

우리나라 중대사고 장/단기 연구계획 수립에 관한 연구

박 군 철
(서울대학교 원자핵공학과)

I. 서 론

원전 가상사고중 중대사고는 발생가능성은 극히 희박하지만 발생시 극심한 피해를 초래할 수 있는 사고로써 그 심각성과 현상의 복잡성때문에 그간 많은 연구가 수행되어 왔다. 특히 TMI-2 사고이후에 중대사고 대처의 필요성을 인식한 미국 NRC는 중대사고 연구계획을 수립하고 안전성확보를 위한 여러가지 규제조건 및 정책을 제시하였다.

따라서 국내에서도 이러한 중대사고에 의해 야기되는 제반 현상을 현상학적으로 이해하고 또한 이를 해결하기 위한 우리나라 장/단기 연구계획 수립이 시급하다. 이를 위해 그간 미국에서 수행되어 온 중대사고 연구계획을 검토하고 일본 및 유럽 선진각국의 연구현황을 조사하였다. 그리고 국내 각 기관에서 수행된 연구현황과 특히 표준화사업을 통해 도출된 국내 원전의 중대사고에 대한 문제점을 바탕으로 우리나라 실정에 타당하고 국제적으로도 선진적인 연구계획을 제시하고자 한다.

II. 미국 SARP계획 검토

미국은 WASH-1400의 중대 사고에 대한 연구 결과나 TMI-2 사고평가로부터 사고 조건이 실제 기준 사고의 제한치를 넘을 수 있음이 밝혀졌다. 이에 NRC는 중대사고 대처를 위한 일련의 연구 계획 및 법제적 개정 작업을 착수하게 되었다. 이에 따라 1983년에 SARP(Severe Accident Research Plan) [1]라 이름한 중대사고의 현상학적인 이해 증진을 위한 주요 연구계획을 수립하였다. 그 후 1985년에는 중대사고 정책안을 통해 중대사고 관련문제 해결에 대해 NRC의 입장을 표명하였으며, 동시에 정책 개발 실행에 대한 개요 및 SARP와의 관계를 정립하였고, 중대사고 현상과 관련된 기술적 난제를 정의하고 해결하기 위한 산업체와의 기술적 연계를 확립하였다. 그리고 이러한 연구와 검토가 진행됨에 따라 얻어진 결과 및 NRC의 수행사항에 근거하여 1986년에는 SARP의 개정판[2]이 발간되었다. 1988년에는 중대사고 문제 종결을 위한 종합계획[3]이 제출되었고, 이 중 일부로써 그간 수행된 연구들을 종합하고 향후 몇 년간 미국의 중대사고 연구의 수행방

항 및 목표를 제시하기 위한 최종 개정 SARP가 1989년에 수립되어 현재 연구가 진행중이다. 참고로

미국에서 수행하였거나 수행할 실험을 연구목적 및 수행기관별로 보면 표 1과 같다.

표 1. 미국의 중대사고 관련 실험현황

실험실	수행기관	실험내용
PBF SFD	INEL	<ul style="list-style-type: none"> • 노내 종합실험으로 중대사고시 노심 및 FP거동 조사 • FBF 원자로 in-pile tube설치 • 2000-200°K 온도범위에서 노심손상 거동 • 수소 발생시간 및 양 • Post-Irradiation Examination
ACRR DF	SNL	<ul style="list-style-type: none"> • 노심거동에 대한 모델개발 및 검정에 필요한 자료수집 • ACRR에 central irradiation space에 capsule설치 • SFD 및 FLHT 등 대규모 종합실험에 규명될 수 없는 변수 조사 <ul style="list-style-type: none"> a) FP 방출 및 이송 과정 b) 핵연료 손상 진행과정 c) 수소발생과정 d) 사고에 따른 최종 손상상태 및 심각도
NRU CDBP	캐나다 Chalk River 연구소	<ul style="list-style-type: none"> • 2700°K 이상까지의 연료봉 거동 및 수소생성 조사 • 실제 크기의 핵연료봉을 사용한 종합실험 • scaling 효과가 큰 열수력거동 및 Zr 산화의 축방향 평가 • MT(Material) 및 FLHT(Full Length High Temperature)실험
DCC	SNL	<ul style="list-style-type: none"> • 노심파편층의 냉각특성 연구 • ACRR의 irradiation space에 실험장치 설치 • 노심파편층의 dryout 열유속 측정
Zry-4 물성실험	PNL	<ul style="list-style-type: none"> • 고온에서의 Zry-4 산화현상 조사 • 1300-2400°C에서 Zry-4의 증기에 의한 등온산화율 측정
FITS	SNL	<ul style="list-style-type: none"> • 증기폭발시 발생하는 기계적 에너지 및 수소량 측정 • ex-and in-chamber experiment • steam explosion 현상 규명

