

# 9. 점성댐퍼를 갖는 기관축계 비선형 비틀림강제진동 해석에 관한 연구

기계공학과 김수철  
지도교수 김의간

선박용 디젤기관이 고출력, 고과급화 됨에 따라 기관축계 비틀림진동의 기진력이 되는 토크 변동력도 증가하여 비틀림 부가응력이 선급 허용치를 초과하는 문제가 발생하고 있다. 이에 대한 대책으로는 고유진동수 변경, 기진력 제어 기진에너지 흡수 등을 고려할 수 있으며, 일반적으로 중·고속 기관에서는 기진에너지를 흡수하는 방법인 점성댐퍼를 채택하고 있다.

점성댐퍼는 1910년에 Lanchester에 의하여 처음으로 개발되었으며 구조가 단순하고 내구성이 우수하여 널리 사용되고 있다. Den Hartog는 1자유도계에 점성댐퍼를 부착하여 진동특성을 연구하였으나, 당시에는 적당한 작동유체가 없어 적용이 곤란하였다. 따라서 초기에는 Lanchester가 개발한 건마찰식과 유사한 댐퍼가 사용되었으며 현재와 같은 점성댐퍼는 1943년에 온도에 의한 점도변화가 작고 물리적, 화학적으로 안정한 성질을 갖는 실리콘유가 Dow 및 GE사에 의해 개발됨에 따라 적용이 가능하게 되었다. 1929년에 Dashefsky에 의하여 실리콘유를 사용한 점성댐퍼가 개발되었고 그 후 Georgian등에 의한 연구가 발표되면서 급속히 발전하였다. Georgian은 점성댐퍼의 최적감쇠계수를 계산하는 방법을 발표하였고, 지금도 이 방법을 많이 이용하고 있다.

점성댐퍼는 점성댐퍼 관성링과 케이싱 사이의 좁은 틈에 실리콘유가 충전된 구조로 되어 있으며, 운전 중에는 관성링과 케이싱의 상대운동으로 실리콘유에 전단저항력이 발생하여 비틀림 감쇠력을 증가시키는 기능을 갖는다. 점성댐퍼를 장착한 기관축계를 등가진동계로 모델링할 때 일반적으로 점성댐퍼는 점성감쇠만 있다고 가정하여 해석해 왔다. 그러나, Iwamoto, Hayama 등이 고점도의 실리콘유를 갖는 점성댐퍼의 감수계수를 복소감수계수로 계산하여 점성감수와 강성계수를 함께 고려하는 것이 바람직하다고 보고하였다. 또한, 이들은 점성댐퍼의 실리콘유 동점도가  $3 \times 10^5$  cSt보다 큰 경우에는 복소감쇠의 실부수인 점성감쇠계수는 작아지고 허부수인 히스테리시스 감쇠계수가 오히려 증가하여 탄성 스프링에 가까운 특성을 갖는 것을 확인하였

다. 그러나, 이들의 연구는 점성댐퍼 자체의 특성에 관한 것으로 점성댐퍼를 갖는 기관축계의 비틀림진동은 선형으로 해석하였다.

고점도의 점성댐퍼를 갖는 기관축계의 비틀림진동을 측정하고 분석한 결과, 비선형진동의 일종의 도약현상 (Jump Phenomenon)이 실선의 기관축계에서도 발생하고 있음을 확인하였다. 즉, 기관회전수를 증가시키면서 측정한 위험회전수와 기관회전수를 감소시키면서 측정한 위험회전수에 차이가 있었다. 이러한 비선형현상이 발생하고 있는 기관축계의 비틀림진동을 선형으로 계산하면 측정치와 상당한 차이가 있을 뿐만 아니라, 선형해석에 따른 기관의 위험회전수, 비틀림 부가응력, 연속사용 금지구역 설정 등은 무의미하게 된다.

박등은 점성댐퍼의 관성링과 케이싱 사이에는 각변위에 비례하는 선형 강성계수와 각변위의 3승에 비례하는 비선형 강성계수가 함께 있어 이 결과 Duffing 진동계의 특성인 도약현상이 보이는 것으로 판단하였다. 그리고 이들은 기관축계의 비선형 비틀림강제진동을 해석하기 위하여 기관축계를 2질점 1자유도계로 모델링하고 조화균형법으로 비틀림강제진동과 안정성을 해석하였다.

그러나, 비선형을 갖는 기관축계의 비틀림진동을 비선형 2질점 1자유도계로 모델링하여 계산하였기 때문에 실제 기관축계에 적용하기에는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 기관 축계를 비선형 다자유도계로 모델링하고 비선형 강제진동을 해석하고자 한다. 여기서 점성댐퍼는 관성링과 케이싱으로 분리하고 실리콘유는 복소감쇠계수와 각변위의 3승에 비례하는 비선형 강성계수가 함께 존재하는 것으로 모델링하여 점성댐퍼의 동특성을 검토하고 기관축계의 비선형 운동방정식을 유도한다. 이 운동방정식은 Ritz 평균화법 및 준-Newton법에 BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno)공식을 적용하여 해석하고 기관감쇠, 발전기감쇠 및 히스테리시스 감쇠를 고려한다. 그리고 이를 실선의 기관축계에 적용하여 비선형 비틀림 강제진동을 해석하고 측정결과와 비교 검토하여 본 연구에서 제시한 해석법의 적용 가능성 및 한계를 확인한다.