

구조기준에 관한 고찰

홍 영 군*

1. 서언

구조 전문가에게 있어 구조 기준은 매우 중요한 의미를 갖고 있다. 일선 구조설계실무자에게는 구조물의 용도와 지역적 위치를 고려해서 설계하중을 결정하고 구조해석을 통해 부재설계를 수행함에 있어 해당 구조 기준의 정통한 이해와 숙달이 필수적이라 아니 할 수 없다. 또한, 대학이나 연구소에서 연구활동을 하는 구조전문가에게는 자신의 연구결과가 구조 기준에 반영되는 것이야말로 최상의 연구실적이라 할 수 있을 것이다. 반면에, 행정기관에 종사하는 구조전문가에게는 구조물의 안전성과 경제성에 대한 이율 배반적인 요소들을 여하이 구조 기준에 반영하는가 하는 점에 대한 깊은 관심을 배제 할 수 없으리라 생각한다.

일반적으로 구조 기준은 설계하중, 구조해석, 구조재료의 특성 및 부재설계의 4분야를 포함하고 있으며 이들의 상호 관계는 그림 1에 표현되어 있다. 이와 같이 한 기준안에 모든 분야를 포함한 경우에는 일정한 용도의 대상구조물에 대해 구조재료의 차이에 관계없이 일정한 구조물의 안전도를 유지할 수 있는 반면 각 분야에 대한 전문성의 결여로 백과 사전식 나열로 그칠 우려가 있다. 미국의 경우 건물구조물에 대해서는 UBC(1)가 있으며 교량구조를 위한 AASHTO Specifications (2) 등이 있다.

그러나 대부분의 경우 어느 한 분야에 국한하여 제정된 구조 기준도 널리 통용되고 있다. 설계하중만을 취급한 ANSI A58.1(3)은 ACI 318(4), AISC Manual(5.6), PCI Manval(7)과 함께 구조설계에 널리 쓰이고 있다. 이와같이 구조재료의 특성에 따라 해당 협회에서 부재설계 기준을 제정한 경우에는 재료성질에 대한 정확한 이해와 더불어 구조적 특성에 대한 연구가 진행되어 계속적인 기준의 보완 개정이 가능하다. 또한, 같은 재료의 구조물에 대한 용도에 관계없이 부재단면설계를 수행할 수 있는 장점이 있다. 이 글에서는 구조기준을 구성하는 설계하중, 구조해석 및 부재설계에 대해 각 분야별 특성과 지금까지 외국의 연구결과를 고찰하고 앞으로 우리 나라 구조기준의 보완 및 개정작업에 있어 고려해야 할 점을 요약하고자 한다.

2. 설계하중

일반적인 구조물 하중분류는 고정하중, 적재하중 등의 수직하중과 풍하중, 지진하중 토압 및 수압에 의한 수평하중과 온도 변화, 부동침하, 구조물 용도에 따른 특수하중등 여러가지 하중형태로 분류할 수 있으나 이 글에서는 이러한 분류를 떠나서 하중 변화의 원인과 설계하중 및 하중계수에 관한 사항을 중심으로 기술하고자 한다.

탄성이론에 의한 구조해석 및 부재설계만이 통용되던 시대에는 하중에 대한 연구가 부진하였다.

* KOPEC 한국전력주식회사

그러나 부재단면의 최대강도를 극한강설계, 한계설계 및 소성설계법을 사용하여 정확하게 예측하게 됨에 따라 상대적으로 더욱 불확실한 하중변화의 지금까지 무시했던 하중계수에 관한 연구가 활발하게 추진중에 있다. 특히 하중의 확률론적 분포상태에 대한 연구가 활발하게 진행중에 있는데 이는 설계하중을 결정하기 위해 구조물의 사용수명 기간 중의 가능한 최대하중을 예측하여야 하며, 또한 발생빈도를 파악해야 하기 때문이다. 하중에 관한 이러한 기초 자료는 하중계수를 결정하는 일에 직접적으로 관계되며 나아가 구조물의 안전도 판단에 필수불가결한 요소가 된다. 이는 재료의 안전물이 곧 구조물의 안전도로 직결되던 허용 응력 설계법과는 달리 진일보된 구조설계에서는 하중변화도에 따른 하중계수에 의해 구조물의 안전도가 주로 결정되기 때문이다.