1. 초기 중대사고 연구계획

최초 SARP에서의 접근방법은 발전소의 안전도 평가와 적정 비용의 개념에 의한 안정성 증진이었다. 안정성평가에서는 크게 중대사고의 발생 가능성 및 사고결과 평가의 두가지 관점에서 수행되었다. 구체적인 연구계획은 13개로 분류되어 실행되었으며 [1], 이들은 1985년까지 상당부분이 완결되었거나 1986년 및 1987년에 걸쳐 나머지 분야도 종결될 예정이었다. 따라서 이들을 재조정하여 개정된 연구계획

[2]에서는 크게 안전성평가 연구와 현상학적 기초연구로 구분하여 안전성평가 연구에는 위험도 감소 및 측정, 중대사고 경위해석이 포함되었다.

위험도 감소 및 측정연구에 관련하여, source term 재평가 계획에서는 FP방출 및 이송 모델로써 STC-P 전산체제 [4]를 1986년에 완성하였다. 부가적으로 이 연구계획에는 6개의 기준 발전소의 위험도평가 보고서인 NUREG-1150의 준비가 포함되어 있는데 이 보고서는 1987년에 발간되어 그간 중대사고 관련

분야에 많은 영향을 끼쳤다.

현상학적 연구는 압력용기 내부와 외부에 관한 연구로 구분된다. 압력용기내부는 용융 및 FP 유출현상에 대해 실험과 코드 개선 및 검증이 수행되었고 용기밖은 유출된 용융노심과 격납용기와의 상호작용에 대한 연구로써 노심/콘크리트 상호작용, DCH, 수소 거동, 노심 파편물 및 물의 반응등에 관한 실험 및 해석을 통해 격납용기의 건전성에 위험이 되는 현상들을 분석하였다. 또한 격납용기 거동연구로써 격납용기 성능 및 기기 유지능력 연구를 포함하였다.

2. 개정 중대사고 연구계획

상기 기술한 연구계획에 의해 지난 몇년간 실험 및 해석을 통해 압력용기 내 용융 진행 및 이에 따른 수소생성, FP 방출에 대한 이해가 크게 증진되었고 압력용기 외부에서의 현상도 대부분 파악되었다. 따라서 1989년 NRC는 그간의 연구를 토대로 보다 불확실성을 감소하고 몇가지 미해결 분야를 해결하여 최종적으로 중대사고에 관한 제반 issue들을 종결하기 위하여 1988년에 발표된 중대사고 연구 종결을 위한 통합계획[3] 중 SARP부분에 대해 개별목표와 예상결과 및 일정에 대한 상세 계획을 수립하였다. 개정된 SARP는 IPE, CPI등의 통합계획 실행에 적절한 단기계획과, NRC의 사고관리 활동을 지원하고 중대사고에 관련된 제반 문제점의 종결을 위한 장기계획으로 구성되어 있다.

(1) 단기 계획

이 계획은 향후 3년을 목표로 노심용융사고시 격납용기의 성능을 평가할 수 있는 기술적 근거를 마련하고 격납용기 성능 개선의 효율을 평가할 능력을 개발하고자 하는데 그 목적을 두었다. 구체적인 내용으로는 Scaling Analysis, 감압 및 DCH, 손상노심에 냉각수 주입 및 중대사고 해석모델의 현황과악 및 사용에 관한 연구등이 포함되어 있다.

(2) 장기계획

이 계획에서는 중대사고 규제 지침을 마련하고 또한 중대사고 관련 문제점을 종결하기 위해 광범한 연구 계획으로 중대사고의 기본적인 현상파악과 위험도의 정량적 평가를 위한 방법개발에 그 목적이 있다. 자세한 연구내용은 다음과 같다.

