

500MW 화력발전소 저압터빈 Hood 공진 특성에 관한 연구

Study on vibration characteristics of low pressure turbine hood resonance in a 500MW thermal power plant

조철환*† · 조성태** · 구재량*** · 김형석****

Cheul-Whan Cho*†, Seong-Tae Cho**, Jae-Raeyang Koo*** and Hyoung-Suk Kim****

(접수일 : 2013년 01월 18일, 수정일 : 2013년 02월 23일, 채택확정 : 2013년 03월 12일)

Abstract: In this research paper, we study on how to decrease the high vibration of turbine hood casings which are main facilities of power generation industry. Cause of Standard coal-fired power 500MW facilities turbine hoods' high vibration is that Natural frequency of hood casing designed in near domain frequency, when they are making hoods. We investigate to reduce high vibration at hood casing. We use FEM method to found how to avoid resonance, and test to confirm that our FEM result. We Finally attach minium mass plate at hood casing to avoid resonance and high vibration reduce lower 100 μ m.

Key Words : Resonance, Vibration, Turbine Casing, Hood, Natural Frequency, Mass

— 기 호 설 명 —

HP TBN : 고압터빈 [High Pressure Turbine]
LP : 저압 터빈 [Low Pressure Turbine]
 μ m_pp : [μ m Peak to Peak]

기계적 에너지로 변환시키는 현존하는 가장 효율 좋고 실용화된 기기라 할 수 있다. 이러한 터빈은 아주 정교한 설계에 의하여 회전체와 고정체 사이가 미소한 간격으로 운전되는 기기로서 공급되는 증기가 새지 않도록 밀봉되어 운전된다.^{1,2)}

1. 서 론

전기를 생산하는 발전 산업에서 가장 중요한 기기는 발전기를 회전시키기 위하여 가열증기가 가지고 있는 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 장치인 터빈이다. 즉 터빈은 보일러에서 고온 고압으로 가열된 증기를 사용하여 고정익과 회전익 사이에서 열 낙차를 이용하여 회전하는

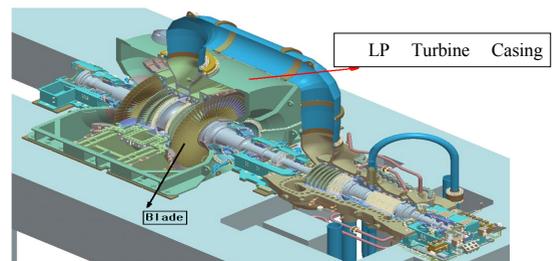


Fig. 1 Turbine-sided figure

*† 조철환(교신저자) : 한국전력공사 전력연구원
E-mail : chcho@kepco.co.kr, Tel : 042-862-1618
**조성태 : 한국전력공사 전력연구원
***구재량 : 한국전력공사 전력연구원
****김형석 : 한국전력공사 전력연구원

*† Cheul-Whan Cho(corresponding author) : KEPSCO RESEARCH INSTITUTE
E-mail : chcho@kepco.co.kr, Tel : 042-862-1618
**Seong-Tai Cho : KEPSCO RESEARCH INSTITUTE
***Jae-Raeyang Koo : KEPSCO RESEARCH INSTITUTE
****Hyoung-Suk Kim : KEPSCO RESEARCH INSTITUTE

이러한 터빈 케이싱(Casing)을 후드(Hood)라 명칭하며, 이 후드는 터빈 로터에 의해 회전하는 블레이드에서 발생하는 진동의 영향을 받고 있는 상태이다.

본 논문에서는 터빈 케이싱 후드가 운전 중 고진동이 발생되어 운전되는 터빈의 기초, 베어링의 이상 진동을 유발하고, 고 진동에 의한 소음이 발생되어 후드의 수명에 막대한 지장을 초래하므로 고진동 원인에 대한 연구를 통하여 최적의 해결 방안을 적용할 실험적 논문을 소개하고자 한다

2. 저압터빈 후드의 진동 분석

500MW 화력 발전소 터빈은 다음 Fig. 1과 같이 고압터빈(HP), 저압터빈(LP-A,B) 2개로 구성되어 동력을 발생시키고 있으며, 이 터빈의 구동력에 의하여 발전기를 회전시켜 전기를 발생시킨다. 이 저압터빈외부의 고 진동 발생현상을 분석하기 위하여 진동을 측정 한 결과는 다음 Table 1과 같이 LP-A측 케이싱의 진동이 높으며, LP-B는 낮은 상태이다. 따라서 본 논문에서는 LP-A의 특성에 대하여 논 한다

