

지진재해 대응 기술개발 동향과 과제

박 재 혁¹⁾

I. 머리말

최근의 도시의 팽창으로 인한 고밀도화, 구조물의 대형화 및 원자력발전소 등 중요기간시설들이 증가함에 따라 지진 뿐만 아니라 자연재해에 의한 위험도 증가하고 있다. 특히 현대사회의 다양한 기능은 통신, 수도, 전기, 가스, 철도, 지하철 등의 생명선(Life-line)으로 유지되고 있으며, 이들 생명선의 경우는 그 일부가 파괴되어도 전체기능이 마비되는 특징을 갖고 있어 지진재해에 대한 철저한 대비가 필요하다.

우리나라처럼 판경계부에서 멀리 떨어진 지역에서 발생하는 지진(intraplate earthquake)은 판경계부(interplate earthquake)에 비해 그 크기가 작고 숫자도 작다. 일반적으로 판내지역에서 활성단층이 운동하면서 큰 지진을 일으키는 재래주기(return period)는 지역에 따라 수천년에서 수십만년에 이르기도 한다. 이러한 점에서 근래에 한반도에서 피해를 일으킨 대규모 지진이 발생하지 않고 있으나 앞으로도 우리나라에서 큰 규모의 지진이 발생하지 않으리라고 속단 할 수는 없다.

약 2000년에 걸친 우리의 역사문헌에는 대규모 지진이 발생해 100여명이 인명피해를 내는 등 상당한 규모의 피해를 발생시킨 기록이 있다. 지진계에 의한 현대적인 지진관측이 이루어진 1904년 이후 우리나라에서는 규모 4.0 이상의 지진이 17회나 발생하였으며, 1996년 12월 영월에서 발생한 지진은 규모 4.5로서 6회의 여진을 수반하였다. 또한 우리나라에서 20세기 이후 피해를 일으킨 지진은 1936년 지리산 쌍계사 지역에서 발생했던 지진과 1978년 홍성에서 발생했던 지진으로 알려져 있다. 그리고 한반도 주변에서 가까운 동해에서는 규모 5.7 이상의 지진이 1960년대에 2회 발생하였고, 특히 1952년 북한의 평양부근 강서에서 발생한 지진은 북한 지진연구소에 의하여 규모 6.3으로 보고되었다. 이런 점에서 최근 지진학자들은 한반도가 지진의 안전지대가 아니며 지진피해를 일으킬 수 있는 규모 5.5급 지진의 발생가능성이 있다고 판단하고 있다.

우리나라에서 활성단층에 대한 논란은 1980년대에 고리, 월성 원자력발전소 주변의 양산단층에 대해 제기되었다. 또한 1995년 방사성폐기물 처분장 부지 조사시 굴업도 인근 해저에서 현생 퇴적물을 변위시킨 4조의 단층이 발견되어 활성단층으로 판명되었으나 이들 단층의 운동시기나 규모에 대한 정량적인 연구는 수행되지 못하였다.

반면, 우리나라의 내진설계는 원자력발전소(1972년), 건축물(1988년), 교량(1992년)에 제한적으로 실시되고 있으나 현실적으로 우리나라에서 내진설계가 체계적으로 적용된 시설물은 원자력발전소 뿐이다. 또한 내진설계의 가장 중요한 입력자료인 설계지반운동은 근거리에서 관측된 가속도 지진기록을 사용하여야 하나 우리나라에는 이런 자료가 없어 원전의 경우에도 내진설계시 외국의 가속도 지진기록을 사용하고 있는 실정이다. 따라서 한반도에서 발생한 지진의 특성을 규명하여 지역별 지진위험도 및 내진설계 기준을 설정하고, 장래발생할 지진의 일시, 위치 및 크기를 예측하여 지진발생시에도 사회의 기본기능이 유지될 수 있도록 하기 위한 지진피해 감소 및 예측 기술개발은 국가적으로 매우 중요하다. 여기에서는 우리나라에 필요한 지진재해대응 기술개발분야를 지진연구, 내진연구, 활성단층연구 지진연구망구축/운영의 4가지 분야로 나누어 이들 분야에 대한 국내외의 기술개발동향과 우리나라에서 개발되어갈 기술개발과제를 제시하였다.

II. 우리나라의 지진관측 현황

한반도의 지진에 대한 기술과 기록은 19세기까지 역사문헌에 나타난 역사지진 기록과 20세기에 들어서 시작된 지진계에 의한 계기지진 관측으로 나뉘어진다.

