

공진에 의한 터빈 Control Valve 이상 진동

구 재량[†] · 김 성휘* · 고 우식** · 이 우광** · 김 연환** · 황 재현**

Abnormal Vibration of Turbine Control Valve due to Resonance

Koo, Jae Raeyang, Kim, Sung Hwi, Koo, Woo Sik
Lee, Woo Kwang, Kim, Yeon Hwan, Hwang, Jae Hyeon

Key Words: Turbine(터빈), Control Valve(주 증기 조절밸브), Alignment(축 정렬)

Abstract

Amount of Electricity which product generator decide control valve at Turbine. Operating method of Control valve have two mode. First operating method is Partial Arc Admission, and second operating method is Full Arc Admission. Failure of Control Valve have on serious damage electricity lineage. In this Paper, We have investigated resonance that Control Valve spring casing.

1. 서 론

우리의 생활에서 없어서는 안 될 문명의 기기 중 하나는 전기이며 이 전기는 발전소에서 발전기를 통하여 만들어진다. 전기가 생산되는 메카니즘은 발전기의 회전자가 돌면서 전류를 발생하며 이 전류는 전기 선로를 통하여 우리에게 공급된다. 발전기의 회전자를 돌리기 위해서는 발전기 축에 연결되어 있는 터빈이 있어야하며 이 터빈은 고온, 고압의 증기에 의하여 회전한다.

보일러나, 원자력의 열을 이용하여 만들어진 고온 고압의 증기는 터빈에 통기되기전에 Control Valve에 의하여 계통에서 요구되는 일정한 출력

만큼 유량을 터빈에 유입하여 준다.

Control Valve는 계통에서 요구하는 만큼의 유량을 터빈에 통기하여 주며 Control Valve의 사고는 계통에 큰 파급 효과를 미칠 수 있다.

본 고에서는 Control Valve Casing의 공진에 의한 이상 진동 발생에 대해 고찰하여 본다.

2. Control Valve

2.1 Control Valve

고압 터빈에 유입되는 증기량을 조절하는 밸브를 말하며 주증기 조절 밸브(Control Valve)를 조절하여 터빈의 회전수 및 발전기의 부하를 조절하며 설치 개수는 4개 또는 그 이상이다. 주증기 조절 밸브는 열리는 순서가 달라 증기량의 미세한 변화에도 정확한 대응이 가능하며 각각 하나씩 연결된 증기관을 통하여 노즐 블록에 증기를 공급한다.

Fig 1.은 Hydraulic Actuator를 나타내며 조절 밸브의 작동 원리는 오일이 Pilot Valve에 공급되며 Pilot Valve의 동작에 의하여 Hydraulic Actuator의 Spring의 장력을 조절하여 Control Valve의 개도를 조절한다.

[†] 한국전력공사 전력연구원

E-mail : kjrforyou@hanmail.net

TEL : (042)865-5407 FAX : (042)865-5304

* 한국전력공사 전력연구원

** 한국전력공사 전력연구원

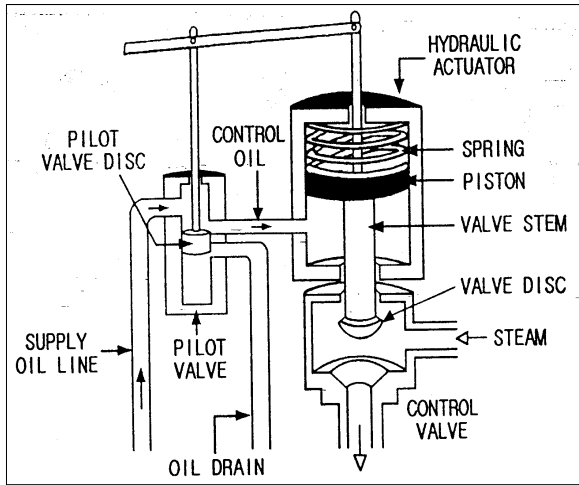


Fig. 1 Hydraulic Actuator

Fig 2.은 Hydraulic Actuator를 분해한 상태를 사진으로 나타낸 것이다.



