

# 원전 터빈의 초기 시운전시 발생하는 고진동 현상에 대한 고찰

## Study on high vibration phenomena of steam turbine in nuclear power plant(OPR 1000) during initial commissioning

정혁진† · 이우광\* · 류동화\*

Chung Hyuk-jin, Lee Woo-kwang and Ryu Dong-hwa

### 1. 서 론

최근에 상업운전을 시작한 신월성 1호기를 포함하여 국내에는 총 23기의 원자력발전소가 운전 중에 있으며, 이 중 개선형 한국표준형원전(OPR 1000)인 신고리 1호기는 2011년 2월에, 신고리 2호기와 신월성 1호기는 2012년 7월부터 상업운전을 시작하였다. 저압터빈 구조상으로는 한국표준형 원전(KSNP)과 OPR 1000의 구조는 동일하지만 한국표준형 원전 터빈의 경우 초기 시운전시 고진동에 의한 발전정지가 다수 발생하였으나 OPR 1000의 경우에는 고진동에 의한 발전정지는 없었다. 하지만 그림 1과 같이 최초 계통병입시험 중 터빈 고진동 현상은 여전히 발생되고 있다.

이번 논문에서는 OPR 1000 터빈에서 발생된 고진동 현상에 대한 원인을 분석하고 이에 대한 저감 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 고진동 원인분석 및 저감방안

#### 2.1 시운전시 발생하는 진동현상

원자력발전소의 터빈은 증기발생기에서 생성된

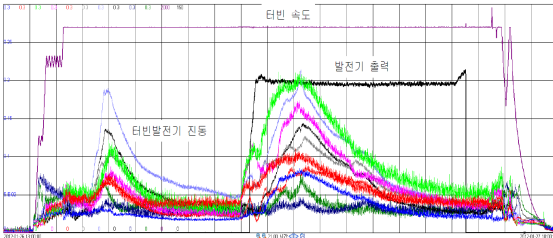


Figure 1 Typical high vibration phenomenon during commissioning

증기의 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 설비로서 로터와 같은 회전부와 다이어프램 및 패킹 링과 같은 고정부로 구성되어 있다. 이러한 구성기기의 설치 및 조립 완결성을 확인하고, 기기 성능을 검증하기 위한 시험들이 시운전 기간 동안 수행된다.

OPR 1000 터빈발전기에 수행되는 주요 시운전 시험에는 원자로 연료장전 전 수행되는 최초 기동시험과 연료장전 이후 수행되는 최초 계통병입시험이 있으며, 전자는 터빈을 처음으로 정격속도까지 회전시키는 시험이고, 후자는 최초로 발전기에서 전기출력을 생산하는 시험이다.

OPR 1000 터빈발전기의 고진동 현상은 발전기 여자시스템 시험을 위해 터빈을 무부하로 정격속도(1800rpm)로 유지하는 기간과 계통병입 이후 저출력(약 10%) 운전 및 부하탈락 시중 중에 주로 나타나고 있다.

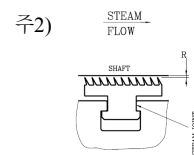
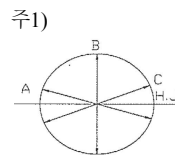
#### 2.2 진동특성 및 원인분석

(1) KSNP와 OPR 1000 비교

KSNP 터빈의 시운전시 고진동 문제를 해결하기 위해 터빈 공급사에서는 표 1과 같이 저압터빈 패킹 링의 내경과 간극을 OPR 1000부터 조정하였다.

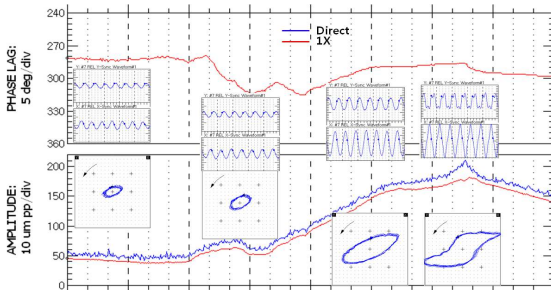
Table 1 Packing ring size and clearance comparison between KSNP and OPR 1000

구분	KSNP	OPR 1000	비고
패킹링 치수 (mm)	A/B/C: $\phi 927.86$	A/C : $\phi 927.86$ B : $\phi 928.36$	주1)
패킹링 간극 (mm)	좌우간극(R): 0.635	좌우간극(R): 0.635 상하간극(R): 0.889	주2)



† 교신저자; 정희원, 한수원중앙연구원  
E-mail : hjchung@khnp.co.kr  
Tel : 042-870-5675, Fax : 042-870-5648

\* 한수원중앙연구원



**Figure 2** Typical vibration trend during high vibration(Direct vs. 1X trend and Orbit/Waveform)

패킹 링 치수 및 간극 조정이 이루어진 OPR 1000에서는 터빈 고진동에 의한 발전소 정지는 발생하지 않은 것으로 볼 때 진동 측면에서는 개선효과가 있었다고 판단되지만 시운전시 고진동 현상을 완전히 해소시키기에는 충분하지 않는 것으로 보인다.

