

## 국내 내진설계 제도 및 기준에 대한 고찰



정길호\*



박병철\*\*



최진유\*\*\*



강영중\*\*\*\*

### 1. 서론

20세기에 들어와서 세계적으로 지진활동이 다시 활발해지고 있고, 그에 따른 피해 또한 크게 발생하고 있다. 최근에 중·소 규모의 지진활동이 다시 증가하고 있는 경향에 비추어 볼 때, 인명과 사회 및 경제시스템에 큰 피해를 초래할 수 있는 대규모 지진이 발생할 가능성은 항상 존재하고 있다. 일반적으로 우리나라는 지진에 대해 안전지대로 생각되어지고 있지만, 과거 15세기부터 18세기 사이에는 지진 활동이 활발하여 지진이 많이 발생했었다는 기록이 있다. 18세기부터 20세기 초반까지는 지진 발생에 대한 기록이 많지 않으므로 지진이 약화된 휴지기였다고 볼 수 있지만, 20세기 중반 이후에 들어서서 여러 차례의 중진이 관측되었다. 예를 들면, 지리산 지진,

동해 지진, 속리산 지진, 홍성 지진 등이 발생하였으며, 이 외에도 MM진도 IV이하의 중진이 여러 차례 발생하였다.

지진에 대하여 구조물 및 각종 국가기반 시설물들이 안전하도록 하기 위해서는 내진설계 기술이 절대적으로 필요하다. 선진 외국에서는 내진설계 기술이 최근에 급속하게 발전하였으며, 또 다단계 성능에 기초한 내진설계 기술을 도입하여 대형 구조물 및 시스템 등을 강력한 지진에도 비교적 안전하도록 설계하고 건설할 수 있게 되었다. 지진발생시 지진피해의 규모는 지진에 대한 사회 전체의 준비태세와 내진설계의 중요성 인식, 특히 내진설계 기술의 수준 및 시공의 정밀도에 따라서 큰 차이가 있다. 이러한 이유로 내진설계는 대단히 중요한 의미를 갖는다.

이러한 중요성에 입각하여 정부에서는 1997년 10월에 자연재해 대책법을 제정·공포하여 시행

\* 행정자치부 국립방재연구소, 연구관

\*\* 행정자치부 국립방재연구소, 연구담당

\*\*\* 행정자치부 국립방재연구소, 위촉연구원

\*\*\*\* 성회원·고려대학교 토목환경공학과, 부교수

하고 있다. 자연재해 대책법, 제5장 지진방재대책의 제34조에는 20개 법정시설물들에 대해 내진설계 기준을 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정하고 있다. 이들 20개 법정시설물은 다음과 같다.

- (1) 건축법에 의한 건축물
  - (2) 도로법에 의한 도로
  - (3) 원자력법에 의한 원자로 및 관계시설
  - (4) 특정 다목적댐법에 의한 다목적 댐
  - (5) 전기사업법에 의한 발전용 수력설비 및 화력설비
  - (6) 공항법에 의한 공항시설
  - (7) 철도법에 의한 철도
  - (8) 도시철도법에 의한 도시철도
  - (9) 한국고속철도건설공단법에 의한 고속철도
  - (10) 항만법에 의한 항만시설
  - (11) 어항법에 의한 어항시설
  - (12) 총포, 도검·화약류 등 단속법에 의한 화약류 저장소 및 취급소
  - (13) 석유사업법에 의한 석유정제시설·석유비축시설 및 석유저장시설
  - (14) 수도법에 의한 수도시설
  - (15) 농어촌 정비법에 의한 농업생산기반시설
  - (16) 도시가스사업법·고압가스안전관리법 등에 의한 도시가스 & 고압가스 및 액화석유가스의 저장시설
  - (17) 기타 대통령령으로 정하는 시설
- (17)항에는 다음과 같은 시설물이 해당된다.
- 1) 특정 다목적댐법외의 다른 법령에 의한 댐
  - 2) 저수용량 2천만톤 이상의 저수지
  - 3) 특별시 및 광역시 관할구역안의 직할하천의 수문 및 배수펌프장
  - 4) 고유수면매립법·방조제관리법 등 관계법령에 의하여 설치·관리되고 있는 배수갑문

일부 시설물의 경우에는 관련기관이나 관련학회에서 작성한 구체적인 내진설계 기준을 가지고 있거나, 하중편에서 지진하중을 고려할 것을 규정하고 있다. 그러나 20개 법정시설물을 포함한 전체적인 각종 국가기반시설물에 대해서는 아직

도 내진설계 기준이 모두 확립된 상태는 아니다.

우리나라에 내진설계가 도입된 흐름을 살펴보면, 1972년 원자력구조물에 대하여 내진설계가 도입된 이후에, 1988년 건축물, 1992년 도로교량, 1991년 고속철도, 1993년 댐 등에 지진하중에 대한 고려가 포함되었고, 일부 기타 구조물에도 지진에 대한 고려를 규정하고 있다. 그러나 교량이나 건축물 등의 일부 구조물을 제외하고는 실제로 정확한 내진설계 기준이 정해진 상태는 아니며, 따라서 정확한 내진설계가 이루어지지 않고 있다. 일부 내진설계를 실시하고 있는 구조물의 경우에도 우리나라의 지진특성이나 지반특성을 고려한 우리나라 고유의 내진설계 기준이 없어 외국의 기준을 차용하여 사용하고 있기 때문에, 내진설계 기준이 단편적이고 체계적인 구성을 갖추고 있지 못한 실정이다.