1. 계기지진

우리나라에서 지진계에 의한 현대적 의미의 지진관측은 1905년 일제시대 조선총독부 관측소에 의해서 인천기상대0

서 처음으로 실시되었다. 그후 1943년까지 서울, 대구, 부산, 추풍령, 평양 및 원산에 지진관측망이 보강되어 광복 전까지는 전국적으로 7개소에서 지진계에 의한 관측을 수행하였다. 당시 조선총독부는 1933년부터 1938년까지 6년 동안의 지진자료를 1935년부터 1940년까지 매년 지진연보로 발간하였다. 1935년에 발간된 1933년의 연보를 살펴보면 일제시대에는 매일 전국적으로 총 27개의 지진자료가 획득되었음을 알려주고 있으며, 이는 1995년 12월 현재 기상청에서 관측되는 지진자료의 양보다 많은 것이다. 뿐만 아니라 미국 본토, 하와이, 독일, 러시아 등 외국의 지진자료와 종합하여 Alaska와 New Guinea등에서 발생한 원거리 지진들도 분석하여 보고하고 있다.

일제시대의 지진관측에 비해 해방 후에는 6.25 전쟁 등으로 우리나라에서는 지진관측이 이루어지지 않다가, 1963년 3월 미국 지질조사소(USGS)가 전세계 지진관측망(World-Wide Standard Seismograph Network: WWSSN) 구축사업의 일환으로 서울 기상청에서 지진계를 설치하면서 시작되었다. 기상청에서는 그후 1977년 일본제 지진계 2대를 도입하여 서울과 광주 2개소에서 관측을 실시하였는데 이는 지진의 발생위치와 크기를 정할 수 있는 최소한의 관측망에도 도달되는 수준이었다. 1980년 말부터는 미국제 관측소용 지진계 3대와 간이 이동식 지진계 2대를 도입, 설치하여 서울, 강릉, 추풍령, 광주, 부산 및 서산 6개소에서 관측을 시작하였으며 1991년 8월부터 기상청의 지진관측망이 보강됨에 따라 1992년 현재남한에서는 12개의 단주가 수직성분 지진관측소를 운영하고 있다.

기상청 이외의 관측망으로는 원자력발전소가 가동되면서 원전의 지진안전성 확보를 위해 관측이 시작되었다. 우리나라의 원자력발전소는 1978년 고리원자력발전소에서 상업발전으로 시작하였으나 이에관련된 국내의 준비는 60년대 중반부터 시작되었다. 원자력발전소 설립에서 중요한 요소의 하나는 지진에 의해 원자로가 기울거나 파괴되지 않도록 안전한 곳에 부지를 선정하는 것이다. 정부에서는 1980년부터 원자력발전소 안전성에 관한 연구를 한국자원연구소에서 수행하도록 지원하기 시작하였으며 1981년 상공지원부 출연연구비로 지진연구를 시작하면서 1982년과 1983년 0 걸쳐 IBRD 차관에 의해 9개의 이동식 간이 지진계를 구입하여 80대에는 1년에 약 1~2개월간 주로 원자력발전소 부지를 중심으로 한 지역에서 지진관측을 시작하였다.

현재 한국자원연구소에서 운영하고 있는 지진관측소는 1991년부터 자원연구소 포항출장소에 광대역 STS-1 지진계를 설치해 운영하고 있고, 1994년 양산단층 주변에 3-성분 디지털 단주기 관측소를 5개소 운영하고 있으며, 95년 1월말 현재 6개소의 추가 관측소를 설치하여 운영중이다. 양산단층 주변에서 운영하는 지진 관측망은 인근의 원자력발전소(고리, 월성 및 울진)의 지진안전성 확보차원에서 양산단층의 지진활동성을 감시하는데 그 목적이 있다.

또한 현재 한국자원연구소는 미군과 KSRS(Korea Seismic Research Station) 관측망의 인수 및 공동운영 방안에 관한 협의를 진행 중에 있다. KSRS는 1960년대 중반의 미군이 구공산권(구소련 및 중국)의 핵실험을 감지하기 위해 설치한 지진감시망으로, 현재 UN 군축회담산하에서 진행되고 있는 포괄적 핵실험 금지조약(Comprehensive Test Ban Treaty:CTBT)에서 선정한 전세계 50개 주요 지진관측소 중의 하나이다.

