

원형 고무 세그먼트를 갖는 탄성 커플링의 동특성과 적응성

Dynamic Characteristics and Adaptation of Elastic Coupling with Rubber Type Circular Segments

이돈출† · 김진경* · 남택근** · 유정대***
D. C. Lee, J. K. Kim, T. K. Nam and J. D. Yu

Key Words : Elastic Coupling(탄성 커플링), Marine Diesel Engine(선박용 디젤엔진), Reduction Gear(감속 기어)

ABSTRACT

Medium and high speed marine diesel engines have been widely used as prime mover in small car ferries and fishing vessels with reduction gear. These propulsion shafting system should be installed and matched the elastic coupling between engine and reduction gear to isolate the vibratory torque. In this paper, the elastic dynamic characteristics of coupling with rubber type circular segments is confirmed by the theoretical analysis using the FEM and the hydraulic exciting test at shop. And its adaptation is investigated in the torsional vibration test in factory shop.

1. 서론

중·고속 디젤엔진을 추진용으로 사용하는 선박은 프로펠러 효율을 증대시키기 위하여 대부분 감속기어를 사용하고 있다.⁽¹⁾⁻⁽³⁾ 이때 엔진에서 발생하는 진동토크를 감속기어에 전달되는 것을 방지하기 위하여 탄성커플링이 이용된다. 또한 이 커플링은 디젤엔진과 발전기, 전기모터를 이용한 일반 동력기계에도 비틀림진동에 의해서 유기되는 진동토크와 기동·정지 시 과도한 토크 변동을 줄여서 기계의 수명을 연장하기 위하여 이용되기도 한다.⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾ 이때 탄성커플링은 비틀림진동의 고유진동수를 낮추어 공진을 피하는 동시에 주 공진점에서 히스테리시스(Hysteresis) 감소에 의해서 진동 진폭을 줄여주기도 한다.⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾ 따라서 전체의 안정성과 관련 시스템 설계의 성패는 탄성커플링의 비틀림 동특성에 좌우되게 된다.⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾

본 연구에서는 제작이 비교적 쉬운 여러 개의 원형 고무 세그먼트를 조립하여 제작한 탄성커플링의 동특성을 구

하기 위하여 ANSYS를 이용 이론적 해석을 수행하였고 커플링 제작사에서 유압장치를 이용한 가진 실험을 수행하였다. 또한 탄성 커플링의 적응성을 확인하기 위하여 디젤엔진 제작사에서 동력계와 함께 디젤엔진과 감속기 사이에 탄성커플링을 설치하여 비틀림진동 실험을 수행하였다.

2. 탄성 커플링의 동특성 해석 및 실험

2.1 FEM에 의한 이론해석

고무의 고유한 특성을 알아내기란 쉽지 않으며 고무의 물리적인 특성이 FEM의 열쇠이다. 일반적으로 고무제작사는 비선형적으로 변형하는 고무의 고유특성을 알아내기 위하여 탄성커플링에 적용되는 세그먼트에 스트레인 게이지를 부착하고 일정한 토크를 반복하여 주어서 응력과 변위를 측정해야 한다. 그러나 실험이 복잡하여 고무 제작사가 아닌 감속기 제작사 또는 엔진제작사의 입장에서 보면 이 실험의 수행은 현실적으로 어려움이 많다. 이러한 어려움을 감안하여 고무제작사로부터 얻은 일부 자료를 이용하여 FEM을 수행하였으며 해외의 한 탄성 커플링 제작사의 주파수 10 Hz에 해당되는 물리적인 자료를 이용하였다.

Fig. 1은 고무 타입의 원형 세그먼트들이 조립된 탄성 커플링의 FEM 모델을 보이며 Fig. 2는 세그먼트 하나의 메쉬된 모델을 보인다. 여기서 일정한 동력을 전달하기 위하여 토크를 가하면 가하는 방향에서 금속 케이싱은 거의

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

* 동이공업(주) 기술연구소

** 목포해양대학교 기관시스템공학부

*** 현대중공업 엔진·기계사업본부

변형이 되지 않고 접촉하는 고무 세그먼트가 크게 변형 된다. 토크가 적을수록 접촉면이 적어 유연하고 토크가 크면 접촉면이 커져서 비틀림 강성이 증가하게 된다. Fig. 3은 100% 부하에서 탄성커플링 중 고무형 원형 세그먼트와 지지 플레이트의 응력 값을 보인다. 10, 25, 50, 75, 100% 부하에서 이러한 해석과정을 통해서 얻은 비틀림의 강성계 구를 Fig. 4에 보인다.