1) Issue L1; 중대사고 모델링

2) Issue L2: In-Vessel Core Melt Progression

및 수소 생성

3) Issue L3; Fuel-Coolant Interaction (In-Vessel)

4) Issue L4; Molten Core-Concrete Interaction (MCCI)

5) Issue L5; 핵분열생성물 거동 및 이송

III. 기타 선진국 연구현황 및 계획

일본은 1970년대 이후 원자력개발이 본격화되고 원자력안전에 관심이 고조되면서 안전연구에 역점을 두어 1976년 안전연구 년차계획[5]을 수립함으로써 안전성 연구가 체계적이고 효율적으로 수행되게 되었다. 특히 TMI-2 사고이후 중대사고에 관련된 연구로써 JAERI와 대학이 중심이 되어 독자적으로 NSRR연구용 원자로를 이용한 실험을 수행하고 있고 국제협력에 의해 외국의 대규모 실험 data를 입수하여 자체 해석코드의 개발 및 검증에 힘쓰고 있다. 또한 1984년 미국의 DOE의 요청에 따라 TMI 복구를 위한 연구개발에 공동참여 함으로써 INEL과 TMI부지에 22명의 연구원을 파견하여 자료수집 및 공동연구를 수행하였다. 자체 기초연구로써 TMI-2 사고의 방사능 누출경로 해석과 1차계통 및 격납용기 열수력해석을 위해서 일련의 THALES 코드[6]들을 개발하였다. 그리고 대학에서는 증기폭발 및 기타 중대사고 기본현상을 파악하기 위한 소규모 실험 및 해석들이 수행되었다. [7]

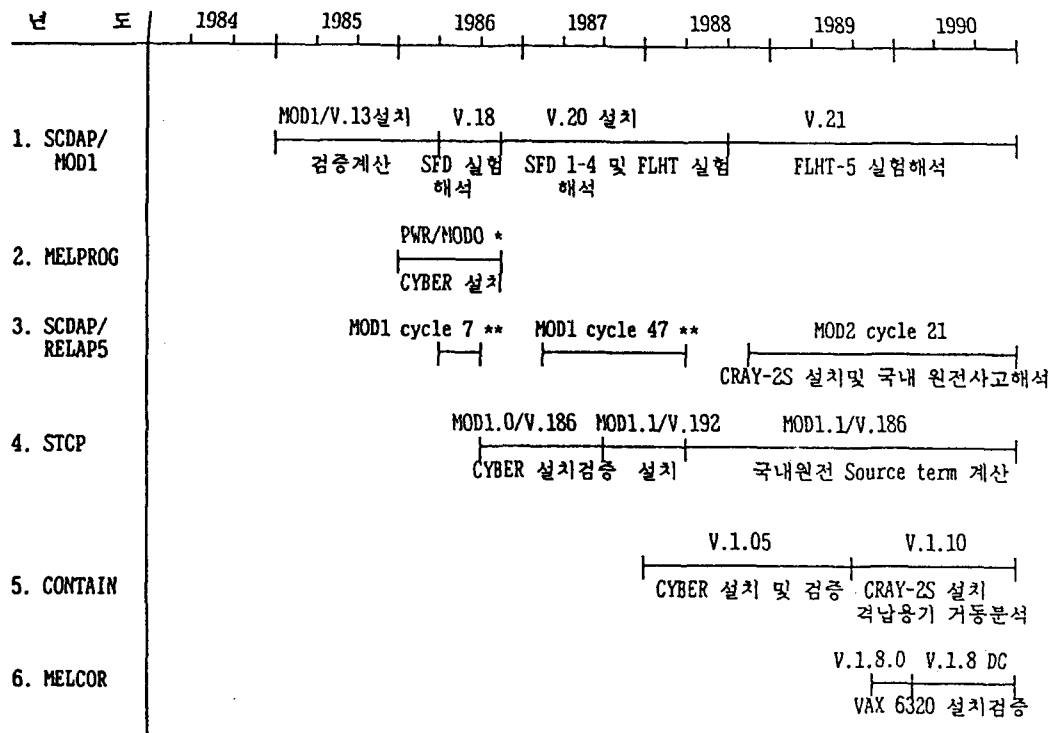
프랑스는 TMI 사고이후 FP거동 및 노심손상에 관한 많은 전산코드 개발과 실험연구를 수행하였다. 이를 토대로 CEA는 보다 실제적인 조건에서 노심으로부터 격납용기로 FP가 방출되고 이송되는 과정을 연구하기 위해 PHEBUS-FP 실험계획[8]을 수립하였다. 이 계획은 일본과 미국도 참여하기로 결정하였고 우리나라도 참여할 예정이며 코드 검증을 위한 실험자료를 생산하기 위해 노심, 1차측 loop 및 원자로 건물 내 aerosol 및 FP의 방출 및 이송과 손상후기단계에 관한 현상을 연구하고자 하는 실험이다. 그리고 이러한 실험자료를 토대로 사고 초기부터 환경으로의 방사능 유출 과정을 모사하기 위해 개발된 전산체제로는 CEA/IPSN에서 개발된 ESC-ADRE system[9]이 있다.

