

## 한국원자력안전기술원 구조부지실



이 상 국\*



진 소 범\*\*

### 1. 서 론

한국원자력안전기술원은 원자력의 생산 및 이용에 따른 방사선의 재해로부터 국민을 보호하고 공공의 안전과 환경보전에 이바지하기 위하여 설립된 원자력 안전규제 전문기관이다. 1981년 12월 한국에너지연구소(현 한국원자력연구소)의 내부조직인 원자력안전센터로 출발하였으며, 1990년 법률에 의해 독립법인으로 발족하여 현재에 이르고 있다.

본 원에서 수행하는 임무는 관련법에 의해 부여된 것으로 주요내용은 원자력시설에 대한 인허가 심사 및 검사 등의 안전규제, 원자력안전규제 기술기준 및 기술 개발, 방사성동위원소 안전관리, 환경방사능 조사 및 평가, 방사선방호기술지원, 원자력관계 면허시험 관리, 원자력규제 정보관리 등이다. 또한 조직은 대내외 환경변화에 능동적으로 대처할 수 있는 전문실/팀제의 탄력적인 조직기반을 마련하였으며, 현재 5부 1센터 30실/팀 체제를 갖추고 있다. 또한 전문인력 250명(83.3%), 지원인력 50명(16.7%)으로 총 300명의 인력을 보유하고 있다.

\* 한국원자력안전기술원, 책임연구원

\*\* 한국원자력안전기술원, 선임연구원

### 2. 원자력 안전규제

원자력안전규제는 모든 건설중 및 가동중 원자력시설에 대해 수행되며, 본 원은 법령과 기준을 통해 원자력시설의 안전 요건과 지침 등을 제시하고, 인허가 과정에서 설계·시공·성능 등에 대한 안전성을 평가하며, 운영하는 시설에 대해 안전하게 운영하고 있는지를 확인·감독한다.

안전규제의 대상은 원자력과 방사선을 생산하고 이용하는 모든 시설로서 표 1과 같다.

표 1 안전규제 대상시설

| 구분           | 규제대상                 |
|--------------|----------------------|
| 원자력발전소       | 운전중 16기<br>건설중 4기    |
| 핵연료주기시설      | 핵연료 가공시설<br>조사후 시험시설 |
| 연구용원자로       | 하나로                  |
| 교육용원자로       | AGN-201              |
| 방사성동위원소 이용시설 | 1,500여 업체            |
| 기타           | 20개                  |

원자력안전규제는 크게 안전심사 및 안전검사로 나누어진다. 안전심사는 사업자가 원자로 및 관계 시설에 대한 인허가 신청시 제출하는 안전성분석 보고서 및 품질보증계획서 등을 관련기술기준에 따라 심사·평가하여 신청된 시설의 설계, 제작, 건설 및 운영 등에 대한 제반 안전성을 확인하는 규제활동이다. 안전심사 대상은 발전용 원자로, 연구용 원자로, 핵연료주기시설 및 방사성폐기물 처리시설 등 원자력법의 적용을 받는 모든 시설이 포함되며, 이들 시설에 대한 건설 또는 운영허가 심사는 부지의 적합성과 구조물, 계통 및 기기의 설계안전성, 환경영향, 운전안전성은 물론 운영시의 가상사고 및 과도상태시의 대처능력 등에 대해 수행된다. 그 중 원자력규제의 핵심이 되는 발전용 원자로에 대한 안전심사는 크게 신규원전에 대한 건설 및 운영허가 심사와 가동중 원전에 대한 허가사항의 변경에 따른 변경허가 심사로 구분되며, 이 밖에도 원자력법은 사업자의 편의를 위하여 건설허가 신청전 부지사전승인 신청을 허용하고 있어 필요시 이에 대한 심사도 수행하게 된다.

신규원전에 대한 건설허가 심사에서는 사업자가 허가신청서의 첨부서류로 제출하는 예비안전성분석보고서, 방사선환경영향평가서 및 건설에 관한 품질보증계획서 등에 대한 심사를 통하여 신청된 원전의 시설이 관계법규 및 기술기준을 충분히 충족시킬 수 있도록 설계기준, 설계방법 및 설계절차 등이 타당한지의 여부와 원전 시설의 환경에 대한 영향 및 이의 최소화 대책이 적절한지 여부를 확인하게 된다. 신규원전에 대한 운영심사에서는 최종안전성분석보고서 및 운영기술지침서 등에 대한 심사를 통하여 최종 설계내용이 허용기술기준을 충족시키며 비상운전절차서 등 제반 운전지침이 설계대로 확립되어 있는지를 확인함으로써 원전 운영에 따른 제반 안전성을 평가하게 된다. 가동중 원전에 대한 운영변경허가 심사는 규제요건의 변화나 기술 발전에 따라 설비의 보완, 변경 또는 운영절차 변경 등이 요구되는 경우 관련법에 의거 원자력사업자의 신청에 따라 안전심사를 수행하는 것이며, 사업자로부터 신청되는 운영변경허가 심사 사항중 중요하다고 판단된 사항들에 대해서는 전문가 회의 및 사업자와의 인허가 회의를 거쳐 여

러 차례의 심사실의와 답변 또는 설명회를 통해 안전심사가 수행된다.

