

## 최근의 선박진동에 대한 소고

박진화 <현대선박해양연구소 책임연구원>

### 1. 서 언

선박 진동은 1884년 Schlick[1]이 논문을 발표한 이래 현재까지 고품질 선박 건조를 위한 주요 항목으로 취급되고 있다. 특히 최근에 연료 절약형 선박의 추구로 인한 주기관의 고출력화, 소수 기통 기관의 채용, 선형의 개선, 대 직경 프로펠러의 채택등의 따라 기진력은 증대하는 반면 선체의 경량화에 따른 선박 전체로서의 내진성은 저하되고 있다. 한편 거주성 및 작업성 향상을 위한 저진동 선박에 대한 요구는 점차 높아지고 있으며 진동에 대한 국제 허용 기준도 통일 되고 있으므로 진동 문제는 점차 증가할 것으로 예측된다.

일반적으로 선박은 계약부터 건조 및 인도까지 상당한 기간이 소요되고 이에 따른 진동예측용 데이터도 어느정도 시간이 경과해야 얻을 수 있는 경우가 많다. 그러므로 선박의 방진설계를 하기 위해서는 건조공정에 따라서 초기설계(기본설계), 상세설계(조선설계), 건조(부분 구조 및 전체선박 완성) 및 시운전 단계로 분류해서 각 단계에서 얻어진 정보를 이용하여 그 단계에서 대상 선박의 주요진동 특성을 예측하고 이에 따른 적절한 방진대책을 실시하는 것이 보편화되어 있으며 국내의 각 조선 회사들도 이를 적용하고 있다[2].

선박 진동은 선박 건조당시의 시대적 환경과 선박의 크기 및 종류등에 따라서 발생하는 양상도 약간씩 변하고 있으므로 진동 관련자들은 선박진동에 영향을 미치는 인자를 각 단계별로 잘 파악하여 해석적인 방법 및 진동시험등을 사용하여 시운전시에 선박 진동문제가 발생되지 않도록 하여야 한다.

본 고에서는 최근의 선박에서 발생하는 진동문제

에 대해서 언급하여 선박의 진동문제 해결에 약간의 도움을 주고자 한다.

### 2. 선박진동의 변천

선박에는 주요 기진원 (주·보기관, 프로펠러, 파도등)이 복합적으로 작용하고 있으며 복잡, 다양한 선체 구조와 감쇠 및 공진현상등으로 매우 복잡한 선박 진동이 발생되고 있다. 이들 선박 진동의 형태는 시대적 환경(유류파동) 및 선박의 종류와 크기, 거주구의 위치등에 따라서 약간씩 변하고 있다[3].

1950년대에는 선박의 크기도 작고(재화중량 40,000톤 이하) 거주구가 선박 중앙부에 위치하였으므로 주기관 기진력으로 인한 진동 문제가 간혹 발생되었으나 프로펠러에 의한 거주구 진동은 거의 발생되지 않았다. 1960년 ~ 1970년대에서는 유조선이 대형화되고 거주구가 선미부에 위치하게 됨에 따라 프로펠러에 의한 선미부 구조의 균열 및 거주구의 종진동이 발생되었으며 주기관에 의한 선체 진동도 계속적으로 발생되었다. 그리고 초대형 유조선에서는 파도에 의한 과도적인 진동이 간헐적으로 관측되었다.

1970년대 중반 이후에서는 유류파동으로 기인한 연료 절약형의 소수 실린더 기관과 적재 화물에 따른 다양한 선박 (컨테이너 운반선, 자동차 운반선, 다목적 화물선등)이 건조됨으로 인해서 기관의 과대한 기진력에 의한 선체 상하진동과 기관의 전후 및 횡진동이 선박에 주로 발생되었으며 프로펠러에 의한 진동도 계속적으로 발생되었다. 그리고 축계 비틀림 진동에서 발생하는 추력 변동으로 인한 거주구에 심한 진동 문제가 발생된 경우도 있었다[4].

당사 건조선의 진동계측 자료에 의하면 콘테이너 운반선과 같이 상부구조가 높은 선박에서는 프로펠러 기진력에 의한 진동문제가 주로 발생되고 있으나 유조선 및 산적화물선 등에서는 주기관 기진력(주로 2차 불평형 모멘트 및 실린더 차수의 기진력)에 의한 진동이 많이 발생된 바있다.

1960년대 부터 1980년대 사이의 선박에서 진동을 발생시키는 주요 기진원은 프로펠러로부터 점차 주기관으로 변천되는 경향을 보여주고 있다[3].

