
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 2 號 1996年 5月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 33, No. 2, May 1996

선체거더 충격응답의 근사해석

송준태*, 박병욱*, 안진우*, 조윤식*

Approximate Analysis of Shock Response for Ship Hull Girder

by

C. T. Song*, B. W. Park*, C. W. An* and Y. S. Cho*

요 약

수중폭발에 의한 선체충격응답의 이론적 해석은 충격파를 전달하는 유체와 구조와의 복잡한 상호작용 문제로 귀착되나, 함정 내충격 설계의 측면에서 주요 관심사가 되는 선체의 충격운동은 폭발의 초기에 발생하므로 충격응답의 해석을 폭발의 초기로만 한정할 경우에는 매우 단순화된 구조동역학적 방법에 의해 충격응답을 근사적으로 산정할 수 있다.

이에 따라, 본 논문에서는 충격파에 의해 가속되는 선체 물수부 단면에 해당하는 물기둥에 전달되는 운동량을 이상화하고, 이를 이용하여 선체거더의 충격응답을 근사 해석할 수 있는 기법을 제시하였다. 또한 이를 토대로 개발한 전산 프로그램을 이용하여 상자형의 단순모델에 적용하여 본 방법의 실용성을 검증하고 여러 가지의 구조특성 및 폭발 조건에 따른 충격응답을 해석하여 그 특성을 분석하였다.

발 표: 1995년도 대한조선학회 추계연구발표회('95. 11. 10)

접수일자: 1996년 1월 19일, 재접수일자: 1996년 4월 23일

*정회원, 국방과학연구소

Abstract

The structural response of naval surface ships subjected to underwater shock loadings is a very important problem in viewpoint of ship survivability. In practice, among others the case of noncontact underwater explosions is the only one shock loading considered in designing naval surface ships to resist underwater explosions. In order to efficiently design naval surface ships and their equipment to resist such shock loadings it seems necessary to prepare theoretical analysis tools and/or empirical design criteria which can predict the three dimensional transmission of shock waves. This paper describes a simplified method to analyse shock responses for ship hull girder, which uses a loading function to approximate the shock loadings on ship structures due to noncontact underwater explosions. A couple of examples to apply this method are provided.

1. 서론

수중에서 고에너지를 갖고 있는 폭약이 폭발하게 되면 폭발반응을 통해 발생한 높은 압력은 음향 매개체인 물속을 음속으로 전파해 가는 충격파(shock wave)를 발생시키고, 또한 폭발과정에서 생성된 고압의 가스구체(gas bubble)는 부력에 의해 상승하면서 맥동에너지를 전파하게 된다.

이와 같은 수중폭발이 선체에 바로 근접하여 일어나는 접촉성 폭발의 경우에는 선체구조에 치명적인 손상을 일으키므로 실제적인 대책의 강구가 매우 어렵게 된다. 따라서, 함정의 생존성(survivability) 측면에서 통상 고려하고 있는 수중폭발의 조건은 선체로부터 어느 정도 떨어진 거리에서 폭발을 일으키는 비접촉성 수중폭발(noncontact underwater explosion)의 경우이다. 비접촉성 수중폭발의 경우에 고려해야 할 주요 영향은 음속으로 전파해가는 충격파로서 이는 선체구조에 급격한 가속운동을 일으키고, 이 운동은 구조물을 통하여 함정의 탑재장비 및 시스템에 전파되어 극심한 충격운동을 유발시킴으로써 이들의 손상 또는 기능고장을 초래하는 충격특성을 가지고 있다.

이에 대한 연구는 제 2차대전에서 실전을 통하여 비접촉성 수중폭발의 위력을 실감한 이후부터 세계 각국에서 수중폭발현상의 이해 및 파악, 함정의 내충격 설계 데이터 획득을 목적으로 실선시험 및 모형실험을 위주로 착수되었으며, 이론적

연구는 1970년대부터 시작되었다.

수중폭발에 대한 선체의 충격운동 특성을 이론적으로 분석하는 선체충격응답해석(ship shock response analysis)은 내충격 설계를 위한 충격력의 산정과 실선충격시험시 충격응답의 사전예측 및 사후분석에 활용되는 것으로서, 시험에 따르는 여러가지 제약을 극복하고 보완해 주는 매우 유용한 수단이다.

대표적인 충격응답해석법은 Geers[1]에 의해 제안된 이중점근 근사기법(Doubly Asymptotic Approximation; DAA)으로서, 미국등에서는 이를 토대로 충격응답해석 프로그램을 개발하였으며, 국내에서도 이에 대한 연구를 수행하여 물수체 및 부유체에 대한 충격응답 해석 프로그램을 개발한 바 있다[2, 3].

