

# 原電構造物의 耐震技術(1)



전 규 식

한전기술연구원 토건연구실 내진연구부 연구원

우 리들은 흔히 지진이라고 하면 지면이 갑자기 흔들리기 시작해 집이 무너지고 산사태가 나서 인간의 생명과 재산에 큰 피해를 초래하게 되는 현상을 떠올린다. 이러한 지면의 흔들림에 구조물이 견딜 수 있도록 구조물을 안전하게 설계함으로써 인간의 생명과 재산의 피해를 최소화하고자 하는 것이 내진설계이다.

특히 절대 안전이 요구되는 원전 구조물은 내진설계를 위하여 총 공사비의 7%에 상당하는 경비를 지출하고 있으므로 이에 대한 연구가 필요한 현실이다.

## 지진의 발생원인

1. 단층이 먼저나, 지진이 먼저나 지진의 원인에 대하여 고대로부터

신앙적인 면에서 신의 노여움이나 땅 속에 사는 괴물의 진노 등 여러 가지로 억측되어 왔으나 관측된 지진을 통하여 과학적인 해석을 하게 된 것은 19세기 후반부터이다.

암석으로 이루어진 단단한 지각에서 지진파가 발생되기 위해서는 (1) 지각의 어느 부분에 충격적인 힘이 작용하든가 (2) 지각내에 작용하고 있는 어떤 힘에 의해 지각이 견딜 수 없게 되어 급격한 파괴가 일어나든가 하는 두 가지의 직접적인 경우를 생각할 수 있다.

(1)의 가설에 의하면 단층은 지진의 결과로서 생겨난 것이나 (2)의 가설에 의하면 단층을 생기게 하는 암석의 파괴가 지진의 원인이 된다. 다시 말하면 (1)은 어떤 충격적인 힘인 지진에 의해서 단층이

생기는 것이고 (2)는 단층운동에 의해서 지진이 발생하는 것이다. 이러한 답이 먼저나, 알이 먼저나 하는 논의에 중지부를 찍게 한 것이 대륙이동설에 근거한 판구조이론(Plate Tectonics)으로 단층생성의 결과에 의해 지진이 발생한다는 사실이 정설로 받아들여지게 되었다.

## 2. 판구조이론

지진을 이러한 단층운동으로 생각하기 위해서는 단층을 생기게 하는 힘의 원인이 어떻게 생기느냐를 규명하는 것이 문제가 된다. 이것을 설명하는 학설로서 판구조이론이 1960년대 후반에 등장했다.

대서양을 끼고 있는 유럽 및 아프리카대륙의 서해안과 남북아메리카대륙의 동해안을 짜맞출 경우 접합부분이 서로 잘 맞는 형상이며 또한 접합되는 부분 양 대륙의 지질, 암석의 연대, 생물이나 화석의 분포가 잘 일치한다. 이 사실로부터 옛날에는 하나의 대륙이 약 1억 년 이전에 분열되어 동서로 이동하면서 그 사이에 대서양이 생성되었다고 생각하였다. 이러한 판이동설을 정립한 사람이 웨그너(Wegener, 1912년)였다.

대륙이동설에 대한 또 하나의 새로운 증거로서는 1950년대의 磁氣學의 발전에 있다. 화성암은 어떤 온도 이하로 되었을 때 이에 포함된 광물질에 의해 지구자극(북쪽이 N극, 남쪽이 S극)의 방향과 동일한 방향의 자극을 갖게 된다. 그러므로 대륙들이 이동되지 않았다면 어떠한 대륙에서라도 동일한 시대의

암석에서는 동일한 방향의 자극이 발견되어야 하나 실제로는 그렇지 못하다.

이러한 모순을 해결하기 위해서는 대륙이 이동하지 않으면 안된다. 또한 해저 퇴적물의 두께와 해저암석의 생성년대를 추정해 보면 바다의 산맥이라고 불리는 海嶺에 가까울수록 퇴적물의 두께는 얇고 생성년대는 젊다. 아무리 오래된 海底라도 2억년을 넘지 않는다는 것이 알려져 있다. 이 사실을 설명하기 위해서는 해령 부근에서는 용암이 분출되어 새로운 해저가 생성되어야 한다. 또한 해저의 총면적은 줄어들 수 없으므로 어딘가에서는 해저가 없어져야 하며 이러한 해저가 소멸되는 장소가 海溝이다. 생성 및 소멸되는 해저의 이동량을 10cm/년 정도로 가정하면 2억년 이내에 현재의 지구 표면이 전부 새로운 지구 표면으로 바뀌어진다는 계산이 된다.

