

전사고와 5월 17일 Gravelines-2호기에서 약 30분간 계속됐던 부속설비 냉각수 상실사고이다. 이 중 두번째 사고는 밸브 수리가 잘못되어 기밀이 유지되지 않아 일어난 것이다.

EdF사는 현재 진행중인 2가지의 Level-2급 사고를 갖고 있는데 이 두사고는 이로 인해 플랜트의 불시정지시간이 오래 끌게 되었기 때문에 Level-2로 분류된 것이다. 하나는 Creys-Malville 증식로의 사용후연료 저장드럼의 누설 사고로 이 사고로 최소한 금년 말까지 이 플랜트는 계속 정지될 것 같다. 또 하나는 최근 5주 일째 플랜트 정지를 가져온 제어봉 가이드 튜브 Split pin의 파손사고다.



## 燃料 튜브 交替 容易하도록 CANDU 設計 變更

CANDU 설계업체와 소유업체들은 원자로의 40년 수명기간중 단 한번 연료채널 압력관의 교체가 필요하도록 하고 또한 수소의 발생, 변형, elongation으로 튜브교체가 필요할 때 380~480개의 튜브를 교체하는데 필요한 정지시간과 피폭선량을 줄이기 위해 설계변경을 하고 있다. CANDU 운영회사인 Ontario Hydro사는 튜브 교체를 계획하고있지만 지금은 열 전달을 방해하고 있는 증기발생기 2차측의 침적물과 장기적인 배관보전문제에 관심을 두고 있다.

CANDU 설계에 공동참여했던 AECL사의 주임 엔지니어 Brook씨는 6월 중순 위니펙市에서 열린 캐나다 원자력협회(CNA) 연차대회에서 AECL사는 장차의 CANDU에 대해서는 교체작업의 편의를 위해 한쪽으로 만 연료장전하고 칼란드리아 케이싱내에 압력 튜브를 삽입하는 과정을 공장조립으로 하도록 설계하고 있다고 했다. 그는 또 Ontario Hydro사의 Pickering-1,

2호기의 유니트 당 390개의 튜브를 전부 교체하는데는 채널 당 평균 2일이 걸리고 작업인원의 피폭선량은 채널 당 0.7man-rem이라고 했다. 그러나 신형 CANDU 에서는 단일체로 압력튜브들을 교체할 수 있어 한번 교체하는데 훈련받은 작업인원 이라면 5일 이내에 할 수 있고 이들의 피폭선량도 10man-rems 이하가 될 것으로 그는 기대하고 있다.

현재 Hydro사에서 원자력 플랜트에 대해 가장 우려하고 있는 문제는 증기발생기의 2차측 튜브시트상의 「돌과 같은」 침적물과 배관의 보전에 관한 것이라고 Hydro사의 생산 담당 부사장 Bartholomew씨가 말했다. 그는 일부 유니트에서 열전달이 비효율적이라는 것이 발견되었다고 했다. 「침적물을 제거한 다음 이를 제한하기 위한 대책을 마련할 계획이다. 이러한 시정대책이 실패로 돌아가는 경우 증기발생기 교체작업을 위한 정지(1년 예상)가 예상되지만 이 문제는 튜브 교체와 함께 검토될 것」이라고 그는 말했다.

Bartholomew씨는 이번 CNA대회에서 Hydro사는 산화의 20개 원자력플랜트는 각각 40년의 수명기간중 압력튜브 교체를 위해 19~23개월간의 정지시간이 필요할 것이라고 했다. Pickering 의 첫번째 4개 유니트는 가동후 20년내에 튜브 교체가 필요하지만 이보다 나중에 생긴 원자료에 대해서는 압력튜브 수명을 약 30년으로 연장시킬 것으로 예상되는 연료 채널 프로그램이 실시되었다.

최근의 경험에 의하면 배관의 보전분제는 앞으로 유니트의 신뢰도에 크게 영향을 주는 것으로 이를 위해서는 많은 자금이 필요할 것이라고 Bartholomew씨는 말했다. 이러한 문제에는 침식/부식 메카니즘에 의한 파이프 두께의 감소, 용접부분의 응력균열, 그리고 나중에 생긴 플랜트에서 파이프가 벽을 관통하는 부분에서 생기는 유체 흐름에 따른 진동과 응력의 집중현상 등이 포함된다. 이중에서 나중 문제들

은 耐震要件에 맞추기 위해 필요한 剛性的의 배관 시스템과 관계가 있다. 그러나 1990년대 중반까지는 Hydro사의 장기 점검계획에 따라 일반적인 파이프 파손의 기회를 상당히 줄일 수 있을 것이라고 그는 말했다.