그러나, 이중점근근사기법에 의한 충격응답의 해석방법은 특히 수상함의 경우에 광역공동의 영향을 고려해야 하는 등 해석과정이 매우 복잡해지기 때문에 선체특성 및 폭발조건등에 따른 선체충격응답의 개략적인 특성분석등을 위해서는 좀더 단순화된 해석방법이 필요하게 되었다.

즉, 수중폭발에 대한 선체응답을 시간단계별로 구분할때 장비 및 국부구조물등은 폭발의 초기에 급격한 충격운동에 의해 큰 가속도가 유발되어 손상을 받는다. 따라서 수중폭발의 초기로 해석단계를 한정할 경우 복잡한 유체-구조 상호작용의 고려를 생략하고 단순화된 선체구조 동역학적 방법

에 의해 선체충격응답을 근사적으로 산정할 수 있으며[4, 5] 이 방법의 유용성을 확인해 본 바 있다 [6].

이에따라, 본 논문에서는 선체충격응답해석을 폭발의 초기에 대한 것으로 한정하고 충격파에 의한 충격하중을, 가속되는 선체물수부 단면에 해당하는 물기둥을 가속시키는 힘으로 이상화하고 이것을 적용하여 선체구조 동역학적인 방법에 의해서 선체거더의 수중폭발충격응답을 근사적으로 추정하는 기법을 제시하였다.

또한 이를 토대로 개발한 전산 프로그램을 이용하여 상자형의 단순 모델에 적용, 본 방법의 실용성을 검증하고 여러가지의 구조특성 및 폭발조건에 따른 충격응답을 해석하여 그 특성을 분석하였다.

2. 해석기법

수중폭발 작용에 대한 선체의 응답은 폭발이후의 경과시간별로 초기와 후기로 대별되어 이중성을 보인다.

폭발의 초기에 선체는 충격파를 받아 강체로서 이를 반사해 내는 한편 고주파수로 응답하여 주변 유체와 음향학적 유체-구조 상호작용을 일으킨다. 폭발의 후기에는 선체는 저주파수로 응답하여 주변유체와 유체동역학적 유체-구조 상호작용을 일으킨다.

구조강도 및 구조물간 간섭의 관점에서 중요한 구조변위가 폭발의 후기에서 주요한 응답특성인 한편, 폭발의 초기에서는 장비 및 국부구조물에 전달되는 가속도가 주요 응답특성이 되며 이때 선체구조는 운동전달의 매개체가 된다.

따라서 수상 및 수중구조에 대해 일반적인 수중 충격해석을 할 경우 유체를 음향학적 매질인 동시에 유체동역학적 매질인 것으로 취급해야 하며, 구조물 주위에서 일어나는 복잡한 유체-구조 상호작용을 고려하여야 한다.

그러나 일반적인 내충격설계의 초점이 장비 및 국부구조물에 두어져 있는 상황에서 해석단계를 폭발의 초기로 한정하고 수상선을 대상으로 선체거더의 충격운동을 해석하고자 할 경우 운동방정식이 간략해질 수 있고 선체에 대한 수중충격하중이 용이하게 산출될 수 있다.

본 장에서는 폭발 초기의 유체-구조 상호작용 해석에 대해 일반적으로 기술하고 이에 대해 제한을 가함으로써 근사적 충격해석기법을 도출한다.

2.1 운동방정식

수중폭발에 의해 발생하는 유체-구조 상호작용을 해석하기 위해서는 구조의 운동과 유체의 압력을 표현하기 위한 방정식들이 각각 필요하며 구조의 운동방정식은 다음과 같다.

$$M_s \ddot{w}(x, t) + C_s \dot{w}(x, t) + K_s w(x, t) = R(x, t) \quad (1)$$

식(1)에서 x, t 는 공간좌표와 시간을 나타내는 독립변수이며, M_s, C_s 및 K_s 는 각각 구조계의 질량, 감쇠 및 강성행렬을 나타낸다. w 는 이산화된 구조계의 자유도를 나타내고 뉘트첨자 “.”는 변수의 시간에 대한 미분을 뜻한다. 즉 w, \dot{w}, \ddot{w} 는 각각 구조계의 변위, 속도, 가속도 벡터이다. 식(1) 우변의 $R(x, t)$ 는 외력을 나타내는데 이를 일반화하면 다음과 같다.

$$R(x, t) = R_E(x, t) + R_P(x, t) \quad (2)$$

식(2)에서 $R_E(x, t)$ 는 유체-구조 상호작용과 관련없는 순수한 외력이고 $R_P(x, t)$ 는 유체-구조 상호작용에 의한 외력으로서 다음과 같이 표현된다.

$$R_P(x, t) = -GA_i(p_i + p_s) \quad (3)$$

식(3)에서 G 는 유체자유도와 구조자유도의 연결연산자, A_i 는 유체-구조 상호작용면의 접수면적이며 p_i, p_s 는 각각 입사파 압력과 구조가 유체로 산란하는 압력을 나타낸다.

