



수소가스 폭발 사고

< 재 해 개 요 >

2006년 9월 30일 22시 00분경 충남 소재 OO발전소 터빈-발전기 건물에서 현장 운전원(제어실 운전원)이 계획예방정비(OH) 종료시점인 발전기 시운전 준비단계 에서 공기누설시험 후에 CO₂가스를 치환하고 H₂가스를 투입하는 중에 발전기 하단에서 오일이 새는 것을 발견하고 발전기 Collector의 오일 누설 부위를 확인하기 위해 발전기 여자기실의 Enclosure 출입문을 열고 전기스위치를 켜는 순간 H₂ 가스가 폭발하여 1명이 사망한 재해임.

1. 사고 공정 및 재해발생과정

※ 운전상황 : 계획예방정비중의 발전기 누설시험 및 수소충전

발전기 본해조립 완료 ⇒ 공기압시험
⇒ CO₂ 가스치환 ⇒ H₂ 가스 치환 및 가압

■ 공기압시험(Air leak test)

- 발전기의 조립이 완료된 상태에서 발전기 내부를 4.2 kgf/cm² 까지 공기로 가압 충전 후 24시간을 대기 하면서 발전기 내부의 압력변화를 운전제어실의 Trend로 확인하여 누설 여부 등 이상유무 확인.
- 2006.9.29 11:00에 최초 4.18 kgf/cm²로 가압하여 2006.9.30 09:00 확인시 4.16 kgf/cm² 로서 발전소 측

정비지침에서 규정한 범위 내에서 이상이 없음을 확인 함.

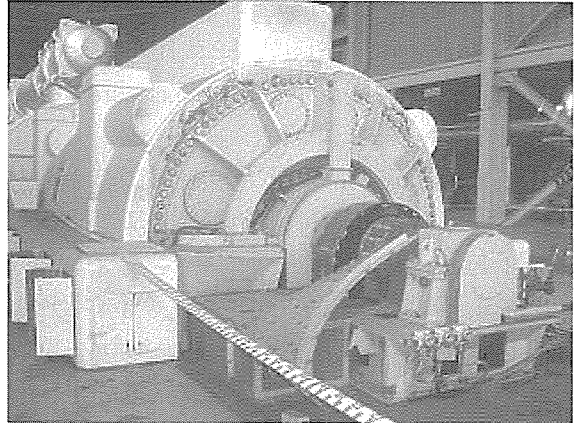
■ CO₂가스 치환

- 발전기 내부의 H₂가스 충전 전 Air를 CO₂가스로 치환하여 H₂가스 충전이 용이하도록 하는 공정으로, CO₂가스 용기를 Manifold에 연결하여 2~3 kgf/cm² 압력으로 충전하여 발전기 내부 CO₂가스 농도가 70 % 이상이고 내부 압력이 0.2~0.3 kgf/cm² 에 도달 시 충전을 중지함.
- 2006.9.30 16:00~18:00, CO₂가스 24병을 충전하여 압력 0.3 kgf/cm², 가스 농도가 96 % 도달 시 충전을 중지하였음.

■ H₂가스 치환 및 가압

- 발전기 내부압력이 약 0.3 kgf/cm^2 도달 시 까지 Float trap by-pass valve를 개방한 상태에서 H_2 가스를 충전하다가 그 이후는 by-pass valve를 닫고 연속적으로 H_2 가스를 충전하여 최고 4.2 kgf/cm^2 까지 충전 함.

- 2006.9.30 21:46~22:00 경, H_2 가스 48병을 충전하여 압력 0.9 kgf/cm^2 , H_2 가스 농도 92.6 %에 도달한 상태에서 터빈룸 1층에서 Oil이 떨어지는 것을 발견하고 피재자가 발전기 Collector end 측 Oil deflector에서 Seal oil이 누출되는 것을 확인하기 위해 Collector end Enclosure 출입문을 개방하는 순간 폭발이 발생한 것으로 추정됨.



[그림 1] Collector end cover에 설치된 Vent 설비

2. 사고원인

■ 직접적인 원인

· 설비상의 결함

- 여자기에 Enclosure가 설치되어 있어 수소냉각 발전기의 냉각시스템에서 아주 적은 양의 수소라도 누출되면 대기로 확산되지 않고 Enclosure 내부에 체류될 가능성이 있었고,

- 만약의 경우, 누출된 H_2 가스를 대기로 방출시키기 위한 배기설비(배기관, 환기 팬 등)에 대한 설계 시 고려가 미흡했고,

- 또한, 비교적 적은 양의 H_2 가스가 누출될 경우에는 기존의 H_2 가스의 압력 또는 유량 계측장치로는 이를 검출할 수 없으므로, 누출된 H_2 가스를 검출하여 경보할 수 있는 H_2 가스 누출감지기가 설치되어야 하나 미설치 됨.

