

풍력 발전기 요 브레이크 시스템의 복소 고유치 해석 Complex Eigenvalue Analysis of Wind Turbine Yaw Brake System

황성목† · 권혁* · 엄재광* · 황보승면*

Sungmok Hwang, Hyuk Kwun, Jae-Kwang Eom and SeungMyun Hwangbo

1. 서 론

풍력 발전은 풍력으로 발전기를 구동하여 전력을 생산함으로써 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전 방식과 달리 공해가 발생하지 않는 전력 생산 방식이다. 풍력 발전기는 풍력에 의해 회전되는 로터(rotor)와, 이 로터에 연결되어 회전운동을 발전기로 전달하는 드라이브 트레인(저속축, 중속기, 고속축) 등이 설치되는 나셀(nacelle) 및 나셀을 지지하는 타워(tower)로 구성된다. 풍력 발전기의 요 시스템(yaw system)은 나셀(nacelle), 즉 블레이드의 방향을 바람이 불어오는 방향으로 향하게 하여 풍력 발전기 전체에 작용하는 하중을 줄이고 풍력 발전기의 효율을 증가시키는 역할을 한다. Figure 1은 이런 요 시스템의 구성을 나타낸 그림이다. 나셀이 회전하면 매우 큰 요 모멘트(yaw moment)가 발생하게 되고, 이를 제어하기 위하여 요 브레이크 시스템(Yaw brake system)이 사용된다. 캘리퍼(Caliper) 내부의 브레이크 피스톤에 작용하는 유압의 크기를 조절함으로써 브레이크 패드와 디스크 사이의 마찰력을 조절하고 타워를 중심으로 회전을 하고 있는 나셀에 제동력을 가하게 된다. 이 때 요 브레이크 디스크에 제동력이 걸린 상태에서 나셀이 적절한 속도로 회전하게 된다. 그런데 일반적으로 브레이크 패드와 디스크 접촉면에서 제동력에 따른 이상소음이 발생하게 되는데, 가장 대표적인 것 중의 하나가 스켈 소음(Squeal noise)이다. 스켈 소음에 대한 연구는 자동차 브레이크 시스템을 대상으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 스켈 소음은 제동 성능에는 문제가 없으나 이상 소음을 유발하여 사용자의 신뢰도를 떨어뜨리며 환경 소음문제를 유발

할 수 있다. 스켈 소음에 대한 정확한 원인 규명이 이루어 지지 않았지만, 유한 요소법(Finite element method)과 복소 고유치 해석방법(Complex eigenvalue analysis)을 통한 시스템의 불안정성이 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 이런 방법에 기반하여 풍력 발전기 요 브레이크 시스템의 불안정성을 해석하고 불안정성과 관련된 인자들에 대한 영향을 분석한다.

2. 복소 고유치 해석

2.1 요 브레이크 시스템 모델링

요 브레이크 시스템의 3차원 형상 데이터와 물성치를 바탕으로 MSC/Partran을 이용하여 Figure 2와 같이 유한요소모델을 구성하였었다. 디스크와 패드 사이의 접촉면은 다수의 절점이 서로 1 대 1 연결될 수 있도록 요소화 하였으며, 접촉강성은 스프링 요소로 모델링하였다. Figure 3은 패드와 디스크 접촉면의 FBD(Free body diagram)을 나타낸 그림으로, 회전 방향에 따라 마찰력 및 수직항력의 작용방향을 나타낸다. 디스크와 패드 사이의 마찰계수(μ)는 디스크와 패드의 상대속도(V_{rel})와 수식 (1)과 같은 관계가 있다⁽¹⁾.