고정하중의 경우에는 구조물의 사용수명기간에 의한 하중변화가 거의 없다고 생각되나 교량구조와 같이 구조물의 용도에 따라서는 보수잡업등에 의한 추가 하중을 고려해야 한다. 그리고 현장 콘크리트 타설과 프리캐스트 또는 철골구조와 같이 공장생산되는 구조체에 대해 각기 다른 허용오차가 적용됨에 따라 하중변화의 크기와 분포상황이 달라짐으로 구조체의 제조방법에 따라 별도의 하중계수를 사용하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 같은 구조재료에 대해서도 구조물 용도에 따라 부재크기가 현저하게 변함으로 다른 하중계수를 사용해야 하는 경우가 발생한다. 적재하중의 경우에는 실제 하중의 분포 및 최대하중에 대한 정확한 예상이 필요하며 특히, 몇 십년의 구조물 사용기간중에 사회변화 및 생활환경 변화등에 의한 하중변화를 고려해야 한다. 그러므로 대상구조물의 수명을 결정해야 하며 특히, 풍하중 및 지진하중의 경우는 구조물의 사용수명기간이 설계하중을 결정하는 과정에서 중요한 요소중의 하나가 된다.

최근 미국과 캐나다 교량구조규준의 개정작업에서 적재하중에 관한 연구결과를 바탕으로 설계하중 및 하중계수 개정에 합의하여 규준개정의 방향을 설정한 사례는 하중에 관한 정확한 연구가 구조설계규준에 얼마나 중요한가를 보여주는 일이라 생각한다. 국내에서 하중에 관한 일련의 연구보고서들

의 발간은 앞으로 국내 구조규준 개정작업에 큰 도움이 될 것으로 예상하며 지속적인 연구활동을 기대한다.

3. 구조 해석

일반적인 구조물의 해석 방법은 구조규준에 포함되지는 않으나 일선 구조 실무자들의 편리함을 위해 일정한 제한을 만족시키는 구조를 해석을 위해 구조규준에 간단한 방법을 제시하고 있다. ACI 318의 경우에는 연속보의 간단한 해석 및 스라브판 해석을 위한 등가골조방법(Equivalent Frame Method)이 포함되어 있으며 AISC의 경우 소성해석에 대한 별도 규준을 사용하고 있다. 또한, 거의 모든 내진설계규준 자체는 구조해석의 간편함을 목적으로 동력학적 해석방법 대신 등가정력학적 해석방법에 관한 자세한 내용을 포함하고 있다. 교량구조 규준에서 Girder Bridge의 경우 한개의 Girder가 분담해야 할 최대설계하중의 결정을 위해 보분배 계수(Girder Distribution Enctor)을 사용하고 있다.

지진과 비상사태에 대비한 특수하중의 경우 탄생 범위를 초과한 비선형 또는 소성상태에서의 구조물 해석이 필요함에 따라 일부 구조규준은 비선형해석의 원활한 수행을 위해 부재설계에 대한 여러가지 추가사항을 반영하고 있으며, 내력벽 형식의 고층 아파트 건설이 많이 요구되는 우리나라의 경우에는 개구부 크기제한과 내력벽의 3차원 구조해석에 대한 별도 지침이 일선 실무자에게 유용하리라 생각한다.