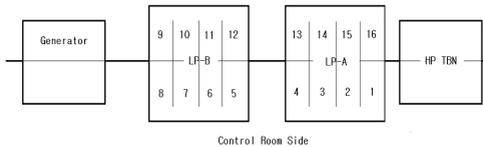


Fig. 2 Configuration of turbine system

Table 1 Vibration Level of Turbine Hood

Position	Vibration Value(μm_{pp})	Position	Vibration Value(μm_{pp})
1	132	9	34.1
2	254	10	51.6
3	223	11	50.9
4	118	12	33.6
5	69.8	13	175
6	95.8	14	312
7	97.6	15	303
8	65	16	169

3. 터빈 케이싱 후드의 고 진동 원인 분석

3.1 정지 중 터빈 케이싱 고유진동수 분석

터빈은 운전 중에 로터가 3600 rpm으로 회전을 하고 있으므로 항상 60 Hz의 가진 주파수가 발생되고 있는 상태이다. 따라서 고유진동수가 60 Hz 부근에 존재 할 경우 운전 중 고유진동수 측정은 불가능하다.

터빈 케이싱의 정지중의 고유진동수를 측정 한 결과 다음 Fig. 3과 같이 61.25 Hz로 측정이 되었으며, Δf 3dB(공진이 발생하는 중심주파수에서 3dB) = 0.4Hz 이므로 공진범위는 60.85 Hz ~ 61.65 Hz로서 케이싱 공진이 발생되면 안 된다.³⁾ 그러나 운전 중 측정 자료에서와 같이 고진동이 발생되고 있으므로 운전 중의 고유진동수 분석이 필요하였다.

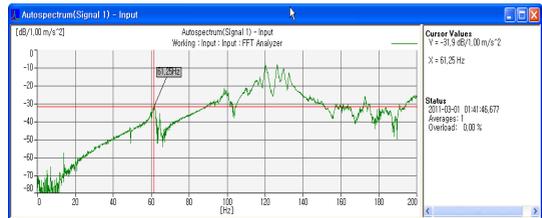


Fig. 3 Natural Frequency of Turbine Hood(Stop)

3.2 운전 중 터빈 케이싱 고유진동수 분석

물체의 고유진동수는 경계조건에 따라 변하며, 이 경계조건은 물체의 고정조건 및 온도조건이 주 변화요소이다. 터빈 케이싱의 경우 운전중 부하에 따른 온도변화로 인하여 고유진동수가 변하게 되며, 이러한 변화 상태를 규명하는 것이 중요하다.⁴⁾

운전 중 고유진동수 상태를 분석하기 위하여 계통에 병입되어 운전되는 발전기의 운전특성을 이용하여 추세 분석을 실시한다.

즉 발전기는 계통에 연결되어 운전 중일 경우 계통주파수와 동기 되어 같은 회전수로 터빈이

회전하게 되며, 터빈이 가지고 있는 고유진동수에 근접하면 공진이 증폭되어 진동 값이 높아지고, 고유진동수에서 멀어지면 진동이 감소되어 진동 값이 감소 할 것이다. 이러한 원리를 이용하여 터빈의 회전수와 진동 값에 대한 동 시간 Trend를 분석하면 고유진동수 추세 분석이 가능하다.

Fig. 4는 운전 중 계통주파수(터빈회전수)변화에 따른 Hood 14번 Point의 진동변화를 동 시간에 측정 한 것으로서 터빈 회전수 3597 rpm(59.95 Hz)⇒ 18.643 m/s² 대비 3602 rpm(60.03 Hz)⇒13.302 m/s²로서, 터빈회전수가 고유진동수 59.95 Hz에 근접하면 진동상승이 발생되는 것을 알 수 있다. 따라서 고유진동수는 60 Hz이하에 존재함을 알 수 있다.

이러한 고유진동수 분석은 고유진동수가 운전 중 운전주파수인 60 Hz의 상하 어느 쪽에 존재하는지를 분석하는데 사용 할 수 있으며, 실제의 운전 중 고유진동수를 정밀 측정하기 위해서는 고해상도의 장비를 사용하여 분석 할 수 있다.

Fig. 5는 59.5 Hz~60.5 Hz사이의 주파수를 6400 line으로 분해하여 고유진동수를 측정 한 자료로서 정밀 분석한 결과 59.975 Hz로 분석 되었다.

