

심해 무인잠수정 1차 케이블의 동적거동 수치해석

권도영* · 박한일* · 정동호**
*한국해양대학교 해양개발공학부
**한국해양연구원 해양시스템안전연구소

A Numerical Analysis for the Dynamic Behavior of the Umbilical Cable of a Deep-sea Unmanned Underwater Vehicle

DO-YOUNG KWON*, HAN-IL PARK**, and DONG-HO JUNG***

**Div. of ocean Development Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

**Korea Research Institute of Ship and Ocean Engineering, KORDI, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Deep-sea Unmanned Underwater Vehicle 심해무인잠수정, Numerical Analysis 수치해석, Finite Difference Method 유한차분법, Cable Tension 케이블장력, Cable Axial Vibration 케이블 축 방향 진동, Umbilical Cable 1차 케이블

ABSTRACT: Ocean developments gradually move to deep-sea in the 21 century. A deep-sea unmanned underwater vehicle is one of important tools for ocean resource survey. A marine cable plays an important role for the safe operation and signal transmission of a deep-sea unmanned underwater vehicle. The umbilical cable of a deep-sea unmanned underwater vehicle is excited by surface vessel motion and shows non-linear dynamic behaviors. A numerical method is necessary for analysing the dynamic behavior of a marine cable. In this study, a numerical program is established based on a finite difference method. The program is applied to 6000m long cable for a deep-sea unmanned underwater vehicle and shows good reasonable results.

1. 서 론

계 각국은 21세기에 와서 심해 자원개발에 더욱 많은 노력을 기울이고 있다. 우리나라도 심해 망간 단괴나 열수 광산 주변 자원 등을 탐사하고 생산하는 기술을 개발하려는 노력이 활발하다.

심해 자원 탐사를 위한 중요한 도구 중의 하나가 무인 잠수정이다. 무인잠수정은 대단히 고가이므로 사고로 인한 피해는 막심하다. 최근 일본에서는 무인잠수정의 사고가 발생하였으며 이로 인해 무인잠수정의 안전에 대한 국제적인 관심이 환기되었다. 무인잠수정에는 유삭식과 무삭식이 있는데 유삭식인 경우에는 해양케이블이 무인잠수정의 안전에 중요한 역할을 한다 (Fig. 1 참조).

특히, 1차 케이블은 수심이 깊어짐에 따라 길이가 수천m에 달하며 선박의 운동 등과 외란에 의해 복잡한 거동을 한다.

이와 같은 해양 케이블은 해양환경에서 운용될 때 파랑과 조류와 같은 해양환경 하중과 다양한 기능하중을 받게 되므로 이를 설계할 때는 복잡한 하중 인자들을 모두 고려하여 정확한

해석을 필요로 한다. 해양 케이블에 대한 구조해석은 정적해석 외에도 동적해석이 중요한 설계인자가 되므로 정확한 동적해석을 통하여 케이블의 안정성을 확보함과 동시에 그 기능을 충분히 수행할 수 있도록 해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 논문이 많이 발표되었다. (Park et al. 2003, Choo and Caseralla, 1973; Hong and Hong, 1994)

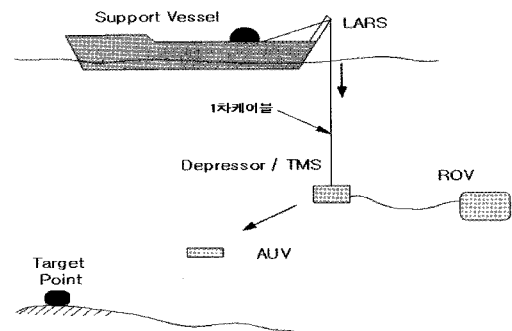


Fig. 1 Deep-sea unmanned underwater vehicle

해양 케이블은 일반적으로 장력에 의해 유발되는 강성이 굽힘강성의 크기에 비하여 지배적이므로, 굽힘강성(bending stiffness) 성분을 무시하고 구조해석을 수행한다. 그러나 장력 성분이 작아지는 경우에는 비선형성이 강하게 나타난다. 저장

제1저자 권도영 연락처: 부산광역시 영도구 동삼동 1번지
051-410-4937 kwon0510@bada.hhu.ac.kr

력 케이블의 문제를 해결하기 위해서는 굽힘강성 성분을 고려하여 수치적 안정성을 확보해야 한다. 저장력 케이블에 대한 논문 또한 다수 발표되어 왔다. (박한일과 정동호, 2002; 정동호 등, 2004)

심해무인잠수정의 1차 케이블(umbilical cable)은 무인 잠수정의 작동을 제어하기 위한 신호를 전달함과 동시에 무인 잠수정을 지지하여 이 시스템의 안정성을 상당부분 유지하는 역할을 한다. 따라서 연구선박(support vessel)의 운동이나 환경외력에 대한 심해무인잠수정의 1차 케이블의 안전을 확보하기 위해 케이블의 동적 거동특성을 정확히 파악할 필요가 있다. 또한 선박이 항진하는 동안 케이블에 매달린 물체의 거동을 파악하는 것도 중요하다 (정동호 등, 2002).