Fig. 2 Hydraulic Actuator disassemble

2.2 Control Valve의 운전 Mode

PA(Partial Arc Admission) Mode는 터빈의 부하에 따라 주증기 조절 벨브의 열리는 개수를 조절하여 터빈에 증기를 유입시키는 것으로 열효율은 좋으나 터빈에 국부적인 열응력을 발생시킬수 있으며 주증기 조절벨브의 개도에 따라 축정렬에 많은 영향을 미칠수 있으며 Fig 3.은 Partial Arc Admission Mode를 나타낸 것이다.

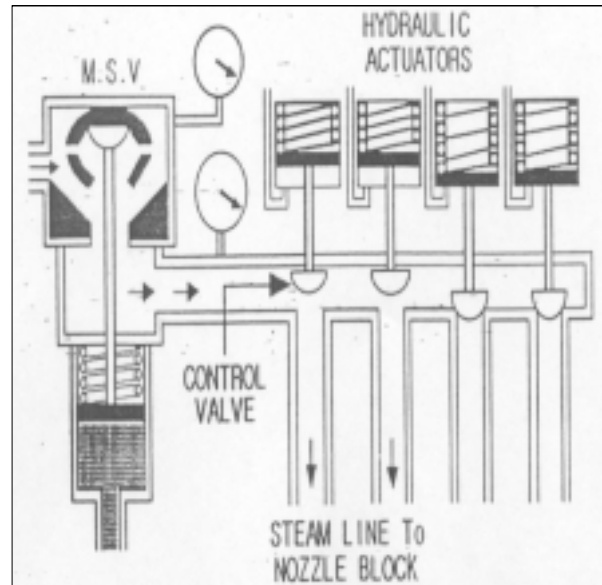


Fig. 3 Partial Arc Admission Mode

FA(Full Arc Admission) Mode는 4개의 주증기 조절 벨브를 동시에 조절함으로써 터빈의 부하를 조절하며 터빈을 일정하게 가열하고 온도변화를 감소시켜 국부적인 열응력 발생을 최소화 시키며 터빈의 축정렬에 큰 영향을 주지 않지만 열효율에는 상당히 나쁜 영향을 미칠수 있다.

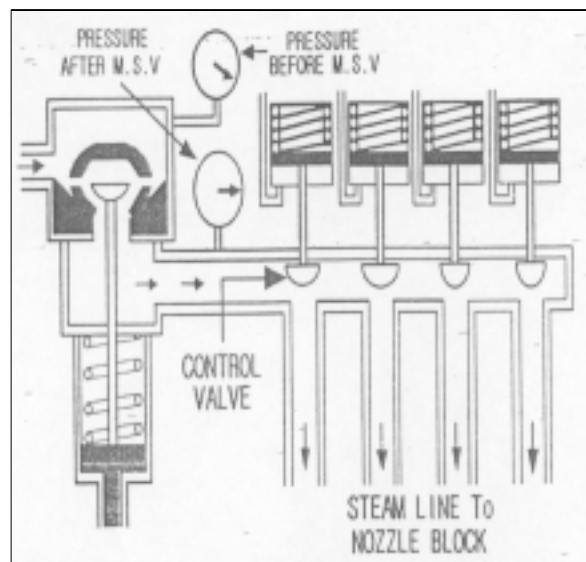


Fig. 4 Full Arc Admission Mode

Fig. 4는 Full Arc Admission Mode를 나타낸 것이다.

또한 Fig. 5에서 나타나듯이 Control Valve는 제 1번부터 순차적으로 열리도록 하여 증기가 벨브

를 통과 할 때 압력 강하에 의한 열에너지 손실을 최소로 한다.

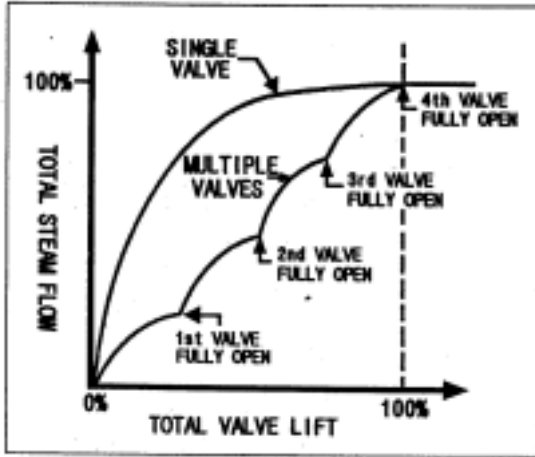


Fig. 5 Valve Lift versus Steam Flow

3. 공진에 의한 터빈 Control Valve Casing의 이상 진동

3.1 진동 발생 내용

원자력 발전소 터빈-발전기 Partial Arc Admission Mode 운전중 고압터빈 제어 밸브 중에서 No.#4번 Control Valve의 개도가 10%정도 열려 있을 때 진동이 500 μ m를 초과하여 운전 되고 있었다.

