

# 강구조 건물 설계를 위한 AISC - LRFD 기준 1999년판 소개

최 일 선

대한전기협회 전력기준처 기준개발실 팀장

## 1. 머리말

전력산업기술기준(KEPIC) 중 강구조 건물에 대한 기술기준은 원자력 발전소 건물에 적용하는 기준과 일반 강구조물에 적용하는 기준으로 나눈다. 우선 원자력 발전소의 내진관련 강구조 건물에는 ANSI/AISC N690을 적용하고, 원자력 발전소 이외의 강구조 건물에는 「허용응력설계 기준(ASD)」과 「하중저항계수설계 기준」(이하 'LRFD 기준'이라 함)을 적용한다.

ANSI는 1999년에 LRFD 기준 제3판<sup>(1)</sup>을 발행하였고, 이로써 1993년판<sup>(2)</sup>은 폐지되었다. Apecification은 일반적으로 '시방서'라고 번역되어 왔으나 Design에서는 '기준'으로 Construction에서는 '시방서'로 구분하였다.

AISC의 첫번째 기준이 1923년에 전체 9쪽 분량으로 처음 소개된 이래 AISC 기준은 긴 변천을 해 왔다. 당초의 개발목적은 철강산업의 기준을 마련하기 위한 것이었으며, 이후 학술적 연구와 다양한 설계경험을 반영하여 진보를 계속해오고 있다.

현재 사용하고 있는 강구조 건물의 설계방식은 1986년

에 AISC에 의하여 도입된 LRFD 기준<sup>(3)</sup>에 따른 방식이다. 1999년판 LRFD 기준은 기존 설계방식의 개선뿐만 아니라 몇 가지 새로운 내용도 포함하고 있다. 전반적으로 포맷이 약간 변하였고, 개정된 내용의 일부는 1998년 1월 30일 AISC Supplement No. 1<sup>(4)</sup>에 그 내용이 발표된 바 있다.

본고는 AISC에서 LRFD 기준 제3판을 내면서 개정내용을 요약한 글은 옮긴 것으로써 1999년판 AISC 기준의 중요한 개정내용과 새로 추가된 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 개정된 내용과 추가된 내용

1999년판 LRFD 기준에 새로 추가된 내용 중 중요한 항목을 보면 '좌굴방지 브레이싱(stability bracing)'을 Section C3에 추가하였고, '기존 구조물의 평가' 즉 재료 특성, 구조해석 및 하중시험에 의한 평가를 Chapter N에 추가하였다. 좌굴방지 브레이싱의 요구조항을 사용하면 부재의 초기 직선성문제(out-of-straightness) 또는 구조물의 초기 연직성문제(out-of-plumbness)를 포