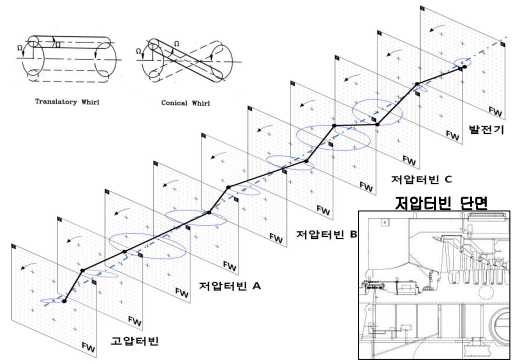
(2) 진동신호 분석

그림 2는 OPR 1000 발전소에서 터빈 고진동 발생시 최고 진동값이 나타난 베어링에서 취득된 상대 진동의 진폭/위상값, 선회 궤도(Orbit) 및 시간과형이 나타나 있다. 이러한 진동신호 분석결과 진동의 주 주파수 성분은 1x이며, 진동상승에 따른 위상변화를 수반하고 있으며, 선회 궤도 형상이 외력에 의해 타원형에서 마름모형으로 변형되어 나타나는 것을 보면 회전부와 고정부의 접촉(Rubbing) 현상이 발생한 것으로 판단된다.

Rubbing이 발생하면 축의 표면에 국부적인 마찰 열이 발생하여 축의 원주방향으로 온도 구배가 발생한다<sup>(1)</sup>. 이러한 온도 구배는 로터를 high spot 방향으로 휘게 하는 열적 굽힘(Thermal bow)을 일으켜 로터의 불평형량을 증가시키는 효과를 발생시킨다.

(3) Rubbing 발생원인

초기 시운전 기간에 이러한 고정부와 회전부의 접촉원인 중 하나는 불충한 내부 간극에 있다. 이는 터빈 공급사에서 증기터빈의 열효율을 높이기 위해 저압터빈 패킹 링의 간극을 가능한 한 작게 설계하여 설치하기 때문이다. 이러한 초기 상태에서 무부하 및 저출력 상태에서 장시간 운전하면 저압터빈 내 증기의 유동이 불균일하여 고정체의 열팽창이 균등하게 이루어지지 않고 복수기 진공형성에 의한 베어링 페테스탈이 변형되어 국부적으로 로터와 간극이 좁아진 부분에서 접촉이 발생하게 된다.



**Figure 3** Typical multi-orbit diagram during high vibration and LP turbine cross section

그림 3과같이 터빈발전기 베어링별 선회궤도를 보면 저압터빈 A와 C 로터의 선회궤상은 Conical Whirl를 하고 있으므로 저압터빈 양쪽의 패킹 링 부위에서 Rubbing이 일어났을 가능성이 높다.

2.3 고진동 저감방안

그림 3의 저압터빈 단면에서 보듯이 베어링 페테스탈이 저압터빈 하부 후드(Hood)에 설치되는 터빈의 경우 복수기 진공도 변화 영향을 받을 수 있는 구조이다<sup>(2)</sup>. 이러한 특성을 활용하여 고진동 발생시 복수기의 진공도를 30mmHg정도 저하시켜 로터 축 중심변화를 유도하여 Rubbing 현상을 완화시킬 수 있었다. 하지만 이러한 조치는 일시적인 조치이며, 저압터빈 내부간극 적정성에 대해서는 재검토가 필요하다.

3. 결 론

이 논문에서는 최근 상업운전을 시작한 OPR 1000 터빈의 시운전시 발생된 고진동 현상에 대해 그 원인을 분석하고 저감방안을 제시하였다.

요약하면 시운전 시 발생하는 터빈의 고진동 원인은 고정부와 회전부의 Rubbing이며, 고진동 발생시 이를 저감시키기 위한 방안으로 복수기 진공도 조정이 효과가 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) 하현천, 최성필, 1999, “증기터빈의 Rubbing 진동” 한국동력기계공학회지 제3권 제1호 pp. 5~8  
 (2) 고우식, 2009, “원자력 터빈-발전기의 베어링 지지 시스템과 운전조건에 따른 진동특성 고찰” 한국동력기계공학회 2009춘계학술대회논문집 pp. 15~18