日本의 原子力安全確保 目標

日本原子力安全委員會의 事故調査特別委員會는 原電의 安全確保에 만전을 기하기 위해서 7개 항목에 대해 더욱 노력하여야 한다고 지적했다. 또한 原子力安全委員會는 최근 이를 기초로 하여 原子力施設 등 安全研究年次計劃을 개정, 새로운 연구항목을 추가·확충했다. 다음은 輕水炉를 중심으로 한 새로운 安全研究年次計劃의 概要와 지금까지의 安全研究 成果이다.

計劃의 概要

1987년 5월에 정리된 소련 원자력발전소 사고조사 특별위원회 보고서에 근거하여 원자력안전위원회는 1987년 9월부터 연차계획의 재평가에 착수, 지난 4월말에 개정계획을 작성했다.

원자력시설 등 안전연구 연차계획이 대상으로 하고 있는 것은 水爐(輕水爐, 重水爐), 高速增殖爐, 재처리시설 등 핵연료시설, 방사성물질 수송, 원자력시설의 耐震性, 원자력시설 등에 대한 확률론적 안전평가 등 6개 분야이다. 이번의 개정은 水爐가 중심이며, 방사성물질 수송 및 확률론적 안전평가가 확충되었다.

주된 개정항목은 水爐의 경우 중대한 돌발사고연구로서 경수로에 대해 ① 美國 TMI 2號爐 데브리베드의 일본 국내에서의 분석, ② 사고시 격납용기의 거동에 관한 연구, ③ 사고관리대책의 평가 등 세가지 과제가 추가되었다. 중수로에 대해서는 ATR 특유의 노심손상거동에 관해 국제협력으로 爐內實驗을 실시하게 되었다.

또 人的因子, 맨·머신·인터페이스에 관한 연구에서는 안전운전이 추가되었다. 이것은 플랜트의 상태를 보다 정확히 파악하는 방법의 연구이다.

방사성물질 수송의 안전성에 관한 연구에서는 低準位 방사성물질을 대량으로 선박수송하는 연구가 추가되었다. 확률론적 안전평가의 연구에서는 ATR 實플랜트의 운전경험데이터의 분석과 시스템신뢰성 평가방법에 Go-Flow 절차의 개발이 추가되었다.

이번 연차계획의 연구개요는 다음과 같다.

[輕水爐]

1. 事故時

사고시의 안전연구는 지금까지도 중점적으로 실시되어 오고 있으며, 수많은 事象을 해명해 왔다. 小破斷LOCA를 중심으로 중대한 돌발사고에 이르지 않는 광범위한 사고시 안전연구, 연소가 진행된 핵연료의 反應度 사고시 거동 등에 대해서 앞으로의 진전이 기대된다.

事故荷重下의 압력용기, 배관, 격납용기의 안

전성 연구는 안전확보의 면에서 거의 종료되었다. 앞으로는 사고시의 구조안전설계를 보다 합리적인 것으로 하는 연구가 필요하다.

핵연료에 대해서는 照射燃料에 관한 燃燒度依存性의 데이터가 충분하지 않다. 예비실험, 실험설비의 정비는 이미 개시되었으며, 시급한 실험연구가 요망된다.

냉각재의 熱水力거동에 대해서는 BWR의 LOCA는 安全余裕度가 밝혀져 있으나, PWR 小破斷 LOCA의 열공학적 안전성 연구를 추진할 필요가 있다. 따라서 중요 열수력현상의 모델링 및 해석코드를 개발하여 종합실험으로 코드의 검증·개량 후에 實爐事故時의 열수력거동을 예측·평가한다.

大破斷LOCA에 관해서는 再冠水事象의 안전평가 해석상의 보수성을 定量化한다. 따라서 小型·大型 再冠水實驗에 의해 현상의 최적예측모델의 조기완성을 도모할 필요가 있다.

운전안전에 대해서는 사고시의 안전확보를 더 한층 향상시키는 관점에서 맨·머신·인터페이스의 기능향상 연구가 중요하다. 지식공학 등의 기술을 맨·머신·인터페이스에 적용하기 위한 방법론의 연구를 한다.