이는 국내의 자체적인 연구에 의해 내진설계 기준을 수립하지 못하고 외국의 기준을 간헐적인 필요성에 의해서 단편적으로 도입하였기 때문이다. 따라서 국가적 차원에서 각종 국가기반시설물들에 대하여 내진설계 기준을 정비하여 각 시설물의 중요성과 구조적 특성을 잘 고려할 수 있는 합리적인 내진설계 기준의 원칙을 제시하는 것은 향후 내진설계 기준을 제정할 때 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

내진설계기준은 시설물의 사회적, 경제적 중요성과 구조적 특성이 잘 반영될 수 있도록 설정되어야 한다. 즉 우선적으로 시설물별로 중요성과 특성에 따른 내진설계의 기본적인 원칙이 설정되고 이에 따라 적절한 해석 및 설계, 시공방법이 결정되어야 한다.

현재 자연재해대책법상에 규정된 시설물 중에서 실제로 내진설계 기준이 설정되어 있는 일부 구조물의 내진설계 기준의 경우, 내진설계 기준이 갖추어야 할 위의 내용들을 포함하고 있지 못한 경우가 대부분이다. 또한 기본적으로 같아야 할 지진위험구역의 구분방법이 서로 상이하며, 해석방법 역시 기준에 따라 서로 다른 개념을 따르고 있다. 이는 내진설계에 대한 일반적인 원칙의 부재에서 발생하는 것으로 전반적인 연구·분

석을 통하여 기본원칙을 제시할 필요성이 있다.

따라서 현재 내진기준이 있는 몇몇 법정 시설물들(교량, 건축물, 원자로 및 관계시설, 댐 및 고속철도)을 대상으로 내진설계 기준을 조사·분석하여 그 원칙상의 상이성과 미비점을 지적하고, 통일된 체계성의 필요성을 인식시키고, 그 결과를 한국형 차세대 내진설계 기준을 개발하기 위한 기초자료로 이용할 수 있도록 요약하였다.

## 2. 국내 시설물별 내진설계 기준 비교·분석

내진설계를 위해서는 먼저 우리나라의 지진위험도 분석에 의한 정확한 지진구역도의 작성, 각 지진구역별로 설계지진가속도의 산정, 각 지역 및 구조물별 중요도 산정 및 등급설정, 지반의 동적특성 파악 및 고려방법, 구조물의 동적특성 파악 등의 과정을 거쳐 적절한 내진해석 방법에 의하여 구조물에 작용하는 지진력을 산정하게 된다. 설계지진가속도의 크기나 중요도 및 등급의 설정, 해석방법 및 설계세목 등도 시설물의 특성에 따라 서로 다를 수 있지만, 근본적인 설계의 원칙에 대한 통일성이 존재하여야 할 필요성이 있다. 따라서 본 장에서는 향후에 개정될 시설물별 내진설계 기준의 통일성 확보에 일익을 할 수 있도록 현재 내진설계를 적용하고 있는 각 시설물의 내진설계 규정에 대한 비교·분석을 하고자 한다.

내진설계에서 고려되어야 할 요소들을 상호 비교·분석함에 있어서 설계세목은 구조물의 기하학적 형상이나 기능 등에 따른 특성에 맞게 고려되어야 하므로 비교·분석을 생략하였으며, 근본적인 내진설계의 개념과 지진구역도의 구분 및 각 지진구역별 설계지진가속도, 하중산정의 기본요소 및 설계지진력의 산정방법 등에 대하여 정리·비교하였다.

### 2.1 설계개념

내진설계의 기본개념은 내진설계에 있어서 가장 근본적인 항목으로 이 기본개념에 따라 구조물에 요구되는 성능수준, 하중산정을 위한 기본

적인 고려 요소들이 결정되며, 해석 및 설계방법이 결정된다. 내진설계 기본개념은 각 시설물별로 다르게 정의될 수 있는데, 이는 각 시설물이 가지는 사회적 중요성이나 손상 발생시 사회전반에 미칠 수 있는 영향의 차이에 의한 것이다. 예를 들어, 원자력 구조물과 같이 지진에 의해 또는 다른 영향에 의해 심각한 손상이 발생되었을 경우, 대규모 인명손실은 물론 생태계의 파괴 등과 같이 치명적인 영향을 줄 수 있는 구조물에는 어떠한 손상도 허용하지 않는 철저한 안전성을 확보하기 위한 설계 및 시공 방침이 요구된다. 하지만 교량 등과 같은 구조물의 경우에는 일시적인 산업·경제적인 손실은 예상되지만 신속한 복구 등을 통하여 그 기능을 회복할 수 있고 대규모의 인명손실을 유발하지 않는 구조물에 대해서는 어느 정도의 손상을 허용하여 경제성을 확보하는 설계 개념을 따를 수 있다.

