

ROV 설치를 위한 케이블 A-Frame 설계 연구

조규남* · 송하철** · 이억재***

*홍익대학교 조선해양공학과

**서울대학교 해양시스템공학연구소

***홍익대학교 조선해양공학과 대학원

Design of Cable and A-Frame for operation of ROV

KYU-NAM CHO*, HA-CHEOL SONG**, UK-JAE LEE***

**Department of Naval Architecture and Ocean Engineering Hongik University, Jochiwon, Korea*

KEY WORDS: A-Frame, ROV, Cable,

ABSTRACT: In this paper, various kinds of A-Frame are surveyed and classified according to their functional ability and sizes. Based on the study, a A-Frame that is suitable for ROV/AUV operation is designed. Basic theoretical structural requirements are applied and relevant Finite Element Analysis are carried out for the verification of the sound workability of the proposed A-Frame. Final configuration and the specification are proposed for the usage of ROV/AUV operation

1. 서 론

오늘날 점점 더 심각해지고 있는 각종 자원 부족으로 해양 자원 확보의 중요성이 증대되고 있다. 해양이 가지고 있는 엄청난 양과, 다양한 종류의 자원들을 개발하기 위한 노력이 활발해지면서 해양에 대한 상세한 정보가 필요하게 되었으며, 또한 해저에 대한 다양한 조사작업을 수행하기 위하여 잠수함의 개념에서 출발한 유인 잠수정이 개발되어 사용되어 왔다.

그러나 최근 들어 원격조종 기술이 발달하고 유인잠수정 운용자의 지속적인 양성이 어려워짐에 따라 무인잠수정이 개발되었다. 우리 나라 근해지역과 우리의 새로운 해양영토가 될 수 있는 태평양의 주요 지역을 탐사할 수 있는 심해 무인잠수정을 우리 기술로 개발하여 활용하기 위한 계획의 수립이 절실히 필요하다. 이에 맞추어서 우리 나라에서도 80년대 이후에 계획을 수립하고 해양조사를 해왔다. 심해저 탐사나, 해양 연구, 어군조사 등에 이용할 수 있는 ROV/AUV가 필요하게 되었고, 이를 운용할 수 있는 다목적의 모선 즉 조사선이 필요하게 되었다. 조사선에는 연구보조장비, 탐사장비, 관측보조장비 등 다양한 장비가 실리는데 여기에서는 그러한 장비들 중에서 A-Frame과 Cable의 거동에 관심을 가지게 되었다.

먼저 기존에 제작된 각종 조사선의 A-Frame로는 심해 ROV/AUV를 운용할 수 없기 때문에 실제 조사선에서 사용할 수 있는 A-Frame을 정력학적인 관점에서 설계를 해보았고, 이를 바탕으로 A-Frame Cable의 연성동역학 해석을 수행해 보았다. 또한 Cable과 연관해서 동적 구조 모델링 기법 개발과 동적 해석 기법 개발을 연구하였다.

이 방법을 효율성 검증을 위하여 하나의 복합적 시스템에 대한 설계 해석을 통하여 개발된 기법의 효율성을 확인하였다.

2. A-Frame의 분류 및 초기설계

2.1 A-Frame의 대표적 분류

각국의 조사된 바와 같이 A-Frame은 다양한 목적과 기능을 가지고 있다. 여기에서는 이러한 A-Frame의 종류를 나누고 그 기능을 알아보기로 하겠다. A-Frame은 그 모양이 목적에 따라서 달라진다. A-Frame을 목적과 용량에 따라서 분리해보면 다음과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다.

첫 번째로는 어업이나 어군조사를 목적으로 하는 것으로 다른 것이 비해서 조금은 작고 다양한 기능을 할 수 있게 블록 등이 많이 달려있는 것이다. 모양은 아래 보는 그림(A)와 같다.