본 연구에서는 유한 차분법을 적용한 수치해석적인 방법을 이용하여 수치해석에 의해 심해무인잠수정 1차 케이블의 비선형 동적 거동을 해석하고자 한다. 1차 케이블에 작용되어지는 장력은 선박의 연직운동에 가장 크게 영향을 받으므로 본 연구에서는 선박의 연직운동에 대한 케이블의 장력 및 변위를 구하고자 한다. 또한 선박의 항진 운동에 대한 케이블의 거동을 파악하고자 한다.

2. 케이블의 3차원 지배방정식

먼저 지배방정식을 유도하기에 앞서 좌표계에 대해 살펴보기로 한다 (박한일과 정동호, 2002).

2.1 좌표계의 정의

본 연구에서는 Fig. 2 과 같은 Euler 3차원 좌표계를 사용하였다.

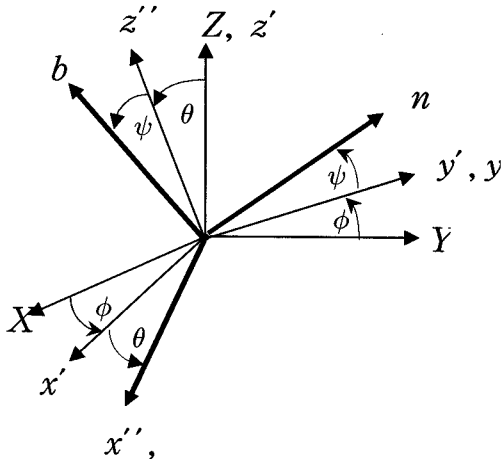


Fig. 2 Coordinate systems and Euler rotation sequence

- ϕ : Z 축을 중심으로 회전한 각도
- θ : y' 축을 중심으로 회전한 각도
- ψ : t 축을 중심으로 회전한 각도

접선방향(t 방향)의 비틀을 무시한 경우에 국부 및 전체 좌표계의 변환은 다음 공식을 통하여 수행된다.

$$\begin{pmatrix} t \\ n \\ b \end{pmatrix} = L_{\psi} L_{\theta} L_{\phi} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서

$$L_{\psi} L_{\theta} L_{\phi} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \phi & \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ \cos \phi \sin \theta & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

그리고 국부적 곡률 성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Omega_t &= -\frac{\partial \phi}{\partial s} \sin \theta \\ \Omega_n &= \frac{\partial \theta}{\partial s} \\ \Omega_b &= \frac{\partial \phi}{\partial s} \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 Ω_t 은 Ω_b 과 θ 의 함수로 표현되므로, 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Omega_t = -\Omega_b \tan \theta \quad (4)$$

위와 유사하게 국부좌표계에서 각속도 벡터성분도 표현될 수 있다.

$$\omega_t = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \sin \theta, \quad \omega_n = \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad \omega_b = \frac{\partial \phi}{\partial t} \cos \theta \quad (5)$$

2.2 케이블에 작용하는 하중성분

케이블이 물속에 있을 때는 케이블 자체의 자중과 부력, 그리고 해양환경에 의한 동수력학적 하중을 받게 된다.

1) 자중과 부력

물속에 있는 모든 물체는 부력을 받게 되는데, 부력을 단위 길이 당 힘으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_B(1 + e) = \rho_w g A \quad (6)$$

여기서, F_B = 단위길이 당 작용하는 부력

ρ_w = 물의 밀도

g = 중력 가속도

e : 케이블의 변형도

A = 케이블의 단면적

위와 같은 부력의 영향으로 케이블의 수중중량은 자체중량에서 부력을 뺀 값이 된다. 공기 중에서 케이블의 중량을 $w = mg$ 라고 하면, 케이블의 수중에서의 중량 w_0 는 다음과 같다.

$$w_0 = (m - \rho_w A)g \quad (7)$$

케이블에 작용하는 유효중량의 성분을 오일러각을 이용하여 국부좌표계로 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{R}_w(1+e) = -w_0 \vec{k} = w_0(n_1 \vec{t} + n_2 \vec{n} + n_3 \vec{b}) \quad (8)$$