수중폭발에 의해 생성된 충격파가 유체중을 진행해 갈 때 유체는 전단응력과 열전달이 없는 이상유체로 가정할 수 있으며 계의 질량 보존과 에너지 보존 법칙이 성립되고 일정한 압력-밀도 관계가 성립된다고 볼 수 있다. 또한 압력, 유체입자 속도, 내부 에너지에 불연속이 일어나지 않는다고

가정한다. 또한 수중음향파의 진행시에 물의 밀도 변화가 매우 작다고 가정할 수 있다.

이러한 가정하에 수중폭발의 발생점을 제외한 유체역에서의 지배방정식을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi(x, t) &= \frac{1}{c^2} \ddot{\phi}(x, t) \\ p(x, t) &= -\rho \dot{\phi}(x, t) \\ U(x, t) &= -\frac{\partial \phi(x, t)}{\partial n(x)} \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 c 는 수중음속, ρ 는 물의 밀도, $\phi(x, t)$ 는 유체속도 포텐셜, $p(x, t)$ 는 동압력, $n(x)$ 는 유체중으로 향할 때 양(+)인 단위법선벡터이다.

식(4)의 파동방정식을 압력에 관해 나타내면 다음과 같다.

$$\nabla^2 p(x, t) = \frac{1}{c^2} \dot{p}(x, t) \quad (5)$$

유체와 구조가 분리되지 않는다는 적합조건을 기술하면 다음과 같다.

$$G^T \dot{w} = u_s + u_i \quad (6)$$

식(6)에서 u_s 는 구조가 유체로 산란하는 압력에 의한 유체입자속도 벡터의 구조표면 법선성분, u_i 는 구조로 직접 입사되는 충격파 압력에 의한 유체입자속도 벡터의 구조표면 법선성분이다.

폭발의 초기에 폭발점이 대상구조로부터 멀리 떨어져 있어, 대상구조에 도달하는 파를 평면파(plane wave)로 볼 수 있을 때 식(5)의 해는 다음과 같이 된다.

$$p_s = \rho c u_s \quad (7)$$

식(2), (3), (6), (7)을 식(1)에 대입하면 폭발초기 유체-구조 상호작용을 해석하는 지배방정식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} M_s \ddot{w} + (C_s + \rho c G A_f G^T) \dot{w} + K_s w \\ = R_E - G A_f p_i + \rho c G A_f u_i \end{aligned} \quad (8)$$

폭발의 초기라 함은 보통 수중폭발 발생후 수십 msec 이내로서 구조의 감쇠기구가 작동하지 않는다고 보아도 좋다. 또한 대상구조를 수면상에 위치한 구조로 국한하면 수중폭발 발생후 선체주위에 발생하는 광역공동(bulk cavitation)[3]의 존재로 인해 음향감쇠기구가 소멸되는 것으로 간주할 수 있다.

한편 광역공동의 발생은 유체-구조 적합조건 적용을 불가능하게 하므로 식(8)의 우변을 이용할 수 없게 된다. 그러나 광역공동을 거시적으로 고찰하면 수중충격하중을 간접적으로 구할 수 있게 되며 지배방정식은 다음과 같이 간략해진다.

$$M_s \ddot{w} + K_s w = F(t) \quad (9)$$

식(9)에서 $F(t)$ 는 광역공동의 발생을 전제로 할 때 간접적으로 유추되는 충격하중으로서 다음절에 이에 대해 기술한다.

2.2 충격하중의 산정

수중폭발이 발생하여 충격파가 전파될 때 수면에 가까운 수중의 임의점에는 폭발점으로부터 직접 입사되는 파(incident wave)와 수면에서 반사되어 입사되는 파(rarefaction wave)가 합성된다. 직접 입사파가 압축파(compression wave)인데 반하여 반사파는 인장파(tension wave)로서 음압을 갖는다. 이점에서 합성된 파의 절대압력이 산술적으로 음의 값을 갖을 경우 물은 인장에 견디지 못하므로 공동이 발생한다. 공동화 된 물입자는 순간적인 수직속도(kickoff velocity)를 갖게 된다. 이 현상을 Fig.1에 보인 바와 같이 폭발원(charge source)에 대칭인 영상원(image source)을 도입하여 설명할 수 있고, 표면반사파의 영향을 고려한 수면 근처에서의 물입자 P의 수직속도($u(y)$)는 다음과 같이 표현된다.

$$u(y) = u_1 \sin \phi + u_2 \sin \phi, \quad (10)$$

식(10)에서 y 는 Fig.2에 보인 수선하의 임의의

물입자 P의 깊이이고, u_1, u_2 는 P에 직접입사파와 수면반사파가 작용할 때 갖게되는 속도를 각각 나타내며 ϕ, ϕ_i 는 u_1, u_2 의 방향이 수평선과 이루는 각도를 나타낸다.