또한 몇천만년 전에 있었던 공룡 멸망에 대한 학설로서 거대한 운석과 지구의 충돌로 인한 기상이변 때문에 체온조절능력이 없는 파충류인 공룡이 멸망하였다는 운석충돌설이 유력하나, 지구상에서 운석과 충돌한 거대한 흔적을 찾지 못해 이 학설에 대한 증거로 제시하지는 못하고 있으나, 해저가 소멸되어 운석의 흔적이 사라졌을 가능성을 판이동설이 뒷받침하고 있다. 실제로 현재 인공위성을 통한 대륙의 평균 이동량을 측정해 보면 약 5~7cm/년 정도가 되고 있다.

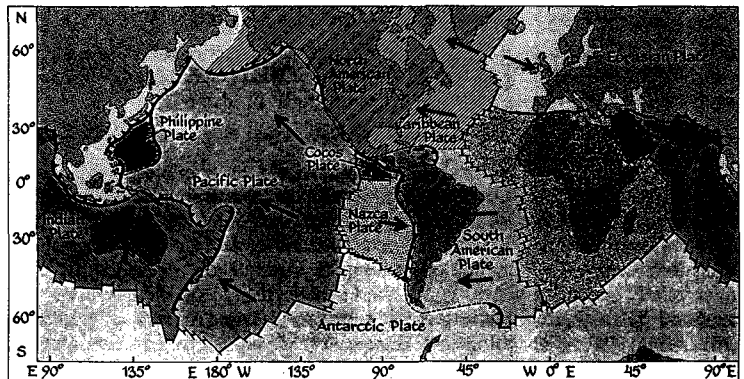
지구 표면의 해령과 해구를 연결하여 보면 지구의 표층은 바다에서

70km 정도, 육지에서는 그 이상의 두께를 가진 암석의 층이 태평양판, 유라시아판, 북아메리카판 등 13개의 크고 작은 판으로 나뉘어져 있고 각각의 판들이 매년 수 cm의 속도로 각각의 방향으로 움직이고 있다<그림 1>.

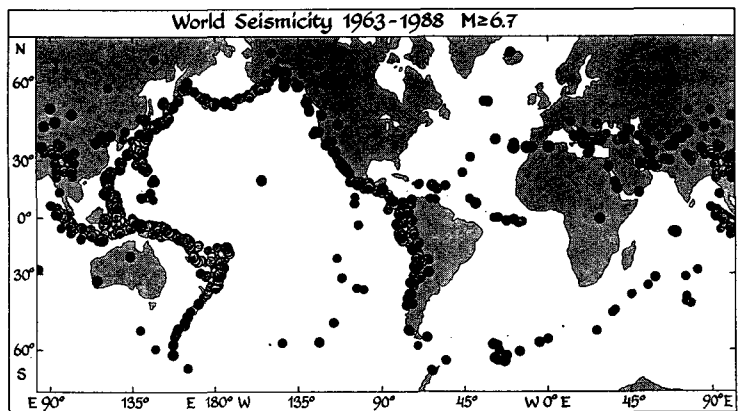
각 판의 경계는 두 개의 판이 맞물려져 한 쪽의 판이 다른 판의 밑으로 미끌어져 들어가 지표에서 사라지기도 하고 또는 맞물린 판이 서로 충돌하여 튀어오르기도 하고 두 개의 판이 맞부딪쳐 수평으로

뺏나가기도 한다. 또한 두 개의 판이 서로 떨어져 갈 때 생긴 틈 사이로는 용암이 솟아올라와 새로운 판이 생성되기도 한다. 히말라야산맥의 정상에서 해저생물의 화석이 발견되고 있는 사실도 판들이 서로 충돌하여 튀어오른다는 사실을 증명하고 있다.

그러므로 이러한 판들과 지진과의 상관관계를 조사하기 위하여 1960년대 후반부터 최근까지 발생한 지진의 진원지를 조사해 보면 지진의 대부분은 이러한 판의 경계



<그림 1> 지구 표면의 판구조 및 이동방향



<그림 2> 1966년~1988년 사이에 발생한 Magnitude 6.7보다 큰 지진의 진앙지

지역이거나 경계지역 부근의 판의 내부에서 발생되고 있다<그림 2>.

### 3. 판운동의 원동력

그러면 이러한 판들은 어떠한 힘에 의해 움직이고 있는가. 판은 지구 내부의 아세노스피어(Asthenosphere)라고 하는 비교적 연약한 마그마층 위에 놓여 있다. 모든 액체에는 더운 물질은 떠오르고 찬 물질은 가라앉으려고 하는 대류현상이 있으므로 지구 내부에 있는 마그마의 대류현상이 판 하부를 끌어 내리는 힘으로 작용하고 있다. 또한 암석의 덩어리인 판의 중량이 판 하부에 있는 마그마보다 차고 무겁기 때문에 자중에 의해 마그마 속으로 빨려들어가 판이 이동하는 것으로 생각된다<그림 3>.