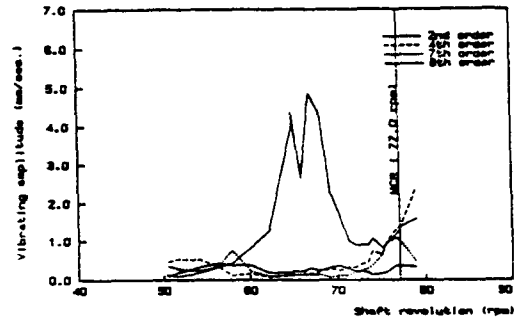
1990년대 이후의 선박에서는 선박의 대형화와 고속화 및 효율화에 따른 고마력 기관과 high skewed 프로펠러를 선박에 적용함으로써 선체 상하 진동은 이전과 같이 주기관의 불평형 모멘트에 의해서 발생하고 있으나 선체 중진동이 주기관의 중기진력에 의해 발생하는 경우도 있었다[5]. 거주구의 중진동은 프로펠러의 선체 표면력과 주기관의 중 기진력등에 의해서 계속적으로 발생되고 있으며 특히 대형 유조선등에서는 거주구의 횡진동 문제가 발생되었으며 또한 레이다 마스트와 wing bridge 등의 국부 진동 문제도 발생되고 있다.

그리고 high skewed 프로펠러를 적용함으로써 프로펠러로부터 발생하는 선체 표면력의 감소로 인하여 선미부를 포함한 거주구에서의 프로펠러 기진력에 대한 강제 진동의 진동 문제는 점차 감소되고 있으나 공진으로 인한 진동문제는 여전히 발생되고 있다.

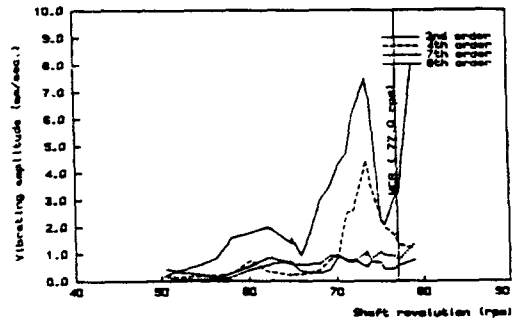
이와 같이 선박진동 양상은 그 시대의 주변 환경(선박 형태 및 크기, 프로펠러, 주기관등)에 따라 계속적으로 변하므로 선박 진동관계자들은 대상 선박의 진동 특성을 예측하고 평가하여 자료 축적을 하는 등의 관심을 갖는 것이 요구된다.

### 3. 초대형 유조선(VLCC)의 진동

당사가 1970년대 초에 건조한 250,000 DWT급 초대형 유조선(VLCC)의 추진 기관을 증기터빈이었으므로 주기관에 의해 발생하는 선체 진동문제는 없었다. 80년대 후반부터 90년초에 걸쳐서 건조된 대형 유조선은 최대 회전수 70rpm 근방인 25,000마력 가량의 6기통 장행정 저속 디젤 기관인 HYUNDAI B&W 6S80MC를 주로 탑재하였는데 이들 기관에서 발생하는 선체 진동의 주요 기진원인 2차 불평형 모멘트(M2V)는 약 2,500 kN·m 정도의 큰 값이나 선박의 대형화로 인해서 공진시에도 선체 진동응답 크기는 작아서 선체진동문제는 발생되



(a) 항해 갑판의 중진동 응답곡선



(b) 항해 갑판의 횡진동 응답곡선

Fig. 1 초대형 유조선의 항해갑판 응답곡선

지 않았다. 그리고 거주구의 종방향이나 횡방향 고유진동수가 운항 회전수 영역내의 주기관 및 프로펠러의 기진 주파수 범위를 벗어나서 공진으로 인한 거주구 진동문제는 거의 발생되지 않았다. 그러나 주기관 자체의 기진력(H-모멘트 및 X-모멘트)이 상당히 큰 값이므로 이 기진력에 의해 주기관 자체의 진동이 크게 발생되고 이 진동을 줄이기 위해 지지구조물(sway bracing)을 주기관에 설치하는 것이 보편적으로 되어 있으며 이에따라 지지구조물 자체에 균열이 발생하는 경우가 많았다.