이와 같이 구조물별로 내진설계의 개념은 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 지진시에 구조물에 어떠한 손상도 허용하지 않는 경우와 어느 정도의 손상은 허용하나 전체적인 붕괴는 방지하고자 하는 경우이다. 따라서 각 시설물별로 정의하고 있는 설계개념을 비교함으로써 각 시설물이 사회적·경제적 중요성에 부합되는 설계개념에 따라 적절한 설계방법으로 설계되고 있는가를 분석하는 것은 매우 중요한 일이라고 볼 수 있다.

도로교나 건축물의 경우를 제외한 시설물들에 대해서는 내진설계 및 시공에 대한 구체적인 언급이 없이 하중편이나 기타 세목에서 간략히 다루고 있다. 원자력 구조물의 경우에는 미국의 기준에 따라 설계를 하고 있기 때문에 설계의 기본 개념 및 목적 또한 구체적으로 제시하고 있지 못하며, 도로교시방서만이 설계의 목적 및 기본 개념에 대하여 구체적으로 명시하고 있을 뿐이다.

도로교량의 경우에는 인명의 안전확보와 구조물의 최소 기능유지라는 기본 목적 이외에 경제성의 확보라는 측면이 추가된 것이라고 볼 수 있다. 실제로 발생 가능성이 희박한 대규모의 지진에 대해서는 어느 정도의 손상을 허용하는 설계를 유도함으로써 경제성을 확보하고, 중소규모의 지

진에 대해서는 주요 구조부재들이 탄성 영역내에서 저항하여 심각한 손상을 받지 않게 함으로써 안전성을 확보하려는 설계방법이다. 실제로 시방서에 제시하고 있는 설계 세목에서도 지진구역에 따른 가속도 계수의 차별화나 내진등급의 구분 및 응답수정계수의 적용 등을 통하여 설계의 기본개념을 실제 설계에 적용하고 있다고 볼 수 있다.

건축물의 경우에는 설계의 기본적인 방침에 대한 명시적인 언급은 없지만, 응답수정계수나 중요도 등의 개념을 도입하여 설계를 하고 있는 것으로 볼 때, 도로교와 마찬가지로 설계개념을 가지는 것으로 추정할 수 있다.

원자력구조물의 경우는 현행 국내 규정상에는 설계의 기본방침에 대한 명확한 정의는 제시되어 있지 않지만, 근본적으로 탄성설계를 원칙으로 하고 있으므로 지진시 구조물의 손상을 엄격히 제한하여 구조물의 절대적 안전에 초점을 둔 내진설계를 수행하고 있다.

다른 시설물의 경우에는 구체적인 기준과 설계방법이 제시되어 있지 않기 때문에 그 설계의 기본개념을 추정하기 어려운 실정이지만, 구조물의 중요성이나 특성을 고려하여 보았을 때 고속철도 교량의 경우는 도로교량에 준하고 댐구조물의 경우에는 구조물의 절대적 안정성에 바탕을 둔 내진설계를 수행하는 것으로 보인다.

따라서 향후에 작성될 국내 시설물에 대한 내진설계의 기준에는 각 시설물별로 사회적 경제적 중요성 및 파괴시 미칠 영향을 고려하여 구체적인 설계목표를 설정할 필요가 있으며, 그 목표에 부합되는 하중산정방법과 구체적인 설계방법을 반드시 제시할 필요가 있다.

## 2.2 하중산정의 기본요소

지진하중을 산정하는데 있어서 기본이 되는 요소인 지진위험도에 따른 지진구역의 분류와 이에 따른 가속도계수(또는 지역계수)의 구분 및 내진등급의 구분, 중요도의 구분 및 지반의 영향에 대한 고려방법 등에 대하여 각 시설물별 규정을 비교·정리하였다.

이러한 요소들은 시설물의 특성에 따라 다르게

규정될 수 있지만, 시설물별 비교·분석을 통하여 각 시설물의 특성에 부합된 좀 더 합리적이고 경제적인 구분과 적용 방안을 제시할 수 있다는 측면에서 비교하였다. 즉, 어떤 시설물에서 적용하고 있는 분류방법에 대한 자세한 분석을 통하여 다른 시설물에도 그와 유사한 분류방법을 적용하는 것이 좀 더 합리적이고 경제성을 확보하는 방법이 될 수 있기 때문이다.

### 2.2.1 가속도 계수

가속도계수는 지역계수로도 표현되는 계수로서, 어떤 지역의 지진위험도를 나타내는 척도로서 주로 중력가속도에 대하여 정규화된 가속도 값으로써 표현한다. 가속도계수 구분의 기본이 되는 지진구역도는 각 지역의 과거 지진기록, 지역지진특성 및 지질특성 등을 분석하여 작성되며, 각각의 지역에 있는 모든 시설물들에 대해서는 지진위험도가 동일하다는 사실에서 통일된 지진구역도의 작성 및 적용이 필요하다. 가속도계수의 값은 구조물의 중요도, 수명, 구조물의 파괴시 미칠 사회적·경제적 영향 등을 고려하여 결정할 수 있는데 일정기간의 재현주기에 대한 최대 가속도의 값으로 정해진다. 표 2.1은 지진구역에 따른 시설물별 가속도계수 값을 나타낸 것이다.