물은 인장을 견디지 못하므로 공동이 발생된 곳의 절대압력(p_T)은 0으로 볼 수 있다. 따라서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_T = p_1 + p_2 + p_a + p_d = 0 \quad (11)$$

식(11)에서 p_1, p_2, p_a, p_d 는 각각 직접입사파압, 수면반사파압, 대기압, 정수압을 나타낸다.

그러므로 u_1 과 u_2 는 직접입사파와 수면반사파 모두를 평면파로 가정할 때 다음과 같이 된다.

$$u_1 = \frac{p_1}{\rho c}, \quad u_2 = \frac{p_1 + p_a + p_d}{\rho c} \quad (12)$$

직접입사파와 수면반사파의 압력은 수면임의점에서의 최초 도달 압력을 폭약의 중량 및 도달거리의 함수로 보고, 시간에 따른 감소형태를 지수함수로 가정하여 다음과 같은 식에 의해 계산한다 [7].

$$p(t) = p_{MAX} \exp\left(-\frac{t-t_1}{\theta}\right); \quad t \geq t_1$$

$$p_{MAX} = K_1 \left(\frac{W^{1/3}}{R}\right)^{A_1} \quad (13)$$

$$\theta = K_2 W^{1/3} \left(\frac{W^{1/3}}{R}\right)^{A_2}$$

식(13)에서 R, W 는 각각 폭발점과 Fig.1의 점 P의 거리, 폭약의 중량을 나타낸다. 식(13)의 상수 K, A 는 폭약의 특성을 나타내는 고유값이다[7]. 시간은 폭발의 발생시점을 기점으로 보며, t_1 은 점 P에 직접입사파가 도달하기까지의 경과시간이다.

이로서 식(10)을 이용하여 공동화된 영역에서 물입자들의 수직속도를 구할 수 있다.

수상선의 경우에 타당한 가정으로서[3] 공동내부에 선체의 물수부가 완전히 위치하게될 경우, 공동발생시점에서 선체가 폭발로부터 받는 충격량은 선체배수량만큼의 물입자들이 정지상태로부터

공동이 되어 수직가속될때까지의 운동량변화로 등가 치환될 수 있다.

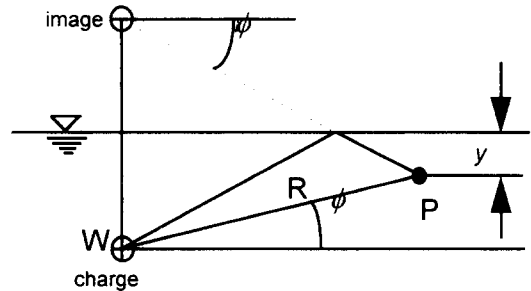


Fig. 1 Shock wave path geometry

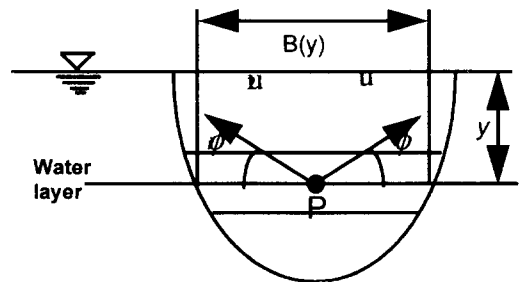


Fig. 2 Water particle velocity within a section

선체 단면의 흡수가 $D(x)$ 일 때 단면의 평균 수직속도 $V(x)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$V(x) = \frac{\int_0^{D(x)} B(y) u(y) dy}{\int_0^{D(x)} B(y) dy} \quad (14)$$

식(14)에서 $B(y)$ 는 Fig.2에 보이듯이 점 P에서 단면의 폭이며, 공간좌표 x 는 선체길이 방향의 좌표이다.