2. 重大한 돌발사고시

중대한 돌발사고시의 안전연구는 美國 TMI 2號爐의 사고를 계기로 많은 관심을 모아 왔다.

미국에서는 소스텀평가를 현실적으로 하여 규제에 반영시킬 것을 목적으로 실험과 해석을 실시하고 있다. 일본에서는 입지평가사고의 재평가가 실시되고 있으며, 경수로의 안전여유도를 평가한 기술자료를 수집하기 위해 중대한 돌발사고시의 안전연구 필요성이 대두되고 있다.

대규모의 실험은 실시, 경비의 유효이용, 데이터 취득을 단기간에 할 수 있다는 관점에서 일본 국내에서 실시하지 않고 국제협력이 바람직하다고 평가하고 있다. 국내에서는 보완적 실험 및 해석코드를 정비하고, 이것을 종합화하여 중대한 돌발사고시의 현상 해명과 소스텀 평가해석을 한다.

핵연료에 대해서는 국제협력으로 입수한 데이터의 평가를 위해 NSRR을 사용한 핵연료손상실험과 파편형성실험이 필요하다. 이들 데이터는 핵연료손상과정 해석코드의 개발, 검증, 평가에 사용한다.

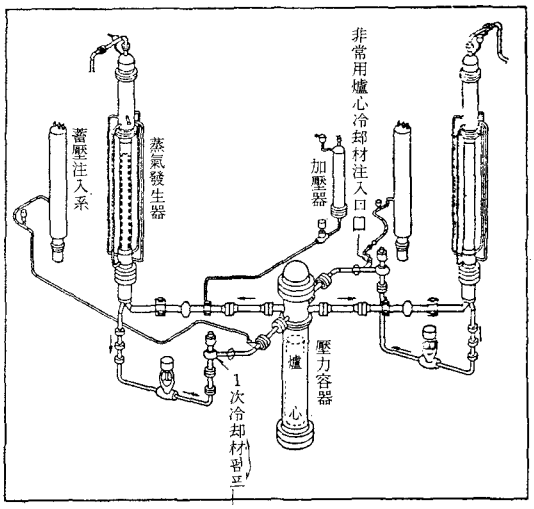
중대한 돌발사고시의 FP거동은 소스텀을 평가하는데 필수적이다. 즉, FP거동에 관한 연구가 가장 중요한 항목이다.

대규모실험의 데이터는 국제협력으로 입수하고, FP거동에 대해서는 해외의 실험계획에 참가한다. 이밖에 TMI 2號爐의 파편분석평가도 한다.

일본 국내의 데이터베이스 축적과 입수한 데이터의 상세한 평가를 위해 NSRR을 사용한 爐內實驗 및 FP와 구조물의 반응을 조사하는 爐外實驗이 필요하다.

또한 FP제거기구의 定量化實驗도 중요하다. 이 데이터를 이용하여 원자로시설내의 FP방출, 이행, 제거를 평가·해석하는 코드를 개발해서 소스텀평가를 한다. 아울러 사고관리대책에 대해서도 평가하는 것이 가장 중요한 과제이다.

중대한 돌발사고시의 원자로구조기기류의



〈그림 1〉 LSTF系統 개념도

건전성과 격납용기의 건전성은 중대한 돌발사고가 원자로 압력용기내에서 수습되는 것과, 환경에 방출되는 FP量이 문턱値內에 억제되는 것을 나타낸다. 중대한 돌발사고시의 動的 및 熱的負荷에 의한 구조기기류의 건전성에 대한 영향평가, 격납용기에서의 漏洩定量化와 파손모드의 검토에 관한 실험은 국제협력을 기대할 수 없기 때문에 일본 국내에서 실시할 필요가 있다.

[重水爐]

1. 事故時

사고시의 안전연구는 지금까지도 중점적으로 실시되어 왔다. 앞으로는 공학적 안전시설을 포함한 플랜트구성기기가 가져야 할 안전여유도의 평가 방법을 확립할 필요가 있다.