### 2.2.2 내진등급 및 중요도 구분

도로교의 경우, 도로교 시방서의 근간이 되는 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 시방서에서는 가속도계수와 중요도 등에 따라 내진등급을 구분하고 있지만, 우리나라에서는 지진의 발생확률이 낮고 가속도계수가 상대적으로 작은 것을 감안하여 가속도계수의 크기만을 고려하여 두가지의 내진등급으로 나누고 있으며, 이 내진등급에 따라 설계방법을 다르게 적용하고 있다.

원자력구조물의 경우에는 구조물의 용도에 따라 등급을 구분하고 있는데, 원자로 및 기타 손상시 방사능 유출의 위험이 있는 구조물은 내진 1등급을 적용하고 발전 관계시설 및 중요 기기가 설

표 2.1 지진구역에 따른 시설물별 가속도계수

구 분	지 역	가속도계수(지역계수)	비 고
도로교	구역 1 : 강원도, 전라남도, 제주도	0.07	
	구역 2 : 기타지역	0.14	
건축물	구역 1 : 광주직할시, 강원도(화천군을 제외한다), 전라북도 고창군, 전라남도(곡성군, 구례군, 광양군을 제외한다.), 경상북도 울진군, 제주도	0.08	
	구역 2 : 지진구역1을 제외한 지역	0.12	
원자로 및 관계 시설	등가속도곡선으로 구분된 지진위험지도를 기본으로 하고 있으나 지역구분에 의한 가속도계수를 실질적으로 적용하지는 않고, 원전이 설치될 부지에 따른 지진위험도를 산출하여 설계가속도를 산출하는 방법을 채택하고 있으며, 원자로 및 주요시설에 대해서는 안전정지지진 (Safe Shutdown Earthquake, SSE)과 운전기준지진 (Operating Basis Earthquake, OBE)으로 2원화된 가속도 기준을 설정하고 있다.	안전정지지진 고리 : 0.2 월성 : 0.2 영광 : 0.2 울진 : 0.2	일반적으로 OBE는 SSE의 1/2을 사용한다.
댐	구역 1 : 광주직할시, 강원도(화천군을 제외한다), 전라북도 고창군, 전라남도(곡성군, 구례군, 광양군을 제외한다.), 경상북도 울진군, 제주도	0.08	
	구역 2 : 지진구역1을 제외한 지역	0.12	
고속 철도	구역 1 : 강원도, 전라남도, 제주도	0.07	
	구역 2 : 기타지역	0.14	

치되는 구조물에는 내진 2등급, 기타 부속구조물에는 내진 3등급을 적용하여 그 설계 지진가속도의 크기를 다르게 적용하고 있다.

그외 다른 시설물에는 내진등급에 대한 구분이 없으며, 건축구조물의 경우에는 중요도 계수의 항목으로 설계지진력 산정시 반영되도록 하였다. 그러나 설계력의 크기에만 차이가 있도록 하였고 설계방법에 대한 차이는 두지 않고 있다.

건축물의 중요도는 건축물의 용도, 규모 및 대지의 위치에 따라 세가지로 구분하고 있으며, 각 중요도 등급에 따라 중요도 계수를 적용하여 설계지진력을 산정한다.

이와 같이 내진등급의 분류에 의한 설계방법은 구조물이 요구하는 적절한 성능 수준에 따라 경제적인 설계를 유도할 수 있으며, 또한 중요한 구조물에 대해서는 안전성을 확보할 수 있으므로 매우 합리적인 설계개념이라고 할 수 있다. 중요도의 개념이나 내진등급의 구분이 주어지지 않은

다른 시설물에 대해서도 이와 같은 개념을 도입한다면 보다 합리적인 설계가 가능하리라고 본다.

### 2.2.3 지반의 영향

구조물의 응답에 영향을 미치는 지반의 영향을 고려하기 위하여 지반종류를 구분하여 지반계수를 적용한다. 각 시설물별로 지반의 영향은 대부분 고려하고 있지만 지반의 분류방법 및 적용방법은 서로 상이하다.

도로교의 경우에는 네가지의 지반종류에 대한 지반계수를 적용하고 있으며, 건축물의 경우에는 세가지로 구분하고 있다. 댐의 경우에는 지반의 영향에 대한 고려가 없으며, 기초지반의 종류를 두가지로 구분하여 사용하고 있다. 원자력구조물의 경우 종래에는 지반의 동적특성에 대한 영향이 거의 없는 단단한 암반지반에 설치하는 것을 원칙으로 하였으므로 지반의 영향에 대한 특별한 고려가 없었으나, 현재는 대상지반과 구조물을 모

두 포함하는 지반-구조물 시스템 전체를 수학적 모델로 이상화하여 해석하는 직접법과 지반과 구조물의 전체시스템을 3단계로 구분하여 해석하는 부분구조법에 의한 지반-구조물 상호작용을 고려한 해석법을 적용하고 있다. 댐의 경우도 지반계수에 대한 특별한 구분이 없이 댐의 기초가 토질 기초인 경우는 암반기초보다 20~30%, 균일형 필댐은 준형 필댐보다 약 20% 큰 값을 사용하는 방법으로 지반의 영향을 고려하고 있으며, 고속철도 교량 역시 지반계수에 대한 별도의 고려가 없

이 수평진도를 나타내는 값을 암반까지의 깊이가 3m 이하일 때는 0.06, 3m를 초과할 때는 0.09로 고정하여 지반의 영향을 반영하고 있다.

