

심해잠수정 모선의 A-프레임 시간영역 국부운동해석

홍도친* · 이판묵

*충남대 첨단수송체연구소
한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

Numerical Study on the Local Motion of an A-frame for Deep Sea ROV Mother Ship in Irregular Waves

DO-CHUN HONG* AND PAN-MOOK LEE

*Center for Advanced Transportation Vehicles, Chungnam National University, Taejeon, Korea
Korea Research Institut of Ship and Ocean Engineering, KORDI, Taejeon, Korea

KEY WORDS : 3-D time-domain ship motion, memory effect functions, constant added mass coefficients, irregular waves, local acceleration

ABSTRACT: The local motion at the top of an A-frame fixed on a research vessel for deep sea ROV floating in irregular waves is studied in the time-domain. The motion is analyzed in the time-domain using the convolution integral of the radiation forces. The memory effect functions and infinite frequency added masses are obtained from the solution of the three dimensional improved Green integral equation in the frequency domain by making use of the Fourier transformation.

1. 서 론

과 중 계류된 선박은 입사파에 의하여 기진되어 입사파의 주파수로 6자유도 동요를 하게된다. 이를 선형파 이론에 근거한 주파수영역 해석법으로 구하는 방법은 규칙파 중 부유체 운동이론으로 정립되어 있다(홍도친외 1987).

한편 본 연구에서와 같이 시계열 입,출력이 요구되는 선체운동 문제에서는 impulse response 이론에 의하여 정립된 시간영역 운동방정식이 쓰이고 있다(Cummins, 1962). 선형문제에서는 이와 같은 주파수영역 해석법과 시간영역 해석법이 수학적으로 동일하므로 시간영역 운동방정식에 나오는 계 수를 주파수영역에서 구한 과감쇠계수 및 부가질량계수의 Fourier 변환으로부터 구할 수 있다.

2. 시간영역 선체운동

유체는 비 점성, 비 압축성이고 자유표면과 부유체의 접수면 그리고 무한수심 사이의 구간을 점하며 여기에 중력이 작용하고 있다. z축을 연직상방으로 하고 (x0y)평면을 정수면과 일치시킨 오른손 직각좌표계 (x, y, z)에서 원점이 평균위치에 있는 부유체의 수선면에 있고 z축은 연직상방을 가리킨다. 유동을 비 회전이라 하면 유속은 Laplace방정식을 만족시키는 속도포텐셜로부터 구할 수 있다. 선체가 6자유도운동을 하는 경우 선체의 1점 M 의

운동변위는 그 평균위치 M_0 와 순간위치 M_1 간의 거리를 사용하여 다음과 같이 표시된다.

$$\vec{A}(M_0) = \overline{M_0 M_1} = \vec{a} + \vec{\theta} \times \overline{OM_0} \quad (1)$$

$$\vec{a}(t) = x_1(t) \vec{e}_1 + x_2(t) \vec{e}_2 + x_3(t) \vec{e}_3 \quad (2)$$

$$\vec{\theta}(t) = x_4(t) \vec{e}_1 + x_5(t) \vec{e}_2 + x_6(t) \vec{e}_3$$

여기서 $x_k(k=1,2,3)$ 는 선박의 전후, 좌우 및 상하 동요의 변위를 나타내고 $x_k(k=4,5,6)$ 는 좌표계 (x, y, z)에 고정된 회전중심 O에 대한 회전운동으로서 횡, 종 및 선수요의 각변위를 나타낸다. 좌표계는 선미AP와 정수면, 종 중앙단면을 기준으로한 우수좌표계를 사용하였고 +x축이 선수방향, +z축이 연직 상방이다
규칙파 중 진행하는 선체가 안정적인 운동을 할 경우, 선체의 inertia 힘 및 모멘트와 선체의 변위, 속도 및 가속도와 관계되는 유체 외력간의 평형으로부터 다음과 같은 시간영역 운동방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{k=1}^6 [(m_{jk} + a_{jk}) \ddot{x}_k(t) + \int_{-\infty}^t k_{jk}(t-\tau) \dot{x}_k(\tau) d\tau] - f_{R_j}(t) = f_{E_j}(t), \quad j=1, \dots, 6 \quad (3)$$

