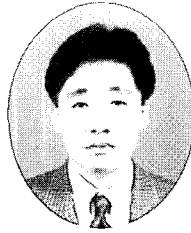


특 집

|| ACI 318 Code 주요 개정내용 분석 ||

ACI 318-02에서 내진 설계 및 상세의 변화 - Seismic Design and Details in ACI 318-02 -



한상환*
Han, Sang Whan



이기학**
Lee, Ki Hak



이한선***
Lee, Han Seon

1. 철근 콘크리트 구조물의 내진설계를 위한 ACI 318의 변화

미국에서는 철근 콘크리트 구조 설계를 위하여 ACI 318을 사용하고 있다. 이 기준에서는 1971년 처음으로 내진에 대한 특수 조항이 부록 A에 소개되었다. 부록 A는 강한 지진이 예상되는 지역의 철근 콘크리트 구조물에 적용할 의도로 만들어졌다. 이 기준에서 내진설계 시 사용하는 지진하중은 구조물이 설계지진에 대하여 탄성거동하기 위하여 요구되는 하중이 아닌 비탄성거동을 허용하는 수준의 요구하중이다. 이러한 하중개념은 현행 ACI 318 (2002)에서도 동일하다.

부록 A가 강한 지진이 예상되는 지역에 위치한 횡력 저항시스템(Lateral Force Resisting Systems) 부재들의 설계와 상세를 다룬 것이라면 다른 조항들을 중력시스템이나 보통 혹은 미소한 지진에 대한 시스템의 구성부재의 설계와 상세에 관한 것이라 할 수 있다. 따라서 부록 A를 제외한 다른 부분을 만족하도록 설계된 구조물은 작거나 보통 규모의 지진에 대하여 어느 정도의 강도와 인성(toughness)을 발휘할 수 있는 것이라 할 수 있다. 따라서 부록 A는 오로지 강진지역의 구조물에만 적용되는 것이라고 할 수 있다. 1983년에는 부록 A에 더 많은 횡력 저항시스템 구성요소의 내진설계와 상세를 포함하였다. 특히 이 기준에서는 처음으로 중간(intermediate)정도의 지진 위험지역의 골조 시스템에 대한 조항들을 포함시켰다. 1989년 개정판에서는 부록 A를

21장으로 옮겨서 내진설계 및 상세를 정식 기준으로 포함하게 되었다. 이는 내진 설계에 대한 고려사항이 다른 기준 장들과 함께 동등한 자격의 설계기준으로 받아들여진 것을 의미한다.

2. ACI 318-95에서 ACI 318-99로의 변화

우리나라의 콘크리트구조설계기준(1999)은 ACI 318-95에 기초하여 수정·작성된 것이다. 내진설계와 관련하여 ACI 318-99는 ACI 318-95에 대해 대폭적으로 변경되었다. 따라서, 이 ACI 318-99에서의 변화를 언급하지 않고 바로 ACI 318-02의 변화를 설명하는 것이 무리가 있어 이에 대해 간략히 언급하고자 한다.

(1) “설계변위”를 처음으로 정의하였으며, 이 정의는 벽체의 설계와, 중력하중만을 받는 골조의 설계에 사용된다.

(2) 강기둥-약보 설계에서 설계강도 대신 공칭강도를 사용하고 부모멘트에 대해서는 유효폭 내의 슬래브 철근의 기여도 고려하도록 하였다.

(3) 소성힌지 영역에서 횡철근 간격이 4 in.로 고정되어 있던 것을 <그림 1>과 같이 주철근 간격이 좁아지면 6 in.까지 완화시킬 수 있도록 하였다.

(4) 특수 전단벽에서 경계요소를 설계할 때 ACI 318-95에서는 압축연단의 응력이 $0.2f_c'$ 을 넘어서면 경계요소를 설치하도록 하였으나, ACI 318-99에서는 <그림 2>와 같이 설계변위에 의해 결정된 중립축 깊이가 일정값 이상이면 그림에서 주어진 크기 이상의 경계요소를 요구높이까지 설치하도록 하고 있다.

(5) 연결보(coupling beam)에서 전단스팬비가 일정비를 넘어서면 X형 철근배근을 하도록 규정하였다.

* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수

** 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수

*** 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수

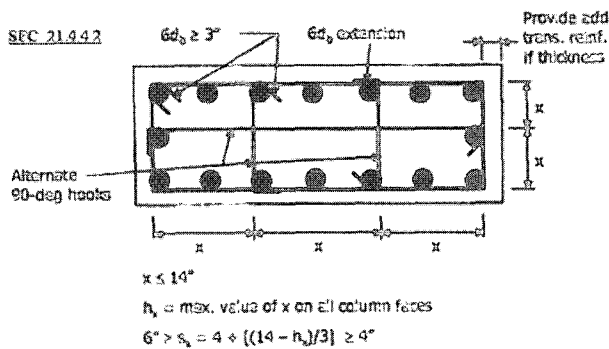


그림 1. 소성힌지영역에서 횡철근 간격

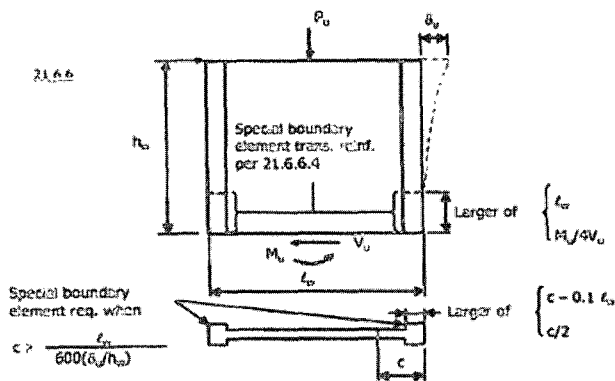


그림 2. 특수전단벽의 경계요소 설계

(6) ACI 318-95에서 중력하중만을 받도록 설계된 골조에 대해서 변형적합을 이유로 지나치게 강화된 상세를 요구하였다. 따라서 이를 완화하기 위해 설계변위까지 횡변위를 겪을 때 부재력이 종극강도보다 작으면 상세요구사항을 완화시켜주는 조항을 신설하였다.

(7) 지금까지 기초에 대한 내진설계조항이 없었으나 ACI 318-99에서 처음으로 기초 설계에 대한 요구사항을 제시하고 있다.

3. ACI 318-02

3.1 21장 개정방향

최근 기준에서는 1995년에서 1999년 기준으로 개정되면서 내진부분(21장)에 많은 변화가 있었고, 2002년 다시 개정되며 또한 많은 중요한 변화가 있었다. 특히 2002년 기준에서 가장 큰 변화가 있었다면 보통 혹은, 높은 지진의 위험을 안고 있는 지역에서 프리캐스트 콘크리트의 사용에 관한 새로운 조항들이 처음으로 나타나게 되었다. <그림 3>은 개정된 규준에서 프리캐스트 콘크리트 구조물의 적용을 위한 관련 장을 나타내고 있다.

최근 10여 년간 프리캐스트 콘크리트 골조 구조물의 내진 거동에 관한 연구를 통하여 체계적으로 발전이 이루어져 왔다. 이는 프리캐스트 부재를 이용하여 건설되는 골조의 설계와 상세에 관한 기준개발을 가능하게 하였다.

3.2 21장 추가 및 변경된 내용

다음은 ACI 318-02의 21장에 새로이 추가된 내용을 요약 정리한 것이다.

21.1 정의(definitions) - 21.1장에서는 많은 용어가 새로이 포함되었는데, 대부분은 프리캐스트 콘크리트에 관한 용어이다. 중간 그리고 특수 프리캐스트 구조벽의 새로운 정의, 연성 그리고 강접합, 소성 힌지점이 포함되었다. 또한, 현장 타설과 프리캐스트 콘크리트를 포함하기 위해 보통 모멘트 골조와 특수 모멘트 골조의 정의가 수정되었다.

21.2.3 중간수준의 지진 위험 - 지진의 위험도에 따라 높은 지진의 위험지역에서 사용할 수 있는 골조시스템에 대해서는 개정된 21.2.1에 명확히 나타나 있다. 또한 21.2.3에는 중간수준의 지진위험도에 대한 정의가 명확히 나타나 있다.