2. 역사지진

지진연구에서 역사지진의 연구는 매우 중요한 역할을 한다. 특히, 우리나라처럼 지진활동이 심하지 않은 경우 역사지진을 체계적으로 정리해 피해를 낸 큰 지진들의 지역적 분포나 발생주기를 산출하는 것은 지진위험도 평가 및 주요 시설물의 내진설계에 매우 중요한 요소이다. 그러나 역사지진을 연구하기 위해서는 약 2000년 동안의 역사기록들 모두 확인해야 하는 방대한 작업이 필요하기 때문에 아직 체계적인 연구는 이루어지지 못한 상태이다. 역사지진의 체계적인 정리를 위해서는 역사학자들이 연구의 주체를 이루어야 하며 지진학자들도 반드시 참가하여야 할 것이다. 역사지진 평가에서 가장 중요한 것은 정확한 발생위치와 지진의 크기를 규명하는 것인데 이는 매우 어려운 작업이다. 왜냐하면 대부분의 역사기술의 이러한 평가에 적합하지 않게 기술되어 있기 때문이다. 일례로 "땅이 흔들리고 민가가 무너져 땅바닥에 깔려 죽은 사람이 있었다."라는 식의 표현이 많아 이들의 진도를 얼마로 정해야 하는지, 발생위치를 어디로 정해야 하는지 등의 문제점이 있다.

우리나라 역사지진의 경우 지금까지 밝혀진 바로는 서기 2년부터 문헌에 기록이 남아 있다. 이들 역사기록이 체계적으로 조사된 것은 일제시대 일본인 과학자에 의해서 정리된 것이 최초이다. 역사지진의 경우 그동안 한국자원연구소(한반도의 지진위험도, 1983)를 비롯하여 일 부 대학(이기화, 김소구)에서 몇번의 정리를 시도하였으나 모두 약 1년

동안의 연구에 그쳐, 약 2000년에 걸치는 동안 문헌에 기록된 막대한 양의 자료를 체계적으로 정리하였다고 보기는 어려우며 주로 일본인이 정리한 자료를 일부 수정한 정도이다.

III. 국내외 기술개발 동향

1. 지진연구분야

선진국들은 각국의 환경에 적합한 내진설계기준을 확립하였으며, 관측-연구-예보가 일원화된 지진예보 시스템을 운영중에 있어, 지진재해에 대한 관측 및 자료수집의 단계를 지나 자연 재해별 발생 가능성, 위치, 시기 및 크기 등을 예측하는 예보의 정확성 향상과, 자연재해 발생시 피해를 최소화하기 위한 재해 경감 기술에 집중하고 있다. 우리나라에 인접한 중국 및 일본의 기술개발동향을 보면, 중국은 국가적 차원에서 지진예보를 위한 노력을 기울이고 있으며, 이는 지진의 준비, 발전 및 발생단계에서 물리·화학적 법칙을 연구하는 것과 지진예보를 위한

<표 1> 국내외의 지진연구 기술개발 연표

| 개발 년도 | 기술개발내용 | |
|---|---|--|
| | 국 내 | 국 외 |
| 1860 1874 1880 1906 1935 1936 1959 1960년대 후반 1975 | · 인천에 지진관측소 설치 | · 세계 지진활동도 작성 · 진도 개념 도입 · 최초의 지진계 제작 |
| 1978 1979-1982 | · 가상형 지진관측망 구축 시작 · 한반도의 지진위험도 분포도 작성 및 원자력 발전소에 대한 지반진동 연구 | · 규모 개념 도입 · 지구내핵의 존재 규명 · 표준 응답 스펙트럼 개념 도입 · 지진위험도 분석 · 지진예지 연구 본격화 · 중국 해성지진예보 성공 |
| 1983 1983-1990 1991-1992 | · 한반도 지진위험도 작성 · 한반도 지역별 미소지진활동 연구 · POSEIDON Project에 의해 오텔에 광대역 지진관측소 설치 및 경상권지 일원의 미소지진활동 조사 | · 지진예지의 실용화를 위한 연구 |
| 1993 1994-1997 | · 지진과 지질구조를 종합하여 동아시아의 지구조 연구 · 양산 단층 일원의 지진자료 수집 및 분석 | |

경험·통계적인 연구로 집약되며, 이로부터 4단계의 지진예보 절차를 확립·운영중에 있다.

