

무인잠수정의 진수 인양에 따른 케이블시스템의 동적거동 평가

조규남^{†*}, 김민^{*}, 송하철^{**}

홍익대학교 조선해양공학과^{*}
서울대학교 해양시스템공학연구소^{**}

Assessment of Dynamic Behavior of Cable System Due to Launching and Recovery of UUV

Kyu Nam Cho^{*}, Min Kim^{*} and Ha Cheol Song^{**}

Dept. of Naval Arch. and Ocean Eng., Hongik Univ.^{*}
Research Institute of Marine Systems Eng., Seoul National Univ.^{**}

Abstract

A finite element analysis is proposed to assess the dynamic response due to impulse excitation of UUV cable system. 'Onnuri', a special purpose ship of KORDI, was adopted as a support vessel, and all the main dimensions and properties used in the analysis were determined by the support vessel. Transient dynamic response analysis was carried out for various types of impulses, and the magnitude of cable tension induced by impulse was discussed as results.

* Keywords: UUV(무인잠수정), impulse excitation(임펄스가진), transient dynamic response analysis(동적과도응답해석), cable tension(케이블 장력)

1. 서론

본 연구에서는 극한 해상 상태나 돌발적인 환경 하중 하에서, 진수와 인양이 이루어질 때 발생할 수 있는, 케이블의 점핑(jumping) 현상에 의해 유발되는 케이블의 장력 변화를 평가하였다.

케이블 점핑 현상은 극한 해상 환경에서

A-프레임과 케이블 간의 매우 큰 상대운동에 의해 발생하는 것으로 보고 되어지고 있는 바, 점핑이 이루어진 후 서로 다시 맞닿게 되는 순간에 케이블에 작용하는 하중은 임펄스(impulse)로 모델링 될 수 있다. 이러한 임펄스 가진에 의한 응답 특성은 케이블 시스템의 동적 과도응답 해석을 통하여 구할 수 있는 바, 본 연구에서는 이상화된 임펄스에 대한 케이블의 과도응답 특성을 평가할 수 있는 유한요소해석 기법을 정립하여 케이블의 동적 구조안전성을 검토하였다.

† 주저자, E-mail: kncho@hongik.ac.kr

Tel: 041-860-2604

2. 문제의 정식화 및 모델링

시간 이력을 갖는 일반적인 가진력(general forcing)에 의한 과도응답 해석은 단위 임펄스에 대한 과도응답을 중첩하여 구하게 된다.

Fig. 1의 첫번째 그림과 같이 시간 τ 에 단위 임펄스가 가해졌을 때, 이에 대한 응답은 식(1)과 같이 그린 함수(Green function) 형태로 주어지게 된다. 두번째 그림과 같은 가진력이 들어왔을 때, $d\tau$ 시간동안 가해진 임펄스 요소는 $f(\tau)d\tau$ 이므로, 이에 대한 응답은 식(2)와 같이 단위 임펄스에 대한 응답에 $f(\tau)d\tau$ 를 곱하여 구하며, 임의 시간 동안의 가진력에 대한 응답은 그 시간 구간에 있어서 임펄스 요소에 대한 응답을 적분하여 구하게 된다(식(3)).

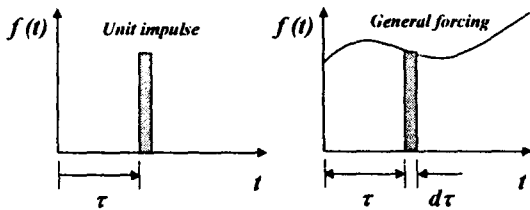


Fig. 1 Description of impulse and general forcing

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t \leq \tau \\ h(t-\tau) & t > \tau \end{cases} \quad (1)$$

Response due to elemental impulse

$$= h(t-\tau)f(\tau)d\tau \quad (2)$$

$$u(t) = \int_0^t h(t-\tau)f(\tau)d\tau \quad (3)$$

본 연구의 대상인 케이블 점핑에 의한 가진은 Fig. 2와 같이 A-프레임과 케이블간의 상호 접촉

에 의해 발생하는 것으로, 가진력은 A-프레임 상단의 법선 방향으로 작용하는 것으로 가정하였으며, 직각좌표계의 세 방향 모두 가진력 성분을 입력할 수 있도록 모델링하였다.

임펄스 산정에 필요한 임펄스 지속 시간(impulse duration)는 참고 자료[1]에 기술된 자유 낙하한 탄성체와 탄성체 표면과의 접촉 시간을 참조하여 0.001초를 기준으로 하였으며, 임펄스 힘의 크기, F_{IMP} 는 A-프레임과 케이블간의 상대 가속도와 콘치의 관성 질량을 곱하는 것으로 가정하였다. 이때 기준이 되는 상대 가속도는 두배의 중력가속도(2G)로 하였다. 이러한 상대가속도는 실제 해상 상태에서는 나타나기 어려운 수치이나, 설계의 관점에서 보다 가혹한 하중 조건에 대한 구조 안전성을 평가하기 위해 이와 같이 가정하였으며, 추후 실제 선박의 운동에 대한 자료의 확보와 이들의 분석 및 과도응답 특성 평가를 통하여 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 유한요소해석에는 링크요소와 집중질량 요소를 사용하였고 이에 대한 물성치, 무인잠수정의 선상지원선 및 선상지원시스템의 주요 제원은 기존의 연구 논문과 동일하게 모델링되었다[2][3][4][5][6].