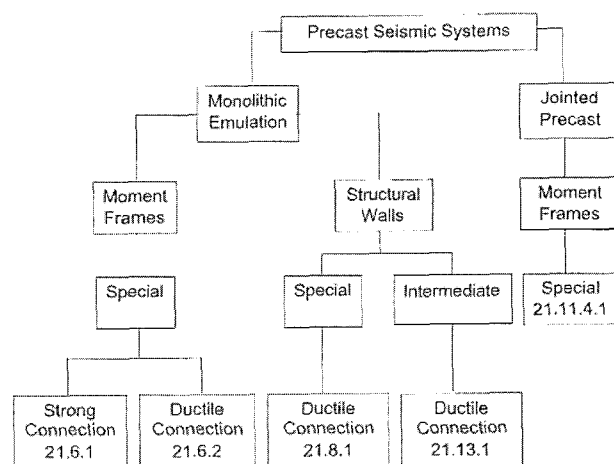


그림 3. 프리캐스트 부재 관련장

21.2.4.2 경량 콘크리트 - 21.2.4.2장에서는 사용가능한 특정 콘크리트 강도에 대한 요구사항이 포함되었다. 여러 실험에서의 결과로 나온 판단에 따라 경량 골재 콘크리트의 최대 허용 압축강도가 28 MPa(4,000 psi)에서 35 MPa(5,000 psi)로 증가되었다.

21.2.8 콘크리트에 대한 앵커링 - 지진지역의 외력에 저항하는 앵커에 대한 조항이 21.2.8절에 포함되었다. 중간 또는 높은 지진 위험지역에 있는 구조물의 지진력에 저항하거나 중간 또는 높은 내진성능범주 또는 내진설계범주에 따라 발생하는 지진력에 저항하는 앵커는 부록 D의 D3.3절에 따라 설계되도록 규정하였다.

21.6 프리캐스트 콘크리트를 이용한 특수 모멘트 골조 - 처음으로 중간수준에서 높은 수준의 지진위험도를 가진 지역에 위치하거나 높은 내진설계범주(C, D, E, F)를 가진 프리캐스트 콘

크리트 구조물에 대한 설계기준이 포함되었다. 프리캐스트 콘크리트로 만들어진 특수 모멘트 골조에 대한 설계 요구사항은 새로운 21.6장에 포함되었다.

21.7 커플링 보 - 21.7.7장에 나온 커플링 보(coupling beams)에 대한 조항도 수정되었다. 이전에는 부재의 유효춤(effective depth)을 이용하여 정의했던 형상비(aspect ratio)가 부재의 총 두께를 이용하도록 조정되었다. 따라서 21.7.7.4장에 나온 공칭 전단 강도식은 부재의 총 두께에 대한 함수로 표현되어 있다.

21.8 프리캐스트 콘크리트를 이용한 특수 구조벽 - 21.6의 프리캐스트 특수 모멘트 골조와 마찬가지로 새롭게 채택된 프리캐스트 콘크리트 특수 구조벽에 대한 요구사항을 포함하였다.

21.9.8.3 구조 다이어프램의 경계부재 - 구조재로 사용하는 다이어프램(structural diaphragm)과 트러스에 대한 조항은 21.9장에 나타나 있다. 21.9.8.3장은 이음부나 정착부에서 현재(chord)나 수집재(collector) 철근에 대한 간격과 피복에 관한 요구사항이다.

21.10 기초 - 지진의 위험이 높은 지역의 건물을 지지하는 기초에 대한 설계 조항은 21.10장에 소개하였다.

21.11 지진력에 저항하지 않는 부재 - 21.11장에서는 지진으로 인한 외력을 지지하지 않는 골조 부재에 대한 요구사항이다. 지진에 저항하지 않더라도 지진지역에 있는 프리캐스트 콘크리트 골조 부재에 대한 새로운 요구사항 (21.11.4장)을 새롭게 명시하였다.

21.12 중간 모멘트 골조 시스템 - 중간 모멘트 골조에 대한 요구사항은 21.12장에 있다. 골조부재의 몇몇 지점에서 콘크리트 피복의 박리(spalling)과 손실의 가능성은 높은 것으로 예상된다. 실제 지진에서 관찰된 거동과 실험 연구는 반복적으로 횡철근(transverse reinforcement)이 주철근을 따라 구부러지지 않고 그 끝이 부재의 안쪽으로 향하지 않는 경우 횡철근은 그 끝이 열리면서 핵심 콘크리트를 구속하는 능력을 잃어버리는 것으로 보여주었다. 따라서 보의 단부에서 최소한 부재 깊이의 2배 이상의 거리까지 늑근을 대신해 후프가 요구된다.