선체 전체가 받는 충격량은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\int_0^L \left\{ \int_{t_1(x)}^{t_1(x)+t_{dur}(x)} F(x, t) dt \right\} dx \quad (15)$$

$$= \int_0^L \rho A(x) V(x) dx$$

선체길이 L 을 길이방향으로 각각 일정한 단면을 갖는 N 개의 구간으로 등분하여 특정 구간을 점자 i ($1 \leq i \leq N$)로 표시하고, 각각의 구간에 작용하는 충격하중 F_i 를 계단함수로 이상화하여, $t_{dur,i}$ 동안 일정한 값 (F_i)으로 작용한다고 가정하면, 식(15)는 다음과 같이 된다.

$$\sum_{i=1}^N F_i t_{dur,i} = \sum_{i=1}^N \rho A_i V_i \Delta x_i \quad (16)$$

식(16)에서 A_i 는 i 구간 중앙단면의 단면적, V_i 는 i 구간의 평균 수직속도, Δx_i 는 구간 i 의 길이를 나타낸다.

$t_{dur,i}$ 이후에 충격하중은 소멸되어 F_i 는 자중 및 대기압에 해당하는 값을 갖게 된다.

충격지속시간 $t_{dur,i}$ 는 유체-구조 상호작용에 의한 충격량을 공기중의 구조에 대한 운동방정식의 하중으로 이상화하여 치환하는 과정에서 계단함수 F_i 와 함께 도입된 것으로서 다음과 같이 정의하였다.

$$t_{dur,i} = \frac{m_i \cos \beta_i}{\rho c} \quad (17)$$

식(17)에서 m_i , β_i 는 각각 i 구간의 단위면적당 질량 및 충격입사파가 i 구간 중앙단면의 선저부에서 수직선과 이루는 각도를 나타낸다.

이제 식(9)를 선체 거더의 이산화 모델에 적용하여 i 구간 중앙단면에 집중된 질점에 대한 동적 하중항으로서 식(16)의 F_i 를 이용한다.

3. 계산결과 및 고찰

3.1 프로그램의 구성

선체거더의 충격응답해석을 위하여 작성된 전산 프로그램은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 본

해석에 필요한 입력데이터로서는 폭약의 종류, 중량 및 위치, 선체 단면수 및 단면위치, 수선면 하부의 단면형상 및 단면깊이 방향의 분할 수, 단면의 구조특성 및 중량등이 있으며 이를 이용하여 각 단면에서의 충격계수(shock factor), 충격파에 의한 압력함수 및 각 단면에서의 평균 키오프 속도를 계산하고 이들 계산치들을 이용하여 각 단면에 주어지는 충격하중의 시간함수를 구하여 구조 동적해석을 수행한다.

충격계수는 선체에 주어지는 폭발의 강도를 나타내는 지수로서 몇가지 표현이 가능하지만, 논문에서 사용한 용골충격계수(keel shock factor; KSF)는 다음과 같이 정의된다.

$$KSF = \frac{\sqrt{W}}{R} \frac{(1 + \sin \phi)}{2}$$

KSF의 정의에서 W 는 TNT로 환산된 폭약의 중량(kg), R 은 고려하는 선체단면의 용골에 해당하는 점과 폭약의 거리(m), ϕ 는 R 을 이루는 벡터와 수평선이 이루는 각도 ($0 \leq \phi \leq \pi/2$)이다.

구조 동적응답해석에는 초기의 충격응답에 주로 기여하는 응답이 고주파수 영역에 있음을 고려하여 Newmark의 직접시간적분법[9]을 사용하였다.

3.2 해석 모델링

선체거더의 충격응답을 근사적으로 구하기 위해서는 Fig.3에 제시한 바와 같이 선체거더를 보요소로 모델링하고 선체의 중량분포를 집중질량계로 치환하여, 각 질점에 이상화된 동적 충격하중을 작용시키는 2차원 동적모델링이 필요하다.

여기서, 선체의 경계조건은 완전 자유로 가정하고, 각 요소의 총질량은 질점에 집중질량으로 주어지며, 각 질점에서의 충격하중에는 충격파의 도달시간이 적절히 고려되어 진다.

본 해석의 모델링시에는 응답에 큰영향을 줄 수 있는 단면 깊이 방향의 분할 수와 집중질량의 수를 단면형상 및 중량분포의 특성을 고려하여 적절히 주어야 하며, 또한 보요소의 단면특성 데이터에는 전단변형을 고려하기 위한 단면의 유효 전단면적을 반드시 입력하여야 한다. 본 해석 모델링의 고주파수 응답특성으로 전단변형을 고려하지

않을 시에는 응답에 큰 영향을 받게된다.