Fig. 1 FEM model for elastic coupling with rubber type circular segments

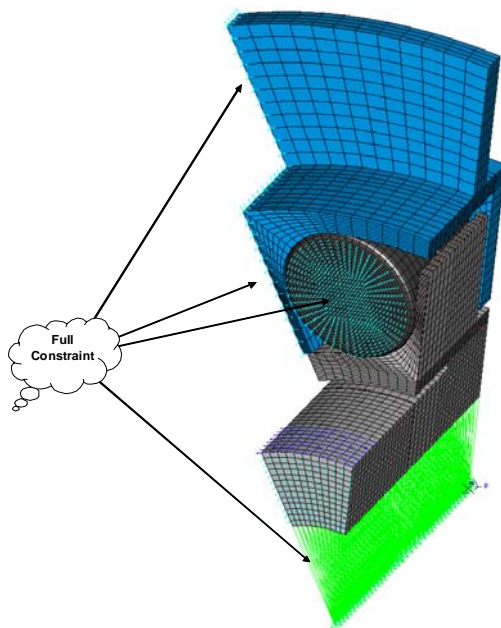


Fig. 2 Mesh for FEM on the elastic coupling with rubber type circular segments

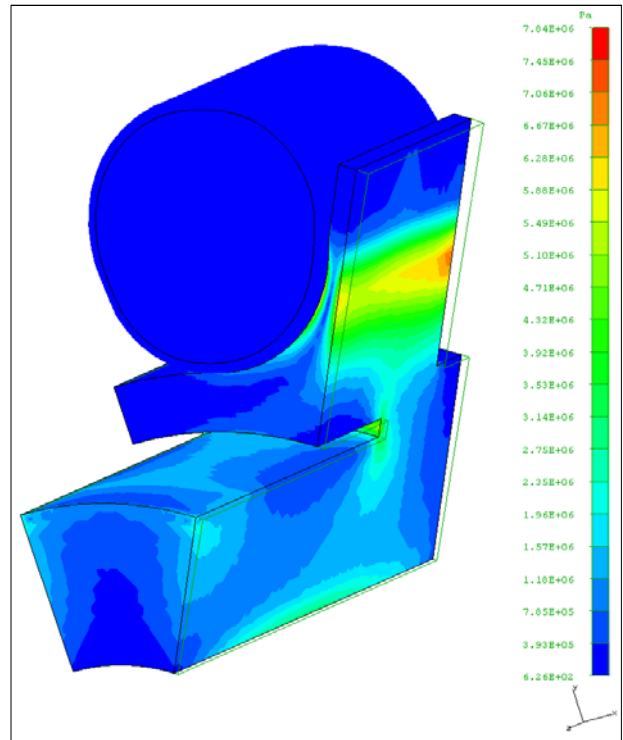


Fig. 3 Stress by 100% nominal torque on the elastic coupling with rubber type circular segments

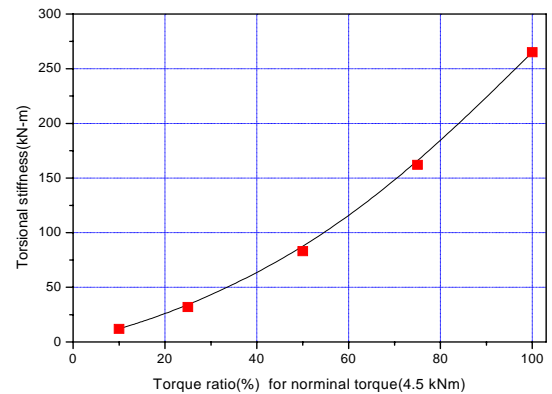


Fig. 4 Torsional stiffness using FEM on the elastic coupling with rubber type circular segments

2.2 제조사 공장실험

커플링의 동특성을 확인하기 위해서는 가진 토크 실험이 필요하며 가진력이 큰 전문제작사의 제품이 고가여서, 자체적으로 유압 가진 시스템을 개발하였다. Fig. 5는 자체 개발된 가진시스템의 개략도를 보이며 동특성 실험을 위한 장비배치도를 Fig. 6에 보인다. 제작 후 단점을 개선하고 약간의 수정작업과 함께 로드 셀도 국산으로 대체하여 실