어쨌든 판운동은 지구 표면 근처

는 차갑고 지구 내부는 뜨거운 열적 불안정에 기인된다. 결국 지진의 궁극적인 원인은 지구 내부의 열 때문이라고 할 수 있다. 이러한 열은 주로 지구 내부에 포함되어 있는 방사성물질의 붕괴에 의해 공급되어지고 있다.

### 4. 탄성반발론

그렇다면 판운동과 지진과는 어떠한 관계에 있는가. 이 두 사실을 연결시키는 것이 탄성반발론이다. 즉 마그마의 대류현상으로 한쪽 판이 다른 판의 밑으로 미끌어져 들어갈 때 전혀 마찰이 없이 부드럽게 들어가는 것이 아니라 지구의 표면에는 굴곡이 있으므로 마찰에 의해 상부판을 끌어 당기면서 침몰하게 된다. 이때에 상부판은 하부판의 표면에 있는 산맥들에 의해

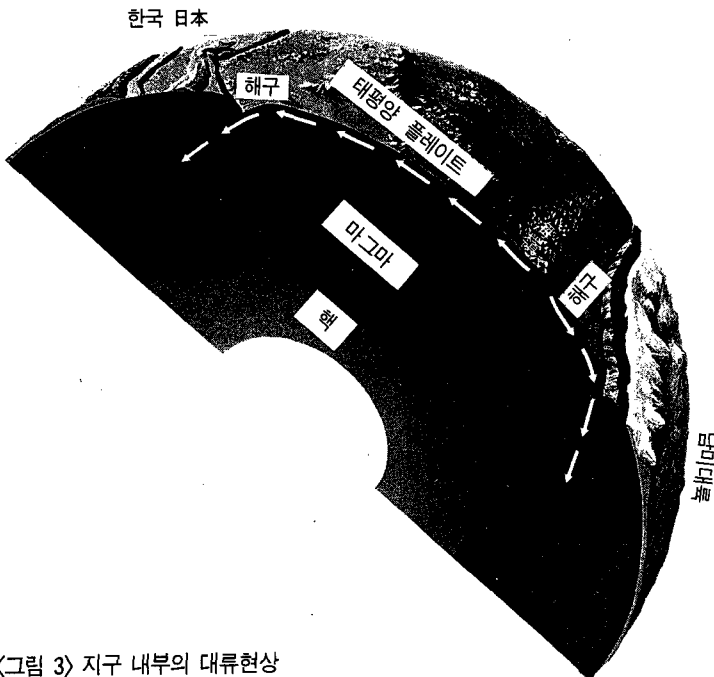
밑으로 끌려들어가려는 힘을 받게 된다. 이 힘에 의해 상부판은 응력을 받게 되며 이러한 응력이 축적되어 암석의 탄성한계를 넘으면 단층운동이라고 하는 일종의 암석 파괴현상에 의해 에너지가 해방되는 현상이 지진을 일으키게 된다<그림 4>. 이러한 현상을 탄성반발론이라고 한다.

지각이 탄성반발하는 현상을 넓은 지각의 관점에서 볼 때는 에너지가 해방되는 장소가 판경계면을 따라 이동을 하게 되며 어느 한 지각의 관점에서는 변형에너지가 축적되고 해방되는 현상이 반복하여 일어나므로 특정 장소에서의 지진은 주기성을 갖게 된다. 그러므로 어느 지점에서의 지각의 변형도를 측정함으로써 특정 지진의 예측이 가능하게 된다.

지금까지 알려져 있는 지진 피해 지역의 분포를 보면 지진은 세계 각 지역에 골고루 분포되어 있는 것이 아니라 어느 한정된 지역에 많이 발생되고 있다. 특히 지진이 많은 장소는 동남아시아에서 중동 지역을 거쳐 남유럽으로 이르는 태평양지역으로 전자를 유라시아지진대 후자를 환태평양지진대라 한다.

19세기 말부터 세계 각 지역에 지진계가 설치되어져 지진관측망은 점차로 정비되어져 가고 있으나 이러한 관측망에 의해 구해진 진앙의 분포를 보면 상기 양 지진대의 존재는 확실해진다<그림 2>. 이러한 지진대의 분포가 판구조의 경계면과 일치하므로 탄성반발론에 대한 명확한 증거가 된다.

