

시설물별 내진성능기준(안) 요약

1997. 9. 27

인천대학교 토목공학과
박 형 기

1. 일반사항

지진발생 지역에서는 자연재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위하여 토목구조물의 건설 및 유지관리면에서 지진 안전성(내진성)을 확보해야하는 것은 기본적인 요건이다. 일반적으로 지진에 대해 안전지대로 생각하고 있던 차에 규모는 그다지 크지 않으나 지진발생 빈도가 잦아지면서 정부에서 1995년 1월 17일 일본 고베 지진 이후 범정부차원의 지진으로 인한 자연 재해에 대한 총괄 대책수립의 일환으로서 건교부 소관 시설물의 내진 안전성 확보를 위하여 현행 기준의 적정성을 심도 있게 분석 연구하여 안전적이고 합리적인 지진대책을 마련하기로 하였다.

구조물의 내진설계는 지진으로 인한 피해를 경감 혹은 방지하기 위한 수단이지만 시방서에 따라 내진설계된 구조물이라 하더라도 내진성 확보에 제한성을 가진다. 이는 내진설계기준을 자연현상의 특성과 경제적 여건을 고려하여 제정하기 때문이다.

한국지진공학회와 한국건설기술원은 공동으로 건교부와 “내진설계기준 개발 연구” 계약을 체결하여 그 연구 결과물로서 합리적인 시설물의 내진설계가 이루어질 수 있도록 상위개념의 내진설계기준인 내진성능기준(안)을 제안하였다. 1차적으로 대상 시설물은 도로교, 고속철도, 공항, 항만, 지중구조물이다. 내진성능기준(안)의 골격은 그림1에 보인 바와 같다.

2. 시설물의 내진등급 분류

각 시설물에 속하는 구조물에 대한 내진등급은 구조물의 중요도와 지진재해 발생가능성을 기준으로해서 「내진특등급」, 「내진1등급」 및 「내진2등급」으로 분류된다.

구조물의 중요도는 다소 주관적이긴 하지만 구조물이 손상을 입을 경우에

- 1) 인명피해의 정도
- 2) 지진발생후의 구조/구호활동과 2차 재해 방지활동에 미치는 영향의 정도
- 3) 치안유지 및 국방상 필요성의 정도

- 4) 지역의 생활과 경제활동에 미치는 영향의 정도
- 5) 도시 기능의 조기 복구에 미치는 영향 정도와 복구의 난이도 등이 고려되어 결정된다.

시설물 별로 분류된 내진등급은 표1에서 보인바와 같다.

3. 내진성능수준의 정의

지진 발생후 시설물의 가능한 상태로서는

- 1) 무피해
- 2) 구조물로서의 기능을 유지하고 있지만 보수가 필요한 상태
- 3) 붕괴 또는 완전한 파괴는 아니지만 구조물의 기능이 상실된 상태
- 4) 붕괴 또는 완전히 파괴된 상태

등의 여러 단계를 생각할 수 있다.

제안된 내진성능기준(안)에서는 단순하게 2단계 수준, 즉 「기능수행수준」과 「붕괴방지수준」으로 나눈다. 시설물별 내진성능수준의 정의는 표2와 표3에서 보인바와 같다.

4. 설계지진의 정의

의도하는 내진성능수준의 합리적인 목표 달성을 위한 내진설계는 적정 수준의 지진강도가 시설별, 내진등급별, 기대하는 내진성능수준에 따라 정의되어야 한다. 내진성능기준(안)에서는 SEAOC의 연구결과를 참조하여 지진재해 연구팀에서 제안한 재현주기별 최대지반가속도로 나타낸 재해도에서 선택하여 설계지진의 강도로 제안하였다. 또한 설계 지진파의 진동수 특성은 제시된 응답스펙트럼으로 나타낸다. 시설물의 내진등급과 성능수준별 설계지진의 정의는 표4와 같다.

5. 지진해석 및 내진설계 방법

동적해석 이론에 바탕을 둔 타당한 지진해석 방법과 절차의 선택은 합리적인 내진설계가 이루어지기 위한 대전제가 된다. 각 시설물의 특성을 고려하여 시설물 별로 해석모델 작성, 해석 및 설계방법을 내진성능기준(안)으로 제시하였다. 제시된 시설물별 기본적인 지진해석 방법은 표5와 같다.