독일은 손상핵연료 거동을 연구하기 위해 CORA

실험장치를 제작하였고 이 실험에서 노심용융후 많은 양의 수소가 발생하며 온도가 상당히 증가함이 실측되었다. 그리고 격납용기 건전성에 직접적 위험이 될 수 있다고 판정된 수소연소와 관련하여 수소분포 및 거동연구와 ignitor 유용성을 검증하기 위해 대형 HDR 격납용기 실험을 수행하였다. 또한 중대사고시 수일후 압력상승에 따른 격납용기 파손을 방지하기 위해 stainless steel deep-deep-bed fiber filter가 부착된 venting system을 제작하여 현재 6개의 독일 LWR에 설치하였다. 마지막으로 PWR Biblis B 원전에 대한 위험도 평가를 위해 WASH-1400에 입각한 Phase A 연구와 보다 실제적인 Phase B 연구를 수행하였다. Phase B 연구에서는 방법론 개발, 사고 경위 분석, 노심 용융 현상을 위하여 증기폭발에 관한 연구도 수행되었다[10].

영국은 정부와 전력 회사가 공동으로 투자하여 F. P 화학 작용, debris 냉각 능력, DCH 및 기타 실험

에 주력 하고 특히 UKAEA는 SCDAP 코드의 검증 및 개선, FP 거동 해석 및 실험, 그리고 독자적인 해석코드 개발을 담당하고 있다. Winfrith 연구소에서는 증기 및 aerosol의 거동을 예측 하기 위해 FA-LCON 실험장치를 제작하여 1차측 및 격납용기 등에서의 FP 방출 및 거동을 측정하였다. 그리고 증기 폭발을 포함한 MFCI 현상을 규명하기 위해 MFTF 실험장치를 제작하여 corium이 sodium이나 물, 구조물과 반응 할 때 발생 되는 여러가지 현상을 실측하였다. 이러한 증기 폭발을 포함한 각종 실험 결과를 토대로 검증 개발된 전산 체제는 증기 폭발의 해석모델로써 CHEMES[11], FP 방출모델의 FAER-EL 및 격납용기 거동의 AEROSIM-M 코드등이 있다. 현재는 미국 EPRI의 LACE program 및 프랑스의 PHEBUS 계획에 참가하여 자료를 보완하고 있고 특히 1996년 Winfrith에서는 대형 증기폭발 실험을 계획하고 있다.



* : Sample run 도중 오류 발생

** : CYBER 전산기종의 기억용량 부족으로 설치못함

표 2. 한국원자력연구소 중대사고 연구 계획

IV. 국내 기관별 연구현황

1979년 미국의 TMI 사고이후 우리나라는 국내 원전에 대해 NRC가 제시한 TMI 후속조치에 따른 보완사항의 검토 및 평가에서 처음으로 중대사고의 개념과 향후 연구의 필요성이 도입되었다. 그 후 1984년 한국원자력연구소가 US NRC와 중대사고연구참여에 관한 협정을 체결함으로써 본격적으로 연구가 수행되었다. 이에 따라 국내에서는 PBF, NRU, ACRR등의 시험로에서 수행된 중대사고 실험결과 자료들을 입수하여 검토하게 되었고, 중대사고해석용 전산코드인 SCDAP/MOD1[12]을 도입하여 이 코드의 평가, 개선 및 응용등에 주력해 왔다. 그동안의 연구현황은 표 2와 같다. 그리고 source term 평가에는 STCP 코드[4]를 사용하여 고리 1호기 및 영광 3,4호기의 전원상실사고 및 소형파단 냉각재 상실사고등을 해석하였다.