· 1단계 : 장기에보

(10년~20년 사이의 장기 예보)

· 2단계 : 중기에보

(1년~수년사이의 지진위험지역과 크기를 예측)

· 3단계 : 단기예보

(수개월 범위의 지진 전조를 이용한 예보)

· 4단계 : 즉시예보

(수일~수십일 범위의 예보)

일본은 지진예보 종합위원회(Coordinating Committee for Earthquake Prediction)를 설치하여, 각 연구기관으로부터 수집된 자료 및 연구결과를 종합하여 장래에 큰 지진이 일어날 것이라고 예상되는 지역을 선정하여 지진의 선행현상이 관측될 경우 "대지진 대책법(The Large-Scale Earthquake Countermeasures Act)"에 의거 피해를 최소화하기 위한 조치를 취하고 있다.

한편 지진연구분야의 국내연구는 지진 다발지역의 파악, 지진발생시 단층의 운동 파악, 정확한 지진 심도의 계산 지진위험도 파악 및 내진설계치 산정 등 직접적인 지진자료 분석이 전문가에 의해 수행되어야 하는데 양질의 자료 부족으로 기초연구가 부실하여 국내 내진설계 등에 필요한 실용적인 연구는 수행되지 못하고 있다.

2. 활성단층연구분야

지진이나 단층운동은 판구조운동에서 기인하므로, 활성단층의 형성과정을 알기 위해서는 우선적으로 지질시대별 각변형 과정이 규명되어야 한다. 제4기 단층은 위성영상분석, 지질구조조사 등의 과정을 거쳐 인지될 수 있으나, 단층암석의 절대연령을 알기 위해서는 지화학적 방법이 수반되어야 한다. 현생 단층운동은 GPS(Global Positioning System)나 LASER(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 측정자료가 있어야 입증 가능하나 또한 지진예지는 GPS, LASER, 지하수위 및 지하수와 기체의 화학조성비 등의 변화를 동시에 종합적으로 측정하는 감시망이 장기간(수년~수십년간) 수행되어야 비로소 예측이 가능하다.

선진국에서는 수십년전부터, 활성단층 인지 및 측정 기술을 보유하고 있으며, 각국 내의 활성단층분포, 규모 산정기준이 이미 이루어져 있다. 그러나 우리나라의 경우 활성단층을 인지하는 기술은 아직 없다고 볼수 있으며, 지진예지

<표 2> 활성단층분야의 국내외 기술개발 연표

| 개발 년도 | 기술개발내용 | |
|------------------------|--------------------------------------|---|
| | 국 내 | 국 외 |
| 1970's | | - 활성단층 변위량 측정 - 지진예지를 위한 지화학적 감시망 운영 |
| 1990's 1995 1997 | - 굴절도 활성단층 공식발표 - 단층암석 절대연령 측정 시도 | - GPS감시망 구축운영 |

를 위한 물리학적, 화학적 연구도 아직 시도된 바 없다. 따라서 활성단층의 분포, 규모산정이 전혀 되어 있지 않은 실정이다.

3. 내진공학연구분야

① 시설물과 구조물의 내진성능 목표설정

구조물과 시설물의 내진설계에 있어서는 사회-경제적 가치판단에 의해서 결정되는 사회적으로 수용 가능한 위험 범위 내에서 구조물과 시설물에 피해가 발생하도록 허용하고 있다. 이러한 관점에서 최근 내진설계의 세계적인 추세는 지진지 구조물의 성능발취에 대한 목표, 즉, 성능목표를 설정하고 이를 달성할 수 있도록 내진설계를 하는 개념으로 변하고 있다. 성능목표는 종래의 단일수준 성능목표를 설정하는 것으로부터 발전하여 다단계 성능수준(Multi-level Performance Criteria) 개념으로 나아가고 있다. 그리고 구조물이나 시설물의 기능의 중요성에 따라서 설계지반운동의 평균재현주기를 다르게 적용하는 등 성능목표를 다르게 하고 있다.

② 지반과 구조물의 지진응답특성 규명

지반의 지진응답특성에 관해서는 액상화 연구가 폭넓게 진행되어 액상화의 기본 메커니즘을 밝힐 뿐 아니라 액상화 가능성(Liquefaction Potential)에 대한 지도를 작성하고 있다. 지반-기초 또는 지반-구조물 시스템의 거동특성(실험과 비선형수치모델에 의해서 조사 연구되고 있으며, 흙댐과 사력댐에 대한 연구도 활발히 수행되고 있다. 표층지반이 지진지반운동을 증폭시키고 그 주파수 내용을 변화시키는 현상 즉, 부지조건의 영향에 대해서도 연구가 계속되고 있으며 부지조건의 영향(Site Effects)을 더욱 합리적으로 구분하여 적용하려는 연구노력이 진행중에 있다.