한편, 원자력시설에 대한 안전검사로써는 건설중 원자력시설에 대한 사용전검사, 가동중 원자력시설에 대한 정기검사, 건설 및 가동중 원자력시설과 원자로 주요부품 제작자 등에 대한 품질보증검사, 원자로 주요부품에 대한 제작검사, 주재관실에서 수행하는 일상검사 및 원자력시설에 주요현안이 발생할 경우 수행하는 수시검사 등이 있다. 사용전 검사는 건설중 원자력시설의 시설 및 성능이 원자력관계법령에서 규정한 기술기준에 적합한지 여부를 검사하게 되며, 정기검사는 가동중 원자력시설의 성능이 원자력관계법령 및 기술기준에 적합하게 운영되고 있는지와 원자로 시설의 내압, 내방사선 및 기타 성능이 사용전검사에 합격한 상태로 유지되고 있는가를 확인하게 되고, 품질보증검사에서는 원자력관계 사업자의 품질보증계획 이행상태 및 품질활동의 적합성을 검사하게 된다. 또한 제작 검사는 원전의 수명기간중 원자로 주요부품의 건진성을 유지하기 위하여 국내에서 생산되는 원자로 주요부품의 제작과정에서 적용되는 기술요건의 이행상태 확인을 통해 문제점을 기기 설치이전에 시정토록 하여 원전의 안전성을 향상시키는 주목적을 두고 있으며, 일상검사는 과학기술부와 안전기술원에서 파견한 주재관실 요원들이 각 원전 현장에 상주하면서 발전소의 안전운전을 감시하는 활동으로, 매일 발전소 운전현황을 파악하고 또한 발전소의 운전중에 원자로 정지 또는 중요한 안전계통에 문제가 발생할 경우 이를 조사한 후 그 결과를 보고하여 필요한 조치가 취해질 수 있도록 한다. 수시검사는 원자력관계시설에서 특별한 문제가 발생하거나 기타 국내의 원자력시설 등에서 발생한 유사사건들을 참고로 하여 특별히 검사를 수행할 필요가 있는 경우에 수행된다.

구조부지실에서 수행하는 규제업무는 원자력시설이 위치하는 부지, 기초지반 및 안전관련 구조물에 대한 안전심사 및 안전검사를 통해 부지의 적합성과 구조물의 설계·건설·운영에 대한 안전성 확인이며, 주요 내용은 다음과 같다.

부지 적합성 및 기초지반의 안전성 평가를 통해 부지의 기상·수문·지질·지진 특성과 지리적 특

성 등을 검토하고 현장확인을 통하여 원자력시설 부지로서의 적합성을 평가한다. 인허가 심사시 구조물의 안전성 평가를 통해 원자로격납건물 등 안전관련 구조물이 관계법규 및 기술기준에 적합하게 설계되었는지를 평가한다. 건설 및 운전중에는 구조물의 안전성 평가를 통해 안전관련 구조물이 기술기준에 적합하게 건설·운영되고, 사용기간중 구조적 건전성이 유지되도록 관리하고 있는지를 평가한다.

### 3. 원전부지 지진감시

#### 3.1 개요

국내 원전의 지진 대비체계는 부지선정, 설계, 건설 및 운영의 4단계로 구분되며, 각 단계별 규제 기준을 엄격히 적용함으로써 미래에 예상되는 최대 잠재지진에 대한 안전성을 확보하고 있다. 그러나 국내의 현행 설계지진 관련 규제기준은 많은 부분 미국의 기준을 준용하고 있어, 원전부지에서 실측된 자료를 이용한 지진특성 평가기준의 개발이 요구되어 왔다. 또한 영월 및 경주지진 이후 정부는 원전 지진안전대책 강화의 일환으로 원자력 안전규제 전문기관에서 독립적으로 지진을 관측하도록 지시한 바 있다(1997년).

이에 한국원자력안전기술원은 4개 원전부지를 중심으로 공학적 의미를 갖는 지진자료를 계속하고 이로부터 원전 지진안전성 평가의 기반이 되는 지진 동 감쇄식 및 부지고유 응답스펙트럼을 개발하며, 강진 발생시 지진계측자료를 이용하여 신속히 구조물 피해를 평가할 수 있는 원전구조물 지진피해 평가체계 구축을 위한 종합계획을 수립·시행 중에 있다.