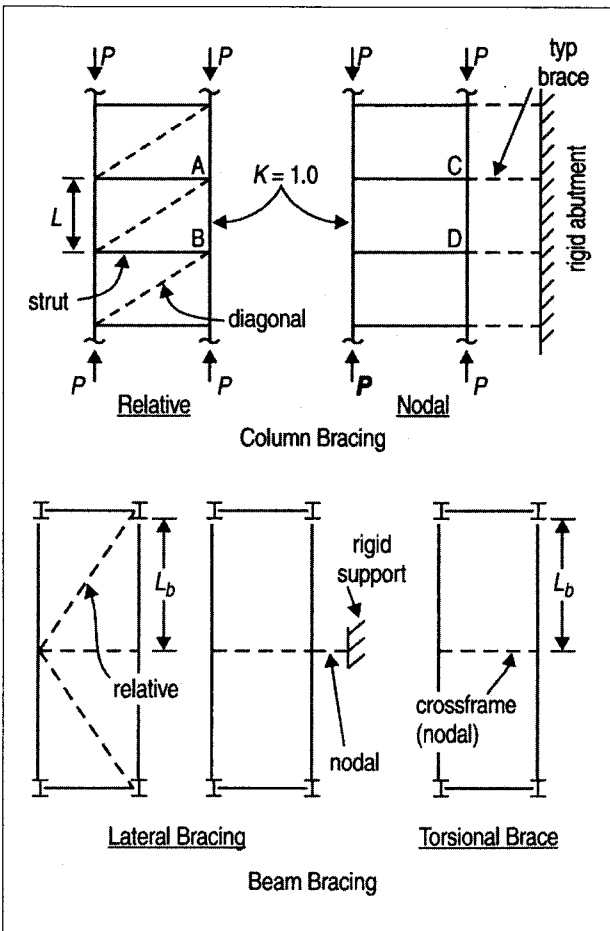
합한 2차적인 해석을 대신할 수 있다. 제시된 기준은 1950년대 말 코넬대학의 George Winter가 연구한 내용을 기초로 하고 있으며, 최근에는 텍사스대학의 Joseph Yura에 의해 연구된 바 있다. 이 절에서는 부재의 설계 강도를 확보하기 위하여 필요한 골조, 기둥 및 보에 대한 브레이스의 최소 강도와 강성도를 구하는 식을 제시하고 있다. 이 공식들은 비지지 길이에 대한 함수로 주어지는데 이 때  $K=1$ 로 가정한다. 강도와 강성에 대한 방정식 뿐만 아니라 브레이스의 간격과 부착장치에 대해서도 고려한다. 브레이스 형식에는 두 가지 일반적인 유형이 있

으며 그 하나는 상대 브레이싱이고 다른 하나는 절점 브레이싱이다. 상대 브레이싱은 브레이싱 되는 위치간에 상대적으로 작용하는 것으로 대각선 브레이싱 또는 전단벽 등이 있다. 절점 브레이싱은 브레이싱 되는 특정한 절점 만에서 위치변형을 억제하는 방식으로 두 개의 인접한 보 사이에 설치된 횡방향 브레이싱이 있다(그림 1 참조, 1999년판 해설<sup>(1)</sup> 그림 C-C 3.1).

기존 구조물의 평가와 보수에 대한 내용은 종전의 AISC 기준에서 다루지 않았던 새로운 부분이다. 이는 기반 구조물의 노후화 문제와 건물을 철거하는 대신에 수리하고자 하는 소유주의 욕구에 부응하는 것이다. 새로운 Chapter N은 기존 건물의 강도와 강성을 평가하는 절차를 소개하고 있다. 이 평가는 계약서나 등록기술자 (Engineer of Record)의 요구에 따라 구조해석과 중력 하중시험을 각기 따로 적용하거나 또는 두 가지 방법을 조합하여 기존 건물을 평가한다. 그러나 Chapter N은 정적인 하중을 받는 건물에만 적용한다. 재료특성시험 즉 인장 특성, 화학적 조성, 모재의 노치 인성 및 용가재에 대한 지침도 역시 포함하고 있다. 마지막 절에서는 평가 보고서의 양식을 간략히 제시하고 있다.

1999년판 LRFD 기준은 위의 두 가지 완전히 새로운 설계방식을 추가하였을 뿐만 아니라 현재의 설계방식을 보완하여 보다 더 정밀한 방식으로 설계할 수 있도록 부분적으로 내용을 개정하였다. 3절의 '핀접합부재와 아이바(eyebars)' 및 4절의 '조립부재'는 설계강도 규정과는 별도로 세부적인 요구사항을 제시하고 있다.

두 가지 새로운 구조용 강재 ASTM A913과 A992를 기준에서 사용할 수 있도록 승인하였다. A913은 'High-Strength Low-Alloy Steel Shapes of Structural Quality, Produced by Quenching and Self-Tempering Process(QST)' 이다. 이 재료는 Sharp V-Notch 값을 40 ft-lb / 70°F로 규정하고 있다. A992



(그림 1) Type of Bracing

는 'Steel for Structural Shapes for Use in Building Framing'으로 AISC 기술보고서 3에 설명되어 있는 형강 자재이다(특별한 요구사항을 가진 A572 Grade 50). A992 Grade 50은 최대항복강도 65ksi, 최대항복강도와 극한강도의 비 0.85로서 용접성에 있어서는 탄소강과 등가기준을 가지는 구조용 강재이다.