여기서,

$$n_1 = -\cos \phi \cos \theta$$

$$n_2 = \sin \phi$$

$$n_3 = -\cos \phi \sin \theta$$

2) 항력성분

국부좌표계에서의 케이블의 각 방향 속도성분을 각각 v_t, v_n, v_b 라 하고, 유체입자의 각 방향 속도성분을 각각 u_t, u_n, u_b 라고 표시하면 각 방향으로 작용하는 항력을 벡터로 나타내면 아래와 같다.

$$\vec{R}_d(1+e) = R_{d1} \vec{t} + R_{d2} \vec{n} + R_{d3} \vec{b} \quad (9)$$

여기서,

$$R_{d1} = -\frac{1}{2} \rho_w d \pi C_{d1} v_{1r} |v_{1r}| (1+e)^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{d2} = -\frac{1}{2} \rho_w d \pi C_{d2} v_{2r} \sqrt{v_{2r}^2 + v_{3r}^2} (1+e)^{\frac{1}{2}}$$

$$R_{d3} = -\frac{1}{2} \rho_w d \pi C_{d3} v_{3r} \sqrt{v_{2r}^2 + v_{3r}^2} (1+e)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$v_{1r} = v_t - u_t$$

$$v_{2r} = v_n - u_n$$

$$v_{3r} = v_b - u_b \quad (11)$$

2.3 케이블의 지배방정식

케이블 미소요소에 대한 자유물체도는 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 우리가 알고자 하는 미지수는 총 10개가 된다.

Fig. 3에 나타나 있는 $T, S_n, S_b, v_t, v_n, v_b, \Omega_n, \Omega_b$ 와 Fig. 2에 나타나 있는 ϕ, θ 이다. 본 연구에선 비틀림의 영향을 무시하였기 때문에 Ψ, Ω_t 와 관련된 성분은 고려하지 않았다.

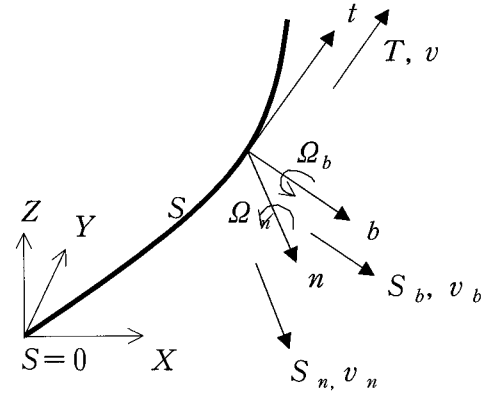


Fig. 3 Free body diagram

10개의 미지수 $T, S_n, S_b, v_t, v_n, v_b, \phi, \theta, \Omega_n, \Omega_b$ 에 대한 해를 얻기 위해서는 10개의 지배방정식이 필요하다.

본 절에서는 운동방정식, 모멘트 평형방정식, 적합조건식, 곡률 관계를 이용하여 지배방정식을 유도한다. 운동방정식을 통해 T, S_n, S_b 에 대한 식을 얻을 수 있고, 모멘트 평형방정식을 통해 Ω_n, Ω_b 를 얻을 수 있다. 또, 적합조건식을 통해서 v_t, v_n, v_b 를 얻을 수 있고, 마지막으로 곡률 관계를 통해서 ϕ, θ 를 얻을 수 있다.

1) 운동방정식

케이블의 미소길이에 대하여 뉴턴의 제2법칙을 적용하고 전 미분으로 전개한 다음 비틀림 효과를 무시하고 3방향 성분으로 운동방정식을 나타내면 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & m \left(\frac{\partial v_t}{\partial t} + v_b \frac{\partial \theta}{\partial t} - v_n \frac{\partial \phi}{\partial t} \cos \theta \right) \\ &= \frac{\partial T}{\partial s} + S_b \Omega_n - S_n \Omega_b + w_0 n_1 + R_{d1} \\ & m \left(\frac{\partial v_n}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t} (v_t \cos \theta + v_b \sin \theta) \right) + m_a \frac{\partial v_{2r}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial S_n}{\partial s} - \Omega_b (T + S_b \tan \theta) + w_0 n_2 + R_{d2} \\ & m \left(\frac{\partial v_b}{\partial t} - v_n \frac{\partial \phi}{\partial t} \sin \theta - v_t \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) + m_a \frac{\partial v_{3r}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial S_b}{\partial s} - S_n \Omega_b \tan \theta - T \Omega_n + w_0 n_3 + R_{d3} \end{aligned} \quad (12)$$

