

특 집

|| ACI 318 Code 주요 개정내용 분석 ||

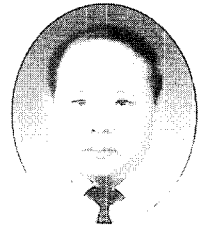
ACI 318-99/02의 주요 개정 사항 - What's New Amendments to ACI 318-99/02 -



정영수*
Chung, Young Soo



박홍기**
Park, Hong Kee



서석구***
Suh, Suk Koo

1. 서 론

국내에서 철근 콘크리트 구조물의 설계 시 널리 사용되고 있는 “콘크리트구조설계기준(2003)”은 미국에서 발간되고 있는 “ACI 318-95(Building Code Requirements for Structural Concrete)”를 근간으로 하고 있다. ACI 318은 콘크리트 구조물의 설계 혹은 시공 시 요구되는 최소한의 요구 사항이며, 미국 정부에서 발행되는 간행물은 아니므로 법적인 구속력을 갖고 있는 규정은 아니다. 그러나, 우리나라의 “콘크리트구조설계기준”은 건설교통부의 출판물로서 콘크리트 구조물 공사 시 반드시 적용해야 하는 법적인 구속력을 갖고 있는 규정이다.

ACI 318-02의 개정은 1995년 11월부터 6년 동안의 과업으로 ACI 318위원회를 설립하면서 시작하였다. ACI 318위원회는 “International Building Code(IBC) 2000”의 출간 및 International Code Council의 구성 일정을 고려하면서 ACI 318-02의 발간 일정을 조절하였다. 즉, ACI의 관련된 규정들이 대부분 IBC에 반영될 수 있도록 출간 일정을 조정하면서 ACI 318-99를 출간하였으며, ACI 318-02의 출간도 추후 IBC 2003에 반영될 수 있도록 2002년 1월로 계획하여 실제로는 2001년 11월에 출간하였다. 이러한 일정 조정은 2000년에 시작되어 2002년에 출간을 계획하였던 National Fire Protection Association(NFPA)의 “NFPA 5000”이라 불리는 US Model

code도 ACI 318-02를 참조하도록 하지는 의도였다.

ACI 318은 대체로 매 3년마다 소규모 개정/수정 등을 수행하며, 매 6년마다 많은 부분에 대폭적인 개정을 시행하고 있다. ACI(American Concrete Institute)는 지난 1999년에 ACI 318-95에 대한 소폭 개정을 수행한 ACI 318-99를 중간 성과물로서 출간한 후, 다시금 하중계수, 강도감소계수 등의 개정, Strut-and-Tie Model, Concrete Anchoring 등에 관련된 규정들을 신설하면서 대폭적인 개정을 수행하여 ACI 318-02를 출간하였다. 1963년 강도설계법을 도입하면서 대폭 개정을 수행한 ACI 318-63, 1971년에 대폭 개정된 ACI 318-71 그리고 이번의 ACI 318-02는 신기술/신소재 등의 소개, ASCE 7-98과 동일한 하중계수 및 변형률조건을 고려하는 강도감소계수의 적용, 즉 강도감소계수 적용 시 압축지배(compression-controlled) 단면과 인장지배(tension-controlled) 단면을 구분하여 적용하는 새로운 설계개념 등을 소개한 대폭적인 개정을 단행하였다. 지금까지의 ACI 318의 설계개념은 부재의 연성과괴를 유도하기 위하여 인장철근량 결정시 균형철근비 설계개념을 소개하였다. 그러나, ACI 318-02에서의 강도감소계수는 압축지배단면에서는 0.65, 인장지배단면에서는 0.9, 그리고 압축/인장지배단면 사이의 변이구간에서는 인장연단에서의 변형률의 함수로 계산하도록 하였다. 이에 따라 새로운 설계개념에 의해 계산되는 철근량은 기존의 최대철근량의 절반 정도로 산출되는 것으로 보고되고 있다.

현재 국내 철근 콘크리트 구조물의 설계 시 법적 기준으로 사용되고 있는 “콘크리트구조설계기준(2003)”은 ACI 318-02의 많은 개정 내용들을 아직은 반영하고 있지 않다. 그러나, 차후 “콘크리

* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

** 정회원, (주)선진엔지니어링 구조부 전무

*** 정회원, (주)서영기술단 구조설계부 부사장

표 1. Correlation between seismic-related terminology in model codes

Code, standard, or resource document and edition	Level of seismic risk or assigned seismic performance or design categories as defined in the code section		
	Low(21.2.1.2)	Moderate/intermediate(21.2.1.3)	High(21.2.1.4)
International Building Code 2000;NEHRP 1997	SDC ¹⁾ A, B	SDC C	SDC D, E
BOCA National Building Code 1993, 1996, 1999 ; Standard Building Code 1994, 1997, 1999; ASCE 7-93, 7-95, 7-98; NEHRP 1991, 1994	SPC ²⁾ A, B	SPC C	SPC D, E
Uniform Building Code 1991, 1994, 1997	Seismic Zone 0, 1	Seismic Zone 2	Seismic Zone 3, 4

주 1) SDC = Seismic Design Category as defined in code, standard, or resource document.

