

## 17. 선체거더의 수중폭발 휘핑응답 해석을 위한 모델링 방법 연구

해양시스템공학과 이 정 옥  
지도교수 박 한 일

수중에서 폭발이 일어나면 매우 높은 온도와 압력을 가진 가스구체(gas bubble)가 발생됨과 동시에 갑작스런 에너지의 방출로 인하여 충격파(shock wave)가 발생한다. 초기충격파는 선체의 국부 구조 및 주요 탑재 장비에 치명적인 손상을 야기 시키지만, 수중에서의 가스구체는 자체부력에 의하여 수직으로 상승 운동(migration)을 하면서, 주기적인 수축과 팽창을 반복 운동을 하는 맥동운(pulsating)을 한다. 각 가스구체의 맥동주기가 최소가 되는 시점에 주위 유체에 압력파를 발생 시키는데, 이 압력파를 가스구체 압력파(gas bubble pulse)라고 한다. 이 가스구체의 맥동주기는 대상함 선체거더(hull girder)의 저차 상하방향 고유진동 주기와 비슷하기 때문에 이 가스 구체 압력파는 선체거더의 보거동(beam-like behavior), 즉 휘핑(whipping)을 유발시키면 심함 경우에는 과도한 휘핑 모멘트로 인하여 Fig.1에서 보는 바와 같이 선체거더의 종강도까지 상실시킬 수가 있다.

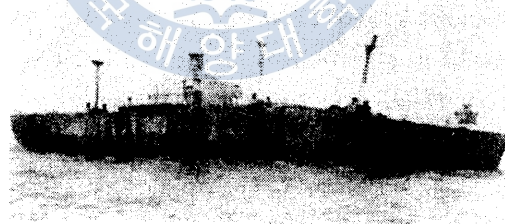


Fig. 1 Failure of hull girder (USNavy ship - contact explosion)

Fig. 1 Example of whipping-induced damage

본 논문에서는 이러한 가스구체 압력파에 선체거더의 휘핑응답 해석방법을 고찰하였으며, 휘핑 응답해석을 위하여 1차원 보유추 해석과 3차원 유한요소 해석에 대한 모델링 방법을 정립하였으며, 마지막으로 한국해군 수상함에 대하여 한국기계연구원에서 개발한 휘핑응답 해석 프로그램인 UNDEXWHIP을 이용한 1차원 보유추 해석과 3가지의 3차원 유한요소 해석모델에 대하여 상용유한요소 프로그램인 LS-DYNA와 수중폭발 전용코드인 USA를 이용한 휘핑응답 해석결과를 비교·검토 해 보았다. 먼저 1차원 보유추 해석은 대상함의 선체거더를 Fig. 2에서 보는 바와 같이 양단 자유의 경계조건을 갖는 변단면 티모센코보로 간주하고  $n+1$ 개의 절점과  $n$ 개의 등가 티모센 코보로 모델링을 한다. 대상함의 하중은 절점에 집중질

량처리하며 절점과 절점을 연결하는 보는 질량이 없는 것으로 간주한다. 대상함의 하중에 따른 부가수질량 및 시스템 파라미터들은 한국기계연구원에서 개발한 진동해석 프로그램인 VIBHUL을 이용하여 산정한다. 1차원 휘핑응답 해석 프로그램으로는 한국기계연구원에서 티모센코보 이론과 모드중첩법에 의거하여 개발한 선체거더 보유추 휘핑응답 해석 프로그램인 UNDEXWHIP을 사용한다. 3차원 유한요소 해석에 있어서는 대상함의 선체 단면이 함정 특성상 중심축에 대하여 비대칭이기 때문에 전선을 유한요소로 모델링을 한다. 휘핑에 의한 대상함의 선체거더는 글로벌 보 거동이기 때문에 3차원 유한요소 해석 모델링에 있어서는 선체거더의 3차원 유한요소 진동해석 모델에서와 마찬가지로 고려 대상이 아닌 국부모드들이 나타나지 않도록 Fig. 3의 (a)와 같이 Coarse하게 모델링을 한다.

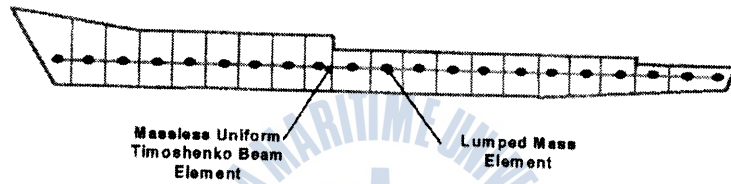


Fig. 2 Example of 1-D analysis model

또한, LS-DYNA/USA를 이용하여 자유 수면을 갖는 수상함에 대하여 3차원 휘핑응답을 할 수 있는 3차원 보유추 모델을 Fig. 3 (b)와 같이 모델을 구성하였다.