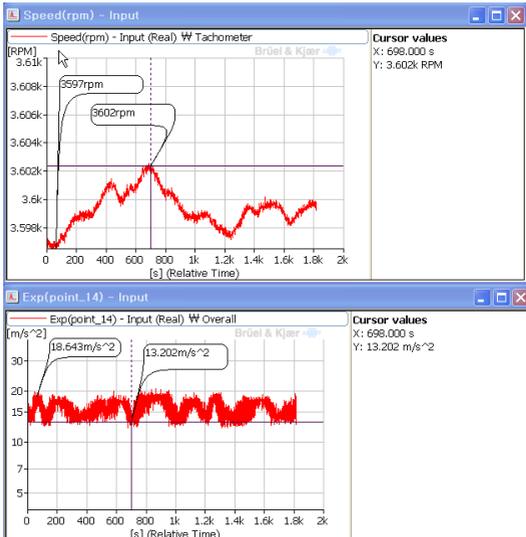


Fig. 4 Hood vibration level changes according to turbine rotation speed

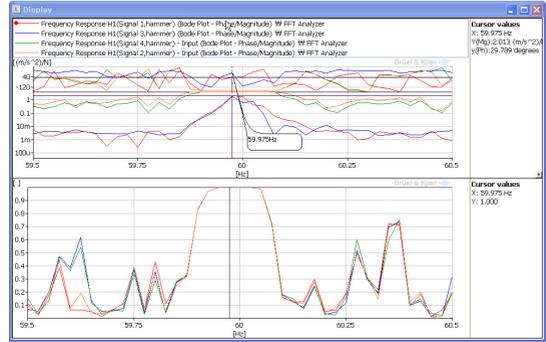


Fig. 5 Natural frequency of LP-A turbine hood

4. 터빈 케이싱 후드의 FEM 해석

4.1 해석 조건

발전 설비에 대한 효율적인 형상 구현과 유한 요소모델을 위하여 3차원 모델링 전용프로그램 Solid Work 3D CAD S/W를 사용 하였으며, ANSYS 소프트웨어의 요소형상은 셸 요소 (SHELL63)를 적용하였고, Full Model을 하였으며, 경계조건은 Turbine Casing의 하부 면을 고정조건 (Fixed conditions)으로 정의하였음.

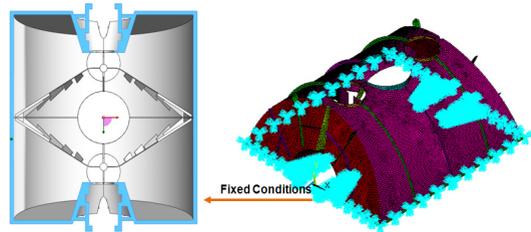


Fig. 6 Boundary conditions of model

4.2 기존 터빈 케이싱 동특성 해석

기존의 터빈을 모델링하여 후드의 공진현상에 대한 진동 Mode를 분석한 결과 61.23 Hz에서의 진동 Mode가 현장에서 발생하는 진동 Mode이며, 주파수는 정지상태의 고유진동수 61.25 Hz와 거의 일치한다.

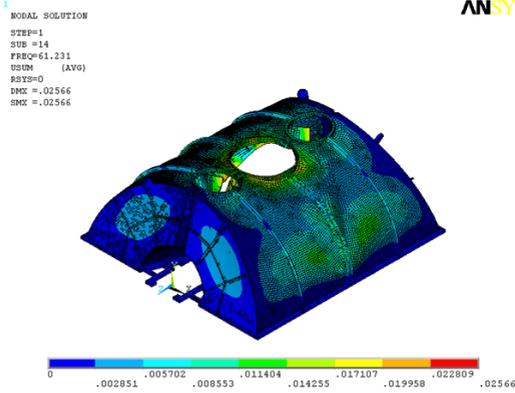


Fig. 7 Resonance mode turbine hood(61.23 Hz)

4.3 기존 터빈 케이싱의 강성 변경 해석 결과
구조물의 고유진동수는 강성에 비례하고 질량에 반비례하는 것을 이용하여 고유진동수 변경에 대한 해석을 하였다.

$$f = K\sqrt{\frac{k}{m}}$$

여기서 k는 재료 강성 계수, m은 질량이다

터빈 케이싱 내부에 여러 형태의 Stiffener를 부가하여 강성을 상승시키는 방향으로 해석을 한 결과 고유진동수는 60.913Hz로 원래의 고유진동수 61.23Hz에 비하여 오히려 감소하였으며, 이는 Stiffener부가에 따른 고유진동수 상승효과와 Mass 증가에 따른 고유진동수 강하효과가 서로 상쇄되어 고유진동수 상승이 불가하였다.⁵⁾

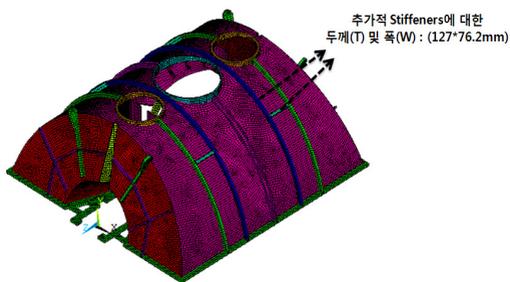


Fig. 8 Stiffener mounting position

ANSYS

즉 강성을 올려서 고유진동수를 상승시키기는 불가능한 상태이며, 질량 부가효과를 이용하여 고유진동수를 낮추는 방안에 대한 해석을 수행하였다.