③ 내진설계

내진설계는 신설구조물의 내진설계와 기존 구조물의 내진성능향상의 두 부문에서 연구가 진행되고 있다. 오래된 구조물의 경우 현대기술 보다 엄격하지 못한 설계기준에 따라 설계되었기 때문에 붕괴가 초래되거나, 내진설계기준이 적용된 수준을 훨씬 초과하는 지진에 의해 구조물과 시설에 큰 피해를 초래하였으며, 따라서 손상을 입은 구조물들을 복구하고 그 성능을 대폭 향상시키는 문제가 현실적으로 대두되어 이에 대한 연구노력이 집중되었다.

구조물이나 시설물의 설계원칙에서는 성능기초설계(Performance-Based Design) 쪽으로 통일되는 경향을 보이고 있고 허용하중설계법을 고집하던 일본도 건축법령을 폐기하고 성능기초설계법을 채택하고 있는 과정에 있다. 성능기초설계에서는 종래의 단일 성능수준으로부터 다단계 성능수준을 만족시키는 쪽으로 발전하고 있다. 또한 최근 미국이나 일본에서 발생한 지진에 의해서는 교통시설을 포함함 Lifeline 시설에 큰 피해가 발생하여 지진경과 후 사회경제시스템이 원래의 기능을 회복하는데 오랜 시간이 소요되었다. 이러한 경험으로부터 Lifeline 내진설계의 중요성이 부각되었다.

④ 지진피해예측과 지진위험관리시스템

최근 선진 여러나라에서는 지진에 의한 피해와 그 결과를 예측 평가하는 이른바 "Earthquake Damage Scenario" 또는 "Urban Seismic Risk Analysis"에 대한 연구를 발전시켜 오고 있다. 지진피해예측기법은 단지 지진에 대한 사전 대비책 수립에 활용될 뿐 아니라, 실제 지진이 발생하였을 때 그 피해상황을 가능할 수 있는 정보를 제공하기 때문에 신속한 대응책과 조치를 가능하게 한다. 미국의 NCEER, 일본의 경도대학 등에서 라이프라인의 피해추정과 시스템의 기능해석에 대한 연구를 진행중에 있으며 일본에서는 주요 구조물 또는 라이프라인시설의 지진시 거동에 관한 정보를 실시간 모니터링하여 긴급대응조치판단과 복구계획수립 및 우선순위결정에 활용하고자 하는 연구가 진행 중에 있다.

⑤ 우리나라의 기술수준

우리나라는 독자적으로 개발된 내진설계기준의 체계를 갖지 못하고 있다. 따라서 구조물 또는 시설물의 내진설계를 위해서, 미국, 일본 등 여러나라의 설계기준을 원용하여 왔기 때문에 내진성능목표도 외국의 기준을 그대로 취하였다. 그러나 우리나라의 지진활동성은 미국의 서부 지역이나 일본과는 매우 다른 양상을 보이고 있으므로 외국기준의 성능목표를 무비판적으로 수용한다는 것은 타당치 않을 것으로 판단되며 앞으로 독자적인 설계기준을 개발 할 때 신중하게 검토되어야 할 것이다.

4. 지진연구망 구축/운영분야

선진국들은 지진의 위치, 시기 및 크기 등 기본적인 지진통보를 위한 단주기 지진관측망 뿐 아니라 지진의 발생원인 규명, 내진설계 기준확립을 위한 광대역 및 가속도 연구망을 이미 구축하여 운영 중에 있다. 특히 지진예지를 위한 각종 관측이 수행 중에 있으며 예보의 정확성 향상과 자연재해 발생시 피해를 최소화하기 위한 재해 경감기술에 특자를 집중하고 있다.

① 일본

일본에서는 해변에서 지진의 발생 위치가 지표면이고 주로 역단층의 경우 해일을 동반하는 경우가 많다. 이를 조기에 경보하기 위해서 기존에 알려진 지역의 주변 해역에 광대역 지진계중 STS2를 집중 배치하여 해일의 발생여부를 확인하고 있다. 현재 지진연구를 위한 관측망은 '95년 1월 고베지진 이후 연구소가 담당하고 있으며, 광대역 STS1을 중심으로 단주기 지진계를 전국 주요 지진발생 예상지역에 설치하여 운영 중에 있는 데 모두 3성분 자료를 획득하고 있다. GPS 감시망은 '91년도 지각변위 감시 및 지진의 예측을 위해 구축하기 시작하였으며, 현재 일본 전국에 걸쳐 30km 간격으로 약 610개 관측소를 설치하여 운영하고 있다.