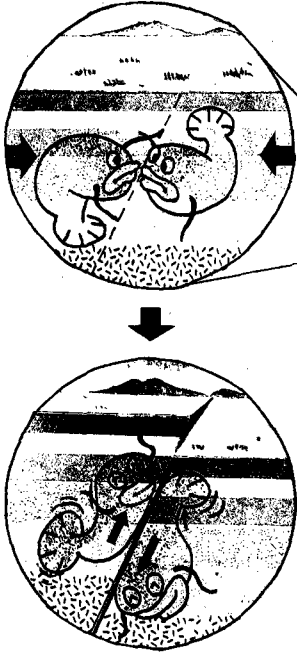
이러한 지각의 탄성반발에 의해



<그림 3> 지구 내부의 대류현상

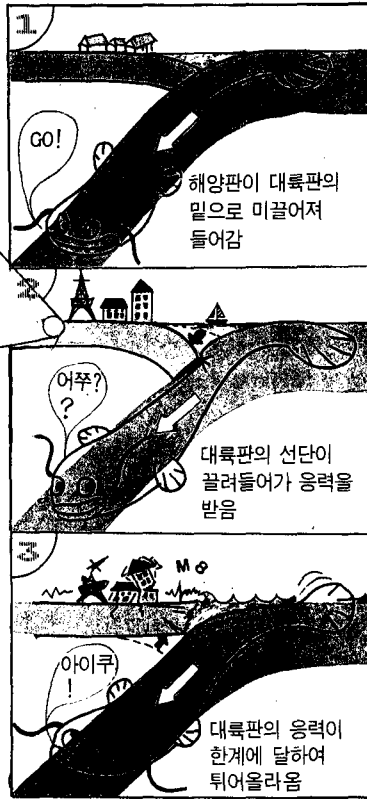
### 내륙형 지진

해양판이 대륙판을 압축



응력이 한계에 달하여 지각의 약한 부위가 파괴

### 해양형 지진



〈그림 4〉 지진의 발생구조

주로 일어나는 지진은 진원지가 깊고 방출되는 에너지량이 많은 것이 특징이고 또한 해저에서 발생하는 경우가 많으므로 해일을 동반하는 경우가 많다.

그러나 지진이 반드시 판 경계면에서만 발생하는 것이 아니고 판 경계면이 없는 中國 대륙에서도 자주 발생한다. 이의 원인에 대해서는 탄성반발론으로서는 설명될 수가 없으나 판 내부에는 압축력이나 인장력이 작용하고 있으므로 이러한 힘에 의해 판 내부의 어떤 약한 암반대(活斷層)가 파괴되면서 지진을 일으키기도 한다. 이러한 지진

을 내륙형 지진이라고 한다(그림 4).

내륙형 지진의 특징은 방출되는 에너지량은 적으나 진원지가 인간이 살고 있는 지역에서 가깝거나 지표에서 거리가 가까움으로써 큰 흔들림을 가져와 막대한 피해를 초래하기도 한다. 예를 들어 中國 河北省 唐山지진(1976. 7. 28)에서는 24만2천명이 죽고 중경상자가 16만 4천명이었다. 우리가 관심있는 한반도에서 생각할 수 있는 지진은 이러한 내륙형 지진이다. 역사적으로 보아도 삼국시대에는 많은 지진이 있었다는 고문헌이 있으며 최근

에는 1936년도의 지리산지진과 1978년도의 홍성지진 등이 있다. 근래에 들어 지진의 발생 수는 적다고 할 수 있지만 발생원인으로부터 추정해 볼 때 週期성을 가지고 있다는 사실을 고려하면 한반도가 결코 지진의 안전지대는 아니라는 점이다.

### 5. 공학적 입장

中國의 孫子兵法에는 「知彼知己 百戰不殆」라는 말이 있다. 이를 地震防災의 입장에서 보면 敵이란 지진이고 防災는 지진이라는 적으로부터 인간의 생명과 재산을 지키는 것이 된다. 그러므로 지진관측으로부터 지진의 주기특성이나 가속도의 크기 등 地震動의 특성이라는 적을 알고 이에 대비한 경험과 기술을 가지고 구조물을 내진설계하게 되면 인간의 생명과 재산을 지킬 수 있다.

### 地震動과 구조물의 相互關係

우리들은 상식적으로 바람과 같은 일상적인 진동에도 흔들리기 쉬운 고층건물은 지진에 위험하고 이와 반대되는 저층건물은 지진에 안전하다는 생각을 가지고 있다. 그러나 전세계적으로 지진이 가장 많이 발생하는 日本의 東京이나 미국의 캘리포니아 지역에서 초고층빌딩이 많이 건설되어 있으며 어떻게 이러한 지진의 위험지역에서 초고층건물의 건설이 가능한가라는 의문에 대한 해답은 앞으로 설명될 응답스펙트럼이라고 하는 지진동의 특성과 진동수가 상이한 두 물체

사이의 공진형상으로 설명될 수 있다.

다시 말하면 지진에는 유연한 물체는 약한 힘으로 어루만져 주고 강한 물체는 강한 힘으로 때려주는 특성이 있기 때문에 이의 성질을 이용하여 지진력에 대항하지 않고 지진력을 피하고자 하는 개념으로 건물물을 유연하게 설계함으로써 지진 다발지역에서의 초고층건물의 건설이 가능해진다.

