

# 석탄터빈 저압 블레이드의 응력 및 피로해석

류일정\*, 이형욱(교신저자)\*\*, 박준수\*\*

\*한국교통대학교 자동차공학과 대학원

\*\*한국교통대학교 자동차공학과

e-mail: 573858689@ut.ac.kr, hwlee@ut.ac.kr, js\_park@ut.ac.kr

## Stress and Fatigue Analysis of Low Pressure Blade in a Coal-fired Plant Turbine

Yiding Liu\*, Hyoungwook Lee\*\*, Junsu Park\*\*

\*Graduate School of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation

\*\*Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation

### 요약

석탄터빈 블레이드의 파손은 발전기에 심각한 손상을 초래하기 때문에 응력 및 수명에 대한 평가와 예측은 필수적이다. 터빈의 회전에 따라 발생하는 원심력에 의해 블레이드가 파손되기 때문에 로터, 핀, 블레이드가 조립된 상태의 해석이 필요하다. 3차원 응력해석을 통하여 블레이드와 로터를 연결하는 핀 부위에서의 응력 및 피로수명 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 로터와 블레이드가 연결된 핀-홀 부위의 접촉해석의 수렴을 위하여 TIE조건을 사용하여 블레이드 조립체의 원심력해석을 수행하고, 소성변형과 피로수명 분석을 통하여 핀-홀 주위에서의 피로수명 예측과 가장 수명이 낮은 위치를 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

석탄 발전기는 복잡한 유체 기계 설비의 일종으로 그 자체의 작업 조건이 매우 열악하다. 동시에 발전기의 성능 파라미터가 점차 향상됨에 따라 발전기의 높은 품질도 요구되며 그에 따라 발전기 부품에 실리는 하중도 점점 커진다. 블레이드는 석탄 발전기의 핵심 부품으로 발전기 내 유체에너지의 전환을 담당한다. 현재의 발전기 핀 구조 설계에서는 발전기세트 및 관련 축 시스템 등이 핀 구조로 배치되어 있어 핀 구조의 안전성이 발전소의 안전운전 여부를 결정짓는다[1,2].

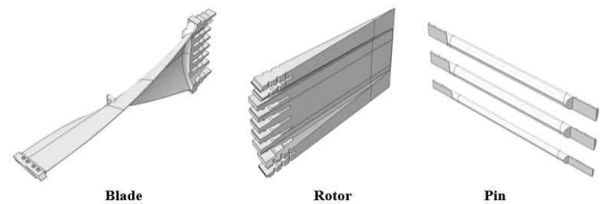
석탄 터빈 발전기의 핀 구조를 설계 제작할 때는 구조의 강도 성능뿐만 아니라 터빈과 그 축 시스템이 운전 중 구조에 미치는 동력 하중의 영향도 고려해야 한다. 한국의 교류전력은 60Hz이며, 화력발전소의 터빈 발전기는 보통 3,600rpm으로 회전한다. 따라서 정상 작동상태에서 석탄 터빈 발전기의 핀 구조 상부에 탑재된 블레이드의 질량에 의한 원심력은 핀 구조에 큰 안전상의 위험을 초래할 수 있다. 따라서 터빈 발전기의 핀이 구조적 설계 요건을 충족하느냐가 발전소 전체의 안전운전에 결정적인 역할을 한다[3,4].

터빈 블레이드의 시작과 정지 과정에서 부품은 큰 원심력 하중을 받게 된다. 따라서 석탄 터빈 블레이드의 피로수명에 영향을 미치는 요인이 매우 많으므로 현재 블레이드 수명에 대한 예측은 아직 범용적이면서도 안전하며 믿을 만한 방법

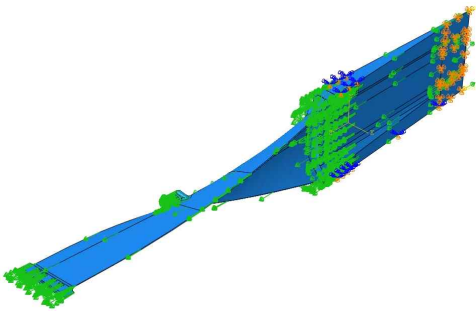
이 부족하다. 정확하고 실용적인 석탄 터빈 블레이드 수명을 예측하는 방법을 찾아내는 것은 매우 필요하다. 본 연구에서는 수명 예측을 위하여 응력 변형률 해석은 ABAQUS 사용하여 피로해석은 Fe-Safe를 사용하였다.

### 2. 연구개발 내용

본 연구에서 연구 대상으로 하는 모델은 그림 1과 같이 블레이드, 로터, 핀으로 구성되며, 블레이드 피로수명 예측하기 위해 응력 및 변형률 해석을 진행하였다.

