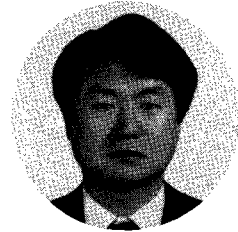


靈光原子力 3·4號機의 安全性



金 炳 九

〈韓國에너지(研) 發電爐系統事業部長〉

1. 背 景

1987년 4월에 주기기공급계약을 중심으로 건설계약된 영광원자력 3,4호기(원자력 11, 12호기)사업은 사업착수 만 2년이 경과한 현시점에서 예비설계를 마치고 본공사 착공을 위한 건설허가 심사단계 중에 있다. 1988년도 국정감사시 제기되었던 영광 3,4호기의 안전성 시비와 그후 부터 발생된 국내 반핵단체들의 본 사업에 대한 비판적인 시각을 요약하면

첫째, 전기출력 104만KW 발전소는 C-E사가 한번도 지어본 적이 없는 용량이고,

둘째, 기존 발전소들의 중요기기들은 축소 설계한 짜깁기식 발전소이고,

셋째, 미국 규제기관인 USNRC에서도 승인을 거절한 발전소 설계모델이고,

넷째, 국산화분이 엄청 많아 그 신뢰성에 문제가 있을 수 있다는 등 원자로계통의 설계가 입증되지 않아 안전성에 하자가 있을 것이라는 지적이다.

이에 따른 불필요한 의혹을 명백히 불식시키

기 위한 국내 전문기관의 의견은 다음과 같다.

2. 立證된 設計概念 是非

이점은 입찰안내서 작성 시점부터 중요하게 고려되었던 부분으로서 어떻게 하면 가장 확실하게 입증된 최신의 기술을 받아들일느냐에 그 초점이 있고, 이러한 최신기술이 반영되어야 안전성도 향상된다. 따라서 입증도의 판정기준으로 발전소 기기 및 시설의 설계개념(Design Concept)이 自國의 규제기관에 의해 승인되어 그 기기나 시설이 自國內에서 실제 운전실적이 있거나, 이러한 요구를 충족 못 할때는 그 나라 규제당국(미국의 경우는 Advisory Committee on Reactor Safeguard, ACRS)의 추천서를 제출하면 되도록 두가지 길을 터 놓았다.

위 조항에서 모든 기기와 시설이라는 표현에 주목해야 한다. 발전소 전체를 지칭하지 않고 기기와 시설이라 한 것은 참조발전소와 새로 건설하게 되는 발전소는 복사한 것처럼 완전히 같은 것을 요구하는 것이 아니고, 발전소를

구성하는 주요기기 및 시설이 입증된 개념하에 설계되고 타 발전소에서 운전경험이 있는 것을 요구한다는 뜻이다.

원자력발전소의 설계에서 부터 운전까지는 보통 10년의 기간이 소요되므로 입증도의 판정 기준을 이미 운전실적이 있는 기존발전소와 완전히 같은 것으로 한정할 경우 필연적으로 낙후된 기술만이 응찰대상이 되어 바람직하지 않다는 결론이다. C-E사의 원자로설계내용은 입증도 면에서 첫번째의 판정기준인 “입증된 설계개념(Proven Design Concept)” 기준과 이에 따른 유사발전소 운전실적기준을 훌륭하게 만족시키고 있다.

여기서 입증이 된 설계개념이란 설계방법(Design Methodology)과 설계절차(Design Procedure)가 규제기관의 사전승인을 득했고 그 개념에 따라 설계된 기기 및 시설이 이미 가동중인 발전소의 운전경험으로 입증된 설계개념을 뜻하며, “입증”의 초점이 최종설계 결과물의 치수나 용량에 있는 것이 아니고 그 설계하는 과정에 쓰여지는 방법과 절차의 사전승인 여부에 있다는 것이다.

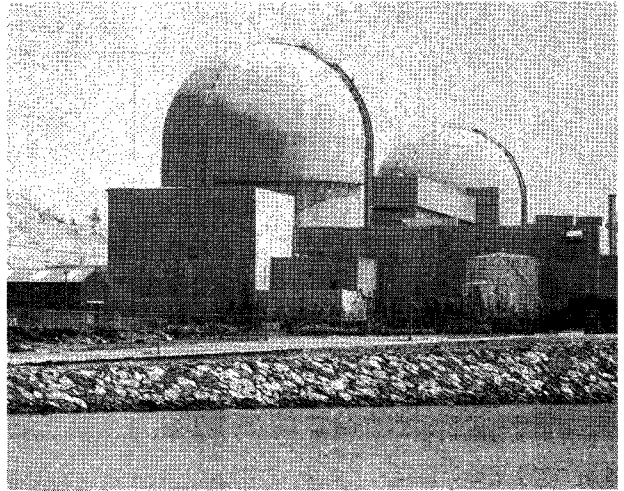
3. 原子爐系統 基本設計內容

이상 입증된 설계개념으로 채택된 영광 3, 4호기의 기본설계내용은 다음과 같다.