2) SPC = Seismic Performance Category as defined in code, standard, or resource document.

트구조설계기준(2003)에 대한 개정 시에는 ACI 318-02의 많은 부분이 반영될 것이라고 생각된다. 따라서, 본 특집의 목적은 ACI 318-02의 개정 내용들을 숙지하여 추후 개정되는 “콘크리트구조설계기준(2004 혹은 2005)”에 반영 여부를 사전에 검토하고자 하는 것이다. 각 장별 주요 개정 내용은 다음과 같으며, 상세 개정내용은 본 특집에서 별도의 기사로 다루었다.

2. 주요 개정 내용

1995년부터 시작된 ACI 318-02의 개정 작업은 ACI 318-99에서 소폭으로 개정되었던 모든 사항들을 반영하였으며, 이외의 주요한 개정 내용들은 6년 동안의 과업을 집대성하여 2001년 11월에 출간되었다. ACI 318-99 개정시에는 ACI 318-95와 IBC 2000에서 제안된 주요 콘크리트 관련 기준들에서의 기술적 차이를 없애고자 하였으며, ACI 318-02 개정시에도 나머지 관련 기준들에서의 차이점을 없애고자 노력하였다.

ACI 318-02에서는 Ch.8, Ch.9, Ch.10, 및 Ch.18 등이 대폭적으로 개정되었으며, ACI 318-99의 Appendix A인 Alternate Design Method는 삭제되고 대신에 Strut-and-Tie Model을 도입하였다. 또한, ACI 318-99의 Appendix B의 Unified Design Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members는 ACI 318-02의 본문에 도입되었으며, 반대로 ACI 318-99에서 본문에 규정되었던 관련기준들은 ACI 318-02에서는 Appendix B-Alternative Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members 로 개정되었다. 이는 설계자들이 1995년 이래로 ACI 318-99의 Appendix B 규정의 주요 근간이었던 strain-based 규정들에 이체는 더욱 친숙해졌기 때문인 것으로 판단된다. 개정된 주요 Chapter들의 변경내용을 다음과 같이 요약하였다.

Chapter 1 - General Requirements : 다음 <표 1>에 보인 바와 같이 내진 관련 기준의 개정, 즉 지진위험도, 내진성능수

준 등에 관한 규정 보완으로 내진 요구사항에 대한 이해를 위하여 보완되었다.

Chapter 3, 4, 5 - Materials, Durability, Concrete Quality : 콘크리트의 최소압축강도기준 $f'_c = 17 MPa$ 내구성 기준, 고강도 콘크리트 설계를 위한 관련 기준 등을 규정하였다. 특히, 배합강도 등에 대한 기준은 다음 <표 2>와 같이 개정되었다.

표 2. Required average compressive strength when data are available to establish a standard deviation

Specified compressive strength, f'_c , MPa	Required average compressive strength, f'_{cr} , MPa
$f'_c \leq 35$	Use the larger value computed from Eq. (5-1) and (5-2)
	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ (5-1)
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 3.45$ (5-2)
Over 35	Use the larger value computed from Eq. (5-1) and (5-3)
	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$ (5-1)
	$f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s$ (5-3)

Chapter 7 - Details of Reinforcement : 부재 끝단에서의 허용오차, 11.13의 기계적 및 용접이음에 대한 기준 및 기준상단에서의 anchor bolt의 구속력에 대한 기준 등이 보완/설정되었다.

Chapter 8 - Analysis and Design - General Considerations : ACI 318-02의 주요 개정 내용중의 하나는 ACI 318-99의 “Appendix A-Alternate Design method”를 삭제하고 대신에 Appendix A에 Strut-and-Tie Model을 새로이 신설한 것이다. 따라서 Strut-and-Tie Model에 대한 내용이 보완되었다.