험을 수행하였으며 3.3 kN-m의 정적(Nominal) 토크를 준 상태에서 14 Hz로 가진할 때 얻은 히스테리시스 곡선을 Fig. 7에 보인다. 실험에서 유압시스템과 장비의 특성에 따라 토크방향으로 'Jumping' 이 심하게 일어나며 이를

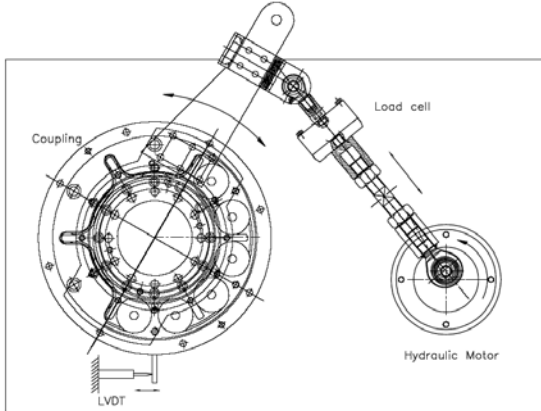


Fig. 5 Arrangement diagram for dynamic characteristic test on the elastic coupling

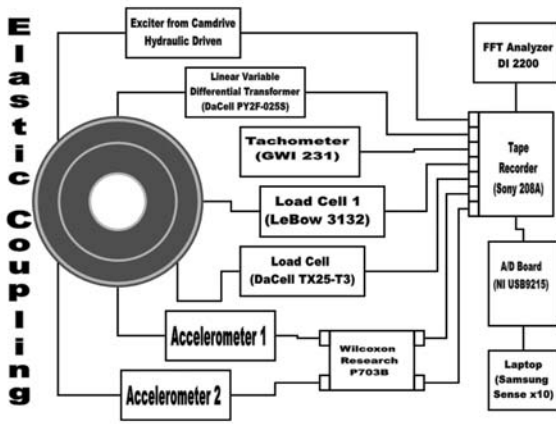


Fig. 6 Schematic diagram for dynamic characteristic test on the elastic coupling

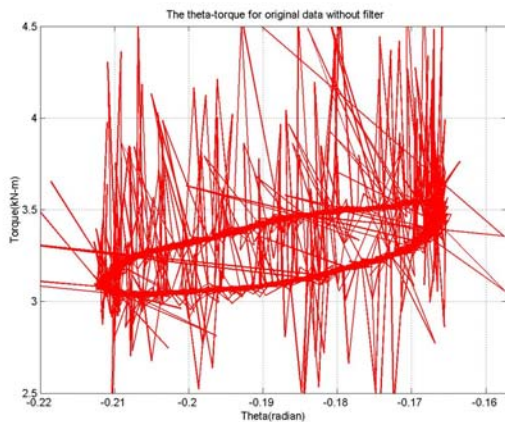


Fig. 7 Torque-angular displacement curve converted from raw signal

제거하기 위하여 'Moving filter' 를 이용하여 신호를 재처리하였으며 동적인 토크변동만을 고려하여 최종적으로 얻은 토크-각변위 선도는 Fig. 8에 보인다. 동일한 정적토크를 가하고 6 Hz~14 Hz까지 2 Hz간격으로 증가시키면서 얻은 동강성계수와 상대감쇠를 Fig. 9에 보인다. 가진 주파수가 높을수록 강성계수는 증가하는 반면 상대감쇠계수는 떨어지며 탄성 커플링 제작사에서 제시하는 10 Hz 기준으로 예상보다는 강성계수가 낮았다.

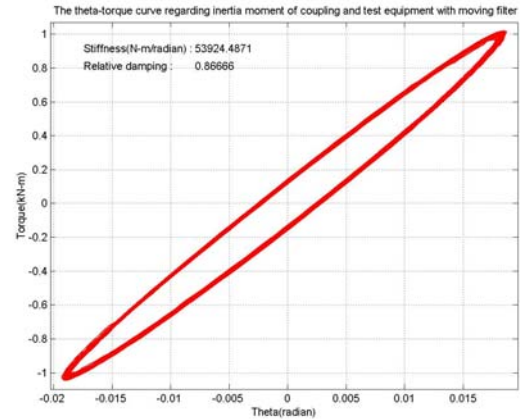


Fig. 8 Torque-angular displacement curve converted from raw signal with moving filter