### 1. 응답스펙트럼이란

스펙트럼이란 말에 먼저 머리에 떠오르는 것은 아마도 프리즘을 통하여 나타나는 태양광선의 아름다운 무지개인 일곱 색깔일 것이다. 태양광선은 맨눈으로 보면 밝기만 인식될 뿐 아무런 색깔도 띠지 않

으나 프리즘을 통하여 보면 주파수 별로 일곱가지 색으로 분해되어 보인다.

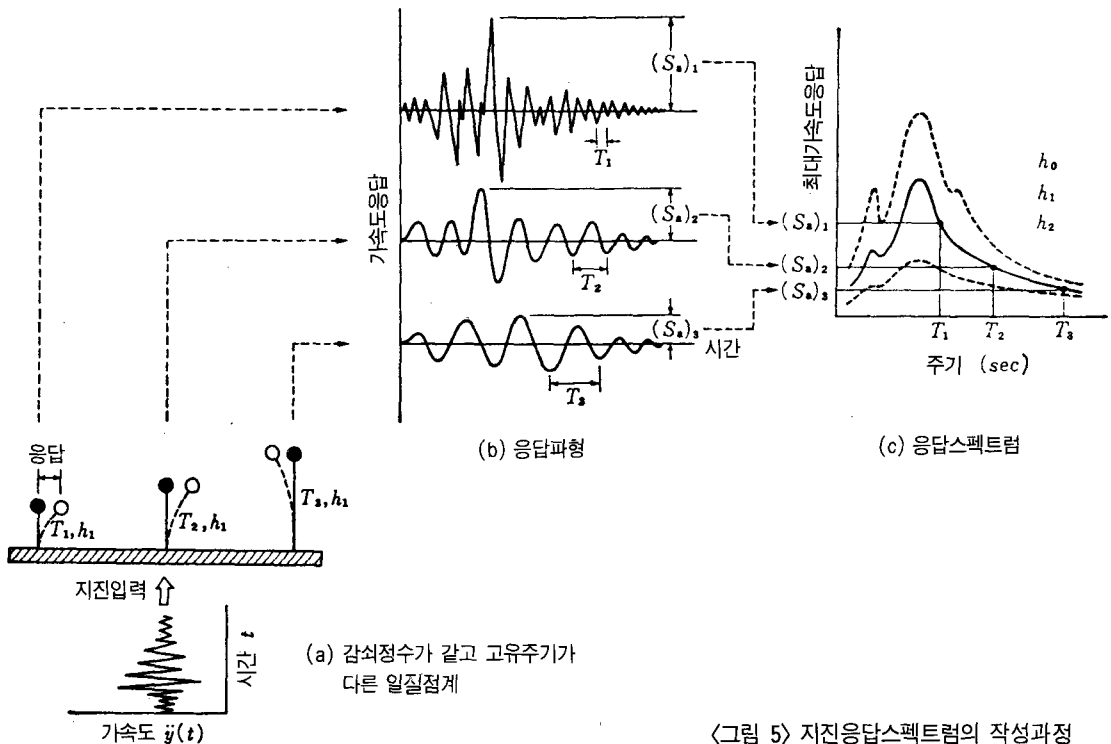
이와 마찬가지로 지진동의 크기를 기록한 지진파의 時間履歷를 보면 지진의 계속시간이나 최대가속도와 같은 비교적 간단한 특성은 파악되나 지진파 속에 포함된 주파수의 성분까지는 잘 파악할 수가 없다. 그러므로 빛의 주파수 성분을 파악하는 프리즘과 같이 數學的 도구를 사용하여 지진파의 특성을 주파수별 성분으로 분해하는 방법 중의 한 가지가 응답스펙트럼이다.

### 2. 응답스펙트럼의 작성방법

어떤 물체에 강제적인 변위를 가한 후 이를 해제하면 그 물체는 원위치로 되돌아가려는 복원력과 제

자리에 있으려고 하는 관성력이 작용하므로 진동을 하게 된다. 이러한 물체의 진동하는 주기를 물체의 고유주기라 하며 물체의 재료와 형상에 따라 달라진다. 또한 모든 물체가 진동하는 동안에 열이나 소리로써 에너지를 소비하는 성질을 減衰(Damping)라고 한다. 이러한 주기와 감쇠를 가진 진동하는 물체를 매개로 하여 지진파의 주파수 성분을 분석한 결과가 응답스펙트럼이며 이의 작성방법을 도식적으로 표시하면 <그림 5>와 같다.

