

유체 감쇠형 탄성 커플링을 갖는 선박용 전기 추진 시스템에서 비틀림 진동의 공진과 대책

Resonance and its Countermeasures of Torsional Vibration on the Marine Electric Propulsion System with Flexible Coupling of Fluid Damping Type

이돈출†, 김진희*, 로날드 디 바로**

Donchool Lee, Jinhee Kim and Ronald D. Barro

1. 서 론

최근 해양구조물과 특수 선박의 수요증가로 전기 추진시스템이 늘어나고 있다. 이러한 선박의 추진시스템은 모터의 초기 구동 시 토크 변동을 줄이고 대빙 설계를 위하여 고성능의 유체 감쇠형 탄성커플링이 모터와 감속기 사이에 자주 이용되고 있다. 이 경우 디젤엔진 추진과 달리 프로펠러 상용회전수 범위 내에서 프로펠러 유체력에 의해 비틀림진동의 공진이 자주 발생할 수 있다. 본 논문은 이러한 축계에서 프로펠러의 날개 차수의 각 진폭이 큰 진동계에서 비틀림진동의 공진현상 규명과 방진대책에 대하여 이론적으로 검토하였다.

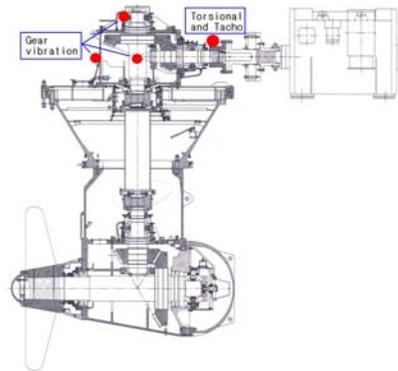


Fig. 1 Outline for electric propulsion system

2. 비틀림진동의 이론적 해석

축계시스템의 개략도는 Fig. 1에 보이며 5MW의 전기 모터에 의해서 추진되며 감속기의 감속비는 4.188:1이다. 초기 비틀림진동 해석은 탄성커플링을 공급한 오스트리아의 G사에서 수행하였으며, 그 결과에 의하면 가장 낮은 고유 진동수는 6.08 Hz이다. 그리고 프로펠러 날개 수 4개를 가진으로 한 모터 회전수를 기준으로 한 비틀림진동 해석 결과는 Fig.2에 보인다. 진동토크는 아직 선급간의 의견이 조율되지 않아 확정된 규정 값은 없지만 교신 저자의 경험에 의하면 감속기에 전달되는 진동토크는 최대연속출력에서 전달토크의 최대 40% 이내가 안전한 설계라고 할 수 있다.

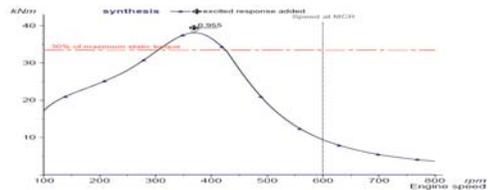


Fig. 2 Vibratory torque between pinon and main gear

3. 실선의 비틀림진동의 계측

비틀림진동 계측은 Fig. 1에서 보는바와 같이 가이슬링거 플렉시블 링크(GFL)에서 레이저 토슨메타로 수행하였으며, 모터 회전수를 단계적으로 올리면서 측정된 결과를 Fig. 3에 보인다. 공진은 프로펠러 회전수 162rpm에서 일어나며 고유진동수는 10.8Hz로 이론적인 해석결과와 너무 상이하였다. 이를 이론적으로 시뮬레이션 해본 결과 탄성 커플링의 비틀림 진폭이 커서 동강성보다 감쇠계수와 각속도를 곱한 감쇠력이 더 큰 것으로 추정되었다. 더구나 모터 측에서는 계측한 비틀

† 교신저자; 정회원, 목포해양대학교
E-mail : ldevib@mmu.ac.kr
Tel : 061-240-7219, Fax : 061-240-7201

* 한국선급
** 목포해양대학교

립 진동이 극히 적은 것을 고려할 때 마치 점성매체와 같이 강성이 무시된 감쇠력에 의해서 진동계가 지탱하고 있는 것으로 판단되었다. 또한 Fig. 4에서 보는바와 같이 비틀림 진동이 가장 큰 162 rpm의 시간영역에서 관찰할 때 두 프로펠러의 위상차에 의해서 비틀림이 진동이 증·감되는 현상이 발생하였다. 그리고 이때 비틀림진동이 가장 심한 부분의 상세 진동은 Fig. 5에 보인다. Fig. 6은 비틀림진동과 선체진동의 상부 전후방향의 진동을 보이며 비틀림진동과 선체진동이 비례함을 알 수 있다. 즉 비틀림진동으로 인하여 프로펠러에서 전후방향의 추력변동력이 발생하고, 이 힘이 일반 선박과 비교하여 선실과 추진기실의 거리가 멀게 떨어진 선체 상부에 그대로 전달되어, ISO 6954-2000에는 못 미친다 할지라도 심한 선체진동과 더불어 선내에 설치된 주요 장비의 강한 진동이 목격되었다.