#### 3.2 원전부지 지진관측망

1998년에 고리 및 월성 원전부지의 지진관측소와 기술원의 지진관측센터를 연계하는 지진관측망을 구축한데 이어 1999년에 영광 및 울진 지진관측소를 구축함으로써 원전부지 지진관측망의 기본적인 골격이 완성되었다. 이들 4개 원전부지 지진관측소의 설치지점 정보 및 배경잡음 특성은 2000년도 원자력안전백서에 기술되어 있다.

원전부지 지진관측소의 기본 관측장비는 Q4128 기록계와 EpiSensor 가속도 센서이며, 2000년에는 원전부지 인근 지역에서 발생하는 지진에 대하여 발생위치 및 규모 결정의 정확도를 높이고, 원전부지 고유의 지반특성 분석에 필요한 자료를 확충하기 위하여 4개 지진관측소에 광대역 속도센서(STS-2)를 추가로 설치하였다. 그림 1은 본원의 원전부지 지진감시망 구성체계도이고, 그림 2는 지진관측자료 예이다.

#### 3.3 통합지진관측망 구축

과거에 우리 나라의 지진관측은 기상청이 주도해 왔으나, 1990년대에 들어서면서 한국지질자원연구원, 한국원자력안전기술원, 한전전력연구원, 대학 등 여러 기관이 각자의 고유한 목적에 따라 지진관측에 참여하기 시작하였다. 이에 지진관측망 운영주체가 다변화됨에 따라 기상청, 한국원자력안전기술원, 한국지질자원연구원, 한전전력연구원의 4개 기관은 국내 지진관측망의 중복투자를 해소하고 지진관측재원 및 지진자료의 효율적 이용을 도모하기 위하여 1999년에 지진관측망 운영기관 협의회(이하 협의회)를 발족하였다.

협의회는 2000년 정기협에서 4개 기관의 지진관측망을 하나로 묶는 통합지진관측망(KISS; Korea Integrated Seismic System) 구축을 의결하였다. 이에 따라 한국원자력안전기술원은 원전부지 지진관측망과 협의회 참여기관의 지진관측망을 연계운영할 수 있는 통합지진관측 시스템을 구축하였다. 이로써 원전부지 고유 지진특성 평가에 필요한 지진자료를 원활하게 확충할 뿐만 아니라 지진의 발생위치 및 규모 결정 정확도를 향상시킬 수 있게 되었다.

#### 3.4 원자로 격납건물 지진피해 평가 프로그램 개발

강진에 의한 원전 주요 구조물에 발생한 피해상황은 검사원의 현장 조사에 의하여 평가된다. 이를 위해서는 많은 시간과 인력이 소요되며, 신속한 피해평가가 무엇보다 중요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 원자로 격납건물 지진피해 평가 프로그램 개발을 시작하였다. 이 평가 프로그램은 원전부지

