

경량콘크리트계수

Modification Factor for Lightweight Concrete

홍성걸 Sung-Gul Hong
서울대학교 건축학과 교수

1. 머리말

우리학회 개정 콘크리트구조기준에서 경량콘크리트에 관련된 설계의 방향 및 그에 따른 부재설계의 변화는 주요 공식의 일관성을 유지하는데 있다. 즉 기존의 경량콘크리트에 대한 재료적인 특성은 그대로 유지하였다. 경량콘크리트 사용에 따른 현저한 자중의 저감효과는 인프라 및 시설물 전체의 경제성을 증가시킨다. 여기에서는 구조설계측면에 초점을 맞추어 개정기준의 전반적인 내용과 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. 현행기준의 현황

인장강도가 균열에 가장 큰 영향을 미친다. 일반 콘크리트와 경량콘크리트는 균열경로에서 차이가 있다. 균열은 일반 콘크리트의 경우 골재의 주변에 따라 발생하는 반면 경량콘크리트는 골재를 관통하여 발생한다. 경량콘크리트를 배합할 때 수분이 많기 때문에 수화과정에 급격한 습도 변화로 일반 콘크리트에 비하여 인장강도 저하현상이 크다.

경량콘크리트의 압축강도가 일반 콘크리트의 압축강도와 같은 수준이라도 독일과 노르웨이에서는 건조상태의 경량콘크리트의 질량을 주요변수로 하여 인장강도에 감소계수를 사용하여 저감하도록 한다.

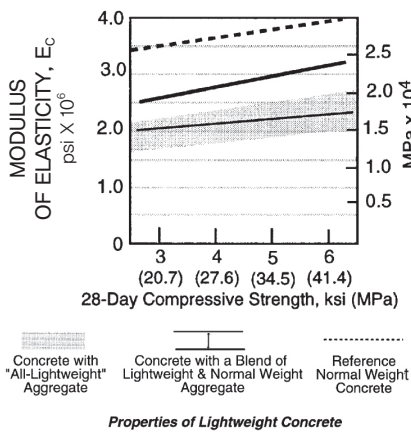


그림 1. 탄성계수의 변화

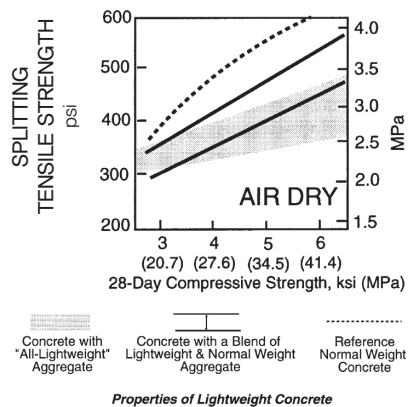


그림 2. 쪼갬 인장강도의 변화

$$\eta = (0.4 + 0.6\rho / 2,200) \text{ (DIN 1045-1)}$$

$$\eta = (0.3 + 0.7\rho / 2,400) \text{ (NS 3473 E/1992)}$$

여기서 ρ 는 경량콘크리트의 건조상태 단위질량이다.

일반 콘크리트와 경량콘크리트의 역학적인 차이점은 탄성계수, 포아송비, 크리프계수, 공시체의 압축강도, 쪼갠인장강도, 휨인장강도, 부착강도, 최대압축변형률에 대한 검토가 요구된다. ACI 213R-03 보고서에 따르면 크리프와 건조수축의 크기는 일반 콘크리트보다 상한계의 데이터를 보이고, 탄성계수와 인장강도, 그리고 부착강도는 하한계를 이룬다. 그밖에 다른 역학적인 특성은 일반 콘크리트와 비교해서 큰 차이점을 보이지 않는다. 이러한 추세를 토대로 보고서의 5장에서 설계기준에서 고려할 항목을 제시하였다.

탄성계수의 경우 현행 설계기준에 단위질량의 함수에 따라 변화하므로 별도의 감소계수를 적용하지 않는다. <그림 1~3>은 경량콘크리트의 역학적 성능의 예를 나타낸 것이다.