가. 1985년 12월 31일 현재의 미국 인허가 법규, 기술기준 및 현 국내 규제요건 적용.

나. 상기의 설계기준일에 따른 요건 적용 이외에 TMI조치사항 및 USI에 대한 안전성 강화요건을 반영시켜 既稼動 국내발전소에 비하여 안전성을 제고시킴.

다. 사업주의 요구출력을 설계에 반영함에 있어 NSSS의 Loop수를 변경시키는(2, 3, 4 Loop) 설계개념 대신 노심출력에 관계없이 Loop수를 2개로 고정시키고 관련기기, 부품의



▲영광원자력 1·2호기 전경.

크기(용량)를 변경시키는 개념도입(C-E사의 이같은 개념은 500MWe급에서 적용할 수 있음 이 미국의 C-E발전소 인허가 및 운전경험을 통하여 입증됨).

라. 사업주의 출력요건에 따라 운전경험을 통하여 안전성이 실증된 ANO-2(Arkansas Nuclear One-2) 노심설계를 채택하였고, 발전소 성능 및 안전성 제고를 위하여 일부 계통설계 개선사항 및 최근 R & D 결과로 도출된 권고 사항을 설계에 반영.

마. 영광원자력 3, 4호기 원자로계통은 사업주의 출력요구사항을 반영시켜 2,825MWt System 80로 설계하였으며, 주요 설계특성은 다음과 같다.

- 열출력 변경에 따라 핵연료집합체수를 ANO-2 노심과 같이 177개로 설계함. 평균 선출력밀도는 Palo Verde와 비교하여 약 3% 정도 감소됨으로써 노심열적여유도(Core Thermal Margin)가 다소 증가함.

- 열출력 감소에 따라 제어봉수와 노심계측기수는 감소하나 원자로 정지도(Shutdown Worth)는 Palo Verde원전과 동일하여 원자로 정지여유도를 충분히 보유함.

- 원자로 정지빈도 및 안전밸브의 동작빈도

를 감소시킬 목적으로 가압기 용량을 1,800ft³으로 설계, 냉각재 수용용량이 Palo Verde에 비하여 상대적으로 증대하여(원자로 냉각재체적 대비 20% 증가) 운전중 과도현상(Transient)에 대한 대응력이 향상됨.

- 사고수습에 따른 대응력을 강화시키기 위하여 공학적 안전설비계통을 Palo Verde에 비하여 상대적으로 증대시켜 설계함. 특히 비상노심냉각을 위한 고압안전주입펌프(HPSI Pump)의 용량이 상대적으로 증가함으로써(열출력 대비 30% 증가) 냉각재 상실사고나 주증기관 파단사고 등에 대한 안전여유도(Safety

Margin)가 증가함.

- 용량조정 및 설계개선의 일환으로 증기발생기의 2차측 강수관 Water Volume 증대(규정 온도 및 압력하에서 약 2.5ton 상당, 열출력 대비 24% 증가) 및 열전달면적 등의 증대(출력준위 대비 10% 증가)로 증기발생기 수위 조절이 보다 용이하고 관폐쇄에 대한 여유도(8% Tube Margin)를 증가시킴.

- 원자로 안전정지계통 및 원자로 제어/보호계통은 Palo Verde 원전과 동일.

바. 타 발전소와의 주요 설계변수 비교는 별표와 같다.

〈표〉 타 발전소와의 주요 설계변수 비교

주요 사항	YGN 1 & 2	ANO-2	Palo Verde	YGN 3 & 4
• 루프(Loop) / 증기발생기수	3	2	2	2
• NSSS출력(MWt)	2787	2825	3817	2825
• 노심열출력(MWt)	2775	2815	3800	2815
• 연료집합체수	157	177	241	177
• 출력밀도(kW / L)	104.5 HEP	96.4	95.6	96.4
• 평균 / 최대 선출력밀도(kW / ft)	5.43 / 12.6	5.34 / 12.5	5.21 / 12.5	5.26 / 12.5
• 연료봉 배열	17×17	16×16	16×16	16×16
• 집합체당 연료봉수	264	236	236	236
• H ₂ O / UO ₂ 체적비	2.8	2.02	2.02	2.02
• 냉각재 평균온도(°F)	588.45	584	594	594
• 2차 증기압력(psia)	964	900	1070	1070
• 증기발생기당 열 전달율(BTU / hr)	3.17×10 ⁹	4.82×10 ⁹	6.51×10 ⁹	4.82×10 ⁹
• 증기발생기당 증기유량(@ 0.25습분) (1 / hr)	4.1×10 ⁶	6.2×10 ⁶	8.6×10 ⁶	6.4×10 ⁶
• 전 출력시 급수온도(°F)	440	452	450	450
• 냉각재 펌프 수	3	4	4	4
• 가압기 가열기 수	78	50	50	50
• 가압기 체적(ft ³)	1400	1200	1800	1800
• 가압기 가열 용량(kW)	1400	1200	1800	1800