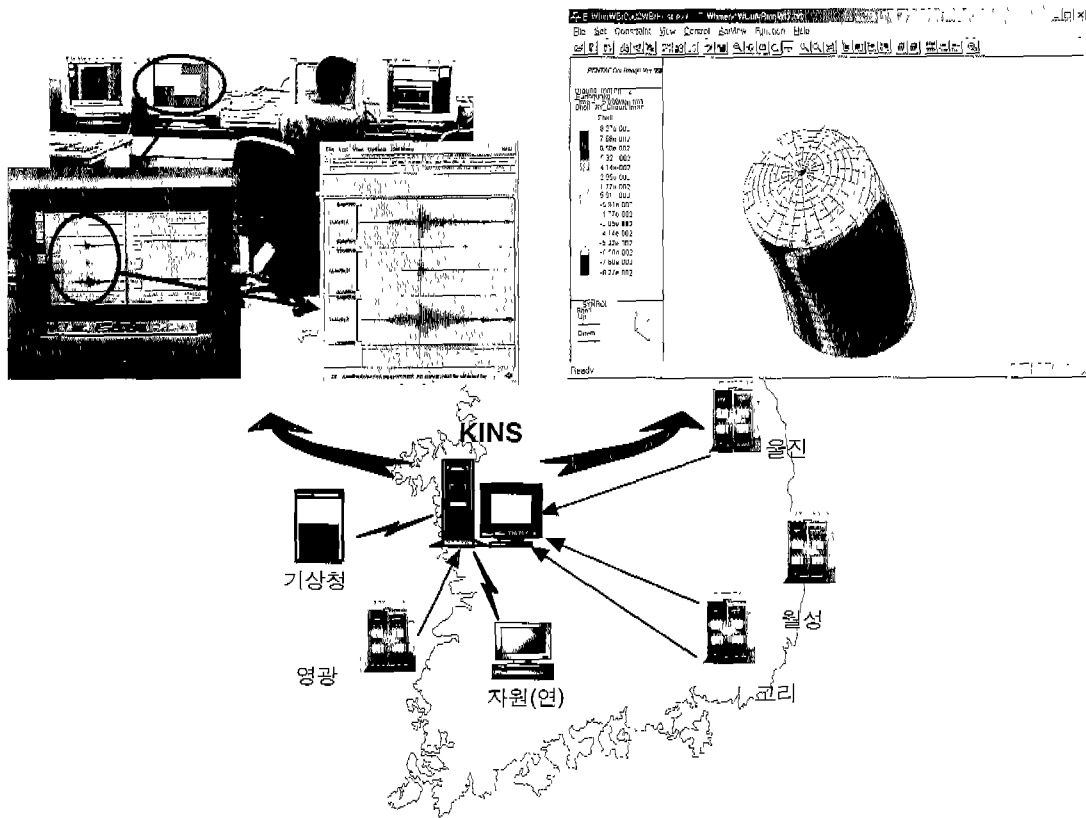


그림 1 원전부지 지진감시망 구성체계도

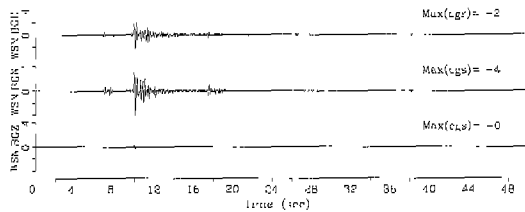


그림 2 1999년 6월 2일 지진(규모 3.4) 관측자료 (월성관측소)

에서 실제 계측된 지진동을 입력하여 격납건물에 발생한 피해상황을 예측함으로써 주요 점검부위 및 집중 점검대상을 선정할 수 있는 자료를 제공한다.

2000년에는 1차년도 연구로서 원자로 격납건물 3차원 탄성 내진해석 및 동영상 재현 프로그램을 개발하였다. 이들 프로그램은 2차년도에 소성 및 열화를 고려함으로써 보다 실제 상황에 부합하는 프로그램으로 발전시킬 예정이다.

### 3.5 향후계획

2001년부터는 그 동안 축적된 지진계측자료를 이용하여 원전부지 고유 지진특성 분석이 시작되었다. 2001년에는 국내 지진의 강지진동 특성을 분석, 2002년에는 강지진동 감쇄공식 개발, 그리고 2003년에는 원전부지 고유 응답스펙트럼 개발이 예정되어 있다. 이 연구결과는 그 동안 원전 지진안전성 평가에 적용되어 온 외국의 지진특성자료의 적합성 평가 기준을 제공할 뿐만 아니라, 일부는 직접 적용이 가능할 것으로 예상된다. 다만, 아직까지 원전의 설계 지진에 상당하는 크기의 지진으로부터 계측된 자료가 없어 앞으로 지속적인 개선이 필요하다.

또한 2000년에 개발된 3차원 탄성 내진해석 및 동영상 재현 프로그램을 3차원 비탄성 내진해석 프로그램으로 발전시킬 예정이며, 여기에는 소성뿐만 아니라 구조물의 열화, 균열 등을 반영하여 현

실적인 해석이 가능하도록 할 예정이다.

#### 4.2 연구성과

### 4. 구조 안전성 평가 규제기술 개발

#### 4.1 연구목표

원자력 발전소가 위치하는 부지와 안전관련 계통 및 기기를 수용, 지지 및 보호하는 구조물의 안전성에 관한 안전규제기술을 개발, 보완 및 정비하여 원자력 시설의 안전성을 확보할 목적으로 수행하고 있으며, 최종목표는 다음과 같다.

- 1) 원자로격납건물 극한내압능력 검증기술 개발
- 2) 열화안전성 및 구조건전성 평가/규제요건 기술개발
- 3) 부지적합성 규제기술개발 및 부지관련 설계입력 DB 구축
- 4) 내진안전성평가 규제기술개발 및 내진설계·검증 DB 구축

지질 및 지진재해도 분야에서는 계기지진 목록 작성, 주요 지진원 확인 및 특성 평가, 지진동 감쇄식 평가 및 원전부지 기초지반의 조사방법 및 설계입력자료 조사를 수행하였다. 지진해일 분야에서는 기존의 지진해일 평가모델을 비교·분석하고 국내 원전 지진해일 평가요건(안)을 수립하는 지진해일 평가방법의 분석과 원전부지의 지진해일에 대한 안전성을 평가하기 위한 검증 프로그램을 개발하고, 다양한 검증방법을 도입하여 검증을 마쳤으며 현재는 올진 원전에 대한 적용평가를 수행중에 있다. 격납건물 극한내압능력 분야에서는 압력단계별 모델시험 측정결과와 비리 수치모델에 의한 예측치를 비교하였으며, 국내 표준형원전 격납건물에 대한 3차원 극한내압능력을 분석하였다. Round-Robin Standard Output 지점에 대한 실험값과 예측값을 비교한 결과 KINS의 예측성평가 실현결과에 매우

