

비틀림 댐퍼 진동거동의 유체-구조 연성해석

Fluid-Structure Interaction Analysis of a Torsional Spring Damper

김영철† · 이동환* · 정태영* · 함덕용* · 김영배**

Y.C. Kim, D.H. Lee, T.Y. Jung, D.Y. Ham and Y.B. Kim

1. 서 론

선박용 디젤엔진의 크랭크축과 프로펠러 추진 회전축 사이에서 발생하는 비틀림 진동은 추진축계에 악영향을 미치므로 적절한 범위내로 규제되어야 한다. 대형 엔진이 장착된 동력기계장치의 회전축에는 신뢰성, 경제성을 높이기 위해서 충분한 감쇠력을 얻을 수 있는 스프링 점성댐퍼가 적용된다. 스프링 점성댐퍼가 비틀림 진동을 완화하는 원리를 이해하기 위해서는 상용 운전속도(15Hz)에서 스프링의 굽힘 강성과 유체 챔버 주위의 유동장 변화의 상관관계를 구체적으로 해석해 볼 필요가 있다. 구체적으로는 댐퍼 내부에 설치된 리프 스프링의 굽힘 하중에 의한 표면 압력이 유체 유동장에 미치는 영향을 시뮬레이션 하였다. 본 연구에서는 스프링과 유체 챔버의 최적형상 설계인자 도출을 위한 광범위한 실험설계 및 실제 실험수행을 대신하여 ANSYS Workbench v12.1을 활용하여 유체-구조 연성 (Fluid-Structure Interaction, FSI) 해석을 실시하였다. 상기 과정을 통해 비틀림 댐퍼에 요구되는 감쇠 동특성 연구 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2. 스프링 댐퍼 비선형 구조해석

Fig. 1은 구조해석을 위한 모델링과 모멘트 힘 가진 방향을 표시한 것이다. Transient Mechanical 모듈에서 해석 소요 시간과 컴퓨터 성능 한계를 고려하여 전체 24개 unit 중에서 1개 unit만 생성시키고 나머지는 회전축을 중심으로 가상 연속 배열되는 것으로 처리하였다. 유한요소모델의 요소 수는 약 34085개이고, 절점 수는 133671개이다. 회전

축을 중심으로 정의된 Cylindrical 좌표계를 기준으로 y방향(Cylindrical 좌표계에서는 각도방향)으로 2875N의 하중을 Sine Function으로 적용하였다. Step Time Set-up에서 Step End Time은 0.067[sec], Number of Substeps는 60으로 하였다. 가진력은 댐퍼 링부재 원주면에 압력을 균등하게 인가 형태이고, 가진 시간은 1주기 동안만 왕복하는 것으로 하였다. Leaf Spring은 302_1550 Stainless steel, 리프 스프링을 지지하는 Shim은 Brass로 입력하였다. 그 외 기타 부분은 Structure Steel로 입력하였다.

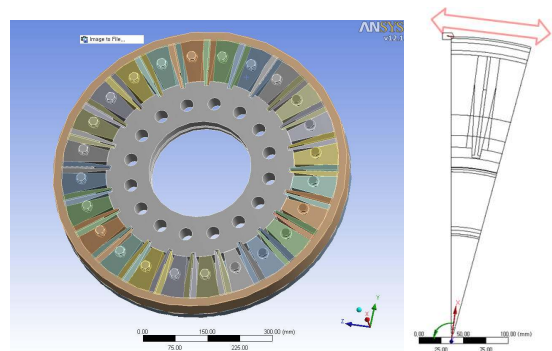


Fig. 1 비틀림 댐퍼 모델링 형상 및 회전력 가진 방향

Fig. 2에서 좌측 그림은 해석용으로 생성된 1개의 Part Section Unit에 Coupling 구속 설정을 표시한 것이다. 스프링, 유체 채널을 밀봉하는 링과 커버를 묶어서 진동 가진 시 댐퍼 구성 부품들이 회전 토크 방향으로 동일한 방향성을 가지도록 하였다. 부품 운동 방향성을 정렬시키는 Coupling 경계조건을 이용하여 부품들 간에 일일이 비선형 경계조건을 지정하지 않고도 의도하지 않은 해석 거동 특성을 제거할 수 있다.

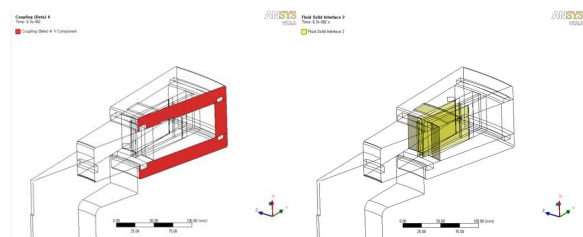


Fig. 2 Coupling constrain & Fluid-Solid structure

† 김영철 ; 한국기계연구원
E-mail : kyc@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7877, Fax : (042) 868-7440

* 한국기계연구원

** (주)세영인더스트리

Fig. 2에서 우측 그림은 유동/구조 해석모듈이 서로 정보를 주고받을 Interface Surface를 지정한 것이다. Fig. 3은 Transient Mechanical에서 해석되어진 변위와 응력 값을 보여주고 있다. 해석 결과 최대 변형량은 0.97mm이고, 최대 응력은 약 530MPa임을 알 수 있다. 변위는 실험적 목표값 1.1mm에 근사치로 접근하고, 앞서 선정된 스프링강의 최대 인장 항복강도가 1550MPa이기 때문에 해석 계산이 적합하게 되었음을 확인하였다.