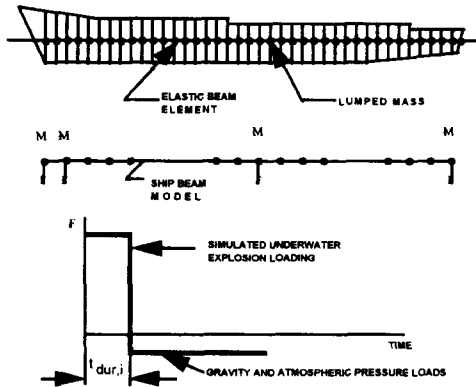


Fig. 3 Ship hull girder modeling for underwater shock analysis

3.3 충격응답 계측결과와의 비교

본 논문에서 제시된 충격응답의 해석방법에 대한 실용성을 검토하기 위하여 해석결과와 수중폭발시험에 의한 계측결과를 비교해 보았다.

시험계측결과는 대형장비의 충격시험 장치인 해상충격시험대(Floating Shock Platform)에 의한 것으로서 길이 28ft의 FSP에 대해서는 참고문헌[10], 길이 50ft의 대형 FSP에 대해서는 참고문헌[11]에 제시된 계측결과를 이용하였다. 이들의 구조특성 및 시험조건들은 Table 1과 같으며, 충격응답의 해석결과와 계측결과와의 비교는 각각 Fig.4, Fig.5 및 Fig.6에 제시한 바와 같다.

먼저, Fig.4는 28ft FSP에 대해 총 14회의 폭발 조건(폭약수심 및 수평거리)에 따른 시험 계측결과(최대속도의 전체 평균치)와 본 프로그램에 의해 11개의 집중질량 모델로써 계산한 결과를 비교한 것으로서 비교적 잘 일치하고 있음을 볼 수 있으며 최대오차는 약 15%정도로 나타나고 있다.

Fig.5 및 Fig.6에 50ft 대형 FSP에 대한 시험계측결과(최대변위 및 속도의 전체평균치)와 13개의 집중질량 모델로써 계산한 결과를 비교하였다.

Table 1. Characteristics and test conditions for FSP/LFSP

Items	FSP	LFSP	
	(Floating Shock Platform)	(Large Floating Shock Platform)	
Characteristics	Length(ft)	28.0	50.0
	Breadth(ft)	16.0	29.75
	Draft(ft)	about 4.0	about 5.15
	Light weight (ton)	about 38.6	about 226.8
	Max. Load (ton)	about 27.2	about 181.4
	Material	steel	HTS
Test conditions	Test Load (ton)	about 16.2	case 1: about 51.1 case 2: about 80.2
	Charge	60lbs HBX-1	300lbs HBX-1
	Charge Depth (ft)	10, 20, 30	20
	Stand-off (ft)	20, 30, 40, 60, 80	45, 70, 120

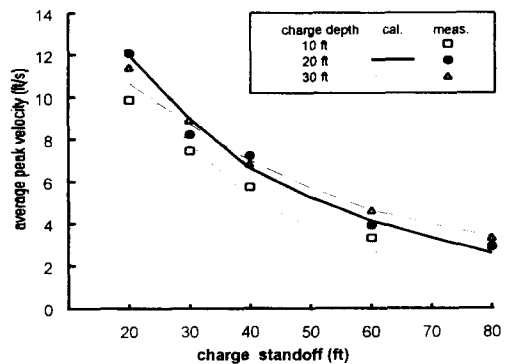


Fig. 4 Comparison of peak velocity response for FSP

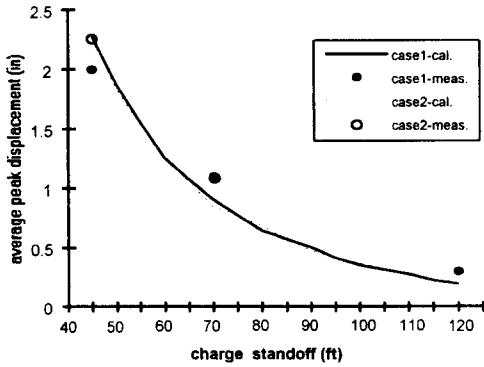


Fig. 5 Comparison of peak displacement response for LFSP

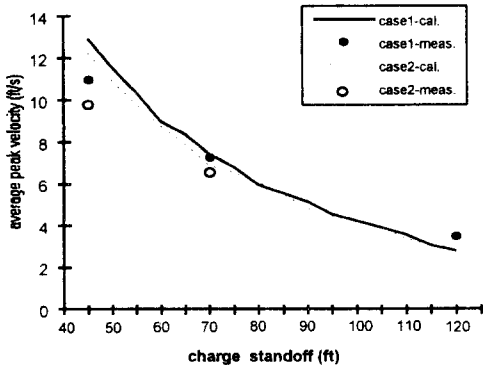


Fig. 6 Comparison of peak velocity response for LFSP

이 경우 폭약의 수평거리 45ft 일 때 최대 약 20% 정도의 오차를 보이는 것을 제외하면 계산결과가 시험결과와 대체로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

