

해석과 설계원칙

Analysis and Design-General Considerations

신현목 Hyun-Mock Shin
성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수

이영욱 Young-Wook Lee
군산대학교 건축공학과 교수

1. 머리말

콘크리트구조기준 제 3장에서는 제목과 하중조합에 주요한 변경이 있었으며, 유효강성 부문이 추가되었다. 또한 「콘크리트구조설계기준(2007)」 부록 I의 대체설계법이 더 이상 실무에서 사용되지 않으므로 삭제하였다. 기준 전체적으로 수정 적용된 ‘철근의 최대 설계기준항복강도’와 ‘경량콘크리트계수’의 내용을 반영하였다.

제 3장의 제목이 ‘설계하중 및 하중조합’에서 ‘해석과 설계 원칙’으로 개정된 이유는 설계하중 및 하중조합 외에도 해석과 설계의 일반적인 내용을 다루고 있기 때문이다. 각 절 내용을 보면, 3.2절과 3.3절에서 하중조합과 강도저감계수에 대하여 다루고 있고, 3.4절은 구조해석의 일반내용을 다루고 있다.

2. 주요 개정 내용

3.3절의 하중조합의 개정 내용을 기존내용과 비교하면 <표 1>과 같다.

2007년도 기준에서는 토피의 두께에 따른 연직방향 하중 H_v 에 대한 계수 α_H 를 채택하였었다. 이 값은 토피의 두께가 얇은 아파트 지하 주차장 등과 같은 토피의 두께에 따른 분산정도가 크고, 지하철 구조물과 같이 토피의 두께가 큰 구조물에 대해서는 분산정도가 작은 것을 고려하기 위한 보정계수로서 $h \leq 2m$ 에 대해서는 $\alpha_H = 1.0$, $h > 2m$ 에 대해서는 $\alpha_H = 1.05 - 0.025h$ 이며, 0.875보다 작지 않은 값이다.

2009년도 기준에서는 수평토압 H_v 에 대한 하중의 불합리성을 보완했다. 개정된 식 (3.3.1)에서 H_v 의 영향을 무시하였는데, 이는 지중구조물에서 H_v 가 작용하는 경우 반드시 H_h 가 작용하므로 H_h 의 영향을 무시할 수 없으며, H_h 의 영향을 고려할 경우 식 (3.3.2)가 지배적인 하중조합이 되므로 지중구조물에 대해서는 식 (3.3.2)를 적용하도록 하고 식 (3.3.1)은 H_v 가 작용하지 않는 일반 구조물에 대해서 적용하도록 하기 위한 것이다.

중전 기준에서 지진의 영향을 지중구조물에 적용할 때 H_h 및 H_v 의 재하방법을 명시하지 않아 설계자들의 혼란을 초래한 바 있기 때문에 이 기준에서는 식 (3.3.5) 및 식 (3.3.8)에 H_h 및 H_v 의 재하방법을 명시하

표 1. 하중조합의 개정 내용

2007년도 기준		개정안	
$U = 1.4(D + F + H_v)$	(3.3.1)	$U = 1.4(D + F)$	(3.3.1)
$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	(3.3.5)	$U = 1.2(D + H_v) + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	(3.3.5)
$U = 0.9D + 1.3W + 1.6(\alpha_H H_v + H_h)$	(3.3.7)	$+ (1.0H_h \text{ 또는 } 0.5H_h)$	
$U = 0.9D + 1.0E + 1.6(\alpha_H H_v + H_h)$	(3.3.8)	$U = 0.9(D + H_v) + 1.3W + (1.6H_h \text{ 또는 } 0.8H_h)$	(3.3.7)
		$U = 0.9(D + H_v) + 1.0E + (1.0H_h \text{ 또는 } 0.5H_h)$	(3.3.8)

였다. 여기서 H_b 의 하중계수가 1.0 또는 0.5로 되어있는 것은 두 경우를 모두 고려함으로써 안전측의 설계가 되도록 하기 위한 것이다. 식 (3.3.7)에서 H_b 및 H_v 의 불확실성을 고려하여 하중계수의 값을 수정하였으며, H_b 의 하중계수가 1.6 또는 0.8로 되어있는 것은 두 경우를 모두 고려함으로써 안전측의 설계가 되도록 하기 위한 것이다.

3.4.6절에 유효강성을 추가한 이유는 구조시스템의 횡변위 산정을 합리적으로 하기 위함이다(표 2). 횡력이 작용할 때 부재에 균열 또는 항복이 발생하면서 강성이 감소되므로 탄성해석에서 이를 반영하기 위하여서는 유효강성을 사용하여야 한다. 그동안 기준에서 유효강성에 대한 분명한 근거가 없었으나 이번 개정에서는 이에 대한 근거를 명시하였다. 변경된 내용은 다음과 같다.