한편 대학에서는 기술자문 및 결과검토등으로 처음에는 자체연구보다는 연구소의 연구활동의 지원에 그쳤으나 최근에는 연구비의 확보로 서울대, 과학원 및 포항대등에서 증기폭발 및 DCH 연구등 일부 기초연구가 수행되고 있고 전문 대학인력의 저변확대로 인해 PRA 기법개발 및 해석등에 관해 활발한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 과학재단의 지원으로 4개 대학에서 종합적인 기초연구를 수행하게 되었다. 각 대학에서 수행되었거나 수행 중인 연구분야는 표 3과 같다.

국내 산업체인 한전 기술연구원과 KOPEC에서는 기본연구보다는 원전 안전성확인과 표준화사업에 관련하여 source term 평가와 PRA 수행에 역점을 두고 있다. 특히 그간 KOPEC에서는 표준화 2단계사업에서 고리 3,4, 호기 및 영광 1,2호기 PSA Level 1 수행하였고 현재 영광 3,4, 호기 IPE를 수행중이다.

2. 국내 원전의 중대사고 취약성

국내 전호기에 대한 TMI 후속조치로 미완결되거나 추진중인 항목을 해결하기 위해 1986년 TMI 실무위원회를 각계 대표들로 구성하여 TMI 중요 8개 항목의 요건에 대해 정책적인 국내방침을 결정토록 위임하였다. 그리고 당시 원자력 안전센터에서도 1988년 전호기 TMI 후속 조치 종합 검토[13] 및 국

표 3. 국내 대학별 중대사고 연구 현황

대 학	연 구 내 용
서울대	1. 증기폭발 · 해석모델 개발 · α mode failure의 확률 계산 · 혼합 실험
과학원	1. 격납용기 해석 2. Direct Containment Heating(DCH) · 실험 및 해석 3. Source term 계산 4. 확률론적 평가 전산코드 개발 5. Debris bed coolability 연구 6. Scaling Analysis
포항대	1. 격납용기 해석 · CORCON 코드, condensation heat transfer 2. DCH Experiment 3. Aerosol Transport
홍익대	1. Fuel Coolant Interaction(FCI) · 해석 및 실험
제주대	1. Aerosol Transport

내 규제요건 합리화 방안연구등을 통해 미비 사항 및 개선 사항들을 지적하였다.

또한 국내 원전을 대상으로 발전소 위험도를 평가하고 추후 건설될 발전소 제1호 선정의 비교기준 및 설계개선안을 정립하기 위해 국내 최초로 원자력 7, 8, 호기를 모델로 하여 KOPEC과 한국원자력연구소가 공동으로 PRA LEVEL 1(외부사상 제외)을 수행하여 설계의 취약성을 파악하고 민감도를 분석하였다[14]. 해석 결과, 전체 노심 용융 빈도는 $5.5E-05/RY$ 로 나타났으며, 이중 소의 전원 상실($2.6E-05/RY$), 소형 LOCA ($1.2E-05/RY$) 및 원자로 정지($7.7E-06/RY$)등의 세가지 초기사상이 전체의 81.8%를 차지하였다. 그리고 불확실성 분석 결과, 95% 신뢰상한은 $1.6E-04/RY$ 로 나타났다. 그러나 이 연구는 외부사상이 제외되고 있고 Generic data를 사용하였기 때문에 개별 원전 해석이라고는 볼 수 없다. 따라서 차후 이러한 미비점이 보완되어야 할 것이다.

이러한 연구를 통해 도출된 국내 원전의 중대사고 취약점 및 개선 방안은 다음과 같다.