## Hydro社, 韓電으로 부터 重水供給契約 受注

Ontario Hydro사의 신규사업분부는 한국전력으로 부터 80만 캐나다불 상당의 중수 300톤의 공급계약을 수주했다. 경합업체는 AECL, 서독의 Nukem과 중공 및 소련의 공급업체들이었다. Hydro사는 한국전력의 한봉수 사장을 Toronto 호텔에서 영접했는데 이 호텔은 영국의 대처 수상이 지난 5월 경제 정상회담을 가졌을 때 묵었던 곳이다. Hydro사는 또 한 사장에게 중수의 생산과정을 보여주기 위해 헬리콥터편으로 Hydro사의 Bruce플랜트로 그를 안내했다.

## 韓國, 原子力 自立을 追求

금세기 말까지의 원자력기술의 자립을 위해 영광-3, 4호기(CE사 설계에 의한 것으로 1995~96년에 준공예정)는 79%의 국내설계와 72%의 국산 기자재로 건설될 것이라고 한국전력의 한봉수 사장이 6월 13일 위니펙시에서 열린 캐나다 원자력협회 연차대회에서 밝혔다.

울진의 2기의 Framatome사 유니트는 현재 시운전중으로 46%의 국내 설계 엔지니어링과 40%의 국산 자재 및 제작기술이 반영됐다고 한 사장은 말했다. 한국전력의 월성-1호기는 CANDU이지만 나머지 6개 유니트는 WH사의 PWR이다. 「우리는 비교적 만족스러운 원자력 기술 축적을 이룩했지만 앞으로도 숙달된 인력을 확보하고 기술자립을 성취하기 위해 노력하지 않으면 안 된다」고 그는 말하고 「따라서 한

국의 21세기를 지향하는 원자력전략의 첫 단계는 원자력발전소를 표준화하는 일이며 그 다음 단계는 기술자립을 달성하는 일」이라고 했다. 「사회경제적으로 불안정한 상태하에서는 원자력발전이 아주 매력적인 선택인데 이는 우리의 모든 에너지 문제에 대한 유일한 해결책일 뿐만 아니라 한국의 국가적인 에너지확보전략에 필요불가결하기 때문」이라고 그는 말했다.

한국의 7기의 가동중인 유니트들은 총 5,716MW의 설비용량이며 현재 일당 약 200,000바렐에 해당하는 석유수입량을 감소시키고 있다. 한 사장은 한국의 총 에너지 수요가 금세기 말까지는 거의 2배로 늘어날 것이며 이는 1억 2,300만톤의 석유량에 해당한다고 예언하고 원자력 에너지가 21세기의 주요 에너지 수요가 될 것이라고 했다.

체르노빌 사고로 영광-3, 4호기 건설은 원자로안전성에 대한 약간의 의구심을 자아냈으며 화석연료가의 저하로 지금은 원자력의 원가상의 이점이 많이 줄어들었다고 한 사장은 말하고 「그러나 이러한 비판에도 불구하고 우리는 에너지 수입에 크게 의존하는 것을 원치 않기 때문에 원자력 에너지를 계속 추구하기로 결정했다」고 했다. 「원자력의 선택을 다양화하기 위해 CANDU 기술은 PWR기술의 보충사항으로 표준화 프로그램에 포함시킬 것」이라고 한 사장은 말하고 「그러나 표준화는 어느 의미에서 기존 기술을 어느 시점에서 동결시키는 것으로 볼 수 있기 때문에 전력수요를 충족하기 위해 신규 유니트를 건설해야 할 충분한 동기가 있지 않는 한 신규로 주문하는 유니트는 이것이 가동되기 시작할 때는 기술적으로 시대에 뒤떨어진 것이 될 위험부담이 있다」고 했다.

## 制度的인 失手가 事故를 낳는다

사고는 일반적으로 기계적인 고장, 인적 과

실 또는 자연적인 재난에 그 원인이 있는 것으로 알려져 있지만 이외에 4번째 원인으로 「제도적인 실수」가 있는 것으로 캐나다의 두 원자력분석가는 주장했다.

