

地球가 지니고 있는 天然資源에만 安逸하게 依存해왔던 人間은 이제 그 資源의 限界狀況에 봉착되어 危機直面に 놓여있다. 이같은 實情下에서 人間은 科學의 힘에 크게 期待하고 있으며 또한 科學을 다루는 科學者들의 頭腦는 실새 없이 움직이고 있다. 여기에 紹介하는 學術論文은 지난 7月5日 科學技術處, 原子力學會, 機械學會가 共同으로 主催한 바 있는 原子力發電에 관한 심포지움에서 發表된 論文으로서 關係자들에게 많은 參考가 될것이라고 믿어져 그 全文을 連載로 紹介한다. <편집부>

<中>

## 古里원자력 발전소 1호기 건설현황 및 건설상 문제점

김 석 진

한국전력주식회사

### 건설추진상의 중요 문제

#### 1. 내진설계(耐震設計)

원자력발전소는 성격상으로 보아 핵분열에 의해 발생된 열을 이용하여 발전을 하는 것이므로 타 재래식발전소와 비교하여 사고시 주위에 미치는 영향이 막대하다. 따라서 만일의 가상사고에 대비하여서도 안전하게 유지될 수 있는 구조물 및 기지로 설계되어야 하는 특수조건이 수반되어야 한다. 그러므로 재래식발전소에는 적용 안되는 대지진설계(大地震設計), 환연하여 내진설계를 시행하게 된다. 물론 재래식발전소중에서도 구조물의 안전성이 하천하류(河川下流)에 미치는 영향이 큰 수력발전소의 댐(堰堤) 설계의 안전계산서에는 지중에 의한 하중(수평 및 수직하중)을 고려하여 설계를 하지않는 것은 아

나 이것은 어디까지나 정역학적(靜力學的) 입장에서만 분석하는 실정이다.

그러나 원자력발전소의 설계에서는 이러한 정적인 분석으로는 불합리한점이 많아 동역학적(動力學的)인 분석을 한다. 동역학적분석이란 구조물의 이동(移動 DISPLACEMENT)을 고려에 넣어 스프링(SPRING)으로 지지된 질점계(質點系)로 생각하여 구조물의 저면(底面)에 지진동(地震動)을 작용 시켰을 경우 구조물상의 각점이 어떻게 움직이는가, 어떤점에 어떤 크기의 최대진폭 또는 최대 가속도, 최대속도가 발생되는가를 구하여 그치(值)를 설계에 이용하고 있다.

간단히 말하여 동역학적분석이란 구조물에 어떤 외력이 작용할때 이 외력의 시간적변화 즉 가속도에 따라 진동현상이 일어나게 되는데 이때 속도, 가속도 및 이동량에 적당량의 감쇄(DAMPING)를 고려하여 소위 RESPONSE SPECTRUM을 정하여 설계에 이용하는 것이며

정역학적분석이란 이러한 동적인 변을 고려하지 않고 계산하는 것이다.

현재 고리에 건설중인 원자력발전소 제 1 호기는 구조물 및 각 COMPONENT의 종류에 따라 (그 중요도) CLASS I, II, III의 삼중으로 구분하여,

CLASS I은 이것이 파괴되면 LOSS OF COOLANT 사고를 일으키거나 또는 이를 심하게 증가시키거나 또는 과다량의 방사능물질이 제어할 수 없을 정도로 야기되는 구조물 또는 COMPONENT가 내상이며 또는 원자로의 SAFESHUTDOWN이나 ISOLATION에 극히 중요한 것들이 포함된다.

CLASS II는 원자로운전에 중요하지만 SAFE SHUTDOWN 및 ISOLATION에 긴급하지 않은것, 그리고 이것이 파괴되어도 상당량의 방사능 물질의 유출을 일으키지 않는것이 포함된다.

CLASS III은 원자로운전 및 격납용기에 관련되지 않은 것들이 포함된다. 한편, 각CLASS 별 지진계수의 적용은 아래와 같다.

