

1000MW 발전소 승압펌프 차단 밸브 손상에 대한 배관계 유체유발 진동 고찰

Study on Fluid Induced Vibration with Isolation Valve Damage of Booster Pump Piping System in 1000MW Power Plant

김연환† · 배용채* · 이옥륜* · 이두영*

Yeon-Whan Kim, Yong-Chae Bae, Uk-Ryun Lee and Doo-Young Lee

1. 서 론

발전소에서 승압펌프 시스템은 대형 원심형 급수 펌프의 흡입유효수두를 보완함으로써 탈기 탱크로부터 유입되는 급수 시스템을 안정화시키는 역할을 한다. 탈기 탱크의 급수는 보통 대형 배관계를 통하여 헤더에 모인 후 2, 3개 배관계에 연결된 승압펌프를 통하여 급수를 공급하는 방식과 헤더에서 2~3개의 배관을 통하여 승압펌프를 통하여 공급하는 방식을 채용하고 있다.

대형 발전소는 대부분 정상운전 조건에서 기저부하를 담당하고 있다. 단, 기동, 정지 또는 시운전 기간 중에는 저출력 운전 빈도가 높아 질 수 있고 특성시험 등으로 유지시간이 길어질 수 있다. 저출력 조건에서 급수계통 배관계는 펌프계통 중 1~2계통을 정지하는 시스템에서는 수배관 내부 유체 흐름이 완만해지고 정체하는 경향을 나타내고 펌프를 정지하지 않는 경우는 유량을 재순환을 시켜 유동이 불안정해지는 특성이 나타난다. 전자 또는 후자는 저출력 운전조건에서 급수 배관계 또는 펌프에서 과도한 유체유발 맥동이 발생할 수 있어 지지장치, 밸브 등의 배관계 요소 또는 임펠러 및 축 등의 펌프 요소에서 종종 피로누적 또는 파손이 진전되는 중대사고가 발생하게 된다.

본 논문은 저출력 조건에서 일부 펌프를 정지하고 일정 출력 이상에서는 모든 펌프 계통을 운전하되 유량을 조절하는 방식의 발전소 급수 승압펌프 전단배관계에서 나타난 고 진동 및 손상 사례에 관

한 것이다. 대상 펌프 배관계통들은 동일한 대형 배관 또는 헤더에서 분기되는 구조를 나타내었으며 50%부하이하의 저출력조건에서 과도한 고진동이 발생하였다.

2. 급수 승압펌프 전단배관계의 진동현황

2.1 배관계의 구조

1000MW급 주 급수 승압펌프 전단 배관계는 탈기 탱크 (Deaerator storage tank)에서 수평 헤더부 (34"Piping Header)를 수직 배관계 (34"Vertical Pipe)를 통하여 연결하고 3개 급수 승압펌프 계통으로의 분기 배관계 (24"piping)로 구성한다. 대상 수배관은 24"인경우는 SCH STD이고 재질은 ASTM A106 GR B이며 34" 배관은 SCH XS, ASTM A692 GR B60이며 보온재는 "C"형 1.5"두께를 적용하고 배관계 급수의 작동압은 최대 70psi이고 사용온도는 280°F 이다. 대상 급수 승압펌프 전단배관계는 무거운 차단밸브와 스트레이너가 배치되어 있다. 차단밸브는 스템 디스크 중앙에서 요크를 포함한 총길이가 3.57m로써 분기배관에 긴 외필보 형태로 설치된다. 승압펌프 전단배관에서 고진동이 발생하였으며 취약한 Fig.1의 차단밸브가 손상되었다.



Fig.1 Yoke part of isolation valve damaged

† 교신저자; 한국전력공사 전력연구원

E-mail : ywkim@kepri.re.kr

Tel : 042-865-7556, Fax : 042-865-5627

* 한국전력공사 전력연구원

** 한국전력공사 전력연구원

2.2 배관계의 진동

대상 배관계의 진동허용치는 ASME OM Part-3에 의하여 집중질량을 무시할 경우에도 35mm/s, peak를 초과하지 않아야하나 승압펌프 전단 배관계는 저 출력의 1대 운전조건에서 Table 1과 같은 고진동이 밸브에서 발생하였으며 전체 배관도 허용치를 초과하였다. 보통 20~25mm/s,rms의 진동속도를 초과할 경우 밸브 등 배관요소는 손상으로 진전될 수 있다. 밸브는 고진동은 10.1Hz 및 13.6Hz에서 나타났고 배관은 수평방향에서 14.0Hz의 주피크 성분으로써 밸브의 피크성분과 접근된 상태를 보였다.