두 번째는 다목적용으로 사용하는 것으로 해양지질조사나 부이 투여나, 심해저의 망간단괴 조사 등을 수행하는데 사용하고, 움직임에 용이하게 되어있다. 형태는 아래 그림(B)와 같으며, 중형 조사선에서 사용하고 있다. 현재 가장 많이 사용되고

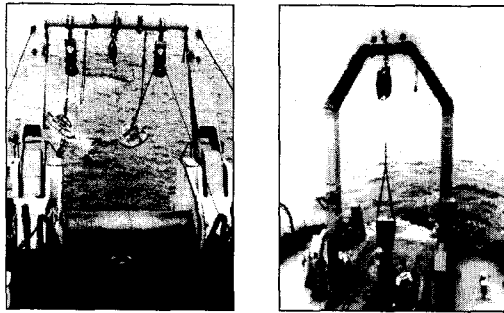
제1저자 조규남 연락처: 충남 연기군 조치원읍 신안리 300

홍익대학교 조선해양공학과

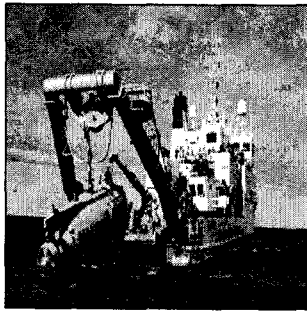
041-860-2604 kncho@wow.hongik.co.kr

있다. 지금 온누리호에 설치되어 있는 것과 비슷하다.

세 번째는 ROV/AUV 등과 같은 대형의 무인잠수정이나, 유인잠수정 등과 같은 조사정을 견인하고 운반하는 조사선에 쓰이는 것이다. 이 경우는 잠수정을 예인하기 위해서는 대형 크레인과 같이 운용 되어야하며, Stern에는 충분한 작업 공간이 있어야 하고 ROV/AUV를 보관할 수 있는 공간도 확보해야 한다. 또한 배의 심한 흔들림에 따른 부가 하중에 견딜 수 있도록 충분한 강도를 지녀야 한다.



(A) (B)



(C)

Fig.1 목적에 따른 A-Frame의 종류

2.2 A-Frame의 분석 및 초기설계

지금까지 조사한 A-Frame을 보면 그 쓰임이나 용도에 따라서 다양한 모양을 가지고 있고 또한 배의 크기에 비례해서 A-Frame의 크기나 모양이 변하고 있다. 조사분석을 통하여 다음과 같은 3가지 유형의 A-Frame을 분류 추출하였다.

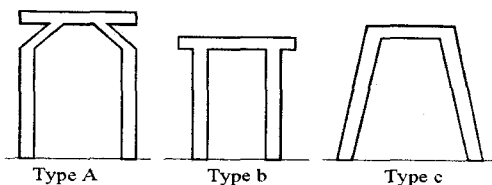


Fig.2 A-Frame의 TYPE

먼저 TypeA을 보면 반고정식으로 다양한 작업수행이 어렵다. 따라서 작업능률을 올리기 위해서 폭이 좁은 만큼 높이가 다른 것에 비해서 조금 높다. 작은 어군 조사선이나, AUV를 운

용하기 알맞다 선박의 LOA는 35~50m정도이고, Breadth는 8m 이하, Tons은 1500tons 이하이며, 최대 하중은 10tons 이하이다.

TypeB를 보면 A-Frame이 안정적인 모양을 가지고 있으며 보통의 조사선에서 가장 많이 사용하고 있다. 제작과 운용의 편리함이 좋다. 좌우 상하 운동에 대해서 대응하기가 좋고, 추가 장비의 탑재가 용이하다. 일반적인 형상이다. 선박의 LOA는 50~80m정도이고, Breadth는 8~15m, Tons은 1500~3000tons, 최대 하중은 10~20tons이다.

TypeC는 대형선에서 쓰이는 것으로 용량이 큰 경우에 쓰인다. 사다리꼴의 모양은 극한 하중에 대한 안전성이 높다. 작업 공간이 넓어서 큰 물체를 하역하고 진수하기 용이하다. 대형의 ROV를 운용할 때 사용한다. 선박의 LOA는 80m정도이고, Breadth는 15m 이상, Tons은 3000tons 이상이며, 최대 하중은 20tons 이상이다.

위에 나와 있는 여러 개의 Type중에서는 현재 개발하려는 ROV용으로 운용하기에 가장 적합한 것은 Type 2로 분석되었다. 다양한 기능을 지니고 있고, 또한 추가 장비의 탑재가 용이함으로 다양한 기능을 수행할 수 있다.

새로운 Type의 A-Frame 설계하는 방법에는 설계자에 따라 여러 가지가 있을 수 있고, 또한 얻어지는 결과가 다소 차이가 생기는 것이 보통이다. 여기서 일반적으로 사용되고 있는 Design spiral, Parametric study, Optimum design등을 사용하였다.