2) 모멘트 평형방정식

내력 모멘트와 외부 분포 모멘트 벡터 사이의 평형을 고려한다. 비틀림을 무시하기 때문에 접선방향 모멘트식은 무시하고 정리하면 모멘트 평형방정식은 다음과 같이 된다.

$$EI \frac{\partial \Omega_n}{\partial s} = \Omega_b^2 EI \tan \theta - S_b (1+e)^3$$

$$EI \frac{\partial \Omega_b}{\partial s} = -\Omega_n \Omega_b EI \tan \theta - S_n (1+e)^3 \quad (13)$$

$$EI \frac{\partial \Omega_b}{\partial s} = -\Omega_n \Omega_b EI \tan \theta - S_n (1+e)^3 \quad (16)$$

3) 적합조건식

마지막으로 적합조건을 적용시킨다. 케이블의 속도, 방향, 변형률에 관계하는 적합관계는 인접하는 케이블 요소 사이에서 적합성을 만족해야 한다. 방향별로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_n}{\partial s} - \Omega_b (v_t + v_b \tan \theta) &= -\left(1 + \frac{1}{EA}\right) \frac{\partial \phi}{\partial t} \cos \theta \\ \frac{\partial v_b}{\partial s} - \Omega_b v_n \tan \theta - \Omega_n v_t &= -\left(1 + \frac{1}{EA}\right) \frac{\partial \theta}{\partial t} \end{aligned} \quad (14)$$

곡률의 정의에 의하여 다음의 두 식을 얻을 수 있다.

$$\Omega_n = \frac{\partial \theta}{\partial s} \quad \Omega_b = \frac{\partial \phi}{\partial s} \cos \theta \quad (15)$$

이상과 같이 운동방정식(뉴턴의 제 2법칙), 모멘트 평형방정식, 적합조건식, 곡률 관계를 이용하여 10개의 지배방정식을 구하였다. 이 10개의 지배방정식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & m \left(\frac{\partial v_t}{\partial t} + v_b \frac{\partial \theta}{\partial t} - v_n \frac{\partial \phi}{\partial t} \cos \theta \right) \\ &= \frac{\partial T}{\partial s} + S_b \Omega_n - S_n \Omega_b + w_0 n_1 + R_{d1} \\ & m \left(\frac{\partial v_n}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t} (v_t \cos \theta + v_b \sin \theta) \right) + m_a \frac{\partial v_{2r}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial S_n}{\partial s} - \Omega_b (T + S_b \tan \theta) + w_0 n_2 + R_{d2} \\ & m \left(\frac{\partial v_b}{\partial t} - v_n \frac{\partial \phi}{\partial t} \sin \theta - v_t \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) + m_a \frac{\partial v_{3r}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial S_b}{\partial s} - S_n \Omega_b \tan \theta - T \Omega_n + w_0 n_3 + R_{d3} \\ & \frac{\partial v_t}{\partial s} + \Omega_n v_b - \Omega_b v_n = \frac{1}{EA} \frac{\partial T}{\partial t} \\ & \frac{\partial v_n}{\partial s} - \Omega_b (v_t + v_b \tan \theta) = -\left(1 + \frac{1}{EA}\right) \frac{\partial \phi}{\partial t} \cos \theta \\ & \frac{\partial v_b}{\partial s} - \Omega_b v_n \tan \theta - \Omega_n v_t = -\left(1 + \frac{1}{EA}\right) \frac{\partial \theta}{\partial t} \\ & \Omega_b = \frac{\partial \phi}{\partial s} \cos \theta \\ & \Omega_n = \frac{\partial \theta}{\partial s} \\ & EI \frac{\partial \Omega_n}{\partial s} = \Omega_b^2 EI \tan \theta - S_b (1+e)^3 \end{aligned}$$

3. 수치해석을 이용한 지배방정식의 풀이

앞에서 얻은 지배방정식을 풀어보도록 한다. 이러한 식들은 비선형 일뿐 아니라 서로 연성되어 있으므로 이론적으로 풀 수가 없다. 따라서 수치해석적인 방법이 필요하다. 본 연구에서는 공간상의 이산화에 위해 유한차분법(Finite Difference Method)을 이용하기로 한다.

앞에서 말한바와 같이 본 연구에서는 시간적분법은 음해법(Implicit Method)과 중앙차분법을 사용하였다.