위에서 m_{jk} 는 선체의 inertia이고 $\ddot{x}(t)$ 및 $\dot{x}(t)$ 는 각각 선체운동의 가속도 및 속도를 표시한다.

a_{jk} 는 시간에 무관한 무한주파수 부가질량계수이다. 본 논문에서는 3차원 improved Green integral equation을 사용하여 고주파수에서의 부가질량계수를 직접 구하여 사용할 수 있으며 파감쇠계수 의 무한주파수까지 적분도 직접 수행된다.

선형 이력함수 $k_{jk}(t)$ 는 주파수영역 3차원 파감쇠계수 $b_{jk}(\omega)$ 의 Fourier 변환으로서 다음과 같이 표시된다.

$$k_{jk}(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} b_{jk}(\omega) \cos \omega t dt \quad (4)$$

선형 복원력 $f(t)_{R_j}$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$f(t)_{R_j} = -\rho g L^2 \left\{ \sum_{k=1}^3 R_{jk} x_k(t) + L \sum_{k=4}^6 R_{jk} x_k(t) \right\}, \quad j=1, 2, 3 \quad (5)$$

$$f(t)_{R_j} = -\rho g L^2 \left\{ L \sum_{k=1}^3 R_{jk} x_k(t) + L^2 \sum_{k=4}^6 R_{jk} x_k(t) \right\}, \quad j=4, 5, 6 \quad (6)$$

여기서 ρ 는 유체밀도, g 는 중력가속도이고 R_{jk} 는 무차원 복원력계수이고 L 은 선체의 특성길이이다.

시간영역 선형기진력 $f(t)_{E_j}$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$f(t)_{E_j} = Re \left\{ \int_0^{\infty} f(\omega) \sqrt{2S(\omega)} dw \exp^{-i\omega t} \right\}, \quad j=1, \dots, 6 \quad (7)$$

여기서

$$f_j(\omega) = \rho Re \left\{ \left[\int_{S_n} -i\omega (\Psi_0 + \Psi_7) (\vec{n}_0 \cdot \vec{e}_j) ds \right] \exp^{-i\omega t} \right\}, \quad j=1, 2, 3 \quad (8)$$

$$f_j(\omega) = \rho Re \left\{ \left[\int_{S_n} -i\omega (\Psi_0 + \Psi_7) (\vec{OM} \times \vec{n}_0) \cdot \vec{e}_{j-3} ds \right] \exp^{-i\omega t} \right\}, \quad j=4, 5, 6 \quad (9)$$

위에서 Ψ_0 와 Ψ_7 는 각각 주파수 영역 복소 입사파 및 산란파 포텐셜이다.

(7)식에서 $S(\omega)$ 는 해양파 즉 불규칙 입사파의 에너지 spectrum이다.

불규칙 입사파는 성분파의 주파수 ω 에 따라 파의 진폭 a_0 즉 파에너지가 다르다. 성분파는 다음식으로 표시된 주파수영역 입사파이다.

$$\phi_0 = -\frac{a_0 g}{\omega} e^{k \cdot [z + i(x \cos \beta + y \sin \beta)]} \quad (10)$$

위에서 β 는 입사파의 진행방향과 +x축이 이루는 입사각이다.

불규칙파의 단위파장 당 에너지 E_{ξ_0} , spectrum $S(\omega)$ 및 성분파의 진폭 $a_0(\omega_i)$ 는 다음 관계식을 만족시킨다.

$$E_{\xi_0} = \rho g \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega = \frac{\rho g}{2} \sum_{i=1}^n a_0(\omega_i) \quad (11)$$

본 보고서에서는 해상상태 3 즉 유의파고 3m, $T_1=6.3$ 초를 사용하였다.