지반의 영향에 대한 자세한 고려는 지진하중의 증폭효과를 정확하게 고려할 수 있기 때문에 구조물의 내진안정성을 증대시킬 수 있다. 따라서 지속적인 연구를 통한 지반의 영향을 좀 더 합리적으로 고려할 수 있는 방안의 개발이 필요하다. 표 2.2에 시설물별 지반종류에 따른 지반계수를 정리하였다.

표 2.2 시설물별 지반종류 분류방법 및 그에 따른 지반계수

구분	지반종류 구분		지반계수	비고
도로교	지반종류1	·어느 형태든지 혈암이나 자연상태에서 결정체를 갖는 암반. ·토층의 깊이가 60m 이하인 견고한 지반으로서, 암반 위에 쌓인 토질이 모래, 자갈, 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반.	1.0	*지반종류를 결정하기 위한 지반물성치를 상세하게 파악할 수 없거나 지반의 물성치가 4가지 지반종류에 적합하지 않을 때는 지반종류 II를 사용
	지반종류2	·지반의 깊이가 60m를 초과하고, 암반 위에 쌓인 모래, 자갈 또는 단단한 점토의 안정된 퇴적물인 지반이거나, 비점착토가 두텁게 쌓인 지반은 지반종류 II로 간주	1.2	
	지반종류3	·연약 또는 중간 정도의 점토 또는 모래로 구성된 지반으로, 중간에 끼어 있는 모래나 다른 점착력이 없는 지층의 유무와 관계없이 9m이상의 점토층으로 형성된 지반은 지반종류 III으로 간주	1.5	
	지반종류4	·연약점토나 실트층의 깊이가 12m 이상되는 지반은 지반종류 IV로 간주	2.0	
건축물	지반종류1	암반 또는 암반위에 매우 단단한 모래, 자갈 또는 점토로서 암반까지의 전체 깊이가 60미터 미만인 지반	1.0	*지반이 2종류 이상으로 구성되어 있는 경우는 지반계수가 큰 것을 적용하며, 지반 상태를 분류하기가 곤란한 경우는 지반3을 적용하거나 국가기술 자격법에 의한 토질기술사의 판단에 의한다.
	지반종류2	지반 1과 같은 상태로써 암반까지의 전체 깊이가 60미터 이상인 경우와 깊이에 관계없이 단단한 모래, 자갈 또는 점토인 지반	1.2	
	지반종류3	단단하기가 보통 이하인 점토 또는 느슨한 모래로 전체 깊이가 9미터 이상인 지반	1.5	
원자로 및 관계시설	지반종류에 따른 별도의 구분이 없이 지반과 구조물의 상호작용을 고려하는 해석방법인 직접법과 부분구조법에 의한 해석을 실시			
댐	지반계수에 대한 특별한 구분이 없이 댐의 기초가 토질기초인 경우는 암반기초보다 20~30%, 균일형 필댐은 준형 필댐보다 약 20% 큰 값을 사용			
고속철도	지반계수에 대한 별도의 고려가 없이 수평진도를 나타내는 C·F 값을 암반까지의 깊이가 3m 이하일 때는 0.06, 3m를 초과할 때는 0.09로 고정			

## 2.3 설계지진력 산정

### 2.3.1 지진력 산정법

지반운동에 의해 구조물에 작용하는 지진하중을 산정하는 방법은 등가정적해석법(Equivalent Static Analysis)과 스펙트럼해석법(Spectrum Analysis)과 시간이력해석법(Time-History Analysis)에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 등가정적해석법은 동적해석법이라기 보다는 동적인 효과를 정적으로 표현한 유사정적해석법(Quasi-Static Analysis)으로 볼 수 있으며, 동적해석법이라 함은 스펙트럼해석법과 시간이력해석법을 말한다. 등가정적하중법은 구조물의 기본주기를 계산하여 그에 해당하는 동적계수를 구하여 구조물의 중량과의 곱으로 지진력을 표현하는 방법으로 건축구조물 등과 구조물의 기본주기가 구조물의 전체 동적거동에 기여하는 기여도가 큰 경우에 주로 사용하는 방법이다. 일본에서 널리 사용되고 있는 진도법도 등가정적해석법의 일종이라고 볼 수 있다. 스펙트럼 해석법은 단일모드 스펙트럼해석법(Simplified Mode Spectrum Analysis)과 다중모드 스펙트럼해석법(Multi-Mode Spectrum Analysis)으로 나눌 수 있으며, 시간이력해석법은 다시 모드중첩법을 이용한 시간이력해석법과 직접적분법을 이용한 시간이력해석법으로 나눌 수 있다. 이러한 해석방법의 적용원칙은 구조물의 형태가 단순하고 질량 및 강성의 분포가 일정한 구조물에서부터 복잡한 형태의 구조물로 그 적용방법이 달라진다.