6. 품질보증

내진성 확보를 위한 품질보증은 중요도를 기준으로 해서 분류된 등급에 따라 부여된 시설물의 내진성능수준이 달성될 수 있도록 품질보증요건을 문서화하여 설계, 시공, 완공후 공용기간의 단계별로 이루어져야 한다.

제안된 내진성능기준(안)에서는 지중구조물의 경우, 활단층지역에서 지진 발생후 피해 구조물의 보수가 용이하도록 설계를 요구하고 있으며, 또한 선상지중구조물의 이음부와 같이 연성도가 확보되어야 하는 중요부재의 내진성능 평가시에는 특별한 주의를 요구하고 있다.

7. 지진기록 계측 및 방법

「내진특등급」 구조물에는 관할기관이 발주자로 하여금 의무적으로 지진응답계측 기기의 설치 운영을 하도록 하였으며, 「내진1등급」과 「내진2등급」 구조물에는 필요하다고 판단되면 관할기관은 발주자로 하여금 지진응답계측을 위한 기기를 설치하여 운영하도록 제안하였다.

공항시설물 중 항공기의 이착륙과 직접적인 연관이 있는 시설물에는 지진계측기기의 설치운영을 의무화하고 있다.

표 1 시설물의 내진등급 분류

| 시설물 | 등급 | 내진특등급 | 내진 1 등급 | 내진 2 등급 |
|-------|----------------------------------|--|--|------------------------------|
| 도로교 | | 설계지진후 긴급차량의 통과가 가능해야 하는 교량중에서 부구의 난이도와 경제적인 측면에서 특별히 지정되는 도로교 (예) - 장대교 | 설계지진후 긴급구조와 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 긴급차량의 통과가 가능해야 하는 교량 (예) - 고속도로, 자동차 전용도로, 특별시도, 광역시도 및 일반국도상의 교량 - 지방도, 시도 및 군도로로서, 지역의 방재 계획상 필요한 도로에 건설되는 교량, 해당 도로의 일일계획 교통량을 기준으로 판단했을때 중요한 교량 및 「내진1등급교」가 건설되는 도로 위를 넘어가는 고가교 등 | 내진 1 등급에 속하지 않는 교량 |
| 고속철도 | - | - | 설계지진 발생후에도 교통수단을 유지하기 위한 중요 시설물 (예) 교량, 역사, 진차선 및 진주 등 | 내진 1 등급에 속하지 않는 고속철도시설물 |
| 공항 | - | - | 지진 후 복구와 관련되거나 위험물질을 포함하는 시설물 및 항공기의 이착륙에 직접적인 영향을 초래하는 시설물 (예) 활주로, 착륙대, 관제탑 등 | 내진 1 등급에 속하지 않는 공항시설물 |
| 항만 | 절대적으로 안전이 요구되는 시설로서 특별히 지정되는 구조물 | | 많은 인명 피해와 재산상의 손실을 초래하거나 지진 재해 복구나 국방상의 필요성에 의해 결정되는 구조물 | 내진특등급과 내진 1 등급에 속하지 않는 항만시설물 |
| 지중구조물 | 특별한 안전이 요구되는 시설로서 특별히 지정되는 구조물 | | 구조물이 피해를 입으면 사회적 혼란이 야기되고 많은 인명과 재산상의 손실을 줄 수 있는 구조물 | 내진특등급과 내진 1 등급에 속하지 않는 지중구조물 |

표 2 시설물별 내진성능수준의 정의

(1) 도로교

| 내진성능 | 설계기능 목표 | 설계거동한계 |
|--------|--|---|
| 기능수행수준 | 설계지진 발생후에도 긴급차량의 통행이 가능하도록 하는 것 | 받침부가 파괴되지 않아야하고, 교량의 주요 구조부재에 한정된 국부적인 휨항복(소성힌지형성)만 발생되어야 함 |
| 붕괴방지수준 | 설계지진 발생시 교량의 전체 또는 일부가 붕괴될 가능성이 배제되도록 하는 것 | 구조물 전체 또는 일부의 붕괴를 초래하는 주요 구조부재의 과도한 소성변형과 지반의 액상화를 포함한 지반 불안정성이 배제되어야 함 |