LOCA時의 핵연료거동은 경수로 핵연료의 연구성과를 적용하는 것이 가능하다. FP에 대해서도 마찬가지이다.

2. 重大한 돌발사고시

ATR은 압력관구조인 점 등 경수로와 다른 면이 있으나 연료, 냉각재를 비롯해 많은 공통점이 있다. 따라서 노심구조가 영향을 입는다고 예상되는 열수력거동, 노심냉각성, 압력관내에서 핵연료의 용융거동, FP거동 등 압력관구조를 고려한 보완적인 실험과 경수로용 코드의 개량·적용이 필요하다.

'86年度의 安全成果

[輕水爐]

1. 사고시

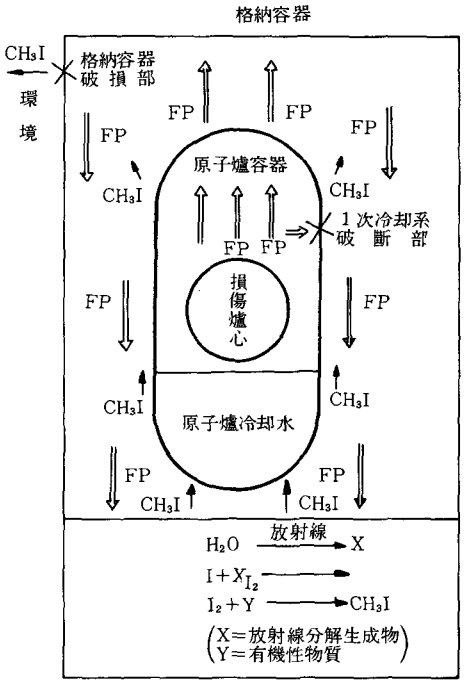
反應度事故時의 핵연료거동에 관한 시험연구로 1988년도 부터 日本原研의 NSRR을사용한 照射完了燃料의 파손거동 등에 관한 실험을 개시하여 연료파손거동의 연소도 의존성을 해명할 예정이다.

1986년도에는 이 연구를 위한 改造를 실시하여 高温高壓의 조건에서 가압연료의 파손 문턱値를 명확히 하였고, 狹幅피치 번들體系에서의 연료거동, PCI완화형 신형연료의 파손거동을 해명했다. 체르노빌사고의 조사대응으로서 NSRR에서 지금까지의 데이터를 사용하여 파괴력 발생량을 평가하였다.

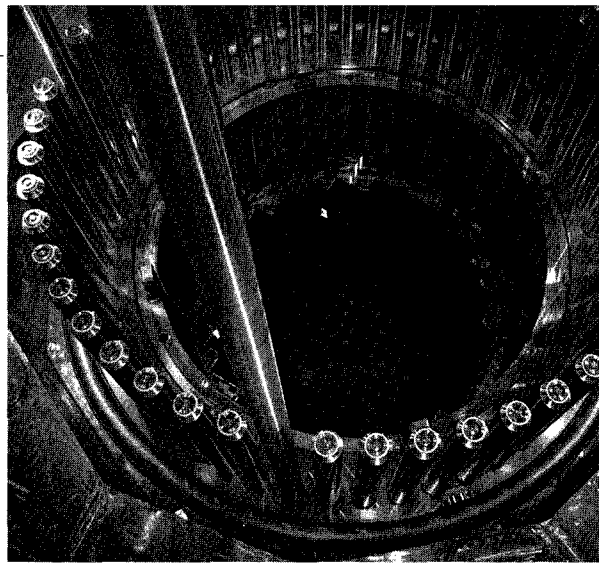
원자로 사고시의 FP 요오드의 거동에 관한 연구는 사고조건하의 휘발성 요오드化物의 생성과 이행과정을 조사하여 방출거동을 모델화하고 안전평가방법의 확립을 목표로 하고 있다.