그러나 93년부터 인도되기 시작한 초대형 유조선(280,000 DWT 이상)은 이전에 비해 주기관의 마력이 증대됨에 따라 최대 회전수가 80rpm까지 상승되고 기통수도 6기통에서 7기통으로 변화된 7S80MC 주기관을 선박에 탑재하게 되었다. 이에 따라 프로펠러에 의한 가진 주파수는 rpm증가에 의해 약간 높아졌으나 주기관에 의한 가진 주파수는 실린더수 증가 및 rpm 증가에 의해 보다 높아져서 고려하여야 할 가진 주파수 범위가 넓어졌다고 할 수 있다. 반면 거주구 구조는 예전과 같이 항해시야 확

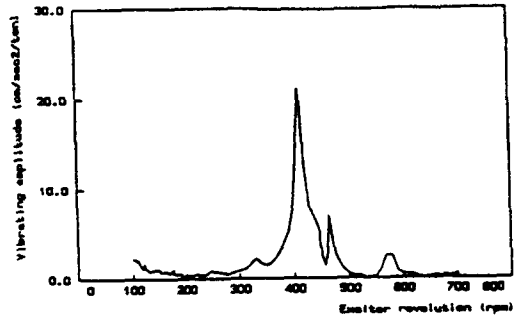
보를 위해 6층의 높이를 유지 하였으나 운항 선원수 감소등으로 거주구의 길이나 폭은 감소 되었다. 특히 거주구 구조 형상 및 강성, 선체와의 연결성에 따라 거주구의 종방향 또는 횡방향의 고유진동수가 운항 회전수 범위내에서 주기관 실린더 차수의 기진 주파수와 공진될 가능성이 많아진 것이 최근의 경향이다.

당사 실적선중에서 항해 갑판의 종진동 및 횡진동의 진동응답치가 심한 경우를 그림 1에 나타내었다 [6]. 이로부터 주요 진동원은 프로펠러보다는 오히려 주기관의 실린더 차수에 의한 기진력이며 종진동의 공진점은 70rpm 근처에 있고 횡진동의 공진점은 80rpm 근처에 있음을 알 수 있다. 또한 종진동 보다는 횡진동에 의한 진동응답이 큰 것도 주목된다. 그리고 거주구에 비해 상대적으로 강성이 약한 bridge wing에서 프로펠러 혹은 주기관의 주요 진동차수와 공진으로 인한 진동응답이 상당히 크게 발생되므로 bridge wing의 지지구조 및 강성등을 고려한 방진 설계가 요구된다[7].

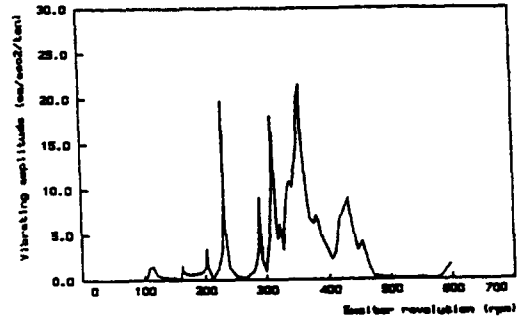
#### 4. 컨테이너 운반선의 진동

당사의 컨테이너 운반선 건조 실적에 의하면 1980년대에는 운항 속도가 18노트 근방의 2000 TEU 정도를 적재할 수 있는 컨테이너 운반선이 주로 건조되었는데 이들 선박의 거주구는 높이가 19m 정도 되는 7층의 거주구 구조로써 주로 선미부에 가깝게 위치하고 있다. 거주구의 선미부 배치에 따라 선체와의 연결된 거주구 종진동의 고유 진동수가 380 cpm ~ 400 cpm 근처에서 나타나고 이는 상용 회전수 영역에서 프로펠러 날개 차수의 기진력과 공진되어 항해 갑판에서 상당히 높은 진동 응답이 나타나는 경우도 있다. 최근에는 컨테이너 운반선의 대형화(3,500 TEU ~ 5,100 TEU)와 고속화(최대 속도 25 노트이상)에 따라 30,000 마력에 이르는 대형 디젤기관이 선박의 주기관으로 설치되고 있다. 그리고 선박의 거주구도 8층으로써 높이가 22m 정도에 이르는 상당히 높은 구조로 구성되고 있는 반면에 거주구의 위치는 컨테이너의 효율적인 적재와 항해 시야의 확보를 위해서 선미부에서 선체의 중앙부 방향으로 이동하고 있다. 이러한 거주구의 구조적인 특성으로 인하여 선체와 연결된 거주구의 종진동 고유 진동수는 350 cpm에서 450cpm에 걸쳐서 2~3개의 뚜렷한 공진점이 나타나는 것을 그림 2로부터 알 수 있다[8][9]. 이러한 대형 컨테이너 운반선에서 항해 갑판의 진동계측 결과