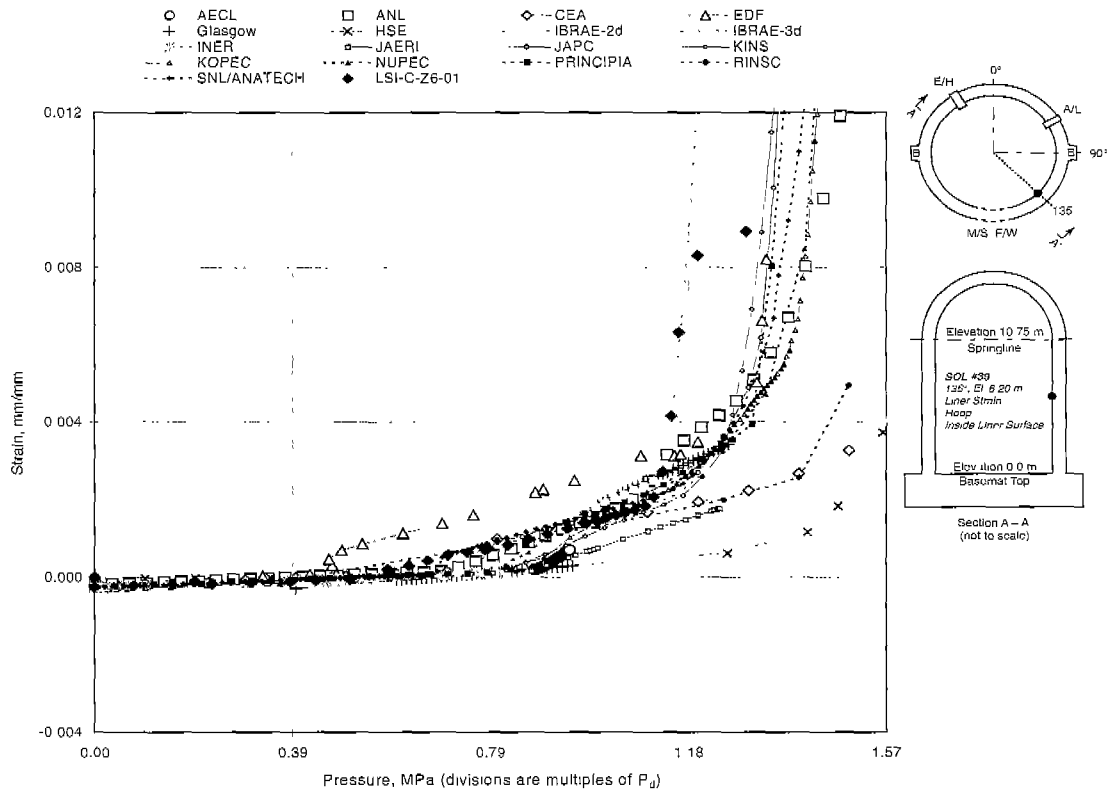


그림 3 Hoop Liner 변형률

근접한 것으로 평가되었으며, 그 결과는 그림 3 및 그림 4와 같다. 그림 5와 그림 6은 국내 표준형 원

전의 3차원 해석모형을 나타낸 것이다.