- 1) Man-Machine Interface를 고려한 주제어실 설계
- 2) 사고 후 시료 채취/분석 제통 개선
- 3) Living PRA 적용
- 4) 격납용기 압력 감시 제통 개선
- 5) 중대사고 개념을 포함한 운전 및 방사능 비상 계획 수립
- 6) 소의 전원 상실 사고 방지
- 7) External event 해석

V. 우리나라 장/단기 중대사고 연구계획

그간 본 연구를 수행하면서 우리나라 중대사고 관련전문가 28명(학계; 11명, 연구소; 11명, 산업계; 6명)의 의견을 조사하였고 이러한 전문가 의견과 그간 수집된 국내외 연구자료를 토대로 우리나라 향후 5년간의 중대사고 관련연구 방향을 고찰하였다.

연구계획은 장기와 단기로 구분하여 단기 계획은 향후 3년간을 목표로 현존발전소의 검토 및 표준원전의 설계에 대비하여 그간 선진국에서 많이 연구된 분야의 검토 및 짧은 연구기간으로 가능한 모델개발 등을 포함한다. 그리고 장기 계획은 향후 5년간을 목표로 실험을 포함한 기본적 현상 파악과 실험원자로의 인허가 규제를 위한 충분한 정보 제공으로 중대사고 해석 기술의 선진화를 기하고자 한다.

1. 단기 계획

단기 연구계획은 그간 국내에서 수행된 연구경험을 최대한 반영하고 나아가 다음과 같은 목표를 달성하기 위해 수행해야 할 것이다.

- 1) 선진국 연구 결과 분석 및 Data bank 구축
- 2) 국내 현존 발전소의 중대사고 취약성 도출
- 3) 표준 원전의 중대사고 대비책 검토
- 4) 소규모 단기 실험 수행
- 5) Source term 코드 검토 및 재정비

이러한 목표로서 표 4와 같은 6개의 분야에 대해 집중적으로 연구가 수행되어야 할 것이다.

2. 장기 계획

장기 계획은 향후 5년간 다음과 같은 목표로 실험을 포함한 기본적 현상을 파악 하고 실험 원자로 인허가 규제를 위한 충분한 정보를 제공하며 최종적으로

표 4. 우리나라 중대사고 단기계획

연구과제	세부과제
1. 중대사고 관련 data bank 구축	1. 국제공동연구 참여 2. 국내원전 자료수집 및 전산화 3. 수집된 data의 체계화
2. 격납용기 성능개선	1. Filtered Vent Containment 연구 2. Ignition 연구
3. Source term 코드 안정 및 표준화	1. MAAP 코드 검증 및 활용성 증대 2. TRAP/MELT version 검증 3. 전산체제 검증 및 표준화
4. PRA Level 2 평가기술 확립	1. PRA Methodology 개발 2. 전산체제 검증 및 표준화 3. Workstation version 및 관련 computer code 개발 4. Common-cause 및 external event 연구
5. 국내 원전 비상절차서 수립	1. 중대사고 경위분석 2. 원전 운전원 역할 및 효율 향상 연구 3. 각 원전별 비상절차서 작성

로 중대사고 해석기술의 선진화를 기하고자 한다.

- 1) 중대 사고 기초 현상 이해
 - 2) 중대 사고 규제 기반 제공
 - 3) 후속 원전의 안전성 확보
 - 4) 국내 중대 사고 해석 기술의 선진화
- 표 5는 장기 계획을 요약한 것이다.

VI. 결 론

본 연구는 사고 관리 체제 확립 과제의 일환으로 이러한 중대사고에 의해 야기되는 제반 현상을 현상학적으로 이해하고 또한 이들이 원전 건전성과 대중의 안전에 미칠 수 있는 영향을 고려하여 이를 해결하기 위한 우리나라 장/단기 연구 계획을 수립하고자 하는 것이다. 이에 관련하여 미국을 위시한 세계

표 5. 우리나라 중대사고 장기계획

연구과제	세부과제
1. Natural circulation 연구	1. 기초실험 2. 유사 및 축소 loop에 의한 모의실험 3. Effect of leakage, valve/pump 작동 4. 해석모델(MELPROG/T-RAC) 개선, 검증 5. Scaling effect 연구
2. 감 압 및 DCH	1. 유사 및 축소실험을 통한 scaling effect 연구 2. CONTAIN 코드 개선 3. 감압설비에 대한 cost-benefit 연구
3. Man-Machine-Interface 연구	1. 국내외 인간 오류 data 수집 및 체계화 2. 운전원의 인지 및 행위 모델화 3. 인간행동 신뢰성 평가모델 개발
4. 수소거동 및 연소연구	1. 기초실험 2. CONTAIN 코드의 수소연소모델 개선 3. 국내원전 평가
5. MFCI 연구	1. 증기폭발 실험 및 3D 모델 개발 2. 구조해석 3. debris-bed coolability 연구