3.2 Control Valve 진동 발생원인 분석

공진의 이상 유무를 확인하기 위하여 Control Valve 4개를 Fig. 5와 같이 A, B를 선택하여 Modal Test를 수행 하였다.

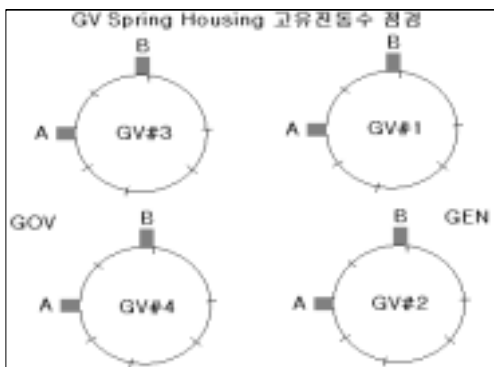


Fig.6 Point of Modal Test

Table.1은 Control Valve의 Modal Test 결과이며 Control Valve에 증기가 유입되면 증기의 온도와 유량등에 의하여 고유진동수가 증가하기 때문에

단위 : Hz

위치	CV #4
조건	분해
A	2.6 28.8
B	2.5 14.2 16.3

Table.1 Result of Modal Test

실질적으로 운전시에는 CV #4번의 28.8Hz가 운전 주파수와 공진이 될 가능성이 있는 것으로 나타나, Control Valve Spring Housing에 Rib을 보강하기로 하였으며 Rib 보강시 고유진동수의 변화가 얼마나 발생하는지를 확인하기 위하여 전산 해석을 수행하기로 하였다.

3.2 Control Valve 전산 해석

전산해석을 통하여 Fig. 6은 Control Valve Spring Housing의 Modeling 이다.

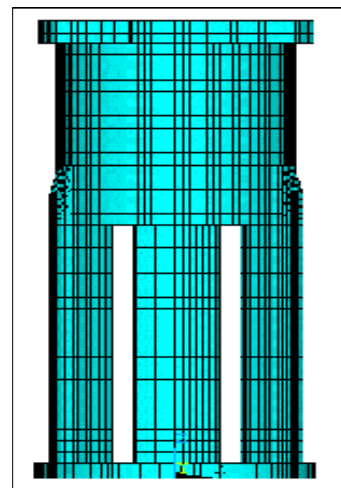


Fig. 7 Control Valve Spring Housing

해석을 위하여 사용된 Code는 ANSYS S/W이며 내부 및 외부의 모델 및 Mass는 생략 하였다. 해석을 위해 적용한 경계조건은 하부의 볼트 부분만을 Fixed 조건으로 적용하여 해석을 수행 하였다.

3.3 해석 수행 결과

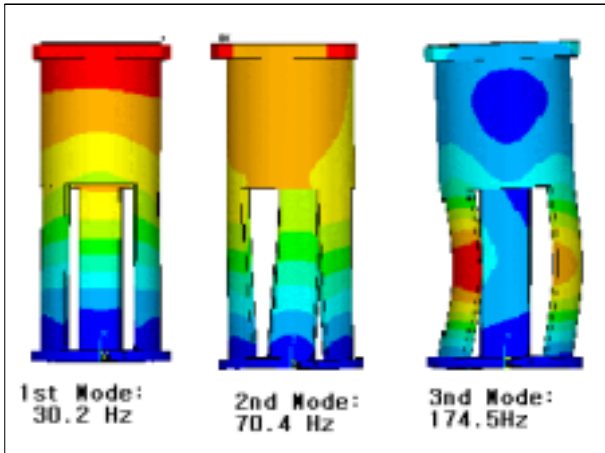


Fig.8 Natural Frequency and Mode Shape before improvement spring casing

전산 해석 결과, 시험 결과와 비슷하게 첫 번째 고유진동수는 30.2Hz, 두 번째 고유진동수는 70.4Hz, 세 번째 고유진동수는 174.2Hz로 나타났다.

