

原電構造物の 耐震技術 (2)



전 규 식

한전기술연구원 토건연구실 내진연구부 연구원

우리는 달리고 있는 지하철
T 속에서 진동을 느끼게 된다.
이때에 차 안에 있는 노인들은 손
잡이를 붙잡아서 몸의 균형을 유지
하려고 하나 젊은 사람들은 자기의
두 발로 버텨으로써 넘어지지 않을
수 있다.

이러한 진동을 제어하는 현상을
구조물에 적용하면 나이 든 사람이
주위의 물체를 붙잡아 몸의 균형을
유지하는 것처럼 구조물 내에 보조
재를 설치하여 지진에 견딜 수 있
게 하는 구조물이 내진구조이며,
젊은 사람은 두 발로 버틸 수 있는
것처럼 구조물 자체에서 진동과 반
대되는 방향으로 인위적인 힘을 가
하여 진동을 제어하는 구조물이 제
진구조이다(그림 8). 또한 면진구
조란 차세대 열차인 자기부상열차
가 진동이 없는 것처럼 지진에 의
해 진동이 구조물에 전달되지 않도
록 원천적으로 봉쇄하는 방법이다.

이밖에도 지진의 피해를 막는 방
법으로서 우리가 살고 있는 도시지
역까지 지진파가 도달하지 못하도
록 땅 속에 거대한 콘크리트 층을
설치하여 지진파를 땅 속으로 반사
시키는 방법이나 유체는 지진력을
받지 않는 사실을 이용하여 구조물
을 배처럼 유체 위에 설계하는 방
법 또는 지진의 발생원인이 암반층
에서 축적된 응력에 기인하므로 인
위적인 폭발로 암반층의 응력을 해
소시켜 대지진의 발생 자체를 해소
시키는 방법 등을 생각할 수 있다.

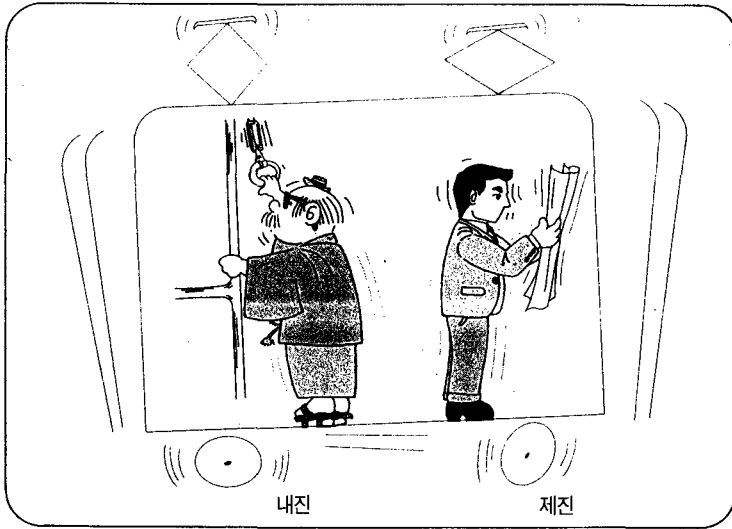
耐震구조

일반적으로 지구상에 있는 모든
구조물은 지구중력과 같은 수직하
중에는 견딜 수 있도록 설계되어
있으나 바람이나 지진과 같은 수평
하중에 대해서는 취약한 경우가 많
다. 예를 들어 교량의 경우 자동차

나 기차의 통행과 같은 수직하중에
는 견딜 수 있으나 홍수와 같은 수
평하중은 견디지 못하고 쉽게 부서
져 버린다. 그러므로 강물의 범람
에 의한 수평하중을 견딜 수 있도
록 설계된 교량이 잠수교이다. 내
진구조물이란 글자 그대로 지진하
중과 같은 수평하중에 견딜 수 있
도록 설계된 구조물을 말한다.

