



국내 콘크리트구조물의 지진대비책

국내 콘크리트 구조물의 내진설계 기준 및 관례(건축)

Earthquake Resistant Design Code and Its Usual Practice for the R.C. Structures in Korea



김 상 대*

1. 여는 말

국내에서 내진설계는 1986년 대한건축학회의 주관으로 수행된 “건축물의 내진구조 및 방재 기준에 관한 연구”를 바탕으로 건설부가 내진설계를 위한 시행령을 제정하여 1988년 7월 1일부터 시행하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 지진에 대한 경험이 많지 않았고, 또 내진설계 기준이 비교적 짧은 기간 동안에 제정되었기 때문에 구조설계 실무자들이 실제 설계에 적용하는데 어려움이 적지 않았다.

근래 여러 국가에서 대규모의 지진이 발생하고 그 피해가 심각함에 따라 국민적인 관심이 집중되면서, 국내에서도 내진설계의 중요성이 한층 더 강조되고 있다. 이러한 시점에서 현재 시행되고 있는 우리나라의 내진설계 기준을 검토해 보고, 나아가 실제의 관행을 파악해 보는 것은 시의적절한 일이라고 하겠다.

따라서 본고에서는 국내외에서 적용되고 있는 내진설계 기준 및 관련 조항 중에서 철근콘크리트 구조물에 해당되는 사항을 주요 항목별로 정리해 보고, 나아가 현재 제기되고 있는 몇 가지 문제점에 대해서 언급해 보고자 한다.

2. 콘크리트 구조물의 기본진동주기 산정

건축물의 구조기준 등에 관한 규칙(이하 규칙이라 칭함) 제14조 제2항 제4호 다목에서는 콘크리트 구조물의 기본진동주기를 다음의 (1) 또는 (2)식에 따라 산정하거나 고유치 해석법에 의해 산정하도록 규정하고 있다. 다만, 고유치 해석법에 의하여 산정한 기본진동주기가 (1) 또는 (2)식에 의하여 구한 기본진동주기에 1.2배를 곱한 값을 초과하는 경우에는 그 1.2를 곱한 값을 적용하도록 규정하고 있다.

$$T=0.06h_n^{3/4} \text{ (모멘트골조)} \quad (1)$$

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 부교수

$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{B}} \quad (\text{모멘트골조를 제외한 구조}) \quad (2)$$

h_n = 밑면으로부터 최상층까지의 건축물의 높이 (미터)

B = 지진하중이 작용하는 방향의 밑면에서의 건축물 평면치수 (미터)

식(1)과 (2)는 ATC 3-06 규준을 원용한 것으로서, 일반적인 콘크리트 구조물에는 무리없이 적용될 수 있으나 철근콘크리트 내력벽식 구조물에는 합리적으로 적용될 수 없다. 즉 내력벽식 구조물은 모멘트 골조에 속하지 않으므로 식(2)를 적용해야 하지만, 이 경우 내력벽의 배치에 따른 장변 방향 및 단변방향의 강성의 차이가 역으로 평가되는 결과가 초래된다. 현재 구조설계 실무에서는 여러가지 대안이 적용되고 있으나, 적합한 방법이라 생각되지 않으며 이 문제에 대한 적절한 대책이 요망된다.

참고로 UBC-91 규준에는 내력벽식 구조물에 대해 각 방향의 벽량에 따른 강성의 차이가 고려되는 식을 다음과 같이 규정하고 있다.

$$T = \frac{0.1}{\sqrt{\Sigma A_e [0.2 + (D_e / h_n)^2]}} h_n^{3/4} \quad (3)$$

A_e = the minimum cross-sectional shear area in any horizontal

D_e = plane in the first story, in square feet, of a shear wall the length, in feet, of a shear wall in the first story in the direction parallel to the applied forces

h_n = height, in feet, of the building above the base

그러나 이 식도 우리의 벽식구조에 그대로 사용하기에는 무리하다고 판단된다.

3. 콘크리트 구조물의 반응수정계수

규칙 제14조 제2항 제6호에서는 반응수정계수를 구조방식에 따라 다음과 같이 적용하도록 규정하고 있다.