Chapter I '합성부재'는 콘크리트로 감싼 강재 기둥(합성기둥)이나 강재 보(합성보)에서 전단연결재를 적용하는데 필요한 새로운 기준을 포함하고 있다. AISC Steel Design Guide Series 6, 'Load and Resistance Factor Design of W-Shapes Encased in Concrete'에 따르면 전단연결재는 강재 기둥과 그 기둥을 둘러싸고 있는 콘크리트 사이에 하중을 전달하는 역할을 한다. 이에 따라 1999년판 LRFD 기준은 외력이 직접 강재에 작용하거나 콘크리트에 작용하는 경우 전단연결재에 의해 전달되는데 필요한 힘의 크기를 구하는 수식들을 제시하고 있다. 이와 관련된 중요한 개정내용은 지지력에 대한 저항계수  $\phi_B$ 가 0.6에서 0.65로 증가한 것이다. 이것은 ACI 318 및 ACI 318M 최신판 부록 C의 내용과 일치하는 것이다. 전단연결재가 공급되는 곳에서의 합성보의 설계강도는 합성단면의 소성응력 분포에 근거한 설계휨강도 계산 부분에 새로운 항목으로 추가되었다.

Chapter I에서 추가로 개정된 내용은 일반적인 합성기둥 설계와 합성 슬래브에 대한 것인데, 합성 슬래브는 단일 전단연결재가 강재보에 수직인 바닥판 리브(rib) 안에 설치될 때에 해당한다. 이 경우 전단연결재 강도에 대한 감소계수의 상한치를 1.0 대신 0.75로 개정하였다. 이는 최근의 연구결과와 현재 진행되고 있는 연구내용을 반영한 것인데, 단일 연결재가 리브 안에 들어 있을 때에는 이전의 방식이 비현실적이라는 것을 의미한다. 왜냐하면 합성보의 강도는 전단력 전달에 대하여 비선형 상태이고, 휨부재 강도는 합성작용의 범위가 많아질수록 영향

을 덜 받게 된다. 합성기둥의 설계강도를 계산하는데 있어서 강재의 최소항복응력은 이전의 55ksi에서 60ksi로 설정되었다.

1999년판 LRFD 기준의 Section J '용접'에 새로 추가된 내용 중 중요한 항목은 필렛용접에 대한 새로운 길이감소계수(a new length reduction factor), 필렛용접 마감작업에 대한 상세기준의 보완 및 용가재에 대한 요구사항 등이다. 새로운 길이 감소계수는 단부 재하(end-loaded)된 필렛용접에 적용한다. '단부 재하(end-loaded)'라는 새로운 용어는 하중방향과 평행한 횡방향 필렛용접에 적용하며, 또한 축방향으로 하중을 받는 부재의 단부에 하중이 전달되도록 설계된 구조물에 적용한다. 즉 축방향 하중을 받는 부재의 단부에 횡방향으로 용접된 접이음 또는 브레이싱 보강재를 덧붙이는 용접에 적용한다.