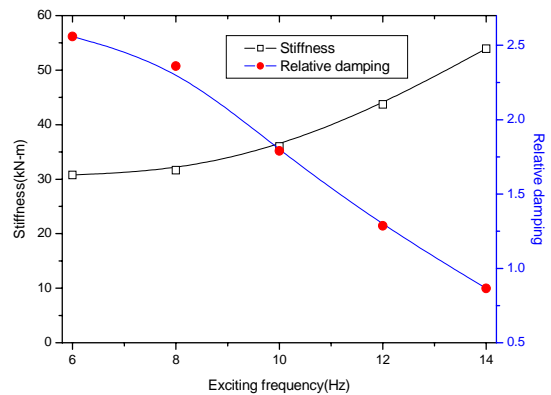


Fig. 9 Stiffness and relative damping curve to exciting frequencies

3. 디젤엔진 설치 후 진동 실험 및 적응성 검토

디젤엔진 제작사 공장에서 동력계를 이용하여 탄성 커플링을 디젤엔진과 감속기 사이에 설치하고 탄성 커플링의 내, 외륜의 각속도와 상대각속도 변동을 측정하기 위하여 Fig. 10에 보인 바와 같이 두 대의 레이저 토손미터를 이들 주위에 설치하여 비틀림진동 실험을 수행하였다. 실험을 하기 위한 장비 배치도는 Fig. 11과 같고 모든 진동신호는 미국의 NI사 A/D 변환기를 이용하여

PC에 저장하고 자체적으로 개발한 진동분석 소프트웨어를 이용하여 분석하였다. 고유진동수 확인을 위하여 부하가 없는 상태에서 디젤엔진의 회전수를 천천히 올리면서 계측한 결과를 Fig. 12~13에 보인다. Fig. 12는 탄성커플링의 외륜에서 계측한 각속도 변동으로 1절 1차 비틀림진동은 1950 rpm(고유진동수 1950 cpm)에서 일어나는 것을 확인할 수 있지만, 2절 진동의 고유 진동수 확인은 어렵다. Fig. 13은 탄성 커플링 내, 외륜에서 계측한 3차 성분을 보이며 내륜에서 3차 공진은 1850 rpm(5,550 cpm)에서 일어남을 알 수 있다. Fig. 14는 강성계수를 확인하기 위하여 실험 모델의 비틀림진동을 이론적 해석과 계측한 결과를 비교한 것으로 1절 진동(가진주파수 : 약 30 Hz)은 동강성 계수가 대략 0.1 MN-m/rad 내외, 그리고 2절 진동(가진주파수 : 약 100 Hz)은 0.25~0.3 MN-m/rad로 예측되어 원제작사가 제시한 부하 종속 동강성 계수보다는 주파수 종속 동강성 계수의 특성을 갖는다. 실제로 디젤엔진을 선박에 적용하면 고정의 프로펠러 부하곡선에 따라 운전을 하기 때문에 부하를 10~100%까지 10% 씩 올려가면서 비틀림진동 테스트를 수행하였다. 그리고 이때 계측한 탄성 커플링의 내, 외륜의 각속도 진폭을 Fig. 15~16에 보인다. 그리고 3차 공진이 가장 크게 일어나는 60% 부하에서 탄성 커플링의 내, 외륜의 각속도 진폭과 위상을 고려한 상대 각속도 진폭을 Fig. 17에 보인다. 여기서 진동 위상이 달라 상대진폭은 6.7 mrad으로 비교적 크며 Fig. 14의 동강성계수를 이용하여 탄성 커플링에 걸리는 진동토크는 1.78 kN·m로 추정할 수 있다. 실험결과를 종합하면 진동계는 해상조건과 차이가 있어 공진점의 위치는 약간 다르지만 탄성 커플링의 동특성을 확인하기 위하여 반드시 두 점에서 비틀림 진동을 동시에 계측해야 함을 확인할 수 있다.