3.1 음해법을 이용한 지배방정식의 차별화

2절에서 구한 지배방정식을 행렬로 나타내면 다음과 같이 표현된다.

$$M \frac{\partial \vec{Y}}{\partial s} = N \frac{\partial \vec{Y}}{\partial t} + \vec{Q} \quad (17)$$

여기서, \vec{Y} 가 계산에서 구해야 할 미지벡터 행렬이며 다음 식과 같다.

$$\vec{Y} = (T, S_n, S_b, v_t, v_n, v_b, \phi, \theta, \Omega_n, \Omega_b)^T \quad (18)$$

$$\vec{Q} = \begin{pmatrix} S_n \Omega_b - S_b \Omega_n + w_0 \cos \phi \cos \theta - R_{d1} \\ \Omega_b (T + S_b \tan \theta) - w_0 \sin \phi - R_{d2} + m_a \partial v_{2r} / \partial t \\ S_n \Omega_b \tan \theta + T \Omega_n + w_0 \cos \phi \sin \theta - R_{d3} + m_a \partial v_{3r} / \partial t \\ \Omega_b v_n - \Omega_n v_b \\ \Omega_b (v_t + v_b \tan \theta) \\ \Omega_b v_n \tan \theta + \Omega_n v_t \\ \Omega_b \\ \Omega_n \\ EI \Omega_b^2 \tan \theta - S_b (1 + T/EA)^3 \\ - EI \Omega_b \Omega_n \tan \theta - S_n (1 + T/EA)^3 \end{pmatrix} \quad (19)$$

한편 M, N 은 모두 10×10 크기의 사각행렬이 된다. M 의 경우 대각선 성분은 다음과 같으며 그 외 성분은 모두 영이다.

비안으로 조합하여 해를 구할 수 있다.

4. 1차 케이블의 거동특성 예제해석

4.1 상하동요에 따른 1차 케이블의 동적거동 해석

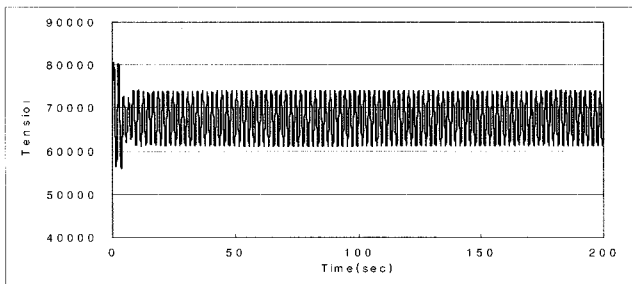
수립된 수치해석 방법을 이용하여 예제해석을 수행한다. 계산에 사용된 케이블 및 런처의 물성치는 아래의 Table 1과 같다. 여기서 케이블에 매달린 런처(Launcher)는 계산의 편의를 위해 집중질량화 하였다.

Table 1 Specification of ROV cable and luncher

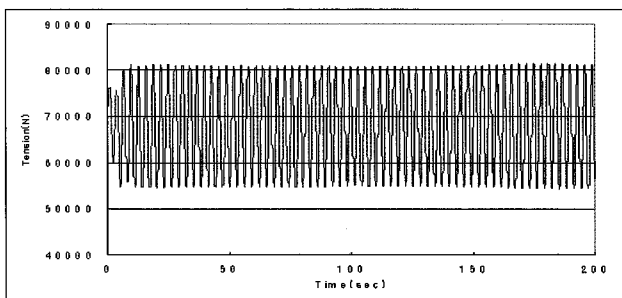
종류	케이블 물성치
케이블 외경	0.0173(m)
해수 중 케이블 단위중량	8.878(N/m)
케이블 탄성계수	5.3E10(N/m ²)
케이블 길이	6,000(m)
해수 중 런처중량	14,175(N)

4.1.1 케이블에 작용하는 장력

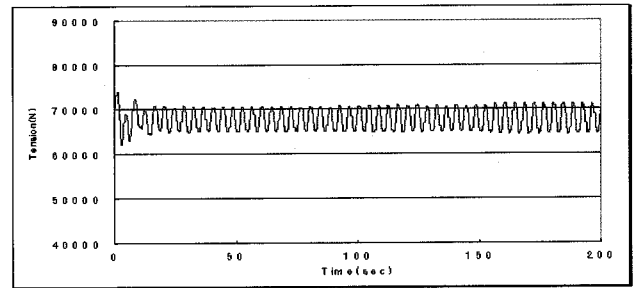
위의 물성치를 이용하여 케이블에 작용하는 장력을 구하였다. 가진 주기는 2초에서 5초까지 1초 간격으로 증가시켰으며 수직방향 가진 진폭은 1m로 두었다. 아래 그림들은 각 주기에 대한 장력의 시간이력을 보여주고 있다.



