

내진설계 특별고려 사항

Special Provisions for Seismic Design



이기학*
Ki-Hak Lee



이한선**
Han-Seon Lee

1. 내진설계기준의 일반 사항

내진설계의 주된 목적은 인명보호(life safety : 예를 들어 구조물의 수명 기한동안 그 지역에서 발생 가능한 최대의 지진재해에 대해 붕괴를 방지함)의 목표를 만족할 수 있도록 구조물에게 충분한 강도와 연성을 보유하게 하는 것이다. 중간 수준부터 강한 수준의 지진재해가 예상되는 지역에 위치한 대부분의 구조물에서 경제적인 내진설계는 일부 구조 부재의 항복을 허용함으로써 이루어질 수 있다. 일반적으로 예상되는 최대 강도에 따른 지진재해에 대해 구조물이 탄성 범위 내에서 거동하게 하는 것은 실용성과 경제성의 측면에서 적절하지 못하게 된다. 그러나 원자력 발전소와 같은 특정한 형태의 구조물은 구조 부재내의 항복을 허용할 수가 없으므로 이러한 설계는 탄성설계를 필요로 한다.

지진 발생 후의 기능수행에 필수적인 건물(essential structures : 예를 들어 병원, 소방서, 발전소, 통신소 등)들은 붕괴를 피하고 구조물이 살아남아야 할 뿐만 아니라 지진재해 발생 후에도 정상적인 기능을 발휘할 수 있어야 한다. 그러므로 인명 보호와 더불어 손상 조절(damage control)은 필수적인 구조물에 대한 설계를 수행할 때 중요한 고려사항이다. 손상 조절은 다른 종류의 구조물에 대해서도 바람직하게 나타날 수 있다. 이것은 초기의 내진설계에 따른 전체 공사비에서의 추가 비용은 지진재해 발생 후 구조물의 수리비와 이 기간 동안의 건물의 사용 중단으로 인한 경제적 피해를 충분히 상쇄할 수 있다는 경험을 그동안의 지진피해의 경험으로부터 얻었기 때문이다.

건축구조설계기준에서는 일반적으로 예상되는 지진하중의 값을 고려하는 설계 지반운동의 값보다 훨씬 작게 산정하여 적용

하여 왔다. 그러므로 지진운동에 노출될 때 구조물이 명확히 큰 변형을 겪는 것을 예상하고 있다. 이러한 큰 변형은 구조물의 일부 부재의 항복을 통해 유입되는 지반운동의 에너지를 소산시키는 것이다. 따라서 기준집에서 정의하는 지진력에 노출되는 구조물은 비탄성영역까지 수행되는 여러 번의 반복되는 하중에 대해 안정적으로 충분한 비선형 능력을 보유하고 있어야 한다. 콘크리트 구조물에 대해서는 (사)한국콘크리트학회에서 발간하고 있는 콘크리트구조설계기준의 설계와 상세 요구조건에 따라 설계되는 것은 기준집에서 요구하고 있는 비선형 요구조건을 만족하는 것으로 가정하고 있다.

2007년 콘크리트구조설계기준에서 가장 큰 변화는 기존 "21장-내진설계시 특별고려사항"에서 "부록 II-내진설계를 위한 대체 고려사항"이 기존의 제21장과 함께 추가로 포함된 것이다. 2003년 기준에서 지진위험도나 내진설계범주가 낮거나 중간 정도의 구조물에 대한 내진설계의 상세를 제공하던 점에서 벗어나 높은 지진위험도나 내진설계범주에 대해 모멘트골조, 전단벽 시스템, 격막구조 및 트러스 구조물 등의 특수상세에 대한 기준을 제시한다는 점에서 그 의의가 있다.

부록 II는 콘크리트구조물의 내진설계가 필요하다고 인정하는 경우 제21장의 내진설계 특별 고려사항을 대체하여 사용할 수 있다고 규정하고 있다. 이러한 상세에 대한 요구 조건은 구조물의 형태, 시스템의 종류, 대지에서의 지진 위험도, 설계 지진력의 계산에서 가정되는 에너지 소산 능력(인성)과 구조물의 거주성에 관련되어 있다. 보통(ordinary), 중간(intermediate) 및 특수(special)의 용어들은 필요한 인성의 수준에 관련되어 있으며 이는 부록 II에 명시되어 있는 필요한 상세의 수준에 관련되어 결정되게 된다. 내진설계범주(SDC)의 분류는 건축구조물의 경우 (사)대한건축학회에서 발간한 건축구조설계기준(KBC)을 따르게 된다.

