

원자력 발전소의 디젤 발전기 화재

1. 개요

Ontario Hydro Nuclear 발전소는 General Services에서 운영하고 있으며, 1998년 6월 22일 역청(Bitumen) 절연재의 과열로 인하여 Bruce Bulk Steam System에서 제조한 예비발전기 #1의 내부에서 화재가 발생하였다. 냉각용 공기를 재순환시키는 역할을 하는 발전기 냉각용 공기덕트 내부의 점검구는 열려 있었고 과열되어 있었다. 화재원인은 점검구 잠금 장치의 설계결함, 절연재의 열화, 훈련부족과 담당자의 잦은 교체이다. 화재는 진화되었고 사상자는 없었지만, 발전기는 많은 손상을 입어 교체해야만 하였다. 교체 비용은 약 100만\$ 정도 필요하며, 이번 화재로 인한 권장사항은 사고의 재발을 방지하기 위한 것이다.

2. 사고내용

1998년 6월 22일 예비발전기 #1은 계통 침투 부하운전을 위해 기동되었다. 발전기를 기동하고 11MW로 운전 중인 약 5분 후 발전기 진동이 높다는 긴급경보가 수신되었고 운전자는 운전을 중지하였다. 몇 시간 후 예비발전기 #1은 기계정비 진동 분석을 위해 재기동 시켰다. 기동시 발전기 진동이 높다는 경보는 표시되지 않았으나 11MW로 운전 중인 약 30분 후 경보가 다시 수신되었다. 정비원

은 기어박스의 높은 진동과 발전기 냉각계통의 고장, 2가지 긴급 경보를 추가로 밝혀내고 터빈 홀에 연기가 있는 것을 알았다. 발전기를 기동하고 약 135분 후 주 제어실에서 연기감지기에 의한 경보가 울렸다. 핵연료를 원자로에서 제거하는 동안 원자로는 10MW에서 트립되었다. 화재는 덕트 연결부가 통과하는 발전기 여자기의 말단에서 발생하였다. 화재는 이산화탄소 소화설비를 수동으로 기동하였지만 화재를 진압하지 못하고 발전소방대(ERT: Emergency Response Team)가 진압하였다.

3. 손해상황

사상자는 없었으며, 예비발전기는 약 100만\$ 정도 손해를 입었다.

4. 사고분석/해설

발전기 냉각계통

발전기 냉각계통은 동절기 중에 예열시키기 위해 공기 재순환 계통과 연결되어 있다. 공기를 재순환 하기 위해서 발전기 위쪽에 위치한 공기조절 챔버의 3지점에는 댐퍼가 설치되어 있다. 공기유출구 댐퍼는 냉각용 공기가 25℃ 아래로 떨어졌을

때 공기의 유출을 막는다. 이 댐퍼는 발전기의 양 끝(기어박스과 여자기)에 위치한 2개의 다른 댐퍼와 기계적으로 연결되어 있다. 이 2개의 댐퍼는 공기유출구 댐퍼가 따뜻한 유출구 측 공기가 유입구 측 챔버로 다시 재순환 하도록 닫힐 때 열린다. 이 공기는 회전자 송풍기를 통하여 유입구측 덕트로 순환되고, 말단권선과 고정자 회전자 전극의 공간으로 들어간다. 고정자 위쪽에 위치한 공기유출구 챔버(댐퍼봉과 댐퍼 제어장치가 있는 장소)는 여자기 공기유입구 챔버의 점검구를 통하여 접근한다. 이 점검구는 쉽게 접근할 수 없고 육안으로 확인할 수도 없다. 사고조사 중에 이 점검구는 열려 있었으며, 구내 소방대원이나 정비원 중 어느 누구도 이 점검구를 열지 않은 것으로 나중에 밝혀졌다. 이 점검구는 180도 회전수잡이에 의해 닫힌 상태를 유지한다. 손잡이가 수평으로 위치하고 있으면 이 점검구는 닫힌 상태이다.

이 사고는 예비발전기 #2의 발전기 공기냉각계 통과도 관련이 있다. 여자기 말단권선 덕트는 너무 뜨거워서 만질 수가 없었다. 11kW로 운전 중에 시험한 결과 여자기 말단 권선 덕트의 온도는 71°C, 인접 고정자 케이스의 온도는 92°C이었다. 동일한 위치에서 기어박스 말단의 온도는 각각 37°C, 66°C이었다. 발전기 냉각계통의 고장경보는 75°C로 설정되어 있어서 동작하지 않았다. 여자기 말단 유입구 챔버와 고정자 유출구 챔버 사이에 위치한 내부 점검구는 열린 것으로 나중에 확인되었다. 예비발전기 #3을 점검한 결과 잠금 장치가 닫혀 있었다.

5. 사고원인

(1) 발전기 공기냉각용 덕트 내부에 위치한 점검구가 운전 중에 열려서 냉각용 공기가 재순환

되는 잠금장치의 설계결함이다. 가열된 재순환 냉각용 공기는 역청 절연재를 녹이면서 결과적으로 화재가 발생하였다.