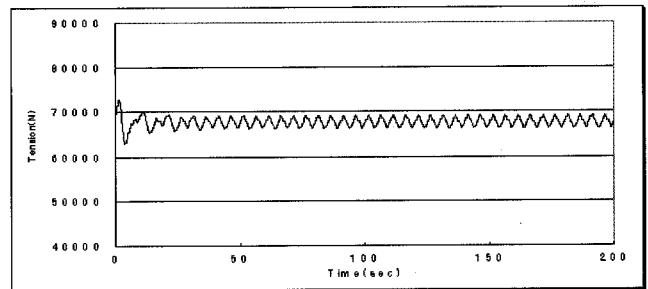
(a) Excitation period of 2sec



(b) Excitation period of 3sec



(c) Excitation period of 4sec



(d) Excitation period of 5sec

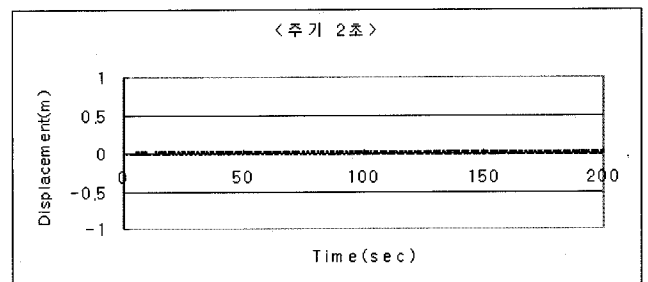
Fig. 4 Cable tension variation at top point for several excitation periods with excitation amplitude being 1m

위의 결과값들을 보면 가진 주기가 3초일 때 가장 큰 장력 응답을 보여준다. 즉, 6,000m 케이블에 런처가 붙어 있는 경우의 수직방향 고유주기가 약 3초 정도인 것을 알 수 있다. 따라서 런처 거동 해석 및 케이블 제원을 결정할 때 가진 주기가 3초인 조건이 중요한 고려 사항임을 알 수 있다.

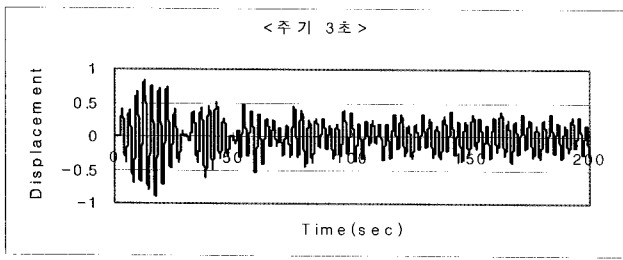
가진 주기가 3초일 때의 장력 변화를 보면, 케이블 및 런처의 수중 무게가 67,443N이므로 동적장력은 정적장력값을 중심으로 변화하는 것을 알 수 있다. 초기 30초 정도의 값은 계산치가 안정되기 이전의 값이므로 그 이후의 값을 정상적인 값으로 보면 약 14,000N의 변화폭을 가지는 것을 알 수 있다.

4.1.2 Cable 끝단에서의 변위

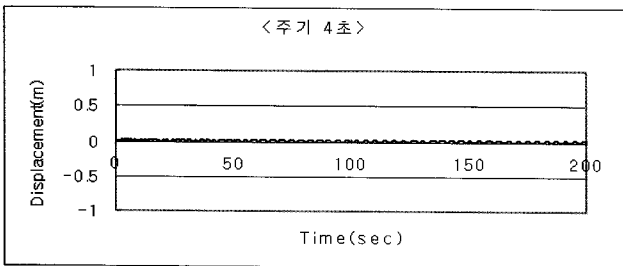
케이블 아래 끝단에서의 변위를 살펴보기로 한다. 마찬가지로 가진 주기는 2초에서부터 5초까지 1초씩 증가시켰으며 가진 진폭은 1m로 두었다.