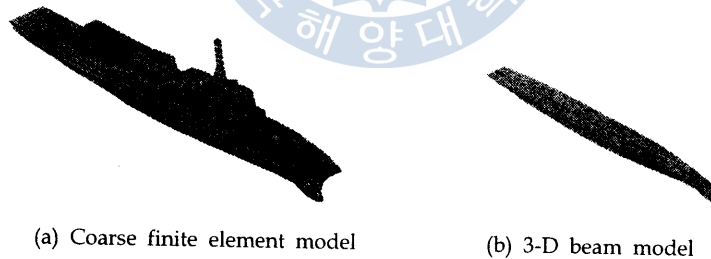


Fig. 3 3-D Finite element model

해석모델링 방법에 따른 대상함 선체거더의 휘핑응답에 해석결과를 비교하기 위해 1차원 해석과 3차원 해석을 통해 대표적인 선체단면에서 계산된 휘핑 굽힘모멘트를 시간 이력으로 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 3차원 유한요소 해석 모델을 사용한 경우에는 단면에 작용하는 휘핑 굽힘 모멘트를 직접 구할 수 없기 때문에 선정된 단면의 주갑판과 선저위치에 있는 유한요소들에서 응력 평균값에 해당 단면의 단면계수값을 곱하여 굽힘모멘트를 계산하였다. 그래프에서 보면 알수 있듯이 한국기계연구원에서 개발한 UNDEXWHIP을 이용한 1차원 보유추해석과 3차원 유한요소 모델과 잘 맞는다는 것을 알 수가 있고, 3차원 보유추 모델도 다

른 모델들과 비교적 잘 일치하는 것을 알수가 있다.

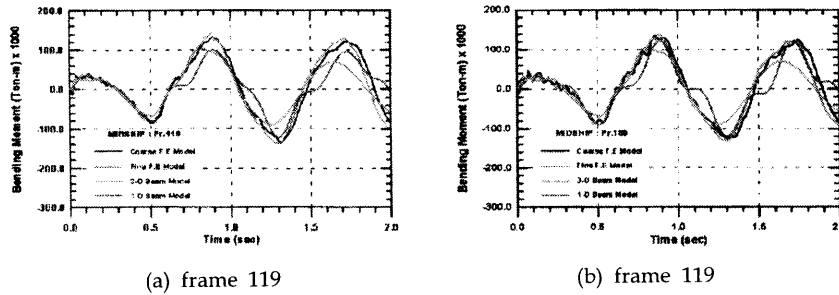


Fig. 4 Comparison of time history of whipping-induced bending moment

1차원 보유추 해석과 3차원 보유추 해석만으로 수중폭발 휘핑에 대한 대상함 선체거더의 종강도 안전성 검토를 위해서 충분히 유용한 결과를 얻을 수 있고, 유한요소프로그램을 이용한 3차원 보유추 해석의 경우에는 탄성뿐만 아니라, 과도한 휘핑모멘트에 인한 탄소성 해석에도 적용된다고 판단된다. 본 논문에서 확인되었듯이 비록 많은 계산시간이 소요되지만 전선 충격응답 해석모델을 사용하여 휘핑응답 해석도 병행하는 것이 최종적으로 해석자의 노력과 시간을 줄여줄 수 있으리라 판단한다.

## 18. 수중폭발 충격하중으로부터 승조원을 보호하기 위한 충격절연 장치의 최적설계 연구

해양시스템공학과 곽 묘 정  
지도교수 박 한 일

함정의 생존성(survivability) 확보를 위해서 반드시 고려해야 할 사항의 하나인 수중폭발 충격하중에 대한 함정의 내충격 강화(shock hardening)와 관련하여 대부분의 국내의 기술개발은 선체구조 및 탑재장비의 내충격 안전성 확보 관점에서 이루어져 왔다. 그러나 함정 생존성 확보의 궁극적 목적은 함정의 승조원들이 전투임무를 성공적으로 마치고 무사히 귀환할 수 있도록 하는 것이기 때문에, 수중폭발 충격하중에 대한 승조원의 보호 대책도 함정의 설계 및 건조 시 반드시 고려해야 할 중요한 문제라 판단된다. 하지만 수중폭발 충격하중에 대한 승조원 보호관점에서 명시된 해군 규정 및 기준은 독일해군의 함정의 내충격 강화 사