또한 기둥에서 횡 보강에 대한 새로운 조항은 21.12.5장에 제시되어 있다. 21.12.6.2장의 새로운 조항에서는 이방향 슬래브

표 1. ACI 318의 지진위험수준과 다른 기준의 지진구역, 내진성능, 내진설계 범주의 상호관계

Code, standard or resource document and edition	Level of seismic risk or assigned seismic performance or design categories		
	Low(ACI 318-99 Sec. 21.2.1.2)	Moderate/intermediate (ACI 318-99 Sec. 21.2.1.3)	High(ACI 318-99 Sec. 21.2.1.4)
UBC 11991, 1994, 1997	Seismic Zones 0, 1	Seismic Zones 2	Seismic Zones 3 4
NEHRP 1991, 1994; ASCE 7-93, 7-95; BOCA/NBC 1993, 1996, 1999; SBC 1994, 1997, 1999	SPC A, B	SPC C	SPC D, E
NEHRP 1997; ASCE 7-98; IBC 2000; NRPA 5000(2002)(?)	SDC A, B	SDC C	SPC D, E, F

표 2 ACI 318 SPC 혹은 SDC에 따른 관련 요구 조항

Structural component	Level of seismic risk or assigned seismic performance or design categories		
	Low(21.2.1.2)	Intermediate* (21.2.1.3)	High** (21.2.1.4)
Frame members	Chaps. 1-18	21.2.2.3, 21.10	21.2, 21.5
Structural walls and coupling beams	Chaps. 1-18, 22	None	21.2, 21.6
Structural diaphragms and trusses	Chaps. 1-18	None	21.2, 21.7
Frame members not proportioned to resist forces induced by earthquake motions	None	None	21.2, 21.9

* In addition to the requirements of Chapters 1-18 for structures at intermediate seismic risk (21.2.1.3)

** In addition to the requirements for Chapters 1-17 for structures at high seismic risk (21.2.1.4)

의 단부와 코너접합부에서, 단부와 수직으로 연결된 횡 보강근에 대한 유효 슬래브 폭에 관한 사항을 포함하였다. <그림 2>는 단부와 코너 접합부에서 철근 보강근에 대한 폭을 보여주고 있다. 이것은 단부에 수직인 횡철근이 기둥에 가깝게 배치되어 있지 않은 상태에서는 완전히 유효하지 않기 때문이다. 21.12.6.8장에서는 지진이 일어나는 동안 이방향슬래브에서 편칭에 의한 전단 파괴를 방지하기 위한 새로운 조항이 포함되어 있다.

21.13 중간 프리캐스트 구조벽 시스템 - 중간 프리캐스트 구조벽에 대한 설계 요구사항은 새롭게 21.13장에 나타나 있다. 여기에는 프리캐스트벽 패널과 벽 패널 그리고 기초 사이의 접합에 관한 조항이 포함되었다.

4. ACI 318-02와 내진설계기준의 관계

미국의 내진설계기준과 ACI 318 과의 관계는 <표 1>과 <표 2>

에 잘 나타나 있다. 현행 ACI 318에서 21장의 적용에 대한 기본적인 개념은 지진위험이 낮은 지역의 건물이나, 낮은 내진용도그룹 (Seismic Performance Category, SPC) 혹은 내진설계범주(Seismic Design Category, SDC)를 가진 건물에 대해서는 21장의 고려 없이 1장에서부터 18장 그리고 22장의 기준만 따르도록 하고 있다. 이는 구조물이 21장을 적용시키지 않더라도 낮은 지진에 대하여는 적절한 인성(toughness)을 보유하고 있는 것으로 판단하였기 때문이다. 높은 지진 위험도를 가진 지역의 건물이나 높은 내진용도그룹(SPC) 또는 내진설계범주(SDC)로 분류되는 모든 구조물의 부재(구조용과 비구조용)는 21장의 설계와 상세에 대한 요구조건을 만족해야 한다. 21장을 만족하여 설계 및 상세가 적용된 경우, 구조물은 예상되는 지진 하중에 대하여 충분한 내력을 가지고 지진하중에 의하여 발생한 건물의 변위에 대하여 충분한 인성을 가지고 저항할 수 있다고 할 수 있다.