Chapter 9 - Strength and Serviceability Re-

quirements : ACI 318-02의 9장은 ACI 318-63에서 강도설계법이 처음으로 소개된 이후 가장 중요한 개정 내용이라 할 수 있다. ACI 318위원회는 ASCE 7-98에서 사용되고 있는 하중계수를 도입하였으며, 강도감소계수는 ACI 318-99의 Appendix C에 기술된 규정을 부분적으로 수정하여 Ch.9에 반영하였다. ACI 318-99의 Ch.9에서의 관련 규정들은 Appendix C-Alternative Load and Strength Reduction Factor로 이동시켰다. 이에 따라 Ch.10, Ch.11, Ch.12 및 Ch.20에서의 관련 규정들도 개정되었다.

Chapter 10 - Flexure and Axial Loads : 균열제어를 위한 표면철근(skin reinforcements)의 계산방법, 10.15.3에 기술된 슬래브강도에 대한 기동강도의 최대비를 2.5 이하로 규정하는 하중전달체계에 관한 규정을 개정하였다.

Chapter 11 - Shear and Torsion : 고강도 콘크리트 사용을 위한 기존의 제한조건들을 삭제하였으며, 슬래브에서의 전단철근 및 전단머리 등에 대한 규정을 개정하였다.

Chapter 12 - Development and Splices of Reinforcement : 본 장과 관련한 모든 개정 내용은 기존의 철근의 정착 및 이음에 대하여 다소 명확하지 않았던 규정들을 명확히 하였다. 또한, prestressing strand의 최소 정착길이에 대한 기존의 해설내용을 본문에 규정으로 도입하였다.

Chapter 13 - Two-Way Slab Systems : 2방향 슬래브에서 철근의 기계적 및 용접이음을 허용하는 관련 규정을 도입하였다.

Chapter 16 - Precast Concrete : 철근이 절단되는 무근 콘크리트 위에서 bearing되는 경우를 피하기 위하여 철근 단부의 허용오차에 관한 규정을 개정하였다.

Chapter 18 - Prestressed Concrete : Serviceability Design Requirements에 관한 prestressed 및 non-prestressed 콘크리트 부재의 관련 규정을 위하여 <표 3>을 제시하였으며 이는 사용하중에 따라 계산된 극한연단응력 및 거동에 따라 3종류의 프리스트레스트 콘크리트 힘부재를 규정한 것이다. 또한, prestressed 콘크리트 처짐에 관한 규정을 Ch.9에서 개정하였다. 또한, 2방향 포스트 텐션 플랫폼 슬래브에서 요구되는 최소철근량에 대한 개정도 포함되었다.

Chapter 20 - Strength Evaluation and Existing Structures : ASCE 7-98의 하중조합을 ACI 318-02에 적용함에 따라 본 장에서는 강도감소계수를 개정하였다.

Chapter 21 - Special Provisions for Seismic Design : ACI 318-99의 Ch.21에서의 주요 개정 내용은 경험 및 실제 적용되는 사례들을 반영하였으며, ACI 318-02의 Ch.21의 개정은 ACI 318-99의 개정 내용을 포함하면서, 지진지역에서의 precast concrete 사용에 따른 관련 규정을 새롭게 한 것이다. 이들 개정 내용은 special moment frame, special structural walls, intermediate moment frames, intermediate precast structural walls 등에 관련된 내용을 포함한다. 또한, intermediate frame에 hoop 철근의 사용, 고강도 콘크리트의 사용을 위한 제한조건의 삭제 등을 포함한다. 한편 설계자들이 내진 관련규정을 유효 적절히 사용할 수 있도록 <표 4>를 제시하였다.

표 3. Serviceability design requirements

	Prestressed			Non-prestressed
	Class U	Class T	Class C	
Assumed behavior	Uncracked	Transition between uncracked and cracked	Cracked	Cracked
Section properties for stress calculation at service loads	Gross section 18.3.4	Gross section 18.3.4	Cracked section 18.3.4	No requirement
Allowable stress at transfer	18.4.1	18.4.1	18.4.1	No requirement
Allowable compressive stress based on uncracked section properties	18.4.2	18.4.2	No requirement	No requirement
Tensile stress at service loads 18.3.3	$\leq 0.7\sqrt{f_c'}$	$0.7\sqrt{f_c'} < f_t \leq \sqrt{f_c'}$	No requirement	No requirement
Deflection calculation basis	9.5.4.1 Gross section	9.5.4.2 Cracked section, bilinear	9.5.4.2 Cracked section, bilinear	9.5.2, 9.5.3 Effective moment of inertia
Crack control	No requirement	No requirement	10.6.4 Modified by 18.4.4.1	10.6.4
Computation of Δf_{ps} or f_s for crack control	-	-	Crack section analysis	$M/(A_s \times \text{lever arm})$, or 0.6 f_y
Side skin reinforcement	No requirement	No requirement	10.6.7	10.6.7