Fig. 10 Laser torsion meters for torsional vibration and adoption test of elastic coupling

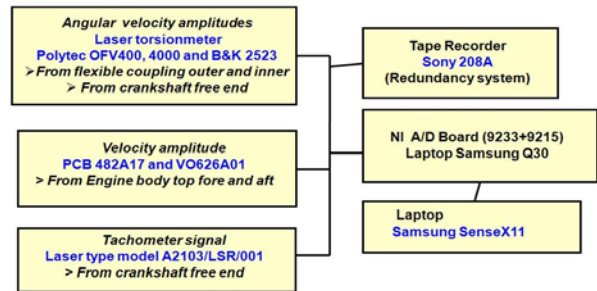


Fig. 11 Schematic diagram for vibration test

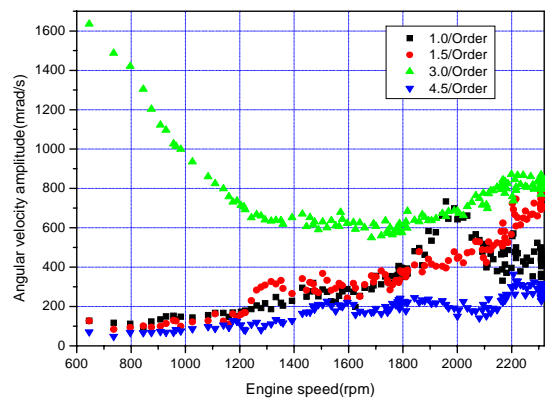


Fig. 12 The angular velocity amplitude at the outer during sweep-up and no load condition

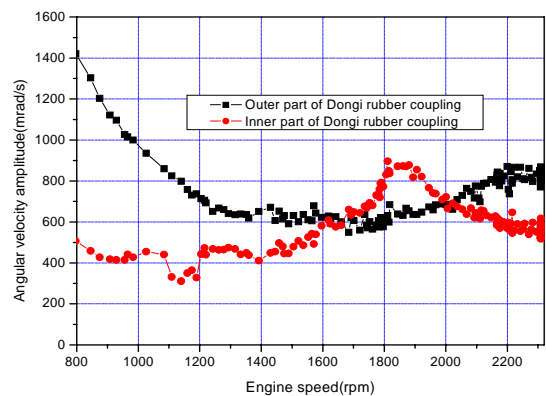


Fig. 13 The 3rd order angular velocity amplitude at the outer and inner during sweepup and no load condition

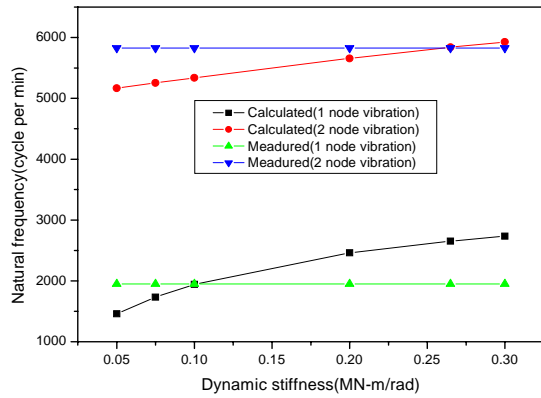


Fig. 14 Natural frequencies for torsional vibration

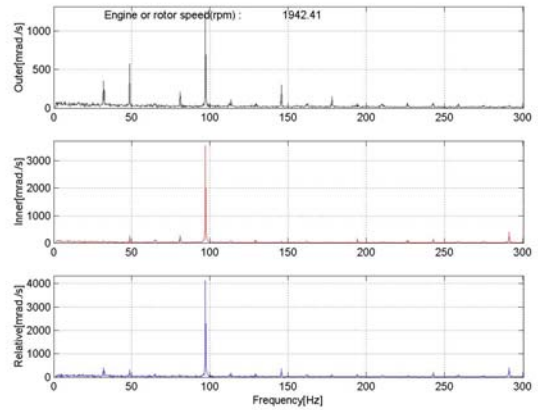


Fig. 17 Angular velocity spectrum of outer and inner of elastic coupling at 60 % load of full power

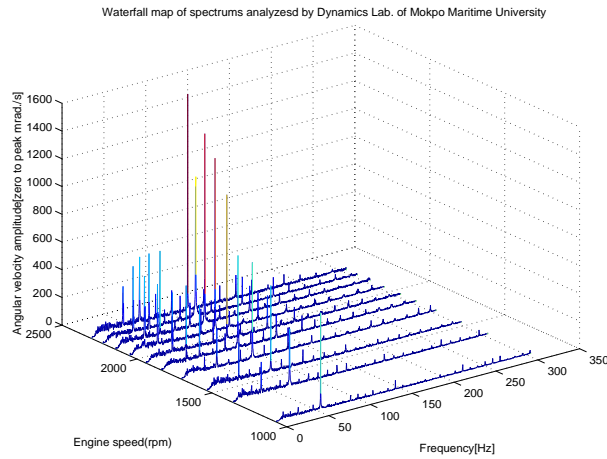


Fig. 15 The angular velocity at the outer of elastic coupling during load test by fixed pitch propeller curve

