Bhatta, P., Leonard, N.E., and Shulman, I., 2003. Adaptive sampling using feedback control of an autonomous underwater glider fleet. *Proc. Symp. Unmanned Untethered Submersible Technology*, pp.1-16.
- [4] Fossen, T.I., 1994. Guidance and Control of Ocean Vehicles. *John Wiley & Sons, New York.*
- [5] Graver, J.G., 2005. Underwater gliders: dynamics, control and design. pp 236-238
- [6] Kinsey, J.C., Eustice, R.M. and Whitcomb, L.L., 2006. A survey of underwater vehicle navigation: Recent advances and new challenges. *Proc. 7th IFAC Conf. Manoeuvring Control Mar. Craft*, pp.1-12.

- [7] Klinck, H., et al. 2011. Passive-acoustic monitoring of odontocetes using a Seaglider: First results of a field test in Hawaiian waters. *J Acoust Soc Am*, 129(4): 2536.
- [8] Leonard, N.E and Graver, J.G., 2001. Model-Based Feedback Control of Autonomous Underwater Gliders. *IEEE. J. of Oceanic Engineering*, Vol 26, No 4, pp 633-645.
- [9] Myring, D.F., 1976. A theoretical study of body drag in subcritical axisymmetric flow. *Aeronautical Quarterly*, vol. 27, pp.186-194.
- [10] Roemmich, D.S. Riser, R.D. and Y. Desaubies, 2004. Autonomous profiling floats; workhorse for broad-scale ocean observations. *Mar Tech Soc J.* 38(2).
- [11] Sherman, J., R.E. Davis, W.B. Owens, and J. Valdes, 2001. The autonomous underwater glider "Spray". *IEEE J Oceanic Eng.* 26:437-446.
- [12] Stommel, H., 1989. The slocum mission. *Oceanography*, 2(1): 22-25.
- [13] Teledyne Webb Research, 2013. Slocum Glider <http://www.webbresearch.com/slocumglider.aspx> [Accessed 10 June 2013]
- [14] Webb, D.C., Simonetti, P.J., and Clayton, P.J., 2001. SLOCUM: An Underwater Glider Propelled by Environmental Energy. *IEEE J. Oceanic Eng.* 26:447-452.

- [15] Zhang, S., Yu, J., Zhang, A., and Zhang, F., 2013. Spiraling Motion of Underwater Gliders: Modeling, Analysis, and Experimental Results. *Ocean Engineering*, Vol 60, pp 1-13.