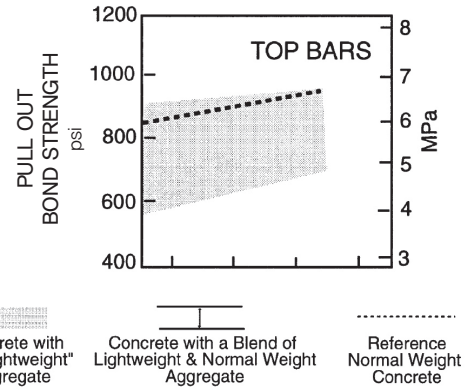


그림 3. 부착강도의 영향

3. 경량콘크리트에 관한 주요 개정 내용

경량콘크리트의 인장강도에 대한 영향을 크게 받는 부재강도는 전단강도와 부착강도를 들 수 있다. 즉 정착 길이와 보의 사인장 전단강도는 콘크리트 인장에 직접적인 영향을 받으므로 설계기준에서 경량콘크리트의 인장강도

표 1. 콘크리트구조기준에서 경량콘크리트에 관련 주요 조항

절	주요내용 개정기준
2.2.2 콘크리트	(3) 경량콘크리트 제조용 경량콘크리트 골재는 KS F 2534에 규정하는 구조용 경량골재를 사용하여야 한다.
3.4.4 경량콘크리트	경량콘크리트 사용에 따른 영향을 반영하기 위하여 사용하는 경량콘크리트계수 λ 는 다음과 같다. ① f_{sp} 값이 규정되어 있지 않은 경우 $\lambda = 0.75$, 전경량콘크리트 $\lambda = 0.85$, 모래경량콘크리트 다만, 0.75에서 0.85의 사이값은 보통중량 콘크리트의 잔골재를 경량 잔골재로 치환하는 체적비에 따라 직선 보간한다. 0.85에서 1.0의 사이값은 보통 중량의 잔골재와 경량 및 보통중량 굵은 골재의 치환되는 체적비에 따라 직선 보간한다. 보통중량 콘크리트의 $\lambda = 1.0$ 이다. ② f_{sp} 값이 주어진 경우 $\lambda = f_{sp} / (0.56 \sqrt{f_{ck}}) \leq 1.0$
4.3 처짐	표 4.3.1 주기 ① 1,500 ~ 2,000 kg/m ³ 범위의 단위질량을 갖는 구조용 경량콘크리트에 대해서는 계산된 h 값에 (1.65 - 0.00031 m)를 곱하여야 하나 1.09보다 작지 않아야 한다. $f_r = 0.63\lambda \sqrt{f_{ck}}$ (4.3.3)
7.3.1 콘크리트에 의한 전단강도	$V_c = \frac{1}{6} \lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$ (7.3.1) $V_c = \left(0.05\lambda \sqrt{f_{ck}} + 4.9 + \frac{V_u d_p}{M_u} \right) b_w d$ (7.3.7) (대표적인 조항만 표현 했음.)
7.5.1 비틀림을 고려하지 않아도 되는 경우	$T_u < \phi (\lambda \sqrt{f_{ck}} / 12) \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}$ (7.5.1) (대표적인 조항만 표현 했음.)
7.7.2 전단마찰설계	(3) 식 (7.7.1)과 식 (7.7.2)에서 마찰계수 μ 는 다음 값이어야 한다. ① 일체로 친 콘크리트 1.4 λ ② 7.7.3(1)의 규정에 따라 표면을 거칠게 만든 굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트 1.0 λ ③ 일부러 거칠게 하지 않은 굳은 콘크리트에 새로 친 콘크리트 0.6 λ ④ 전단연결재에 의하거나 철근에 의해 구조용 강재에 정착된 콘크리트(7.7.3(2) 참조) 0.7 λ

<표 1> 다음페이지에 계속.