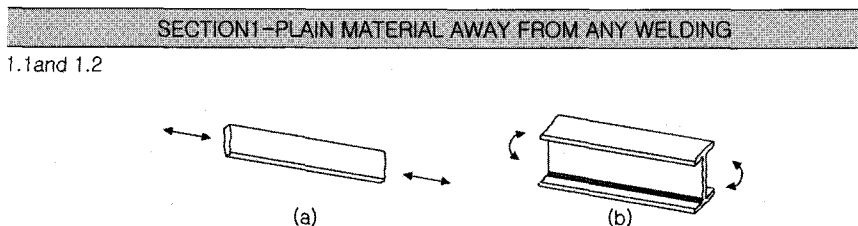
길이감소계수  $\beta$ 는 용접길이가 용접크기의 100배 이상일 때 적용된다.  $\beta$  방정식은 Eurocode 3과 일치하는데, 이는 다년간에 걸친 유한요소분석 연구에 기반을 두고 있다. 그 외에 Section J2의 개정내용은 필렛용접의 마감처리에 관한 내용이다. 용접에 대한 상세한 사항들 즉 접이음, 반복하중을 받는 연결재와 요소재, 돌출 레그(legs)의 유연성이 요구되는 연결재, 플레이트 거더에 필렛용접으로 연결되는 횡방향 보강재, 동일 평면상 반대면의 필렛용접 등에 대한 상세한 내용들이 분명하게 기술되어 있다. 추가해설 역시 보다 상세한 내용을 가지적으로 설명하고 있다. 최종적으로 T접합과 모서리접합, 유효면적에 수직방향으로 인장을 받는 후형강의 덧댐 이음에 대한 확실한 완전용입흡용접을 위한 용가재 요건을 명시하고 있다. 새로 추가된 J2.6항은 특수한 경우에 대한 내용으로써 용가재의 Charpy V-notch 인성을 40°F에서 20ft-lbs로 규정하고 있다. 대안으로는 부분용입흡용접을 위한 더 낮은 설계강도 조건을 따라야 한다.

새로 추가된 항 J3 '볼트와 나사부'에는 볼트와 관련된 개정내용이 언급되어 있는데, 그 내용은 ASTM A325 또는 ASTM A490 볼트를 사용하는 것으로 RCSC시방서<sup>(5)</sup>와 일치한다. 개정 부분은 다음과 같다. 스너그 조임 (snug-tight) 볼트, 지압형 접합의 인장과 전단 조합, 마찰접합부의 설계, 그리고 지압강도에 대하여 개정을 하였다. 그 결과 이전에는 정적재하 전단접합에만 국한되었던 스너그 조임이 이제는 인장 또는 전단과 인장이 조합된 정하중을 받는 곳에도 ASTM A325볼트를 사용하는 것이 허용되었다. 이것은 ASTM A325볼트의 극한강도가 프리텐션의 수준에 좌우되지 않는다는 최근의 연구결과를 반영한 것이다. 인장과 전단이 복합적으로 재하되는 지압형 접합의 설계에 적용하는 방정식에서 그 계수는 약간씩 수정되어 왔다. 여기서 AISC 기준은 본문에서 직선근사법을 다루고 부록에서 타원형 해석법을 다룸으로써 양쪽 모두 다루는데 반하여 RCSC 기준은 타원형 해

석법만을 다룬다는 것에 주목해야 한다. 따라서 설계자는 어느 것을 사용할 것인지를 선택할 수 있다. 계수하중으로서 마찰접합부의 마찰저항에 대한 설계강도 조항은 기존의 본문내용에 알맞도록 사용하중 조항과 그 위치를 편리하게 변경하여 왔고 현재는 사용하중 조항이 부록에 기술되어 있다. 마찰접합부에서 표면을 접합시키는 class C(아연도금된 재료)에 대한 평균마찰계수  $\mu$  또한 0.35로 감소되었다. 마찰접합부에서는 인장과 전단이 복합되어있기 때문에 마찰저항의 인장요소에 영향을 미치는 계수는 RCSC 기준과 일치하도록 조금씩 수정되어 왔다. 지압형 접합부와 마찰 접합부 모두에 영향을 미치는 것은 지압강도이다. 이 항목도 최근의 연구내용을 근거로 개정하였으며, 또한 지지력 계산을 기초로 하여 중심에서 모서리까지의 거리 또는 중심간 이격거리 대신에 모서리까지의 순간격이나 조임쇠 사이의 간격으로 수정하였다. 설계강도는 모서리간 간격이 아주 작은 경우를 제외하고는