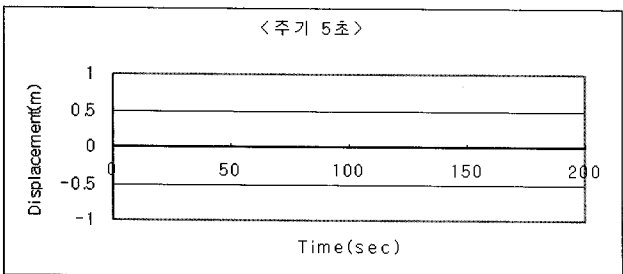
a) Excitation period of 2sec



(b) Excitation period of 3sec



(c) Excitation period of 4sec



(d) Excitation period of 5sec

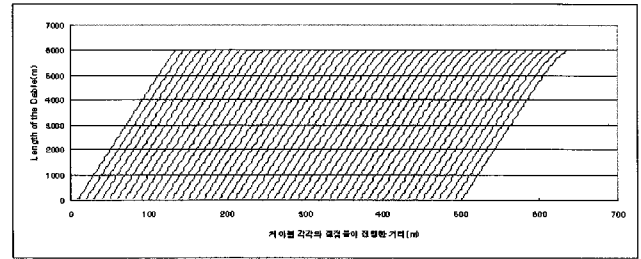
Fig. 5 Cable displacement variation at middle point for several excitation periods with excitation amplitude being 1m

이 결과값을 보면 장력과 마찬가지로 끝단에서의 상대변위도 가진 주기가 3초일 때 다른 주기의 변위들에 비해 매우 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 동적변위의 변화폭은 약 80cm임을 알 수 있으며 이 값을 런처의 거동에 관한 설계 시에 고려해야 한다.

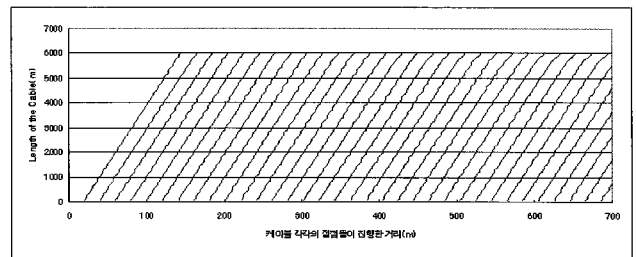
4.2 선박의 항진에 따른 케이블의 거동해석

선박이 1, 2, 3knot(0.51, 1.02, 1.53m/s)로 항진할 때 전체 케이블이 어떤 형상을 보여주며 그 케이블에 걸리는 장력이 얼마인지를 해석하였다. 해석조건은 배가 상하동요를 하는 동시에 위에서 언급된 속도로 직진한다. 상하동요의 가진진폭을 1m, 주기를 3초로 적용하였다. 가동시간 1000초 동안 20초 단위로 케이블의 형태를 나타내었다. 비정상상태의 케이블 형상은 의미가 없으므로 정상상태 이후의 결과만 나타내었다. 수평방향속도는 1knot, 2knot, 3knot의 3가지로 나누었다.

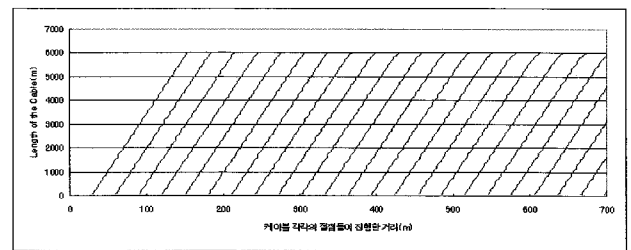
4.2.1 속도 변화에 따른 케이블 형상변화



(a) Ship speed of 1knot



(b) Ship speed of 2knots



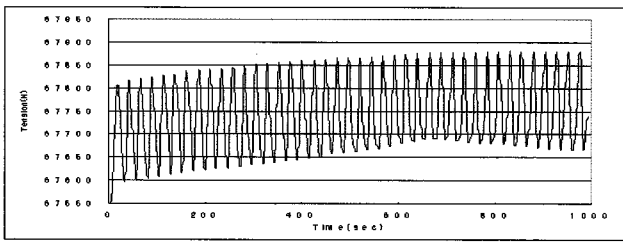
(c) Ship speed of 3knots

Fig. 6 Cable configurations for several ship speeds with heaving amplitude being 1m and period being 3sec

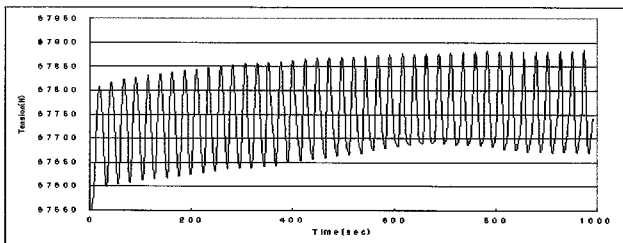
위의 그래프에서 X축은 각각의 절점들이 진행한 거리이고 Y축은 케이블의 길이를 의미하며 6000m의 지점이 수면이고 0인 지점이 바닥을 나타낸다. 결과치를 비교해 보면 같은 시간 1000초를 진행하였지만 속도가 1, 2, 3knot로 다르기 때문에 X방향으로의 진행거리가 다를 수 있다. 기울기의 차이는 미소하지만 속도가 증가 할수록 케이블이 기울어지는 각이 커짐을 알 수 있다.