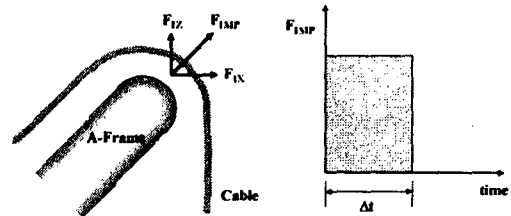


Fig. 2 Description of cable jumping problem

3. 해석의 결과 및 검토

Fig. 3 이하는 케이블 점핑에 의한 케이블 장력의 과도응답에 대한 결과를 보여주고 있다. 다양한 임펄스 특성에 대한 과도응답 특성의 정성적인 분석을 위해 다음과 같은 해석 조건에 대해 동적 과도응답 해석을 수행하였으며, 각각의 해석 결과

를 해석 조건별로 상술하면 다음과 같다.

(1) 동일한 임펄스 지속 시간에 대해 힘의 크기 변화에 따른 케이블 장력의 과도응답 특성 평가 (Fig. 3, Table 1)

동일한 임펄스 지속 시간을 갖는 경우, 장력의 최대치가 발생하는 시간은 동일한 결과를 주었고, 힘의 크기가 변하게 되면 케이블의 최대 장력이 힘의 크기에 비례하는 경향을 보여주고 있다. 해석 조건 중 최대 장력의 크기는 가장 큰 임펄스 (힘의 크기가 3G 조건)에 대해 1.09 ton 정도의 장력이 유발되는 것으로 평가되었다.

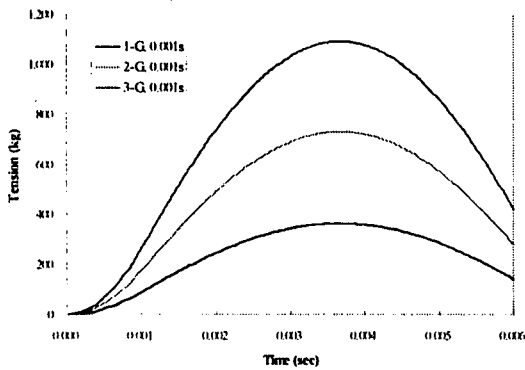


Fig. 3 Transient dynamic response of cable tension according to force level at same impulse duration, 0.001sec.

Table 1 Transient dynamic response of cable tension according to force level at same impulse duration, 0.001sec.

Time interval (sec.)	F_{IMP}	Max. cable tension (kg)	Time of max. cable tension (sec.)
0.001	1 G	363.6	0.00367
0.001	2 G	727.2	0.00367
0.001	3 G	1090.9	0.00367

1G = gravitational force of launcher

(2) 동일한 힘의 크기에 대해 임펄스 지속 시간의 변화에 따른 케이블 장력의 과도응답 특성 평가 (Fig. 4, Table 2)

동일한 힘의 크기를 갖는 임펄스의 경우, 최대 장력이 유발되는 시간은 임펄스 지속 시간이 길수록 늦게 나타나는 것으로 평가되었으며, 해석 조건에 있어 최대 장력은 (1)의 결과와 동일하게, 가장 큰 임펄스가 부가된 조건(임펄스 지속시간이 0.002sec. 조건)에 대해 1.4 ton 정도의 장력이 유발되었다.

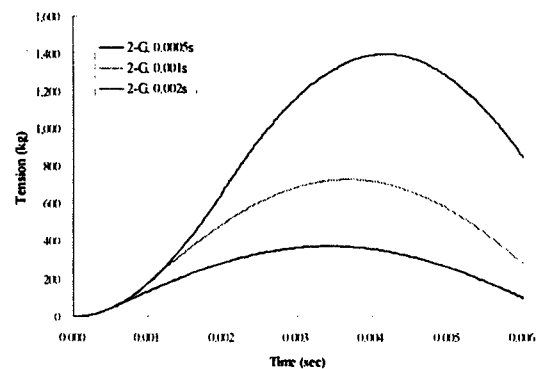


Fig. 4 Transient dynamic response of cable tension according to impulse duration at same force level

Table 2 Transient dynamic response of cable tension according to impulse duration at same force level

Time interval (sec.)	F_{IMP}	Max. cable tension (kg)	Time of max. cable tension (sec.)
0.0005	2 G	371.9	0.00343
0.001	2 G	727.2	0.00367
0.002	2 G	1398.1	0.00416

1G = gravitational force of launcher

(3) 동일한 임펄스 크기에 대해, 힘의 크기와 임펄스 지속 시간의 변화에 따른 케이블 장력의

과도응답 특성 평가 (Fig. 5, Table 3)

동일한 임펄스 크기를 갖는 경우, 최대 장력 발생시간은 임펄스 지속 시간에 영향을 받으나, 해석 조건 중 가장 큰 장력은 짧은 임펄스 지속 시간(0.0005 sec.)을 갖으나 힘의 크기가 가장 큰 (4G) 임펄스에 대해 나타나, 케이블 장력의 과도응답은 임펄스 지속 시간보다는 힘의 크기에 보다 더 큰 영향을 받는 것으로 평가되었다.