(그림 3참조)에 따르면 프로펠러에 의한 진동응답은 그렇게 높지 않는데 이는 프로펠러의 고효율화 및 high skewed 프로펠러로 인한 프로펠러 기진력이 많이 감소된 점과 거주구가 프로펠러로부터 멀리 떨어져서 위치한 때문으로 판단된다. 반면에 주기관으로부터 발생하는 종기진력의 크기는 50kN에서 100kN사이의 상당히 큰 값으로 이 종기진력에 의해 거주구에 종방향의 진동성분이 상당히 높게 나타난



(a) 4,400 TEU 컨테이너 운반선



(b) 3,500 TEU 컨테이너 운반선

Fig. 2 컨테이너 운반선의 거주구 기진기 시험 결과

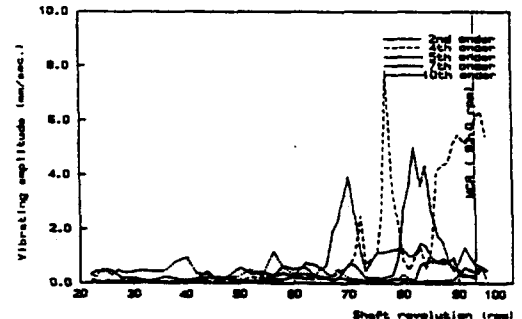


Fig. 3 항해갑판의 종진동 응답곡선 (프로펠러 날개수 5개)

다. 그러므로 대형 컨테이너 운반선의 거주구 중진동을 방지하기 위해서는 프로펠러의 선체 표면력은 물론 주기관에서 발생하는 중 기진력 성분을 고려한 방진 설계를 하는 것이 필요하다.

그리고 고마력의 주기관 채택에 따라 프로펠러 회전수가 100 rpm 이상이고 프로펠러 날개수도 4개에서 6개정도가 보편적이므로 선미부에서 각종 항해장비를 포함한 국부 구조에 공진 혹은 강제 진동에 의한 국부 진동이 자주 발생되므로 이들 구조 설계에 세심한 주의를 하여야 한다.

### 5. 결 언

본 고에서는 실제 선박의 진동 양상을 근간으로 하여 최근의 초대형 유조선 및 컨테이너 운반선의 선박 진동에 대해서 개략적으로 고찰하여 보았다. 최근의 선박 진동 양상은 선박의 대형화와 고출력 및 고효율 기관이 선박에 적용됨에 따라 프로펠러 보다는 주기관에 의한 진동이 많이 발생 되므로 주기관으로 발생하는 중 기진력 및 선체에의 전달 메카니즘에 대해서 중점적으로 연구할 필요가 있다.

선박 진동은 현재의 추진기관 시스템이 선박에 적용되는 한 피할 수 없는 문제이고 또한 최근에 거주성 및 작업성 향상을 위한 저진동 선박에 대한 요구도 점차 높아지고 있으므로 진동 관계자들은 지속적인 관심을 갖는 것이 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] O. Schlick, "On the Vibration of System Vessels", *Trans. RINA*, 1884.
- [2] 정태영외, "선박진동 제어기술에 관한 국내 관련기관 현황", *대한조선학회지*, 제31권 제3호, 1994년 9월.
- [3] M. Mano, "Ship Design Considerations for Minimal Vibration", *STAR Sympo. SNAME*, 1985.
- [4] D. P. Hong, K. Y. Chung and J. H. Park, "Measures and Their Effectiveness to Reduce Aftbody Vibration of a Bulk Carrier, Int. Symp. on Practical Design in Shipbuilding, 1986.
- [5] 배종국, 정균양, "73,000톤 산적 화물선의 선체 중진동에 대한 연구", *대한조선학회 춘계학술대회* 1994년 4월.
- [6] Jin-Hwa Park, "Vibration Measurement of 300,000 DWT Class Crude Oil Carrier", *HMRI-94-10-R131*, 1994.
- [7] 최수현, 허주호, "초대형 유조선의 선루익 진동 현상 및 방진 대책", *대한조선학회 춘계학술대회*, 1992년 10월.
- [8] 정균양, 박진화, "4,400 TEU 컨테이너 운반선의 진동 특성에 대한 연구", *대한조선학회 선박구조 연구회*, 1992.
- [9] D. S. Cho, "Vibration Measurement of 3,500 TEU Class Container Carrier", *HMRI-94-04-R055*, 1994.