(2) 발전기 말단 권선에 있는 역청 단열재는 말라서 부스러지고 파손되기 쉽다. 이러한 사고는 1991년에도 확인되었으나 어떠한 조치도 하지 않았다.

(3) 관리, 운전과 엔지니어링 조치는 화재에 의한 손상 범위에 영향을 미쳤다. 담당자의 훈련부족과 잦은 교체는 경험과 이에 대한 지식의 결여로 나타났다.

- 예비발전기 #1 진동경보는 이전 설정치를 완전히 이해하지 않고 1996년에 설정치를 낮추었다. 이러한 변경사항은 서류에 기록되지도 않았다.
- 그 동안 예비발전기 #1 운전 중에 확인된 정보를 점검하고 교정하는 조치가 완전하지 않았다.
- 관리담당자는 비정상 상태(예, 경보와 연기)에 대한 중요성을 인식치 못했다.
- 진동경보가 주 제어실에서 수신되어도 예비발전기 #1의 운전상태는 감시하지 않았고 기타 긴급경보를 무시하였다.
- 운전 중 점검구가 열릴 가능성에 대하여 Bruce 1-4 발전소에서 이전에 확인되었지만 이에 대한 의견교환이 없었다.

화재방호 및 긴급출동

발전소방대는 출동 상태가 양호하였고, 사상자는 없었으며 화재는 발전기room만 제한되고 건물은 손상되지 않았다.

예비 발전기실은 이산화탄소소화설비가 설치되었으나, 화재는 발전기실로 제한되고 건물 외부

에서 덕트를 통하여 냉각용 공기가 안으로 들어오기 때문에 이산화탄소 소화설비는 동작하였지만 화재 진압에는 비효율적이었다. 이산화탄소가 발전기 내부로 직접 방출되었을 지라도 이산화탄소는 기류에 의해 날아가 버려서 화재 진압에는 효과적이지 않았을 것이다. 발전기의 화재방호를 위한 대체 방호수단을 연구하여야 한다.

발전소방대는 시기 적절하게 출동하여 통보를 받은 다음 5분 후에 현장에 도착하였으나, 건물과 장치의 전기적인 격리상태를 확인할 필요성이 있기 때문에 현장 도착 후 28분 동안 물을 방수할 수 없었다. 이러한 방수지연으로 발전기의 손상을 감소시킬 수 없었을 것이다.

발전소방대는 예비발전기 건물 또는 장치에 익숙하지 않고, 화재진압은 포와 물을 연소 중인 절연체에 직접 방출하지 않고 환기덕트와 발전기 내부로 방출할 때까지 효과가 없었다. 그러나, 실제로 화재는 연료를 전부 소모한 후 소화되었다. 발전기 덕트의 점검구를 여는 도구가 필요하지만, 수동 고정장치는 결합이 있는 절연재로 교체할 경우 이와 유사한 화재의 발생 가능성과 헐거워질 가능성 때문에 권장하지 않는다. 소방계획은 예비 발전기에 대하여 작성되었고 이러한 화재로 얻은 경험도 포함되었다.

발전소방대는 B5-8에 지원을 요청하였으나 B5-8 근무책임자는 작업 중인 발전소방대원의 근무이탈에 대한 영향에 대해 우려하였다. 다른 발전소에서 발전소방대의 지원요청에 대한 우선 순위도 고려하여야 한다.

6. 개선조치/권장사항

다음 개선조치를 수행하였다.

- 우연한 개방을 방지하기 위한 점검구잠금

장치의 개조

- 이와 유사한 설비가 있을 수 있는 다른 발전소에 통보
- 침두 부하를 담당하기 위한 예비발전기의 운전 중지

다음과 같은 추가 조치를 권장하였다.

- 점검구의 단합 상태를 확인하기 위한 관리절차서의 개정
- 예비발전기 #2와 예비발전기 #3의 상태 감시에 대한 필요성 평가
- 관리직원의 경험과 지식을 향상시키기 위하여 엔지니어링 요원과 Bruce 발전소 예비발전기 관리 전담직원의 구성 검토
- 예비발전기 정보와 그 대응에 관한 운전원의 재훈련
- 정보 대응에 대한 운전절차서 개정
- 모든 댐퍼의 유지관리에 대한 관리절차서 작성
- 장치 표지의 교체
- 예비발전기 #1 보호계전기의 정확한 교정 확인
- 발전기의 대체 화재방호수단 조사
- 화재경험이 포함된 예비발전기에 대한 소방계획 작성
- 다른 발전소에서 발전소방대의 지원 요청시 우선 순위 결정
- 중성선 지락전류, 침두 부하운전 중 개방되는 저항접지 중성선에 단로기의 설치 필요성 검토

- 정리: WSFHA팀 과장 이상현