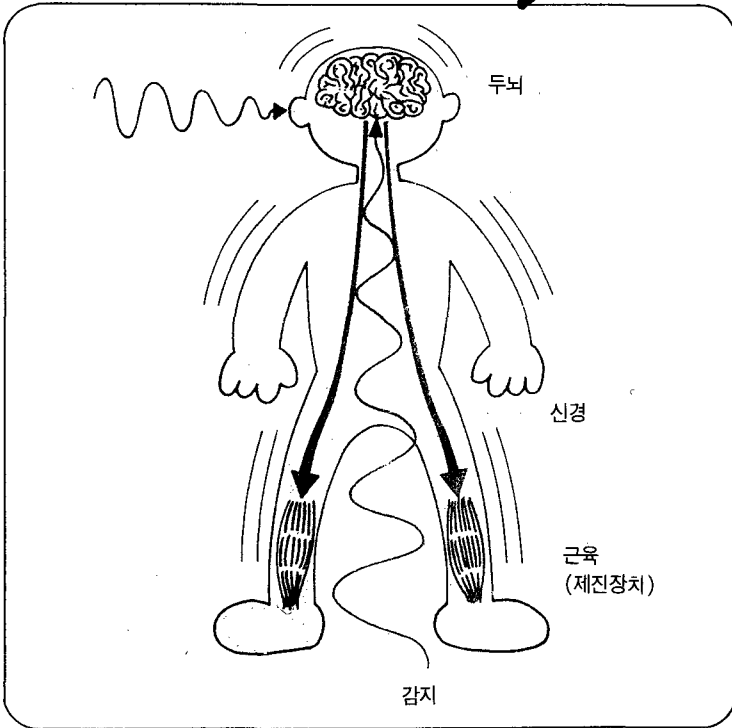
옛날에는 지진이나 바람 등의 수
평하중을 고려할 필요가 없이 구조
물이 부서지면 다시 건설하면 되었
으나 사회가 발달하고 경제규모가
커짐에 따라 원전 구조물과 같은
중요한 구조물이나 고층빌딩 같은
대형구조물이 파괴될 시에는 막대
한 인명피해를 동반하므로 만일의
경우를 대비한 내진설계를 하지 않
을 수 없게 되었다. 이러한 수평하
중을 견딜 수 있는 내진설계의 가
장 효율적인 방법은 건축물의 내부
에 전단벽(Shear Wall)이라고 하는
철근콘크리트 내진벽을 설치하는
방법이다. 내진벽은 건축물의 하층
부분에서 크게 작용하는 지진하중
의 대부분을 받아줌으로써 骨組구
조의 파괴를 막아준다.

예를 들어 평수가 적은 아파트
건물은 가구별로 차단하는 벽이나
작은 방들로 구성되어 있으므로 큰
강당 등의 내부에 넓은 공간을 가
진 건축물보다는 내진성이 높다고
할 수 있다. 그러나 층별로 상당히
상이한 면적을 가진 전단벽의 설치
나 평면상의 무게획적인 전단벽의
설치는 구조물 전체의 강성에 불균
형을 초래하여 강성이 약한 층에
지진의 피해가 집중하거나 건물의
비틀림에 의한 치명적인 파괴를 가



화가 생기지 않도록 계획을 세우는 것이 내진구조물의 설계에 있어서 가장 중요한 문제이다. 원진 구조물은 이러한 개념의 전단벽을 많이 가지고 있는 내진구조물의 형식이라 할 수 있다. 그러나 아무리 내진 설계를 한다고 하더라도 자연현상인 지진의 크기를 인간이 예상할 수 없는 한에서는 절대적인 안전성은 보장받을 수가 없다. 그러므로 인간의 지혜로써 지진에 대한 절대적 안전성을 확보하기 위해 고안된 구조물이 면진구조물이나 제진구조물이다.

免震구조



지진동의 성질에는 단주기의 성분은 강하고 장주기의 성분은 약한 특성이 있다. 면진구조물이란 이러한 지진동의 특성을 이용하여 구조물의 고유주기를 인위적으로 길게 하여 입력되는 지진력을 줄이자는 발상이다. 고층건물은 고유주기가 길어지므로 그 자체가 면진구조의 역할을 하게 되나 저층건물은 구조형식상 고유주기를 늘일 수 없으므로 지반과 건물의 연결부에 積層 고무를 삽입하여 건물의 고유주기를 강제로 늘이는 방법이다(그림 9).

