

국민과 함께하는 原子力

# 日本の 原子力安全

일본 原子力安全위원회 위원

사토 가즈오(佐藤一男)



「사토 가즈오」위원

## 1. 일본의 원자력 안전규제 체제

일본에 있어서 原子爐의 안전규제는 원자로의 성격에 따라서 3개의 관할기관에서 담당한다. 상업로는 통상성 산하의 자원에너지청에서, 연구로와 개발중인 원자로는 과학기술청 그리고 상선용원자로는 교통성에서

담당한다.

원자로의 인가와 규제는 多段階式이다.

첫째로 원자로를 건설 및 운영하고 자하는 자는 설치허가를 신청해야 하는데 이때의 여러 수속중에는 기본안전설계개념평가가 포함되어 있다. 그 후 상세설계와 건설계획을 착공이전에 인가 받아야 한다.

건설단계에서는 구조물, 시스템 그리고 부품에 대해서 운전허가 전에 가동전 검사를 마쳐야 하며, 또한 운전전까지 기술절차서의 인가를 받아야 한다. 원자로가 폐로가 되는 마지막 단계에서는 관계당국에 신고하며, 관계당국은 필요한 조치를 취한다. 이와 같이 원자로는 전수명기간에 걸쳐 관계당국의 규제를 받는 것이다. 원자로 이외의 시설 즉 핵연료 시설, 폐기물 처분장 등은 원칙적으로 같은 절차를 밟는데 과학기술청이 이를 관장한다.

이러한 규제활동을 감독하기 위하여 원자력안전위원회(NSC)는 원자력

안전규제에 관한 기본정책을 검토, 토의하고 결정한다.

NSC는 관계당국에게 보고서들을 요구하고 적절한 지침을 주고있다. 특히 원자로 설치허가를 발급할 때나 수정할 때에는 관계당국은 법에 따라 당국의 평가결과에 관하여 NSC의 의견을 요청해야 한다. 또 NSC는 중대사고가 발생했을 때는 이 사고에서 반영할 교훈이 무엇인가를 찾아내기 위한 조사를 실시한다.

이와같은 안전규제에 관한 기본 접근 방법은 모든 서방국가에서 대체로 공통된 것인데 ALARA원칙 즉 일반 주민들을 원자력시설로 부터 잘 보호하고 격리시킨다는 개념에 따라 주로 주민과 작업원을 심한 방사성장애로부터 보호한다는 목적이다.

이러한 모든 규제활동은 최신의 지식과 경험에 바탕을 두어야 한다.

NSC는 원자력시설, 환경 및 폐기물 처리에 대한 안전연구 프로그램을 수립하였으며 이 프로그램은 일본에

# 60年代初 경수로安全性 연구계획 수립시행 세계 최초 「시스템 붕괴시험」

## 제9회 한국原産 · 原子力학회연차대회

있어서 조직적이며 잘 편성된 연구활동을 증진시키고 있다.

원자력안전은 분명히 개별국가의 책임에도 불구하고 또한 중대한 국가적 관심사이다. 일본은 IAEA와 OECD/NEA에 적극 참여하고 있는데 한국이 작년부터 NEA의 회원국이 된것을 이 자리를 빌어 축하한다. 일본은 세계 주요 원자력국가들과 안전규제정보 교환을 위한 양국간 협정을 맺고 있으며, 그외에도 많은 원자력안전연구 분야에 있어서 양국간, 다국간 협력을 하고있다.

## 2. 안전문제와 대응방안

### 2.1 역사적 회고

1974년 원자력실험선 「무쓰」의 시운전시험중 차폐설계의 결함이 나타났는데 이것이 일본의 원자력규제체계의 방향설정을 심도있게 검토하는 계기가 되었다. 여러가지 결론중 하나는 원자력규제는 원자력의 개발활동으로부터 독립하여야 한다는 것이었다. 그래서 원자력안전위원회가 1978년에 설립되었다.

일본이 원자력을 개발 이용하는 과

정에서 안전성과 관련되는 많은 문제점과 봉착하게 되는데 그 가운데 중요한 몇가지를 소개하겠다.

60년대초 「안전 프로젝트」라고 부르는 일본의 경수로 안전성 연구계획이 있었다. 이 계획에 따라 세계최초의 시스템 붕괴시험(System Blowdown Experiments), 노심스프레이(Core Spray)시험, LOCA(냉각제상실사고)중의 원자로격납용기 반응 분석시험등이 수행되었다. 불행하게도 이 계획은 그다음 단계의 보완연구 없이 종결되었다. 60년대 후반에서 70년대 초반까지 미국서는 비상노심냉각장치(ECCS)의 실효성에 대한 논의가 확산되고 있었다. 이 논의는 일본에도 큰 영향을 끼쳐 일본은 원자로의 안전성 확보를 위한 자체 안전 연구의 필요성을 한층 더 인식하게 되었다.