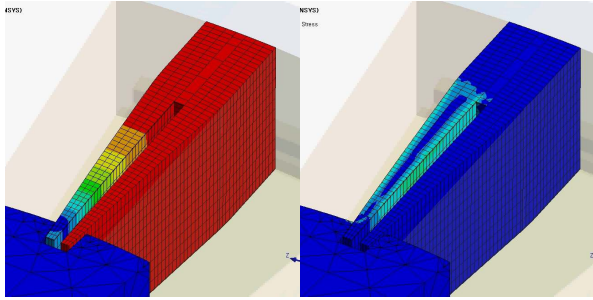


Fig. 3. Analysis of Transient bending deformation and stress

3. One Way FSI 해석

Fig. 4의 좌측은 댐퍼 내부에 충전된 오일의 영역을 의미하고, 우측은 ANSYS ICEM-CFD로 1개 단위 유동장에 대해서 Moving Mesh를 생성한 것을 보여준다. 개별 단위 유동장 점성의 총합이 댐퍼의 점성 감쇠력이다. 격자형태는 hexagonal이고, 요소 수는 약 61만개이다. 리프 스프링의 수직벽면과 격벽이 하중 방향으로 변형이 일어나면, 스프링 구조물 사이 내부 공간 체적의 축소 및 확장으로 유동이 발생한다. 구조해석에서 계산되어진 격자변위(Mesh deformation) 정보가 CFX로 Link되면, CFX는 전달받은 경계조건으로 1주기(0.067sec)동안 유동장의 속도, 압력을 계산한다. 참고로 온도는 등온이고, 관성효과는 본 연구단계에서는 일시 배제하고서 오일 유체의 점성효과만 고려해서 해석을 실시하였다. 유동해석에 적용한 오일종은 ISO VG 220 Mobilgrad 570의 밀도 값을 입력하였다.

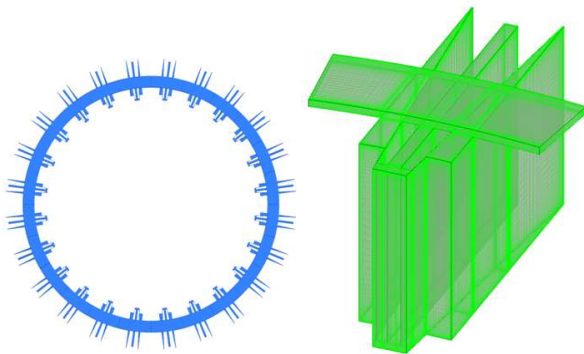


Fig. 4 Damper Oil Field & Moving Mesh

Fig. 5는 스프링의 수직 벽면의 압력 하중으로 인해 사각 채널 내부 유체의 이동 속도를 벡터량으로 표시한 것이다. 매스블럭과 리프 스프링 사이의 수직 벽면 사이 유동 공간 으로부터 유체가 사각채널 내부로 압송 되어지는 패턴을 관찰 할 수 있다. 그러므로 ANSYS에서 계산된 유체의 Shear Force를 토대로 감쇠계수를 계산하면 다음과 같다. 수직 벽면 단면적이 A인 리프 스프링이 유체를 압송한다고 설정하면 폭 a, 높이 b, 길이 l인 사각채널을 통과하는 유체의 감쇠계수는 다음과 같다.

$$c = \frac{3\pi^2 D^4 l \eta}{4ab^3} = \frac{12A^2 l \eta}{ab^3}$$

따라서 제반 설계치(A : 0.0044m², l : 0.006m, a : 23mm, b : 1.34mm)를 대입하여 계산하면 감쇠계수는 1600Ns/m임을 확인 할 수 있다.

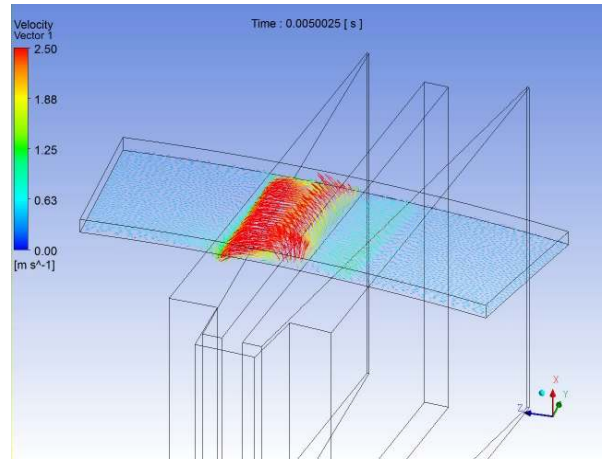


Fig. 5 Oil channel velocity vector

4. 결 론

본 연구에서는 ANSYS를 활용하여 비틀림 댐퍼 내부에서 리프 스프링의 구조 비선형 거동 FEM을 CFX로 Direct Link시켜 유체 채널 내부의 유동 특성을 가시적으로 확인하였고 설계조건을 충족하는 감쇠계수를 산출하였다.

후 기

본 논문의 내용은 민군겸용기술사업인 “해상/육상 추진 및 발전용 디젤엔진의 비틀림 댐퍼 국산화 개발”의 연구결과 중 일부입니다.