4.2.2 속도 변화에 따른 케이블 장력변화

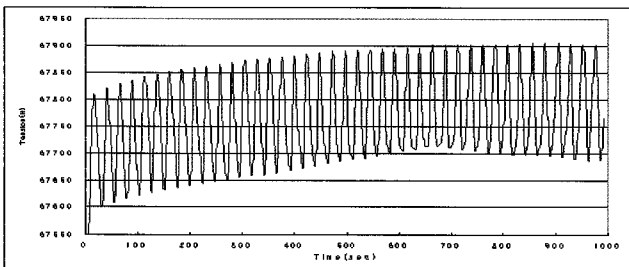
아래에서는 선박의 항진 속도변화에 따른 케이블의 장력값을 계산하였다. 진폭이 1m, 주기를 3초로 상하동요하면서 세 가지 다른 속도, 즉 1, 2, 3knot로 선박이 항진하는 경우에 대해 비교해 보았다.



(a) Ship speed of 1knot.



(b) Ship speed of 2knots.



(c) Ship speed of 3knots.

Fig. 7 Cable tension variation for several ship speeds with heaving amplitude being 1m and period being 3sec

3가지 경우를 비교해 보면 응답 진폭의 크기는 거의 같으나 속도가 증가 할수록 최대 장력 값은 약간 커짐을 알 수 있다. 이것은 속도의 제곱에 비례하는 항력의 증가에 따른 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 연구선박과 ROV 런처를 연결하는 1차 케이블의 동적거동을 파악하기 위해서 수치해석 기법을 수립하였다. 먼저 해양 케이블에 대한 3차원 동적 지배방정식을 유도하였다. 이 지배방정식은 비선형, 연성방정식인데 이 방정식에 대한 해를 구하기 위하여 유한차분법을 이용한 수치해석적 방법을 적용하였으며 유한차분법 중에서도 조건에 비교적 관계없이 안정적인 음해법을 적용하였다. 비선형 방정식을 풀기 위해서 뉴턴-랩슨 방법을 적용하였다.

개발된 수치알고리즘을 이용하여 1차 케이블이 여러 가진 주기에 의해서 어떻게 거동하는지 그 특성을 파악하였다. 먼저 선박의 상하동요에 대해 케이블에 작용하는 장력 및 변위를 계산하였다. 선정된 케이블에 대해서 가진 주기가 3초일 때 가장 큰 응답을 보여주었다. 또한 선박이 상하동요하면서 일정한 속도로 항해할 때의 케이블에 걸리는 장력과 거동을 파악하였으며 속도가 큰 경우에 약간 큰 장력이 걸리는 것을 알 수 있다.

차후 본 전산프로그램에서 가진 방향을 3차원으로 확장하고 또한 런처의 질량을 집중질량 대신에 실질적인 질량으로 적용하고자 한다. 이를 통하여 심해자원 개발 및 탐사용 ROV (Remotely Operated Vehicles)의 거동을 파악하는데 본 프로그램을 활용하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 2004년도 "차세대 심해용 무인잠수정 개발 과제"의 위탁연구 결과의 일부 분이며, 연구에 도움을 주신 관계자 여러분에게 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

박한일, 정동호 (2002). "유한차분법을 이용한 저장력 예인케이블의 비선형 동적해석", 대한조선학회지, 제39권, 제1호, pp 28-37.

정동호, 김종규, 박한일 (2002). "해양탐사장비 예인케이블의 3차원 동적해석에 관한 연구", 한국해양학회지, 제8권, 제2호, pp 203-209.

정동호, 김현주, 박한일 (2004). "수치해석적 방법을 통한 해양심층수 취수용 유연 라지의 거동해석에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제18권 제4호, pp 15-22.

Choo, Y. and Caseralla, M.J. (1973). "A Survey of Analytical Methods for Dynamic Simulation of Cable-Body Systems", J. of Hydronautics, Vol 7, No 4, pp 137-144.

Hong, S. and Hong, S.W. (1994). "A Three-Dimensional Dynamic Analysis of Towed Systems, Part 1. A Mathematical Formulation", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol 8, No 1, pp 16-22.

Park, H.I., Jung, D.H. and Koterayama, W. (2003). "Numerical and Experimental Study on the Dynamics of a Towed Low Tension Cable", Applied Ocean Research, Vol 25, pp 289-299.

2004년 10월 15일 원고 접수

2005년 6월 2일 수정본 채택