우리나라의 내진설계 기준들은 각 시설물별로 기본이 되는 지진하중의 산정법을 제시하고 있다. 도로교의 경우는 단일모드 스펙트럼해석법, 건축물의 경우에는 등가정적해석법, 원자력 구조물의 경우는 응답스펙트럼해석과 시간이력해석에 의한 동적해석법을 그 기본적인 해석방법으로 제안하고 있는데, 반드시 이러한 해석방법에 국한되는 것은 아니다. 고속철도 구조물의 경우는 간략화된 등가정적 해석법을 제안하고 있지만 이 역시 이 해석방법에만 국한되는 것이 아니라 좀 더 발전된 해석방법을 적용하는 것을 허용하고 있다. 이는 댐구조물의 경우에는 진도법을 사용

하도록 하고 있지만 아치댐의 경우에는 응답스펙트럼 해석법을 적용하기도 한다. 그러나 도로교, 건축물, 원자력 구조물의 내진규정을 제외하고는 구체적인 해석 및 설계방법이 제시되어 있지는 않다. 이와 같은 지진력산정방법은 국내 내진설계의 도입 초기에 설정된 해석방법으로 설계자들의 능력이 향상됨에 따라 좀 더 정확하게 지진의 영향을 고려할 수 있는 동적해석방법을 적용하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

등가정적하중법을 이용하는 경우에는 기본진동주기의 함수로 표현되는 동적계수가 도입되게 되는데, 이는 구조물의 동적특성을 반영하는 계수이다. 응답스펙트럼은 그 지역의 지진특성을 반영하여 구하게 되는데, 설계의 목적으로 간략화되고 대표성을 가지는 스펙트럼을 설계스펙트럼(Design Spectrum)이라 한다. 도로교 시방서에서는 설계스펙트럼을 간략화된 식으로 표현하였는데, 이는 5% 감쇠를 가지는 구조물에 대하여 일반화된 것을 구조물의 주기의 함수로 표현한 것이다. 도로교 시방서에서 제시하고 있는 단일모드 스펙트럼해석법도 지진하중을 등가의 정적수평력으로 치환하여 구조물에 작용시켜 구하는 방법으로 일종의 등가정적해석법으로 볼 수도 있다.

표 2.3은 각 시설기준에서 기본방법으로 채택하고 있는 지진에 의한 구조물의 판성력을 산정하는 방법을 요약한 것이다.

### 2.3.2 동적계수

구조물의 동적특성을 표현하기 위한 계수로서 시간이력해석법을 제외한 등가정적해석법, 응답스펙트럼해석법 등에서 적용하는 계수이다. 건축물의 동적계수나 도로교의 탄성응답계수등이 모두 유사한 개념으로 구조물의 동적인 특성을 반영하는 방법이다. 동적계수는 그 지역의 지진특성을 반영하여 설계의 목적으로 수정된 설계스펙트럼을 계수화하여 표현한 것으로, 동적계수에 주기나 기타 요소의 값을 대입하여 도표로 표현하면 설계스펙트럼과 동일한 형상으로 표현된다.

진도법에서 사용하는 설계수평진도도 일종의 동적계수로 볼 수 있지만, 지역의 지진특성, 지

반특성, 중요도 등에 따른 보정계수와 구조물의 고유주기에 따른 보정계수를 표준진도에 곱한 값으로 구조물의 동적특성을 표현한 계수라기 보다는 구조물의 동적특성이 일부 반영된 것이라고 볼 수 있다.

이들 계수의 차이점은 구조물의 주기로 표현한 것과 구조물의 주기에 지역계수와 지반계수를 함께 고려한 것과의 차이이다. 동적계수를 나타내는 식은 건축물의 내진설계 기준에는 주기의 함수로만 표현된 식이고, 원자력 구조물을 제외한 다른 구조물의 경우에는 지반계수와 지역별 가속도계수 등을 동시에 고려한 식이다. 원자력구조

물은 동적계수라는 개념을 도입하지 않고 적절한 기준에 의해 작성된 설계스펙트럼 그래프를 이용하여 구조물의 주기에 따른 응답을 구하는 방법을 사용하고 있으나 계수화를 시킨다면 주기만의 함수로 표현된다.