각국에서 수행중인 연구 계획을 파악하고 이를 검토하여 국내 원전의 특성과 우리나라 기술 수준을 고려한 연구 방향을 모색하였다. 그리고 국내 각 기관에서 수행된 연구 현황도 파악하였고 표준화사업을 통해 도출된 국내 원전의 중대사고에 대한 문제점을 파악하여 우리나라 실정에 타당하고 국제적으로도 선진적인 연구 계획을 표 4, 5과 같이 수립하였다.

본 연구를 통해 그동안의 우리나라 중대 사고 연구는 다음과 같은 문제점이 있는 것으로 나타났다.

- 1) 연구의 체계화 부족
- 2) 실험 연구의 부족
- 3) 발전소 특유의 자료 부족

이 중에서 가장 큰 취약점은 실험연구에 대한 투자가 외국에 비해 거의 없었다. 이제 우리나라는 기술을 전수받는 단계를 넘어 국제 공동연구 및 기술의 자립화 단계를 추구하고 있다. 따라서 차후는 단순한 소프트웨어적 연구에서 보다 기본현상 파악을 위한 실험연구에 치중하여야 할 것이며 이에 대한 중요성을 인지하여 산업계 및 국가에서 적극 투자하여 국내 원전의 안전성을 크게 향상 시킬 뿐만 아니라 원전 기술의 선진화를 이룩하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Lakins, J.T. and M.A. Cunningham, "Nuclear Power Plant Severe Accident Research Plan," NUREG-0900, USNRC (1983)
- [2] Marine, G.P., "Nuclear Power Plant Severe Accident Research Plan," NUREG-0900 Rev.1, USNRC (1986)
- [3] SECY-88-147, "Integration Plan for Closure of Severe Accident Issues," USNRC (1988)
- [4] Gieske, J.A. et al., "Source Term Code Package ; A User's Guide (MOD1)," NUREG/C-R-4587, BMI-2138, BCL (1986)
- [5] 이병훈, "한국과 일본의 원자력 안전연구 비교 연구," 한국원자력연구소, (1990)
- [6] Abe, K. and M. Nishi, "Development of Computer Code System, THALES, for Thermal-Hydraulic Analysis for Core Meltdown Accident," J of Atomic Energy Society (Nov.1985)
- [7] Shoji, M. and Tagaki, N., "Small-scale Vapor Explosions on a Stationary Molten Tin Cooled by Flowing Water," Bull, JSME 27, pp. 1152-1158 (1984)
- [8] Bussac, J and H. Holtbecker, "The PHEBUS FP In-Pile Test Programme," Intern, Conference on Thermal Reactor Safety (NUCSAFE '88), ANS/ENS, Avignon(F) (Oct. 1988)
- [9] Mailliat, A and J. Gauvain, "Overview of

PHEBUS Fission Product Programme,"
LWR Meeting in Mito in Japan, CEA/
IPSN (1990)

- [10] Park, G.C. and M. Corradini, "Estimates of Limits to Fuel / Coolant Mixing"
- [11] D.F. Fletcher and A. Thyagaraja, "Numerical Simulation of Two-Dimensional Transient Multiphase Mixing," Proc, 5th Int. Conf. on Num. Methods in Thermal Problems, Montreal (1987)
- [12] Allison, C.M., et al., "SCDAP / MOD1 Theory and Models," FIN A6050 (1981)
- [13] 원자력 안전 센터, "전호기 TMI 후속 조치 현황 및 계획에 대한 종합검토서", (1988)
- [14] 박원구 등 다수, "PRA를 이용한 안전성 향상 검토," 원자력 발전소 표준화 설계를 위한 조사 용역 보고서, 제9권, 한국 전력 기술 주식회사 (1988).