4. 부재설계

부재설계에 대한 규준은 콘크리트와 철골재료의 구조적 특성에 관한 연구가 진행됨에 따라 초기의 허용응력설계법에서 복잡하지만 보다 정확한 설계방법으로 면화되어 왔다. 철골구조에서는 소성설계법에서 다시 LRPB 방법으로, 콘크리트구조에서는 극한강도설계법과 한계설계법이 사용되고 있다. 각각의 설계방법에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

허용응력설계법(Allowable Stress Design or

Working Stress Method): 응력-변형률곡선의 초기상대인 탄성범위 구간만을 고려하여 설계하중에 의한 부재단면응력이 어느 한도를 초과하지 못하도록 규정한 설계방법으로 초창기 구조분야에서는 콘크리트와 철골등의 모든 구조재료에 적용되었으며 아직도 많은 철골구조규준은 이를 사용하고 있다. 구조안전도는 그동안의 경험에 의한 허용응력의 한계와 비선형 변형에 의한 여유치에 의해 결정된다.

소성설계법(Plastic Design): 철골구조에 사용되고 있으며(5.8) 소성해석(Plastic Theory)을 이용하여 파괴기구(Failure Mechanism)를 검증하여 가장 경제적인 부재단면을 산정할 수 있다. 그러나 극히 간단한 구조형태 이외에는 파괴기구검증이 현실적으로 불가능함으로 실제 구조물에 적용하기에는 부적절하다. 또한, 구조물의 안전률에 관한 연구가 병행되지 않았으며, 이로 인해 하중계수 결정이 기존 허용응력 설계법에 의한 안전률에 근거하여 수직하중에 대하여 1.7과 수직과 황하중의 동시 발생 경우에 1.3을 채택하였다. 그러므로 구조물의 안전성을 허용응력 설계법과 동일시하고 소성해석에 의한 하중재분배에 의해 구조물의 경제성을 확보하였다.

LRFD 방법(Load & Resistance Factor Design): 소성설계법에 의한 철골구조의 한계극복을 위하여 1980년 이후에 AISC(6)에서 개발하였으며 신뢰성 연구를 통하여 기존 구조물의 안전도를 바탕으로 부재단면의 감소계수를 조정하였다. 즉, 철골구조 건물의 기존 안전계수를 하중중합상태에 따라 결정한 후, ANSI A.58에서 제안한 하중계수를 사용하여 인장, 압축등의 Mechanism에 대해 각각의 감소계수를 결정하였다. 규준제정과정에서 사용한 각각의 계수에 대해서는 AISC LRFD Manual (6)의 해설을 참조하기 바란다.

극한강도설계법(Ultimate Strength Design): 콘크리트의 비선형변형에 근거하여 부재단면이 지탱할 수 있는 국한강도를 계산하는 설계방법으로 미국의 거의 모든 콘크리트 설계기준(ACI 318, PCI Manual) 에서 채택하였다. 구조안전도를 위하여 하중계수와 Mechanism에 따른 감소계수를 사용하였으나 안전률의 기준을 기존의 허용응력설계법에

근거하여 자세한 연구없이 하중계수를 결정하였으므로 전반적인 신뢰성 연구에 의한 계수조정 필요성이 대두되고 있다.

한계설계법(Limit State Design): 연구에서 사용하는 철골콘크리트 설계규준으로 극한강도설계법의 Mechanism에 대한 감소계수 대신 재료의 불확실성을 고려하여 재료안전률을 채택한 부분이 특이하다. 그러나 콘크리트 강도에 관한 감소계수가 영연방 전체의 지역간 건설기술 수준을 고려하여 33%로 과다 하게 결정하였기 때문에 다음의 기동설계비교와 같이 극한 강도 설계법에 비해 비경제적인 부재설계가 되고 있다.

