

수중폭발 해석의 신뢰성 향상을 위한 무반사 경계거리의 무차원화

Non-dimensionalization of Non-reflecting Boundary Distance for Improving Reliability of Underwater Explosion Analysis.

전수홍† · 홍진숙* · 정의봉** · 조진래***

Soohong Jeon, Chinsuk Hong, Weuibong Jeong and Jinrae Cho

1. 서 론

수중폭발이 발생하면 초기 충격파가 빠른 속도로 전파된다. 초기 충격파는 근처에 위치한 구조물 및 장비에 가진력으로 작용한다. 실제 수중 영역은 무한하다고 가정할 수 있기 때문에 반사파가 구조물에 추가적인 가진력으로 작용하지 않는다. 해석에서 모델링되는 유체영역은 경계가 존재하므로 반사파가 발생한다. 본 논문에서는 무반사 경계를 구현하기 위하여 PORFLOW 경계조건을 적용하였다. PORFLOW 경계조건은 반사파의 영향을 제거하는 것에 효과적이지만 경계 근처에서 압력 감소 현상이 발생한다. 관심 영역에서 압력 감소 영향을 받지 않기 위하여 경계와의 거리를 결정할 필요가 있다. 따라서 최적의 경계거리를 결정하기 위하여 경계거리를 결정하는 변수에 대한 무차원화를 수행하였다.

2. 수중폭발 무반사 경계 해석

2.1 무반사 경계 조건

일반적으로 수중폭발이 발생하는 경우에 주변의 공간은 무한하다고 가정한다. 하지만 수치해석을 위한 공간은 유한한 요소로 구성하기 때문에 경계가 만들어지며 반사가 발생하게 된다.

무반사 경계를 구현하기 위하여 MSC.DYTRAN 에서 다공성 경계를 부여하는 PORFLOW 조건을

사용할 수 있다. PORFLOW 조건을 사용할 경우 경계 근처에서는 압력 감소 효과가 발생하게 된다. 이러한 효과는 일정 범위까지 영향을 미치지 때문에 관심 영역에 영향을 주지 않는 충분한 경계거리의 결정이 필요하다.

2.2 수중폭발 해석 영역 모델링

수중폭발 해석을 위하여 해수의 물성을 적용한 유체 영역을 Fig. 1과 같이 모델링하였다. 폭발물과 측정지점을 유체 내부에 위치시키고 측정거리를 l 로 설정하였다. 육면체로 구성된 유체요소 한 변의 길이는 s 로 설정하였다. 측정거리 l 에 수직인 방향의 측면 경계거리를 d_1 로 정하고, 폭발물 후면 경계거리를 d_2 , 측정지점 후면 경계거리를 d_3 으로 각각 설정하였다. 폭발물은 10kg의 TNT를 사용하였다.

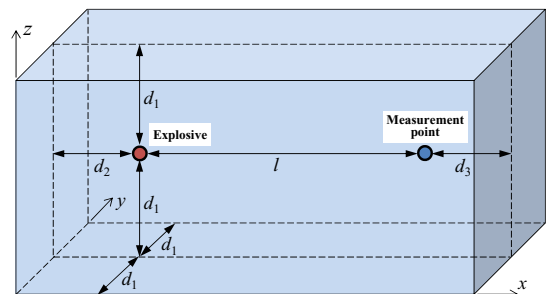


Fig. 1 Euler domain for determination of boundary distance.

2.3 경계거리에 따른 압력변동

무반사 조건을 부여한 경우에 경계거리에 따른 영향을 알아보기 위하여 측정거리 10m 인 지점에서 압력변동을 측정하였다. 경계거리 d_1 을 1.8m에

† 교신저자; 정회원, 부산대학교 대학원 기계공학부
E-mail : jsh4188@pusan.ac.kr
Tel : 051-510-3088 , Fax : 051-517-3805

* 울산과학기술대학교 기계공학부

** 부산대학교 기계공학부

*** (주) 마이다스아이티

서 5.0m까지 변경하면서 측정지점의 압력변동을 Fig. 2에 나타내었다.