#4CV의 진동은 공진에 의하여 발생되었으며, 이 공진 문제를 해결하기 위하여 실제 Spring Casing을 제작하지 않고 전산 해석을 통하여 Spring Casing에 Rib을 추가하여 고유진동수들이 어느 정도 증가 하는가를 확인하기로 하였다.

3.4 Rib 보강시의 전산 해석

Fig. 8은 Rib 보강시의 Control Valve Spring Housing의 Modeling 이다.

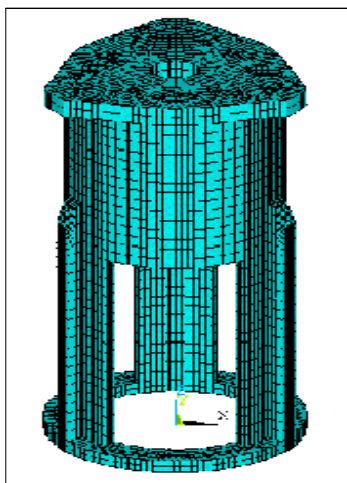


Fig.9 Modeling of Rib attachment

Rib 보강전과 마찬가지로 해석을 위하여 사용된 Code는 ANASYS S/W 이며 내부 및 외부의 모델 및 Mass는 생략 하였다. 해석을 위해 적용한 경계조건은 하부의 볼트 부분만을 Fixed 조건으로 적용하여 해석을 수행하였다.

3.5 Rib 보강시의 전산 해석 결과

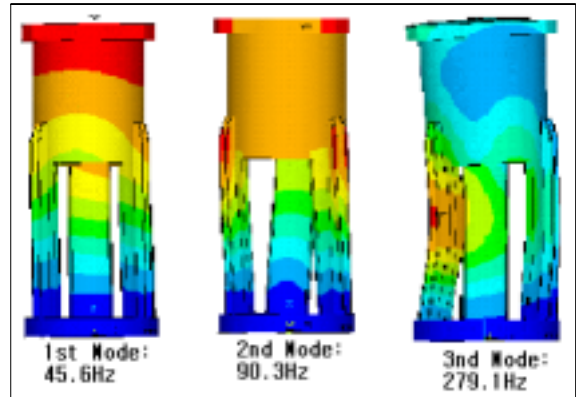


Fig.10 Natural Frequency and Mode Shape before improvement spring casing

Rib 보강시의 해석 결과 첫 번째 고유진동수는 Rib 보강 전 보다 약 15Hz가 증가한 45.6Hz, 로 나타났으며, 두 번째 고유진동수는 90.3Hz, 세 번째 고유진동수는 279.1Hz로 나타나, Spring Casing에 Rib 보강시에는 공진 문제를 해결 할 수 있는 것으로 나타났으며 실제로 Spring Casing에 Rib을 보강하여 제작하여 장착하기로 하였다.

3.6 Rib 보강시의 Modal Test 결과

단위 : Hz	
위치	CV #4
조건	분해
A	4.5
	42.5
B	4.7
	18.2
	22.4

Table.2 Result of Modal Test after Rib attachment

Modal Test 결과 첫 번째 고유진동수가 해석 결과 보다 약간 작은 42.5Hz로 나타났으며 공진에 의한 진동 문제는 더 이상 발생하지 않았다.

4. 결 론

원자력 발전소 터빈-발전기 Partial Arc Admission Mode 운전 중 고압터빈 제어 밸브 중에서 No.#4번 Control Valve의 개도가 10%정도 열려 있을 때 $500\mu\text{m}$ 이상의 진동이 발생하였는데, 이에 대한 원인은 터빈의 운전 주파수와 Control Valve Spring Casing의 고유 진동수가 일치하여 발생한 공진이었으며, 전산 해석을 통하여 Spring Casing에 Rib을 보강한 결과 고유진동수의 증가로 인하여 공진에 의한 이상 진동 문제는 발생 하지 않았다.

후 기

참고문헌

- (1) 한국전력공사, 2003, 현장 기술 지원 보고서,
- (2) 한국전력공사, 1998, 회전기계 진동 및 정비 핸드북