※ 수소가스의 누출을 대비하여 Collector end 측에 Vent 배관이 설치되었으나 Collector end cover에서 대기로 통하는 Vent 배관 상부에 덮개가 설치되어 있어 배기가 원활하게 이루어질 수 없었으며, 또한 Enclosure 상부의 배기관의 크기도 너무 작아 충분한 배기가 이루어지지 않았음.

· 운전·정비상의 결함

- 발전기 Air측 Collector end의 Seal oil 계통인 Seal segment와 Housing의 접촉면 불일치로 복원기능이 저하될 시

- Seal oil segment의 내, 외부 온도차에 의한 미세한 곡률반경 변형과 장기사용에 의한 Spring Tension이 이완되는 등으로 Seal 기능이 저하될 시

- Seal Housing의 Insulation bolt 강도 저하 및 표면 정밀도가 불량할 경우에는 H_2 가스가 누출될 수 있음.

■ 간접적인 원인

· 설비 시운전시 H_2 가스 누출에 대한 대책 미비

H_2 가스가 시운전 시 Air 측으로 누출될 수 있으나 시운전 매뉴얼에 H_2 가스의 누출 확인 및 H_2 가스 누출 가능 장소에 대한 퍼지 대책이 미반영 되어 있음.

3. 사고예방대책

■ 설비적 측면



산/업/재/해/사/례

· Collector end cover측에 설치된 Vent 배관은 Enclosure 외부의 안전한 곳으로 H₂가스를 배출할 수 있도록 연결하여 설치함으로써 Enclosure 내부로 H₂가스가 누출되지 않도록 함.

· Enclosure 내부의 환기설비는 H₂가스 누출 시 충분히 환기될 수 있도록 강제배출 설비로 설치 검토

· Enclosure 내부에 H₂가스 누출감지 경보기를 설치하고, 경보기는 운전원이 상주하는 중앙제어실에서 관리토록 연결

· Enclosure 내부의 등기구 및 스위치 등의 전기기기는 수소가스 분위기에 적합한 방폭형 등급으로 설치 검토

· Enclosure 내부로 출입할 수 있는 출입문의 Door Lock 장치의 재질은 개폐시 마찰 불꽃이 발생하지 않는 언스파킹 재질(동합금)로 변경 검토

■ 관리적 측면

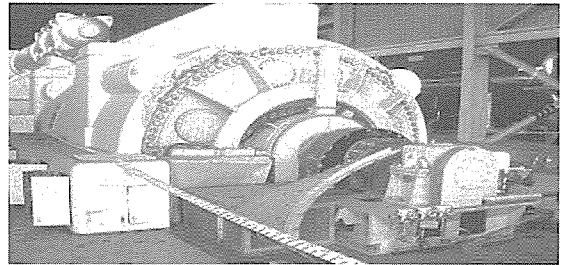
· 계획예방정비(OH)후 발전기의 Collector end 부분을 완전 재조립한 후 Air leaktest를 수행하기 전, 발전기 정지 또는 저속 Turning 상태에서 반드시 Freon 가스 등을 이용한 Leak test를 수행하여 Oil deflector와 Rotor shaft의 간극을 통하여 H₂가스의 누출 여부를 확인하도록 정비. 보수 또는 운전지침서를 변경하여야 함.

· Seal ring과 Rotor shaft의 Journal 부분의 간극(Clearance)간의 Gap을 보다 최소화 하도록 정비· 보수 지침서등을 수정하여 규정하고 관리하여야 함.

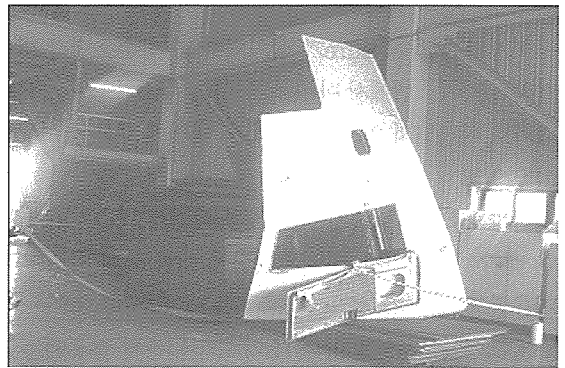
· Seal oil 및 수소의 압력을 조절하는 Differential

pressure switch 또는 Regulatingvalve의 고장 등으로 수소 압력이 Seal oil 압력 보다 높게 형성되는 경우에는 수소가 누출 될 수 있으므로 관련 계기를 주기적으로 Calibration하고 점검을 실시 하도록 하여야 함. ◀

■ 관련 사진



[그림 2] Enclosure가 폭발로 인해 날아간 Collector end 부분



[그림 3] 폭발로 인해 날아가 1층 바닥에 떨어진 Enclosure

[한국산업안전공단]

월간 ‘환경기술인’ 홈페이지
www.keef.or.kr