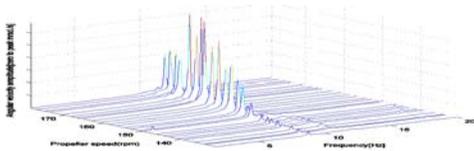


Fig. 3 Measured angular velocity amplitude of G.F.L.

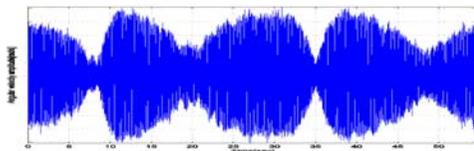


Fig. 4 Measured angular velocity amplitude of G.F.L at 162 rpm

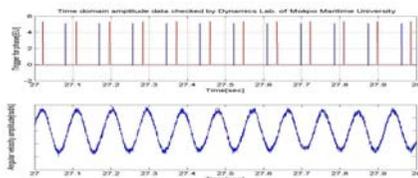


Fig. 5 Measured angular velocity amplitude of G.F.L and motor phase angle at 162 rpm

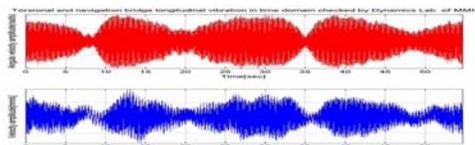


Fig. 6 Measured angular velocity amplitude of G.F.L and longitudinal vibration of navigation bridge at 162 rpm

4. 결 론

최근 국내 조선소에서 해양구조물, 특수 선박의 수요가 급증하면서 전기추진시스템의 수요 역시 증가하고 있고, 비틀림진동과 외부충격 토크의 전달을 줄이기 위하여 고성능의 신뢰성이 높은 유체감쇠형 탄성 커플링이 자주 이용되고 있다. 본 논문은 이 탄성커플링이 적용된 전기 추진시스템에서 비틀림진동의 공진현상을 이론적으로 규명하고 방진대책을 요약 정리하면 다음과 같다.

1) 초기 모터 기동시와 빙하중과 같은 외부의 순간적인 토크변동을 줄이기 위하여 내구성고 신뢰성이 높은 고성능의 유체 감쇠형 탄성커플링이 효과적이다. 그러나 프로펠러의 유체 가진력에 의해서 각 진폭이 클 경우 내부 유체에 의한 감쇠력이 동강성보다 크게 되어 비틀림 진동의 고유진동수가 높아지게 되어 진동제어가 어려울 수 있음을 확인하였다.

2) 프로펠러의 날개 수 차수의 비틀림진동 공진이 상용 운전영역에 존재하게 될 경우 감쇠조정에 의해서 고유진동수를 이론적으로 낮출 수 있다. 그러나 실제로 이 방법을 통해서도 비틀림진동이 제어되지 않을 경우 동일한 제원에서 유체감쇠형보다 상대적으로 감쇠와 강성이 낮은 고무형 탄성커플링이 고유진동수를 낮출 수 있기 때문에 보다 효과적으로 비틀림진동을 제어할 수 있다.

3) 유체력을 줄이는 방향으로 프로펠러를 세설계할 수 있으며 공진점을 낮추기 위해서는 동시에 날개 수를 증가시키는 방법이 있다. 또한 병렬로 설치된 2개의 개방형 프로펠러에서 서로 간의 거리가 가까울 경우 프로펠러 유체력이 서로 간섭이 일어난다. 즉 두 추진기의 위상차에 따라 비틀림진동이 증가 또는 감소되는 현상이 연속적으로 일어남을 확인하였으며 설계 시 이를 충분히 고려하여야 한다.

4) 종전 디젤엔진의 소수실린더에서 비틀림진동에 의해서 발생되는 추력 변동력이 선체상부에 전달되어 심한 전후진동을 일으키는 현상과 유사하게 전기추진 시스템에서도 비틀림 진동이 증가하면 프로펠러에서 발생하는 추력변동력이 심한 선체진동을 유발함을 확인하였다. 이 경우 비틀림진동은 그 자체 진동보다는 선체진동과 선내의 모든 장비에 구조진동을 일으키며 특히 감속기어와 추진기의 밀봉장치에 치명적인 손상을 초래할 수 있다. 따라서 이 진동문제는 구조적으로 디젤엔진의 추진시스템보다 취약한 전기추진시스템에서 매우 신중하게 검토되고 취급되어야 한다.

후 기

본 연구는 목포해양대학교 녹색해양기자재 RIS사업단에 의해서 지원되었습니다.