TABLE A-K3.1 Fatigue design parameters				
Description	Stress Category	Constant $C_f$	Threshold $F_{TH}$ ksi (MPa)	Potential Crack Initiation point
SECTION 1 - PLAN MATERIAL AWAY FROM ANY WELDING				
1.1. Base metal, except non-coated weathering steel, with rolled or cleaned surface. Flame-cut edges with surface roughness volue of 1,000 $\mu$ in (25 $\mu$ m) or less, but without re-entrant corners.	A	$250 \times 10^6$	24 (165)	Away from all welds or structural connections

TABLE A-K3.1(Cont'd)  
Fatigue Design Parameters



<그림 2> Excerpts from Table A-K3.1

이 수정에 의한 영향을 거의 받지 않는다.

1999년판 LRFD 기준의 부록 K3에는 구판의 '피로' 대신에 '반복하중에 대한 설계'가 실려있다. 과거의 피로 설계방식은 반복하중의 주기, 응력범주, 설계응력범위, 그리고 실제 사례 등을 고려한 여러 가지 표들에 의존하였다. 1999년판의 설계방식은 하나의 표를 사용하는 새로운 포맷으로 개정되었다. 이 하나의 표는 조건설명, 응력범주, 적용수식의 변수들, 균열이 시작될 수 있는 위치와 각 조건에 적합한 사례 등을 포함하고 있다(1999년판<sup>(1)</sup> TableA-K3.1에서 발췌한 그림 2 참조).

새로 추가된 상세한 내용 중의 하나는 장축흡용접(transverse groove)이나 필렛용접에 의해 단부에 접합된 인장하중을 받는 판요소에 대한 내용이다. 또한 행거봉이나 앵커봉과 같이 인장력을 받는 프리텐션 되지 않은 볼트의 피로저항에 대한 새로운 기준도 포함하고 있다. AWS code에 유사한 포맷과 동일한 기준이 개발 중에 있다.

이번에 발행된 AISC LRFD 기준 전체에서 한 가지 눈에 띄게 변경된 사항은 복수단위형식 즉 미국상용단위계와 국제표준단위계(SI)를 함께 사용할 수 있도록 바뀐

점이다. AISC는 1994년에 1993년판 LRFD 기준의 미터계 전환을 소개한 적이 있다. 1999년판 LRFD 기준은 미국상용단위 값에 이어 괄호 안에 미터계 표기를 함으로써 두 단위의 값을 모두 보여준다. 미터계 전환은 ASTM E380 'Standard Practice for Use of the International System of Units(SI)'에 근거한 것이다. 수식 또한 두 가지 양식으로 나타내었다. 가능한 경우는 E 또는 G와 같이 재료상수로 계수화 함으로써 무차원화하였고, 그렇지 않은 경우는 미터계를 별도로 표기하였다. 이러한 변화는 정부기관에 의해 폭 넓게 추진되어온 미터계 측정치를 이용하려는 미국내의 지속적인 움직임과, 전적으로 국제표준단위계(SI)에 의존하는 국제사회와의 관계가 늘어나면서 나타난 결과이다.

이상은 AISC 1999년판 LRFD 기준에서 볼 수 있는 몇 가지 중요한 변화 내용이다. 설계요구사항과 주석에 대하여 보다 정확하고 완전한 내용을 파악하기 위해서는 인쇄본을 참조하는 것이 좋다. 강재 구조물에 대한 하중 저항계수 설계지침서 3판(3rd Edition Load and Resistance Factor Design Manual of Steel Construction)은 2001년 11월에 출판되었다. ■

**[참고문헌]**

- (1) Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, 1999.
- (2) Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, 1993.
- (3) Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, 1986.
- (4) Supplement No. 1 to the Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, IL, 1998.
- (5) Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts, Research Council on Structural Connections, AISC, Chicago, IL, 2000.

**[원문]**

"What's New In the AISC 1999 LRFD Specification for Structural Steel Buildings" :  
Cynthia J. Lanz / Director of Specifications at AISC in Chicago.