구조 해석을 수행할 때 구조물의 목적인 성능에 따라 적절한 유효강성을 산정하여야 한다. 풍하중의 경우 사용하중 조건에 대하여 부재가 탄성의 영역에 있도록 하는 것이 바람직하다. 재현주기가 작은 규모의 지진하중에 대하여 구조물을 해석할 때, 허용 성능목표는 부재에 심각한 손상이 없이 일부에 항복이 발생하는 상태라고 할 수 있다. 콘크리트 구조시스템에서 수평하중에 대한 안전성 해석을 수행할 경우 수평하중으로 계수하중을 사용하였다면, 사용하중에 대한 변위값을 산정하기 위하여 3.4.6 (1)과 같이 부재 강도에 부재 전단면의 값에 1.4배를 곱한 값을 사용할 수 있다. 좀 더 정확한 계산을 위하여 예상되는 부재 성능에 따라 정확한 강성을 사용할 수 있다.

수평 계수하중이 작용하는 구조물의 수평변형은 본질적으로 선형해석에 의한 값과 다르다. 그에 대한 이유는 부재의 비탄성 거동과 유효강성의 감소 때문이다. 콘크리트 골조에서 부재의 적절한 유효강성의 선택은 실제에 가까운 층 변위의 산정을 가능하게 하고, 중력하중이 작용하는 시스템에서 수평 변형에 따른 추가적인 하중의 증가를 고려할 수 있다.

표 2. 유효강성

3.4.6 유효강성

- (1) 사용하중에 대한 철근 콘크리트 구조 시스템의 횡변위 산정 시 강성은 (2), (3)항에 의해 정의 된 횡강성에 1.4배한 값을 사용하여 선형해석하거나 부재의 강성저하를 고려하여 해석한다. 부재의 단면특성은 전단면의 특성보다 커서는 안 된다.
- (2) 설계하중에 의한 횡변위 산정시 ①, ②에 의한 강성을 사용하여 선형해석하거나, 부재의 강성저하를 고려하여 해석한다.
 - ① 6.5.2 (1) ①, ②, ③항에서 정의된 단면의 성질에 대한 강성
 - ② 전단면에 대한 강성의 50%
- (3) 보를 갖지 않는 2방향 슬래브를 지진력 저항 시스템의 요소로 설계할 때, 설계하중에 의한 횡변위를 선형 해석에 따라 산정할 수 있다. 이 경우, 바닥판의 강성은 실험과 해석 결과와 부합하는 검증된 모델을 따르고, 골조의 강성은 (2)항에 따라 산정한다.

선형해석으로 비탄성 변형을 효과적으로 산정할 수 있는 방법 중의 하나가 할선(secant) 강성을 이용하는 것이다. 3.4.6 (2)에 제시된 방법은 콘크리트 구조 시스템에서 항복 또는 항복을 초과한 경우에 사용되는 유효강성을 제시한 것으로 이를 사용하면 합리적인 변형 값을 추정할 수 있다. ①의 유효강성은 콘크리트구조 시스템에 중력하중과 풍하중이 작용할 때 안정성(stability) 해석에 사용하는 최저 한계값(lower bound)이다. ①의 값은 세장비의 효과를 고려하기 위한 모델로서 사용되는 계수 풍하중 또는 지진하중에 의한 횡변위를 산정하기 위하여 사용한 한 것이다. 일반적으로 콘크리트 유효 단면의 성질을 위하여 3.4.3의 E_c 의 값을 사용할 수 있다. 전단 탄성계수는 $0.4E_c$ 를 사용할 수 있다. □

참고문헌

1. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10, 2010.
2. Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings(FEMA 356), 2000, 11.
3. 대한건축학회, 「건축구조기준 및 해설」, 2009.
4. 서진원, 정영수, 이재훈, '철근 콘크리트 교각의 심부구속방법 개선 연구', 한국도로공사 도로교통기술원, 중앙대학교, 2002, 1pp.
5. 한국지반공학회, 「옹벽표준도작성연구용역」, 건설교통부, 1998.
6. 건설교통부, 「도로교설계기준」, 2005.
7. 한국콘크리트학회, 「콘크리트 표준시방서 해설」, 2009.
8. AASHTO standard, 2002.
9. AASHTO LRFD, 2007.

저자약력



신현목 교수는 동경대학교 토목공학과에서 반복하중을 받는 철근콘크리트부재의 비선형유한요소해석으로 박사학위를 취득한 후 1989년부터 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수로 재직하고 있다. 주 관심 연구 분야는 콘크리트구조물의 비선형유한요소해석, 교량의 내진설계 등 이다.

hmshin@skku.edu



이영욱 교수는 서울대학교 건축학과에서 내력벽의 비선형 동적 해석 연구로 박사학위를 취득하였으며, 쌍용건설을 거쳐 현재 군산대학교 건축공학과에 재직 중이다. 뉴질랜드 캔터베리대학을 연구교수로 방문하였으며, 주요 연구분야는 철근콘크리트구조물의 비선형 해석과 플로팅 콘크리트 합체-구조물의 상호거동에 대한 해석이다.

leeyu@kunsan.ac.kr