

표준형 원전 2차계통 수격현상 분석 및 방지방안 연구

조동기¹, 이경진^{2*}

¹한수원(주)한빛본부, 전라남도 영광군 홍농읍 홍농로 846

²조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309번지

dongpal71@gmail.com

1. 서론

원자력 발전소에서 수격작용 현상은 주로 2차계통에서 다양한 원인으로 발생하고 있으며, 원자로 안전을 직접적으로 위협하지는 않지만 장기적으로 배관, 지지대 및 용접이음부 등 설비 손상을 유발하여 발전소 운전에 지장을 초래 할 수 있다. 열수력학적 불안정성의 하나인 수격작용은 언제라도 발생할 수 있고, 원자력 발전소의 안전성과 설비의 신뢰성을 저해하는 요인이 될 수 있으므로 세심한 주의를 필요로 한다. 본 연구는 표준형 원전 2차계통에서 발전소 기동, 정지 및 정상운전 중 빈번히 발생하는 수격현상 사례를 수집하고 발생원인 및 방지 대책을 수립하여 원전의 안전성과 설비의 신뢰성을 확보 하고자 한다.

2. 본론

2.1 표준형 원전 수격현상 사례 분석

표준형 원전 2차측에서 발생한 수격현상은 대부분 발전소 기동/정지 운전 중에 발생 되었고, 고압급수가열기 연결 배관, 증기발생기 취출(SGBD) 계통 연결배관, 탈기기 연결배관 등 고온 고압의 증기와 응축에 의한 2상 유체 유동 환경에서 발생 되었다. 발전소에서 경험한 수격작용 사례를 발생 개소별로 발생 당시의 운전조건 및 설비 설계자료 등을 토대로 원인분석 및 방지방안을 수립하여 적용하였다.

2.2 SGBD 재생열교환기 후단과 탈기기 입구배관

2.2.1 원인분석

터빈이 정지되면 급수가열기의 추기증기가 모두 자동 격리되어 탈기기로 유입되는 복수 온도는 빠르게 감소하나, 증기발생기 수질유지를 위해 최대유량으로 운전되고 있는 SGBD 재생열교환기 냉각용 복수인 고온수(약 130°C)가 탈기기로 유입되는 저온(약 40°C)의 복수와 접촉하는 과정에서 수격현상이

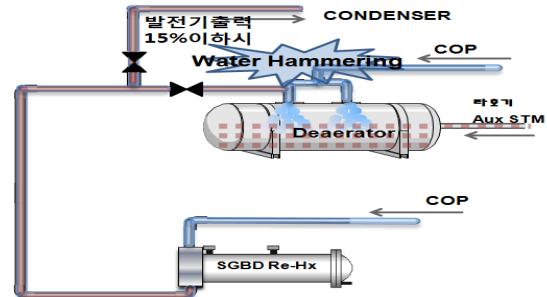


Fig. 1. Piping Schematic diagram of SGBD REG Hx.

발생 되었다.

2.2.2 방지방안

두 유로의 복수온도 편차가 있을 경우 SGBD 재생열교환기를 통과한 복수유로를 복수기로 전환하여 운전하고, 저압급수가열기를 거친 복수온도가 추기증기에 의해 가열되어 두 유로의 온도편차가 적어지는 시점(터빈출력 약 15% 이상)에서 정상유로인 탈기기로 전환하도록 운전 절차를 변경 적용한 결과 수격현상을 현저하게 저감 할 수 있었다.

2.3 고압급수가열기 5A/B에서 탈기기 배수 배관

2.3.1 원인분석

발전소 정지 및 재기동 중 저출력에서 터빈 추기증기가 고압급수가열기 5A, 5B로 유입된 후 응축되어 탈기기로 배수 되어야 하나, 고압급수가열기 5A, 5B에서 탈기기까지의 배관은 Loop Seal 배관을 포함한 90 ft 높이의 수직/수평 배관으로 구성되어 있어 기동 전후 이미 응축 정체되어 있던 저온의 유체가 존재한다. 터빈 기동/정지시 고압급수가열기 5A, 5B 쉘측 압력이 4.5 kg/cm²(터빈출력 50%) 이상으로 형성될 때 급수가열기 압력에 의해 응축수가 정상유로인 탈기기로 배수되며, 이때 정상배수관의 Loop Seal 배관 응축수와 급수가열기에서 가열된 고온의 계통수가 접촉하여 수격현상이 발생 되었다.

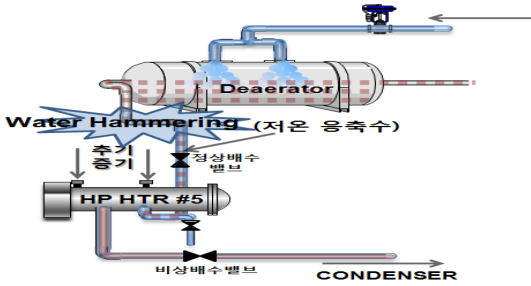


Fig. 2. Piping Schematic diagram of HP HTR
5A/B→Deaerator.