(1) 내력벽 방식

- 전단벽이 모든 수직하중과 모든 횡력을 부담하는 경우→3.0
- 모든 수직하중과 횡력을 받는 전단벽의 양단부를 기둥과 같은 배근법으로 보강한 경우→3.5

(2) 모멘트연성골조방식→4.5

(3) 이중골조방식

- 지진력의 25% 이상을 부담할 수 있는 모멘트연성골조가 전단벽과 조합되어 수직하중 및 횡력을 건축물 수직요소의 강성비에 따라 부담하는 경우→5.0
- 모멘트골조와는 독립적으로 전단벽이 모든 횡력을 부담하는 경우→4.0

(4) 기타의 골조방식→3.5

위의 반응수정계수 역시 ATC 3-06에 근거해서 제정된 것으로서 몇가지 개선되어야 할 점들이 지적되고 있다. 첫째로, 모멘트골조의 경우 일반골조방식과 연성골조방식을 구분할 기준이 모호하다. 규칙 제3조 제11항의 “모멘트골조는 수직하중과 횡력을 보와 기둥으로 구성된 라멘골조가 저항하는 방식”이란 규정과 규칙 제3조 제9항의 “모멘트연성골조방식은 횡력에 대한 저항능력을 증가시키기 위하여 부재와 접합부의 연성을 증가시킨 모멘트골조방식”이란 규정이 있을 뿐이며 이에 관한 어떠한 관련 기준도 없다. 따라서 명확한 구분 기준을 제공할 수 있는 부재설계 규준, 배근상세 및 제한조건이 필요하며, 일반골조방식에 대한 반응수정계수도 추가되어야 한다.

둘째로, 국내 건설환경의 많은 변화와 더불어 선진국의 내진설계 규준 개정 추세에 부합할 수 있도록 구조방식을 좀 더 세밀히 구분하고 그에 따른 관련 조항의 정비가 필요하다.

셋째로, 반응수정계수에는 경험적인 측면이 상당히 포함되어 있는데, 지진에 대한 경험이 많지 않은 우리나라의 실정에서는 구조공학자와 실무 구조엔지니어들이 협력이 더욱 요망된다.

4. 콘크리트 보의 설계

극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산

규준(이하 구조계산규준이라 칭함)의 A.2.1에서는 보의 전 구간을 복배근으로 설계하도록 규정하고 있으며, 내력벽 또는 기둥과 연결되어 있는 부위에서는 발생하는 부모멘트의 1/3 이상에 해당하는 정모멘트도 동시에 발생한다고 가정하여 설계하도록 규정하고 있다. 이는 지진에 의해 구조물이 좌우로 흔들림에 따라 휨모멘트의 반전이 발생하므로 정모멘트 구역의 일부가 부모멘트 구역이 되는(혹은 그 반대) 가능성을 배제할 수 없기 때문이다. 또한 보의 어느 지점에서든 단면의 정저항모멘트 또는 부저항모멘트는 최대 저항모멘트의 1/5 이상으로 하도록 규정하고 있다.

구조계산규준에서는 또한 보의 양단에서 보 중앙 방향으로, 보 유효 높이의 2배 거리에 있는 구간을 D10 이상의 폐쇄형 스테럽으로 전단보강하되, 첫번째 스테럽은 보의 지지면으로부터 5cm 이내에 위치하여야 하며, 스테럽의 최대간격은 유효춤의 1/4, 주철근 최소 철근직경의 8배, 스테럽 직경의 24배, 또는 30cm 중에서 가장 작은 값 이하가 되도록 규정하고 있다. 이러한 전단보강 규정은 타 구조부재와 연결되는 부위에서 국부적인 취성파괴와 전단파괴를 방지하기 위한 것이며, 전단력과 연성은 전단보강 철근의 양에 크게 영향을 받고, 연성에 대한 효과는 U형 스테럽보다 폐쇄형 스테럽이 우수하다는 사실에 근거하고 있다.

참고로 위 구조계산규준의 규정들은 UBC-91 2625.(k).4의 지진구역 2에 대한 규정 및 ACI 318-89 21.9.4의 중진지역(Region of Moderate Seismic Risk)에 대한 규정과 동일하다.

내진설계 지침서 작성에 관한 연구(이하 지침서라 칭함)의 3.2.3에서는 기둥과의 집합부에 위치한 상단철근 중 최소한 1/4는 보의 전 구간에 걸쳐 연속되도록 규정하고 있으며, 상단근 단면적의 1/2 이상의 하단근이 스패인의 1/6 지점까지 연장되도록 규정하고 있다. 또한 응력 반전시의 응력 집중현상을 방지하기 위하여 절곡근은 가능한 사용하지 않도록 규정하고 있으며, 연속보의 하단근과 상단근은 기둥을 관통하여 연장하거나 이것이 불가능할 경우 띠철근으로 구속된 콘크리트내에 구부려 정착하도록 규정하고 있다.

5. 콘크리트 기둥의 설계

구조계산규준의 A.2.2에서는 수평구조 부재와 만나는 면으로부터 기둥 순높이의 1/6, 기둥 단면의 장변길이, 또는 50cm 중에서 최대값의 구간내에서 주철근 중 최소 철근직경의 8배, 띠철근 직경의 24배, 기둥 단면길이의 1/2, 또는 30cm 중의 최소값 이하의 간격으로 폐쇄형 띠철근을 보강하되, 수평구조 부재와 만나는 면에서 첫번째 띠철근까지의 간격은 띠철근 간격의 1/2 이하가 되도록 규정하고 있다. 이러한 횡보강 규정은 타 구조부재와 연결되는 부위에서 국부적인 취성파괴와 전단파괴를 방지하기 위한 것이다. 위 구조계산규준의 규정들은 UBC-91 2625.(k).5의 지진구역 2에 대한 규정 및 ACI 318-89 21.9.5의 중진지역에 대한 규정과 동일하다.