체계적인 연구프로그램이 원자력위원회에 의해서 수립되고 이를 원자력안전위원회에서 인수하였다. 이때 착수한 연구계획에는 ROSA계획(냉각제 상실사고의 시험연구) 및 2차원, 3차원 大型再冠水效果實試驗計劃(Large Scale Reflood Test Program) 등이 포함되어 있다. 일본국내의 안전성 연구와 외국의 연구결과를 연계시켜 여러가지 인허가평가지침이 개발되고 또 보완되었는데 여기에는 「경

수로 방사성 사고 관련 인허가 평가지침서」 및 「경수로 비상노심 냉각장치의 기능 및 성능 검사관련 인가평가지침서」가 포함되고 있다. 후자의 1974년 초판은 미국의 지침서 10 CFR50 부록K와 유사하나 그후 1981년에 그때까지 축적된 안전연구결과를 반영하여 전면 개정하였다.

1979년 미국 TMI사고는 일본과 전세계에 큰 영향을 주어 원자력안전위원회는 즉각 사고조사 및 교훈도출을 위한 전문가 특별위원회를 개설했다. 특별위원회는 52개항의 고려 및 개선해야 할 사항을 지적하였으며 NSC가 그 추진방법을 여러 형태로 재조정하였다.

여러가지 대응조치 중에는 원자력 시설 주변지역에 있어서의 비상대책이 있는데 이 대책은 현재 국가재해대책관리의 일환으로 되어 있다. 중대 사고, 인적요인(Human Factor) 및 소규모 LOCA 등에 관한 연구가 시작 또는 강화되었다.

지침서와 기준기술이 재검토되고 또한 신규개발 되었는데 여기에는 보다 단일화된 「경수로 안전기능 중요도 분류에 관한 인가평가지침서」가 포함되어 있다.

1986년의 소련 체르노빌사고 발생으로 원자력안전위원회는 이사고 조

## 89年1月 「후쿠시마」原電사고시 교훈 얻어 「임펠러」, 「링」 등이 破碎

### 국민과 함께하는 原子力

사를 위한 특별위원회를 소집했다. 위원회는 주로 비엔나 사고대책회의(Vienna Post Accident Meeting) 및 INSAG-1에 제출된 보고서를 토대로 사고를 분석한 보고서를 제출하고 7개의 교훈을 제시했다. 이 교훈에는 소련측 보고서가 부정확하며 소련의 안전문화의 빈곤이 나타나고 있는 현 시점까지 대단히 중요하다고 생각되는 내용이 광범위하게 기술되어 있다.

해외의 사고뿐 아니라 일본국내에서도 이에 못지않은 어려운 경험을 겪었다. 1989년1월1일 「후쿠시마」 제2 발전소 3호기(BWR 1,100Mwe)에서 원자로냉각제 순환펌프의 비정상 진동이 발견되었다. 운전원은 펌프의 속력을 약간 줄임으로써 이 진동을 위험수준 이하로 낮출 수 있었으나 5일후에는 진동이 위험수준을 훨씬 넘어섰고 낮출 수가 없어서 원자로를 정지시키고 펌프를 점검했다. Internal Shaft베어링의 용접링이 떨어져 나와 몇 조각으로 부서져 임펠러(Impeller), Casing Cover 및 펌프사푸트에 손상을 입힌 것으로 확인되었다.

이 사고의 원인에는 두가지 면이 있었다. 링과 베어링사이의 용접에 결함이 있었고 용접부위에서 시작된 금속 피로에 의한 균열(Cracks)이 주위로 확산 되었다. 링의 동조(同調), 주파의

2차, 3차 고조파(高調波)가 링 상·하 사이의 압력파로 인한 진동의 2차, 3차 고조파와 동시에 일어남으로써 과도한 진동을 일으켰고 피로균열을 촉진시켰다. 그 원인과 필요한 교정작업은 실물크기의 모형으로 확인하였다. 30kg 이상의 금속이 날개(Impeller)와 링(Ring)에서 떨어져 나와 작은 조각과 가루가 되어 냉각계통과 노심으로 흩어졌다.

사고의 대부분은 소유주인 東京電力의 장기적이고 각고의 노력끝에 복구되었다.

1991년2월9일 전형적인 S/G튜브파열사고가 「미하마」原電 2호기(PWR 500Mwe)에서 발생했다. 사고가 진행되는 동안 일부기기가 제대로 작동되지 않았으나 운전원이 재빨리 교정 또는 대체조치를 취했다. 그리고 원자로 냉각정지를 시켰는데 이때 미량의 방사능이 2차계통의 증기와 함께 대기로 누설되었다. 한 튜브 피로균열확대로 인해 두끝이 완전히 갈라진 것이 발견되었다.

파손된 튜브를 지지해 주어야 할 진동지붕(樑)이 조립과정에서 비틀어져 설계위치에서 이탈된 것이 발견되었고 이것이 파손된 튜브의 탄성진동을 유발한 것이었다. 튜브파손의 원인과 과정을 규명하기 위하여 여러가지 실

험과 분석 연구가 행하여졌는데 물론 여기에는 발전소의 다른 기기의 이상 여부 확인작업도 포함되어 있었다. 또한 사고의 과정을 분석하고 실험하는데는 ROSA-LSTF(냉각제상실사고 시험장치-대형 비정상 시험장치)를 사용했는데 이는 일본의 지식과 분석 기술이 이러한 유형의 사고를 평가하는데 충분한가를 확인하는 목적도 있었다.