즉, 한 장의 판 위에 여러가지의 스프링으로 연결된 고유주기가 다른 여러가지의 추(一質點系)가 놓여 있다고 가정하자. 판을 지면이라 생각하고 지진동처럼 판을 흔들면 이 추들도 각각의 고유주기에 따라



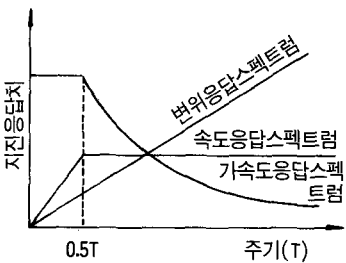
<그림 5> 지진응답스펙트럼의 작성과정

흔들릴 것이다. 이때에 각 추들의 시간에 따른 응답치를 측정하여 이들 응답치 중에서 최대치를 찾아 X축에는 고유주기를 Y축에는 이 고유주기에 대응하는 응답의 최대치를 표시한 그래프가 응답스펙트럼이다.

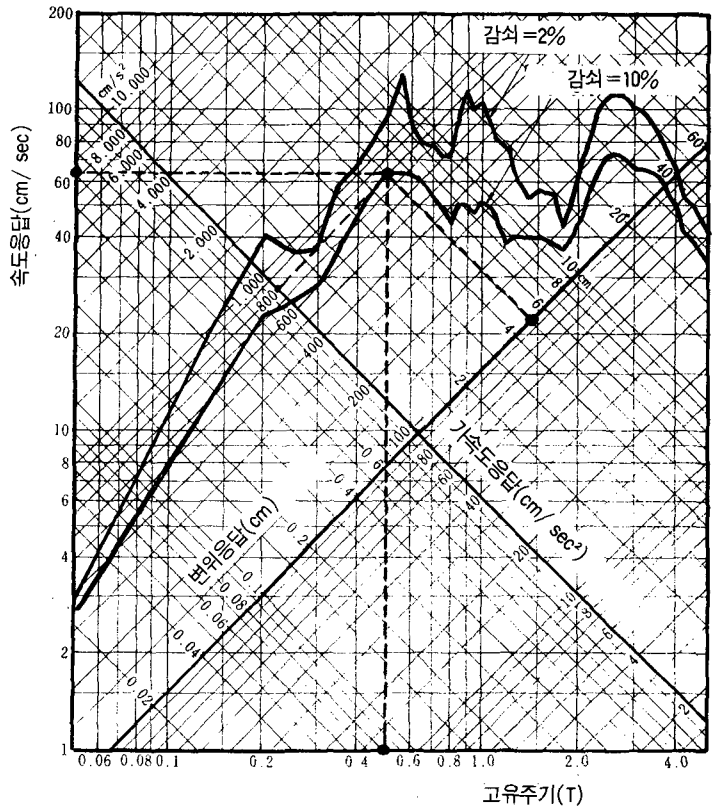
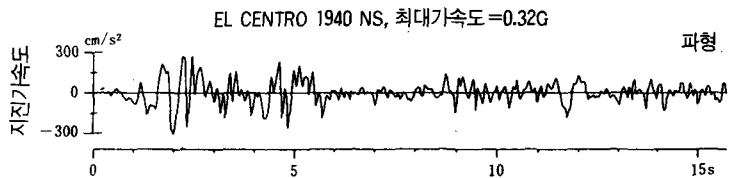
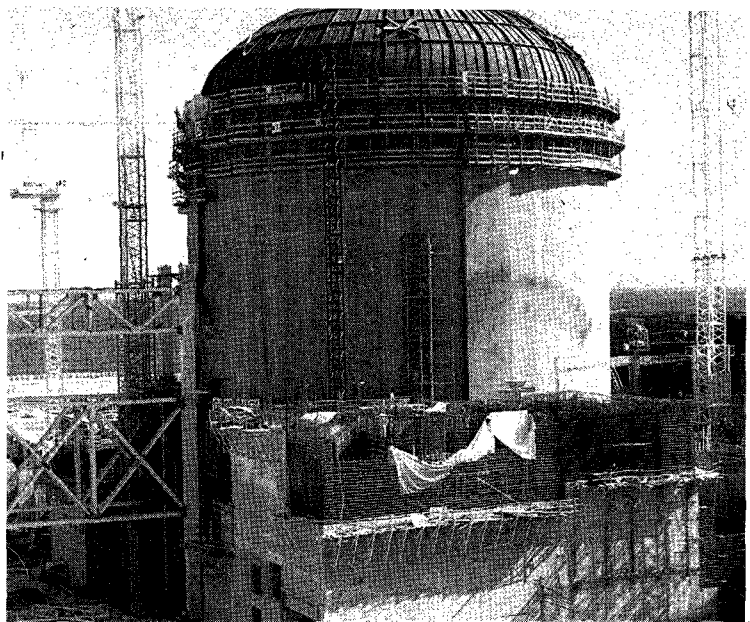
스펙트럼의 형상은 지진파의 주기특성에 따라 많은 굴곡을 가지며 특히 큰 응답치를 가지는 주기를卓越週期(Predominant Period)라고 부른다. 또한 감쇠가 클수록 주기의 특성은 적어지고 굴곡들은 완만한 모양을 갖게 된다. 이러한 스펙트럼의 모양은 지진파에 따라 상이하나 전세계적으로 관측된 지진파들의 스펙트럼을 분석한 결과 스펙트럼에는 개략적으로 비슷한 성질이 있다는 것을 알게 되었다. 스펙트럼의 일반적인 경향을 간략화하여 표시하면 <그림 6>과 같다.