지침서의 3.2.4에서는 주철근의 1/4 이상을 같은 평면내에서 이을 수 없으며, 주철근의 최소 순간적은 직경의 1.5배 이상으로, 띠철근으로 고정된 주철근과 고정되지 않은 주철근의 순간적은 15cm 이하가 되도록 규정하고 있다.

6. 콘크리트 내력벽의 설계

구조계산규준의 A.2.3에서는 개구부가 있는 내력벽은 연단을 2개 이상의 D13 철근으로 특별 보강하도록 규정하고 있으며, 내력벽의 개구부가 건물의 수직방향으로 연속되어 있을 때는 개구부와 개구부 사이의 벽체를 2개 이상의 D13 철근을 사용하여 대각선으로 보강하는 것이 바람직하다고 규정하고 있다.

UBC-91 및 ACI 318-89에서는 특별한 규정을 두고 있지 않으며, 개구부가 있는 내력벽이라 하더라도 내력벽의 일반 설계규정을 지킬 경우 지진의 강도가 크지 않은 지역에서는 내진을 위한 특별한 보강이 필요없다는 취지로 생각된다. 그러나 실제 구조물에서 개구부 모퉁이에 균열이 많이 발생하고 있으며, 외국의 경우에서도 지진발생시 개구부와 개구부 간의 벽에 심한 균열이 발생한 사례가 많다는 점을 고려하여 규정된 조항이라고 볼 수 있다.

지침서의 3.2.6에서는 전단벽의 두께가 15cm 이상이 되도록 하며, 두께가 18cm를 초과하는 경우에는 복배근 하는 것이 바람직하다고 규정하고 있다. 또한 벽식구조를 모멘트 연성골조 또는 이중골조 방식으로 해석하고자 할 때는 모든 벽의 두께가 18cm 이상으로서 복배근하고, 벽체의 단부를 기둥의 띠철근 배근 방법에 따라 수평 보강되 보강 단부의 폭은 벽두께의 3배, 20cm, 또는 압축응력이 0.15 Fc 이하가 되는 지점까지의 길이 중 큰 값으로 하도록 규정하고 있다. 이러한 벽체 단부 보강 조항은 UBC-91 및 ACI 318-89 등의 외국 기준에서는 발견되지 않는 규정이다.

7. 콘크리트 슬래브의 부재설계

지침서의 3.2.5에서는 슬래브의 개구부 주위는 D16 이상의 철근으로 슬래브의 상하단에 개구부 주변과 평행하게 배근하도록 규정하고 있으며, 캔틸레버 슬래브의 경우에는 응력의 반전에 대비하여 복배근 하도록 규정하고 있다. 또한 건물에 큰 비틀림 모멘트가 작용한다고 판단될 경우에는 슬래브의 연단으로 부터 1/6 이내의 부위에는 소요 철근간격의 1/2 간격으로 배근하도록 규정하고 있다.

위 조항은 UBC-91의 지진구역 2에 대한 규정과 ACI 318-89의 중진지역에 대한 규정에서 발견되지 않으며, 구조계산규준에서도 규정되지 않은 사항이다. 그러나 건물이 심한 비대칭일 경우 슬래브에 매우 큰 비틀림 모멘트가 발생하게 되는데, 이로 인한 슬래브 모서리의 파괴를 방지함으로써 슬래브가 수평 다이아프램의 역할을 원활히 수행하도록 하기 위한 것이다.

8. 콘크리트 구조물의 내진설계를 위한 하중조합

구조설계규준의 3.2.2에서는 지진하중 E의 영향을 구조설계에 포함시킬 경우 소요강도 U를 결정하기 위해서는 다음 식(4)와 식(5)의 하중조합을 검토하도록 규정하고 있다. 즉, 하중조합은 보다 불리한 경우를 검토하기 위하여 적재하중이 전부

재하되는 경우에 대한 식(4)와 전혀 재하되지 않는 경우에 대한 식(5)를 포함시킨다.

$$U=0.75(1.4D+1.7L+1.1 \times 1.7E) \quad (4)$$

$$U=0.9D+1.1 \times 1.3E \quad (5)$$

구조설계 실무에서 위 규정을 적용하여 내진구조해석을 수행하는 경우에 다음과 같은 하중조합을 모두 고려하여야 한다.

$$0.75(1.4D+1.7L+1.1 \times 1.7E_x)$$

$$0.75(1.4D+1.7L-1.1 \times 1.7E_x)$$

$$0.75(1.4D+1.7L+1.1 \times 1.7E_y)$$

$$0.75(1.4D+1.7L-1.1 \times 1.7E_y)$$

$$0.9D+1.3E_x$$

$$0.9D-1.3E_x$$

$$0.9D+1.3E_y$$

ACI 318-89의 9.2.3과 UBC-91의 2609.(c).4에서는 지진하중의 영향을 구조설계에 포함시킬 경우 소요강도 U를 결정하기 위해서는 위의 식(4), (5)와 같이 하중조합을 하도록 규정하고 있다.