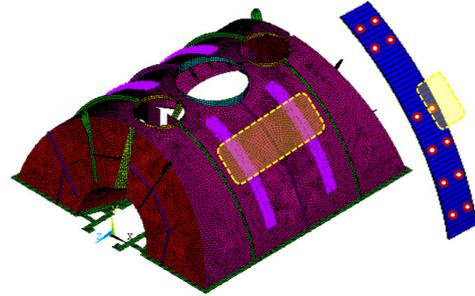


Fig. 9 Added mass shape on turbine casing

질량을 부가하여 고유진동수를 변경하는 방안에 대한 해석 결과는 다음 Table 2와 같음.

Table 2 Added mass effect of natural frequency

Measurement Point	Original Model	①	②	③	④	⑤
Added Mass(Kg)	0	276	330	385	440	494
Natural Frequency(Hz)	61.23	60.64	60.53	60.41	60.29	60.17

터빈 케이싱 4개면에 질량을 부가하여 고유진동수를 해석한 결과 494 Kg을 부가하면 고유진동수 변화량은 1.06 Hz이다 이는 공진 범위 Delta f 3 dB = 0.4 Hz를 벗어나는 값이므로 이를 적용하였음.

5. 터빈 케이싱 후드의 보강 후 결과 분석

해석 결과를 적용하여 실제 발전소 터빈케이싱에 질량을 부가한 사진은 Fig. 10 이며, 그 측정 결과는 Table 3과 같이 최고 312 μm-PP에서 116 μm-PP로 감소되었음.



Fig. 10 Added mass on turbine casing hood

Table 3 The result of vibration measurement

Measurement Point	2	3	14	15
Improvement(μm)	254	223	312	303
After Improvement(μm)	105	84.8	116	109

6. 결 론

본 논문에서는 발전 산업의 핵심설비인 터빈의 케이싱 후드 고 진동 발생을 저감시키기 위한 연구논문으로 표준석탄화력 500MW 설비 터빈 후드의 공진현상은 후드 제작 시 고유진동수가 운전 가진 주파수 영역에 존재하도록 설계된 것이 근본 원인이며, 공진영역이 좁은 관계로, 정기점검 시 케이싱 볼트의 미세한 장력변화에 의해 고유진동수가 미소하게 변하는 관계로 점검시마다 변화가 발생된다.

이러한 공진현상의 회피를 위하여 정기점검시의 변화량에 상관없이 안정적인 운영이 가능하도록 후드의 고유진동수를 변화시켜 공진을 회피하도록 케이싱의 Full Modeling을 통하여 최적의 방안을 도출하였으며, 최소한의 Mass 부가에 의한 최적설계 개선으로 100 μm 정도로 개선한 실험적 연구임.

후 기

본 논문은 2012년 서부발전(주) 표준석탄화력 저압터빈 케이싱 고진동 저감에 관한 연구 과제와 관련하여 연구된 내용입니다

References

1. B. J. Lee, 1999, "Rotor Mechanical Vibration and Maintenance Handbook for Field Engineer" (I)", Kepco.
2. B. J. Lee, 1999, "Rotor Mechanical Vibration and Maintenance Handbook for Field Engineer" (III)", Kepco.
3. H. Y. Jung, H. J. Kim, D. S. Kim, D. S. Koo and B. K. Choi. "Noise Blocking Panel for Transformer's Vibration and Noise Analysis ", Journal of the Korean Society for Power System Engineering 2006, Vol. 10, No. 4, p. 80, 5.2 Vibration Transfer Ratio.
4. J. S. Lee and J. E. Kim, "Phase Optimum Design Technique's Appliance Availability Research", Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering 2006, Vol. 16. No. 2, p. 116, 2, Frequency Response Function.
5. S. Y. Bae, "Research About A Study on Vibration Characteristics in Water Tank Structures with Multi-panels", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, No. 6, p. 68, elastic wave's formulation and governing equation.