Table 1 Vibration of inlet pipe system in feedwater booster pump at low output condition

item	unit	vibration		
		axial	vertical	horizontal
valve	mm/s, rms	110.0	4.0	269.0
	mm/s, peak	502.0	34.0	710.0
	Freq, Hz	10.1	13.6	13.6
pipe	mm/s, rms	9.7	5.5	10.7
	mm/s, peak	39.7	23.9	53.1
	Freq, Hz	14.0	29.9	14.0

3. 과도진동의 특성 규명 및 대책

3.1 배관계의 고유진동특성 규명 시험

(1) 손상된 밸브의 고유진동수 시험

Table 2는 고진동으로 손상된 밸브시스템에 대한를 고유진동 시험결과로서 배관계의 유동방향(axial)에서 9.88Hz이고 유동직각방향(horizontal)에서 14.3 Hz로서 고진동은 공진의 결과로 진단된다.

Table 2 Natural response of isolation valve damaged

direction	unit	valve natural frequencies		
		1st	2nd	3rd
axial	damping, %	5.9	1.4	1.3
	Freq, Hz	10.3	56.8	79.5
horizontal	damping, %	6.9	1.0	1.6
	Freq, Hz	14.3	78.4	91.5

(2) 배관계의 고유진동수 시험

고진동이 발생하는 분기 배관계의 고유진동수 시험결과로서 배관계의 유동방향(axial)에서 9.88Hz와 10.4Hz가 분석되어 배관계의 고유진동수가 밸브의 고유진동수에 접근한 상태로 분석된다.

3.2 배관계의 음향 진동원 분석

급수승압펌프 전단배관계는 탈기 탱크와 11.1m

길이의 34" 수평 헤더사이클 34"의 22.4m길이의 수직배관계는 열림-열림 구조를 나타내며 34" 수평 헤더로부터 분기되어 승압펌프에 연결하는 3개의 분기배관계는 각각 열림-닫힘조건을 나타내는 구조로써 유체매질에서 압력파의 전달속도를 고려하고 3개의 분기배관의 길이 21.6m, 20.3m 그리고 31.6m를 각각 고려하면, Table 3과 같이 1/4과장에 의한 3번 모드의 음향 맥동이 저출력조건에서 Fig.2와 같이 13.0Hz~16.5Hz드의 압력맥동의 증폭과 일치한다.

Table 3 Acoustic natural mode's frequencies

mode	pipng I	pipng II	pipng III
1	4.5	4.9	5.5
3	13.5	15.0	16.5
5	23.3	24.8	27.3
7	32.9	35.4	36.8

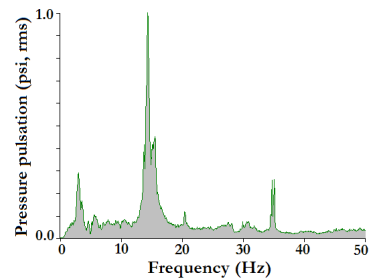


Fig2. spectrum of pressure pulsation

3.3 고진동 저감 대책

Table 4는 수정한 차단밸브의 고유진동수시험결과로서는 스템 디스크 중앙에서 요크를 포함한 총길이가 2.77m로 짧게 조정하여 배관의 고유진동수와 음향맥동의 가진특성으로부터 이격되도록 하였다.

Table 4 Natural response of isolation valve modified

direction	unit	valve natural frequencies		
		1st	2nd	3rd
axial	damping %	2.0	1.2	1.8
	Freq, Hz	19.4	23.9	50.4
horizontal	damping %	5.7	1.9	1.8
	Freq, Hz	25.3	27.4	43.5

4. 결 론

본 사례는 대형 헤더형 수 배관의 분기 배관계를 설계시 저부하조건에서 예상되는 음향 맥동모드가 배관레이아웃 및 밸브요소 등의 선택과 결정에서 중요한 요소로써 공진이 회피되는 설계가 필요하다.