여기서 제안된 A-Frame의 주요 제원은 폭이 10m이고 높이가 12m이며, 단면은 직경이 30cm이고 두께가 2cm인 원형단면이다.

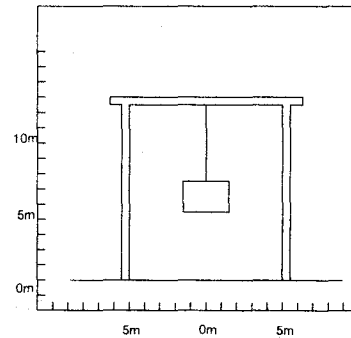


Fig.3 제안된 A-Frame의 Shape

여기에서 사용되어진 ROV와 심해진수장치의 요목을 보면, ROV의 크기는 3×1.5×2m(L,B,D)이며, 최대 수심이 약 6000m이며, Weight는 약 3ton 정도이다. 또한 심해진수장치의 크기는 2.5×1.3×1.3m(L,B,D)이며, Weight는 약 1.5ton정도이다. 그리고 모선의 주요제원은 전장이 63.8m, 선폭 12m, 흘수 5.15m, 총톤수 1,422,000GRT 이다.

3. A-Frame의 기본적인 Dimension 및 구조강성계수 결정

3.1 A-Frame의 기본적인 Dimension 및 구조강성계수

3.1.1 상단 프레임과 좌우 프레임의 기본계수

위에서 제시된 모델을 가지고 각 부분별로 걸리는 하중을 계산하고 각 요소별로 Dimension 및 구조강성계수 결정해보겠다.

A-Frame을 일차적으로 간략화 시키면 다음과 같이 모델링 된다.

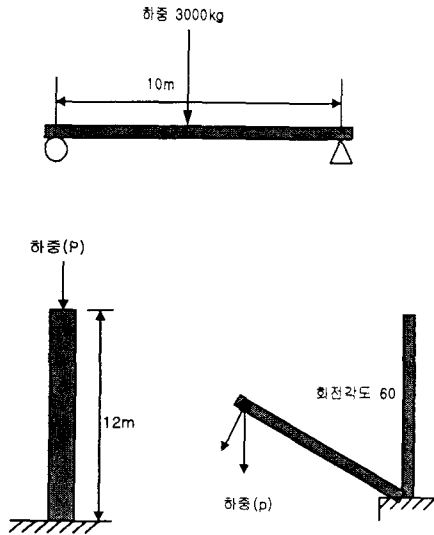


Fig.4 상단 프레임과 좌우프레임의 모델링

상단의 프레임은 심해 진수장치가 약 3000kg이므로 한가운데 집중하중이 받는 것으로, 길이가 10m이고, 양단은 단순히 해석하면 다음 식과 같은 최대 모멘트와 응력이 발생된다.

$$M = \frac{P \cdot L}{4}, \quad \sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (1)$$

그리고 좌우 프레임은 일차적으로 문제가 되는 것은 좌굴에 대한 검토이다. 이 경우 하단은 고정되고 상단은 자유로운 장주라 생각하면 좌굴에 대한 검토를 위하여 Euler 공식에 따라 안전성을 검토하여야 한다.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot l^2} \quad (2)$$

ROV의 무게가 약 3000Kg이므로 한쪽 기둥에 걸리는 하중(P)은 1500Kg 이고, 높이는 12m인 경우에 대한 수치 계산을 수행하여야 한다. 또한 굽힘과 조합으로 인한 안전도 검사를 위하여 다음과 같은 2개의 관계식을 이용하여 안전성을 검토하여야 한다.

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}, \quad \tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (3)$$

여기서 T는 $P \cdot \cos 30^\circ \times d = T$ 이고 d는 중심으로부터 양단까지 떨어진 거리의 1/2를 나타낸다. 기본적으로 이상

과 같은 기본적인 수치 검증을 수행해 보고, 다음으로는 FEM과 같은 방법으로 정밀한 수치해석을 수행하면 되겠다.

3.2 A-Frame의 설치 및 운동을 위한 선박의 특성 분석

한편 A-Frame의 작동을 위하여 기존의 선박이 작업 시에 운동학적으로 안정한지를 검토하여야 한다. 다음과 같은 사항을 검토하여야 한다.