콘크리트구조설계기준의 제1장에서 제17장까지 그리고 제19장에 나온 조항은 낮은 내진설계범주에 해당되는 구조물에 적

* 정회원, 세종대학교 건축공학과 부교수
kihaklee@sejong.ac.kr

** 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수

용된다(II.3.1(2)). 여기에 해당되는 구조 시스템에는 보통 모멘트 골조와 보통 구조벽 등이 있다.

중간정도의 내진설계 범주에 해당하는 구조물의 경우 중간 혹은 특수 모멘트 골조나 보통, 혹은 특수 구조벽을 사용하여야 한다. 일반적으로 내진설계범주를 고려하는 건축구조설계기준에는 중간 철근 콘크리트 구조벽 시스템을 인정하지 않고 있다. 이것은 부분적으로 보통과 특수 구조벽 시스템에 사용되는 R 값의 차이가 작기 때문이다.

이와는 대조적으로 보통과 특수 모멘트 골조 시스템의 R값의 차이는 훨씬 크기 때문에 중간 모멘트 골조 시스템의 도입은 경제적 측면에서 바람직하게 된다. 특수 모멘트 골조, 특수 구조벽 그리고 II.3에서부터 II.9절을 만족하는 구조격막과 트러스 시스템은 높은 지진위험도가 있는 지역이나 높은 내진설계 범주에 들어가는 구조물에 대하여 이용되어야 한다. 구조물내의 예상되는 지진력에 대해 저항하지 않도록 되어 있는 골조 부재에 대해서는 II.10 - 지진력에 저항하지 않는 골조 부재의 요구조건이 만족되어야 한다. 중간 모멘트 골조 시스템에 대한 규정은 II.11절에 명시되어 있다.

〈표 1〉은 지진위험도에 따른 각 부재의 설계와 상세에 대한 관련 조항이 콘크리트구조설계기준의 분류를 통해 나타나 있다.

2. 부록 II - 내진설계를 위한 대체 고려사항

다음은 개정된 2007년 콘크리트구조설계기준의 부록 II에서 중요한 변화부분을 본 기사에서 요약하였다.

- 1) II.2 용어의 정의 - 부록 II.2에서는 많은 용어가 새롭게 포함되었는데 대부분은 특수상세에 대한 용어이다. 특수 경계부재, 설계변위, 내진갈고리, 연결철근, 후프철근 등이 포함되었다. 그리고 특수상세를 포함하기 위해 모멘트골조와 구조벽체에 대한 정의가 새롭게 수정되었다.
- 2) II.3 일반사항 - 이 절에서는 부록 II의 적용 범위에 지진의 위험도나 내진설계범주에 따른 콘크리트 구조물의 내진 상세수준을 정의하고 있다. 또한 강도감소계수와 구

조 재료와 시공에 대한 품질을 확보하기 위해 콘크리트와 철근의 최소 강도 및 기계적 이음과 용접 이음에 대한 기준을 명시하고 있다.

- 3) II.4 특수 모멘트골조의 휨 부재 - 이 조항은 2007 콘크리트구조설계기준에 처음으로 도입된 것이다. 중간 수준에서 높은 수준의 지진 위험도를 가진 지역에 위치하거나 높은 내진설계범주(D, E, F)를 가진 콘크리트 특수 모멘트골조에 대한 내진상세 기준이 포함되었다. 〈그림 1〉은 특수 모멘트골조에서 횡방향 철근에 대한 상세 조건을 그림으로 나타낸 것이다.
- 4) II.5 휨과 축력을 받는 특수 모멘트골조의 부재 - 특수 모멘트골조에서 축 압축력을 받는 기둥의 상세에 대한 조건이 명시되었다. 보-기둥의 접합부에서 보의 항복을 먼저 유발하기 위한 기둥의 최소 휨강도의 조항이 기둥의 형태, 주철근과 횡방향 철근의 특수 상세 등과 함께 명시되었다.
- 5) II.6 특수 모멘트골조의 접합부 - 특수 모멘트골조의 보-기둥 접합부에 대해 주철근 및 횡철근의 규정과 함께 접합부의 최대 공칭 전단강도가 보-기둥의 형태적 특성에 따라 명시되었다.
- 6) II.7 특수 철근 콘크리트 구조벽체와 연결부 - 높은 지진