원전구조물 일화 및 구조건전성 검증체계 구축

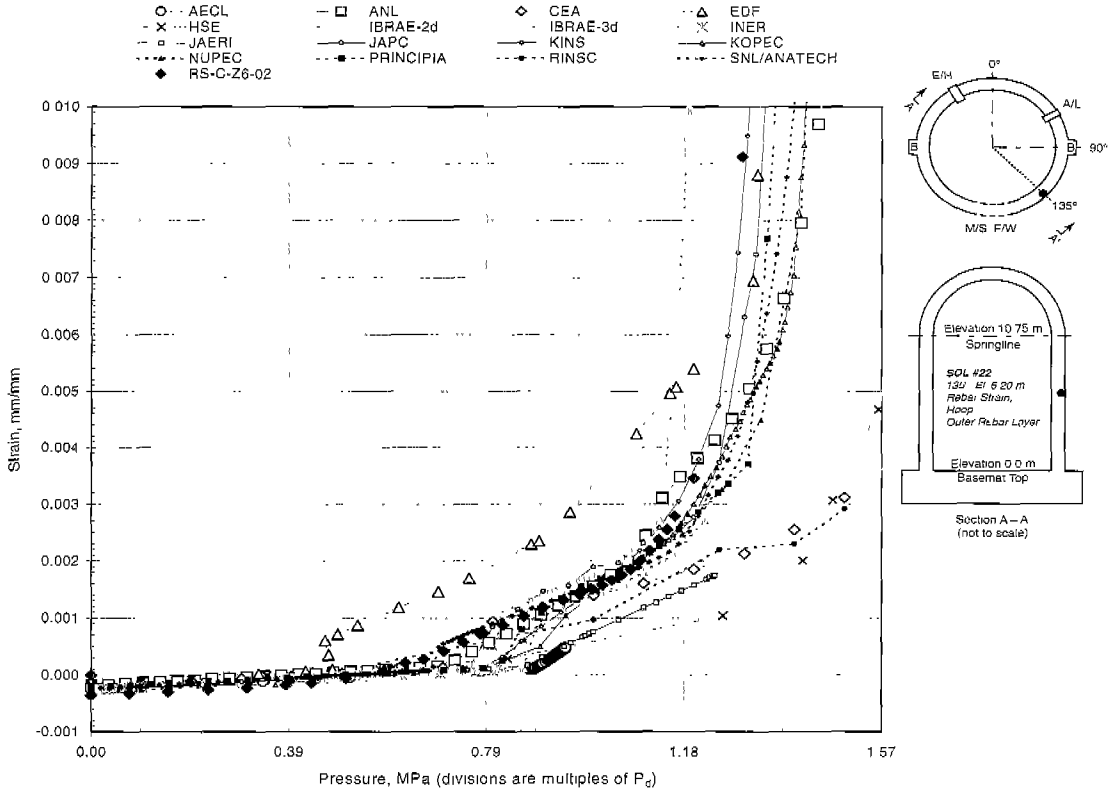


그림 4 Hoop Liner 변형을

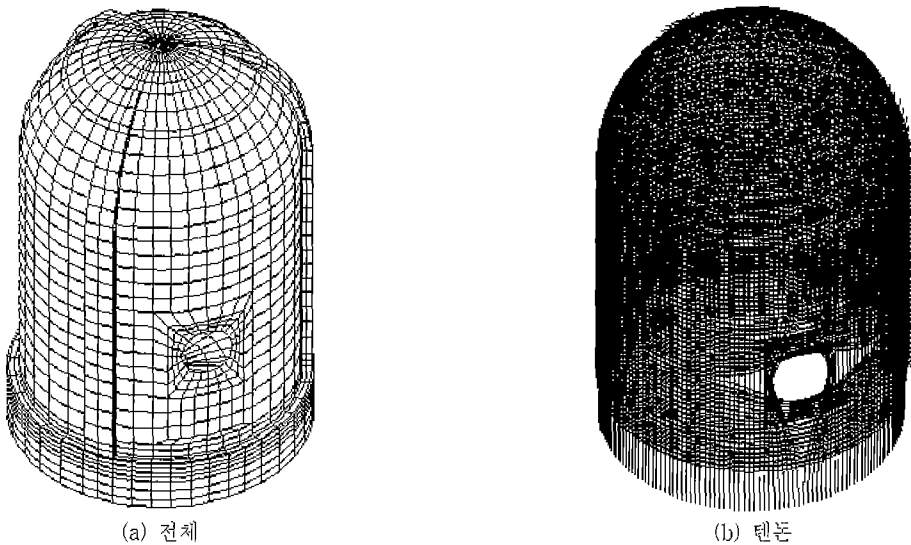


그림 5 표준형 원전 3차원 해석 모델 1

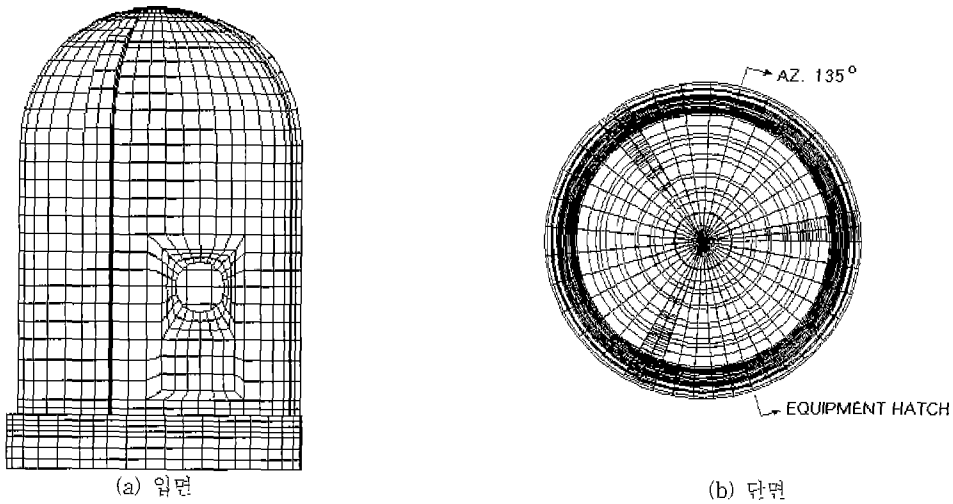


그림 6 표준형 원전 3차원 해석 모델 2

분야에서는 열화요인별 사용수명 예측모델을 평가하고 포스트텐서닝 시스템에 대한 평가모델 등 열화·손상 확인방법을 정립하고, 가동중 원전구조물의 잔존수명 예측방법을 개발하였다. 내진안전성 제평가 분야에서는 USI-46 해결방안 및 확률론적 내진안전성평가 방법론에 대한 종합분석, 그리고 원전별 내진 설계 및 검증 현황을 종합평가하였다.