3.2.1 배수량과 배수 톤수

배수량(displacement)은 배수용적과 해수비중의 곱으로 표시하는 배수용적(displacement in volume)의 만제홀수선 아래의 배의 체적이기 때문에 배수량 계산은 바로 그 체적을 구하는 것이다.

3.2.2 부심의 위치

부심은 배의 중량에 저항하여 배를 뜨도록 하는 힘으로서 배의 각 부분에 작용하지만 편의상 그 힘이 한 점에 작용하고 있다고 가정을 하면 그 작용점이 바로 부심(center of buoyancy)이 되면서 해수가 홀수선 아래 이 배에 침입한 체적의 중심이 된다.

3.2.3 매cm당 침 하 배수 톤수 (Tons Per 1cm immersion)

배는 화물을 실으면 가라 안고 화물을 내리면 뜬다. 그런데 홀수는 화물의 중량과 같은 배수량이 될 때까지 변화하기 때문에 홀수가 1cm변화하면 배수량이 얼마나 변하는가? 다시 말해서 배의 홀수를 1cm 변화시키는데 몇 톤의 중량이 필요한가를 알고 있으면 배수량 계산을 하는데 매우 편리해진다. 이것을 매cm당 침 하 배수톤수라 하고 TPC로 나타내며 홀수면의 면적을

$A_w (m^2)$, 비중을 $\gamma (t/m^3)$ 라고 하면,

$TPC = (A_w \times \gamma) / 100 (t/m)$ 이다. 이를 이용하여 ROV 설치 시 선박의 홀수 변화를 알 수 있다.

3.2.4 가로 메타센터의 높이

기선에서부터 가로 메타센터까지의 높이 (KM_T)는 기선으로부터 부심까지의 높이 (KB)와 가로메타센터 반지름 (BM_T)과의 합과 같다. 가로 메타센터 반지름 (BM_T)은 배수용적을 $\nabla (m^3)$, 홀수면의 선체 중심선에 관한 2차 관성모멘트를 $I_T (m^4)$ 라고 하면 $BM_T = I_T / \nabla (m)$ 이다.

3.2.5 세로 메타센터의 높이와 부면심의 위치

세로 메타센터 반지름 (KM_L)은 기선으로부터 부심까지의 높이 (KB)와 세로 메타센터 반지름 (BM_L)과 합이다.

(BM_L)은 배수용적을 $\nabla (m^3)$, 홀수면의 부면심을 통해 중심선에 직교하는 축에 관한 모멘트를 $I_L (m^4)$ 라고 하면 $BM_L = I_L / \nabla (m)$ 이다.

3.2.6 매cm당 변화 트림 모멘트

매cm당 변화 트림 모멘트는 배가 1cm의 트림 변화를 일으켰을 때에 필요한 모멘트이다.

$$MTC = (W \times GM_L) / (100 \times L) (t \cdot m)$$

세로경사 문제를 취급하는 경우에 매우 중요 인자이다.

4. 케이블 -A Frame-선체의 동적 거동 연계성

4.1 케이블과 A-Frame의 이상화된 모델링

케이블과 A-Frame 선체는 아래 요소와 같은 질량, 스프링, beam과 같은 요소로 이상화된 모델을 형성화하였다.

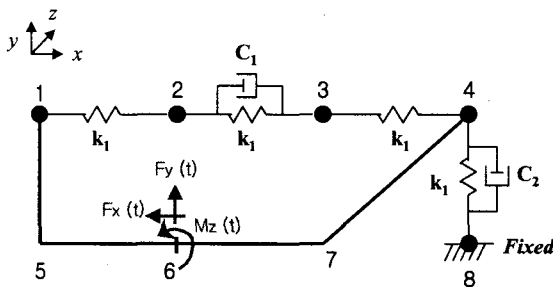


Fig.5 Idealized model for the analysis of harmonic response

4.2 해석결과

모션의 운동 중에 다음과 같이 Heave motion, Pitch motion, Sarge motion에 대하여 다음과 같은 각각의 결과를 얻었다.