5. 맺음말

2002년 개정된 ACI 318의 내진특별기준을 담고 있는 21장의 내용을 개괄적으로 조사하였다. 프리캐스트에 관한 조항이 대폭 포함된 것이 1999년 기준과의 주요 차이라고 할 수 있다. 우리나라 현재 콘크리트구조설계기준(1999)에서는 지진의 크기에 따른 시스템이나 부재의 선택에 관한 사항이 명확하게 고려되어 있지 않다. 또한 이 기준의 내진설계 조항들이 하중기준과 연계성이 매우 부족하다. ACI 318에서는 내진설계범주를 UBC나 IBC와 같은 하중기준 부분에서 정한 후 이에 대한 허용할 수 있는 부재상세를 ACI 318의 21장에서 제안하고 있다. <표 3>은 IBC(2000)에 따른 시스템의 반응수정계수와 사용제한을 나타내고 있다. <표 3>에 따르면 내진설계범주 D에서는 ACI 318-02의 상세와 설계에 따른 보통 전단벽을 사용할 수 없도록 규정하

표 4. 내진설계 범주(Seismic Design Category)의 분류

기준		내진용도 그룹		
IBC 2000	S_{Ds}	I	II	III
	$S_{Ds} < 0.167 g$	A	A	A
	$0.167 g \leq S_{Ds} < 0.33 g$	B	B	C
	$0.33 g \leq S_{Ds} < 0.50 g$	C	C	D
	$0.50 g \leq S_{Ds}$	D	D	D
AIK 2000		2	1	특

IBC : International Building Code(2000)
 AIK : 건축물 하중 기준 및 해설(1999)
 SDS : 단주기 설계 가속도 스펙트럼

표 3. 시스템별 지진계수 및 제한사항

	Dual Systems with Special Moment Frame		Dual Systems with Intermediate Moment Frame	
	Special RC shear walls	Ordinary RC shear walls	Special RC shear walls	Ordinary RC shear walls
Detailing Reference Section	1970.2.4	1910.2.3	1910.2.4	1910.2.3
Response Modification Coefficient, R	8	7	6	5.5
System Overstrength Factor, W_0	2.5	2.5	2.5	2.5
Deflection Amplification Factor, C_d	6.5	6	5	4.5
System limitations and Building Height Limitation(ft) by Seismic Design Category as Determined in 1616.3	A or B	NL	NL	NL
	C	NL	NL	NL
	D	NL	NP	160
	E or F	NL	NP	100

NL : 제한이 없음, NP : 허용안됨

고 있다. <표 4>에서 보듯이 우리나라의 경우 아파트에서 사용하는 전단벽의 경우 보통 전단벽으로 규정되며 서울에 위치한 대부분의 아파트는 내진설계 범주 D에 해당하므로 사용할 수 없게 된다. 이러한 문제는 다른 시스템에도 발생할 수 있다. 따라서 우리나라의 하중기준과 각 재료기준이 연계하여 개정할 필요가 있다. 또한 부족한 구조물에 대해서는 적절하고 신속한 보강방법에 대한 향후 연구가 진행되어야 할 것으로 판단한다. □

참고문헌

1. ACI Committee 318 (2002), "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. ATC (1978). "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings," ATC-3-06 Report, Applied Technology Council, Redwood City, CA.
3. Fanella, D. A. (2000), "Seismic Detailing of Concrete Buildings," Portland Cement Association, Skokie, IL, pp.69.
4. FEMA (1997). "NEHRP Recommended Provisions for the Seismic Regulation of Buildings and Other Structures," Report FEMA-302, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
5. Ghosh, S. K. (2001), "Seismic Design Provisions for Precast Concrete Structures in ACI 318," Structure, National Council of Structural Engineers Association, April.
6. IBC (2000), "International Building Code," International Code Council, Falls Church, VA.
7. PCA (1999), "Notes on ACI 318-99 Building Code Requirements for Structural Concrete," Portland Cement Association, Skokie, IL.
8. UBC (1997), "Structural Engineering Design Provisions," Uniform Building Code, Vol. 2, International Conference of Building Officials, Whittier, CA.
9. 건교부 (1999), 건축물 하중 기준 및 해설.
10. 건교부(2000), 콘크리트 구조설계 기준.