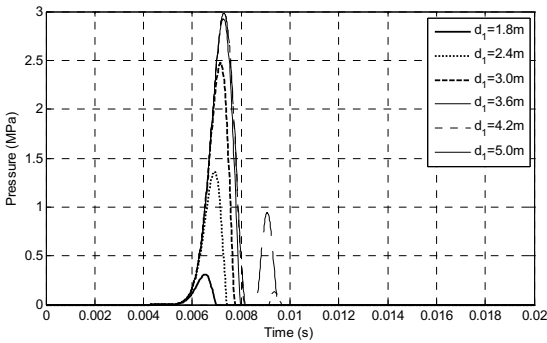


Fig.2 Time histories of pressure by d_1

경계거리에 따라 측정지점의 압력이 변경되는 것을 그림으로부터 확인할 수 있으며, 경계거리가 멀어지면 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보이고 있다. 따라서 압력이 수렴하는 최소 경계거리를 찾아 내어 모델링에 적용하면 최적의 해석조건을 구현할 수 있다.

3. 경계거리에 대한 무차원화

각 경계거리 d_1, d_2, d_3 의 최적 값을 결정하기 위하여 측정거리 l 과 요소크기 s 를 이용하여 무차원화를 실시하였다. 측면 경계거리에 대한 무차원 매개변수를 B_{d_i} 로 정하고 무차원화를 위한 각 변수 조합 식을 다음과 같이 구성하였다.

$$B_{d_i} = l^m \cdot s^n \cdot d_i^{-(m+n)} \quad (1)$$

여기서 m 은 측정거리에 대한 지수, n 은 요소크기에 대한 지수, i 는 경계거리의 종류를 결정하는 인덱스이다.

무차원식의 지수 m 과 n 을 결정하기 위하여 측정거리 l 은 5~10 m, 요소크기 s 는 0.1~0.2 m로 변경하면서 d_i 를 구하였다. 그리고 m 과 n 을 각각 -5에서 5까지 변경하면서 B_{d_i} 를 구하였다. 지수 m 과 n 의 변경에 따른 121가지 조합에 대한 표준편차 σ 를 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$\sigma = \sqrt{\text{var}[B_{d_i}(m,n)/\text{mean}[B_{d_i}(m,n)]]} \quad (2)$$

여기서 $\text{var}[\]$ 는 분산, $\text{mean}[\]$ 은 평균을 나타낸다.

수중폭발 초기 충격과가 구조물에 주는 영향은 최대압력, 충격량, 에너지 플럭스 밀도로 나타낼 수 있다. 각 물리량에 대하여 표준편차를 구하고 가장 낮은 경우의 지수 조합을 선택하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 m, n combinations at minimum derivation.

	mean	σ	m	n
$B_{d_1, maxp}$	0.3727	0.0347	2	1
$B_{d_1, impulse}$	0.1062	0.0785	1	1
$B_{d_1, efd}$	0.1122	0.0679	1	1
$B_{d_2, maxp}$	0.2428	0.0411	0	1
$B_{d_2, impulse}$	0.2099	0.0606	0	1
$B_{d_2, efd}$	0.1936	0.0473	0	1
$B_{d_3, maxp}$	1.4036	0.1479	1	1
$B_{d_3, impulse}$	0.1113	0.1377	1	2
$B_{d_3, efd}$	0.1181	0.1402	1	2

무차원 매개변수를 결정하기 위한 지수를 구함으로써 각 변수 사이의 관계가 정의되었다. 수중폭발 해석에서 측정거리 l 과 요소크기 s 가 결정되면 최대압력, 충격량, 에너지 플럭스 밀도에 대한 무차원 매개변수 B_{d_i} 를 구할 수 있다. 구해진 B_{d_i} 중에서 최대가 되는 d_i 값을 선정하면 경계거리가 최적화된 유체 영역 모델링을 수행할 수 있다.

4. 결 론

지금까지 수중폭발 해석 시에 발생하는 반사효과를 제거하기 위하여 무반사조건을 적용하는 경우에 발생하는 압력 감소 효과의 최소화를 위한 최적의 경계거리를 결정하고, 경계거리에 영향을 주는 변수들에 대한 무차원화를 수행하였다. 무차원화를 통하여 측정거리와 요소크기 및 경계거리 사이의 관계를 규정하였으며, 수중폭발 해석에 최적화된 유체영역을 모델링 할 수 있는 기준을 마련하였다.