### CLASS I

[종류]	[수평가속도]	[연직가속도]
DESIGN	H=0.1g	V =0.07g
NO LOSS OF FUNCTION	H=0.2g	V=0.14g

### CLASS II

정적분석또는 동적분석  
경우에따라동적분석  
H=0.1g      V=0.07g

### CLASS III

국내법규적용

한편, 지진하중에 대한 국내규정은 아래와 같다.

[건축법]                      [법설계기준]

요고려(要考慮)      H=0.05g

[팔당 및 춘천 H/P]

H=0.05g

따라서 원자력발전소의 CLASS II 구조물의 지진계수라도 반영구적 구조물인 탱크의 지진계수

보다 높음을 알수 있다.

참고로 이러한 지진하중을 고려하여 정역학적으로 설계할 경우 공사비에 미치는 영향은 12층 건물에 수평가속도 0.1g의 계수를 적용할때 약 4~6%의 증가가 예측된다\* (TID-7024)

<참고> 고리 1 지진계수 근거

고리 1 에 적용된 지진계수 (Design Earthquake 시)는 1963년에 우리나라를 엄습한 지진의 기록치 0.025g~0.08g의 상한치보다 여유를 고려한 0.1g을 택한 것이며 규정상 No loss of function 일때는 Design Earthquake의 2배의 치를 적용한 것이다. 한편 수직가속도는 통상수평가속도의 2/3정도를 취하고 있음. Gutehberg and Richter의 보고에 의하면 과거 200년간 우리나라에는 별로 큰 지진이 없었다고 하며 1963년도의 지진을 최고치로 보고있다.

## 2. 신기술관리 체제의 확립—QA체제의 확립

원자력 발전소의 안전성 확보를 위한 주요 활동을 보면 예비안전성분석보고서 (PSAR: Preliminary Safety Analysis Report) 작성, 품질관리 (QA:Quality Assurance) 및 최종안전성분석보고서 (FSAR:Final Safety Analysis Report) 작성으로 3대분 할수 있다. PSAR은 건설하고자하는 원자력발전소의 안전성이 여하한 방법에 의해 확보될 것이라는 구체적 방법을 제시함으로써 안전규제기관의 건설허가 발급에 기본적으로 참고가 되는 중요서류가 된다.

FSAR은 안전관련설비의 설계 분석이 거의 종료되는 시점에서 작성되며 건설된 발전소가 각종 안전규제기준을 충족시킬 정도로 안전하다는 것을 공인된 방식에 의거 세밀히 분석 입증함으로써 발전소의 상업운전을 가능케하는 서류이다

여기서 간단히 말하고자 하는 QA는 시간적으로 상기 PSAR과 FSAR 중간에 집중되는 활동으로서 안전성을 확보실현하기 위한 구체적이며 고도로 조직화된 활동을 말한다. 즉 QA란 한 발전소의 설계, 제작, 기자재의 수송, 저장, 취급시 그리고 시공 및 시험과정 전반에 걸쳐 안전성에 악영향을 미칠 일체의 인적(人的), 물리적(物

理的) 요인을 사전에 제거함으로써 궁극적으로 안전성확보를 기하고자 하는 고도의 조직적 활동이라 하겠다. 일반제품 공정에도 소위 품질보증 활동이 없는 것은 아니나 원자력 발전소의 그것과는 근본적으로 동기와 목적하는 바가 다르다. 일반 제품의 품질관리는 일반적으로 제작 공정의 End Product 질의 양부를 체크하는 것이 고작이며 양질의 제품 출고로 매상고를 높이기 위한 것이 목적이다.

또한 설령 불량품이 어느 특정 수용가에 매도되었을 경우 피해는 그 수용가에 국한되나 원자력발전소의 경우 안전성이 확보되지 못할 경우 피해의 범위는 일반 공중(公衆)에 전반적으로 파급될 가능성이 대단히 크므로 설계로 부터 건설, 시험에 이르기까지 전반에 걸쳐 인적(人的) 및 물적(物的) 품질 저해 요인을 사전에 제거하는 활동이 원자력사업자의 필수적 의무로 부과되고 있는 것이다.