표 4. Section of chapters 21 and 22 to be satisfied'

Component resisting earthquake effect, unless otherwise noted	Level of seismic risk or assigned seismic performance or design categories (as defined in code section)	
	Intermediate(21.2.1.3)	High(21.2.1.4)
Frame members	21.12	21.2, 21.3, 21.4, 21.5
Structural walls and coupling beams	None	21.2, 21.7
Precast structural walls	21.13	21.2, 21.8
Structural diaphragms and trusses	None	21.2, 21.9
Foundations	None	21.2, 21.10
Frame members not proportioned to resist forces induced by earthquake motions	None	2.11
Plain concrete	22.4	22.4, 22.10.1

* In addition to requirements of Chapters 1 through 18 for structures at intermediate seismic risk (21.2.1.3), and for Chapters 1 through 17 for structures at high seismic risk (21.2.1.4)

Chapter 22 - Structural Plain Concrete : 강진 지역의 무근 기초 콘크리트 사용을 위한 관련 규정을 명확히 하였다.

Appendix A - Strut-and-Tie Models : Strut-and-Tie model은 보 이론인 "평면은 변형 후에도 평면을 유지한다."라는 가정이 적용되지 않는 콘크리트 부재의 설계에 적용할 수 있는 매우 유용한 이론으로서 이에 대한 관련 규정을 새로이 도입하였다.

Appendix B - Alternative Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete Flexural and Compression Members : ACI 318-99의 Ch. 8, 10, 및 18에서 제외된 내용을 포함하고 있다. 그러나, ACI 318-99의 Appendix B-Unified Design Provisions for Reinforced and Prestressed Concrete ,Flexural and Compression Members 에 대한 규정은 ACI 318-02의 Ch. 8, 9, 10, 18에 본문으로 도입 개정되었다.

Appendix C - Alternative Load and Strength Reduction Factors : Appendix B 와 마찬가지로 ACI 318-99의 Ch.9에서 제외된 하중계수/강도감소계수 등에 관한 내용을 포함하고 있다. 특히, ACI 318-99에서 지진하중조합에 관한 하중계수들도 개정되어 본 Appendix에 포함되어 있다.

Appendix D - Anchoring to Concrete : ACI 318-02의 대폭 개정된 내용 중에 마지막 내용이 본 Appendix이다. Concrete Anchoring에 관련된 규정의 필요성은 1980년대 후반에 ACI 318위원회에서 인지도가 있다. 제안된 내용은 유럽 및 미국에서의 연구결과에 근거한 것이며, cast-in-place and post-installed anchors 모두에 적용되는 규정이다.

4. 결 언

ACI(American Concrete Institute)는 2001년 11월에

ACI 318-02 및 ACI 318R-02를 철근 콘크리트 구조물의 설계/시공 시에 사용되는 기준으로 채택하였다. 이 기준은 1971년 이후로 대폭적인 개정을 단행한 기준으로서 종전의 균형철근비 설계개념 대신에 콘크리트 강도에 더 민감하고 상대적으로 적은 연성도를 갖고 있는 압축지배 단면에 인장지배 단면보다 더 작은 강도감소계수를 적용하는 즉 강도감소계수를 인장연단에서의 변형률에 따른 함수값으로 적용하는 설계법을 제안하였다.

미국에서 발간되고 있는 ACI 318(Building Code Requirements for Structural Concrete)을 기본으로 하고 있는 국내의 "콘크리트구조설계기준(2003)"이 이러한 내용을 차후 개정 시에 반영하기 위해서는 사전에 충분한 연구검토가 필요하리라 생각합니다. 따라서 본 특집은 ACI 318-02의 주요 개정 내용을 우선 소개하여 차후 국내 관련 기준에 반영될 경우 발생할 수 있는 문제점을 조사하고자 하는 것으로서 이에 관련하여 실무진에서의 많은 의견을 학회에 제시해 주시기 바랍니다. □

참고문헌

1. Concrete International(2001), "Changing From ACI 318-99 To ACI 318-02," June.
2. Concrete International(2003), "ACI 318-02 in Practice," May.
3. Nowak, A.S. and Szerszen, M.M.(2003), "Calibration of Design Code for Buildings(ACI 318) : Part 1 - Statistical Models for Resistance," ACI Structural Journal, May-June.
4. Szerszen, M.M. and Nowak, A.S.(2003), "Calibration of Design Code for Buildings(ACI 318) : Part 2 - Reliability Analysis and Resistance Factors," ACI Structural Journal, May-June.