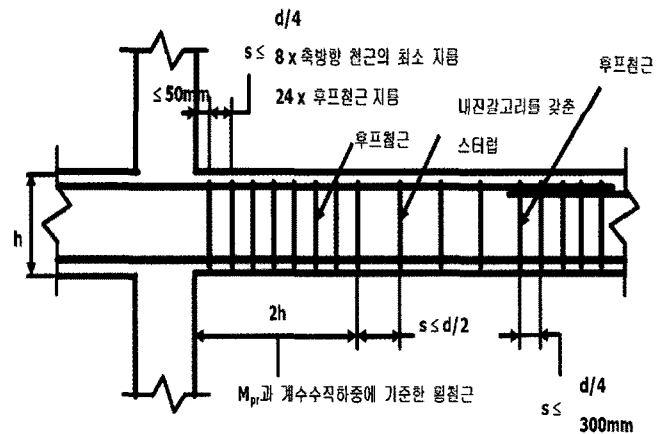


그림 1. 휨부재에 대한 횡방향 철근의 상세조건(특수 모멘트골조)

표 1. 지진 위험도에 따른 각 부재별 상세 조항

구조부재	지진 위험도나 명시된 내진설계범주		
	약(Low)	중(Intermediate)	강(High)
골조부재	제 1 ~ 17장	부록 II.3, 부록 II.10	부록 II.3, 부록 II.4 ~ II.3
구조벽과 연결보	제 1 ~ 17장	해당 사항 없음	부록 II.3, 부록 II.7
구조격막과 트러스	제 1 ~ 17장	해당 사항 없음	부록 II.3, 부록 II.8
기초	제 1 ~ 17장	해당 사항 없음	부록 II.3, 부록 II.9
지진력에 저항하지 않는 골조 부재	해당 사항 없음	해당 사항 없음	부록 II.3, 부록 II.10

위험도나 높은 내진설계범주에 대한 특수 철근 콘크리트 구조벽에 관한 내진상세를 다루고 있다.

여기서 구조벽체의 최소 수직 및 수평철근의 면적, 최대 전단강도 및 유효 플랜지에 대한 규정을 포함하고 있다. 또한 특수 경계요소의 설계에 대해 변위설계법과 대체설계법을 통해 예상되는 지진위험도에 대해 적절한 상세를 통해 필요한 인성을 확보하도록 요구하고 있다. 연결보에 대해서는 부재의 총 두께를 통하여 세장비를 계산하고 그에 따른 설계상세를 만족하도록 요구하고 있다.

- 7) II.8 구조격막과 트러스-구조재로 사용하는 구조 격막 (structural diaphragm)과 트러스에 대한 조항과 함께 지진으로 발생하는 하중을 전달하는 버팀재, 연결재, 현재 및 수집재에 적용하는 상세가 명시되어 있다.
- 8) II.9 기초-지진의 위험이 높은 지역의 건물을 지지하는 기초에 대한 설계 조항이 이 절에 포함되었으며 <그림 2>에 보여지고 있다.
- 9) II.10 지진력에 저항하지 않는 골조부재-이 장은 지진으로 인한 외력을 지지하지 않는 골조 부재에 대한 요구사항이다. 설계변위가 발생할 때 부재에서 계산한 휨모멘트를 II.10.2 또는 II.10.3에 따라 설계하여야 한다. <그림 3>은 지진력에 저항하지 않는 골조 부재에 대한 내진 설계 절차를 흐름도로 나타낸 것이다.
- 10) II.11 중간 모멘트골조 요구사항- 이 장은 중간 수준의 지진위험에 노출된 지역이나 중간 수준의 내진설계범주