표 2.3 시설물별 지진력의 산정방법

구 분	지진력 산정법		비 고
	해석방법	계산식	
도로교	단일모드 스펙트럼 해석법	$P_o = \frac{\beta C_o}{V} W(X) V_{S(X)}$	단일모드 해석법을 기본으로 하되 교량의 형상에 따라 다중모드해석법 및 시간이력해석법에 의한 해석을 허용
건축물	등가정적 하중법	$V = \left( \frac{A \cdot I \cdot C \cdot S}{R} \right) W$	등가정적해석법을 기본으로 하며 구조물의 형상에 따라 동적해석법을 허용
원자로 및 관제 시설	동적 해석법	-	응답스펙트럼 해석법과 시간이력해석법을 기본
댐	진도법	-	아치댐의 경우 필요에 따라 도로교 시방서에 의한 응답스펙트럼 해석법을 수행하기도 하며, 구조물의 관성력 이외에 지진에 의한 동수압의 영향을 고려
고속철도	간략화된 등가정적 하중법	$E = K \cdot D$	고유주기가 3초이상인 구조물에 대해서는 동적해석법을 적용

### 2.3.3 응답수정계수

응답수정계수는 구조물의 연성(ductility)과 여유력(redundancy)에 따라 정해지는 값으로 구조물의 소성변형을 허용한 경제적인 설계를 위해 도입되는 방법이다. 응답수정계수에 대한 정의는 구조물의 형상에 따라 서로 다를 수 있으며, 도로교와 건축물 기준에서는 제시하고 있으나 다른 구조물에는 응답수정계수에 대한 언급이 없다. 고속철도기준에서는 명시적으로 응답수정계수를 규정하고 있지는 않지만 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) 시방서의 설계법을 인정하고 있으므로 응답수정계수를 적용하고 있다고 볼 수 있다. 응답수정계수의 적용여부는 구조물 설계의 기본개념에 따라 정해지는데, 앞에서 언급하였듯이 구조물에 전체적인 안정성에 영향을 주지 않

표 2.4 시설물에 따라 적용되는 동적계수

구 분	동적계수	동적계수의 상한선	비 고
도로교	$C_o = \frac{1.2AS}{T^{2/3}}$	2.5A	
건축물	$C = \frac{1}{1.2\sqrt{T}}$	1.75	동적계수와 지반계수를 곱한 값이 1.75를 초과하는 경우에는 1.75를 적용
원자로 및 관련 시설	-	-	
댐	K	-	진도법의 설계수평진도
고속철도	K	0.06 : h ≤ 3m 0.09 : h > 3m h : 암반까지의 깊이	· 진도법의 설계수평진도 · 암반까지의 깊이에 따라 고정



는 범위에서 구조물의 일부 손상은 허용하여 경제적인 설계를 유도하고자 하는데 그 목적이 있다. 그러므로 댐이나 원자력 구조물 등과 같이 절대적인 안전성이 요구되는 구조물에는 적용이 불가능하지만 교량이나 건축물 등과 같은 구조물의 경우에는 적용이 가능하다. 그러나 응답수정계수 또한 구조형태별로 구체적으로 제시되어 있지 못한 실정이어서 잘못 적용될 소지가 많으므로 좀 더 많은 연구를 통하여 보완해야만 한다.

### 2.3.4 지반운동의 적용

구조물에 가해지는 지진력은 직교하는 수평방향으로 적용하는 것을 그 원칙으로 하고 있으나 지진의 수직성분에 대한 영향이 큰 시설물에 대해서는 수직성분도 고려하도록 하는 것이 일반적이다. 도로교나 건축물의 경우에는 구조물의 특성상 지진의 수직성분에 대한 영향이 수평성분에 비하여 크지 않으므로 지진의 수직성분에 대한 구체적인 규정이 없으며, 댐이나 고속철도교량의 경우에는 필요한 경우 각각 수평진도의 크기의 1/2과 1/2~1/3을 적용하도록 하고 있다. 원자력 구조물의 경우는 수평 및 수직방향으로 같은 크기의 지진가속도를 적용하도록 하고 있다.

### 2.4 종합분석

각 시설물별 내진설계 기준 분석결과를 정리하면 다음과 같다. 기본적인 원칙에 대한 정의는 어느 정도 이루어져 있으나, 구체적인 지진력 산정 방법 및 설계방법에 대해서는 미비한 부분들이 많은 것을 알 수 있다. 또한 내진기준의 설정에 있어서 기본이라고 할 수 있는 우리나라의 지진특성에 대한 체계적 연구가 부족하여 각 시설물별로 서로 다른 기준을 사용하고 있는 실정이다. 다시 말하면, 모든 시설물들에 대하여 근본적으로 같아야 할 지진구역도마저 각 시설물별로 서로 다른 시기, 서로 다른 나라로부터 지진규정을 도입함에 따라 상이하다. 각 시설물의 특성이 고려된 내진설계의 기본개념의 설정이 명확하지 못하고 그에 따른 세부 설계지침 또한 제대로 정의되어 있지 못하다. 도로교나 건축물의 경우에

는 다른 시설물에 비하여 체계적인 구성과 구체적인 기준들을 제시하고 있지만, 다른 구조물의 경우에는 그 중요성에 비하여 내용 및 구성이 너무 체계적이지 못하므로 지속적인 연구를 통하여 보완하여야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 표 2.5에 각 시설물별 설계요건에 따른 전반적인 내진설계 기준의 분석내용을 간략히 정리하였다.

## 3. 결 론

### 3.1 현행 국내 내진설계 기준의 문제점

앞에서 국내·외 내진설계 기준을 간단히 조사 및 비교·분석해 본 결과, 관련기관 및 학계 등에서 충분한 연구와 검토없이 외국의 내진설계 기준을 도입함에 따라, 우리나라에는 각 시설물별로 서로 다른 개념의 내진설계 기준 및 제도가 존재하고 있음을 알 수 있었다.