QA 내용을 가장 포괄적으로 규정한 대표적 규정이 1970.6. 미국원자력위원회가 발표한 10 CFR e0 Appendix B이다.

여기에는 QA조직 및 계획, 서류(사양 및 설계도면등 일체의 안전관리 서류) 관리, 설계관리, 검사, 기록보존, 시험관리 및 감사등 18개 주요항목에 걸쳐 QA요건을 일반적으로 규정하고 있다. 물론 QA의 궁극적 책임은 원자력사업자에 있으며 상기 Appndix B 내용을 충족하는 QA 계획을 전력회사가 별도로 작성 시행해야 한다.

우리나라의 경우 고리원자력 1호기의 계약이 WEICO와 Turn-key계약으로 되어있는 만큼 QA 책임 역시 WEICO 측에 있다.

그러나 계약상의 책임의 WEICO에 있다 하더라도 이 분야말로 우리가 직접, 깊이 관여해야 할 분야가 아닌가 생각한다.

그 이유는 첫째 계약자측은 계약상보증기간까지만 보증할 정도 즉 최소한의 품질수준만을 확보하려고 하는 이 통상에인데 반하여 우리로서는 발전소 수명기간인 30년간에 걸친 신뢰도 확보가 더욱 중요시 되기 때문이며 둘째 QA 체제

야말로 우리에게 새로운 기술관리체제 이므로 그 기술을 하루속히 흡수하여 우리나라에 적합한 QA체제를 개발 정착시켜야 할 필요성이 있기 때문이다. 사실상 초기는 QA에 관한 한 황무지였다.

아직도 미흡하기는 하지만 독립된 QA 부서가 편성되어 있어 꾸준히 노력하고 있는 것은 장차 이를 위하여 다행한 사실이라 하겠다.

앞으로 QA체제를 조속한 시일내에 완벽한 상태로 정비하여 후속기의 품질관리에 더욱 깊숙히 관여하기 위하여 다음 몇가지점을 강조해 두고자 한다.

첫째, QA조직의 확장과 분야별 QA기술자의 양성 확보가 시급한 문제로 다루어져야 할 것이다.

둘째, 당면한 고리 1호기의 품질보장을 기하고 후속기에 대비한 훈련을 위해서도 각종 주요 기기의 제작 및 시험과정에 빠짐 없이 QA 기술자를 파견 입회시킬 수 있는 적절한 조치가 강구되어야 할 것이다.

이 경우 대부분의 주요기기가 해외에서 제작되느니 만큼 해외제작공장에 QA기술자를 상주시키는 QA기술자의 해외상주제가 더욱 바람직하다.

셋째, 자체 QA계획안을 수립하여 고리 1호기의 건설과정을 통하여 시험해가면서 보완 정비하여 후속기 건설의 품질보증을 확보 해나가야 할 것으로 사료된다.

### 3. 실비정산 공사에 따른 문제점

사실상 원자력 발전소와 같이 공기가 길고 건설지점의 지점조건에 대한 불확실성, 안전규제조항의 변경가능성등이 존재하는 사업에 있어서 완전 고정금액 계약을 체결한다는 것은 불가능한 것이다. 고리 1호기의 경우 미국 및 영국 분 주기기는 고정계약금으로 되어 있으며 현장 토건공사 및 영국군 기자재(機資材) 일부는 실

비정산 기준으로 계약되어 있다.

실비정산(Cost Base)의 개념은 각종 불확실성 요소가 존재하는 분야에 대하여 계약자가 실제로 성실히 수행한 용역 및 물자대를 실비로 지불한다는 개념으로서 계약당사자 쌍방의 위험부담을 줄이기 위한 것이다. 그러나 계약수행 과정에서 Cost Base의 정의 해석상 많은 문제점이 야기될 수 있다. 실비정산 공사분의 설계변경에 따른 공사비 부담 책임문제가 한가지 예라 할것이다.