불규칙 입사파의 spectrum은 여러 가지가 있으나 본 보고서에서는 입사파의 유의파고 $H_{1/3}$ 과 평균주기 T_m 이 주어질 경우에 사용되는 Pierson-Moskowitz type의 ITTC two-parameter wave spectrum을 사용한다.

$$S(\omega_0) = A \omega_0^{-5} \exp(-B \omega_0^{-4}) \quad (12)$$

여기서

$$A = 173 \times \frac{H_{1/3}^2}{T_1^4}, \quad B = \frac{691}{T_1^4} \quad (13)$$

위에서 주파수영역 제계수에 관한 상세는 참고문헌에 나와있다 (홍도천외 1987). 시간영역 제계수에 관한 사항도 참고문헌에 나와있다(홍도천외 2001).

3. A-프레임 시간영역운동

앞절 (3)식으로부터 불규칙 해양파중 계류된 선체운동의 변위, 속도 및 가속도 ($x_k(t)$, $\dot{x}_k(t)$, $\ddot{x}_k(t)$, $k=1, \dots, 6$)을 구하면 선체상에 고정된 1점의 국부운동을 구할 수 있다. 국부좌표값을 (X_k , $k=1, 2, 3$)라 하면 국부변위

$(\xi_k(t), k=1,2,3)$ 는

$$\xi_1(t) = x_1(t) + x_5(t)X_3 - x_6(t)X_2 \quad (14)$$

$$\xi_2(t) = x_2(t) + x_6(t)X_1 - x_4(t)X_3 \quad (15)$$

$$\xi_3(t) = x_3(t) + x_4(t)X_2 - x_5(t)X_1 \quad (16)$$

국부속도 및 가속도도 유사하게 계산된다.

4. 계산결과

잠수정모선 선체의 주요제원은 다음과 같다.

LPP	55.5 m
Breadth	12 m
Draft	5.1 m
Center of Gravity	(25.61323m, 0.057m)
Roll Radius of Gyration	4.2 m
Pitch Radius of Gyration	13.88 m
Yaw Radius of Gyration	13.88 m
Displacement	1,805.125 m^3

Table 1 Principal Particulars of the Ship

위에서 관성계수는 무게중심과 일치하는 회전중심 O 에 대한 것이다.

주파수영역 제계산을 위하여 선체표면을 다음과 같이 이산화 하였다.

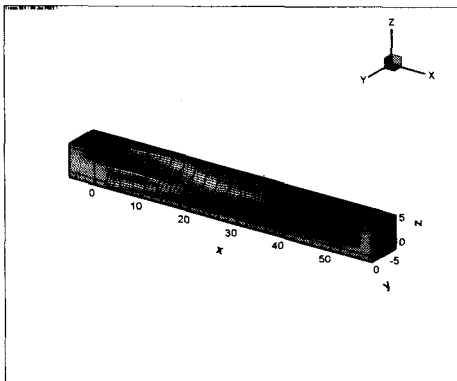


Fig. 1 Panel representation of the mother ship

주파수 ω 가 0.01~3.5rad/sec 구간에서 주파수영역 계산이 수행되어 부가질량 및 감쇠계수가 구하여졌다. 이력함수는 0.01초 간격으로 계산하였으며 운동방정식을 푸는 과정에서 time step은 0.01초이며 60초까지 time marching이 수행되었다.

시간영역 6자유도 운동방정식에서 선체의 위치유지를 위하여 적당한 수평방향 복원력 및 수직방향 복원모멘트를 수치적으로 부가하였다. 또 횡요공진주기에서 운동이 발산하는 것을 막기위하여 적절한 횡요점성감쇠계수도 수치적으로 부가하였다.

선체운동을 사용하여 A-프레임의 변위, 속도 및 가속도를 60초까지 0.01초 간격으로 구하였다.

입사각 180도 및 90도에 대한 계산 결과중 A-프레임 운동이 아래와 같이 표시되었다.