$$\mu = \mu_k + (\mu_s - \mu_k) e^{-\alpha |V_{rel}|} \quad (1)$$

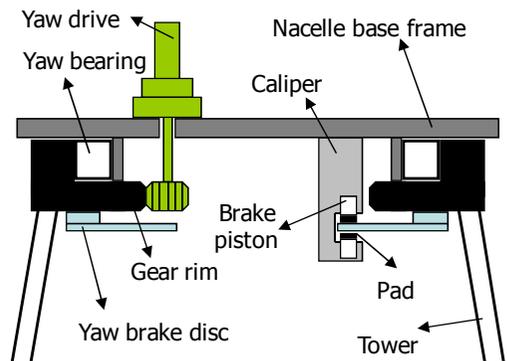


Figure 1 Diagram of yaw system

† 교신저자: 정희원, 삼성중공업 조선해양연구소

E-mail : Sungmok.hwang@samsung.com

Tel : 055-630-1657, Fax : 055-630-8061

* 삼성중공업 조선해양연구소

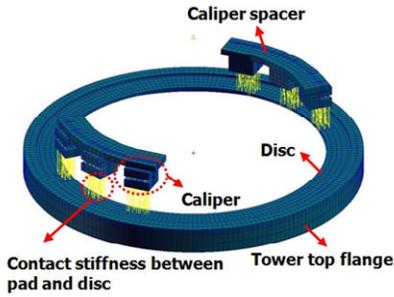


Figure 2 Finite element model of yaw brake system

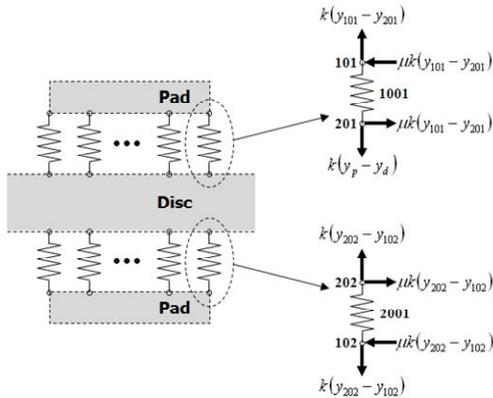


Figure 3 Free body diagram of elastic contact point between pad and disc.

여기서 μ_s , μ_k , α 는 마찰계수-속도곡선을 결정짓는 파라미터로 일반적인 브레이크 마찰특성인 음의 마찰곡선 기울기를 표현하도록 설정된다.

2.2 복소 고유치 해석

2.1 절에서 구성된 모델과 MSC/Nastran을 이용하여 복소 고유치 해석을 수행하였다. 복소 고유치 해석은 복소 고유치의 실수부의 부호와 크기로 시스템의 불안정성을 판단하는 방법이다. 스킬 소음 발생시 디스크의 형상이 파동형태의 움직임을 나타내고 스킬 소음이 시스템의 불안정성에 의해서 발생된다. 따라서 복소 고유치의 양의 실수부 크기가 클수록 시스템의 불안정성이 증가함을 나타낸다. Figure 4는 복소 고유치 해석 결과로 각 복소 고유치의 실수부를 나타낸다. 해석에서 브레이크 패드의 구조 감쇠(Structural damping)는 무시하였다. 3.26 kHz 부근에서 실수부의 크기가 현저히 큰 값을 가짐을 확인할 수 있다. 이로써 이 주파수 부근에서 요 브레이크 시스템의 불안정성이 급격히 증가하여 스킬 소음이 발생할 것을 예상할 수 있다.

시스템의 불안정성은 디스크와 패드 접촉면의 마

찰계수, 접촉강성, 재료의 구조 감쇠 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Figure 5와 Figure 6은 각각 접촉강성과 브레이크 패드의 구조 감쇠 변화에 따른 불안정성을 해석한 결과이다. 접촉강성이 감소할수록, 브레이크 패드의 구조 감쇠가 증가할수록 불안정성이 감소함을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 풍력 발전기 요 브레이크 시스템의 불안정성을 복소 고유치 해석방법을 이용하여 분석하였다. 또한, 접촉강성과 브레이크 패드의 구조 감쇠가 불안정성에 큰 영향을 미치므로 설계 단계에서부터 이를 반영할 필요가 있다.

참고 문헌

- (1) 강재영, “회전 디스크 브레이크의 스킬소음에 대한 선형안정성 연구,” 한국소음진동공학회논문집 제 19 권 제 10 호, pp. 1092~1098, 2009.

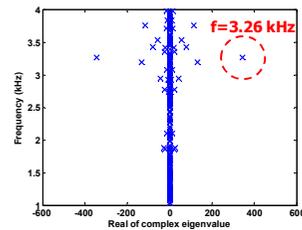


Figure 4 Real of complex eigenvalue.

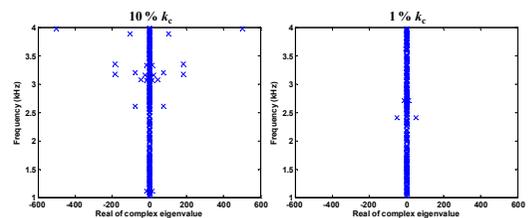


Figure 5 Real of complex eigenvalue with respect to variation of contact stiffness.

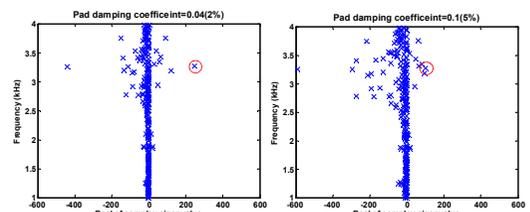


Figure 6 Real of complex eigenvalue with respect to variation of structural damping of pad.