Ontario Hydro사의 원자력 연구 및 안전처의 Mosey씨와 Schafesbury Scientific사의 Weaver씨는 큰 피해를 가져온 2건의 非원자력 사고를 포함해 8건의 사고를 분석검토한 결과 각 사고마다 「원자력 안전을 위해 회사가 취해야 할 조치가 결여돼 있거나 잘못 돼있었던」 소위 제도적인 실수가 있었음을 발견했다고 6월 중순 위니펙시에서 열린 캐나다 원자력협회(CNA) 제9회 연차대회에서 발표했다.

그들은 「위험 사태나 사고는 이에 先行되는 어떠한 이벤트 없이는 일어날 수 없다」고 주장하고 이러한 이벤트가 발생하지 않도록 하되 만일 이것이 일어났을 경우 그 결과를 축소시키기 위해 직접적인 물리적 효과를 가져올 수 있는 몇 가지의 행동지침을 설정했다. 그들은 컨트롤·룸 운전원, 보수점검 인원, 안전분석과정 등의 규칙상의 기능을 예로 들었다. 이러한 것들은 당연히 인원채용, 훈련, 효과적인 관리, 보고 및 감독부처등의 회사 기능의 영향을 받는다. 대표적인 사고에 대한 그들의 분석에서 Mosey와 Weaver 두 사람은 각 케이스에서의 회사의 잘못된 조치와 직무유기를 지적해 말했다.

1952년 12월 Chalk River연구소에서 출력의 과도현상으로 NRX로가 심한 손상을 입은 사고가 발생했었다. 이 사고는 캐나다로 하여금 고속정지 시스템을 개발토록 하는 계기를 마련했지만 이와 동시에 단순한 운전원의 실수나 기계적 고장이 아닌 다른 형태의 실수를 보여주는 것이었다고 그들은 말하고 인적과실이나 기계 오동작의 리스크를 줄이기 위해서는 보다 개선된 검토 및 점검 시스템이 필요하다고 말한 당시의 AECL사의 과학담당 책임자 Lewis씨의 결론을 인용했다.

1957년 10월에 발생한 영국의 Windscale 원자로 1호로의 화재사고는 흑연에서 위그너·에너지가 방출되는 과정에서 일어났다. 그 당시 사고조사위원회는 주요한 기술적인 결함으로써 부적당한 계장장치를 들었으며 이외에 운전상의 문서처리가 전혀 돼있지않았고 플랜트 기구조직상의 많은 결함이 있었음을 발견했다. 1961년 아이다호주의 SL-1 실험소에서 일어난 치명적인 사고는 중심부의 제어봉 하나가 완전히 인출됨으로써 일어난 출력 과도현상의 직접적인 결과였다. 그러나 그 당시 미국 관계자들이 「설계, 건설, 시운전, 운전등의 SL -1 실험소 운영을 위한 기구조직상의 복잡성 때문에 안전도가 떨어지고 있는 것이 계기상에 나타났는데도 이에 대응하지 못했던 것이 가장 큰 원인」이라고 했던 것을 그들은 인용해 말했다.

1966년 10월에 발생한 Fermi-1호 원자로의 2개의 연료집합체의 심한 용융 손상사고의 원인은 지르코늄의 라이너 플레이트가 파손돼 떨어져 나가 냉각재의 유로를 막은데서 일어난 것으로 밝혀졌었다. 이 경우 건설후에 뒤늦게 보충 방어를 위해 지르코늄판을 설치했으나 as-built도면에는 이것이 표시돼 있지 않았던 것을 지적하면서 이 두 캐나다 분석자는 「마지막 순간에 설계변경사항을 서면화하지 않은 것은 큰 실수였다. 더욱 더 큰 문제는 그 당시 이 원자로의 운영자가 지르코늄 플레이트를 설치할 것을 권유한 美원자력위원회의 제안을 기술적으로 검토했어야 했음에도 불구하고 이를 일종의 명령으로 받아들였다는 사실」이라고 했다.