(2) 고속철도

| 내진성능 | 설계기능 목표 | 설계거동한계 |
|--------|--|--|
| 기능수행수준 | 설계지진 발생시 감속된 상태로 운행하는 열차 주행의 안전성을 보장하는 것 | 구조물의 변형, 응력, 진동 및 궤도들림 등이 열차의 주행 안전성을 위협해서는 안되며, 탄성 거동이 지배적이어야 함 |
| 붕괴방지수준 | 설계지진 발생후 피해정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴를 방지하는 것 | 구조부재의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적 붕괴는 방지되어야 함 |

(3) 공항

| 내진성능 | 설계기능 목표 | 설계거동한계 |
|--------|--|---|
| 기능수행수준 | 구조체에는 경미하고 일부에 제한적인 손상이 발생하여 시설물의 안전에 이상이 없도록 하고, 다만 항공기의 이착륙과 직접적인 관련이 있는 시설물은 지진 발생 직후에도 정상적인 기능을 수행하도록 하는 것 | 공항내 시설물중 교량, 건축물, 지중구조물, 도로 등은 관련 내진성능기준(안)에 따름 |
| 붕괴방지수준 | 시설물이 수평 및 수직 저항능력이 손상을 입었으나 붕괴에 도달하지 않도록 하는 것 | 공항내 시설물중 교량, 건축물, 지중구조물, 도로 등은 관련 내진성능기준(안)에 따름 |

표 2 시설물별 내진성능수준의 정의 (계속)

(4) 항만

| 내진성능 | 설계기능 목표 | 설계거동한계 |
|--------|--|--|
| 기능수행수준 | 허용범위 이내의 변위가 발생하며 국부적인 보수를 통해 기능수행에 문제가 발생되지 않도록 하는 것 | 흙구조물, 벽체구조물은 부분적인 항복과 영구변형을 허용하고, 배후지반 및 상부 구조물은 탄성거동을 하도록 함. 또한 말뚝구조물, 파이프라인, 크레인 등 탄성거동을 해야하며, 지반의 액상화가 기능수행에 영향을 미치지 않아야 함. |
| 붕괴방지수준 | 구조물에 제한적인 구조적 피해가 발생하나 긴급 보수를 통해 단시간에 항만시설로서의 구성을 할 수 있도록 하는 것 | 흙구조물, 벽체구조물은 경미한 구조적 손상이 허용되고, 배후지반 상부 구조물의 소성거동은 허용하나 취성파괴 또는 좌굴이 발생되지 않아야 함. 또한 말뚝구조물, 파이프라인, 크레인은 소성거동, 취성파괴 또는 좌굴이 발생되지 않아야 함. |

(5) 지중구조물

| 내진성능 | 설계기능 목표 | 설계거동한계 |
|--------|---|---|
| 기능수행수준 | 설계지진 발생후 원래의 기능을 유지하는 범위 내에서 부분적 경미한 파괴를 허용하나, 전체적인 붕괴를 허용하지 않도록 하는 것 | 구조형식 (선상지하구조물 수평공간구조물, 수직지하구조물)에 따라 달리 규정하고 있음 (표 3 참조) |
| 붕괴방지수준 | 설계지진 발생후 기능을 해치는 피해까지 허용하나 전체적인 붕괴는 발생하지 않도록 해서 보수가 가능하도록 하는 것 | 구조형식 (선상지하구조물 수평공간구조물, 수직지하구조물)에 따라 달리 규정하고 있음 (표 3 참조) |

표 3 지중구조물의 설계거동한계

(1) 공통사항

| 피해구분 | 피해 세부사항 | |
|------------|--|--|
| | 기능수행수준 | 붕괴방지수준 |
| 허용되는 피해 | <ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 미세한 균열 • 미세한 지반침하 • 구조물의 미세한 변형 | <ul style="list-style-type: none"> • 시설물의 미세한 균열 • 미세한 지반침하 • 구조물의 미세한 변형 • 전체 구조물의 안전에 관계없는 이차부재의 파괴 • 신축이음물의 파괴 |
| 허용되지 않는 피해 | <ul style="list-style-type: none"> • 천정의 붕락 • 벽이나 기둥의 전단파괴 • 바닥이나 기초의 파괴 • 과잉간극 수압에 의한 액상화 • 편도압에 의한 시설물의 절대 위치 변화 • 지반침하에 의한 주변 시설물의 붕괴나 과도한 침하 | <ul style="list-style-type: none"> • 바닥이나 기초의 파괴 • 과잉간극 수압에 의한 액상화 • 지반침하에 의한 주변 시설물의 붕괴나 과도한 침하 |