4. 電氣出力 是非

영광 3,4호기의 전기출력이 104만KW이고 이 출력으로는 실제 운전중인 발전소가 없기 때문에 실증이 안되었다는 是非는 우선 원자로 실증도의 여부가 전기출력에 있지 않고 핵증기 공급계통(NSSS)의 열출력에 따른다는 사실이다. 따라서 영광 3,4호기의 열출력인 2,825MWt 발전소는 같은 C-E사 설계로 미국 알칸사주에서 1981년부터 상용운전중인 ANO-2 발전소가 9년째 가동중에 있고, 이 발전소는 영광 3,4호기와 같은 핵연료와 노심으로 설계되어 있어 동일 출력 원자로의 운전실적으로 실증되었다.

같은 열출력의 핵증기공급계통이라도 발전소 부지의 냉각수 조건과 2차계통인 터빈·발전기 계통의 설계 효율에 따라 최종 전기출력은 10% 정도까지 가변적인 것이 상례이다. 특히, 영광 3,4호기의 경우는 증기압력이 1,070psi로 기존 호기 보다 높아 2차계통의 열효율을 향상시켜 전기출력이 104만KW로 올라가 에너지 공급상 유리하게 되었고, 전기출력이 선행 호기 보다 높아서 원자로의 실증도에 문제시 될 점은 전혀 없다.

5. 짜깁기 是非

영광 3,4호기 원자로계통이 외국 원자로의 “축소판 짜깁기”이기 때문에 안전성에 문제가 있을 것이란 우려는 원자로 설계에 대한 기본적인 인식 부족으로 사료된다. 원자력발전소의 출력 용량은 기성제품을 사는 것이 아니기 때문에 전력회사가 필요로 하는 전기출력용량에 따라 기기공급자가 설계 시점에서 가장 최신의 입증된 설계를 선별 채택하여 종합설계하는 것이 세계적인 관례이다. 따라서 “짜깁기”란 표현이 하자가 있는 부분을 때우는 식의 설계개념이

아니고 기존 발전소 설계개념 중에서 개량·종합한다는 의미의 짜깁기는 어떤 원자로 설계자도 채택하는 정상적인 설계절차에 불과하다.

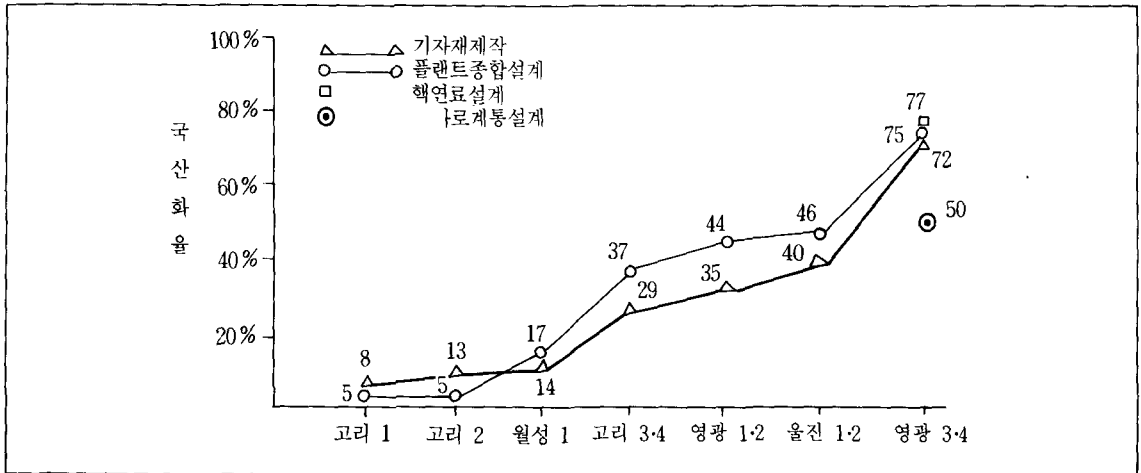
용량에 따라 원자로의 Loop수를 2, 3, 4개로 변경하는 Westinghouse사의 모델과는 달리 C-E사의 기본설계개념은 용량에 관계없이 2Loop 모델로 현재 미국내에서 50만~130만KW 범위에 걸쳐 15기가 운전중에 있고, 운전실적도 타사 모델보다 가장 우수하다. 즉, 출력에 직접 관계되는 기기는 원자로의 열출력에 맞추어 크기를 조정 확정하고, 최신의 입증된 설계를 채택한 안전계통 등은 보다 안전하다는 이유 때문에 축소하지 않고 그대로 수용하는 것이다.