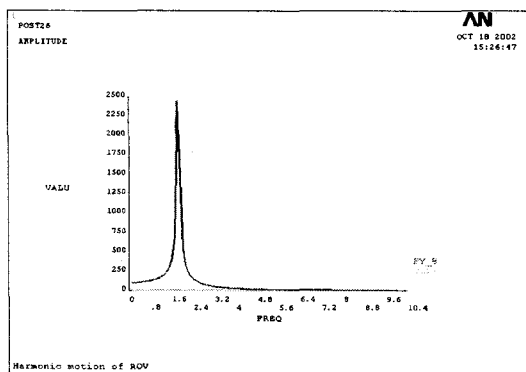


Fig.6 Amplitude of tension at free surface vs. loading freq. in heave motion (at free surface)

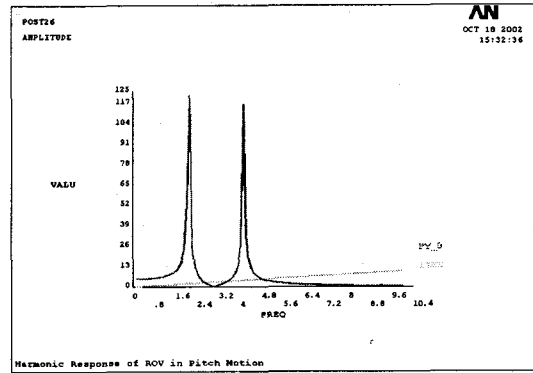


Fig.7 Amplitude of tension at free surface vs. loading freq. in pitch motion (at free surface)

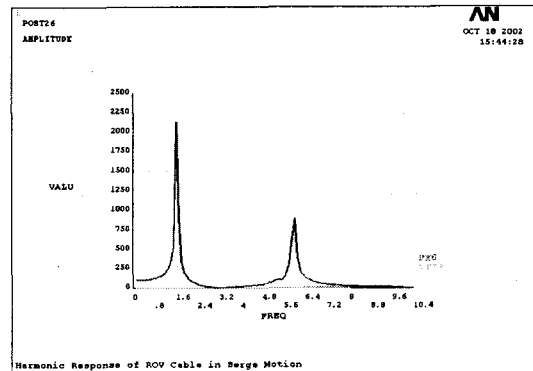


Fig.8 Amplitude of tension at free surface vs. loading freq. in sarge motion (at free surface)

5. 결 론

본 논문에서는 실제 조사선에서 사용할 수 있는 A-Frame을 정력학적인 관점에서 설계를 해보았고, 이를 바탕으로 A-Frame Cable의 연성동역학 해석을 수행해 보았다. 또한 Cable과 연관해서 동적 구조 모델링 기법 개발과 동적 해석 기법 개발을 연구하였다.

이 방법을 효율성 검증을 위하여 하나의 복합적 시스템에 대한 설계 해석을 통하여 개발된 기법의 효율성을 확인하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 전세계적으로 운용되고 있는 해양조사선과 A-Frame의 자료 수집 및 분석
2. A-Frame의 특성 비교 검토 및 초기 설계 수행
3. 새로운 A-Frame의 제안 및 기초 역학적 해석 수행
4. 유한요소 해석을 통한 구조 역학적 안전성 검토
5. A-Frame의 최종 제원 결정
6. A-Frame이 장착된 지원선과 ROV와의 거동 분석을 위한 수학적 모델링 및 문제점 검토
7. 구조동역학적(Dynamic)인 해석을 통한 안전성을 확보

참 고 문 헌

- 홍석원, 임용곤, 이관목 외, " 차세대 심해저 무인잠수정 개발을 위한 기획조사연구", 한국해양연구소 연구보고서 UCM00051-2266, Nov. 2000.
- Chung, J. S., Whitney, A. K. and Loden, W. A., "Nonlinear Transient Motion of Deep Ocean Mining Pipe", J. Energy Resources Technology, ASME, Vol. 103, pp 2-10., 1981.
- Chung, J. S., and Whitney, A. K., "Axial Stretching Oscillation of an 18,000-ft Vertical Pipe in the Ocean", J. Energy Resources Technology, ASME, Vol. 105, pp 195-200., 1983.
- Hong, S., "Three Dimensional Analysis on Behaviour of Mining Pipe of Deep Seabed Mineral Resources", Proc. ISOPE - Ocean Mining Symposium, Tsukuba, Japan, Nov. 21-22., 1995.
- mTAB*STRESS, users' Manual, Structural Analysis, Inc, 1996
- FEMAP, users' Manual, Enterprise Software Products, Inc, 1996
- James M. Gere, and S.P. Timoshenko, "Mechanics of Material" 청문사, 1991