충격응답의 시간이력에 대해서는 계측데이터의 미확보로 직접 비교해 볼 수가 없으나, 본 비교결과에서 충격응답의 최대치면에서는 본 해석 방법이 매우 실용성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

3.4 선체거더의 충격응답해석

수중폭발에 의한 선체거더의 근사적인 충격응답 해석은 실선에 대한 동적해석 모델링만 정확하게 이루어지면 본 방법에 의해 실용성이 있는 값을

얻을 수가 있다. 그러나, 실선해석에 앞서서 폭발 조건등에 대한 모델링 및 응답해석 결과의 분석을 위해서는 선체거더의 충격응답에 관련되는 여러가지 변수들에 대한 정성적인 영향을 분석해 볼 필요가 있다.

따라서, 본 논문에서는 이러한 목적을 위해 선체거더를 실선과 유사한 특성을 갖는 상자형의 단순 모델로 치환하여 선체특성 및 폭발 조건에 따른 충격응답을 수행하여 그 특성을 분석하였다.

해석의 기본 모델은 선체거더를 길이 120m, 폭 8m, 흘수 4m, 배수량 4000톤인 상자형 구조물로 하고 단면특성 ($I=10m^4$, $A_s=0.3m^2$) 및 질량분포는 전 길이에 걸쳐 균일 분포된 것으로 가정하였다.

먼저, 폭발조건에 따른 변수로는 폭약의 종류, 중량, 위치 및 폭발강도의 크기등 여러가지가 있으나, 이들 중 대표적인 예로서 폭약의 종류 및 중량에 따른 충격응답을 해석해 보면 Fig.7에 제시한 바와 같이 동일한 용골충격계수에서도 폭약의 중량에 따라서 충격응답의 크기에 다소 차이가 있으며, 충격강도가 높아질수록 폭약종류 및 중량에 따른 응답크기의 차이가 크게됨을 알 수 있다.

또한, Fig.8은 용골충격계수의 크기에 따른 충격응답의 변화를 제시한 것으로서, 용골충격계수와 속도응답은 거의 선형적인 관계가 있는 것을 알 수 있다.