튜브의 진동과 파손의 메카니즘은 예를들어 유동(Flow)으로 제작된 당시까지는 알려지지 않은 것이다. 이 현상이 발견된 후 이를 설계에 반영했다. 그러나 사고이전까지 20년 가까이 사용해온 기존증기발생기에 대해서는 아무 조치도 취하지 못했었다. 이런 사실들이 기기의 갱년노화(更年老化)문제와 최신기술을 기존발전소에 어떻게 반영(Feedback)시키느냐는 문제를 야기 시켰다.

### 2.2 현안과 과제

경수로의 중대사고에 관한 축적된 기술 그리고 앞에서 예시한 운전경험들은 일본이 원자력 안전확보를 위하여 지금까지 사용해온 체계를 재고하도록 만들었다. 원자력 안전확보의 기본 책임이 운전기관에 있다는 점이 재강

# 91年2月 「미하마」原電에서 튜브의 진동과 파손의 메카니즘 파악의 계기제공

## 제9회 한국原産 · 原子力학회연차대회

조되고 이러한 관점에서 NSC와 규제 당국은 두가지 중요정책을 발표했다.

1992년5월1일 NSC 산하 총괄위원회는 “중대사고 대응대책관련 사고관리” 보고서를 제출했다.

이 보고서는 일본에 있어서의 원자력발전소의 리스크는 이미 수용수준 이하로 잘 관리되고 있지만 적절한 사고관리대책으로 더한층 리스크를 줄일 수 있다고 강조하면서 피인가자(Licensees)들이 사고관리대책을 준비하도록 요청하였다. 이 조치는 지금까지의 사고관리책은 중대사고 예방단계(Phase I)에서 피인가자가 고려를 하고있고 효과도 있다고 보지만 이러한 사고예방 관리대책이 사고경감 단계(Phase II)까지 확대되어 기본적으로 원자로 격납용기의 기능을 완전하게 유지하는데 초점을 맞춰야 한다는 내용이었다. 이것은 최근의 안정성연구 및 확률론적 안전평가에도 파급되어 격납용기출입구, 격납용기내로의 용수(물)주입, 수소관리 및 다른 가능한 대책들의 효용성을 검토하게 되었다.

NSC는 이 보고서를 승인하고 정책성명을 발표하였는데 전력회사가 사고관련계획서를 수립토록 강력히 촉구하는 것과 규제당국이 안전관리에 관한 역할을 명백히 하고 그 절차를

위원회에 보고하도록 지시하는 내용이었다.

규제당국은 신속한 반응으로 행정명령을 발표했는데 사고관리계획을 운전회사의 책임의 일부로서 하되 강제적이 아닌 자발적 조치로 하도록 한 계를 분명히 하였다.

현재 운전회사는 이 원칙에 따라 활동하며 규제당국이 그 결과를 평가중이며 이어서 결과보고서가 위원회에 제출될 예정이다.

규제당국은 NSC산하의 원자로 안전검토위원회가 「미하마」原電 S/G튜브 파열사고 조사보고서에서 지적한 갱년노화문제에 관하여도 회사측의 모든 발전소에 대하여 최신의 기술과 기술기준을 반영하여 정기검사를 수행하도록 명령을 하였다.

이 검사는 매년 몇개의 발전소에 대하여 구발전소 우선순위로 수행될 것이고, 그 결과는 규제당국에 보고되며 적절한 대책이 강구될 것이다.

또 NSC는 전술한 현행 규제절차 평가조사 보고서에 대한 권고안도 제출할 것인데, 현재의 여러가지 인허가 평가지침서에 포함된 안전성 요구항목의 개념 및 구조에 초점을 두고있다.

전문위원회가 구성되어 보다 체계적이고 항구적이며 합리적으로 여러

가지 요구항목을 재편성하도록 검토하고 있는 중이다.

### 3. 결론

이상의 현안외에도 일본은 원자력 시설의 안전을 유지 개선하는 여러가지 활동을 하고있다. 많은 PWR발전소의 S/G를 새로 설계 제작된 것으로 교환하여 신뢰성을 향상시키고자 하는 것은 그 하나의 實例이다. 또 다른 예로는 「록카소무라」의 재처리공장이 당초 계획보다 지연될 것에 대비하여 BWR발전소에 사용후 핵연료 건식저장시설을 인가건설케 하는 것이다.

안전이란 모든 사람이 수용할 수 있는 절대적인 것이 아니므로 새롭고 보다 어려운 문제가 등장할 가능성은 늘 존재한다. 따라서 현재의 기술, 방법, 기준규제 및 실천방법이 개선될 여지 또한 항상 존재한다.

이러한 것을 분명히 유념하면 NSC와 규제당국 그리고 일본의 운전회사들은 가능한 안전문제를 도출하고 그것을 해결하여 국제적으로 그 경험을 공유하는데 최선의 노력을 다할 것이다.