② 미국

지진연구는 지질조사소를 중심으로 대학에서 수행중에 있으며 핵확산금지조약(CTBT)의 일환으로 운영되는 배열 관측망(array network)은 미공군이 담당하고 있다. 현재 한국 기상청이 주관기관인 인천 IRIS 관측소는 미국지질조사소가 설치한 것이고, 한국자원연구소가 주관기관인 원주 KSRS 배열 관측망은 미공군이 설치한 것이다. 지진통보는 지진연구와 병행하여 대학교가 담당하고 있다. 지진 다발 지역중 하나인 미국 남부 캘리포니아의 지진통보를 담당하고 미국 남부 캘리포니아의 지진통보를 담당하고 있는 Caltech 대학의 실시간 자료 전송은 전화회사가 무상으로 제공하는 전용회선을 이용하여 지진통보를 위한 CUBE 시스템은 현재 전세계에서 가장 신속하게 지진통보를 하는 것으로 유명한다. 현재 지진발생후 지진통보까지 소요되는 시간은 약 5분 정도이다. 남부 캘리포니아에는 현재 45개소의 GP 관측소가 설치되어 있으며 현재 250개소로 확충할 계획이다.

③ 국내

우리나라의 경우 지진통보는 기상청이 담당하고 있는 데 현재 12개소의 관측망으로부터 단주기 수신성분을 실시간으로 수신하나 아날로그기록방식으로 지진통보에 다소 시간이 소요되고 있다. 따라서 신속한 지진통보를 위해서 현재 아날로그 기록방식을 디지털 방식으로 전환하여야 하고 단주기 관측망을 확충하여야 한다. 지진연구는 한국자원연구소와 대학이 담당하고 있는데 이를 위해서는 기본적으로 광대역 관측망이 확보되어야 한다. 현재 운영중인 광대역 관측소는 미국이 설치한 인천 IRIS, 원주 KSRS 및 일본이 설치한 포항관측소가 전부이며, 자원연구소에서 '97년말에 3개소를 완공할 예정이다. 이와 같은 연구용 광대역 관측망의 부족은 기초연구의 부실을 초래하므로 연구소와 대학을 중심으로 광대역 관측망의 확충이 시급하다. 특히 가속도 관측망의 미비로 국내 내진설계 등 국내실정에 적합한 실용적 연구가 수행되지 못하고 있다.

IV. 분야별 기술개발목표 및 기술개발과제

1. 지진연구분야

1) 기술개발 목표

한반도 및 주변해역의 지진발생 특성을 규명하고 지진발생과 지질지체구조와의 연관성을 밝힌다. 또한 이를 근거로 한반도 전역의 지진 위험도를 평가하고 특정지역에서 기대되는 지진동의 주파수 특성을 연구해 한반도 지진특성에 적합한 응답스펙트럼을 작성하여 각종 구조물의 내진설계에 적용할 수 있는 설계자료를 제공한다. 또한 지진예지를 위한 각종 지구물리, 지구화학적 기초연구를 수행하여 장래 지진예보를 위한 기반기술을 개발한다.

2) 기술개발내용

① 지진원 및 지진파 전달 특성 연구

우리나라 주변에서 발생하는 지진의 발생 메카니즘의 특성을 밝히고, 지진이 발생하여 특정지역에 지진파가 도착하는 경우 지진파의 특성을 연구하여 전파과정에서의 에너지 감쇄 특성을 밝히고 내진공학에 자료를 제공하기 위한 기초연구를 수행한다.

② 지진활동 및 지진 지체구조구 연구

한반도의 활성단층 자료 및 동아시아의 지진활동 및 지질구조를 종합 해석하여 판구조론적 입장에서 한반도의 지진 지질학적 특성을 규명한다. 또한 역사지진 및 계기지진자료를 종합하여 한반도 및 주변에서 피해를 일으킬 가능성이 있는 대규모 지진의 재래주기를 밝히고, 지진발생과 특정단층과의 연관성을 밝히는 지구조적 특성을 연구한다.

③ 지진위험도 작성

한반도 각 지역의 활성단층 여부, 지진의 재래주기 각 지역별 지진파 전파특성을 고려하여 특정지역에서 일정기간동안 기대되는 최대 지진동 값을 통계적으로 산출하여 지도화한다.