또한 세계에서 최초로 포착된 강진기록으로 널리 알려진 1940년 5월 18일에 발생한 EL-CENTRO 지진에 대하여 가속도, 속도, 변위의 3가지 성분을 한 장의 스펙트럼으로 나타내면 <그림 7>과 같다.

지진력이 가진 힘의 크기와 직접 관련이 있는 가속도응답스펙트럼을



<그림 6> 지진응답스펙트럼의 개략적인 형태



<그림 7> Tripartite Response Spectrum

보면 어떤 짧은 주기까지는 대체로 일정한 값을 가지나 주기가 점점 길어짐에 따라 응답치가 급속히 떨어지는 경향이 있다. 어떤 주기에서의 응답치가 크다는 것은 지진파 속에 이러한 주기의 성분이 많이 포함되어 있다는 것을 의미하며 응답치가 작다는 것은 이러한 주기의 성분이 적다는 것을 의미한다.

### 3. 공진현상

그러면 지진파의 성질 중에서 최대가속도의 크기 뿐만 아니라 주기별 성분의 분해가 왜 중요한가. 이는 지진에 의한 구조물의 피해는 지진의 크기 뿐만 아니라 지진이 갖고 있는 주기와 구조물이 갖고 있는 주기가 공진을 일으켰을 경우에 큰 피해를 받기 때문이다. 여러 분들은 국민학교 시절에 두 개의 크기와 모양이 같은 소리굽쇠를 서로 떨어지게 놓고 한 쪽 소리굽쇠를 진동시켰을 때 다른 쪽 소리굽쇠가 따라서 진동하는 현상을 배웠을 것이다. 이와 같이 두 물체의 진동하는 주기가 인접할 때는 공진현상을 일으킨다.

예를 들어 어느 인접된 장소에 층수가 상당히 다른 두 종류의 건물을 건설하였다 하면 저층건물은 고유주기가 짧을 것이고 고층건물은 고유주기가 길 것이다. 만약 이 지역에 단주기성분이 강하고 장주기성분이 약한 특성을 가진 지진이 왔다고 가정하면 저층건물은 파괴되고 고층건물은 안전할 가능성이 크다. 만약 이와 반대로 장주기성분이 강하고 단주기성분이 약한 지진이 왔다면 고층건물은 파괴되

고 저층건물은 안전할 가능성이 크다.

이는 「지진의 탁월주기와 건물의 고유주기가 일치하여 공진현상을 일으키느냐, 지진의 탁월주기와 건물의 고유주기가 빗나가 공진현상을 일으키지 않느냐」의 차이에 있으며, 「건물을 튼튼하게 잘 지었느냐, 부실하게 지었느냐」의 차이보다 더 큰 문제가 된다. 그러므로 구조물의 내진설계는 지진의 주파수 특성을 고려한 설계를 하여야 하며 지진동의 주파수특성을 나타내는 응답스펙트럼이 중요한 이유가 여기에 있다. 그러므로 구조물을 건설할 대상부지에 어떠한 탁월주기를 갖는 지진이 발생할 것인가에 대한 예측이 중요한 문제가 된다.

### 4. 地震動의 주기특성

내진설계란 다가올 지진동에 대비하여 이에 견딜 수 있는 구조물을 설계하는 것이다. 그러나 우리에게 다가올 미래를 예측할 수 없듯이 다가올 지진에 대해서도 그 특성을 정확히 알 수는 없으나 지금까지 지구상에서 관측된 각종 지진파를 분석한 결과 일반적인 경향을 파악하게 되었다.

그러나 사람의 얼굴이 다르듯이 지진동의 특성도 지진이 발생된 장소 또는 관측된 장소에 따라 상당히 다르다. 즉 지진의 특성은 진원지에서의 단층의 크기나 모양 또는 암석의 파괴형태에 따라 달라지며, 진원지에서 관측점까지의 지진파의 전파경로에 의한 영향, 관측점 하부 표층지반에서의 증폭특성에 영향을 받는다. 그 중에서도 특

히 단층의 크기는 지진파의 전반적인 크기에 영향을 미치며 표층지반의 영향은 진동수 특성에 상당한 영향을 미친다.