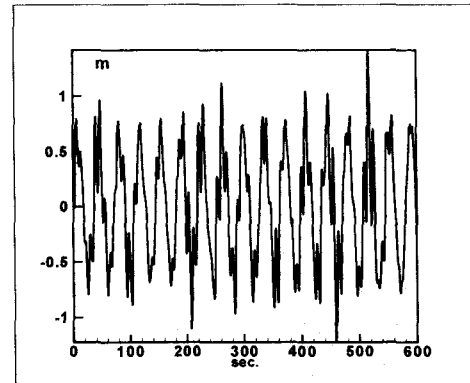


Fig. 2 Surge displacement at winch $\beta=180$ degrees

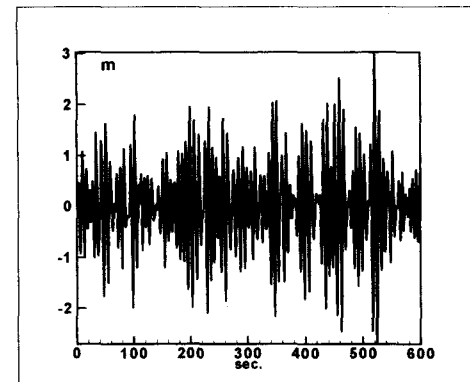


Fig. 3 Heave displacement at winch $\beta=180$ degrees

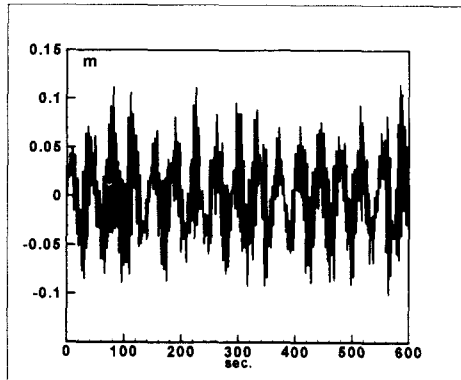


Fig. 4 Surge displacement at winch
 $\beta=90$ degrees

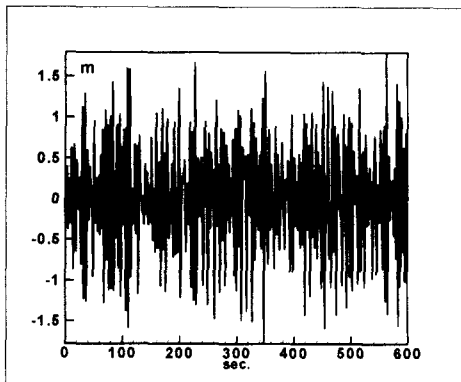


Fig. 5 Sway displacement at winch
 $\beta=90$ degrees

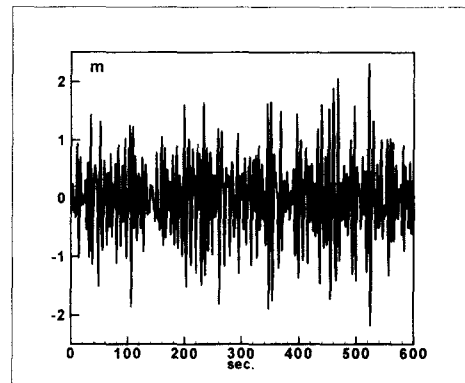


Fig. 6 Heave displacement at winch
 $\beta=90$ degrees

5. 결론

선형과 이론에 근거한 시간영역운동해석에 의하여 선체 운동 및 A-프레임 국부운동해석을 수행하였다. 이 결과는 ROV 케이블 등의 거동해석 및 모선-ROV 운동제어 등에 활용될 수 있다.

후기

본 논문은 해양수산부가 지원하는 차세대 심해용 무인잠수정개발 과제 결과의 일부임을 밝힙니다.

참고 문헌

홍도천, 홍사영, 이상무(1987), "대형 해양구조물에 작용하는 파랑 하중에 관하여", 한국해양공학회지, 제1권제1호,
홍도천, 하태범, 김대현, 송강현(2001), "파중 진행하는 선박의 3차원 시간영역 운동해석", 한국해양공학회 추계학술대회논문집