日本原研은 1987년도에 프랑스에서 휘발성 요오드核種의 생성량, 생성속도의 데이터를 수집하여 사고시의 요오드 생성·이행모델 구축을 계획하고 있다. 그러기 위해 1986년도는 예비실험으로서 감마선照射에 의한 요오드化메틸의 생성과 분해를 확인했다.

PWR사고시 열공학적 안전성의 연구는 日本原研이 小型의 正常二相流루프(TPTF)에 의한 개별효과실험, 大型의 非正常루프(LSTF)에 의한 시스템 효과실험 및 해석코드 개량을



〈그림 2〉 노심손상사고시 FP의 거동



추진하고 있다.

TPTF실험에서는 9MPa 이상의 압력이면 스러그流가 발생하지 않음을 밝혔다. LSTF실험에서는 小破斷LOCA시의 노심노출은 단기간이며, 연료봉 온도상승은 100K에 불과함이 밝혀졌다.

연료체의 사고시 再冠水에 관한 연구는 日本原研이 小型 再冠水 시험장치를 사용한 모의실험에 의해 再冠水과정의 노심내 蓄水거동 및 열전달거동의 물리모델을 작성했다. 1986년도는 被覆管材質, 그리드스페이서의 相違로 인해 노심냉각이 달라짐을 밝혔다.

원자로용 전선류의 건전성에 관한 연구는 日本原研이 실시해 왔다. 지금까지의 絶緣抵抗 평가에서는 實環境을 모의한 酸化분위기에서 照射할 필요가 있음을 알았다.

원자로 耐壓部 破壞沮止거동의 평가는 선박기술연구소가 가압열충격시 압력용기의 파괴저지조건에 대한 해명을 추진하고 있다. 1987년도에는 가압열충격실험방법을 확립함과 동시에 破壞力學 파라미터의 계산방법을 완성했다.

2. 重大한 돌발사고시

노심손상사고시의 핵연료와 FP의 거동에 관한 연구는 日本原研이 OECD, 美國, 프랑스, 서독 등의 계획에 참가하여 협력하고 있다. 일본 국내에서는 NSRR을 사용한 爐內 연료손상실험 및 FP거동실험을 실시하고 있다.

1986년도에는 번업燃料에서의 FP방출데이터, 배관에서의 FP再浮遊데이터 등을 다른 나라의 대규모 실험에서 입수했다.

일본 국내의 爐內 핵연료손상 및 FP거동실험으로 NSRR에서 PWR型 핵연료용융실험을 했다. 연료봉을 2,200℃ 이상으로 가열했을 때의 용융피복관거동이 산화정도에 따라 다름이 밝혀졌다.

손상노심 냉각실험은 NSRR內의 캡슐에서 파편粒徑이 두종류인 混合粒推積層을 사용한 실험을 실시했다. 드라이아우트熱流束이 均一粒徑의 경우 예측치보다 낮아지는 경향을 가짐이 밝혀졌다.

[重水爐]

1. 통상시 및 과도변화시

MOX연료의 건전성 및 거동에 관한 照射試驗은 動燃이 통상운전시의 照射試驗으로 ATR原型爐「후겐」等에 MOX연료를 장전하고 1만5천~3만2천MWD/T를 향한 照射試驗을 실시했다. 照射後의 시험결과에서 크리드성분은 거의 소프트크리드 뿐임을 확인하였다. 또한 연료봉의 신장, FP가스방출량에 대해서는 2이산 우라늄연료와 거의 차이가 없음을 확인했다.

또 부하변동에 관한 照射試驗用으로 1986년도에 「후겐」照射用 세그멘트연료를 제조하여 미국 할딘爐에서 9,300MWD/T까지 연소를 했다. 아울러 부하추종시험을 6회 실시했다.

2. 重大한 돌발사고시

動燃은 압력관형 원자로의 노심손상 사고평가로 ATR用으로 개발한 안전해석코드를 사용하여 체르노빌사고를 분석했다. 실시한 것은 核特性解析, 초기상태해석, 動特性解析 등이며 계산코드의 精度, 적용한계를 구했다. 특히, 핵특성해석에서는 소련의 발표치와 잘 일치함이 확인되었다.