구조설계규준의 A.4.1에서는 극한강도 설계법에 의한 내진설계 특별규정으로서 지진하중에 저항하는 보, 기둥 및 2방향 슬래브의 전단강도는 다음의 (가), (나)로 결정되는 값보다 작아서는 안 된다고 규정하고 있다.

(가) 구속된 스패 양단의 공칭 저항 모멘트와 동일한 크기의 모멘트를 발생시키는 고정 하중과 적재하중에 의한 전단력의 합

(나) 지진하중을 포함한 설계하중의 조합으로 결정되는 최대 전단력, 이 때 지진하중의 크기는 건축물 구조기준 등에 관한 규칙으로 결정되는 값의 2배로 계산한다.

위 (나)의 조항에 의하여 보, 기둥 및 2방향 슬래브의 소요강도를 결정하기 위해서는 다음 식과 같은 하중조합을 검토하여야 한다.

$$U=0.75(1.4D+1.7L+2 \times 1.7E) \quad (6)$$

위의 규정은 UBC-91 2625.(k).3의 지진구역 2에 대한 규정 및 ACI 318-89 21.9.3의 중진지역에

대한 규정을 그대로 채택한 것인데, 다만 $2 \times 1.7E$ 대신 $2 \times 1.1 \times 1.7E$ 가 적용되는 점이 다르다.

9. 콘크리트 구조물의 동적 내진해석

규칙 제7조 제2항 제4호에서 지진하중은 지진력을 정적인 횡력으로 평가하는 등가정적해석법 또는 건설부장관이 이와 동등 이상의 안전성이 있다고 인정하는 해석법에 의한다고 규정하고 있으며, 규칙 제14조 전반에 걸쳐 등가정적해석법을 규정하고 있다. 즉 현재 내진설계 기준에는 동적해석법에 관한 구체적인 규정이 없는 상태이며, 다만 지침서 제2장에 의거하여 각 모드별로 등가정적해석 방법을 원용하여 각 모드별로 해석한 뒤 그 결과를 중첩하는 방법이 구조설계 실무에 적용되고 있다.

구조물이 점차 다양화 되고 또한 고층화됨에 따라 보다 정확한 내진구조해석이 요구되는 지금의 시점에서 우리의 현실에 적합한 설계 스펙트럼의 개발 등을 통한 동적해석법에 관한 규정의 신설은 반드시 필요하다고 생각된다.

10. 맺는 말

본고에서는 국내에서 적용되고 있는 콘크리트 구조물의 내진설계 기준 및 관련 조항을 간단하게 항목별로 정리해 보았으며, 현재 제기되고 있는 몇가지 문제점에 대해서도 언급해 보았다. 그러나 내진설계 기준이 7년 전에 채택되어 현재 의무규정이 되어 있음에도 불구하고 실제의 구조설계에서는 잘 지켜지고 있지 아니하다. 예를 들면 콘크리트

부재설계 중에서 보와 기둥(4와 5항)에 관한 기준들이 잘 지켜지고 있지 아니하며, 특히 8항의 하중조합 중에서 지진에 저항하는 보, 기둥 및 2방향 슬래브의 전단강도 설계는 대부분 지켜지고 있지 아니하다.

한편 우리나라에서 내진설계 기준이 제정된 이래로 기준상에 적지 않은 미비점들이 발견되어 오고 있을 뿐만 아니라, 시행과정에서도 홍보와 교육 부족으로 인하여 아직 내진설계가 정착되지 못하고 있다고 볼 수 있다.

이러한 관점에서 최근에 주변 국가들에서 발생한 지진은 우리에게 내진설계의 중요성을 재인식시켜주는 계기가 되었다고 할 수 있으며, 따라서 국내에서도 이 분야의 꾸준한 연구와 내진설계 수준 향상을 위한 노력이 있어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙, 1992.
2. 대한건축학회, 내진설계 지침서 작성에 관한 연구, 1987.
3. 대한건축학회, 국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산기준, 1994.
4. 대한건축학회, 철근콘크리트 내력벽식 건축물 구조설계지침(안), 1992.
5. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89), 1989.
6. International Conference on Building Officials, UBC-91, 1991.
7. Applied Technology Council, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Building(ATC 3-06), 1978. 