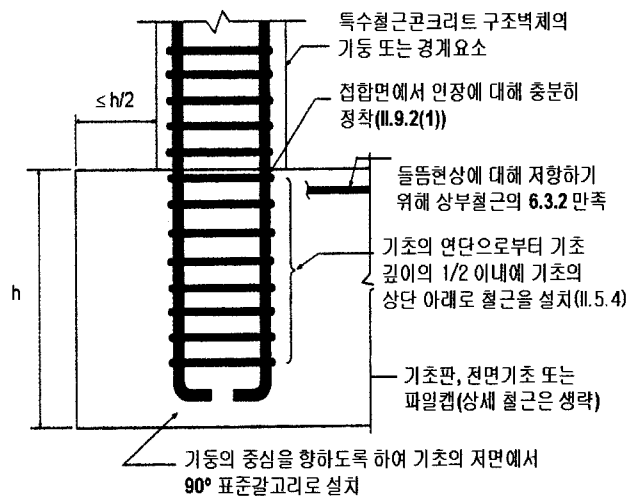


그림 2. 기초의 내진상세(높은 지진위험도 또는 내진설계범주)

의 건물에 대한 요구사항을 담은 절이다. 골조부재의 몇몇 지점에서 외각 콘크리트의 박리 가능성(spalling)과 손실의 가능성은 높은 것으로 기존의 경험과 연구를 통해 예측되고 있다.

실제 지진에서 관찰된 거동과 실험 연구에 따르면 반복적인 하중에 대해서 횡철근이 주철근을 따라 구부러지지 않고 그 끝이 부재의 안쪽으로 향하지 않는 경우 횡철근은 그 끝이 열리면서 중심부 콘크리트를 구속하는 능력을 잃어버리는 것으로 조사되었다. 이러한 점을 고려하기 위해 이 항에서의 요구사항은 보의 단부로부터 최소

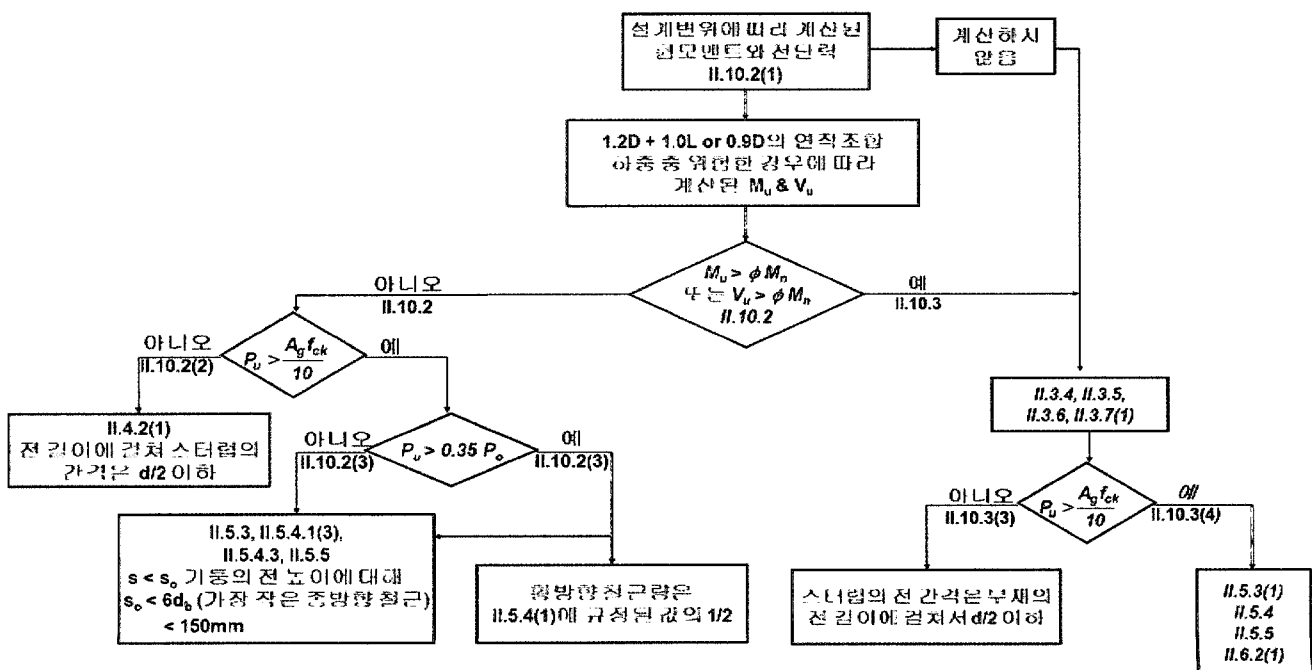


그림 3. 지진력에 저항하지 않는 부재의 내진 설계 절차

한 부재 깊이의 2배 이상의 거리까지 횡철근을 대신해 후프철근이 요구된다. 또한 기둥부재에서 횡 보강에 대한 새로운 조항은 II.11.5절에 제시되어 있다.