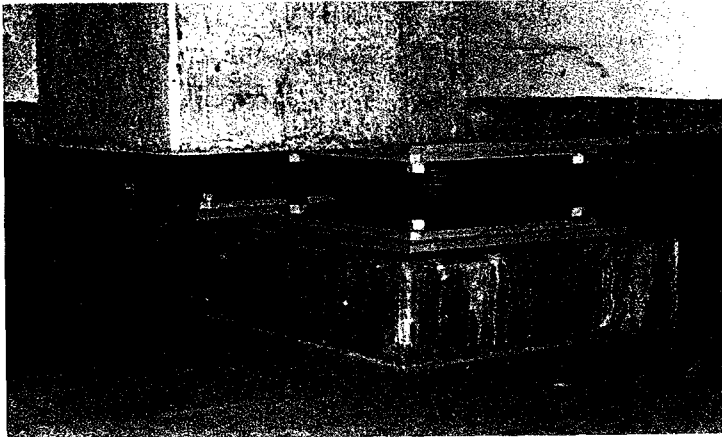
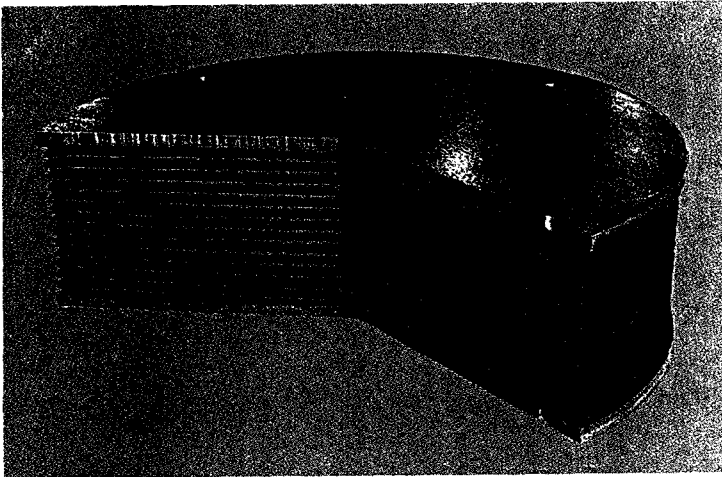
그러나 연약한 갈대는 강풍에 부러지지는 않으나 많이 흔들리는 것처럼 유연한 구조로 되는 면진구조물은 구조물의 변위가 커지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 건물의 진동에너지를 소비하는 장치인 減衰機具를 설치하게 된다(그림 10).

<그림 8> 내진 및 제진시스템 개념도

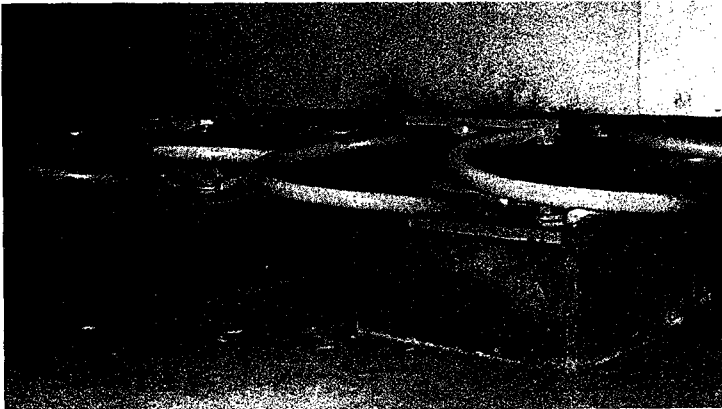
저오기도 한다.

그러므로 내진벽의 배치가 평면

구조적으로 대칭을 이루고 내진벽의 면적이 층별에 따라 급격한 변



〈그림 9〉 구조물의 하부에 설치된 적층고무



〈그림 10〉 구조물의 하부에 설치된 감쇠기구

이러한 면진구조의 생명은 적층고무의 내구성과 감쇠장치의 효율성에 있으나 구조물의 규모가 대형화될 때에는 적층고무의 성능상 구조물의 자중을 견디어 낼 수가 없으므로 대형구조물에 대한 면진구조는 아직까지 실용적인 단계는 아니다.

그러므로 대형 구조물의 경우에는 구조물 전체를 면진구조로 하는 것이 아니라 건물 내부에 설치된 대형 계산기와 같은 중요한 기기들을 보호하기 위한 부분적인 면진구조가 실용적일 때가 많다. 이러한 면진구조의 형식을 층면진이라고 하며 층면진의 장점은 구조물 전체의 완전한 안전보다는 컴퓨터실과 같은 주요한 기기들의 절대 안전을 기할 수 있다는 점에서 실용적이고 경제적이므로 현재 가장 많이 사용 중인 시스템이다.

制振구조

제진이라고 하는 말은 기계진동 등과 같은 일반진동을 제어하는 제진과 지진이나 바람에 의한 구조물의 제진을 포함한 넓은 의미를 가지나 여기서는 지진에 대한 제진의 의미를 살펴본다. 제진의 수법으로서는 크게 대별하여 두 가지의 경우를 생각할 수 있다.

첫째 방법은 외부에서 오는 진동과 이에 따른 구조물의 진동을 감지하는 검출기능을 구조물 자체에서 갖추고 구조물의 내부나 외부에서 구조물의 진동에 대응한 제어력을 가하여 인위적으로 구조물의 진동을 저감시키는 방법이다.