기동설계의 비교 극한강도설계법과 한계설계법에 의한 부재설계의 차이점을 살펴 보기 위하여 ACI 318과 CP 110(9)의 기동설계절차에 의해 임의의 하중상태에 대한 필요철근단면적의 계산을 수행

표 1. ACI318과 CP110에 의한 철근량 비교

Axial forces (kips)			Moment (kip-ft)			Required Area of re-bars (in ²)		Remark
P_d	P_l	P_w	M_d	M_l	M_w	ACI 318-83	CP 110	
1000	0	0	50	0	0	18.98	23.36	23%
2000	0	0	100	0	0	53.20	60.55	14%
0	1000	0	0	50	0	26.48	28.67	8%
0	2000	0	0	100	0	67.73	71.02	5%
0	0	1000	0	0	50	16.64	23.36	40%
0	0	2000	0	0	100	48.36	60.55	25%
500	500	500	25	25	25	28.67	33.98	18%
1000	1000	1000	50	50	50	72.27	81.41	13%
1000	200	0	50	20	0	27.42	31.95	17%
1500	300	0	75	30	0	48.67	54.77	13%

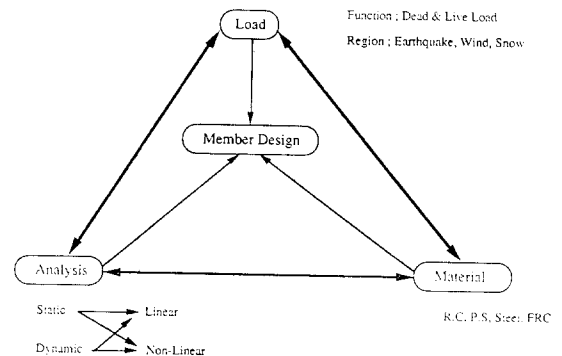


그림 1. 구조기준의 각분야 및 관계도

하였다. 기둥단면은 20in×20in(500mm×500mm)로 가정하였으며 철근과 콘크리트의 강도는 각각 60,000psi(4200kg/cm²)와 3,000psi(210kg/cm²)를 사용하였다. 또한 콘크리트 실린더 강도와 입방체 강도를 조정하기 위해 UNESCO에서 국제적인 구조기준 통합작업을 위해 제시한 수정계수 0.8을 이용하였다.(10). 같은 하중조건상태에서(Unfactored Load) 극한강도설계법이 한계설계법에 비하여 15% 이상 철근량이 절약됨을 표 1의 결과에서 알 수 있다.

5. 결론

위와 같은 철근량 비교에 의해 어느 기준이 더 경제적인가는 판단할 수 있으나 구조안전도에 대해서는 판단할 수 없다. 구조물의 전반적인 안전도 및 신뢰도를 검증하기 위해서는 아래사항에 관한 연구활동이 필요하며 그 결과가 구조 기준의 제정 및 개정작업에 포함되어야 할 것이다.

- (1) 대상 구조물의 허용과괴확률 결정(목표 신뢰도 결정)
- (2) 설계하중에 대한 확률론적 연구
- (3) 부재의 극한강도에 관한 실험치 및 이론식의 관계
- (4) 신뢰성 연구에 의한 하중계수 및 감소계수 결정
- (5) 기존 구조물의 안전도 평가

참 고 문 헌

1. UBC : Uniform Building Code by International Conference of Building Officials.
2. ASSHTO Specifications : Highway Bridge Specifications by American Association of State Highway Transportation and Officials.
3. ANSI A58.1 : American National Standard Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures by American National Standards Institute.
4. ACI 318 : Building Code Requirements for Reinforced Concrete by American Concrete Institute.
5. AISC Manual : Manual of Steel Construction by American Institute of Steel Construction.
6. AISC LRFD Manual : Manual of Steel Construction : Load and Resistance Factor Designs by American Institute of Steel Construction.
7. PCI Manual : PCI Design Handbook by Prestressed Concrete Institute.
8. ASCE No.41 : Plastic Design in Steel by American Society of Civil Engineers.
9. CP 110 : The Structural Use of Concrete by Code of Practice, British Standards Institute.
10. Reinforced Concrete : An International Manual UNESCO, 1972.