3. 결론

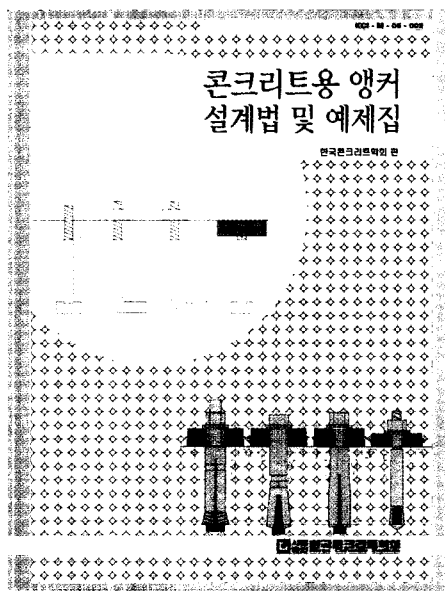
2007년 발간 예정인 2007년 콘크리트구조설계기준의 내진 설계기준을 담고 있는 부록 II의 내용을 개괄적으로 요약하였다. 높은 지진 위험도나 높은 내진설계범주에 대한 특수상세에 관한 조항이 대폭 포함된 것이 기존 2003년 기준과의 주요 차이라고 할 수 있다.

지금까지는 건축구조물에 대해 지진의 크기에 관련되어 구조 시스템이나 부재의 선택에 관한 사항이 명확하게 고려되어 있지 않았다. 또한, 고려되는 구조설계기준의 내진 설계 조항들이 하중기준과 명확하게 연관되어 있지 않은 점이 많은 연구자와 엔지니어로부터 지적되어 왔다. 이번 개정안에서 하중기준과 각 구조 재료에 대한 기준이 연계되어 개정되었고 필요한 내진 설계의 상세가 완성되었다는 점에서 큰 의미가 있다고 하겠다. 현재 우리나라를 비롯해 세계적으로 수행되고 있는 실험과 연구를 통해 보다 합리적이고 공학적인 면을 가진 내진 설계기준으로 발전이 이루어질 것으로 생각된다. □

참고문헌

1. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2002.
2. ATC, "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings", *ATC-3-06 Report*, Applied Technology Council, Redwood City, CA, 1976.
3. Fanella, D. A., *Seismic Detailing of Concrete Buildings*, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2000, 69pp.
4. FEMA., "NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulation of Buildings and Other Structures", Report FEMA-302, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1997.
5. Ghosh, S. K., *Seismic Design Provisions for Precast Concrete Structures in ACI 318*, Structure, National Council of Structural Engineers Association, 2001. 4.
6. IBC International Building Code, *International Code Council*, Falls Church, VA, 2000.
7. (사)한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003.
8. (사)대한건축학회, 건축구조설계기준(KBC), 2005.

도서소개



콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집

: 본서에서는 앵커의 용어 정의 및 설계기준을 1편에 기술하였고, 2편에서는 앵커 설계기준에 대한 상세한 해설과 후 설치 앵커의 일반적인 시공방법을 다루었으며, 3편에서는 앵커 설계에 대한 기본개념 이해 및 설계법의 실무적용을 용이하게 하기 위하여 다수의 앵커 설계 예제를 수록하였다. 본서를 통하여 구조기술자가 콘크리트용 앵커 설계법에 관한 기술을 습득하고, 각종 예제를 이용함으로써 설계법에 대한 충분한 이해와 자신감을 갖기를 기대한다.

- ❖ 저 자 : 한국콘크리트학회
- ❖ 출 판 : 기문당
- ❖ 정 가 : 10,000원(회원 : 8,000원)
- ❖ 발행일 : 2007년 1월 30일
- ❖ ISBN : 978-89-7086-798-4