표 3 지중구조물의 설계거동한계(계속)

(2) 구조형식별 설계거동한계

| 구조형식 | 설계거동한계 | |
|----------|--|---|
| | 기능수행수준 | 붕괴방지수준 |
| 선상지하 구조물 | <ul style="list-style-type: none"> • 가동성 이음부에는 과도한 변위가 발생되지 않아야 한다. • 주변지반 액상화에 의한 미소한 변위만이 발생되야 한다. • 관측방향 왕복운동을 방지해야 한다. | <ul style="list-style-type: none"> • 가동성 이음부에서는 파괴가 일어나서는 안된다. • 주변지반 액상화에 의해 관체의 파괴를 방지해야 한다. |
| 수평공간 구조물 | <ul style="list-style-type: none"> • 가동성 이음부에는 과도한 변위가 발생되지 않아야 한다. • 주변지반 액상화에 의한 미서한 변위만이 발생토록 해야한다. • 지반조건이 현저하게 변위는 지역에서 과도한 상대변위가 발생되지 않아야 한다. | <ul style="list-style-type: none"> • 가동성 이음부에서는 파괴가 일어나지 않아야 한다. • 주변지반 액상화에 의한 시설물 파괴는 방지되야 한다. • 지반조건이 현저하게 변하는 지역에서 과도한 상대변위로 인한 파괴는 일어나지 않아야 한다. |
| 수직지하 구조물 | <ul style="list-style-type: none"> • 깊이 방향의 지반 물성 변화에 따른 과도한 상대변위가 발생되지 않아야 한다. • 지진시 증분 토압에 의한 구조물의 거동은 선형 한계 내에 있어야 한다. | <ul style="list-style-type: none"> • 이차부재의 부분적 파괴는 허용되나, 신속한 복구가 가능해야 하며 과도한 상대변위에 의한 구조물의 파괴는 일어나서는 안된다. • 지진시 증분 토압에 의한 구조물의 거동은 소성변형 한계 내에 있어야 한다. |

표 4 시설물의 내진등급과 성능수준별 설계지진의 정의

| 시설물 | 내진성능수준 | | 기능수행수준 | 붕괴방지수준 |
|-------|---------|---------------|---------------|--------|
| | 내진등급 | | | |
| 도로교 | 내진 특 등급 | 재현주기 1000년 지진 | 재현주기 2400년 지진 | |
| | 내진 1 등급 | 재현주기 500년 지진 | 재현주기 1000년 지진 | |
| | 내진 2 등급 | - | 재현주기 500년 지진 | |
| 고속철도 | 내진 1 등급 | 재현주기 200년 지진 | 재현주기 1000년 지진 | |
| | 내진 2 등급 | 재현주기 100년 지진 | 재현주기 500년 지진 | |
| 공항 | 내진 1 등급 | 재현주기 500년 지진 | 재현주기 1000년 지진 | |
| | 내진 2 등급 | 재현주기 100년 지진 | 재현주기 500년 지진 | |
| 항만 | 내진 특 등급 | 재현주기 1000년 지진 | 재현주기 2400년 지진 | |
| | 내진 1 등급 | 재현주기 500년 지진 | 재현주기 1000년 지진 | |
| | 내진 2 등급 | 재현주기 100년 지진 | 재현주기 500년 지진 | |
| 지중구조물 | 내진 특 등급 | 재현주기 1000년 지진 | 재현주기 2400년 지진 | |
| | 내진 1 등급 | 재현주기 500년 지진 | 재현주기 1000년 지진 | |
| | 내진 2 등급 | 재현주기 100년 지진 | 재현주기 500년 지진 | |

표 5 시설물별 기본적인 지진해석방법

| 시설물 | 해석방법 |
|-------|--|
| 도로교 | 등가정적하중법 동적해석법(모드스펙트럼 해석법, 시간이력 해석법) |
| 고속철도 | 등가정적하중법 동적해석법(모드스펙트럼 해석법, 시간이력 해석법) |
| 공항 | 공항시설중 교량, 건축물, 도로, 지하구조물 등은 관련 내진성능기준(안)에서 정한 방법에 따름 |
| 항만 | 진도법 동적해석법 (유체-구조물-지반상호작용의 고려는 필수) |
| 지중구조물 | 진도법 응답변위법 동적해석법 |