1979년 3월에 발생한 TMI-2호기 사고시에도 기계적 고장, 설계문제, 인적 요소들을 비롯해 많은 요인들이 사고 원인이 되었으나 Mosey씨와 Weaver씨는 원자로 운전원들의 훈련이 불충분했었다는 점을 지적했다. 더욱이 이 플랜트와 아주 비슷한 상황하에서 이 사고가 발생하기 2년전에 Davis-Besse플랜트에서 가압기의 안전밸브 1개가 고장이 난 일이 있었다. 이

와 같은 Davis-Besse 플랜트의 사고를 TMI 등 다른 발전소 운전원들에게 전달하지 않았다는 것은 중대한 정보교환상의 실수였다고 이 두 사람은 말했다.

1986년 4월에 일어난 체르노빌-4호기 사고는 흔히 설계의 취약성과 운전원의 실수라는 면에서 논의되고 있으나 이러한 논의에서 「운전원의 실수」라는 말을 사용한다는 것은 오해를 가져올 소지가 많다고 그들은 말했다. 사고 경위를 보면 계통적이고 고의적인 규칙위반의 연속이었다. 이미 설정돼있는 승인절차가 효과적으로 생략되었다. 이러한 결함은 플랜트 간부들을 비롯해 플랜트 전체에 확산돼 있어야 했던 원자력 안전관리면에 문제가 있었음을 시사하는 것이다.

## 潛水艦用原子爐프로젝트參與

캐나다 국방성(DND)은 계획중인 잠수함에 사용될 원자로의 설계를 맡을 새로운 캐나다 회사를 설립하는데 주도적인 역할을 해줄 것을 AECL사에 요청했다. 캐나다 국방장관 Beatty씨는 이 프로젝트가 캐나다 산업계에 55,000人·年의 새로운 고용능력을 가져다 줄 것이라고 했다.

「이 프로젝트는 캐나다의 원자력산업 용량의 상당 부분을 흡수할 수 있을 것」이라고 6월 14일 위니펙시에서 열린 캐나다 원자력협회(CNA) 연차대회에서 Beatty 씨는 밝히고 「캐나다 원자력산업이 계획중인 잠수함 함대의 원자력추진 동력부분을 맡아 이를 계획된 시간과 예산 범위내에서 수행할 수 있을 것」이라고 했다.

DND와 AECL는 지난 6개월간 원자력추진 동력 시스템에 관한 기술이전과 캐나다 업체의 하도급계약권에 관해 협의해 왔다. 「국방성은 산업계에 자극을 주는 동시에 우리의 원자력 전문지식을 축적하지 않으면 안 된다」고 DND의 원자력 잠수함함대 구매 담당 책임자인

Anderson 해군소장은 말하고 「따라서 DND로부터 원자로 설계를 위탁받는 일종의 회사가 될 새로운 캐나다회사를 설립하는데 촉매 역할을 해주도록 AECL에 요청했다」고 했다.

「파트너 업체로는 영국 국방성에 납품하고 있는 Rolls Royce사나 프랑스의 Technicatome사가 될 가능성이 있다」고 Anderson 소장은 말하고 「기술이전은 이러한 외국의 위탁업체로부터 우리의 위탁업체에게 이루어질 것이다. 잠수함 엔지니어링과 보수를 맡을 우리의 총괄 부서가 신설되는 캐나다회사의 유일한 고객이 될 것」이라고 했다.

캐나다 국방성은 잠수함 승무원에 대한 원자력 교육문제에 대해 Ontario Hydro사와 이미 협의를 했다. 「Ontario Hydro사에서는 이미 그들의 새로운 사업의 개발을 위해 사람들을 배치해 놓고 있었으며 나는 Pickering에 있는 그들의 원자력 연수원을 방문한바 있다. 이 연수원은 Halifax에 있는 우리의 해군훈련학교와 놀라울 정도로 비슷했다」고 Anderson소장은 말하고 「캐나다 해군과 Ontario Hydro사는 모두 실기 위주의 훈련과정을 운영하고 있었으며 모두 고성능의 전자식 시뮬레이터를 이용하고 있었다」고 했다. 「아주 분명한 것은 교훈훈련이 원자력분야에서 Hydro사가 우리에게 줄 수 있는 몇가지 분야중의 하나라는 것」이라고 그는 말했다.