④ 응답스펙트럼 작성

한반도의 각 지역에서 지진이 발생할 경우 이들 지진의 주파수특성을 연구한다. 내진설계를 위해서는 특정 지역의 최대지진동 값 뿐만 아니라 이들의 주파수별 특성이 요구되는바 본 연구는 실제 내진설계에 필요한 구체적인 자료를 제공하게 된다.

⑤ 지진예지

일반적으로 지진예지는 장기예지와 단기예지로 구별된다. 장기적인 지진예지는 대상지역의 활성단층의 특성을 조사하고, 그 지역의 과거의 지진활동사 및 지진발생과 활성단층과의 관계를 규명하면 가능하게 된다. 그러나 단기적인 지진예지는 현재의 과학기술로는 매우 어려운 과제이며, 지진이 일어나기 전에 나타나는 지각내의 물리, 화학적 변화 현상을 장기적이고 종합적으로 Monitoring 하여 우리나라 주변의 지진발생 메카니즘을 이해함으로써 장래 지진예지에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

⑥ 원자력시설 부지 지질·지진안전성 평가규제 검증기술 개발

현재 국내 원자력시설에 대한 규제 및 검증 기술기준으로 외국의 기술기준을 준용하고 있으므로 원자력시설의 안전성 향상과 효과적 규제기술 개발을 위해서는 국내 원자력시설 부지의 지질 및 지진환경에 적합한 규제 및 검증 기술 개발이 필요하다. 또한 원자력시설 부지에 적용되고 있는 대부분의 기술기준은 과거 20여 년 전에 정립된 기준으로 최근 자연과학 분야의 급격한 발전에 따라 원자력 기술 선진국에서는 지난 90년대 초부터 원자력시설 부지에 적용할 기술기준을 개정 중에 있어 이들 국가와의 공동연구 등을 통하여 국내 원자력시설 부지에 대한 진보된 기술기준 개발이 요구된다.

2. 활성단층 연구분야

1) 기술개발 목표

한반도에 분포하는 활성단층을 확인하고 확인된 활성단층의 형성과정 및 특성을 정밀 분석하여 지진발생 위험구역 설정하고 이를 토대로 한 지진예지 기술을 개발한다.

2) 기술개발내용

① GPS를 통한 지각변형 연구

- 정밀 야외지질조사를 통한 활성단층의 분포 및 규모 분류
- 단층 중심부의 탄성파 탐사 및 트렌치 조사
- 단층 변위 측정을 위한 LASER 관측망 구축 및 운용
- GPS 관측망을 구축하여 자동화 운용
- LASER 관측망 자료와 연계하여 지각변위의 정량적 파악

② 지진 화학적 연구

- 전자자기공명 (ESR) 연령측정 기법을 통한 최근 단층운동 시기결정
- 단층암석내 광물을 추출하여 다양한 절대 연령 측정방법(C14, K-Ar, U-Pb-Th)을 동원, 정확한 단층운동 시기 및 운동 역사 규명
- 단층암석의 분석을 통한 단층형성 및 운동시의 환경 파악
- 라돈 및 트리튬의 변화 측정과 단층활동과의 관계 파악
- 지하수 내의 양, 음이온 변화 측정을 통한 단층활동 특성 규명
- 가스조성 및 Noble Gas의 동위원소 비율 측정을 이용한 단층운동 파악
- 각 지화학 인자들을 바탕으로 하는 종합적인 지진예측 시도

3. 내진공학연구분야

1) 기술개발 목표

공학적으로 정량화된 지진재해에 대하여 지반과 건축물, 교량, 라이프 라인 시설 등의 구조물과 시설물의 내진 성능 목표를 달성할 수 있도록 공학적인 방안을 연구 개발한다.

2) 기술개발비용

① 기초와 지반의 지진응답 특성규명

우리나라 고유의 지반특성에 적합한 지반구조물에 대한 내진설계기법을 정립하고 지반공학 관련 내진설계기술을 개발한다.

② 건축구조물의 내진설계와 내진성능 향상 기법 개발

건축물에 대한 내진설계기법의 체계적인 연구와 특수용도 구조물들에 대한 안전한 내진대책 연구를 수행한다.

③ 교량의 내진설계와 내진성능 향상기법개발

교량에 대한 내진 안전성에 대한 연구를 수행하고 기존 교량의 내진성능평가와 내진성능을 향상시키는 방법을 개발한다.