## 5. 지진 안전성 평가기술 개발

### 5.1 연구목표

본 과제는 과학기술부가 그 동안 국내에서 수행하고 있던 지진관련 연구개발사업을 '00년 3월에 통합·재 기획하여 '00년 4월부터 '06년 3월까지 추진할 계획이며, 안전기술원이 주관하여 지질자원연구원, 전력연구원, 학계 등 총 10개 기관이 연·산·학 공동으로 수행하고 있다. 그림 7은 연구개발 추진체계를 나타낸 것이다. 최근 영월지진(1996.12), 경주지진(1997.6), 울산지진(1998.1)등 발생한 중간 규모의 지진 및 일부 학계에서의 양산단층대 활동성 논란 등으로 인하여 이에 대한 정밀한 조사 분석과 국내 원전부지에 적합한 활동성 단층 평가기준 개발의 필요성이 제기되었으며, 본 연구의 최종목표는 다음과 같다.

- 1) 원전부지를 중심으로 한 지진안전성 평가를 위한 기반구축
- 2) 한반도에 적합한 활성단층 평가기준 정립 및 기준(안) 제시
- 3) 원전부지의 최대지진력 평가 및 내진설계를 위한 기초자료 확보
- 4) 한반도 주요지역 및 원전부지 일대의 활성단층 분포도와 평가자료 DB 구축
- 5) 한반도 주요지역 및 원전부지 일대의 선구조 분포도와 신기지체구조도 작성

### 5.2 연구성과

미국(CDMG; DSOD; USBR; US Army COE 등)의 규제지침 등, 일본(활성단층연구회 자료 등), IAEA 자료, 프랑스 및 중국자료 등 외국의 활동성 단층 평가방법과 관련된 기술현황을 분석하였으며, 월성 원전 주변지역에 분포하는 제 4기 단층지역에 대한 제4기층의 지질환경을 조사하였다.

국내 지질환경에 적합한 연대측정 방법론(특히, OSL)을 분석·평가함으로써 향후 제4기 단층에 대한 연대분석에 활용할 수 있는 기틀을 마련하였다. 또한 월성 원전 주변지역에 발달하는 광역적 선구조 파악을 위한 항공사진 및 현장조사 자료 분석, 이 지역에 발달하는 해안단구의 제 4기 층서체계 분석, 양산단층 주변 소단층의 기하특성 및 익학