2.3.2 방지방안

급수가열기 압력이 4.5 kg/cm²(터빈출력 50% 이하) 이하에서는 정상유로를 수동 차단상태로 유지한 상태에서 비상배수관으로 유로 형성 및 저온의 응축수를 주기적으로 배수하고, 급수가열기 압력이 4.5 kg/cm²(터빈출력 50% 이상) 이상 증가하여 유체의 구동력이 형성되는 시점에서 탈기기로 정상 유로를 형성하도록 절차서 변경을 통한 운전방법 개선 조치를 수행한 결과 수격현상을 방지 할 수 있었다.

2.4 SGBD CBD TK 및 입구 배관

2.4.1 원인분석

증기발생기 취출계통(SGBD) 초기 Inservice 과정에서 고온의 증기발생기 취출유량이 CBD 탱크내의 저온의 응축수로 유입되어 응축과 Flashing 현상으로 수격현상이 발생 되었다.

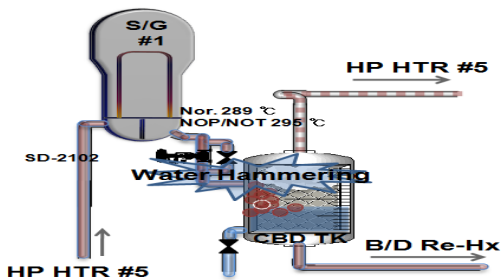


Fig. 3. Piping Schematic diagram of SGBD CBD TK.

2.4.2 방지방안

탱크내 저온의 응축수 배수 및 고온의 취출수를 최소유량으로 주입하면서 운전온도(100°C 이상)까지 충분한 예열운전을 수행함으로써 Flashing 현상에 의한 수격작용을 방지 할 수 있었다.

2.5 주급수 격리밸브(V105/V106) 후단 배관

2.5.1 원인분석

주급수 계통 정화운전을 위해 계통 충수 시 이코노마이저/다운콤머 배관이 미충수된 상태에서 증기

발생기 이코노마이저 배관의 급수공급을 위해 전단 격리밸브(V105/V106) 개방 시 고온, 고압의 급수가 급수 제어밸브에 충격을 가하여 압력파가 발생되었다.

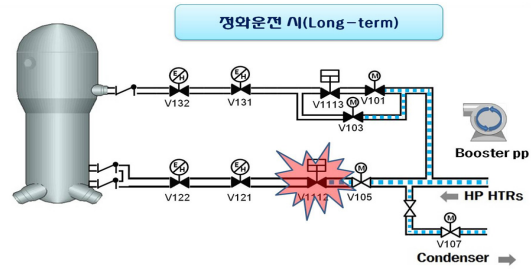


Fig. 4. Piping Schematic diagram of Feedwater Isolation V/V.

2.5.2 방지방안

급수계통 충수 시 이코노마이저/다운콤마 배관을 MFIV 후단 배기밸브 이용하여 충수상태로 유지하고, 급수온도가 상승하기전(기동용 급수펌프 기동 전) 격리밸브(V105/V106)를 개방상태로 유지함으로써 수격 현상을 방지 하였다.

3. 결론

원자력 발전소에서 발생하는 수격작용은 거의 모든계통에서 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 수격작용을 방지하기 위해 발전소 설계단계에서 부터 이것을 충분히 고려하여 반영하였다 하더라도 고온 고압의 유체가 가지는 불안정성으로 인하여 조금만 부주의하면 어떠한 형식의 수격작용 이라도 발생할 가능성이 상존한다. 본 연구에서는 표준형 원전 2차계통에서 설비 특성상 가장 빈번하게 공통적으로 발생하고 있는 수격작용 각각의 메커니즘에 대해 물리적인 현상과 발생과정, 근본원인을 확인하였고, 수격작용 방지를 위해 발전소 계통과 연계하여 운전방법상 개선 필요사항을 도출하여 적용함으로써 수격현상을 방지 할 수 있었다. 본 연구내용을 통해 향후 비슷한 운전환경의 산업시설에서 수격현상을 예방하는데 유용하게 활용될 것으로 확신한다.

4. 참고문헌

- [1] EPRI TR-106438[Water Hammer Handbook for Nuclear Plant Engineers and Operators].
- [2] EPRI NP-6766[Water Hammer Prevention].
- [3] 권갑주, 수격작용의 Mechanism에 대한 고찰.
- [4] 한국수력원자력(주), 운전경험보고서(KONIS-원자력 기술정보 활용).