④ 특수구조물의 내진설계와 내진성능 향상기법 개발

탱크 및 댐, 해양구조물 등의 특수구조물에 대한 지진응답 해석기법 및 내진설계기법을 개발한다.

⑤ 라이프라인의 내진설계와 내진성능 향상 기법 개발

지상 및 지하 라이프라인 시설들에 대한 내진설계와 내진성능 향상기법을 개발한다.

⑥ GIS에 기초한 지진위험관리시스템 개발

지진피해를 예측하는 기법 및 실시간으로 지진재해를 관리할 수 있는 시스템을 개발한다.

⑦ 차세대 내진설계 개념과 지진응답 제어기법 연구

차세대 내진설계개념을 정립하고 지진응답을 제어하는 기법을 연구하며, 문화재 및 옛 구조물의 지진에 대한 초정밀 안정대책을 강구한다.

⑧ 원자력시설 내진안전성 평가 규제 및 검증기술 개발

내진설계 및 검증분야 기술기준의 급격한 발달로 기존 원전의 내진안전성 재평가를 위한 규제기술을 개발한다.

4. 연구망 구축/운영분야

1) 기술개발 목표

지진연구, 활성단층연구 및 내진설계등 본 과제 수행에 필요한 각종 관측자료제공

2) 기술개발내용

· 기존의 제반 관측망을 네트워크로 연결하여 지진통보의 정확성을 향상시키고 자료의 축적을 통한 연구의 효율성 제고

· 이동식 관측망을 운영하여 한반도의 정밀한 지각구조 조사

· 지진연구, 내진설계, 활성단층 조사등에 필요한 제반 관측망 구축

· 지진재해의 경감을 위한 조기 경보 시스템 구축

V. 결론

최근 도시의 고밀도화, 대형구조물의 증가, 전기 및 가스의 사용증대 등으로 지진에 의한 피해규모가 기하급수적으로 증가하고 있어 지진재해에 대한 대책 마련이 시급한 상황이다. 그러나 우리나라의 경우 내진설계는 원전 대형 건축물, 교량 등에 대해 제한적으로 적용되고 있을 뿐이며 그나마 외국의 기준을 원용하고 있어 한국의 지진특성에 적합한 지진위험도 및 내진기준 설정이 필요하다.

지진관측망의 경우 자원연구소, 기상청, 대학뿐만 아니라 각 기관의 목적에 따라 가스공사, 원자력발전소, 건설회사 등에서 개별적으로 운영되고 있어 지진연구의 기본이 되는 자료축적이 이루어지지 못하고 있다. 따라서 현재 각 기관에서 운영중인 지진계의 설치 목적 및 기종을 우선 파악하여야 한다. 이를 바탕으로 지진전문가회의를 통해 종합적인 관측망 운영계획을 수립하고 기존의 관측망뿐 아니라 향후 설치되는 연구망을 연계하는 통합 네트워크를 구축하여야 할 것이다.

또한 지진예지를 위해서는 지진이 발생하기 전에 지진발생과 연관된 지각내의 물리적 및 화학적 변화에 따른 전조현상을 관측하고 연구하여야 한다. 이를 위해서는 지진학적 정보뿐만 아니라 측지학적 변화, 지층의 경사변화, 해수면의 변화, 지구 중력의 변화, 암석의 변형률의 변화, 지하수면의 변화 토양과 지하수의 라돈이나 헬륨 등 지화학적 변화 등과 같은 비지진학적 정보도 종합적으로 수집되어야 한다. 그러나 현실적으로 전국토를 대상으로 이런 다양한 종류의 관측망을 구축하는 것은 많은 비용이 들기 때문에 지진발생 가능성이 높거나 지리적으로 중요한 지역에 우선적으로 구축하여야 할 것이다.

내진설계를 위해서는 디지털 가속도자료가 필수적이거나, 우리나라에는 내진설계에 필요한 자료획득용으로 설치된 가속도 연구망이 없다. 그러므로 우리나라 혹은 주변 바다에서 상당규모의 지진이 발생한다고 하더라도 차후에 내진설계에 사용할 수 있는 가속도 기록을 얻을 수 없는 실정이며 우리나라의 경우 대규모 지진의 발생빈도가 매우 낮아 내진설계에 필요한 가속도 자료를 획득할 가능성 또한 매우 낮은 상황이므로 가능한 한 빠른 시일 내에 디지털 가속도 관측망이 구축되어야 한다.

주석 1) 연구기획관리단 기술기획실, 책임연구원(Tel: 02-250-3192)