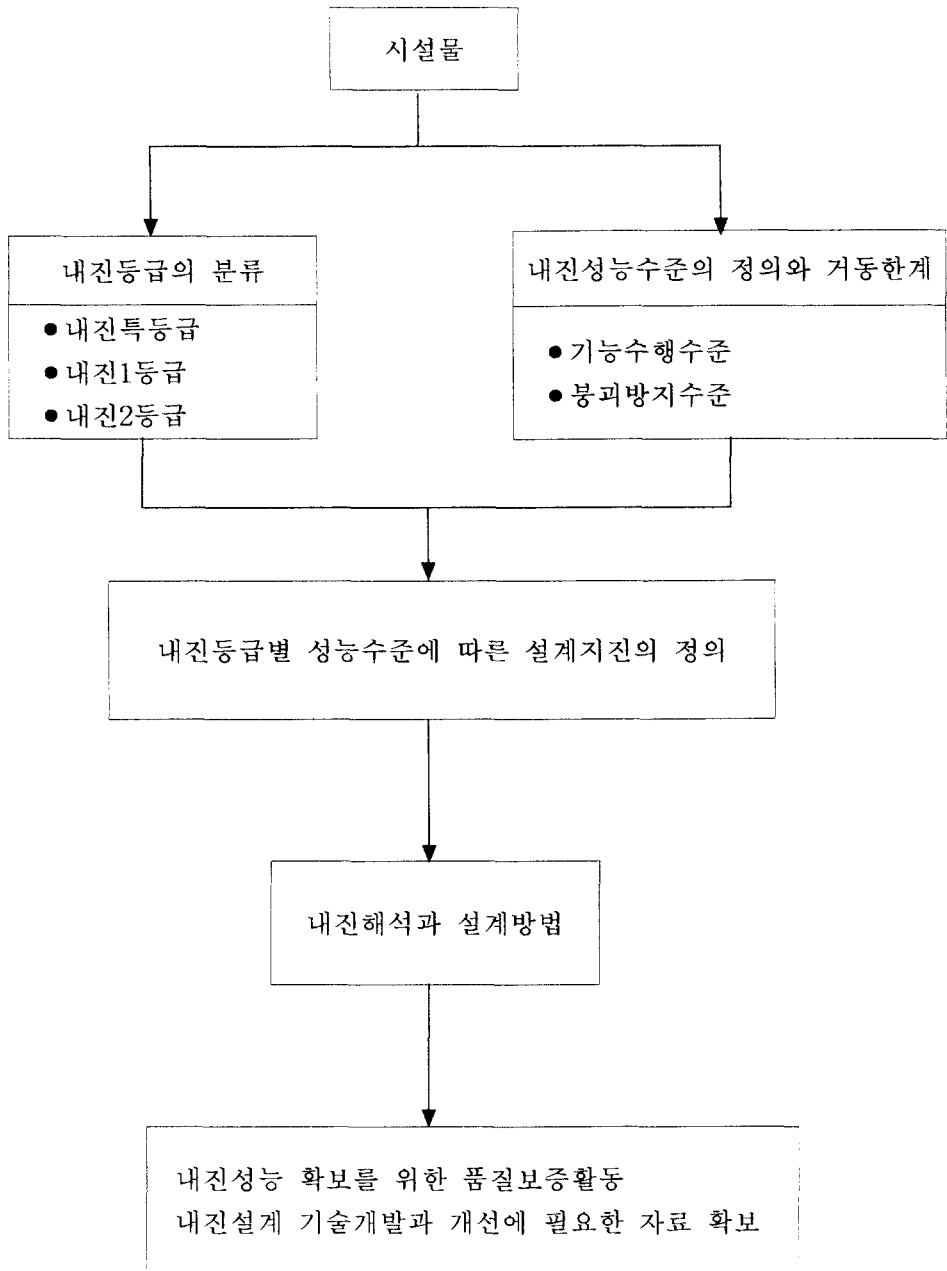


그림 1 내진성능기준(안)의 개략도