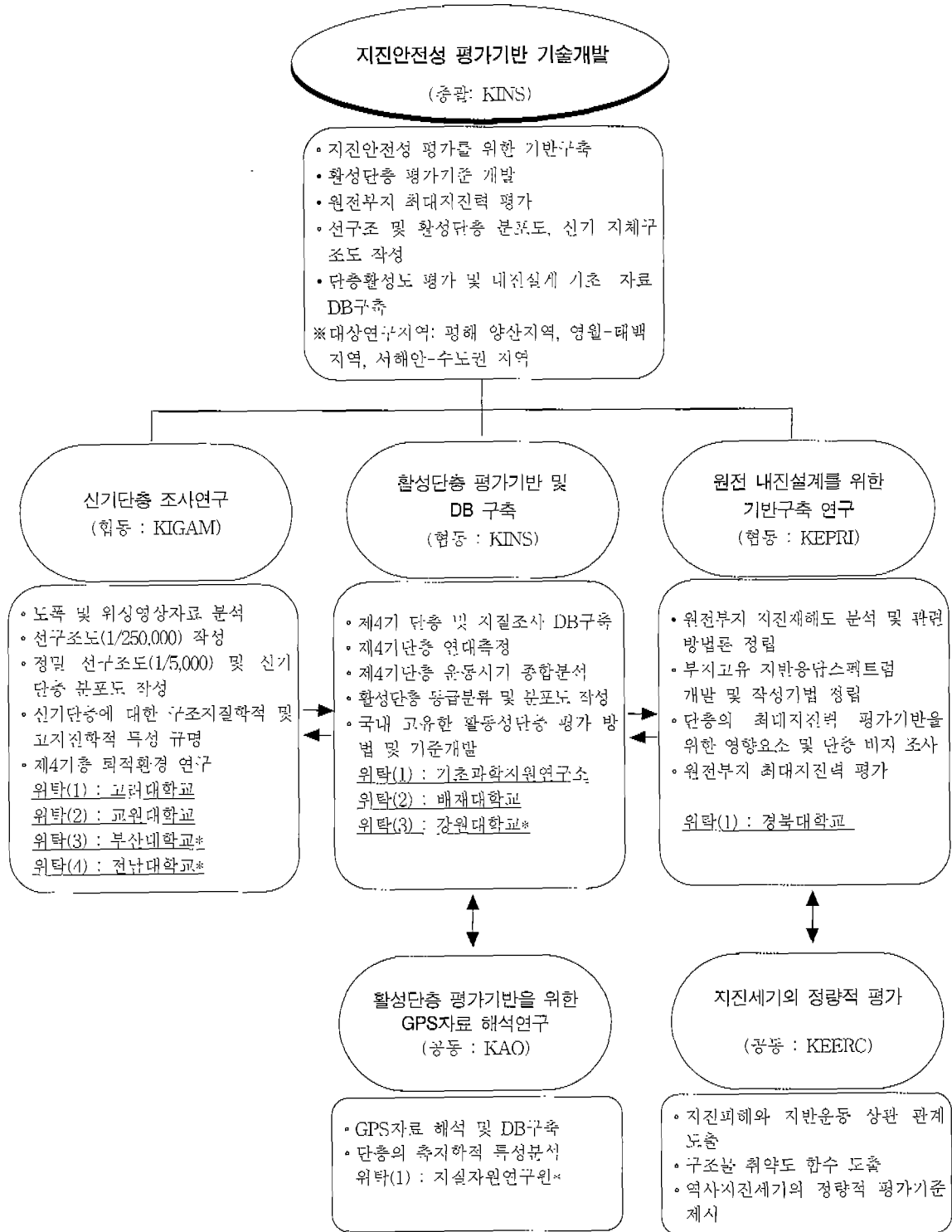


그림 7 연구개발 추진체계



특성 해석 등의 연구를 수행하였다.

최대지진력 평가를 위한 연구원에서는 우선 역사지진 및 계지진자료를 이용하여 한반도의 지진 활동 특성 및 지진원 특성을 분석하였으며, 국내 원전부지의 지반운동 감쇠식을 평가하기 위해 현재까지 원전부지 지진재해도 분석에 사용된 모든 지반운동 감쇠식에 대한 비교분석을 수행하여 불확실성 파라미터를 제시하였다. 또한 주요 역사지진 피해지진에 대한 지반공학적 조사 및 지반영향 평가를 수행하고 역사지진 피해형태를 목적에 맞게 분류하였으며 지진세기 모델시험을 위하여 역사지진 피해구조물을 고증하고 시험모델을 설계하여 실험하여 과거 일부 역사지진의 정량적 평가를 수행하였다.

연구지역 및 주변 지역에 대한 지각변위 분석을 위해 국내에서 운영하고 있는 GPS 자료를 수집 분석하고 GPS 관측자료 신뢰도 분석 및 자료처리 운용기술을 분석하였으며, 연구지역에 대하여 수행된 기존 및 신규 지질조사자료(GPS자료, 주향, 경사, 위치, 연대측정, 분포암석 등)에 대한 종합적인 DB구축 및 이를 위하여 상용 S/W를 보완하였다.

또한 본 사업에서는 연구사업의 홍보와 연구참여자들의 정보공유의 일환으로 홈페이지를 제작하여 2000년 7월부터 운영해 오고 있다. 본 홈페이지에서는 누구나 본 사업 전반에 걸친 소개와 진행

과정 그리고 연구결과물들을 제공받을 수 있다. 단, 보안 문제로 특정 정보에 대하여서는 사업참여 자들에 한해서만 접근을 허용하고있으나 이 또한 단계적으로 일반인들에게 모두 공개할 예정에 있다. Web Site의 주소는 <http://gis.paichai.ac.kr> 이다. 본 홈페이지를 통하여 제공받게 되는 자료들은 사업참여자 공지사항, 일반 게시판, 과제 계획서, 지질/지진 DB(사업참여자전용), 참여자 주소록, 연구실적 계획 등이다.

## 7. 결 론

한국원자력안전기술원 구조부지실에 대해 간략하게 소개하였다. 앞에서 소개한 바와 같이 구조부지실은 원자력시설의 부지 및 구조물에 대한 안전 규제, 관련 기술기준 개발 및 관련연구를 수행하고 있다. 원자력시설의 부지선정에서부터 설계, 건설, 운전, 폐로에 이르기까지 객관적이고 합리적인 규제활동을 수행하는 원자력 안전의 파수꾼이라는 사명감을 갖고 우리가 가지고 있는 기술과 역량을 더욱더 키워 국민들이 안심할 수 있도록 원자력의 안전성을 지키는 기관목표에 따라 맞은바 업무를 수행하기 위해 부단히 노력하고 있다. 또한 원자력 시설의 부지 및 구조물에 대한 안전성 확보를 위해 국제사회에서도 선도적인 역할을 수행할 수 있도록 최선을 다할 것이다. 