8.22 철근의 정착	$l_d = 0.90d_b f_y \frac{\alpha\beta\gamma}{\lambda\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{c+K_{tr}}{d_b} \right)}$ (8.2.2)
17.3.3 수평전단강도	③ 17.3.3에서 규정한 최소 전단연결재가 있고, 접촉면이 청결하고 부유물이 없으며 표면이 약 6mm 깊이로 거칠게 만들어진 경우, 공칭수평전단강도 V_{nh} 는 $(1.8+0.6p_v f_y)\lambda b_v d$ 로 하며, $3.5b_v d$ 보다 크게 취할 수는 없다. λ 는 3.4.4에 따르며, p_v 는 $A_v / (b_v s)$ 이다.
19.3 강도	(1) 휨모멘트를 받는 단면의 설계는 식 (19.3.1)의 조건에 만족하도록 하여야 한다. $\phi M_n \geq M_u$ (19.3.1) 여기서, 인장이 지배적일 경우에 M_n 는 식 (19.3.2)에 의하여 계산되며, 압축이 지배적일 경우에는 식 (19.3.3)에 의해 계산한다. $M_n = 0.42\lambda\sqrt{f_{ck}} s_m$ (19.3.2)
21.3 전단강도	(1) 접합부의 공칭전단강도는 보통중량 골재를 사용한 콘크리트의 경우 다음 값을 초과할 수 없다. ① 4면이 구속된 접합부의 경우 $1.7\sqrt{f_{ck}} A_j$ ② 3면 또는 서로 반대 방향의 2면이 구속된 경우 $1.25\sqrt{f_{ck}} A_j$ ③ 기타의 경우 $1.0\sqrt{f_{ck}} A_j$ 각 접합면의 3/4이 인입되는 부재와 접합되어 있으면 그 면은 구속되어 있다고 보며, 이러한 부재가 접합부의 모든 면으로 인입될 때 그 접합부는 구속되어 있다고 본다. (2) 경량 콘크리트에서 접합부의 공칭전단강도는 (1)에 규정된 값의 3/4을 초과하지 않아야 한다.
부록 II 콘크리트 앵커	(2) 균열 콘크리트에서 인장력을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트 파괴강도 N_b 는 다음 값을 초과할 수 없다. $N_b = k_c \lambda \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5}$ (II.4.5) 여기서, $k_c = 1.0$: 선설치앵커

에 대한 효과를 고려하여야 한다. 우리 설계기준은 ACI 기준과 같이 3장에서 보정계수를 인장강도와 관련된 모든 공식에 적용할 수 있다. <표 1>은 경량콘크리트와 관련된 주요개정내용을 나타내었다.

4. 추후 보완사항

경량콘크리트에 대한 연구결과축적에 따라 다음과 같은 설계사항의 보완이 필요하다.

- (1) 장기처짐에 대한 경량 콘크리트의 고려
탄성계수의 변화를 단위질량의 효과로 감안되더라도 경량 콘크리트의 물-시멘트 비가 대체로 커서 이에 대한 보수적인 접근이 필요하다.
- (2) 휨부재의 최소철근량의 규정
콘크리트의 휨 인장강도에 관련되므로 감소계수 적용이 필요하다. 그러나 이번 개정기준에는 검토되지 않은 상태이다.
- (3) 최소전단철근의 표현
콘크리트가 부담하는 전단강도에 간접적으로 표현되어 있다.
- (4) 전단보강근에 의한 최대전단강도의 규정

7.4.4 “(9)전단강도 V_s 는 $(2\sqrt{f_{ck}}/3)b_w d$ 이하로 하여야 한다.”에서 $(2\lambda\sqrt{f_{ck}}/3)b_w d$ 로 보완하여야 한다. 

참고문헌

1. ACI committee 213, Guide for structural lightweight-aggregate concrete, ACI, 2003.
2. Mohamed Zareef, Conceptual and structural design of buildings made of lightweight and infra-lightweight concrete, Dissertation, Technischen Universität Berlin, 2010.

저자약력



홍성길 교수는 서울대학교 건축학과를 졸업한 후 미국 리하이대학 토목공학과에서 스트럿-타이 모델을 이용한 부차과 정착에 대한 연구로 학위연구를 하였다. 1996년 서울대학교 건축학과에서 콘크리트 소성학과 강구조소성학을 강의를 시작하였고, 전단강도 및 변형능력에 대한 연구에 지속적인 관심을 가지고 있다. 현재 우리학회 규격특별위원회 위원장을 맡고 있다.

sglhong@snu.ac.kr