

# Kozloduy原電 VVER-440 安全性改善

불가리아 4기의 V-230형 PWR는 현대적인 안전기준에 못미치고 있는데 IAEA 조사단의 보고서가 나온 후에 전체적인 개선방안이 확정될 것으로 보인다. 과거의 개선방안은 耐震과 압력용기의 수명연장에 치중했었다.

B.Georgiev, G. Todorov, T. Ganchev  
〈불가리아 原子力平和利用委員會 委員〉

불가리아의 4기의 VVER-440 PWR는 모두 V-230형이다. 이 4기는 소련밖의 지역에서 건설된 초기의 소련형 원자로로 1974년, 1975년, 1980년, 1982년에 각각 가동되기 시작했으며 건설후 지금까지 안전기준상의 많은 변화가 있었다.

불가리아 당국은 Kozloduy 발전소의 신뢰성과 안전성을 개선하기 위해 대규모의 작업을 할 계획이지만 작업의 우선순위에 대한 결정은 IAEA 조사단의 보고서가 나올 때까지 보류하기로 했다. 과거의 개선작업은 耐震강도의 개선과 압력용기의 脆性化 방지에 중점을 두었다.

## 耐震강도 개선

1960년대말 Kozloduy-1, 2호기의 설계가 이루어지고 있을 당시에는 원자력발전소 부지는 다른 산업시설의 부지와 같은 수준의 내진강도로 분류되었다. 이 기준에 따르면 MSK (Medvedev Schponchoyer-Karnic)진도계

로 진도 6까지의 입지는 허용할 수 있는 것으로 되어있었다. 그러나 루마니아의 Vrancha를 진원지로 한 1977년의 지진으로 이 허용기준은 변경되었다.

동년 3월4일 밤 9시22분에 일어났던 Vrancha 지진은 Kozloduy 발전소에 MSK 진도 5~6의 지진을 가져왔다. 파괴된 건물이나 설비는 없었으나 지진이 계속되는 동안 1호기의 전기출력을 25%로 내리고 2호기는 수동으로 정지시켰다.

지진이 지나간 후에 1, 2호기(당시 불가리아에서 가동되고 있던 것은 이 2기뿐이었다)의 상태와 耐震강도에 대한 면밀한 조사가 실시되었다. 동 조사단은 이 지진을 MSK 진도 7의 최대지진으로 발생빈도 1/10,000년의 것으로 규정지었다. 그러나 설계기준지진은 MSK 진도 6에 발생빈도 1/100년으로 되어있었다.

조사가 끝난 후에 Kozloduy-1, 2호기의 내진강도를 불가리아에서 새로 규정한 규정에 따라 높이기 위해 한 특별프로젝트가 모스크바의 소련전력연구소와 불가리아 소피아의 연구소

(Energoproject)에 의해 공동으로 설정되었다. 이 프로젝트의 개선방안연구기준은 지진이 일어나고 있는 상황하에서는 전력생산원으로 발전소의 운전을 유지할 필요는 없지만 원자력 사고를 예방하고 방사선피폭을 방지하는 일은 극히 중요하다는 것이었다.

이 프로젝트에서는 耐震요건에 따라 건물, 설비 및 시스템을 3가지 부류로 분류했다.

첫번째 부류는 지진으로 인해 파손이 일어나는 경우 “방사선방어기준”의 허용한도를 넘어 주민들에게 피폭의 위험을 가져올 가능성이 있는 모든 건물, 구조물 및 설비를 말하며 여기에는 원자력안전과 방사선방어를 위한 시스템도 포함되었다.