영광 3,4호기 설계는 입증된 설계개념에 따라 C-E사가 알칸사주에 건설한 열출력 2,825MWt ANO-2 발전소를 따라 미국내 최신 가동 원전인 팔로버디원전의 최신 개량 원전설계를 채택한 모델이다. 따라서 영광 3,4호기는 참조발전소에 근거하여 사업주의 요구출력과 최신의 설계내용을 반영시킨 일반적인 설계방법에 의하여 설계된 발전소이다.

6. USNRC 承認拒絶 是非

미국내에서도 안전성에 문제가 있어 USNRC가 1988년 9월 30일자로 우리나라에 승인을 거절했다는 是非는 근본적으로 정부 인허가절차의 인식 부족으로 비롯된 것이다. 우선 미국의 규제기관인 USNRC가 한국에서 건설하는 영광 3,4호기의 안전성을 두고 승인해야 할 하등의 이유가 없고, 또 실제로 할 수도 없다. 이는 自國 원전의 인허가승인을 정부 당국만이 할 수 있는 것이 주권국가의 기본적 권리이다.

여기서 USNRC의 지원이 가능했던 부분은 영광 3,4호기 설계중 특정분야에 대한 기술자문이었다. 영광 3,4호기의 설계중 참조발전소



인 ANO-2나 팔로버디원전설계에 비해 개량된 특정기기의 설계차이점 총 11건중에서 미결된 1건(T/H Relative Size)에 대해 안전성을 재확인한다는 차원에서 1988년 9월 30일까지 USNRC 에 문의 제출토록 하였으나, 미국내 USNRC사정으로 검토를 사양한 사례가 발생하였다.

이에 대비하여 사업자는 USNRC가 추천하는 유자격 제3의 전문기관으로 미국 국립원자력연구소인 INEL(Idaho National Engineering Lab)에 T/H Relative Size 특정보고서의 검토를 의뢰하였고, 1989년 9월 1일 최종 검토보고서가 나올 예정이다. 과학기술처와 원자력안전센터는 이 결과를 참조하여 영광 3, 4호기 건설허가 승인절차에 신중을 기할 것으로 예상된다.

7. 國產化 信賴度 是非

영광 3, 4호기 사업이 국산화를 위한 기술자립의 과욕으로 국내 기술수준이 미비한 상태에서 안전성을 신뢰할 수 있겠느냐는 의문은 현재 건설사업과 병행하여 추진중인 체계적이고 조직적인 기술자립계획의 이해로 해소될 수 있다. 과거 9기의 원전사업을 추진하면서 본격적인 기술자립의지의 실현이 영광 3, 4호기에 와서나

이루어진데 대해 늦은감이 없지 않다.

영광 3,4호기 사업의 국내참여분에 따른 총 국산화율 목표치는 다음과 같다.

- 기자재 제작(한중) 72%
- 플랜트종합설계(한기) 79%
- 핵연료설계(한에연) 77%
- 핵연료제조(한핵) 100%
- 원자로계통설계(한에연) 50%

이중 국내에서 처음으로 시도되는 원자로계통 설계업무는 미국 C-E사와 한국에너지연구소간에 1987년 별도의 기술도입계약을 체결하여 C-E사와 한국에너지연구소 기술진이 50/50 비율로 공동설계에 참여하고, 그 결과에 대한 최종 성능보장은 C-E사가 맡게 되어 신뢰도를 제고하였다.

핵연료설계 / 제조분야는 독일 KWU사와 한에연 / 한핵간에 1985년 재장전노심에 대한 기술도입계약을 체결하여 이미 기술기반을 마련하였다.

후속기인 13, 14호기 사업부터는 국내주도로 설계에서 성능보장까지 국내사가 갖추기 위한 기술자립목표가 1995년도에 95% 자립을 목표로 현재 착실히 진행중에 있다(해외사의 지원은 특정분야의 기술자문역으로 제한).