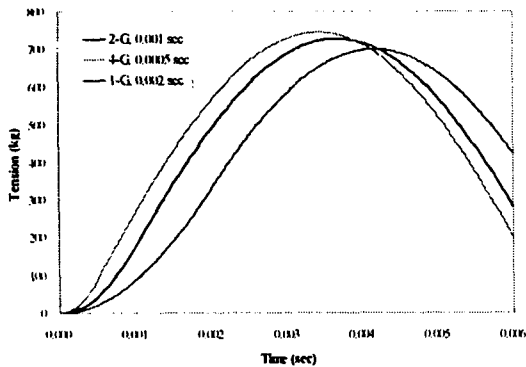


Fig. 5 Transient dynamic response of cable tension according to force level and impulse duration at same impulse

Table 3 Transient dynamic response of cable tension according to force level and impulse duration at same impulse

Time interval (sec.)	F_{IMP}	Max. cable tension (kg)	Time of max. cable tension (sec.)
0.0005	4 G	743.8	0.00343
0.001	2 G	727.2	0.00367
0.002	1 G	698.9	0.00416

1G = gravitational force of launcher

이들의 결과를 종합하여 볼 때, 해석 조건 중 런처 질량의 두배의 관성력을 가지며 2배의 중력 가속도를 갖는 임펄스에 대해 1.4 ton 수준의 최대 케이블 장력이 발생하였으며, 이는 케이블 파

단 강도에 비해 상당히 작은 수준으로 판단되어 케이블의 구조 안전성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 여겨진다. 다만, 전술한 바와 같이, 해석에 적용된 하중 조건이 실 해상 상태에서 나타나기 어려운 가혹한 조건이기는 하나, 임펄스 특성이 실제 선박 운동의 데이터에 기초한 것이 아니므로, 개발된 케이블 점핑에 대한 과도응답 해석 기법을 바탕으로, 추후 실 선박 운동에 대한 자료가 확보되는 대로 실제 조건에 대해 보다 엄밀한 케이블 응답 특성 평가가 이루어져야 할 것이다.

4. 결론

본 연구는 해양조사선인 온누리호와 선상지원시스템을 해석 모델로 하여 극한 해상 상태에서 나타날 수 있는 케이블 점핑에 의한 케이블 장력의 동적 과도응답 특성을 평가하였다.

극한 해상상태에서 나타날 수 있는 케이블 점핑으로부터 유발되는 케이블 장력 변화를 산정하기 위해, 임펄스 가진에 대한 케이블의 과도응답해석을 수행할 수 있는 유한요소해석 기법을 정립하여, 임펄스 특성 변화에 기초한 케이블 응답 특성을 파악하였다. 가혹한 임펄스 조건에 대해서도 케이블 점핑에 의해 유발된 케이블 장력은 구조 안전성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었으나, 보다 엄밀한 해석을 위해서는 실 선박 운동에 대한 자료 수집 등, 입력 자료 보안을 통한 재해석이 요구된다.

후 기

본 논문의 내용은 한국해양연구원 2003년도 “차세대 무인잠수정 개발” 사업의 과제로 수행된 연구 결과의 일부로, 위 기관의 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] ANSYS Verification Manual 74, "Transient Response of a Ball Impacting a Flexible Surface."

- [2] Jin S. Chung and B. Cheng, "3-D Responses of Vertical Pipe Bottom Pin-Jointed to a Horizontal Pipe to Ship Motion and Thrust on Pipe - Part I: MSE and FEM Modeling," Proceed. of Ninth Int. Offshore and Polar Eng. Conference, Brest, France, 1999.
- [3] 조규남, 송하철, 이억재, "ROV 설계를 위한 A-Frame 설계 연구," 한국해양공학회 추계학술대회논문집, pp. 186-190, 2002.
- [4] 홍익대 해양시스템 연구센터, "심해 무인 잠수정의 원치, 장력조절장치 설계," 한국해양연구원 보고서, 2002.
- [5] 조규남, 송하철, 홍도천, "선체 운동을 고려한 ROV 케이블의 연성 동역학해석," 대한조선학회 춘계학술대회발표논문집, 2003.
- [6] Kyu-Nam Cho, Ha-Cheol Song and Do-Cheon Hong, "Dynamic Analysis of ROV Cable Considering the Coupling Motion of ROV Cable System," Proceedings of 17th Asian-Pacific Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures, pp. 509-519, 2003.