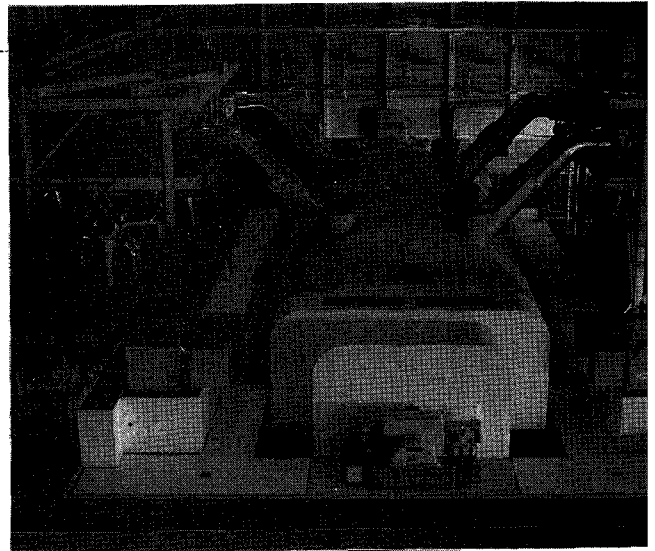
두번째 부류는 그것들이 피해를 입었을 경우 발전소가 100시간 이상 운전불가능상태가 될 가능성이 있는 건물, 구조물 및 설비를 말한다.

세번째 부류는 앞서 말한 2가지 부류 이외의 모든 건물, 구조물 및 설비를 말한다.

내진강도보강 프로젝트는 건물, 설비 및 첫번째 부류에 속하는 시스템의 보강공사를 계획·시공하기 위한 것이다. 앞으로 이 프로젝트는 주순환펌프, 1차계통 가압기 안전밸브, accumulator battery, 증기발생기 cell의 blast 밸브 등의 교체공사로 다루게 된다. 또 이 프로젝트는 건물보강과 프로세스, 전기/계측설비, 환기설비 등의 내부구조물의 보강공사도 실시하게 된다. 1차계통의 모든 설비와 이와 관련된 안전시스템은 hydro shock absorbor로 보강되었다.

지진이 발생할 경우 원자로를 자동정지할 수 있도록 긴급시 방어시스템도 설치되었다. 미국의 Kinometrics사에서 공급한 4셋트의 긴급시 방어시스템은 0.035g의 가속도에서 원자로를 정지시키고 터빈정지밸브를 닫고 기계실과 원자로구역내의 크레인을 정지시키고 연료장전기를 정지시키며 원자로노심으로부터 잔류열을 제거하기 시작한다.

이러한 내진설비의 대부분은 1, 2호기의 경우는 정기보수기간중에 설치되었고 3, 4호기의 경우는 건설당시에 이미 설치되었다. 그러나



주순환펌프(GTzN-317)의 교체는 연기되었는데 그 이유는 신뢰할만한 붕괴열제거가 보조발전기로 가동되는 기존의 주순환펌프로도 가능한 것으로 계산결과 나타났기 때문이다.

불가리아정부 초청으로 IAEA의 현장답사 안전평가팀이 Kozloduy발전소(동발전소의 최신형 유니트인 2기의 VVER-1000 포함)와 Belene 발전소(불가리아의 제2의 원자력발전소로 2기의 VVER-1000을 현재 건설중)를 방문했다. 이 안전평가팀은 0.1g의 보강설계기준 가속도는 고수할만한 것이 못된다고 결론을 내렸기 때문에 불가리아는 안전과 관련된 시설(구조물, 시스템, 설비 등)의 내진여유도에 관한 체계적이고 철저한 평가를 실시하기를 원하고 있다.

## 압력용기 수명

원자로 압력용기의 설계수명은 몇가지 요인에 의해 결정되는데 V-230의 경우는 압력용기 용접부분의 방사선으로 인한 취성화가 수명을 제한하는 용인이 되고 있다. 용접부분의銅과 燐의 함유량이 높아지면 취성화가 촉진돼 압력용기를 가압상태하에서의 열충격이나 우발적인 압력상승시에 취약하게 만든다.

Kozloduy-1, 2, 3호기에 대해서는 소련의 원자로설계 전문기관에서 개발한 보완대책이 강구되고 있다(1982년에 운전을 시작한 4호기는 이러한 대책이 필요없는 것으로 생각되고

있다). 이미 완료된 보완대책은 다음과 같다.

- 압력용기벽이 받는 중성자속을 줄이기 위해 연료의 바깥 열을 36개의 dunmy집합체로 대체했다.

- 증기관 파열시 이와 관련된 증기발생기를 자동격리하기 위한 장치가 추가되었다.