## AECL Donnelly사장 후임자 선정시까지 유임

지난 10년간 AECL사장으로 제임중이던 James Donnelly씨가 지난 1월, 6월중순에 사임할 것이라고 발표한바 있으나 동사의 Beneteau회장이 사임함에 따라 회장과 사장이 모두 후임자 없이 공석으로 남게 돼 Donnelly씨가 당분간 유임하기로 했다. 「후임자 선정시까지 시간적 여유를 위해 수상이 나에게 사임을 당분간 연기

하도록 요청해 이에 응했다」고 6월초 Donnelly 씨가 밝혔다.

10년전 Campbell씨가 짧은 기간 동안 회장과 사장직을 겸직했던 일을 상기시키면서 AECL사의 한 간부는 후임 사장이 결정되는 대로 Donnelly 씨에게 회장직을 맡도록 하는 것이 합리적인 처사라고 말했다. 스코트랜트 태생인 당년 56세의 Donnelly씨는 2년전 심장수술을 받은바 있으며 그동안 일 부담을 덜기를 원해 왔다. 「회장직은 그에게 큰 부담이 되지 않을 것」이라고 이 간부는 말했다.

한편 지난 16개월간 AECL회장으로 있던 Beneteau 씨는 지난 5월 하순 특별한 사임성명도 발표함이 없이 조용히 물러났다.

## CANDU 爐 名稱 變更

캐나다原子力公社(AECL)는 현행의 CANDU 爐 명칭에서 모델번호와 電氣出力이 혼동되어 이를 변경사용하기로 하였다.

AECL의 出力增加計劃에 따라 改善된 設計에서는 모델번호와 出力容量이 크게 다르다. 예를 들면, CANDU 300의 경우 電氣出力容量은 300MWe가 아니라 450MWe級이다. 따라서 AECL은 CANDU 爐의 명칭을 다음과 같이 변경사용한다.

- CANDU 300 →CANDU 3
- CANDU 600 →CANDU 6
- CANDU 950 →CANDU 9

또한 各各의 CANDU 모델에서는 改善된 設計를 구분하기 위하여 일련의 Mark(Mk)번호를 부여키로 하였다. 예를 들면, 出力이 600~640MWe인 기존의 CANDU 600은 CANDU 6Mk I 으로, 電氣出力이 650~800MWe가 될 현재 出力增加設計로 發注된 爐는 CANDU 6Mk II 으로, 750~1,000MWe級이 될 新型CANDU 600概念은 CANDU 6Mk III 가 될 것이다.

## 西 獨

### ABB社, 유고 Krsko 플랜트 SG 튜브補修工事 受注

서독의 ABB Reaktor사(前의 Brown Boveri Reaktor사)는 유고의 Nuclearna Elektrarna Krsko사와 Krsko 플랜트 PWR의 시험 및 보수를 위한 5년 계약을 맺었다.

ABB Reaktor사의 관계자들은 이 계약이 이루어진 이유중의 하나는 지난 6월에 끝난 한국의 고리-1호기 증기발생기 보수공사였다고 말하고 이 공사는 지금까지 증기발생기 보수계약 공사로는 세계최대의 것이었다고 했다. 이 두 유니트는 모두 WH사 PWR 다.

오랜 준비작업 끝에 ABB Reaktor사는 금년 3월에 고리-1호기 증기발생기 2대에 대한 튜브 보수공사를 시작했었다. 총 1,483개의 프리킹된 튜브를 빼내고 560개의 스리브가 용접 설치됐다. 이 공사중에 금속조직 검사를 위해 2미터 길이의 튜브 샘플이 채취되고 100% 튜브에 대해 와전류검사가 실시됐다. 이 공사의 총공사비는 1천만 마르크(560만불)이상이었다고 산업계 소식통이 전했다.

ABB사는 고리-1호기 공사에 사용될 manipulator와 보수장비를 설계, 제작했으며 이 공사에는 ABB Reaktor사로 부터 45명의 전문기술자들이 참여했다. 이 공사를 마무리함에 있어 ABB사는 18권의 품질보증서류를 한국전력에 제출했다.

한국에서의 공사가 마무리되고 있는 동안 ABB사는 6월 6일에 Krsko 플랜트 증기발생기 보수를 위한 또하나의 계약을 맺은 것이다. ABB사는 앞으로 5년간 Krsko 플랜트 증기발생기 튜브의 와전류검사를 실시하게 된다. 검사결과 증기발생기 튜브 균열 정도가 튜브 두께의 40%