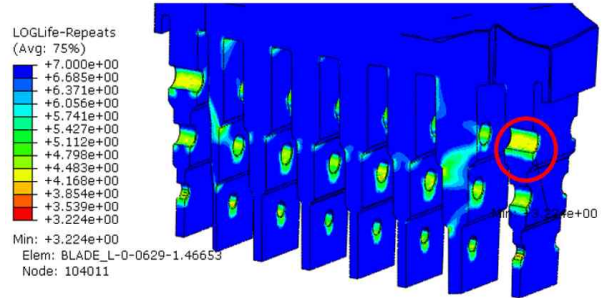


본 연구에서는 해석 시간을 단축하기 위해 순환 대칭(Cyclic symmetry) 방식으로 사용하였다. 즉, 모델의 왼쪽과 오른쪽이 대칭이며 Master Surface의 작용력은 Slave Surface로 전달된다. 모델의 구속 조건은 그림 2와 같이 실제 터빈 블레이드 작동 과정 중에 적용될 수 있는 상황을 고려해서 모델 하단부를 고정하였다. 원심력에서 각속도는 실제 운전 중의 회전수에 맞게 3,600rpm으로 적용하였다.



[그림 2] 모델링 구속 조건

로해석에서 피로수명이 가장 낮은 위치로 나타난다.

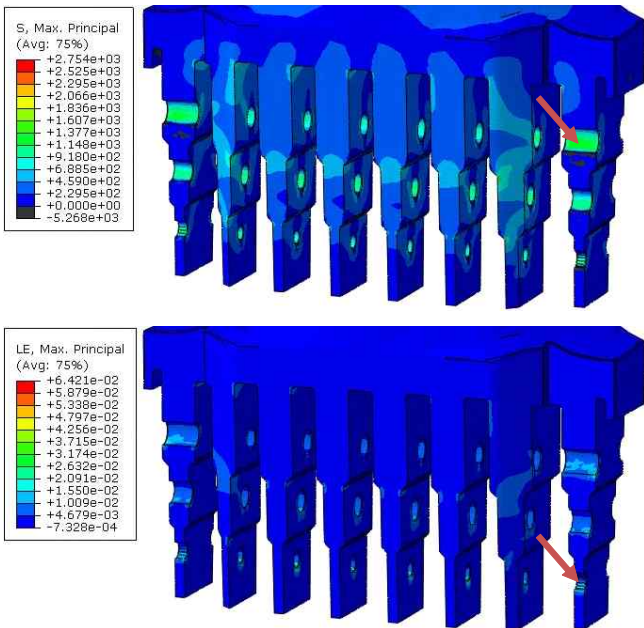


[그림 4] 모델의 피로수명 분포

각 부품 간은 면대면 (Surface to Surface) 접촉으로 설정되며 정적 마찰 계수는 0.1로 설정하였다. 핀의 결합 부분에서 TIE 경계 조건을 40도로 처리한다.

### 3. 해석 결과

그림 3을 보면, 최대응력이 핀 결합한 부위에 집중되어 있으며 최대인장 주응력이 2,754MPa이며 최대 MISES 응력은 1,048MPa로서 티타늄 항복응력 1,006MPa에 비해 큰 값을 보여 소성변형이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 변형률 집중되는 현상은 홀의 아래쪽에 많이 나타난다. 주 변형률의 최대치는 홀의 아랫부분에 집중되어 있는데, 그 원인은 원심력의 작용으로 블레이드가 압축되는 힘으로 인해 소성변형이 집중되었기 때문이다.



[그림 3] 모델의 주응력 및 변형률 분포

소성변형이 발생하기 때문에 터빈 블레이드를 Strain - Life 법을 사용하여 피로해석을 실시하였다. 소성변형이 큰 터빈 블레이드의 접촉 부분은 그림 4에서와 같이 저주기 피

### 4. 결론

티타늄으로 구성된 터빈 블레이드의 모델에 대한 응력 및 피로수명을 예측한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

구조 해석한 결과를 보면 터빈 블레이드의 파괴 가능성이 큰 위치를 확인할 수 있으며, 피로수명 약  $10^{3.224}$ 회 (1,675회)로 얻었다. 상기 결과를 바탕으로 전력거래소가 통계[5]한 최근 5년간의 석탄 터빈 블레이드 평균 정지 횟수 17회에 대비하여 약 96년간에 사용할 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 2022년 한국교통대학교의 지원을 받아 수행하였음

### 참고문헌

- [1] DL5022-93, Technical Regulations for Civil Structure Design of Thermal Power Plants [M], Beijing, Water Conservancy and Electric Power Press, 1993
- [2] Zhipeng Wei, "Research on dynamic and seismic performance of 660mw thermal power generator structure", Master's degree thesis of Hebei Institute of Civil Engineering, pp. 2-3, 2020
- [3] Haijun Yang, "Study on dynamic performance of support structure of thermal generator", Journal of Hebei Institute of Civil Engineering and Architecture, Vol. 37 No. 3, pp. 20-26, 2019
- [4] Nikolajsen, J. L, "The Effect of Misalignment on Rotor Vibrations[J]", Journal of Engineering for Gas Turbines & Power, Vol. 120, pp. 635, 1998
- [5] KOREA POWER EXCHANGE, "2021년 발전설비 정지 통계", pp. 6, 2022