그러므로 우리나라에서의 내진설계를 위해서는 한반도의 지반특성이 반영된 설계응답스펙트럼을 구해야만 하며 미국이나 日本의 기준을 그대로 사용하는 것은 전혀 다른 결과를 초래할 소지가 있다. 부지 고유의 설계스펙트럼의 작성을 위해서는 한반도의 지반특성이 반영된 관측기록을 많이 축적하여 미소지진으로부터 설계지진을 예측하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 이와 같은 설계지진이나 설계스펙트럼의 결정은 원전구조물 및 기기계통의 내진안전성 확보와 경제성 제고라는 두 마리 토끼를 동시에 잡아야 하는 중요한 문제이다.

### 5. 원자력구조물의 내진설계

일반적으로 연약한 지반에서 관측되는 지진동은 長周期성분이 많고 단단한 암반층에서 관측되는 지진동은 短週期성분이 많다. 그러면 단단한 구조물로 설계되는 원자력 구조물을 연약한 지반 위에 설치한다면 지진파와의 공진을 피하게 되어 효과적인 내진설계가 될 것이라는 생각이 들 것이다.

그러나 실제의 원자력구조물이 대개 암반위에 축조되고 있는 이유는 원자로건물을 연약층에 설치하면 구조물 자체는 안전할 수 있으나 구조물의 절대변위가 커져 원자로 내부에 설치되는 중요기구나 배관에 불리한 조건이 된다. 또한 연약지반은 지진동에 의해 지반 자체

가 파괴되어 부동침하나 전면침하 등으로 내부기기에 심각한 영향을 미치므로 지반의 파괴가 일어나지 않는 암반위에 설치할 수 밖에 없다.

그러므로 원자력구조물은 단주기 성분의 지진동에 대항하기 위하여 구조물을 더 튼튼하게 설계할 필요가 있다. 이 사실을 고층건물 설계의 경우와 비교해 보자. 고층건물

의 설계개념은 대지진에서 붕괴되지 않을 정도로 약간의 변위나 국부적인 파괴는 허용되므로 고층건물로 설계하면 구조물의 고유주기가 늘어나 지진력이 줄어드는 효과가 있다(실제로는 초고층건물이 되면 지진하중보다 風하중에 의해 설계하중이 결정됨).

그러나 원자력구조물은 조그마한 변위나 국부적인 파괴 조차 허용할

수 없어 튼튼하게 설계함으로써 더 많은 지진력을 초래하게 되고 이러한 지진력을 이겨낼 수 있도록 더욱 더 튼튼하게 설계하므로 공사비가 증대하게 된다. 최근에는 지진동의 특성에 관계없이 지진력 자체가 구조물로 전달되지 못하게 하는 免震구조물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.(계속)■

(64페이지에서 계속)

지상태로 보내고 사고과도상태를 완전히 종료시킨다.

ALMR의 자연피동특성 때문에 무정지 예상 과도상태가 발생하더라도 심각한 연료손상, 소듐비등 또는 ASME Level D의 한계치 이상으로 구조물의 온도가 상승하지 않는다고 GE사는 말하고 있다.

ALMR이 이론상 5달러 정도의 최고값을 가지는 정소듐기포효과가 있지만 다음 4가지의 주요이유 때문에 설계상 인정할 만하다.

첫째, 이론상의 최고 정기포반응도값을 역으로 줄이기 위하여 필요한 설계변경은 연소반응요동을 증가시켜 제어봉을 삽입하여야 하는

정반응도의 크기를 증가시키고, 출력밀도를 증가시켜 중심선상 연료 용융온도 여유를 줄이는 등 다른 안전특성에 영향을 미친다. 또한 설계변경은 발전단가를 상승시키게 된다.

둘째, 다른 음의 효과들과 함께 시간, 공간적으로 괴리효과는 이론적 최고치 5달러보다 훨씬 작은 양의 비율로 정반응도 삽입을 제한한다.

셋째, 노심기포확률이 낮아 10<sup>-7</sup>/년보다 작은 오차범위에 든다.

넷째, 노심기포발생결과는 1차계통경계에서 소형 ALMR 금속연료 노심의 최대치보다 수십배 더 큰

에너지를 처리할 수 있어 별 문제가 없다. 1차계통 경계를 둘러싸고 있는 격납경계는 외부환경으로 방사능 유출에 대한 추가적인 방벽역할을 한다.

### 7. 방사선 선량

전통적으로 소듐냉각 수조형태 원자로는 개인 피폭량이 작다. 이는 소듐의 비부식성과 Na24가 배관내에서 순환되지 않고 원자로용기 내에 있기 때문이다. 3개 출력블록 ALMR에서 근무하는 발전소 직원들의 연간피폭선량은 20인렘/년보다 적다도 GE사는 말한다. ■