- 비상용 노심냉각장치가 작동한 후 주입되는 저온 냉각수로 인한 온도충격을 줄이기 위해 비상용 봉산수를 55~60℃로 가열하도록 했다.

- 원자로 냉각·가열시 압력·온도를 변화시키는데 사용되는 diagram을 수정하고 수압시험시의 허용온도도 수정했다(이 수치들은 원자로의 과거의 운전기록을 참고해 정해진다).

脆性化문제를 해결하기 위해 다음의 2가지 조치를 계획중이다.

- 1개 이상의 증기발생기로부터의 증기누설을 방지하기 위해 증기발생기와 증기collector에 연결된 증기관 사이에 고속 차단밸브를 설치한다.

- 원자로용기의 원통부분에 대한 온도충격을 줄이기 위해 1차계통과 연결된 고압안전주입펌프 흡입구를 cold leg에서 hot leg쪽으로 옮겼다.

취성화문제는 조사된 재료를 annealing함으로써 직접 해결하고 있다. Kozloduy-1, 3호기의 annealing은 1989년에 이미 완료했고 2호기는 1992년에 시행할 예정이다. 이 annealing작업은 소련기술진에 의해 시행되었다.

1, 3호기의 압력용기 수명은 annealing을 시행하기 전에는 각각 1996년과 1998년에 끝날 것으로 예상됐었는데 지금은 소련관계자들로 부터 2013년과 2005년까지 수명이 연장될 것이라는 보증을 받고 있다.

압력용기 annealing은 IAEA 실무진에 의해서도 검토될 것이다.

## 기타 보완대책

앞서 말한 보완대책 이외에도 Kozloduy발전소에서는 신뢰성과 안전성 향상을 위해 다음과

같은 여러가지 조치가 취해졌다.

- 원자로용기 부품의 위치를 확고히 유지하기 위해 내부 바닥판과 원자로 샤프트를 핀으로 고정시켰다.

- 증기발생기 헤더의 윗부분을 교체하고 죄임도 조절이 가능한 seal이 설치되었다.

- 궁극적인 열흡수원을 통해 잔류열을 제거하기 위한 충분한 시스템이 설치되었다. 작업용수를 냉각시키기 위한 spray pool 과 다뉴브강으로 부터 공급되는 비상용 용수공급시스템을 갖추으로써 비상용 용수공급을 확보했다.

- 다뉴브강으로부터의 비상용 용수공급설비를 가동시키기 위한 전원을 확보하기 위해 예비 디젤발전기를 설치했다.

- 증기발생기 헤더의 응력을 받는 부분을 보호하고 누설을 감시하기 위해 질소를 봉입한 氣密 chamber가 설치되었다.

- ECT검사기술과 자동 plugging장치(Westinghouse사와 Zetec사에서 공급)가 현재 사용되고 있다.

- 6kV 케이블이 방화규정에 맞도록 교체되고 제어케이블에도 보호 coating을 했다.

- 凍結 예방을 위해 고온수 순환설비가 설치되었다.

불가리아의 발전소들은 특별한 운전지침하에 가동되고 있는데(이와 비슷한 운전지침이 체코의 Bohunice-1, 2호기에서도 적용되고 있다) 그 내용은 다음과 같다. 즉 유니트들을 항상 전출력으로 운전할 것, 허용치 이내라 할지라도 변동치의 변화폭을 가급적 줄일 것, 초기진단설비를 최대한 활용할 것, 설계기준사고 이상의 사고를 포함한 긴급사태에 대한 대비책을 철저히 강구할 것 등이다.

불가리아의 원자로들은 구형 원자로 안전성 개선을 위해 작업을 벌이고 있는 IAEA의 실무반의 검토를 받고 있는 VVER 원자로이다. 이 IAEA 프로젝트는 원자로의 운전상태를 종합분석하는 것인데 Kozloduy 원자로의 안전을 위해 앞으로 어떠한 조치를 취해야 할 것인지에 대해서는 금년 6월에 IAEA 보고서가 나올 때까지 그 결정이 미루어질 것이다.