둘째 방법은 구조물의 내부나 외부에서 강제적인 제어력을 가하지는 않으나 구조물의 강성이나 減衰 등을 입력진동의 특성에 부응해서 순간적으로 변화시켜 지진과의 공진을 피할 수 있도록 구조물을 제어하는 방법이다.

그러나 이러한 방법들은 이론적으로는 가능하나 실제적으로는 전자계산기에 의한 계산상의 조그만 착오로 인해서도 오히려 구조물을 파괴하는 방향으로 힘을 가하게 되는 위험성과 언제 발생할지도 모르는 지진에 대비하여 항상 설비를 유지보수를 해야 하는 단점이 있다. 또한 건물 자체에서 대형 계산기를 보유하여야 하고 여러가지 계측기기를 갖추어야 하므로 경제적인 면에서 아직까지는 실용적인 방법이라고 볼 수 없으며 차후 연구를 필요로 하는 과제라 하겠다.

이와 같이 면진구조는 지진에 대항하지 않고 지진을 피하고자 하는 수동적인 개념이라고 한다면, 제진구조란 효율적으로 지진에 대항하여 지진에 의한 피해를 극복하고자 하는 능동적인 개념이라 하겠다.

원전예의 적용

원자력발전소는 예상되는 발생가능 지진에 대하여 안전하도록 내진설계를 하게 되며 운전중에도 지진감시계통을 설치하여 설계지진보다 큰 지진발생시에는 경보를 발하여 안전하게 발전소의 운전을 정지하도록 조치를 취하고 있다. 또한 원자력발전소의 안전이란 구조물 자체의 안전 뿐만 아니라 기기 및 계

통의 안전이 더욱 중요하므로 관측된 계측자료의 분석평가를 통하여 발전소의 재가동과 관련한 안전성 여부를 평가할 수 있도록 하고 있다.

그러나 이러한 운용은 지진발생후의 사후처리라는 한계점이 있다. 지진다발지역에 있는 선진국에서는 원자력발전소 부지 내에 뿐만 아니라 광역적인 지진관측망의 구성에 의해서 원방에서 관측된 지진의 정보를 무선으로 전달하여 지진파가 도달하기 전에 미리 대처하는 사전처리시스템을 갖추고 있다.

또한 미래의 꿈의 에너지로 각광받고 있는 고속증식로 경우 원자로가 갖는 고온저압의 특성으로 인하여 설계지진하중이 크게 되므로 내진구조로 할 경우에 건설공사비가 증가한다. 면진구조는 上部구조의 건설비는 절감되나 기초와 같은 下部구조의 건설비는 증가되므로 상부구조 건설비의 절감과 하부구조 건설비의 증가가 균형을 이룰 때 경제성이 있다고 할 수 있다. 그러므로 앞으로 면진구조 기술의 발달과 신소재 개발에 의한 경비의 절감을 예상하여 고속증식로 발전소에 대해서 면진구조의 도입이 검토되고 있다.

이밖에도 프랑스에서는 원자로건물에 대해서 면진구조방식을 실제로 도입하고 있으나 아직까지는 경제성이나 안전성에 대해 의문의 여지가 많다. 독일의 경우에는 터빈발전기 기초와 같은 진동을 받는 구조물에 부분적인 면진구조를 설치하여 경제성 및 운전효율을 증대시키고 있다. 이와 같은 세계적인

기술개발 추세에 따라 토건연구실 내진연구부에서도 이와 관련된 신기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

맺음말

내진설계의 궁극적인 목적은 지진으로 인한 재산이나 인명피해의 감소에 있으며 만약 지진의 예측이 가능하다면 미리 대비하거나 이에 대비함으로써 최소한 인명의 피해는 막을 수 있다. 그러므로 지진의 피해를 막을 수 있는 가장 실용적인 방법은 지진이 발생할 장소나 시간을 예측하는데 있다. 자연현상이란 반드시 어떤 징후를 동반하고 있으나 인간이 이러한 현상을 감지하지 못하여 이에 대비하지 못하고 있는 실정이므로 향후 지진학적 측면에서의 지진에 대한 예측기술의 향상과 내진공학적 측면에서의 면진구조나 제진구조가 더한층 발달하게 되면 어떠한 지진이 발생하더라도 절대 안전하고 경제성을 갖는 원자력발전소의 건설이 가능한 날이 올 것이다.

이상으로 지진의 발생원리, 지진동의 특성, 구조물의 설계개념에 대해서 알기 쉽게 설명하도록 노력하였으나 미비한 점에 대해서는 독자 여러분들의 이해를 바란다. ▣