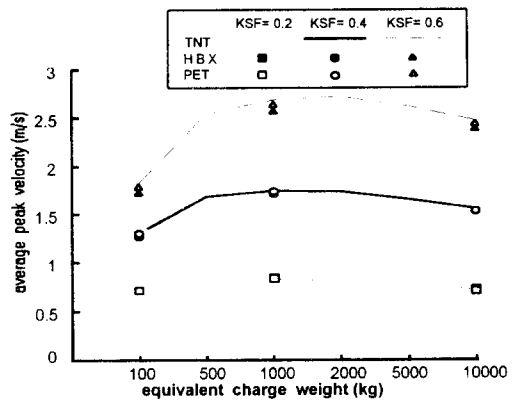


Fig. 7 Variation of peak velocity response with charge type and weight

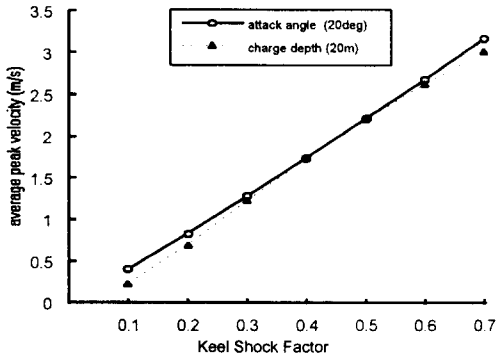


Fig. 8 Variation of peak velocity response with shock severity

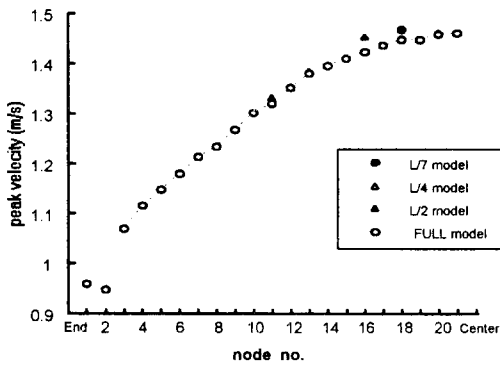


Fig. 9 Variation of peak velocity response with hull girder length

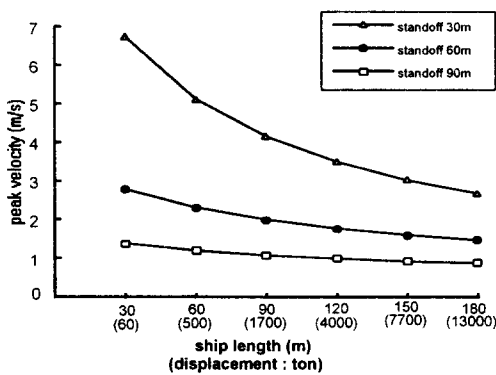


Fig. 10 Variation of peak velocity response (at midship) with ship size

위의 Fig.7 및 Fig.8과 같은 응답의 특성은 수중폭발시험 조건 및 응답의 계측결과 분석등에 활용할 수 있다.

충격응답에 영향을 미치는 선체특성에 관련된 변수로서는 선형, 배수량, 강성, 중량분포등 여러가지가 있으나, 대표적인 예로서 선체의 길이 및 크기에 따른 충격응답을 해석한 결과는 각각 Fig.9 및 Fig.10에 제시한 바와 같다.

Fig.9는 위의 기본모델과 단면의 모든 특성이 동일한 상태에서 선체의 길이만 변화시킬 때의 속도응답으로서, 선체거더의 길이가 짧아져도 그 단면에서의 응답크기는 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 이러한 응답특성의 결과는 참고문헌[12]의 연구 결과와도 잘 일치하고 있으며, 실선크기의 단면모델 충격시험(section test)에 대한 유용성을 보여주는 것이라고 할 수 있다.

Fig.10은 선체의 크기에 따른 응답특성을 보여주는 것으로서, 동일한 폭발조건이라면 소형선박일수록 응답의 크기가 증가되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

수중폭발에 의한 선체거더의 충격응답해석을 초기응답의 관점에 맞추어 근사적으로 해석하는 기법을 정식화하고, 본 기법에 의한 해석결과가 수중폭발시험 계측결과와 비교하여 좋은 결과를 얻음으로써 본 기법의 실용성을 확인하였다.

본 해석기법은 특히 Fig.7 Fig.10에서 제시한 바와 같이 일반적으로 잘 알려지지 않은 선체충격응답의 제반특성을 정성적으로 파악하는데 매우 유용한 수단이 될 것으로 판단된다.

그러나, 본 기법은 정식화의 특성상 수중폭발 직후의 초기 선체충격응답해석만이 가능하고, 또한 선체 폭방향의 충격응답을 해석할 수 없다는 점이 제한 사항으로 남아 있으며 앞으로 보완 연구되어야 할 과제로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Geers, T. L., "Doubly Asymptotic Approximations for Transient Motions of Submerged Structures", J. Acoustics Soc. America, pp 1500~1508, 1978.

- [2] 정기태, 박병욱, 송준태, "물수체의 유체-구조 상호작용 해석", 대한조선학회 춘계연구발표회 논문집, pp 233~240, 1992.
- [3] 안진우, "수중폭발시 광역공동의 영향을 받는 구조의 충격응답해석기법연구". 국방과학연구소, NWSD-713-940978, 1994.
- [4] Fallon, D. J., "The Dynamic Response of Naval Structure to the Application of a Loading Function to Predict Underwater Explosions", Old Dominion University, AD-A154 683, Dec. 1984.
- [5] Costanzo, F. A. and Fallon, D. J., "Surface Ship Response: Lecture IV.6 Analysis Methods", DTNSRDC/UERD, Feb. 1987.
- [6] 송준태, 박병욱, 안진우, "수중폭발에 의한 선체충격응답 해석기법 연구", 국방과학연구소 학술논문집, pp 431~449, 1991.
- [7] Shin, Y. S. and Geers, T. L., "Response of Marine Structure to Underwater Explosions", Short Course Note, Monterey, CA, USA, 1988.
- [8] Cole, R. H., "Underwater Explosions", Princeton Univ. Press, New Jersey, 1948.
- [9] Doyle, J. F., "Static and Dynamic Analysis of Structures", Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp 353~356, 1991.
- [10] Clements, E. W., "Shipboard Shock and Navy Devices for its Simulation", Naval Research Laboratory, Washington, D. C., NRL Report 7396, July 1972.
- [11] Clements, E. W., "Characteristics of the Navy Large Floating Shock Platform", Naval Research Laboratory, Washington, D. C., NRL Report 7761, July 1974.
- [12] Scavuzzo, R. J. and Scavuzzo, R. W., "Effect of FSP Length and Weight on Shock Response", 60th Shock and Vib. Symp., Vol.I, pp 173~182, 1989.