일부 시설물들은 일본의 내진설계 규정에 근거하고, 일부 시설물들은 미국의 내진설계 규정에 근거한 설계를 시행함으로써 실무자들의 혼란이 초래되고 있다. 또한 일부 시설물을 제외하고는 국내의 실정에 맞는 지진구역의 설정, 지진강도, 지반특성 및 그에 대한 지진파의 설정 등의 자체 내진설계 기준이 없거나 애매하여 내진설계를 실제로 수행함에 있어 문제점이 될 것으로 판단된다.

건축물과 도로교량을 제외한 다른 구조물의 경우는 종합적이고 체계적인 구성을 갖추고 있지 못하고 단순하게 내진설계의 일부 규정만을 나열해 놓은 수준을 벗어나지 못하고 있다.

이상의 내용을 간단히 정리하면 다음과 같다.

- (1) 시설물별 내진설계 기준의 상이함
- (2) 내진설계 기준의 미비
- (3) 일부 시설물에서만 내진설계 기준이 존재
- (4) 국내 자체연구에 의한 기준 부재

### 3.2 제 언

기본적으로 우리나라는 내진설계 기준이 도입된 것이 시기적으로 짧고, 자체적인 내진설계 기

표 2.5 시설물별 설계요건에 따른 전반적인 분석

구 분	도로교	건축물	원자로 및 관련 구조물	댐	고속철도교	
설계의 기본목적	인명안전 및 기본 기능유지	인명안전	구조물의 안전	구조물의 안전	인명안전 및 기본 기능유지	
하중산정의 기본요소	지진 위험도	행정구역별로 구분	행정구역별로 구분	등가속도곡선으로 분류	행정구역별로 구분	
	가속도 계수	구역1 : 0.07 구역2 : 0.14	구역1 : 0.08 구역2 : 0.12	SSE : 0.2 OBE : 0.1	구역1 : 0.08 구역2 : 0.12	구역1 : 0.07 구역2 : 0.14
	중요도 및 등급	지진가속도의 크기에 따라 2가지로 내진등급을 구분	용도, 규모 및 대지의 위치에 따라 3가지로 중요도를 구분	구조물의 용도에 따라 3가지로 내진등급을 구분	-	-
	지반의 영향	지반특성을 4종류로 구분하여 적용	지반특성을 3종류로 구분하여 적용	지반-구조물 상호작용을 고려	토질기초와 암반기초의 2가지로 구분	암반까지의 깊이에 따라 2가지로 구분
설계지진력의 산정	지진력 산정법의 기본	단일모드 스펙트럼 해석법	등가정적 해석법	동적 해석법	진도법	간략화된 등가정적 해석법
	동적 계수	Cs	C	-	K	K
	응답수정 계수	R	R	-	-	R
산정	지반 운동의 적용	수평성분만 고려	수평성분만 고려	수직/수평성분 모두 고려	기본적으로 수평성분만 고려(필요시 수직성분도 고려)	기본적으로 수평성분만 고려(필요시 수직성분도 고려)

준의 연구개발이 부족한 상태에서 외국의 내진 설계 기준을 그대로 도용하는 것이 내진설계 기준이 미비한 직접적인 원인이 될 수 있다. 현재 건교부에서 건교부 관할의 시설물들에 대해서 내진설계 기준의 상위개념에 대한 연구가 수행되고 있을 뿐, 자연재해대책법 제5장 34조에서 내진설계 대상으로 정한 20개 법정 시설물들 모두에 대한 내진설계 기준에 관해서는 연구가 미흡하다. 따라서 우리나라의 고유한 지반 및 지진특성에 따라 관련기관 및 학계가 충분히 연구·검토하여 모든 시설물들에 적용할 수 있는 종합적이고 체계적인 내진설계 기준을 정립하여야 한다.

내진설계에 대한 규정은 지진 피해에 따라 시간적, 지역적, 구조 특성별로 변화되는 특성을 갖고 있다. 우리나라의 경우는 지진에 대한 피해 사례 및 자료가 부족하기 때문에 지진이 빈번한 국가의 경험에 의존할 수 밖에 없고, 국내 규정의 당위성을 입증할 방법이 없다. 따라서 지진

대비책으로서 필요한 자료의 축적이 시급하며, 외국의 사례나 발전 동향으로부터 국내에서도 지진에 대한 대비책 수립이 연구되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 자연재해대책 관련 법령집, 내무부, 1997
2. 도로교 표준시방서, 건설교통부, 1996
3. 건축법, 건설교통부, 1996
4. 건축법 시행령, 건설교통부, 1997
5. 건축물의 구조기준에 관한 규칙, 건설교통부, 1996
6. 원자력법 시행령, 과기처, 1995
7. 과기처고시 제83-5호 및 제94-10호
8. 경수로형 원자력 발전소 안전심사 지침서, 한국원자력안전기술원, 1991
9. 댐시설기준, 건설교통부, 1993
10. 고속철도 강교량 및 합성형교량 설계표준시방서, 고속전철사업 기획단, 1991 