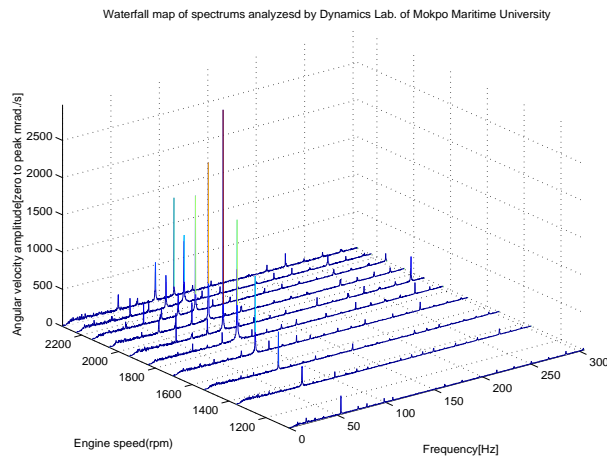


Fig. 16 The angular velocity at the inner of elastic coupling during load test by fixed pitch propeller curve

4. 결 론

본 연구를 통해서 원형 고무 세그먼트를 갖는 탄성 커플링에 대한 동특성과 적응성을 확인하기 위하여 FEM 해석, 감속기 제작사의 가진 실험 그리고 디젤엔진 제작사 공장에서 동력계를 이용 탄성커플링을 디젤엔진과 감속기 사이에 직접 설치하여 행한 비틀림진동 실험을 한 결과를 정리 요약하면 다음과 같다.

- 1) 일반적으로 원형 고무 세그먼트를 갖는 탄성커플링은 부하 중속 동강성 계수를 갖는 것으로 확인되었고 이를 추진축계 설계에 이용하였으나 부하중속보다는 주과수중속 성향의 비선형 동강성을 갖는 것으로 확인되었다.
- 2) 디젤엔진에 적용된 탄성 커플링의 동특성을 확인하기 위해서는 내, 외륜에서 동시에 각속도 진폭을 계측하여 위상을 고려한 상대진폭에 따른 진동토크를 추정하는 것이 정확할 것으로 판단되며, 한 점 계측에 의존할 경우 고유진동수와 진동 모드가 부정확할 수 있다.
- 3) 탄성 커플링의 가진 실험에 의한 동강성 계수의 실험은 주로 실린더 내 착화실패에 대비한 10 Hz 전후로 측정하였으나 실제로 주 가진 주과수가 10 Hz부터 150 Hz정도까지 가능하여 동특성 실험설비와 설계를 위한 동특성강성 계수도 이 범위의 자료가 추진축계 설계자에게 제공되어야 최적 설계 및 설계 결함을 막을 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Renold power transmission Ltd., 2004, Renold Hi-Tec couplings general catalogue
- (2) Vulkan Kupplungs. und Getriebebau, 2006, RATO highly flexible couplings
- (3) S. Sasaki and M. Takagi, 1995, "Some Consideration for Behaviour of Propulsion Diesel Engine in Transient Condition", Journal of the M.E.S.J. Vol.30 No.9, pp. 651~660.
- (4) Heinz Keller, 1996, "Simulation of Transient Torsional Vibrations in Marine Diesel Propulsion Plants", New Sulzer Diesel"
- (5) 梶原修平, 2005, "舶用推進軸系の振り振動", Journal of the JIME, Vol.40., No.5, pp42~50
- (6) 이돈출 · 유정대 · 전효중, 2002, "선박용 4행정 디젤 엔진의 과도 비틀림 진동에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 44~50
- (7) 이돈출 외 3인, 2003, "진동토크를 고려한 기어시스템의 설계 및 영향 평가, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 316~323
- (8) 이돈출, 1999, "디젤엔진 구동 발전기를 갖는 추진축계의 불안정한 비틀림진동", 한국소음진동공학회지, 제9권 제5호, pp. 936~942.
- (9) 전효중, 1986, 선박동력전달장치, 태화출판사
- (10) 전효중 · 이돈출, 2003. 11, 추진축계 진동론, 다솜출판사
- (11) 한국선급, 2005, 선급 및 강선규칙 5편 4장
- (12) 전효중 · 이돈출, 2005. 7, 박용 디젤엔진 및 가스터빈, 동명사