

13. 수중폭발의 충격응답해석

조선공학과 박종규
지도교수 이상갑

함정의 생존성 확보 측면에서 예상되는 적의 수중폭발 공격에 대한 대상함의 취약성 평가는 함정 설계시 고려되어야 할 가장 중요한 사항중의 하나이다. 미국 해군의 경우 내충격 안전성이 요구되는 새로운 등급의 모든 수상함 개발에 있어서 시제함에 대하여 실선충격시험을 통한 수중폭발 충격에 대한 취약성 평가를 수행할 것을 의무화하고 있다. 그러나 실선충격시험을 수행하기 위해서는 막대한 비용이 소요되며 시험 특성상 재시험이 거의 불가능하고 환경영향의 최소화를 위한 과도한 과외비용 지출 등의 많은 현실적 어려움이 있다. 미국 해군을 비롯한 선진 해군국가에서는 이러한 실선충격시험의 보조자로서, 나아가서는 실선충격시험을 대체할 수 있을 정도로 정확한 충격응답 수치시뮬레이션 Hydrocode 개발과 이의 활용에 대한 연구가 현재 활발히 수행되고 있다.

수중폭발에 의한 함정의 선체구조 및 탑재장비의 내충격 설계기술은 국방관련 기술이기 때문에 기술 이전 및 습득이 거의 불가능하여 독자적인 기술개발이 불가피하다. 그 동안 국내의 관련 연구를 통하여 미약하지만 어느 정도 핵심기반기술은 구축되어 있으나, 관련 실적자료가 절대적으로 부족하고 현재 선진국에서 Hydrocode를 이용하여 유체·구조 모두를 3차원으로 시뮬레이션 하는 추세에 비추어 국내의 S/W, H/W 및 개발자의 기술적 지원 등의 열악한 전산기 환경으로 해결해야 할 문제점들이 산재해 있다. 이러한 문제점들로서는 전산기 환경제약에 따



른 해석 모델링의 제한성, 특히 수상함의 경우 해석결과의 신뢰성, 해석결과의 평가 및 내충격 설계로의 피드백 등을 들 수 있다.

수중에서 폭발물이 폭발을 일으키게 되면 일반적으로 지수함수 형태의 충격파가 발생한다. 이러한 충격파는 수중 및 수상함에 직접적인 큰 영향을 일으킨다. 이러한 충격파에 의해 보통 수면에 광범위한 광역 캐비테이션이 발생하고, 구조물 주위에는 국부 캐비테이션이 발생한다. 캐비테이션이 닫히면서 일으키는 충격파는 수중폭발 시 발생하는 충격파 못지 않게 영향이 크다고 알려져 있다. 또한, 수중폭발 시 형성되는 고온 고압의 기체가 주위의 유체와의 압력 차에 의하여 팽창 수축을 반복하며 부상하게 된다. 그리고 수축 시마다 가스구체 압력파가 발생하여 수상 및 수중 구조물에 영향을 미치는 휘핑이 발생한다. 이러한 휘핑 현상은 폭발에 의한 직접적인 충격파에 의한 손상 못지 않게 크다고 할 수 있다.

수상 또는 수중함에 대한 수중폭발 시뮬레이션을 위해서는 수중폭발 시 발생하는 고온·고압에 의한 충격파에 의한 영향, 가스구체에 의한 휘핑 문제, 광역 및 국부 캐비테이션의 영향, 구조물의 비선형 대변형 문제, 유체-구조물 연성문제 등을 포함하여야 하고, 이러한 복잡한 문제를 보다 정확히 해석하기 위해서는 Hydrocode의 이용이 필요하다. 본 연구에서는 Hydrocode LS/DYNA3D의 ALE Coupling 방법을 사용하여 수중폭발에 의하여 발생하는 충격파, 가스구체 및 캐비테이션 등의 수중 및 수상 구조물에 대한 영향을 고려한 충격응답 해석을 수행하여 기존의 이론해, 해석 및 실험의 결과와 비교 검토하여 Hydrocode LS/DYNA3D의 수중폭발 문제에 대한 유용성을 검증하고 해석 기법을 향상시키고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수중폭발 충격응답 해석에 필요한 유체-구조물 연성 문제는 LS/DYNA3D의 ALE Coupling 방법으로 대체로 신뢰성 있는 결과를 예측할 수 있었다.
- 2) 수중폭발 시 발생하는 가스구체의 맥동 현상을 잘 구현하고 있었고, 경계조건 부근에서의 가스구체는 경계조건 부근으로 이동하면서 모양이 찌그러지고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 맥동의 크기와 주기를 측정하는 LS/DYNA3D의 데이터베이스 옵션상의 한계로 인하여 이론해 및 해석해와 정확히 비교는 어려우나, 이 점만 보완된다면 만족할 만한 결과가 예측된다.
- 3) 수중폭발에 의한 충격파의 충격응답에 있어서는 기폭해석에 의한 시뮬레이션 결과는 실험 결과와 상당히 잘 일치하고 있으나, 경험식에 의한 충격파의 하중함수 방법의 결과는 감쇠상수 이후의 역적이 상대적으로 작아 실험 결과에 비해 작게 나타났다. 이의 보정을 위해 경험식 함수 형태의 보완이 필요하다고 사료된다. LOAD_SSA의 하중조건 사용은 유한요소 메시가 용이하고 해석 계산시간을 줄일 수 있는 장점이 크지만, 실험 결과와 잘 일치하고 있지 않고 있으므로 충격파 입력 파라미터의 보완이 요구된다.
- 4) 수중폭발 시 발생하는 광역 또는 국부 캐비테이션 현상을 시뮬레이션을 통해 비교적 정확히 확인할 수 있었고 기존의 이론해 및 해석해와 잘 일치하였다. 그러나 수상함의 시뮬레이션의 경우 부정확한 수면의 경계조건에 의하여 광역 캐비테이션을 고려치 못하였고, 수상함의 실험 경계조건을 잘 구현하지 못한 점등은 지속적인 연구가 필요하다.
- 5) Hydrocode를 이용한 수중폭발 충격응답 해석을 여러 가지 기존의 이론해, 해석해 및 실험 결과 등이 존재하는 문제에 적용하여 수행함으로써 이 code의 유용성을 검증할 수 있었고, code를 사용한 수중폭발에 대한 해석기술의 기초를 마련함으로써 보다 구체적인 문제로의 접근을 가능하게 하였다고 사료되며 더욱 체계적인 연구가 필요하다. 그리고 이러한 code에 의한 수치 시뮬레이션의 활용도는 점점 증대할 것으로 사료된다.