설계변경 요인을 분석해 보면 천재지변등 소위 불가항력적 요인으로 인한 설계변경과 설계용역회사의 판단 잘못으로 인한 것으로 나누어 볼 수 있다. 전자의 경우 설계변경에 따른 추가경비의 부담문제는 논의의 대상이 되지 않는다. 후자의 경우 즉 설계용역회사의 판단 잘못에 따른 설계변경으로 인한 추가경비 발생시 그 부담문제는 상당한 논쟁의 대상이 될 수 있다.

이 경우에도 설계변경의 내용 및 그 결과가 사비에 미치는 영향에 따라 달리 취급되어야 할 것으로 판단된다. 첫째 이미 완료된 설계가 시공과정에서 어떤 기술요건 충족에 미흡한 것이었거나 불확실한 설계임이 추후 밝혀져 재설계하고 이 설계에 기초한 시공을 위해서 추가경비가 불가피할 경우 아무리 실비정산 계약이라 할지라도 이는 마땅히 설계회사측 또는 계약자측 부담이어야 하고 원자력발전 사업자인 전력회사 부담이 되어서는 안될 것이라는 해석을 주장할 수 있다. 둘째 이미 완료한 설계가 제 기술적요건 충족을 위해서 충분한 설계일 경우라도 시공도중 기술적요건 충족에는 지장이 없고 공사비절감이 가능한 개선된 설계가 가능하다고 판단될 경우 이 개선된 설계채택에 따른 공사비는 실제 발생한 공사비를 실비 정산으로 전력회사가 부담하는 것이 타당하다고 해석할 수 있다.

이상 두가지 설계변경 요인에 따른 경비부담 방안은 설계담당 용역회사를 계약자측이 직접 채용하는 소위 Turn-key Project의 경우에만 해당된다.

그러나 이상과 같이 당초 설계가 잘못되어 설계변경치 않고는 기술적요건 충족이 불가능한

경우 실비정산에 있어서 추가비용은 계약자측이 필히 부담해야 하며, 개선된 설계를 채택하므로써 궁극적으로 전력회사의 이익에 기여 할 경우에만 공사비도 전액 실비 정산한다는 해석을 주장할 경우 계약자측이 사후에라도 설계과오를 과감히 노출 시정하려고 할 것인지 하는것이 문제로 남을 수 있으나 성실한 계약자라면 명예를 걸고 시정해야 할 것이다. 다만 보다 효율적으로 기술요건을 충족시킬 수 있는 설계변경 즉 궁극적으로 전력회사의 이익이 초래되는 경우에만 실비로 정산해 준다면 이와 같은 개선된 설계를 성실히 제외해 줄 것인지 하는 것이 문제된다.

#### 4. 국산화율 및 국내기술진의 참여도 제고(提高)

원자력 발전소의 부품 및 계통기기의 설계 제작, 건설에 이르기까지 국산화율의 제고 및 국내기술진의 참여도 제고는 국내기술수준의 향상 나아가서는 원자력 기술의 자립을 위해서 크게 바람직한 것이다. 그러나 국산화 목표 설정에 있어서는 원자력 발전소는 안전성과 전력경제면에서 재래식 화력발전소와는 판이한 특성을 가지고 있다는 사실에 주의해야 할 필요가 있다.

자본집약적 사업이기 때문에 고정비가 높고 연료비가 저렴(예 : 원자력 : 고정비율 70% 가변비율 30% 화력 : 고정비율 20%, 가변비율 80%)하다는 경제적 특성때문에 소기의 경제적 이득을 달성하려면 고신뢰도 운전이 절대로 필요하며(1일운전정지 연료비차이 약 10만불 정도) 이는 각 부품이나 계통의 높은 신뢰도로 뒷받침되어야만 한다.

원자력 발전소는 만일의 사고시 방사성 피해의 위험이 있으므로 정상운전중 가동할 필요가 없지만 만일 필요할 때는 언제라도 반드시 적절한 기능을 발휘할 수 있는 확실한 상태로 유지되어야 할 많은 안전설비를 갖추고 있다.

이들 설비의 신뢰도를 높이 유지하기 위해서는 부품의 신뢰도가 절대로 필요하다.

<다음호에 계속>